

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI**

GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI

FIZIKA KAFEDRASI

A.ABDULLAYEV

**FOTOVALTAIKANING FIZIK ASOSLARI
O'QUV-USLUBIY MAJMUA
(MAGISTRLAR UCHUN**

Guliston – 2021

1. SYLLABUS

(namunaviy va ishchi o‘quv reja)

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM
VAZIRLIGI**

GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI

“FIZIKA” KAFEDRASI

“TASDIQLAYMAN”

Guliston davlat universiteti
o‘quv ishlari bo‘yicha prorektori

_____ H. Qo‘shiyev

« ____ » _____ 2021 y.

№ _____

FOTOVOLTAIKANING FIZIK ASOSLARI


FAN DASTURI

Bilim sohasi:	100000	-Gumanitar
Ta‘lim soxasi:	140000	-Tabiiy fanlar
Ta‘lim yo‘nalishi:	5A140208	-“Qayta tikanuvchi energiya manbalari va barqaror atrof muhit fizikasi”

Guliston 2021

Fan/modul kodi MQTE1305		O'quv yili 2021-2022	Semestr 1	ECTS - Kreditlar 1-semestr 5 kredit	
Fan/modul turi Majburiy		Ta'lim tili O'zbek/rus		Haftadagi dars soatlari 4	
1	Fanning nomi	Auditoriya mashg'ulotlari (soat)		Mustaqil ta'lim (soat)	Jami yuklama (soat)
	Fotovoltaikaning fizik asoslari	60		90	150
	I. "Fotovoltaikaning fizik asoslari" fanining 2021/2022 o'quv yili uchun mo'ljallangan SILLABUSI				

Fanning qisqacha tavsifi

OTMning nomi va joylashgan manzili:	Guliston davlat universiteti		Guliston shahri, 4- mavze				
Kafedra:	Fizika		"Axborot texnologiyalari" fakulteti				
Ta'lim sohasi va yo'nalishi:	140000-Tabiiy fanlar	5A140208 -"Qayta tikanuvchi energiya manbalari va barqaror atrof muhit fizikasi"					
Fanni (kursni) olib boradigan o'qituvchi to'g'risida ma'lumot:	Abdullayev Abduraxmon			email:abduraxmon1948@gmail.com			
Dars vaqti va joyi:	1-Bosh bino - 403 auditoriya	Kursning davomiyligi:		21.09.2021-11.01.2022			
Individual grafik asosida ishlash vaqti:	Chorshanba va payshanba kunlari 9.00 dan 17.00 gacha						
Fanga ajratilgan soatlar	Auditoriya soatlari					Mustaqil ta'lim:	90
	Ma'ruza	30	Seminar	30	Laboratoriya		
Fanning boshqa fanlar bilan bog'liqligi :	Kimyo, biologiya, informatika, umumkasbiy (yarimo'tkazgichlar fizikasi, elektr va magnitizm, atom fizikasi)						

I. O'quv fan dasutirning mazmuni

Fanning dolzarbligi va qisqacha mazmuni:	<p>Fanni o'qitishdan maqsad – Quyosh energiyasi, quyosh nuri xususiyatlari, nur xossalari, foton energiyasi, spektral nurlanish, yer atmosferasi tashqarisida quyosh nurlanishi, yer sirtida quyosh nurlanishi, yarimo'tkazgichlar fizikasi, yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalari, yarimo'tkazgich materiallar va ularning tuzilishi, o'tkazuvchanlik haqida va bir qatop boshqa qonuniyatlarni o'rganish yshbu fanning asosiy maqsadini belgilaydi.</p> <p>Fanning vazifasi - talabalarda Fotovoltaikaning fizik asoslari fanini o'qitishda ilmiy-amaliy dunyoqarashni, tabiatini to'g'ri tasavvur qilish, tabiiy fanlar sohasida qo'yilgan har bir aniq vazifalar mazmunini texnika qonunlari bilan bog'lash, asosiy fizik qonun va printsiplarni texnikaviy jarayonlarga qo'llash, kasbiy xususiyatlariga oid asosiy fizikaviy o'lchov asbob-uskunalaridan foydalana bilish ko'nikma va malakalarni hosil qilish hamda talabalarning mustaqil ishlash malakasini, tahliliy mulohaza yuritish qobilyatini, shuningdek asosiy va qo'shimcha adabiyotlardan foydalanish mahoratini o'stirish;</p>
Talabalar uchun talablar	<ul style="list-style-type: none">- o'qituvchiga va guruhdoshlarga nisbatan hurmat bilan munosabatda bo'lish;- universitet ichki tartib - intizom qoidalariga rioya qilish;- uyali telefonni dars davomida o'chirish;- berilgan uy vazifasi va mustaqil ish topshiriqlarini o'z vaqtida va sifatli bajarish;- ko'chirmachilik (plagiat) qat'iy man etiladi;- darslarga qatnashish majburiy hisoblanadi, dars qoldirilgan holatda qoldirilgan darslar qayta o'zlashtirilishi shart;- darslarga oldindan tayyorlanib kelish va faol ishtirok etish;- talaba o'qituvchidan so'ng, dars xonasiga - mashg'ulotga kiritilmaydi;
Elektron pochta orqali munosabatlar tartibi	<p>Professor-o'qituvchi va talaba o'rtasidagi aloqa elektron pochta orqali ham amalga oshirilishi mumkin, telefon orqali baho masalasi muhokama qilinmaydi, baholash faqatgina universitet hududida, ajratilgan xonalarda va dars davomida amalga oshiriladi. Elektron pochtni ochish vaqti soat 10.00 dan 20.00 gacha</p>
<p>II. Asosiy nazariy qism (Ma'ruza mashg'ulotlari)</p> <p>II.I. Fan tarkibiga quyidagilar kiradi.</p> <p>1-mavzu. Fotovoltaikaga kirish. Quyosh energiyasi. Quyosh nuri xususiyatlari. Nur xossalari. Foton energiyasi. Spektral nurlanish. Yer atmosferasi tashqarisida quyosh nurlanishi. Yer sirtida quyosh nurlanishi.</p> <p>2-mavzu. Yarimo'tkazgichlar fizikasi. Yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalari. Yarimo'tkazgich materiallar va ularning tuzilishi. O'tkazuvchanlik.</p> <p>3-mavzu. Energetik zonalar diagrammasi. Taqiqlangan zona. Yarimo'tkazgichlarni legirlash. Asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar</p>	

konsentratsiyasi.

4-mavzu. Generatsiya va rekombinatsiya. Nurning yutilishi. Yutilish koeffitsienti. Yutilish chuqurligi. Generatsiyaning jadalligi. Rekombinatsiya turlari. Yashash vaqti. Diffuziya uzunligi. Sirt rekombinatsiyasi.

5-mavzu. p-n-o'tish. Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar xarakati. Diffuziya. Dreyf. Yarimo'tkazgichlarda p-n-o'tishni shakllantirish.

6-mavzu. Diod, diod kuchlanishi va diod tenglamasi. Ideal diod tenglamasini keltirib chiqarish. Fundamental tenglamalar. Fundamental tenglamalarni r-n-o'tishga qo'llash.

7-mavzu. Quyosh fotoelementi. Ideal quyosh fotoelementi. Fotoelement tuzilishi. Fototok generatsiyasi. Zaryad tashuvchilarni jamlanishi. Jamlash koeffitsienti.

8-mavzu Fotoelement parametrlari. Spektral sezgirlik. Fotovoltaik effekt. Qistsa tutashuv toki. Salt ishlash kuchlanishi. VAX va uning tuldirish koeffitsienti. Foydali ish koeffitsienti yoki samaradorlik.

9-mavzu. Qarshilik xarakteristikalari. Parazitik qarshilik effekti. Ketma-ket va parallel qarshiliklar. Temperatura ta'siri. Yorug'lik intensivligi ta'siri. Ideallik faktori.

10-mavzu. Optik xususiyatlari. Rekombinatsiyani kamaytirish. Optik yo'qotishlar. Nurning qaytishiga qarshi koplamlar va ularning rangi. Sirt teksturasi. Materialning qalinligi. Qatqig jism xajmida nurning traektoriyasi. Lambertning orqa nurning qaytargichlari. Rekombinatsion yo'qotishlar. Rekombinatsiya tufayli tokning kamayishi. Kuchlanishning kamayishi. Sirtning yuzasida rekombinatsiya.

11-mavzu. Quyosh elementi strukturasi. Quyosh elementlarini tayyorlash. Kremniy asosidagi vuyosh elementining strukturasi, parametrlari, samaradorligi. Birinchi fotoelektrik asboblari. Quyosh elementlarini olishning planar texnologiyasi. Yuqori samarador elementlar. Omik kontaktlari faqat orqa tomonda joylashgan elementlar.

12-mavzu. Kremniy plastinalarini olish. Kremniyning turlari va ularni tozalash. Monokristall kremniy. Choxralskiy va zonalar eritish usullarida kremniy olish. Texnik, mul'ti-, poli- va mikrokrystal kremniy. Amorf kremniy. Kremniy plastinalarini olish usullari.

13-mavzu. Quyosh elementlari tayyorlash texnologik liniyalari. Xomashyolar. Kremniy sterjenlarini o'stirish. Plastinalar olish va ularga mexanik va kimyoviy ishlov berish. Sirtni teksturlash. Diffuziya orqali emitterni shakllantirish. Chekkaparni izolyatsiyalash. Nurqaytarish qatlamlarini qoplash.

14-mavzu. Elementlar parametrlarini o'lchash va baholash. r-n-o'tish chuqurligini o'lchash. Elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash. Tayyor elementlar parametrlarini o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblash.

15-mavzu. Fotovoltaika materialshunosligi. Fotovoltaikada qo'llaniladigan boshqa yarimo'tkazgich materiallari. Konstruktsion va texnologik materiallar. Birinchi, ikkinchi va uchinchi avlod fotoelementlari.

III. Laboratoriya ishlari bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar.

Laboratoriya mashg'ulotlaridan ko'zlangan maqsad va vazifalar - bu fan bo'yicha olingan nazariy bilimlar asosida turli tajribalar o'tkazish, olingan natijalarni qayta ishlash va tahlil qilish, tahlil natijalari bo'yicha ilmiy asoslangan xulosalar chiqarish ko'nikmalarini shakllantirishdan iborat. "Fotovoltaikaning fizik asoslari" fani bo'yicha laboratoriya ishlarining tavsiya etiladigan mavzulari:

1. Quyosh elementlarini VAXni o'rganish.
2. Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Qiska tutashuv toki.
3. Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Salt yurish kuchlanishi. To'ldirish koeffitsienti.
4. Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Foydali ish koeffitsienti.

5. Quyosh elementlarni parallel va kema-ket ulash. Quyosh elementlarini VAX. Laboratoriya ishlari maxsus qurilmalar bilan jihozlangan laboratoriya xonalarida bajariladi.

IV. Seminar mashg'uloti bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar.

Seminar mashg'ulotlarida "Fotovoltaikaning fizik asoslari" kursining fundamental asoslarini chuqurroq o'rganishga yordam beradigan mavzular muhokama o'linadi. Muhokama paytida mamlakatimizda qaysi ilmiy tekshirish institutlari yoki oliy o'quv yurtlarida mavzuga tegishli tadqiqotlar olib borilishi aytiladi. Talabalarga ularning xohishlari bo'yicha seminarlarda yangi mavzular ko'rib chiqilishi mumkinligi ta'kidlanadi.

Seminar uchun tavsiya etiladigan mavzular:

1. Fotovoltaik effekt.
 2. Quyosh energetikasi sohasida nanotexnologiyalarning o'rni.
 3. Quyosh elementlari va batareyalarining samaradorligi, kamchiliklari va istiqbollari.
 4. Quyosh elementlarida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning qo'llanilishi: yutuqlari va kamchiliklari.
 5. Optik va rekombinatsion yo'qotishlar.
 6. Quyosh elektr stantsiyalari.
 7. O'zbekistonning o'ziga xos iqlimi va uning quyosh batareyalarni qo'llashdagi ahamiyati.
- Seminar mashg'ulotlari taqdimot va savol-javob asosida o'tkaziladi

V. Mustaqil ta'lim va mustaqil ishlar.

Mustaqil ta'limning tahminiy mavzulari

1. Quyosh nuri xususiyatlari.
2. Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'rni.
3. Xalq xo'jaligida quyosh batareyalari ishlatilishining xududning geografik muxitiga va iqtisodiy rivojlanganligiga bog'liqligi.
4. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.

Mustaqil o'zlashtiriladigan mavzular bo'yicha talabalar tomonidan referatlar tayyorlash va uni ilmiy doklad ko'rinishida taqdimot qilish tavsiya etiladi.

VI. Fan o'qitilishining natijalari (shakllanadigan kompetentsiyalar)

O'quv fanini o'zlashtirish natijasida talaba:

Fotovoltaika materiallari: qattiq jismlar, metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektrlarning elektr xossalari, ulardagi fizik jarayonlarning asoslarini bilishlari kerak.

- Elektr, kinetik, galvanomagnit, optik, fotoelektrik, barik, termik, radiatsion va h.k. hodisalarning mohiyati va tabiati; jarayonlardagi fizik kattaliklarning o'rni va mohiyati, o'lchov birliklarini taqqoslash; asosiy fizik va tamoyillarni, ilmiy tadqiqotda va amaliyotda qo'llash usullari to'g'risida tasavvurga ega bo'lishi kerak.

- Eksperimental va ilmiy tadqiqot qurilmalarining asosiy blok va modullarini, ulardan tashkil topgan laboratoriya ishlarini yig'ish, sozlash, o'lchashlarni bajarish va natijalarni hisoblash, eksperiment xatoliklarini hisoblash va hulosalashni bilishi kerak.

- Tajribalarda ishlatiladigan o'lchov asboblaridan to'g'ri va aniq foydalanish; fizik asboblar qurilmalarining ishlash tamoyilini fizik qonunlar asosida tavsiflashni bilishi kerak.

- Fotovoltaika materiallari: qattiq jismlar, metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektrlarning elektr xossalari, ulardagi fizik jarayonlarning asoslarini biladi.

- Eksperimental tajribalarni rejalashtirish, qo'llaniladigan sxemalar va ulardagi tarkibiy elementlarni tanlash, quyosh elementlarning asosiy parametr va xossalarni eksperimental o'lchashni biladi.

- Olingan bilimlarni amaliyotga qo'llash, olingan o'lchash natijalari asosida mavjud

tadqiqot ob'ektlarining qo'llanish chegaralarini aniqlash bo'yicha ko'nikmalarga ega bo'lishi kerak.

VI. Ta'lim texnologiyalari va metodlari:

- ma'ruzalar;
- interfaol keys-stadilar;
- guruxlarda ishlash;
- taqdimotlarni qilish;
- laboratoriya ishlari.

VII. Kreditlarni olish uchun talablar:

Fanga oid nazariy va uslubiy tushunchalarni to'la o'zlashtirish, taxlil natijalarini to'g'ri aks ettira olish, o'rganilayotgan jarayonlar xaqida mustaqil mushoxada yuritish va joriy, oraliq nazorat shakllarida berilgan vazifa va topshiriqlarni bajarish, yakuniy nazorat bo'yicha yozma ishni topshirish.

Talabalar bilimni baholash mezonlari

1. Talabalarning bilimni quyidagi mezonlar asosida:

- talaba mustaqil xulosa va qaror qabul qiladi, ijodiy fikrlay oladi, mustaqil mushohada yuritadi, olgan bilimni amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi, hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda – 5 (a'lo) baho;

- talaba mustaqil mushohada yuritadi, olgan bilimni amalda qullay oladi, fanning (mavzuning) mohiyati tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda 4 (yaxshi) baho;

- talaba olgan bilimni amalda qullay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatni tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda – 3 (qoniqarli) baho;

- talaba fan dasturini o'zlashtirmagan, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunmaydi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega emas deb topilganda – 2 (qoniqarsiz) baho bilan baholanadi.

2. Nazorat turlarini o'tkazish bo'yicha tuzilgan topshiriqlarning mazmuni talabanning o'zlashtirishini xolis (ob'ektiv) va aniq baholash imkoniyatini berishi shart.

№	Baholash turi	Topshiriqlar turi	Topshiriqlar soni	Har-bir topshiriq uchun ajratilgan ball	Jami ball	Oraliq va yakuniy baholash uchun jami ball	Oraliq va yakuniy baholash uchun saralash bali	
							ball	baho
1	1-Oraliq baholash	Ma'ruza, amaliy, laboratoriya (laboratoriya topshiriqlari asosida) va seminar mashg'ulotlardagi faolligi	10	1,5	15	40	23,99-0	2
		Mustaqil ish topshiriqlarini bajarish	5	4	20		24-27,99	3
		Yozma ish (test)	1	5	5		28-35,99	4
							36-40	5
2	2-Oraliq baholash	Ma'ruza, amaliy, laboratoriya (laboratoriya topshiriqlari asosida) va seminar mashg'ulotlardagi faolligi	10	1,5	15	40	23,99-0	2
		Mustaqil ish topshiriqlarini bajarish	5	4	20		24-27,99	3
		Yozma ish (test)	1	5	5		28-35,99	4
							36-40	5
Jami					80	80		
3	Yakuniy baholash	Yozma ish yoki test shaklida o'tkaziladi	Yozma ish bo'lsa 4 ta savol	5	20	20	11,99-0	2
							12-13,99	3
							14-17,99	4
							18-20	5
Жами					100	100		

Asosiy adabiyotlar

1. Fonash, S. J., Solar Cell Device Physics, Second Edition: Academic Press, pp. 400, 2010.
2. Wurfel, P., Physics of Solar Cells, 2nd, updated and expanded edition, Morlenbach, Germany, Wiley-VCH, pp. 183, 2009.
3. Власов С.И. Талипов Д.А. Нетрадиционные источники энергии. Ташкент, издательство Национального Университета Узбекистана. 2016.
4. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов Под ред. В.И.Виссарионова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
5. Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. Минск, БГУ, 2007г.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risidagi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-1947 - son farmoni.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi 2019 yil 8 oktabrdagi PF-5847-son Farmoni.
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Oliy va o'rta maxsus ta'lim tizimiga boshqaruvning yangi tamoyillarini joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi 2019 yil 11 iyuldagi PQ-4391-son qarori.
4. Sh. M. Mirziyoev "Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz". Toshkent."O'zbekiston", 2017.-488 b.
5. Колтун М.М. Солнечные элементы. М. Наука. 1987.
6. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л. 1989.
7. М.Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии М.: Издательский дом МЭИ 2018
8. Чопра К., Дас С. Тонко плёночные солнечные элементы. М. Мир. 1986.
9. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы. Теория и эксперимент. М. Наука. 1987.

Elektron manbalar

1. <http://www.gov.uz>-O'zbekiston Respublikasi xukumat portali.
2. www.infomag.ru
3. www.zivonet.uz
4. www.renewableenergymagazine.com
5. www.science.howstuffworks.com
6. www.pv-magazine.com

Tanlov fanning dasturi 5A140208 "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari va barqaror atrof muhit fizikasi" magistratura ta'lim yo'nalishi namunaviy o'quv rejasiga muvofiq Guliston davlat universiteti tomonidan ishlab chiqilgan va tasdiqlangan.

Fan/modul uchun ma'sul:

A. Abdullayev. – GulDU, Fizika kafedrasida dotsenti, t.f.n. _____ imzo

Taqrizchilar:

G'.T. Rahmonov O'zMU, Umumiy fizika kafedrasida dotsenti, f-m.f.n.

R. Elmurodov GulDU Fizika kafedrasida dotsenti, f-m.f.n.

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM
VAZIRLIGI
GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI
“FIZIKA” KAFEDRASI**

“TASDIQLAYMAN”

Guliston davlat universiteti
o‘quv ishlari bo‘yicha prorektori

_____H. Qo‘shiyev

2021 yil “__” _____

№ _____

**FOTOVOLTAIKANING FIZIK ASOSLARI
FANINING ISHCHI O‘QUV DASTURI**

Bilim sohasi: 100000 -Gumanitar
Ta‘lim soxasi: 140000 -Tabiiy fanlar
Magistratura
mutaxassisligi: 5A140208 -“Qayta tikanuvchi energiya
manbalari va barqaror atrof muhit fizikasi”

O‘qish davri 1-semestr
Fan kodi MQTE1305
Fan hajmi 5 kredit
Fanning umumiy soatlari - 150
shu jumladan - auditoriya soatlari: - 60
shu jumladan: ma‘ruzalar - 30
Laboratoriya ishi - 16
Seminar mashg‘ulotlari - 14
mustaqil ta‘lim - 90
shu jumladan:
Nazorat shakli ON, YaN
O‘qitish tili Uzb, Rus, Eng

Guliston 2021

Fanning ishchi o'quv dasturi Guliston davlat universiteti Kengashining 20__ yil “__”
_____dagi ____-sonli bayoni bilan tasdiqlangan “Fotovoltaikaning fizik asoslari” fan
dasturi asosida tayyorlangan.

“Fizika” kafedrasida majlisida ko'rib chiqilgan.

“__” _____ 2021 y. Bayonnoma № _____

Kafedra mudiri: _____ Sh.Ashirov

“Axborot texnologiyalari” fakultetining Ilmiy-uslubiy kengashi tomonidan foydalanish
uchun tavsiya etilgan.

“__” _____ 2021 y. Bayonnoma № _____

Rais: _____ A. Qalandarov

Fan o'qituvchilari haqida ma'lumot:

A. Abdullayev - lektor, GulDu, “Fizika” kafedrasida dotsent, t.f.n. .
Abdullayev Abduraxmon – tyutor, GulDu, “Fizika” kafedrasida dotsenti, t.f.n.

Ofis: GulDu, Axborot texnologiyalari fakulteti, “Fizika” kafedrasida.

Manzil: Guliston sh., 4-mavze.

Telefon: +998943407154

Email: abdullayev.48@maill.ru

Intizomiy talablar:

Talabaning intizomi universitetning “Talabalar uchun ichki tartib-qoidalar” ga to'liq javob
berishi shart.

Fan/modul kodi MQTE1305	O'quv yili 2021-2022	Semestr 1	ECTS - Kreditlar 5	
Fan/modul turi Majburiy	Ta'lim tili Uzbek/rus		Xaftadagi dars soatlari 4	
	Fanning nomi	Auditoriya mashg'ulotlari (soat)	Mustaqil ta'lim (soat)	Jami yuklama (soat)
1.	Fotovoltaikaning fizik asoslari	60	90	150

I. Fanning mazmuni

Fanni o'qitishning maqsadi fanining maqsadi - quyosh energetikasi materiallaridagi fizik hodisalarning asosiy nazariyalari, printsiplari va qonuniyatlari bilan tanishtirishdan iborat.

Fanni o'qitishning vazifalari-talabalarda kelajakda mustaqil ilmiy tadqiqot va amaliy ishlab chiqarish jarayonlarida quyosh energetikasi materiallari sifatida yarimo'tkazgich materiallarni fizik-kimyoviy xossalari bo'yicha ajrata bilish, ish vazifasi talablarga mos keluvchi yarimo'tkazgich asboblarning xossa va parametrlarini nazariy hisoblay bilish va yarata olish o'quv va malakalarinihosil qilishdan iborat.

II. Asosiy nazariy qism (Ma'ruza mashg'ulotlari)

II.I. Fan tarkibiga quyidagilar kiradi.

1-mavzu. Fotovoltaikaga kirish. Quyosh energiyasi. Quyosh nuri xususiyatlari. Nur xossalari. Foton energiyasi. Spektral nurlanish. Yer atmosferasi tashqarisida quyosh nurlanishi. Yer sirtida quyosh nurlanishi.

2-mavzu. Yarimo'tkazgichlar fizikasi. Yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalari. Yarimo'tkazgich materiallar va ularning tuzilishi. O'tkazuvchanlik.

3-mavzu. Energetik zonalar diagrammasi. Taqiqlangan zona. Yarimo'tkazgichlarni legirlash. Asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi.

4-mavzu. Generatsiya va rekombinatsiya. Nurning yutilishi. Yutilish koeffitsienti. Yutilish chuqurligi. Generatsiyaning jadalligi. Rekombinatsiya turlari. Yashash vaqti. Diffuziya uzunligi. Sirt rekombinatsiyasi.

5-mavzu. p-n-o'tish. Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar xarakati. Diffuziya. Dreyf. Yarimo'tkazgichlarda p-n-o'tishni shakllantirish.

6-mavzu. Diod, diod kuchlanishi va diod tenglamasi. Ideal diod tenglamasini keltirib chiqarish. Fundamental tenglamalar. Fundamental tenglamalarni r-n-o'tishga qo'llash.

7-mavzu. Quyosh fotoelementi. Ideal quyosh fotoelementi. Fotoelement tuzilishi. Fototok generatsiyasi. Zaryad tashuvchilarni jamlanishi. Jamlash koeffitsienti.

8-mavzu Fotoelement parametrlari. Spektral sezgirlik. Fotovoltaik effekt. Qisqa tutashuv toki. Salt ishlash kuchlanishi. VAX va uning tuldirish koeffitsienti. Foydali ish koeffitsienti yoki samaradorlik.

9-mavzu. Qarshilik xarakteristikalari. Parazitik qarshilik effekti. Ketma-ket va parallel qarshiliklar. Temperatura ta'siri. Yorug'lik intensivligi ta'siri. Ideallik faktori.

10-mavzu. Optik xususiyatlari. Rekombinatsiyani kamaytirish. Optik yo'qotishlar. Nurning qaytishiga qarshi koplamlar va ularning rangi. Sirt teksturasi. Materialning qalinligi. Qatgic jism xajmida nurning traektoriyasi. Lambertning orqa nurning qaytargichlari. Rekombinatsion yo'qotishlar. Rekombinatsiya tufayli tokning kamayishi. Kuchlanishning kamayishi. Sirtning yuzasida rekombinatsiya.

11-mavzu. Quyosh elementi strukturasi. Quyosh elementlarini tayyorlash. Kremniy asosidagi vuyosh elementining strukturasi, parametrlari, samaradorligi. Birinchi fotoelektrik asboblari. Quyosh elementlarini olishning planar texnologiyasi. Yuqori samarador elementlar. Omik kontaktlari faqat orqa tomonda joylashgan elementlar.

12-mavzu. Kremniy plastinalarini olish. Kremniyning turlari va ularni tozalash. Monokristall kremniy. Choxralskiy va zonalar eritish usullarida kremniy olish. Texnik, mul'ti-, poli- va mikrokrystal kremniy. Amorf kremniy. Kremniy plastinalarini olish usullari.

13-mavzu. Quyosh elementlari tayyorlash texnologik liniyalari. Xomashyolar. Kremniy sterjenlarini o'stirish. Plastinalar olish va ularga mexanik va kimyoviy ishlov berish. Sirtni teksturlash. Diffuziya orqali emitterni shakllantirish. Chekkaparni izolyatsiyalash. Nurqaytarish qatlamlarini qoplash.

14-mavzu. Elementlar parametrlarini o'lchash va baholash. r-n-o'tish chuqurligini o'lchash. Elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash. Tayyor elementlar parametrlarini o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblash.

15-mavzu. Fotovoltaika materialshunosligi. Fotovoltaikada qo'llaniladigan boshqa yarimo'tkazgich materiallari. Konstruktsion va texnologik materiallar. Birinchi, ikkinchi va uchinchi avlod fotoelementlari.

Ma'ruza soatlarining mavzular bo'yicha taqsimlanishi

1-jadval

№	Mavzu, qo'llaniladigan axborot va zamonaviy pedagogik texnologiya usullari	Soat
1	Fotovoltaikaga kirish. Quyosh energiyasi. Quyosh nuri xususiyatlari. Nur xossalari. Foton energiyasi. Spektral nurlanish. Yer atmosferasi tashqarisida quyosh nurlanishi. Yer sirtida quyosh nurlanishi.	2
2	Yarimo'tkazgichlar fizikasi. Yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalari. Yarimo'tkazgich materiallar va ularning tuzilishi. O'tkazuvchanlik.	2
3	Energetik zonalar diagrammasi. Taqiqlangan zona. Yarimo'tkazgichlarni legirlash. Asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi.	2
4	Generatsiya va rekombinatsiya. Nurning yutilishi. Yutilish koeffitsienti. Yutilish chuqurligi. Generatsiyaning jadalligi. Rekombinatsiya turlari. Yashash vaqti. Diffuziya uzunligi. Sirt rekombinatsiyasi.	2
5	p-n-o'tish. Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar xarakati. Diffuziya. Dreyf. Yarimo'tkazgichlarda p-n-o'tishni shakllantirish.	2
6.	Diod, diod kuchlanishi va diod tenglamasi. Ideal diod tenglamasini keltirib chiqarish. Fundamental tenglamalar. Fundamental tenglamalarni r-n-o'tishga qo'llash.	2
7.	Quyosh fotoelementi. Ideal quyosh fotoelementi. Fotoelement tuzilishi. Fototok generatsiyasi. Zaryad tashuvchilarni jamlanishi. Jamlash koeffitsienti.	2
8	Fotoelement parametrlari. Spektral sezgirlik. Fotovoltaik effekt. Qitsa tutashuv toki. Salt ishlash kuchlanishi. VAX va uning tuldirish koeffitsienti. Foydali ish koeffitsienti yoki samaradorlik.	2

9	Qarshilik xarakteristikalarini. Parazitik qarshilik effekti. Ketma-ket va parallel qarshiliklar. Temperatura ta'siri. Yorug'lik intensivligi ta'siri. Ideallik faktori.	2
10	Optik xususiyatlari. Rekombinatsiyani kamaytirish. Optik yo'qotishlar. Nurning qaytishiga qarshi koplamlar va ularning rangi. Sirt teksturasi. Materialning qalinligi. Qatqig jism xajmida nurning traektoriyasi. Lambertning orqa nurning qaytargichlari. Rekombinatsion yo'qotishlar. Rekombinatsiya tufayli tokning kamayishi. Kuchlanishning kamayishi. Sirtning yuzasida rekombinatsiya.	2
11	Quyosh elementi strukturasi. Quyosh elementlarini tayyorlash. Kremniy asosidagi quyosh elementining strukturasi, parametrlari, samaradorligi. Birinchi fotoelektrik asboblari. Quyosh elementlarini olishning planar texnologiyasi. Yuqori samarador elementlar. Omik kontaktlari faqat orqa tomonda joylashgan elementlar.	2
12	Kremniy plastinalarini olish. Kremniyning turlari va ularni tozalash. Monokristall kremniy. Choxralskiy va zonalar eritish usullarida kremniy olish. Texnik, mul'ti-, poli- va mikrokristal kremniy. Amorf kremniy. Kremniy plastinalarini olish usullari.	2
13	Quyosh elementlari tayyorlash texnologik liniyalari. Xomashyolar. Kremniy sterjenlarini o'stirish. Plastinalar olish va ularga mexanik va kimyoviy ishlov berish. Sirtni teksturlash. Diffuziya orqali emitterni shakllantirish. Chekkaparni izolyatsiyalash. Nurqaytarish qatlamlarini qoplash.	2
14	Elementlar parametrlarini o'lchash va baholash. r-n-o'tish chuqurligini o'lchash. Elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash. Tayyor elementlar parametrlarini o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblash.	2
15	Fotovoltajka materialshunosligi. Fotovoltajkada qo'llaniladigan boshqa yarimo'tkazgich materiallari. Konstruktsion va texnologik materiallar. Birinchi, ikkinchi va uchinchi avlod fotoelementlari.	2
	Jami	30

III. Laboratoriya ishlari bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar.

Laboratoriya mashg'ulotlaridan ko'zlangan maqsad va vazifalar - bu fan bo'yicha olingan nazariy bilimlar asosida turli tajribalar o'tkazish, olingan natijalarni qayta ishlash va tahlil qilish, tahlil natijalari bo'yicha ilmiy asoslangan xulosalar chiqarish ko'nikmalarini shakllantirishdan iborat. "Fotovoltajkaning fizik asoslari" fani bo'yicha laboratoriya ishlari tavsia etiladigan mavzulari:

1. Quyosh elementlarini VAXni o'rganish.
2. Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Qiska tutashuv toki.
3. Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Salt yurish kuchlanishi. To'ldirish koeffitsienti.
4. Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Foydali ish koeffitsienti.
5. Quyosh elementlarni parallel va kema-ket ulash. Quyosh elementlarini VAX.

Laboratoriya ishlari maxsus qurilmalar bilan jihozlangan laboratoriya xonalarida bajariladi.

Laboratoriya ishlari soatlarining mavzular bo'yicha taqsimlanishi

2-jadval

№	Mavzu, qo'llaniladigan axborot va zamonaviy pedagogik texnologiya usullari	Soat
1	Quyosh elementlarini VAXni o'rganish.	2
2	Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Qiska tutashuv toki.	2
3	Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Salt yurish kuchlanishi. To'ldirish koeffitsienti.	2
4	Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Salt yurish kuchlanishi.	2

	To'ldirish koeffitsienti.	
5	Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Foydali ish koeffitsienti.	2
6	Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Foydali ish koeffitsienti	2
7	Quyosh elementlarni parallel va kema-ket ulash. Quyosh elementlarini VAX.	2
8	Quyosh elementlarni parallel va kema-ket ulash. Quyosh elementlarini VAX.	2
	Jami	16

IV. Seminar mashg'uloti bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar.

Seminar mashg'ulotlarida "Fotovoltaikaning fizik asoslari" kursining fundamental asoslarini chuqurroq o'rganishga yordam beradigan mavzular muhokama o'linadi. Muhokama paytida mamlakatimizda qaysi ilmiy tekshirish institutlari yoki oliy o'quv yurtlarida mavzuga tegishli gadqiqotlar olib borilishi aytiladi. Talabalarga ularning xohishlari bo'yicha seminarlarda yangi mavzular ko'rib chiqilishi mumkinligi ta'kidlanadi.

Seminar uchun tavsiya etiladigan mavzular:

1. Fotovoltaik effekt.
2. Quyosh energetikasi sohasida nanotexnologiyalarning o'rni.
3. Quyosh elementlari va batareyalarining samaradorligi, kamchiliklari va istiqbollari.
4. Quyosh elementlarida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning qo'llanilishi: yutuqlari va kamchiliklari.
5. Optik va rekombinatsion yo'qotishlar.
6. Quyosh elektr stantsiyalari.
7. O'zbekistonning o'ziga xos iqlimi va uning quyosh batareyalarni qo'llashdagi ahamiyati.

Seminar mashg'ulotlari soatlarining mavzular bo'yicha taqsimlanishi

3-jadval

No	Mashg'ulot mavzusi, qo'llaniladigan axborot va zamonaviy pedagogik texnologiya usullari	Soat
1	Fotovoltaik effekt.	2
2	Quyosh energetikasi sohasida nanotexnologiyalarning o'rni.	2
3	Quyosh elementlari va batareyalarining samaradorligi, kamchiliklari va istiqbollari.	2
4	Quyosh elementlarida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning qo'llanilishi: yutuqlari va kamchiliklari.	2
5	Optik va rekombinatsion yo'qotishlar.	2
6	Quyosh elektr stantsiyalari.	2
7	O'zbekistonning o'ziga xos iqlimi va uning quyosh batareyalarni qo'llashdagi ahamiyati.	2
	Jami	14

Seminar mashg'ulotlari taqdimot va savol-javob asosida o'tkaziladi

V. Mustaqil ta'lim va mustaqil ishlar.

Mustaqil ta'limning tahminiy mavzulari

1. Quyosh nuri xususiyatlari.
2. Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'rni.
3. Xalq xo'jaligida quyosh batareyalari ishlatilishining xududning geografik muxitiga va iqtisodiy rivojlanganligiga bog'liqligi.

4. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.

Mustaqil o'zlashtiriladigan mavzular bo'yicha talabalar tomonidan referatlar tayyorlash va uni ilmiy doklad ko'rinishida taqdimot qilish tavsiya etiladi.

Mustaqil ta'limining mazmuni va hajmi

4-jadval

№	O'quv dasturining mustaqil ta'limiga oid mavzular	Soat
1	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
2	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
3	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
4	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
5	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
6	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
7	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
8	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
9	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
10	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
11	Quyosh nuri xususiyatlari.	2
12	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
13	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
14	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
15	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
16	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
17	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
18	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
19	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
20	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
21	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
22	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
23	Hozirgi zamoy mikro- va nanoelektronikasida yarimo'tkazgichlar va dielektrlarning o'zni.	2
24	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
25	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
26	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
27	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh	2

	elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	
28	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
29	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
30	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
31	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
32	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
33	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
34	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
35	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
36	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
37	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
38	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
39	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
40	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
41	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
42	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
43	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
44	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
45	Nanoulcham qatlamli quyosh elementlari. Nanoulcham qatlamli quyosh elementlarining istiqbolli rivojlanishi.	2
	Jami	90

VI. Fan o‘qitilishining natijalari (shakllanadigan kompetentsiyalar)

O‘quv fanini o‘zlashtirish natijasida talaba:

Fotovoltaika materiallari: qattiq jismlar, metallar,

yarimo‘tkazgichlar, dielektrlarning elektr xossalari, ulardagi fizik jarayonlarning asoslarini bilishlari kerak.

- Elektr, kinetik, galvanomagnit, optik, fotoelektrik, barik, termik, radiatsion va h.k. hodisalarning mohiyati va tabiati; jarayonlardagi fizik kattaliklarning o‘rni va mohiyati, o‘lchov birliklarini taqqoslash; asosiy fizik va tamoyillarni, ilmiy tadqiqotda va amaliyotda qo‘llash usullari to‘g‘risida tasavvurga ega bo‘lishi kerak.

- Eksperimental va ilmiy tadqiqot qurilmalarining asosiy blok va modullarini, ulardan tashkil topgan laboratoriya ishlarini yig'ish, sozlash, o'lchashlarni bajarish va natijalarni hisoblash, eksperiment xatoliklarini hisoblash va hulosalashni bilishi kerak.

- Tajribalarda ishlatiladigan o'lchov asboblaridan to'g'ri va aniq foydalanish; fizik asboblar qurilmalarining ishlash tamoyilini fizik qonunlar asosida tavsiflashni bilishi kerak.

- Fotovoltaika materiallari: qattiq jismlar, metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektriklarning elektr xossalari, ulardagi fizik jarayonlarning asoslarini biladi.

- Eksperimental tajribalarni rejalashtirish, qo'llaniladigan sxemalar va ulardagi tarkibiy elementlarni tanlash, quyosh elementlarning asosiy parametr va xossalari eksperimental o'lchashni biladi.

- Olingan bilimlarni amaliyotga qo'llash, olingan o'lchash natijalari asosida mavjud tadqiqot ob'ektlarining qo'llanish chegaralarini aniqlash bo'yicha ko'nikmalarga ega bo'lishi kerak.

VII. Ta'lim texnologiyalari va metodlari:

- ma'ruzalar;
- interfaol keys-stadilar;
- guruxlarda ishlash;
- takdimotlarni kilish;
- laboratoriya ishlari

VIII. Kreditlarni olish uchun talablar:

Fanga oid nazariy va uslubiy tushunchalarni tuda uzlashtirish, taxlil natijalarini tugri aks ettira olish, organilayotgan jarayonlar xakida mustakil mushoxada yuritish va joriy, orapik nazorat shakllarida berilgan vazifa va topshiriklarni bajarish, yakuniy nazorat buyicha yozma ishni topshirish.

IX. Talabalar bilimni baholash

1. Talabalarning bilimni quyidagi mezonlar asosida:

- talaba mustaqil xulosa va qaror qabul qiladi, ijodiy fikrlay oladi, mustaqil mushohada yuritadi, olgan bilimni amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi, hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda – 5 (a'lo) baho;

- talaba mustaqil mushohada yuritadi, olgan bilimni amalda qullay oladi, fanning (mavzuning) mohiyati tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda 4 (yaxshi) baho;

- talaba olgan bilimni amalda qullay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatni tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda – 3 (qoniqarli) baho;

- talaba fan dasturini o'zlashtirmagan, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunmaydi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega emas deb topilganda – 2 (qoniqarsiz) baho bilan baholanadi.

2. Nazorat turlarini o'tkazish bo'yicha tuzilgan topshiriqlarning mazmuni talabaning o'zlashtirishini xolis (ob'ektiv) va aniq baholash imkoniyatini berishi shart.

№	Baholash turi	Topshiriqlar turi	Topshiriqlar soni	Har-bir topshiriq uchun ajratilgan ball	Jami ball	Oraliq va yakuniy baholash uchun jami ball	Oraliq va yakuniy baholash uchun saralash bali	
							ball	baho
1	1-Oraliq baholash	Ma'ruza, amaliy, laboratoriya (laboratoriya topshiriqlari asosida) va seminar mashg'ulotlardagi faolligi	10	1,5	15	40	23,99-0	2
		Mustaqil ish topshiriqlarini bajarish	5	4	20		24-27,99	3
		Yozma ish (test)	1	5	5		28-35,99	4
							36-40	5
2	2-Oraliq baholash	Ma'ruza, amaliy, laboratoriya (laboratoriya topshiriqlari asosida) va seminar mashg'ulotlardagi faolligi	10	1,5	15	40	23,99-0	2
		Mustaqil ish topshiriqlarini bajarish	5	4	20		24-27,99	3
		Yozma ish (test)	1	5	5		28-35,99	4
							36-40	5
Jami					80	80		
3	Yakuniy baholash	Yozma ish yoki test shaklida o'tkaziladi	Yozma ish bo'lsa 4 ta savol	5	20	20	11,99-0	2
							12-13,99	3
							14-17,99	4
							18-20	5
Жами					100	100		

Asosiy adabiyotlar

1. Fonash, S. J., Solar Cell Device Physics, Second Edition: Academic Press, pp. 400, 2010.
2. Wurfel, P., Physics of Solar Cells, 2nd, updated and expanded edition, Morlenbach, Germany, Wiley-VCH, pp. 183, 2009.
3. Власов С.И. Талипов Д.А. Нетрадиционные источники энергии. Ташкент, издательство Национального Университета Узбекистана. 2016.
4. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов Под ред. В.И.Виссарионова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
5. Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. Минск, БГУ, 2007г.

Qo'shimcha adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risidagi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-1947 - son farmoni.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi 2019 yil 8 oktabrdagi PF-5847-son Farmoni.
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Oliy va o'rta maxsus ta'lim tizimiga boshqaruvning yangi tamoyillarini joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi 2019 yil 11 iyuldagi PQ-4391-son qarori.
4. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "2019 — 2023 yillarda Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universitetida talab yuqori bo'lgan malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish va ilmiy salohiyatni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida" gi 2019 yil 17 iyundagi PQ-4358-son qarori.
5. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "Oliy ta'lim muassasalarida ta'lim sifatini oshirish va ularning mamlakatda amalga oshirilayotgan keng qamrovli isloxlarda faol ishtirokini ta'minlash bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi 2018 yil 5 iyundagi PQ-3775 -son qarori.
6. Колтун М.М. Солнечные элементы. М. Наука. 1987.
7. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л. 1989.
8. М.Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии М.: Издательский дом МЭИ 2018
9. Чопра К., Дас С. Тонко плёночные солнечные элементы. М. Мир. 1986.
10. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы. Теория и эксперимент. М. Наука. 1987.

Elektron manbalar

1. [http: www. gov.uz-](http://www.gov.uz)
- 2 www.infomag.ru
3. [www. zivonet.uz](http://www.zivonet.uz)
4. www.renewableenergymagazine.com
5. www.science.howstuffworks.com
6. www.pv-magazine.com

2. FANNING ASOSIY NAZARIY MATNI

MUNDARIJA

1-ma'ruza. Fotovoltaikaga kirish. Quyosh energiyasi. Quyosh nuri xususiyatlari. Nur xossalari.....	25
2-ma'ruza. Yarimo'tkazgichlar fizikasi. Yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalari. Energetik zonalar diagrammasi.....	39
3- ma'ruza. Asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi Yarimo'tkazgichlarni legirlash.....	42
4- ma'ruza. Generatsiya va rekombinatsiya. Nurning yutilishi. Yutilish koeffitsienti. Yutilish chuqurligi. Generatsiyaning jadalligi.....	47
5- ma'ruza. p-n-o'tish. Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar xarakati. Diffuziya. Yarimo'tkazgichlarda p-n-o'tishni shakllantirish.....	59
6- ma'ruza. Diod, diod kuchlanishi va diod tenglamasi. Ideal diod tenglamasini keltirib chiqarish. Fundamental tenglamalar.....	68
7- ma'ruza. Quyosh fotoelementi. Ideal quyosh fotoelementi. Fotoelement tuzilishi. Fototok generatsiyasi. Zaryad tashuvchilarni jamlanishi.....	72
8- ma'ruza. Fotoelement parametrlari. Spektral sezgirlik. Fotovoltaik effekt. Qisqa tutashuv toki. Salt ishlash kuchlanishi. VAX va uning tuldirish koeffitsienti.	80
9- ma'ruza. Qarshilik xarakteristikalari. Parazitik qarshilik effekti. Ketma-ket va parallel qarshiliklar. Temperatura ta'siri. Yorug'lik intensivligi ta'siri.	83
10- ma'ruza. Optik xususiyatlari. Rekombinatsiyani kamaytirish. Optik yo'qotishlar. Nurning qaytishiga qarshi koplamlar va ularning rangi. Sirt teksturasi.....	85
11- ma'ruza. Quyosh elementi strukturasi. Quyosh elementlarini tayyorlash. Kremniy asosidagi vuyosh elementining strukturasi, parametrlari, samaradorligi.	88
12- ma'ruza. Kremniy plastinalarini olish. Kremniyning turlari va ularni tozalash. Monokristall kremniy. Choxralskiy va zonalar eritish usullarida kremniy olish. ...	96
13- ma'ruza. Quyosh elementlari tayyorlash texnologik liniyalari. Xomashyolar. Kremniy sterjenlarini o'stirish.	98
14- ma'ruza. Elementlar parametrlarini o'lchash va baholash. r-n-o'tish chuqurligini o'lchash. Elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash. Tayyor elementlar parametrlarini o'lchash samaradorligini hisoblash	100
15- ma'ruza. Fotovoltaika materialshunosligi. Fotovoltaikada qo'llaniladigan boshqa yarimo'tkazgich materiallari. Konstruktsion va texnologik materiallar. ikkinchi va uchinchi avlod fotoelementlari	105
1-seminar mashg'uloti: Fotovol'taik effekt.....	111
2-seminar mashg'uloti: Quyosh energetikasi soxasida nanotexnologiyani o'rni..	117
3-seminar mashg'uloti: Quyosh elementlari va batareyalarining samaradorligi, kamchiliklari va istiqbollari.....	120
4-seminar mashg'uloti: Quyosh elementlarida yarimo'tkazgichlar va dielektriklarning qo'llanilishi: yutuqlari va kamchiliklari.	121
5-seminar mashg'uloti: Optik va rekombinatsion yo'qotishlar.....	122
6-seminar mashg'uloti: Quyosh elektr stantsiyalari.....	123
7-seminar mashg'uloti: O'zbekistonning o'ziga hos iqlimi va uning quyosh batareyalarini qo'llashdagi ahamiyati	126
1-laboratoriya mashg'uloti: Quyosh elementlarini VAXni urganish	127

2-laboratoriya mashg'uloti: Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Qisqa tutashuv toki.....	141
3-laboratoriya mashg'uloti: Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Salt yurish kuchlanishi. To'ldirish koeffitsienti.....	146
4-laboratoriya mashg'uloti: Quyosh elementlarini o'rganish va parametrlarini aniqlash. Foydali ish koeffitsienti.....	149
5-laboratoriya mashg'uloti: Quyosh elementlarni parallel va kema-ket ulash. Quyosh elementlarini VAX.....	152

1-ma'ruza. Fotovol'taikaga kirish

Ushbu mavzuda fotovol'taikaga kirish, quyosh nuri xususiyatlari, nur xossalari, foton energiyasi, spektral nurlanish, yer atmosferasi tashqarisida quyosh nutrlanishi, yer sirtida quyosh nurlanishi obektlari tushunchalari bilan tanishtiriladi. Ularga tegishli talimotlar beriladi.

Asosiy savollar:

- 1.1. Quyosh energiyasi. Quyosh nuri xususiyatlari. Nur xossalari. Foton energiyasi.
- 1.2. Spektral nurlanish. Yer atmosferasi tashqarisida quyosh nutrlanishi. Yer sirtida quyosh nurlanishi. Quyosh harakati, quyosh vaqti, quyosh holati. Quyoshning og'ish, tik va azimutal burchaklari. Quyosh holatini hisoblash. Quyoshning ixtiyoriy va qiya og'ishi

Tayanch so'z va iboralar: fotovol'taika, yarimo'tkazgichlar, quyosh energiyasi, elektr o'tkazuvchanlik, yorug'lik, elektr energiyasi.

Darsning maqsadi: Magistrarga fotovol'taika fanining asosiy tushuncha va qonunlari haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

- 1.1.1. Fotovol'taika fanining predmeti haqida ma'lumot bera oladi.
- 1.1.2. Fotovol'taika fanini boshqa fanlar bilan bog'liqligini izohlay oladi.
- 1.3. Fotovol'taika fanining asosiy tushunchalari haqida ma'lumot bera oladi.

1-asosiy savolning bayoni: Kirish

Fotovoltaikaning fizik asoslari fanni o'qitishdan maqsad - quyosh energetikasi materiallaridagi fizik hodisalarning asosiy nazariyalari, printsiplari va qonuniyatlari bilan tanishtirishdan iborat.

Fanni o'qitishning vazifalari-talabalarda kelajakda mustaqil ilmiy tadqiqot va amaliy ishlab chiqarish jarayonlarida quyosh energetikasi materiallari sifatida yarimo'tkazgich materiallarni fizik-kimyoviy xossalari bo'yicha ajrata bilish, ish vazifasi talablariga mos keluvchi yarimo'tkazgich asboblarning xossa va parametrlarini nazariy hisoblay bilish va yarata olish o'quv va malakalarini hosil qilishdan iborat.

So'nggi yillarda O'zbekistonda quyosh energiyasidan elektr energiya manbai sifatida amaliy foyalanishga katta e'tibor bermoqda, chunki u barqaror rivojlanish va mamlakatning iqtisodiy raqobatbardoshligini hal qiluvchi omilidan biri bo'lib hisoblanadi. O'zbekistonning iqlim sharoitlari va geografik joylashuvi quyosh energiyasidan energiya manbai sifatida foydalanish kabi istiqbollarni taminlaydi.

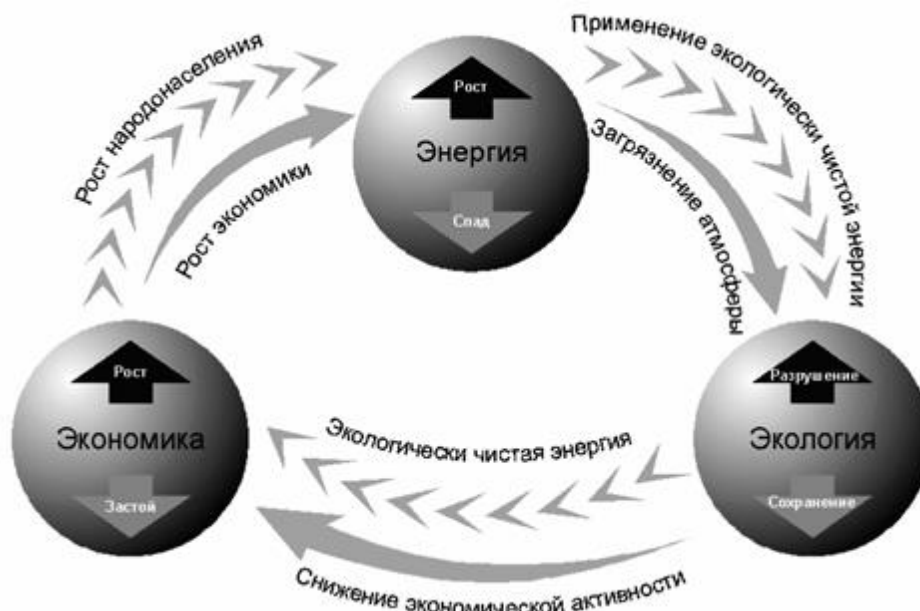
Bugungi kunda O'zbekistondagi tabiiy sharoit, quyosh energiyasi sohasida yangi texnologiyalarni joriy etish uchun samarali platforma bo'lib hisoblanadi, dunyoda erishilgan natijalardan yanada kengroq foydalanish va kengaytirishga imkoniyat yaratadi. Shu bilan birga, bu vazifalarni amalga oshirish uchun quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda bu sohasida malakali mutaxassislarni tayyorlashni kengaytirish va tubdan yaxshilashni hal qilishda muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

2017 yil 29 may kuni O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "2017-2021 yillarda qayta tiklanadigan energiyani rivojlantirish, iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy

sohada energiya samaradorligini oshirish chora-tadbirlari dasturi to'g'risida'gi qarori e'lon qilindi.

“Fotovaltaikaning fizik asoslari” fanni o'qitishdan maqsad – quyosh energiyasi va gebrid tizimlarni o'rganish, amaliy qo'llash prinsiplari va metodikalari bo'yicha bilim, malaka va ko'nikmalarni shakillantirishdan iborat.

“Fotovaltaikaning fizik asoslari” fanning vazifasi – magistr'larga quyosh energiya sining ishlatilish sohalari, qurilmalarning ishlash prinsiplari, texnologiyalari va konstruksiyalarining tushinish uchun quyosh energiya manbalarida sodir bo'ladigan turli elektrofizik hodisalar bo'yicha fizik jarayonlarni o'rganishda tadqiqot usuli yoki usullarini kompleks qo'llash, o'lchash va kuzatish natijalarini qayta ishlash va tadqiqot qilish asoslarini o'rganishdan iborat. Jumladan, bugungi kunda keng amaliy ahamiyatga ega bo'lgan energiya iqtisodiy tejamkor qurilmalardagi jarayonlarni modellashtirish va elektr uzatish texnologiyalarini rivojlanishi masalalarini hal qilishda samarali qo'llash malakalariga ega bo'ladilar.



Ras. 1. 1E- Trilemma energetkaning rivojlanishi [2, 5]

Zamonaviy energetkaning rivojlanishini 3E-tirilemma [2,5]deb ataladigan sxema bo'yicha tushuntirish mumkin (ras.1.1E). Iqtisodiyotni faollashtirish (E:Ekonomika) va aholini o'sib borishi energiyani(E:Energetika) ishlab chiqarishni oshirishni talab qiladi. Bu o'z navbatida ekologik (E:Ekologiya) muommoni, atrof – muhitni ifloslanishiga olib keladi. Agar teskarisi, ifloslanishni chiqindilarini cheklash amalga oshirilsa, bu iqtisodiyotni rivojlanishiga to'sqinlik qiladi. Bu trilemmani rivojlanishini amalga oshirishni faqat ekologik toza energiya ishlab chiqish orqala bajarish mumkin.

Energiya istemoli insoniyat jamiyat uchun harakterli holdir. Xozorgi vaqtgacha energetkaning rivojlanishida qiyinchilik sezilgan emas edi, chunki energiya ishlab chiqarish asosan foydali qazilmalar hisobiga (tabiiy gaz, neft', ko'mir) qazib olish hisobiga bo'lar edi, ishlatish qulay edi. Xozorgi vaqtda 75% elektr energiyani ishlab chiqarish mineral' va organik yonilg'ilarni yoqish hisobiga to'g'ri keladi. Energetika xozirgi kunda o'zining an'anaviy mahsulotlarining organik foydali qazilmalarni qazib olishning chegarasiga yaqinlashib qoldi. Bundan tashqari tabiiy gaz, neft', ko'mir

ximiya sanoatini rivojlanishi uchu eng kerakli mahsulot hisoblanadi. Energetikani yuqori suratlar bilan rivojlanishi saqlab qolish uchun an'anaviy foydali yonilg'i qazilmalari foydalanish qiyinlashib bormoqda. Energiya manbalarining mahsulotini yoqish va qayta ishlash hisobiga atrof muhit ifloslanmoqda, ko'mir va yadro yonilg'si hisobiga Yerning ekologik holati yomonlashmoqda. Xozirgi zamonaviy o'lchamlarda energiya ishlab chiqish iqlim o'zgarishini qaytmas halokatli oqibatlar keltirib chiqarishi mumkin.

Shularni hisobga olgan holda, qayta tiklanuvchan energiya ma'nalaridan foydalanishga qiziqishni oshiradi, undan keng foydalanish kelajakda Yerning ekologik balansiga ta'sir qilmaydi [1,2]. Qayta tiklanuvchan energiya ma'nalari to'g'risida gapirilganda (al'ternativ energetika) yoki muqobil energetika ma'nalari, birinchi navbatda quyosh energiyasi nazarga olinadi.

Bunga sabab, Yer atmosferasiga kiruvchi quyosh nurlanishining integral oqimi $2 \cdot 10^{17}$ Vt qiymatni tashkil qiladi. Bu vaqt davomida yig'indi dunyodagi barcha elektrostantsiyalarning quvvati

$3 \cdot 10^{12}$ Bt ni tashkil etadi, ya'ni 10^6 marta kichik bo'lgan. Bunday energiya turidan foydalanish atrof-muhitni ifloslantirishdan holi va planetamizning issiqlik balansini buzmaydi. Fotoelektrik usul yordamida energiyani almashtirish real' holda elektrostantsiya qurishda va uni ishlatishda arzon va yuqori samarali quyosh elementlaridan (QE) foydalanishga imkoniyat yaratadi. QE larini afzal va kamchiliklari mavjud. Asosiy afzal tomonlarini qarab chiqaylik:

- to'g'ridan to'g'ri quyosh energiyasini elektr energiyasiga almashtirish;
- quyosh energiyasining zaxiralari insoniyat istemol qilib ishlatadigan vaqtga nisbatan cheksiz ekanligi;
- energiyani markazlashmagan holda ishlab chiqarish, elektr uzatish liniyalarini uzunligini qisqartirish;
- ekologik havsiz;
- quruishda integratsiyalash (devorga, tomgao'rnatish mumkinligi);
- yuqori darajali ishonchli;
- harakatlanuvchi qismi bo'lmagani uchun xizmat ko'rsatish soddalashadi va muddati oshadi;
- yuqori kvalifikatsiyali xizmat talab qilinmaydi;
- amalda qurilmaning xar qanday quvvatini hosil qilish mumkin.

Asosiy kamchiliklari:

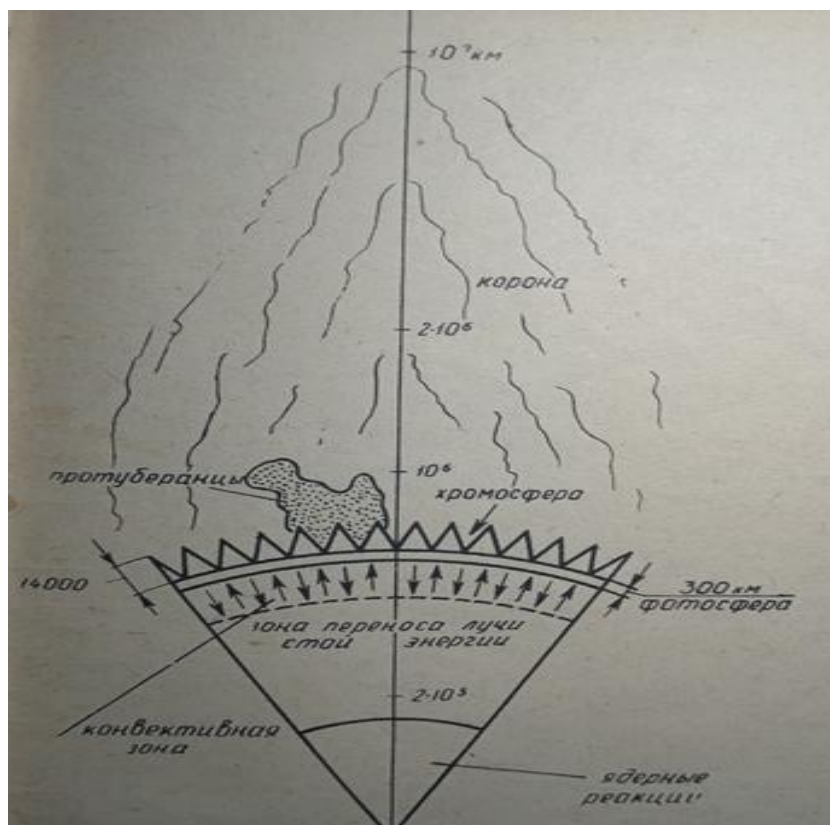
- elektr ishlab chiqarish yorug'lika bog'liqligi, QE dagi energiyani akkumulyatsiya qilishni talab qiladi, undan yorug'lik etarli bo'lmagan vaqtlarda foydalaniladi;

- elektr energiyaning baholanishi yuqori.

Yuqorida ko'rsatib o'tilgan kamchiliklar bo'lishiga qaramasdan, xozirgi kunda QE maxsus energetika sohalarida keng qo'lanilmoqda [1,3];

- energiya markazlardan uzoq joylarda, (ekspeditsiyalarda, navigatsiyada, kosmik qurilmalarda) ishlatilmoqda;
- katta bo'lmaga avtomatik hududlarda avtonom manba sifatida (aloqa tizimida, kuzatish tizimida, metiokuzatish tizimida, avtoyo'llarni nazorat qilishda, navigatsiyada va signal belgilarida, elektron qurilmalarda va boshqa sohalarda);

Hozirgi vaqtda qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan olinayotgan elektr quvvati mamlakatimizda umumiy ishlab chiqarilayotgan energiya hajmining atigi o'n foiziga to'g'ri kelmoqda. Prezidentimiz O'zbekistonda nihoyatda katta salohiyat mavjud bo'lishiga qaramasdan, quyosh va shamol singari qayta tiklanuvchi energiya manbalari imkoniyatlaridan to'liq darajada foydalanilmayotgani ta'kidlab o'tidi. Iqtisodiy tarmoqlar va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejavchi texnologiyalar va qyta tiklanuvchi energiya manbalarini keng joriy etish davlat siyosatining hozirgi bosqichidagi dolzarb yo'nalishlaridan biri bo'lib qolmoqda.



1.2-рasm. Quyoshning tuzilishi

Quyosh spektri. Keyingi yillarda Quyoshning massasi, temperaturasi va fizik tabiatini o'rganish borasida yig'ilgan ma'lumotlar Quyosh to'g'risidai bizga yetarli darajada aniq tasavvur hosil qilish imkonini berdi. Yerdagi ko'pgina fizik va biologik hodisalar Quyosh ta'siri tufayli sodir bo'ladi.

Quyosh sokin bir osmon jisidek ko'rinsa-da, aslida u yirik va quvvatli fizik jarayonlarni "boshidan kechirayotgan" yulduzlardan biri hisoblanadi. Shu tufayli Quyoshni o'rganish har jihatdan barcha tabiiy fanlari uchun, ayniqsa, fizika fani uchun juda katta ahamiyatga ega.

Quyosh milliardlab yulduzlarning bir vakili bo'lib, kattaligi va temperaturasiga ko'ra o'rtacha yulduzdir. Astronomiyada Yerdan Quyoshgacha bo'lgan masofa aniq o'lchanib (149,6 million kilometr), u uzunlik o'lchovining birligi sifatida qabul qilingan va bir astronomic birlik (1a.b.) deb yuritiladi. Nur bu masofani 8,5 minutda bosib o'tadi. Quyoshning diametri 1 million 400 ming kilometr bo'lib, Yer diametridan tahminan 110 marta katta. Quyosh sirtining temperaturasi Selsiy shkalasida 5800 gradus atrofida bo'lib, bu temperature markazga tomon ortib boradi va uning yadrosida Quyosh taxminana 16 million gradusga yetadi. Quyoshning 1

sekund davomida chiqarayotgan energiyasi $4 \cdot 10^{26}$ J bo'lib, 12 ming trillion tonna ko'mirni yoqishda ajraladigan energiya miqdoriga tengdir. Uning Yerga tushayotgan energiyasining miqdori ham kam bo'lmasa-da, biroq u Quyoshdan ajralayotgan butun energiyaning atigi 2 milliarddan bir qismini tashkil qiladi.

Quyoshning markazida bosim 200 milliard atmosferaga yetadi. Uning o'rtacha zichligi $1,41 \text{ g/sm}^3$. Quyosh ulkan temperaturali olov shardan iborat bo'lib, uni tashkil qilgan gaz oddiy gazlarga nisbatan o'z xususiyatlarini bilan keskin farq qiladi va *plazma* deb yuritiladi. Plazma holatida modda ionlashgan atomlar va erkin elektronlardan iborat bo'ladi. Bunday qaynoq yuqori temperaturali zich plazma tutash spektrni beradi. Biroq bunday nurlanish Quyoshning atmosfera qatlamidan o'tishida, turli atomlar tomonidan mos to'lqin uzunliklardagi nurlarning yutilishi tufayli Quyosh spektri chiziqli yutilish spektriga aylanadi (1.2-rasm).

1938 yilda G.Bete (AQSH) Quyoshning energiya manbai yadro reaksiyasi degan fikrni aytdi. Quyosh markazida 20 mln. gradus va uning zichligi 115 g/sm^3 bo'lgan moddadan yadro vodorod (H) o'zaro uglerod bilan ta'sirlashib azot izotopi va gamma-kvantga aylanadi:



Gamma-kvantning bir qism energiyasi nurlanadi. Azotning beqaror atomi 14 min. dan so'ng og'ir uglerod izotopiga aylanadi. Bunda bir proton neytronga aylanadi, positron va neytrino chiqaradi:



Reaksiya natijasida uglerodning og'ir izotopi vodorod va ikkinchi protonni yutib azot va gamma - kvant hosilqiladi:



O'z navbatida azot, bir protonni yutib, yengil kislorod va gamma -kvantga aylanadi:



Yengil kislorod izotopi azotga aylanadi:

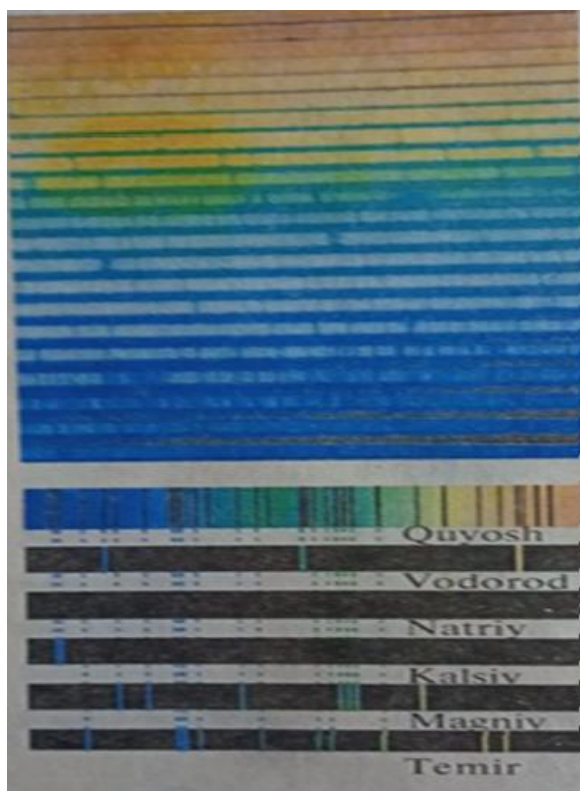


Oxirida



To'rt vodorod yadrosini yo'qolishi natijasida geliy yadrosi hosil bo'ladi va bu holda C_6^{12} bu reaksiyada faqat katalizator vazifasini bajaradi. 1 kg vodorod geliyga aylanishida ajralib chiqan energiya, 15 000 tonna tosh ko'mir yonganda ajralib chiqan energiyaga ekvivalentdir. Termoyadro reaksiyasi proton-proton siklda ham borishi mumkin, ikki vodorod yadrosi qo'shilishi natijasida deytan - og'ir vodorod yadrosiga aylanadi, positron va gamma-kvant hosil bo'ladi:





1.3-rasm. Quyosh spektri. Yuqorida: qulaylik uchun qismlarga ajratilgan; pastda: uning turli kinyoviy elementlarga mosligi.

Deyton bilan vodorod reaksiyasi geliy va gamma-kvant hosil qiladi:



Reaksiya natijada yengil geliy hosil bo'ladi, geliy geliy bilan ta'sir qilganda beriliy va gamma –kvant hosil bo'ladi:



Beriliy bilan elektron birikishi natijasida litiy va gamma-kvant hosil bo'ladi:



Litiy bilan vodorod ta'sirlashganda ikkita geliy atomi hosil bo'ladi:



Agar C-N sikli bo'yicha termoyadro reaksiyasi borsa reaksiya yadro markazida bo'ladi, proton-proton sikli bo'yicha borsa termoyadro reaksiya qolgan hamma qismlarda bo'lishi mumkin. Quyoshning aniqlangan yoshi salkam 5 milliard yilni ko'rsatadi. Bunday katta davr davomida tinimsiz nurlanayotgan Quyoshning yo'qotadigan energiyasi qanday fizikjarayon hisobiga to'latib, turilishi muommosini hal qilish, asriy orzulardan hisoblanadi. Bu to'g'rida turli fikrlar, o'nlab ilmiy gipotezalar tug'ildi. Biroq ko'pi o'zini oqlamadi. 1938-1939 yillarda A.Edington, K. Veyszekker va G.Byoteler yoritgichlarning energiya manbayi bo'la oladigan yadroviy reaksiyalarning nazariy hisob –kitobi ishlab chiqildi.

Quyoshning markaziy qismi- yadro, uning ichki qismida termoyadro reaksiyasi sodir bo'ladi. Yadroning radiusi 0,3 Quyosh radiusiga teng. Nurlanish energiyasini uzatuvchi zona-u 0,3 dan 0,9 gacha Quyosh radiusiga teng. Bu zonaning o'rtacha temperaturasi 5 mln gradusdan kamroq, bosimi -10 mlard atmosfera. Bunday holda yadro reaksiyasi bo'lmaydi. Bu zona yadroda ajralgan nurlanishni uzatadi halos.

2-savol bo'yicha dars maqsadi: Magistr'larga issiqlik nurlanish haqida ma'lumot berish.

Identiv o'quv maqsadlari:

1.2.1. Issiqlik nurlanishi haqida malumot bera oladi

2-asosiy savolning bayoni:

Nurlanish issiqligi yoki nurning issiqligi tushunchasi o'zida elektromagnit nurlanishning bir shaklini ifodalaydi. Elektromagnit to'lqin - vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchi elektromagnit signal bo'lib, u elektr va magnit maydon tashkil etuvchisidan tashkil topadi. Uni tarqalishi uchun vaqt kerak bo'ladi, uning kuchlanish vektori tarqalishda elektr maydon va magnit induksiya yo'nalishiga parallel bo'ladi.

Elektromagnit to'lqinlarining tarqalish tezligi Maksvell nazariyasidan aniqlanishi mumkin:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}, \quad (1.14)$$

bu erda ϵ_0 - elektr maydon doimiysi, μ_0 - magnit maydon doimiysi. Shuni takidlash lozimki, bu yerda tezlik, masalan suvdagi to'lqin tezligi yoki tovush to'lqin tezligi kabi chastotaga bog'liq emas. Amalda elektromagnit to'lqinlarini har qanday to'lqin uzunligida uyg'otish va uni kuzatish mumkin. 1.1.-jadvaldan foydalanib turli to'lqin uzunligi uchun issiqlik nurlanishining xarakterini aniqlash mumkin.

1.1-jadval. Nurlanish hosil qiluvchi molekulyar va atom hodisalari

To'lqin uzunligi, m	Nurlanishning xarakteri	Hodisa
10^{-5} dan kichik	Radioaktiv	Radioaktiv atom yadrosini uyg'ongan holatga o'tishi
10^{-5} - 10^{-3}	Rentgent	Atomdagi ichki elektronning trayektoriyasini o'zgarishi
10^{-3} - $0,4$	Ultrabinafsha	Atomdagi tashqi elektronning trayektoriyasini o'zgarishi
$0,4$ - $0,7$	Ko'rinuvchi nurlar	Atomdagi tashqi elektronning trayektoriyasini o'zgarishi
$0,7$ - 10^2	Infraqizil	Molekulaning tebranishlar chastotasini va aylanish tezligini o'zgarishi

Elektromagnit to'lqinni shakillanishi nuqtai nazaridan qaraganda juda muhim bo'lgan narsa, nurlanish tezlanuvchan zaryad hosil qiladi va zaryadning tezlanishida energiya magnit maydon o'zgarishiga sarflanadi.

Jismlarning temperaturalarini oshirish natijasida bo'ladigan nur sochishi issiqlik nurlanishi deyiladi va bu tabiatda keng tarqalgandir. Jismlarni turli xil usullar bilan yorug'lik nurini chiqarishga majbur etish mumkin. Tabiatda bo'ladigan elektr, magnit hodisalarning eng keng tarqalgan turi issiqlik nurlanishidir. Jismlarning temperaturasini oshirsak, jismdagi elektr zaryadlarining (elektron, proton, ionlar) tebranma harakati ortadi, avvalo qizaradi, temperaturasi pasaytirib borgan sari aksincha, teskari bo'ladi. Temperatura pasaya borgan sari jismni yutgan to'lqin uzunligi orta boradi.

Jismlarni nur chiqarish temperaturasi absolyut noldan farq qiladigan istalgan temperaturadagi barcha jismlarga xosdir. Har qanday jism nurlanishi bilan birga boshqa atrofdagi jismlar chiqarayotgan nur energiyasini bir qismini yutadi va yutilgan nur hisobiga jismlar isiydi.

Jismlar nur chiqarish yo'li bilan energiyasini yo'qotib, nur yutish natijasida energiya olib issiqlik muvozanati vujudga keladi. Jismlarni nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlarini miqdoriy baholash uchun quyidagi xarakteristikalari kiritiladi. Jismni to'la nur chiqarish qobiliyatini $-E$. Bu jism sirtini birlik yuzidan 1 sekunda chiqariladigan energiya kattaligidir. Jismni to'la nur yutish qobiliyatini $-A$. Bu jismning yutgan nuriy energiyasining shu jismga to'shayotgan hamma nurlar energiyasiga nisbatidan iboratdir. U o'lchovsiz kattalikdir. Tajriba ko'rsatadiki, jismlarning chiqargan nur energiyasini miqdori turli xil to'liq uzunliklari uchun turlicha bo'ladi. Shuning uchun spektral nur chiqarish va spektral nur yutish qobiliyati degan tushuncha kiritiladi. Jismlarni spektral nur chiqarish qobiliyati $-E_\lambda$ to'liq uzunligini tor intervali $\lambda - \frac{\Delta\lambda}{2}$, dan $\lambda + \frac{\Delta\lambda}{2}$ gacha bo'lgan oraliqqa aytiladi. Jismlarning nur yutish qobiliyati $-A_\lambda$. Barcha real jismlarni nur yutish qobiliyati 1 dan kichik bo'ladi. Masalan: spektrning ko'rinadigan qismida alyuminiy 0,1; mis 0,5; suv 0,67 nur yutish qobiliyatiga ega bo'ladi. O'ziga tushuvchi hamma nur energiyasini har qanday temperaturada butunlay yutadigan jismni absolyut qora jism deyiladi $A_\lambda=1$. Qora kuya absolyut qora jismga misol bo'la oladi va uning qiymati $A_\lambda=0,95$. Absolyut qora jismga ichki sirti qoraytirilgan va devorida kichik teshigi bor, berk dumaloq jismni misol qilib olish mumkin. Jismlarni nurlanish muvozanati nur chiqarish va nur yutish qobiliyatlarini mos ravishda E' , E'' va A' , A'' orqali belgilasak, birinchi jism yuza birligidan 1 sekunda ikkinchi jismga qaraganda n marta ko'p energiya nurlanadi.

$$E' = nE'' \quad (1.12)$$

Bu vaqtda birinchi jism 2-chi jismga nisbatan n marta ko'p energiya yutishi kerak.

$$A' = nA'' \quad (1.13)$$

Keyingi ikki tenglamani nisbatidan foydalansak,

$$E'/A' = E''/A'' \quad (1.14)$$

Agar izolyatsiyalangan sistema nur chiqarish qobiliyatlari E' , E'' , E''' , va nur yutish qobiliyati A' , A'' , A''' , o'lgan jismlardan iborat bo'lsa, bu jismlardan birtasi absolyut qora jism bo'lsa, u vaqtda

$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''} = \frac{E'''}{A'''} = \dots \varepsilon \quad (1.15)$$

ε - absolyut qora jismning nur chiqarish qobiliyati.

Agar jism biror to'liqinni uzunligini yutmasa, u holda bu jism o'sha to'liq uzunligida nur chiqarmaydi $E_\lambda = A_\lambda \cdot \varepsilon_\lambda$, $A_\lambda=0$; $E_\lambda=1$. Agar jismning nur yutish qobiliyati A va absolyut qora jismni nur chiqarish qobiliyati ε ma'lum bo'lsa, (1.14) formuladan uning nur chiqarish qobiliyatini aniqlashga imkon beradi.

Absolyut qora jismning nazariy jihatdan tushuntirish fizikada juda katta ahamiyatga ega bo'lib, u energiya kvanti tushunchasini kashf etilishiga sababchi

bo'ldi. $f(\nu, T)$ funksiyaning ko'rishini nazariy jihatdan keltirib chiqarish uchun sarf bo'lgan mehnatlar uzoq vaqt masalani umumiy yechimini bera olmadi. 1879 yili avstriyalik fizik Stefan tajriba natijalarni tahlil qilib ko'rib, istalgan jismning energiyaviy yorituvchanligi absolyut haroratning to'rtinchi darajasiga mutanosib degan fikrga keldi.

Absolyut qora jismning nurlanish maksimumi $T=1259^0$ K da λ_{\max} infraqizil nurlanishga to'g'ri keladi. Jismning to'la nur chiqarish qobiliyati- ε ning temperaturaga bog'liqligi Stefan –Boltsman qonunini ifodalaydi. Bu qonun ta'rifi: absolyut qora jismning to'la nur chiqarish qobiliyati absolyut temperaturasining to'rtinchi darajasiga proporsionaldir.

$$\varepsilon = \sigma T^4, \quad (1.16)$$

$$\varepsilon(\nu, T) = \int_0^{\nu} \varepsilon(\nu, T) d\nu = \sigma T^4. \quad (1.17)$$

$\varepsilon(\nu, T)$ -absolyut qora jism uchun nur sochish oqim zichligi, uning birligi $[\varepsilon] - J/m^2 \cdot s$. Bu yerda σ - Stefan –Boltsman doimiysi. $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Vt m}^{-2} \text{ gr}^{-4}$. T-absolyut harorat

Issqlik nurlanishini hosil bo'lishi, jismlardagi atomlar issqlik ta'siri ostida tezroq harakatlanadilar, qattiq materiallarda esa muvozanat holatga nisbatan tezroq tebranadilar. Bunda harakatlanuvchi atomlar to'qnashadilar. Elastik bo'lmagan to'qnashishlar natijasida ichki energiya bir yoki ikki atomda ham ortadi va harakat energiyasi kamayadi. Imkoniyatlardan biri ortib boruvchi ichki energiyani – elektromagnit to'lqin shaklida nur chiqarishdir. Nurlanish vaqtida atomdagi elektron qobig'i mikroskopik antena kabi tebranadi. Elektromagnit nurlanish boshqa atomni uyg'otadi yoki jismni tashlab chiqib ketadi; bu issqlik nurlanishidir. Atomlar har qanday temperaturada harakatlanadi, shunga ko'ra hamma jismlar har qanday temperaturada issqlik chiqaradi. Elektromagnit to'lqin energiyasi, ya'ni nurlanish kuchi, berilgan temperaturada to'lqin uzunligiga bog'liq bo'ladi. Chiqish energiyasi xarakterli λ_i to'lqin uzunligida eng katta bo'ladi, bunda egri shakl “energiya-to'lqin uzunlik” ideal holda jismning nurlanishi faqat temperaturaga bog'liq bo'ladi va materialga bog'liq bo'lmaydi. Chiqaruvchi energiyaning maksimal to'lqin uzunligi, mos ravishda quyidagi munosabat bilan ifodalanadi

$$\lambda_i = \frac{b}{T}, \quad (1.18)$$

b-materialga bog'liq bo'lmagan doimiy, $0,2884 \cdot 10^{-2} \text{ m/K}$. Bu Vin qonuni deb ataladi.

1893 yil nemis fizigi Vin tomonidan yaratilgan to'lqin uzunligi λ_{\max} temperaturaga bog'liqligi Vin qonuni bilan umumiy quyidagicha ifodalash mumkinifodalanadi.

$$f(\nu, T) = \nu^2 F\left(\frac{\nu}{T}\right), \quad (1.19)$$

Bu yerda F-chastotaning temperaturaga nisbatining noma'lum funksiyasi. Grafikdan Vin qonuni izohlaylik buning uchun, ko'mirning turli temperaturalarda nurlanish spektridagi energiya taqsimoti olamiz. Grafikdan temperaturani ortishi

bilan nur chiqarish qobiliyati orta borishinni ko'rish mumkin. λ_{\max} to'liq uzunligi esa kamayadi, taqsimot egri chiziqni maksimumi chapga siljiydi.

Chiquvchi to'liqlarning alohida belgisi interferentsiya hodisasi, qutublanish qonuniyatlari, o'tish va qaytish hamma haqiqiy elektromagnit to'liqlar spektriga hamda issiqlik nurlanishi o'rinli. Nurlanish energiyasining xarakterli xususiyati, boshqa asosiy issiqlik uzatish turlaridan farqi, bu yerda oraliq uzatuvchi moddaning yo'qligidir, aksincha, bo'shliqda to'liq tarqalishi maksimal bo'ladi. Jismning birlik sirtidan o'tuvchi energiya zichligi q_e ni aniqlashda, energiya oqimlarining alohida to'liq uzunligi yig'indisidan foydalanish mumkin:

$$q_e = \int_0^{\infty} I_e d\lambda, \quad (1.20)$$

$I_e = I_e(\lambda, t)$ to'liq oqimning energiyasi temperaturaga bog'liq bo'ladi:

$$q_e = q_e(T). \quad (1.21)$$

Tushuvchi nurlanish materialda yutilishi yoki sochilishi mumkin, nurlanishning xarakteriga bog'liq holda materialdan o'tishi ham mumkin. Jism Q_0 hamma tushuvchi energiyani yutsa, uni "absolyut qora jism" deb ataladi, uning absorbtсион hossasi $Q_0 = Q_a$

$$a = \frac{Q_a}{Q_0} = 1. \quad (1.22)$$

Plank qonuniga ko'ra absolyut qora jismning spektral nurlanish intensivligi, $W/(M^2 \cdot m)$

$$I_e = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/T} - 1}. \quad (1.23)$$

Bu yerda $c_1 = 2\pi^5 c^2 h^3 / 15 = 3,73 \cdot 10^{-16} W \cdot m^2$; $c_2 = ch/k = 1,44 \cdot 10^{-2} m \cdot J/K$; $k = 1,3804 \cdot 10^{-23} J/K$ Bol'tsman doimiysi; $c = 2,9979 \cdot 10^8$ m/s -yorug'likning bo'shliqdagi tarqalish tezligi; $h = 0,663 \cdot 10^{-33} J \cdot s$ -Plankning doimiysi yoki kvant ta'siri deyiladi..

Absolyut qora jismning spektral nurlanish intensivligi taqsimotini to'liq uzunligiga bog'lanishi turli T temperaturalardagi qiymatlari 1.1–rasmda berilgan. Absolyut qora jismning modeli, berk holatda devorda kichik tirqish bo'lgan uchun juda yaxshi mos keladi. Bu nurlanish kichik tirqish orqali o'tganda, devordan qayta qaytganda katta ehtimollik bilan to'liq yutiladi. Real materiallar orasidan absolyut qora jismlarga mos keladigani kuchli bo'laklangan, lekin yupqa nozik sirtli tuzilmalardan tashkil topgan jismlar kiradi. Vin qonuni orqali quyoshning temperaturasi ham aniqlash mumkin. Quyosh nurlanishining maksimum energiyasi to'liq uzunligi $\lambda_{\max} = 0,47$ mkm ga teng.

$$T = \frac{b}{\lambda_{\max}} = \frac{0,289}{0,47 \cdot 10^{-4}} = 6160K.$$

Demak, quyosh sirti harorati 6160^0K ga teng ekan. Stefan–Boltsman va Vin siljish qonunlari absolyut qora jism nurlanishining xususiy qonunlaridir. Ular turli temperaturalarda energiyani to'liq uzunliklari bo'yicha taqsimlanishining manzarasini bermaydi. D.U.Reley kyenroq D.D.Jins klassik stftistik fizirfsining teng taqsimlanish teoremasiga asoslandi va quydagi formulani taklif qildi.

$$E_v(T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT, \quad (1.24)$$

(1.24) formulani Reley - Jins formulasi deb ataladi. Reley - Jins formulasi energiyaning erkinlik darajasi bo'yicha teng taqsimlanish haqidagi klassik statistik teorema asosan $f(\nu, T)$ funksiyani aniqladi. Klassik fizika doirasida ko'p urinishlar bo'lgan, faqat 1900 yilga kelib nemis olimi M. Plank tomonidan $\varepsilon = f(\lambda, T)$ ko'rinishdagi formulani nazariy ravishda olishga muvaffaq bo'lgan. Plank g'oyasiga ko'ra elektromagnit to'lqin energiyasi alohida ossilyatorlarda yoki kvantlarda chiqishi va yutilishi mumkin.

Kvant energiyasi kattaligi ε , 2ε , 3ε va $n\varepsilon$ bo'lishi mumkin. Kvant energiyasi miqdori nurlanish chastotasiga to'g'ri proporsional

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (1.25)$$

bu yerda c – yorug'likning bo'shliqdagi tezligi, λ - yorug'lik to'lqin uzunligi. Masalan: yashil yorug'lik nuri uchun $\lambda = 0,555$ mkm. $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3,6 \cdot 10^{-19} J$. Barcha yorug'lik to'lqin uzunliklari uchun kvant energiyasini topish mumkin. Plank issiqlik nurlanish kvant xarakteri to'g'risidagi tasavvurga asoslangan holda absolyut qora jism nur chiqarishini quyidagi ifodasini olgan:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}, \quad (1.26)$$

k – Boltsman doimiysi, T – absolyut temperatura, e – natural logarifmlar asosi. Plank formulasi tajriba natijalariga mos keladi, bu formuladan Stefan-Boltsman va Vin qonunlarini keltirib chiqarish mumkin.

Absorbtsiya nuqtai nazaridan qaralganda, odatdagi issiqlik nurlanishida hal qiluvchi qiymatni sirtning nozik sitrukturasi belgilaydi. Juda tekis (polirovkalangan) sirt dan issiqlik nurlanishi qaytadi va qaytish darajasi (agar Q_r - energiya bo'yicha qaytish o'qimi) juda kichik bo'ladi.

$$r = Q_r / Q_0. \quad (1.27)$$

Kulrang qattaq jismlarda issiqlik nurlanishini o'tkazish qobiliyati

$$t = Q_t / Q_0, \quad (1.28)$$

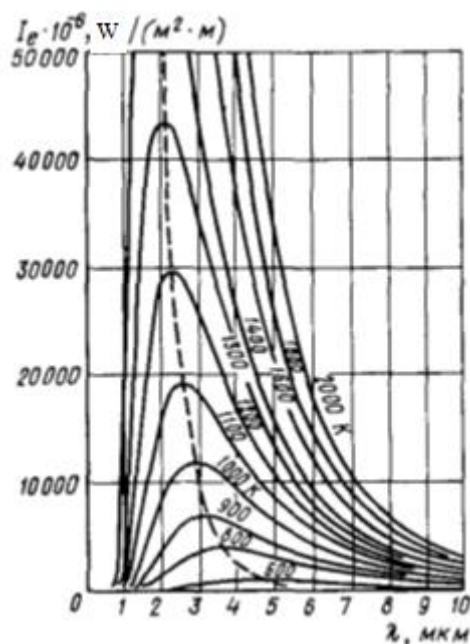
0 ga teng. Real jismlarda $a < 0$. Agar bunda $a = const$ va $\lambda = const$ bo'lsa, qo'llaniladigan terminologiyaga ko'ra “kulrang jism” deb ataladi. Lekin real jismlarda $a = a(\lambda, T, \varphi) \neq const$ (1.2-rasm). U holda kulrang jismni nurlanish modeli deb hisoblash mumkin (bunda φ nurlanish yo'nalishini xarakterlovchi burchak). Shunga ko'ra

$$a(\lambda, T, \varphi) + r(\lambda, T, \varphi) + t(\lambda, T, \varphi) = 1 \quad (1.29)$$

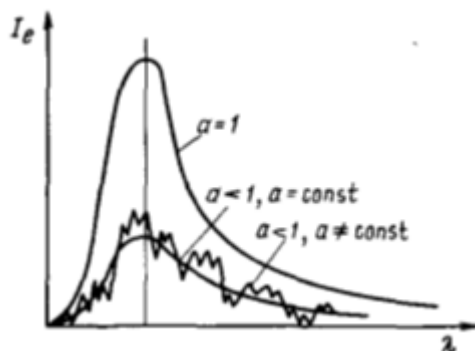
Agar “kulrang” jism $a < 0$ bo'lsa, tushuvchi energiyaning bir qisminigina yutadi, lekin $Q_a = aQ_0$ bo'lib, issiqlik muvozanatida bo'ladi, ya'ni u shuncha miqdor energiya chiqaradi $Q_e = aQ_0$, nisbiy nurlanish koeffitsienti esa

$$\varepsilon = Q_e / Q_0 = a. \quad (1.30)$$

Shu sababli, jismlarning issiqlik muvozanatlanish xususiyatidan nurlanish va absorbiyalash issiqligi tengligi (Kirixgof qonuni) kelib chiqadi.



1.4-rasm. Nurlanishning spektral intensivligi egriligi absolyut qora jism ($a=1$), kulrang jism ($a < 0, a = \text{const}$) va real jismlar ($a < 0, a \neq \text{const}$) uchun (Imre ma'lumotiga asosan) keltirilgan.



1.5-rasm. Absolyut qora jism nurlanishi intensivligining Plank taqsimoti (Imre ma'lumotiga asosan) keltirilgan.

Jismning xarakteristikasining qiymati 1 ga ko'proq taqriban yaqinlashsa, absolyut qora jismga o'xshash bo'ladi, ε ni qoralik darajasi deb ataladi. $a = a(\lambda, T, \varphi)$ bo'lsa, $\varepsilon = \varepsilon(\lambda, T, \varphi)$ bo'ladi.

ε ning normal sirtga mos tushuvchi nurlanish qiymatlari ($\varphi = 0$) turli temperaturalarda 1.2-jadvalda berilgan.

1.2-jadval. Normal sirtga tushayotgan nurlanishning turli materiallarda qoralik darajasi

Material	Temperatura $T, ^\circ\text{C}$	ε ning qoralik darajasi
1. Alyuminiy:		
shlefovka qilingan	225-575	0,030-0,057
g'adir-budir	26	0,055
60 ⁰ C temperaturada oksidlangan	200-600	0,11-0,19
volframli ip	3300	0,39
2. Temir:		
quyilgan	925-1115	0,87-0,95

tekis oksidlangan	115-525	0,78-0,82
shlefovka qilingan	425-1020	0,242
3.Po'lat:		
varaqli shlifovka qilingan	940-1100	0,52-0,61
varaqli polirovka qilingan oksid bilan	25	0,82
oksidlangan, g'adir-budir	40-370	0,94-0,97
4.Cho'yan:		
eritilgan	1300-1400	0,29
qayta ishlangan	830-990	0,6-0,7
polirovka qilingan	200	0,21
5.Latun:		
prokatli	22	0,06
varaqli, xiralashtirilgan	50-350	0,22
polirovkalangan	245-375	0,028-0,37
6.Mis:		
Elektrolitik shlifovka	80-115	0,018-0,023
yaltilatilgan	22	0,072
600 ⁰ C temperaturada oksidlangan	200-600	0,57-0,87
eritilgan	1075-1275	0,16-0,13
7.Qo'rg'oshin:		
toza oksidlanmagan	125-225	0,057-0,075
kulrang oksidlangan	25	0,281
200 ⁰ C temperaturada oksidlangan	200	0,63
8. Kumush toza, shlifovka qilingan	225-625	0,0198-0,035
Oltin polirovka qilingan	225-625	0,018-0,035
9. Platina:		
toza, shlifovka qilingan varaq	225-625	0,054-0,104
ip	25-1230	0,036-0,192
10. Simob, juda toza	0-100	0,09-0,053
Rux :		
shlifovka qilingan tovar ko'rinishida	225-325	0,045-0,053
400 ⁰ C temperaturada oksidlangan	400	0,11
oksidlangan po'lat varaqqa polirovka qilingan	28	0,228
oksidlangan po'lat varaqqa kulrang polirovka qilingan	24	0,226
11. Qalay po'lat varaqqa polirovka qilingan	25	0,043-0,064
12. Molibdenli ip	725-2600	0,096-0,292
13. Nikel:		
toza shlefovka qilingan	225-375	0,07-0,087
600 ⁰ C temperaturada oksidlangan	200-600	0,37-0,48
nixrom	125-1034	0,64-0,76
14.suv	0-100	0,95-0,963
15.Asbest	24-374	0,93-0,96
16.Gips	20	0,906
17. Dub yog'ochi:		
o'tkirlangan	20	0,906
qayta ishlanmagan sirt	20-100	0,92-0,94
18. Kvarts eritilgan g'adir -budir	20	0,932
19. G'isht:		
qizil g'adir -budir	20	0,93
ko'zli shamotli	1100	0,75

yong'inga qarshi turuvchi	-	0,8-0,9
kulrang qog'oz (matovaya)	20-100	0,92-0,94
20. Suvoq g'adir-budir ohakli	10-18	0,91
21. Mramor kulrang shlifovka qilingan	22	0,931
22. Lak:		
23. Oq	40-95	0.8-0.95
24. Qora yaltiraydi	25	0.875
Qora yaltiramaydi	40-95	0.96-0.98
25. Rezina:		
Varaqli tekis	23	0.945
Engil kulrang g'adir-budir	24	0.859
26. Shisha tekis	22	0.937
27. Rubroid	21	0.910
28. Bitumlangan qog'oz	20	0.8-0.9
29. Ko'mir tozalangan, 0.9% zola tarkibli	125-625	0.81-0.79
30. Farfor emallangan	22	0.924
31. Oq emallangan po'lat varaqlar	19	0.897
32. Maslyanoy kraska turli rangda	100	0.92-0.96
33. Sham	95-270	0.952
34. Qora matovoy	75-145	0.91
35. Qora yaltiroq po'latli	21	0.821
36. Alyuminli kraska	10	0.27-0.67

Muhokama uchun savollar

1. Fotovol'taika qanday fan?
2. Quyosh energiyasining fizik obektlari deyilganda nimalar tushiniladi?
3. Foton energiyasi deyilganda nimalar tushiniladi?
4. Yer sirtida quyosh nurlanishi.
5. "Fotovol'taika" fanini o'qitishdan maqsad nima?
6. Nima sababdan "Fotovol'taika" fanining muommolari hozirgi vaqtda dolzarb bo'lib hisoblanadi? Sababini izohlang.

Adabiyotlar

1. Sims R.E.H. Renewable energy: a response to climate change // Solar Energy. 2004. Vol. 76. P. 9-17.
2. Sen Z. Solar energy in progress and future research trends // Progress in Energy & Combustion Science. 2004. Vol. 30. P. 367-416.
3. Gremenok V.F. Thin film solar cells based on Cu(In,Ga)Se₂ // Proceedings of the VI International Youth Environmental Forum "ECOBALTICA'2006", Saint-Petersburg, 27-29 June 2006 / SPbSPU; editors:M. Fiodorov [et al]. St.-Petersburg, 2006. P. 24-28.
4. McNelis B. The photovoltaic busines: manufactures and markets // Series on Photoconversion of Solar Energy. 2001. Vol. 1. P. 713-739.
5. Hamakawa Y. Solar PV energy conversion and the 21st century's civilization // Solar Energy Materials and Solar Cells. Vol. 74. 2002. P. 13-22.

2-ma'ruza. Yarim o'tkazgichlar fizikasi

Asosiy savollar:

2.1. Yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalari. Yarim o'tkazgichlarning optik xossalari.

2.2. Yarimo'tkazgich materiallar va ularning tuzilishi. Yarim o'tkazgichlarning yorug'likning yutishi va sochilishi. O'tkazuvchanlik.

Tayanch so'z va iboralar: metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektriklar, elektr o'tkazuvchanligi, temperatura, yorug'lik, optik xossalari, kvant nazariyasi, atom, molekula, kristall, spektroskopiya, texnika, energetika, materiya, to'lqin, zarra, dualizm, elektron, vakuum, energiya, massa, harakat miqdori.

Darsning maqsadi: Magistrarga quyosh elementlarining optikasi va spektraskopiya fanining asosiy tushuncha va qonunlari haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

2.1. Yarimo'tkazgichlar fizikasi haqida ma'lumot bera oladi.

2.2. Yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalarini izohlay oladi.

2.3. Yarim o'tkazgichlarning xossalari biladi: metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektriklar, modda, jism va energiya haqida ma'lumot bera oladi.

1-asosiy savolning bayoni: Yarim o'tkazgichlarning xossalari

Ushbu mavzuda yarim o'tkazgichlarning optik xossalari qarab chiqilgan.

Yarim o'tkazgichlarda xususiy o'tkazuvchanlik, aralashmali o'tkazuvchanlik.

Tabiatda shunday moddalar borki, ularning birlik hajmda elektronlar soni o'tkazgichlarga nisbatan kam, lekin izolyator (dielektrik)larga nisbatan ko'p. Shu sababli bunday moddalarni **yarimo'tkazgichlar** deb ataldi. Yarimo'tkazgich moddalarda temperatura ortishi bilan ularning solishtirma qarshiligi kamayadi. Juda past temperaturalarda yarimo'tkazgich modda dielektrik bo'lib qoladi. Metallarga yorug'lik ta'sir etganda ularning elektr o'tkazuvchanligi deyarli o'zgarmaydi. Yarimo'tkazgichga yorug'lik tushirilganda ularning elektr o'tkazuvchanligi ortadi.

Shunday qilib, yarimo'tkazgichlarning asosiy farqli tomonlariga elektr o'tkazish qobiliyatiga ko'ra metallar bilan dielektriklarning oraliq holatini egallaydi;

b) isitilganda va yorug'lik tushirilganda solishtirma qarshiligi kamayadi.

Yarimo'tkazgich xususiyatiga ega bo'lgan elementlarga germaniy, kremniy, tellur, selen va h.k.lar kiradi. Sizga kimyo fanidan ma'lumki, kimyoviy elementlar atom tuzilishi va xususiyatiga ko'ra, D. I. Mendeleyevning davriy jadvalida yarimo'tkazgich elementlar asosan III, IV va V guruhlarda joylashgan.

Yarimo'tkazgichlarning tuzilishi. Xususiy o'tkazuvchanlik.

Yarimo'tkazgichlarda elektr tokining tabiatini tushunish uchun, ularning tuzilishini bilish kerak. Buning uchun tarkibida hech qanday chet moddalar bo'lmagan toza kremniy kristalini qaraylik. Siz atom tuzilishi bilan tanishgansiz. Unda atomda elektronlar qobiq-qobiq bo'lib joylashishini ham bilib olgansiz.

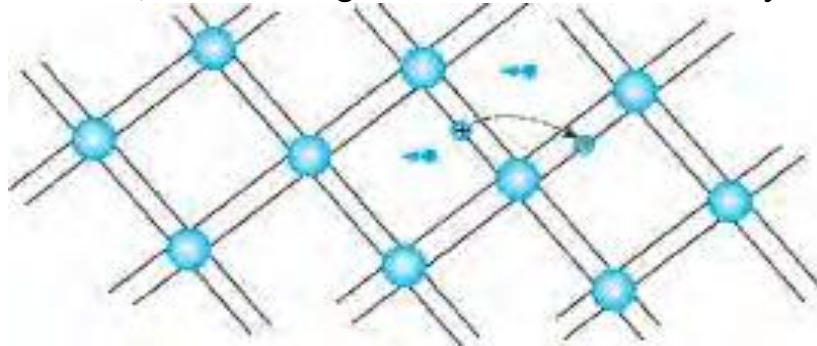
Kremniy atomida elektronlar qavatlar bo'yicha joylashganda uning eng tashqi qobig'ida to'rtta elektroni joylashadi. Qo'shni atomlar bir-birini shu elektronlar vositasida tutib turadi. Har bir atom qo'shni atom bilan o'zining bitta elektroni orqali bog'lanadi. Natijada ikkita atom o'zaro ikkita elektron orqali bog'lanadi. Bunday bog'lanishni **kovalent bog'lanish** deyiladi. Kovalent bog'lanishda qatnashayotgan elektronlarni **valent elektronlar** deb ham yuritiladi. Demak, valent elektronlar butun kristall atomlariga tegishli bo'ladi.

Elektron o'tkazuvchanlik. Past temperaturalarda juft elektronlar hosil qilgan bog'lanish kuchli bo'lib, uzilmaydi. Shu sababli past temperaturalarda kremniy elektr tokini o'tkazmaydi. Temperatura ko'tarilganda valent elektronlarning kinetik energiyasi ortadi. Ayrim bog'lanishlar uzila boshlaydi. Ulardan ayrimlari borib-kelib, yurgan yo'lidan chiqib, metalldagi kabi erkin elektronga aylanadi. Mazkur elektronlar elektr maydoni ta'sirida yarimo'tkazgich bo'ylab ko'chadi va elektr tokini hosil qiladi (2.1-rasm).

Erkin elektronlarning ko'chishi tufayli yarimo'tkazgichda tok hosil bo'lishiga **elektron o'tkazuvchanlik** yoki qisqacha **n-turdagi o'tkazuvchanlik** (lotin. *negativus* – manfiy) deyiladi.

Kovakli o'tkazuvchanlik. Kovalent bog'lanishda qatnashgan elektron chiqib ketgan joyda **kovak** hosil bo'ladi. Neytral atomdan manfiy zaryadli chiqib ketgan joy musbat zaryad ega bo'ladi.

Bo'sh kovakni kovalent bog'lanishdagi boshqa elektron kelib berkitadi. Lekin endi kovak boshqa joyda paydo bo'ladi. Shunday qilib, elektronning bir joydan ikkinchi joyga ko'chishida, kovaklarning ham nisbatan ko'chishi ro'y beradi.



2.1-rasm.

Elektr maydoni bo'lmaganda elektronlarning va shunga mos kovaklarning ko'chishi tartibsiz bo'ladi. Elektr maydoni qo'yilganda erkin elektronlar bir tomonga, kovaklar ikkinchi tomonga ko'chadi. Xuddi shunday yarim o'tkazgich boshida hosil bo'lgan kovakka qo'shni atomdan elektronning sakrab o'tishida musbat zaryadli kovak o'tkazgichning oxiri tomon siljiydi (2.2-rasm). Bunday o'tkazuvchanlikni yarimo'tkazgichlarning **kovakli o'tkazuvchanligi** yoki qisqacha **p-turdagi o'tkazuvchanlik** (lotin. *positivus* – musbat) deyiladi.

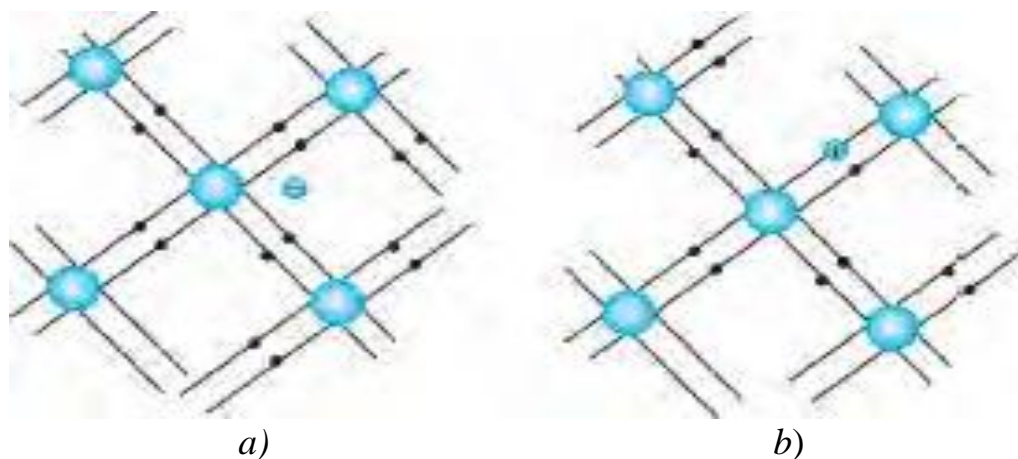


2.2-rasm.

Shunday qilib, sof (hech qanday aralashmalarsiz) yarimo'tkazgichlarda erkin elektronlarning harakati bilan bog'liq elektron o'tkazuvchanlik, kovaklar harakati bilan bog'liq kovakli o'tkazuvchanlik bo'ladi. Aralashmalarsiz, sof yarimo'tkazgichdagi o'tkazuvchanlikni **xususiy o'tkazuvchanlik** deyiladi. Bunda mazkur moddadagi elektron va kovakli o'tkazuvchanlik deyarli teng bo'ladi. Sof yarimo'tkazgichlarda erkin elektronlar va kovaklar soni kam bo'lganligidan elektr o'tkazish qobiliyati kichik bo'ladi.

Aralashmali yarimo'tkazgichlar: donorli aralashmalar. Endi sof yarimo'tkazgichli kremniyga ozgina aralashma kiritaylik. Dastlab kremniy atomlari orasiga besh valentli mishyak (As) kiritaylik. Bunda kremniyning to'rtta kovalent bog'lanish hosil qiluvchi elektroni o'rnini mishyakning to'rtta elektroni egallaydi. Mishyakning beshinchi elektroni bo'sh qolib, erkin elektronga aylanadi (2.3 a-rasm).

Natijada erkin elektronlar soni kovaklar sonidan ortiq bo'ladi. Yarimo'tkazgichning solishtirma qarshiligi keskin kamayadi. Bunda qo'shilgan mishyak atomlarining soni yarimo'tkazgich atomlari sonining o'n milliondan bir qismini tashkil etganda, erkin elektronlarning konsentratsiyasi (1 sm^3 ga to'g'ri kelgan elektronlar soni) sof yarimo'tkazgichnikiga nisbatan ming barobar katta bo'ladi. Qo'shilganda osongina elektronini beradigan aralashmalarni **donorli aralashmalar** deyiladi. Donorli aralashmalarda asosiy tok tashuvchi zarralar elektronlar bo'lganligi uchun, ularni ***n*-turdagi yarimo'tkazgichlar** deyiladi. Kovaklar bunday yarimo'tkazgichlarda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarga kiradi.



2.3-rasm.

Akseptorli aralashmalar. Sof yarimo'tkazgichli kremniyga indiy moddasini aralastiraylik. Indiy (In) uch valentli bo'lganligidan, uning uchta elektroni kremniy atomi bilan kovalent bog'lanish hosil qiladi. Bunda indiyning qo'shni atomlar bilan normal holdagi juft elektronli kovalent bog'lanish hosil qilishi uchun bitta elektron yetmaydi. Natijada kovak hosil bo'ladi. Kristallga qancha indiy atomi kiritilsa, shuncha kovak hosil bo'ladi (2.3 b-rasm).

Muhokama uchun savollar

1. Qanday xususiyatiga ko'ra ularni yarimo'tkazgichlar deb nomlashgan?
2. Elektron o'tkazuvchanlik qanday zarralarning harakati bilan bog'langan?

3. Elektron bilan kovak uchrashganda qanday hodisa ro'y beradi?

4. Nima sababdan yarimo'tkazgichning qarshiligi unga kiritilgan aralashmagakuchli darajada bog'liq?

5. Akseptor aralashmali yarimo'tkazgichda qanday zaryad tashuvchilar asosiy hisoblanadi?

D.I. Mendeleevning kimyoviy elementlar davriy sistemasi jadvalini oling. Undan III va V guruhdan aralashma sifatida ishlatilgan bo'ladigan elementlarni yozib oling. IV guruhdagi yarimo'tkazgich bilan aralashmali yarimo'tkazgich hosil bo'lish chizmasini chizing.

3- ma'ruza. Yarimo'tkazgichlarni legirlash. Asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi

Asosiy savollar:

1. Yarimo'tkazgichlarni legirlash.

2. Asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi.

Tayanch so'z va iboralar: nuqson, kirishma, taqiqlangan zona, kirishmaviy yutilish, akseptor va donor kirishmalar, zonalararo rekombinasiya, mahalliy rekombinasiya, sirtiy rekombinasiya, yopishish markazi, tuzoq, demarkasion sathlar

Darsning maqsadi: Magistrarga yarimo'tkazgichlarni legirlash va asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi haqida ma'lumot berish.

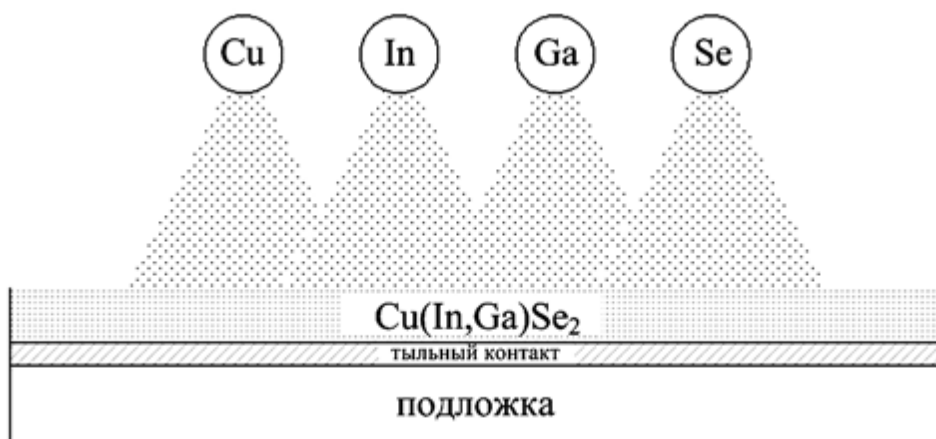
Idetiv o'quv maqsadlari:

1.1. Yarimo'tkazgichlarni legirlash haqida ma'lumot haqida ma'lumot bera oladi.

1.2. Yarimo'tkazgichlarning asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasini izohlay oladi.

1-asosiy savolning bayoni:

2. Yarimo'tkazgichlarni legirlash. Yarimo'tkazgich materiallarni legirlashda mos ravishda yarimo'tkazgichlarga qo'shimchalar kiritish orqali ularning hossalarni o'zgarishini samarali nazorat qo'lish tushiniladi. Yillar o'tishi bilan yarimo'tkazgichlarni legirlash bilan bog'liq bo'lgan muommolari bo'yicha bajarilgan ishlar soni ko'payib bormoqda. Ge va Si bilan birga, $A^{III}B^V$ turdagi birikmalar ham o'rganilmoqda, birinchi navbatda GaAs, InSb, GaSb lar o'rganilmoqda. Sun'iy olmos, $A^{II}B^{VI}$, $A^{II}B^{VI}C_2^V$ birikmalari, kremniy karbid, xal'kogenidlar ikkinchi va to'rtinchi D.I.Mendeleev davriy sistemasining grupp elementlari ustida ishlar olib borilmoqda. Yarimo'tkazgichni legirlash monokristallarni o'stirish jarayonida va epitaksial qatlamlarni eritmalarda, aralashmalarda gaz fazasida o'stirishda qo'laniladi. Legirlashning asosida diffuziya hodisasi va keying yillarda ionli legirlash ko'proq qo'lanilmoqda.



Ras.3.1. Cu(In,Ga)Se₂ da yupqa plenka hosil qilish, bir stadiyali bug'lantirish usulida

Yaimo'tkazgich kristallarida bir qator nuqsonlar bo'lishi mumkin. Yaimo'tkazgichning elektr xossalarini boshqarish maqsadida unga *kirishmalar* (tanlangan boshqa atom elementlari) kiritiladi. Bu nuqsonlar (jumladan, kirishmalar) elektronlar uchun yarimo'tkazgichning taqiqlangan zonasida yangi hodisalarni vujudga keltiradi, ular muayyan energiya sathlari va elektronlarni tutib olish kesimlariga ega bo'ladilar (3.1-rasm). Yarimo'tkazgichlarda yorug'likning yutilishi undagi kirishma markazlarini ionlanish yoki uyg'onishga olib kelishi mumkin, bunday yutilish- *kirishmaviy yutilish* deb ataladi. Yarimo'tkazgichlarga kam konsentratsiyali akseptor va donor kirishmalar kiritilganda uning taqiqlangan zonasida diskret sathlar vujudga keladi.

Nomuvozanat holatdagi o'tkazuvchanlik. Biror tashqi ta'sir oqibatida yarim o'tkazgichda nomuvozanatliy zaryad tashuvchilarning vujudga kelishi uning o'tkazuvchanligini o'zgartiradi. Umumiy holda to'la solishtirma elektr o'tkazuvchanlik quyidagi tenglik bilan ifodalanadi:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = e(\mu_n n + \mu_p p), \quad (3.1)$$

Bu o'rinda nomuvozanatliy zaryad tashuvchilarning vujudga keltirish sharoiti va darajasi tashuvchilarning harakatchanligini aniqlaydigan omillarga ta'sir qilmaydi va shu sababli harakatchanliklar (μ_n) va (μ_p) o'zining muvozanat sharoitdagi qiymatini saqlaydi, deb hisoblaymiz. U holda

$$n = n_0 + \Delta n, \quad (3.2)$$

$$p = p_0 + \Delta p. \quad (3.3)$$

(3.2) va (3.3) ifodalardan foydalanib, (3.1) ni quyidagicha yozish mumkin:

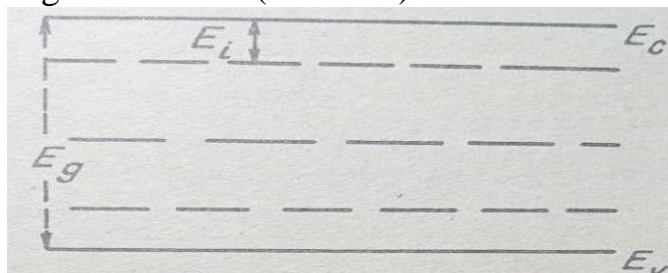
$$\sigma = e(\mu_n n_0 + \mu_p p_0 + \mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p). \quad (3.4)$$

Bundan nomuvozanatliy o'tkazuvchanlik

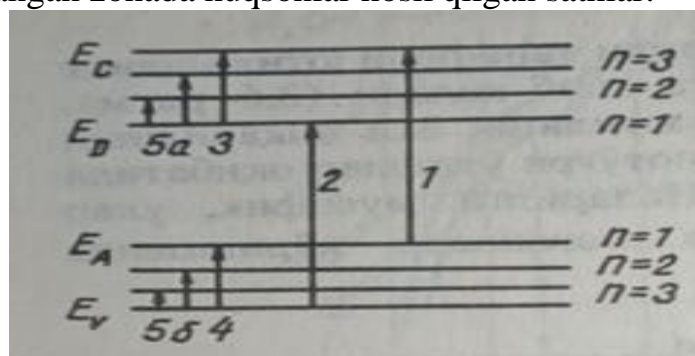
$$\Delta \sigma = e(\mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p), \quad (3.5)$$

kelib chiqadi. Δn , Δp va $\Delta \sigma$ kattaliklarga qanday omillar ta'sir qiladi? Bu savolga javob berish uchun yarimo'tkazgichda yorug'lik ta'sirida nomuvozanat o'tkazuvchanlik vujudga keladigan holni qarab chiqaylik. Elektron tomonidan $\hbar\omega \geq E_i$ energiyali (E_i –kirishma markazining ionlashish energiyasi), fotonning yutilishi: a) donor kirishma markazi neytral bo'lganida elektronning kirishma sathidan

o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishiga; b) neytral akseptor kirishma hamda elektronning V zonadan kirishma sathiga olib keladi (3.2-rasm)



3.2-rasm. Taqiqlangan zonada nuqsonlar hosil qilgan sathlar.



3.3-rasm. Yarimo'tkazgichda kirishma markazlarida yutilish bilan bog'liq bo'lgan optik o'tishlar sxemasi. 1,2-ionlashgan akseptor va donor kirishma atomlarida yorug'likning yutilishidagi optik o'tishlar; 3,4- neytral donor va akseptor kirishma atomlarida yorug'likning yutilishidagi optik o'tishlar; 5_a, 5_b- yorug'likning yutilishi tufayli kirishma donor va akseptor atomlarining asosiy holatdan qo'zg'algan holatga o'tishi.

Kirishmaviy yutilish nazariyasiga muvofiq, fotonlar energiyasining $\hbar\omega \geq E_D$ sohasi uchun bunday yutilish koeffisienti spektrni quyidagicha ifodalash mumkin:

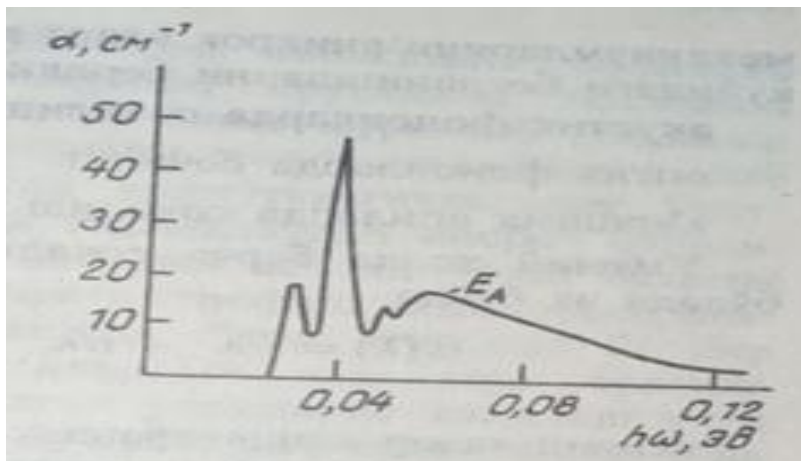
$$\alpha(\hbar\omega) \sim \frac{N_D}{\hbar\omega} \cdot \frac{(\hbar\omega - E_D)}{[C_0 + (\hbar\omega - E_D)]^4}, \quad (3.6)$$

bundagi E_D -donor markazining ionlanish energiyasi, N_D - donor konsentratsiyasi, C_0 -kirishmaviy holatlarning effektiv massasini va Bor radiusini o'z ichiga olgan muayan doimiy kattalik. Kirishmaviy markazlar (masalan Si dagi B, P kirishma) asosiy holatlardan tashqari yana bir qator qo'zg'atilgan holatlarga ega bo'lishi mumkin. $\hbar\omega < E_i$ energiyali foton elektronni asosiy holatdan ma'lum bir qo'zg'atilgan holatga o'tkazadi. Bunda chiziq-chiziq yutilish spektri kuzatiladi (3.3-rasm). Fotonning energiyasi $\hbar\omega \geq E_g - E_i$ bo'lganda valent zona bilan ionlangan donor orasida yoki ionlangan akseptor bilan o'tkazuvchilik zonasi orasida optik o'tish yuz berishi mumkin. Hisoblashlarni ko'rsatishicha, ionlangan akseptor –o'tkazuvchanlik zonasi orasida optik o'tish bilan bog'liq yutilish holida yutilish koeffisientini

$$\alpha(\hbar\omega) = A_5 N_A^- (\hbar\omega - E_g + E_A)^{1/2}, \quad (3.7)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin, bu yerda A_5 - doimiy, N_A^- – ionlangan akseptor lar konsentratsiyasi. Yarimo'tkazgichlarda donorlar ham akseptorlar ham mavjud bo'lishi mumkin; bu holda qisman, ba'zan esa to'la kompensasiya yuz beradi. Tegishli energiyali fotonlar ta'sirida elektronlar ionlangan akseptorlar dan ionlangan donorlarga o'tishi mumkin. Kichik ionlanish energiyasiga ega kirishma atomlarning

deyarli barchasi uy haroratida issiqlik harakati oqibatida ionlangan bo'ladi. Shuning uchun bunday kirishmalarning yutish spektrini gaqat etarlicha past haroratlarda kuzatish mumkin.



3.4-rasm. Bor kiritilgan Si da kirishmaviy yutilish spektri.

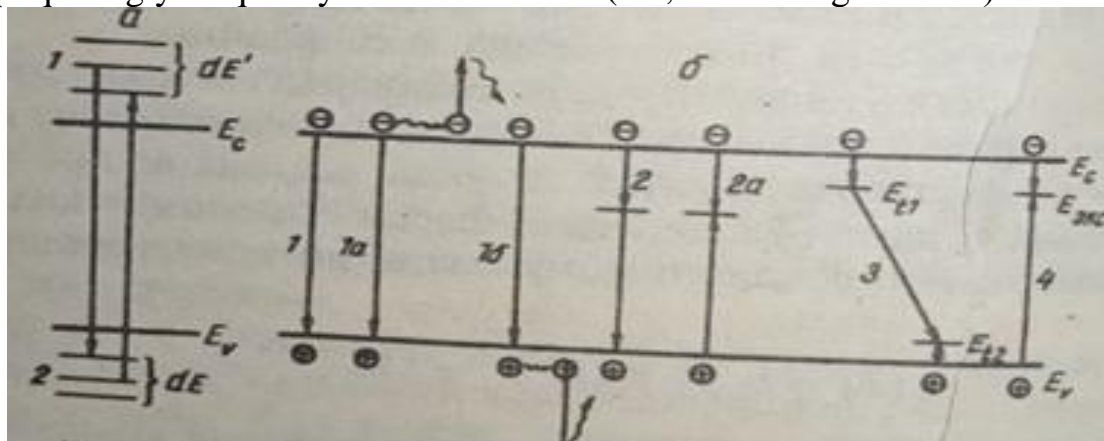
2-asosiy savolning bayoni:

Pekombinasiya mexanizmlari ikki turli belgi bo'yicha –rekombinasiya jarayonida energiyaning qanday shaklda ajralishi bo'yicha va rekombinasiya aktiga olib keluvchi elektron o'tishlar turlari bo'yicha guruhlanadi.

Elektron o'tishlar turlari bo'yicha rekombinasiya mexanizmlari uch xil bo'ladi:

1. Zonalararo rekombinasiya.
2. Mahalliy (lokal) markazlar (holatlar) orqali rekombinasiya.
3. Sirtiy rekombinasiya.

Zonalararo rekombinasiya jarayonida elektron o'tkazuvchanlik zonasidan bevosita valent zonaga o'tadi, bunda u taqiqlangan zona kengligicha yoki undan ortiqroq energiyani qandaydir tarzda uzatadi (3.4, b-rasmdagi 1 o'tish).



3.4-rasm. $E_c + dE'; E_v + dE$ to'plamholatlar orasidagi (a) va har xil rekombinasiya mexanizmlari holatlarida (b) elektron o'tishlar: 1- zonalararo o'tishlar, 1_{a,b} –zarbdan ionlanish, 2, 2_a-kirishma orqali o'tishlar, 3-kirishmalararo o'tishlar, 4-eksitoniy rekombinasiya.

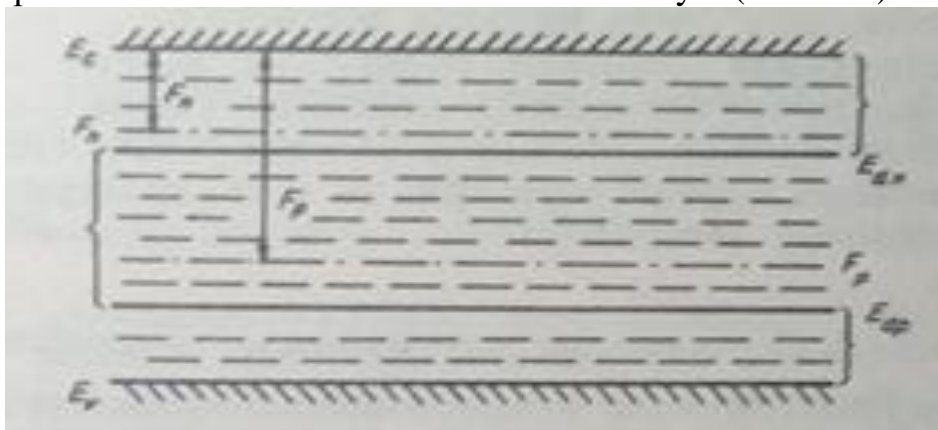
Mahalliy (lokal) markazlar (holatlar) orqali rekombinasiyada elektron kovak bilan qo'shilishidan oldan taqiqlangan zonadagi qandaydir mahalliy markaz tomonidan titib olinadi, keyin u valent zonaga o'tib kovak bilan rekombinasiyalashadi (3.4, b-rasmdagi 2-o'tish). Rekombinasiyada ishtirok etgan mahalliy markazlar rekombinasiya markazlari deb ataladi. Kirishmaviy holatlar,

panjaraning o'z nuqtaviy nuqsonlari, dislokasiyalari va boshqalar ana shunday rekombinasiya markazlari bo'ladi.

3.4- rasmdagi 2 va 2a o'tishlar elektron (yoki kovak) erkin bo'lib, kovak (yoki elektron) mahalliyrekombinasiya markazida bog'langan holatda bo'lganidan yuz beradigan elektron-kovak rekombinasiyasini ta'svirlaydi.3 o'tish kirishmalar aro rekombinasiya deb ataladi, u ikki xil –donor va akseptor kirishmalar mavjud bo'lganida amalga oshadi. 4 o'tish eksiton rekombinasiyasi deb ataladi.O'tkazuvchanlik zonasi dagi elektron kovak bilan bog'lanib, natijada eksiton hosil bo'ladi(bunda E_{eks} energiya ajraladi), so'ngra eksitonning elektronni va kovakni kovagi qo'shiladi-eksiton yo'qoladi (bunda- $E-E_{eks}$ energiya ajraladi).

Sayoz energiya sathlarigaega bo'lgan mahalliy markazlar ko'pincha yopishish markazlari vazifasini bajaradi,chunki ular yuqoridagi shartni qanoatlantiradi.Ammo kichik rekambinasion kesimga ega bo'lgan chuqur sathlar ham yopishish markazlari bo'la oladi.

Markaz tutib olgan zaryad tashuvchining issiqlik harakati tufayli ruxsat etilgan zonaga o'tish ehtimolligi rekombinasiyalanish ehtimolligiga teng bo'lgan E_{dn} va E_{dp} sathlar elektronlar kovaklar uchun *demarkasion sathlar* deyiladi. E_{dn} demarkasion sathdan yuqorida va E_{dp} dan pastda joylashadigan barcha sathlar, mos ravishda, elektronlar va kovaklar uchun yopishish sathlari vazifasini, E_{dn} va E_{dp} orasidagi sathlar esa ko'pincha rekombinasion sathlar vazifasini o'taydi (3.5-rasm).



3.5-rasm.Fermi kvazisathlari va demarkasion sathlarning yarim o'tkazgichning taqiqlangan zonasida joylashishi: E_{dn} -elektronning, E_{dp} -kovakning demarkasion sathlari, F_n, F_p - mos ravishda elektron va kovakning Fermi kvazi sathlari.

Bu bo'linish nisbiydir, chunki chuqur sathlar mavjud bo'lganida rekombinasiya sayoz sathlar orqali boradi, ammo uning tezligikichik, zaryad tashuvchilarning yashash vaqti katta bo'ladi. Rekombinasion sathlar bilan bir qatorda yopishish sathlarining mavjud bo'lishi zaryad tashuvchilar o'rtacha yashash vaqtini oshiradi.

Rekombinasiya jarayonida energiya qanday turda ajralishiga qarab rekombinasiya mexanizmlari ikki asosiy turga bo'linadi:

- a) nurlanishli rekombinasiya;
- b) nurlanishsiz rekombinasiya.

Muhokama uchun savollar:

1. Kristallarning nomukammalliklarini izohlab bering.
2. Kristallarning nomukamalliklari va nuqsonlarida yorug'likning sochilishi qanday yuz beradi?

3. Optik rekombinasiya nima?
4. Optik rekombinasiya qanday turlarga bo'linadi?

Adabiyotlar

1. H.Akramov, S.Zaynobiddinov, F.Teshaboyev “Yarimo'tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar”. -T.: “O'zbekiston”, 1994. -272 b.
2. В.Ф.Гре́енок, М.С.Тиванов, В.Б.Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. //Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология” №1(69) 2009.59-115 с.

4-ma'ruza. Generatsiya va rekombinatsiya

Asosiy savollar:

1. Nurning yutilishi va yutilish koeffitsienti, yutilish chuqurligi.
2. Generatsiyaning jadalligi, rekombinatsiya turlari, yashash vaqti.
3. Diffuziya uzunligi, sirt rekombinatsiyasi.

Tayanch so'z va iboralar: termik ionlanish, zona, muvozanatli zaryad tashuvchilar, rekombinasiya, nuqson, kirishma, taqiqlangan zona, kirishmaviy yutilish, akseptor va donor kirishmalar, zonalararo rekombinasiya, mahalliy rekombinasiya, yutilish spektri, sochilish va qaytish spektri, sirtiy rekombinasiya, yopishish markazi, tuzoq, demarkasion sathlar

Darsning maqsadi: Magistr'larga yarimo'tkazgichlarda nurning yutilishi va yutilish koeffitsienti, yutilish chuqurligi haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

- 1.1. Yarimo'tkazgichlarda nurning yutilishi va yutilish koeffitsienti, yutilish chuqurligi haqida ma'lumot haqida ma'lumot bera oladi.
- 1.2. Yarimo'tkazgichlarda generatsiyaning jadalligi, rekombinatsiya turlari, yashash vaqtini izohlay oladi.
- 1.3. Diffuziya uzunligi, sirt rekombinatsiyasi haqida ma'lumot haqida ma'lumot bera oladi.

1-asosiy savolning bayoni: Yarim o'tkazgichlarda yorug'likning yutishi va sochilishi

Yarimo'tkazgichlarda temperatura ko'tarilganda bir vaqtda ham zarralarning (atomlar yoki ionlarning) panjara tugunlari atrofida tebranishlari amplitudasi ortadi, ham elektronlarning energiyalari bo'yicha taqsimoti o'zgaradi, termik ionlanish kuchayadi, ya'ni zonalarda erkin elektronlar va kovaklar soni ortadi.

Biror temperaturada termodinamik muvozanat sharoitida yarim o'tkazgichda mavjud bo'lgan erkin zaryad tashuvchilar (elektronlar va kovaklar) *muvozanatli zaryad tashuvchilar* deyiladi.

Zonalarda erkin zaryad tashuvchilar termik ionlanishdan tashqari ta'sirlar oqibatida (masalan, yorug'lik ta'sirida) ham paydo bo'lishi mumkin. Yorug'lik ta'siri oqibatida zonalarda erkin zaryad tashuvchilar paydo bo'lish hodisasi ichki *fotoeffekt* deb ataladi.

Yarimo'tkazgichlarda ortiqcha (muvozanatdagi miqdorga nisbatan) zaryad tashuvchilar kontakt (yoki p-n – o'tish) orqali injeksiyalanish hisobiga, kuchli elektr

maydonlar ta'sirida, yuqori energiyali zarralar nurlari ta'siri oqibatida va boshqa sabablar tufayli yuzaga kelishi mumkin. Bunday elektronlarga energetik to'siqlarni engish uchun zarur bo'lgan energiyani tashqi manba beradi va uni asosan elektronlar jamg'aradi, biroq kristall panjaraning issiqlik energiyasi (temperaturasi) deyarli o'zgarmaydi. Tashqi ta'sir mavjud bo'lganda shu tarzda kristall panjara va elektronlar orasidagi muvozanat buziladi. Shu sababdan yarim o'tkazgichda tashqi ta'sir tufayli vujudga keladigan zaryad tashuvchilarni *nomuvozanatliy zaryad tashuvchilar* deyiladi.

Odatda nomuvozanat zaryad tashuvchilar konsentrasiyasi juda katta bo'lmaydi va ular jamg'argan energiya kristall panjara atomlari (ionlari) issiqlik tebranishlari energiyasiga nisbatan anchagina kichik bo'ladi. Ichki fotoeffektni yuzaga keltiruvchi tashqi ta'sir to'xtaganidan so'ng muayan vaqt mobaynida panjara va elektronlar orasida yana issiqlik muvozanat qaror topadi, bunda nomuvozanatliy zaryad tashuvchilar tashqi manbadan olingan energiyani panjaraga berib, *rekombinasiyalanib* ketadi. Biroq, panjara va butin kristallning temperaturasi, binobarin, muvozanatliy zaryad tashuvchilarning konsentrasiyasi ozgarmay qoladi. Tashqi ta'sirning mavjud bo'lishi va bo'lmasligi nomuvozanatliy zaryad tashuvchilar konsentrasiyasini o'zgartiradi, ammo muvozanatliy konsentrasiyaga ta'sir qilmaydi. Elektronlar va kovaklarning to'la konsentrasiyalari (n , p) muvozanatliy (n_0 , p_0) va ortiqcha (Δn , Δp) konsentrasiyalar yig'indisiga teng bo'ladi:

$$n = n_0 + \Delta n, \quad (4.1)$$

$$p = p_0 + \Delta p. \quad (4.2)$$

ΔE generatsiyalash energiyasi kristall panjaradagi kovalent bog'lanishlarni uzishga sarf bo'ladigan va oqibatda erkin zaryad tashuvchilar jufti yuzaga keladigan jarayon xususiy *generasiyalash jarayoni* deb ataladi.

Bu jarayonda yarim o'tkazgichning taqiqlangan zonasi energiyasiga teng yoki undan kattaroq energiya sarflashi zarur. Agar generatsiyalash jarayoni oqibatida tegishli zonada kirishmaviy markaz bilan bog'langan bir ishorali zaryad tashuvchilar paydo bo'lsa, bu jarayon kirishmaviy generasiyalash jarayoni deb ataladi. Xususiy va kirishmaviy generasiyalash jarayonlari muvozanat sharoitida ham, mivozanatsiz sharoitda ham yuz berisi mumkin.

Moddalarning xossalari uning qanday molekullardan tuzilganligiga va bu molekullar o'zaro qanday joylashganligiga bog'liq. Fizika, ximiya va biologiyadagi ko'pgina fundamental masalalarni hal qilishda moddadagi molekullarning miqdorini, ularning tuzilishini va boshqa xossalarni keng temperatura, bosim va konsentratsiya intervalida, hamda turli agregatlarda bilish talab etiladi. Bunday talablarga javob bera oladigan universal metodlardan biri molekulyar spektroskopiyadir. Molekulyar spektroskopiya elektromagnit to'lqinlarning modda bilan o'zaro ta'siri natijasida moddalarning xususiyatlarini moddalarni tashkil etgan molekullarning harakatiga qarab o'rganuvchi fandır. Elektromagnit nurlanish modda bilan ta'sirlashganda modda tomonidan yutilishi, sochilishi va qaytishi mumkin. Elektromagnit nurlanishning to'lqin uzunligi bo'yicha taqsimlanishi spektr deyiladi. Nurlanishning modda bilan ta'siriga qarab nurlanish spektri, yutilish spektri, sochilish spektri va qaytish spektriga ajraladi. Spektroskopiyani umumiy holda atom

spektroskopiyasi va molekulyar spektroskopiyaga bo'lib o'rganadi. Kogerent yorug'lik manbai-lazerlar kashf qilinganidan keyin spektroskopiya yana kogerent nurlar spektroskopiyasi, ya'ni lazerlar spektroskopiyasi va kogerent bo'lmagan nurlar spektroskopiyasiga, klassik spektroskopiyaga bo'lindi.

1. γ -nurlar spektroskopiyasi to'lqin uzunligi 10^{-10} - 10^{-11} m yoki chastotasi $3 \cdot 10^{18}$ - $3 \cdot 10^{20}$ Hz.

2. Rentgen nurlari spektroskopiyasi $\lambda=10^{-8}$ - 10^{-10} m, $\nu=3 \cdot 10^{16}$ - $3 \cdot 10^{18}$ Hz.

3. Optik spektroskopiya $\lambda=10^{-3}$ - 10^{-8} m, $\nu=3 \cdot 10^{12}$ - $3 \cdot 10^{16}$ Hz.

Bu sohaning o'zi ya'na infraqizil, ko'rish va ultrabinafsha oblastlarga bo'linadi.

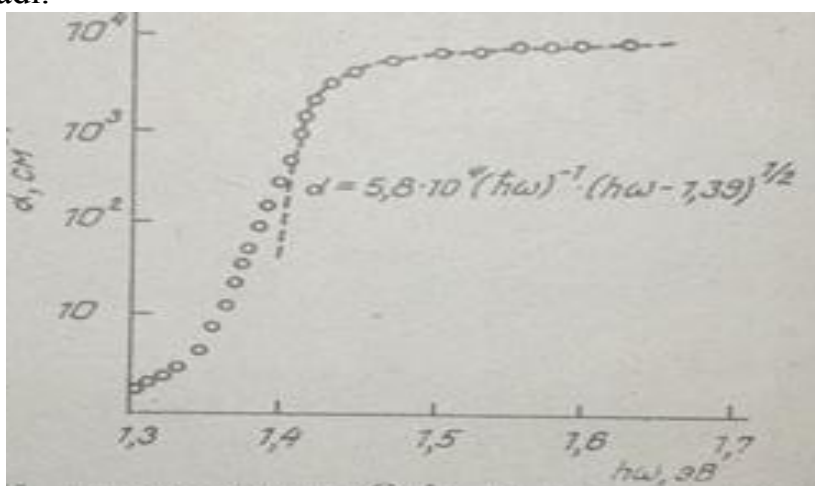
4. Radiospektroskopiya $\lambda=10^{-4}$ - 10^{-2} m, $\nu=3 \cdot 10^6$ - $3 \cdot 10^{12}$ Hz (bunga mikro to'lqin spektroskopiyasi, EPR, YaMR lar kiradi).

Har bir oblast molekulyar sistema harakatining ma'lum bir turi haqida ma'lumot beradi. Masalan, ko'rish va ultrabinafsha sohada elektron o'tishlar haqida ma'lumot olinsa, infrakizil oblastda molekula atomlarining muvozanat vaziyati atrofida tebranishi haqida ma'lumot olinadi.

Molekulaning spektri moddaning xususiyatlari haqida to'liq ma'lumot beradi. Molekulaning spektriga qarab nafaqat modda qanday molekulalardan tashkil topganligi haqida, hatto molekulalarning o'zaro joylashishi bir-biri bilan qanday bog'langanligi haqida ham ma'lumot olish mumkin. Masalan, $AlCl_3$, Al_2Cl_6 , CH_2Cl_2 , O-, p- xlorbenzol va xokazolarning tuzilishini qarash lozim.

To'g'ri o'tishlar. Xususiy yutilish deb fotonning energiyasi yarimo'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligiga teng yoki undan ortiq bo'lgan nurlanish ta'sirida elektronlarning bog'langan holatdan erkin holatga o'tishiga aytiladi.

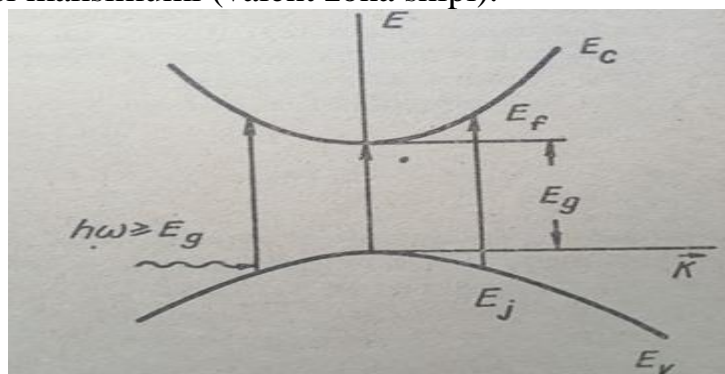
Musaffo yarimo'tkazgichlar $\hbar\omega < E_g$ bo'lganida yetarlicha shaffofdir $\hbar\omega \geq E_g$ bo'lganda esa $\alpha(\hbar\omega)$ yutilish koeffisienti 0,1 eV chamasidagi spektral oraliqda $10^4 - 10^5 \text{ sm}^{-1}$ gacha keskin ortadi, ammo fotonning kattaroq energiyali sohasida $\alpha(\hbar\omega)$ ancha sust o'zgaradi.



4.1-rasm. Uy temperaturasida GaAs kristallida xususiy yutilish koeffisienti bilan foton energiyasi orasidagi bog'lanish (uzulukli chiziq- nazariyaga, nuqtali chiziq – tajriba natijasiga talluqli).

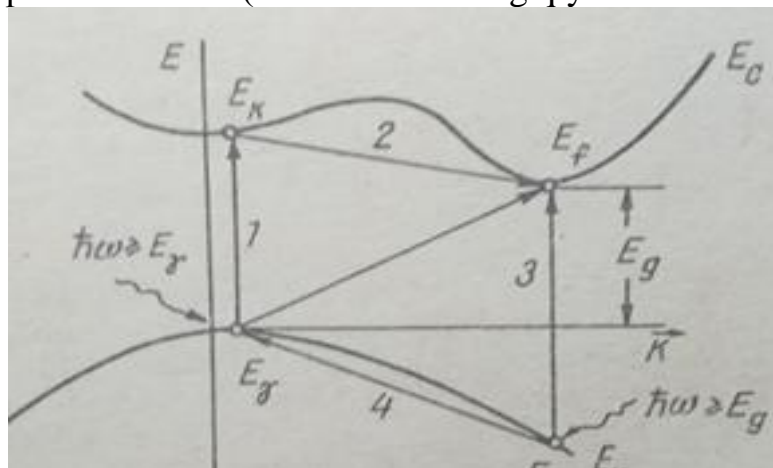
4.1-rasmda $\alpha(\hbar\omega)$ ning keskin o'sa boshlashiga mos keluvchi energetik sohani yarim o'tkazgichning yorug'likning yutish asosiy sohasi chegarasi yoki soddaroq

qilib yarim o'tkazgichning xususiy yutish chegarasi deyiladi. Bundan, yutish chegarasi zonalar chegaralari yaqinidagi holatlar orasidagi electron o'tishlarga mos kelishi tushunarlidir. Yarim o'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligini belgilaydigan ko'p miqdordagi kirismalar, nuqsonlarning mavjud bo'lishi xususiy yutilish chegarasining keskinligini kamaytiradi. Xususiy yutilish koeffisientining chastotaga bog'lanishini tekshirilayotgan yarimo'tkazgichning energetik zonalar tuzilishi belgilaydi. Yarimo'tkazgichlar energetik zonalar tuzilishiga qarab to'g'ri zonali (4.2-rasm) va noto'g'ri zonali (4.3-rasm) turlarga bo'linadi. To'g'ri zonali yarim o'tkazgichlar (InSb, InAs, GaAs, PbS, CdS va boshqalar, 4.2-rasmda o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar energiyasi minimumi (o'tkazuvchanlik zonalari shipi) va valent elektronlar energiyasi maksimumi (valent zona shipi).



4.2-rasm. Yarimo'tkazgichda to'g'ri optik o'tishlar.

Brillyuen zonasining bir nuqtasiga (elektron to'lqin vektori \mathbf{k} ning bir qiymatiga) to'g'ri keladi. Noto'g'ri zonali yarimo'tkazgichlar (Ge, Si, GaP va boshqalar, 4.3-rasm)da esa o'tkazuvchanlik zonalari shipi va valent zona shipi Brillyuen zonasining turli nuqtalarida bo'ladi (ular uchun \mathbf{k} ning qiymatlari har xil).



4.3-rasm. Yarimo'tkazgichda noto'g'ri optik o'tishlar.

Shunga muvofiq, ravishda yarimo'tkazgichlardagi zonalararo optik o'tishlar to'g'ri va noto'g'ri o'tishlarga ajraladi.

$$\alpha(\hbar\omega) = A_3 N_A^- (\hbar\omega - E_g + E_A)^{1/2}, \quad (4.3)$$

(4.3) ifodadagi $\alpha(\hbar\omega)$ ni quyidagicha tasvirlash mumkin:

$$\alpha(\hbar\omega) = -\frac{\left(\frac{dI_v(x)}{dx}\right)}{I_v(x)}. \quad (4.4)$$

(4.4) formulaning surati birlik hajmda birlik vaqtda yutilgan yorug'lik energiyasini ko'rsatadi. Shuning uchun ham har qanday optic o'tishlar uchun (4.4) formulani

$$\alpha(h\nu) = -\frac{P(h\nu) \cdot h\omega}{I_{\nu_0}}, \quad (4.4)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin; bundagi $h\omega$ - foton energiyasi; $P(h\nu)$ –yorug'lik to'liqini maydoni ta'sirida birlik hajmda birlik vaqtda sodir bo'ladigan zonalararo elektron o'tishlarning to'la soni:

$$P = \frac{2}{(2\pi)^3} \int d^3k_i \int W_{ij} [f(k_i) - f(k_j)] d^3k_j \quad (4.5)$$

(4.5)ifodada integrallash yutilishdagi boshlang'ich va oxirgi holatlarni mos ravishda xarakterlovchi \mathbf{k}_i , \mathbf{k}_j to'liqin vektorlarining barcha qiymatlari bo'yicha bajariladi. $f(\mathbf{k}_i)$, $f(\mathbf{k}_j)$ funksiyalar \mathbf{k}_i , \mathbf{k}_j to'liqin vektorlarini boshlang'ich va oxirgi holatlarda electron mavjudligi ehtimolligidir; W_{ij} -birlik vaqtda ayrim $\mathbf{k}_i \rightarrow \mathbf{k}_j$ o'tishning ehtimolligi.

$[f(k_i) - f(k_j)]$ ko'payuvchi to'la egallagan yoki bo'm-bo'sh holatlar orasidagi optic o'tishlarni istesno qiladi.

$\alpha(h\omega)$ spektral bog'lanish zonalararo $E_v \rightarrow E_c$ o'tishlar xarakterigamuhim darajada bog'liq. To'g'ri o'tishning qisqacha tavsifi bilan chegaralanamiz: g'alayonlar nazariyasining birinchi taqribiga muvofiq zonalararo to'g'ri optic o'tishlar uchun o'tish ehtimolligi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$W_{if} = \frac{2\pi}{h} \cdot \frac{e\vec{\varepsilon}}{2m_0\omega} |M_{if}^{\xi}|^2 \delta[E(k_i) - E(k_j) + h\omega], \quad (4.6)$$

bundagi $\delta[E(k_i) - E(k_j) + h\omega]$ - Dirak δ - funksiyasi bo'lib, yorug'lik yutilishining kvant xarakterini aks ettiradi va energiya saqlanishi qonunini ifodalaydi, ya'ni faqat

$$E(\vec{k}_i) = E(\vec{k}_j) + h\omega, \quad (4.7)$$

Shartni qanoatlantiruvchi o'tishlarga mavjud bo'lishi mumkin. $|M_{if}^{\xi}|$ - kvazi to'liqin vektori \vec{k}_i holatdan \vec{k}_f holatga optik o'tish matrisa elementining komponenti bo'lib,

$$M_{if}^{\xi} = \int \psi_f^* e^{i\vec{k}_f \cdot \vec{r}} \cdot (\hat{\mathcal{P}}) \psi_i d^3r, \quad (4.8)$$

munosabatdan aniqlanadi; bundagi ψ_f^* -oxirgi holat to'liqin funksiyasining kompleks qo'shimchasi, ψ_i -boshlang'ich holat to'liqin funksiyasi, \vec{k}_f -fotonning to'liqin vektori,

$\hat{p} = -i\hbar\nabla$ - impul's operatori, ∇ - gradient operatori, $\vec{\xi}$ - qutublanish birlik vektori.

Elektronning o'tkazuvchanlik zonasi va valent zonasidagi holatlarni tegishli Blox to'liqin funksiyalari bilan ifodalanadi:

$$\begin{aligned} \psi_f &= U_f(r) e^{i\vec{k}_f \cdot \vec{r}} = U_c(k_c r) e^{i\vec{k}_c \cdot \vec{r}}; \\ \psi_i &= U_i(r) e^{i\vec{k}_i \cdot \vec{r}} = U_v(k_v r) e^{i\vec{k}_v \cdot \vec{r}}. \end{aligned} \quad (4.9)$$

$U_c(r)$, $U_v(r)$ funksiyalar \mathbf{k} -fazoda panjara doimiylariga teng davriy funksiyalardir.

$\vec{k}_v \rightarrow \vec{k}_c$ optik o'tishning ξ –yo'nalishdagi matrisa elementi

$$M_{cV} = p_{cV}^{\xi} \cdot \delta(\vec{k}_c - \vec{k}_v - \vec{k}_f), \quad (4.10)$$

ko'rinishda bo'ladi, impul's operatorining matrisa elementi esa

$$p_{cV}^{\xi} = \int U_{c_i}^*(r) \cdot (\hat{\xi} \hat{p}) U_V(r) \cdot d^3r, \quad (4.11)$$

ko'rinishda bo'ladi. $\delta(\vec{k}_c - \vec{k}_v - \vec{k}_f)$ ko'paytuvchi Dirak δ – funksiyasi bo'lib, optik o'tishda kvaziimpul's saqlanish qonunini ifodalaydi, ya'ni

$$\hbar \vec{k}_c = (\hbar \vec{k}_v + \hbar \vec{k}_f). \quad (4.12)$$

(4.12) ifoda optik o'tishning tanlash qoidalaridan biridir.

Elektronning kvaziimpul'si umumiy holda Brilliyen zonasi chegarasi (π/a) chamasida, ya'ni taxminan 10^8 sm^{-1} chamasidabo'ladi, fotonlar uchun esa 10^5 sm^{-1} dan oshmaydi. Ravshanki, fotonning to'lqin vektori \vec{k}_f ning kattaligi elektronlarning \vec{k} to'lqin vektorining kattaligidan ancha kichik, shuning uchun (\vec{k}_c, \vec{k}_v) ga nisbatan \vec{k}_f ni hisobga olmaslik mumkin, u holda (4.12) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\hbar \vec{k}_c \sim \hbar \vec{k}_v; \vec{k} \sim \vec{k}_v. \quad (4.13)$$

Impul's saqlanishi qonuni shuni ko'rsatadiki, kristallektronlarning nurlanish maydoni bilan o'zaro ta'sirlashishda elektronning to'lqin vektori o'zgarmaydigan otishlargina mumkindir. Zonalar diagrammasida ularga to'g'ri bertikal chiziqlar mos keladi (4.2-rasm).

Yakka atomdagi singari, kristallarda elektronlarning optik o'tishlari tanlash qoidalarini qanoatlantirilishi kerak. Optik o'tishlar uchun tanlash qoidalari boshlang'ich va oxirgi holatlarning $U_V(r)$ va $U_C(r)$ to'lqin funksiyalari bilan bog'liqdir. Bu qoidalar umumiy holda gruppalar nazariyasi yordamida aniqlanadi. Ammo, $U(r)$ funksiyalar simmetriyasini ularning juftlik xossasi bilan, ya'ni koordinataishorasi o'zgarganida o'z ishorasini saqlab qolishi yoki o'zgartirish xossasi bilan xarakterlash kifoyadir. Agar o'tkazuvchanlik zonasi va valent zonadagi elektronlarning holatlari har xil juftlikka ega bo'lgan Blox to'lqin funksiyalari tasvirlansa, u holda p_{cV}^{ξ} juft funksiya bo'ladi. Bunda, E_V holatdan E_C holatga optik o'tishni *ruxsat etilgan o'tish* deyiladi.

Agar elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasi va valent zonadagi holatlarni bir xil juftlikka ega bo'lgan Blox to'lqin funksiyalari tasvirlansa (bunda $\parallel p_{cV}^{\xi} \parallel_{k=k_0}=0$), bu holda E_V holatdan E_C holatga optik o'tishni *taqiqlangan o'tish* deyiladi. Bunda simmetriya bo'yicha taqiq faqat Brilliyen zonasidagi yuqori simmetriyali nuqtalar uchungina bajariladi. Bu nuqtalar fazodagi p_{cV}^{ξ} matrisa elementi \vec{k} ning silliq o'zgaruvchan funksiyasi bo'ladi. Shuning uchun \vec{k}_0 maxsus nuqta atrofida bu funksiyaning $(\vec{k} - \vec{k}_0)$ darajalar bo'yicha qatorga yoyish mumkin:

$$p_{if}^{\xi} = p_{if}^{\xi}(\vec{k}_0) - (\vec{k} - \vec{k}_0) \left[\nabla_k p_{if}^{\xi}(\vec{k}) \right]_{\vec{k}=\vec{k}_0} + \dots \quad (4.14)$$

Agar tanlash qoidalari barcha o'tishlarni ruxsatlangan bo'lsa, u holda $p_{cV}^{\xi}(k)$ matrisa elementini yxshaqibda o'zgarmas va (4.14) yoyilmaning $\vec{k}_0=0$ nuqtadagi birinchi hadiga tehg deb hisoblash mumkin:

$$p_{if}^{\xi}(\vec{k}) = p_{if}^{\xi}(0) = p_{cv}^{\xi}. \quad (4.15)$$

Agar o'tishlar simmetriya mulohazalari bo'yicha taqiqlangan ($p_c^{\xi}(0) = 0$) bo'lsa, uholda $\vec{k} \neq 0$ ga tegishli matrisa elementini (3.14) ifodaning ikkinchi hadini aniqlaydi:

$$p^{\xi} = \vec{k} \left[\nabla_k p^{\xi}(\vec{k}) \right]_{\vec{k}=0}. \quad (4.16)$$

Bunda o'tishning ehtimolligi \vec{k} ga proporsional ravishda ortib boradi. Sodda zonalar strukturasi holida o'tkazuvchanlik zonasi va valent zona parabolik bo'ladi, ekstremum lar $\vec{k}_0 = 0$ nuqtada (Brillyuen zonasi markazi) bo'ladi, teng energiyali sirtlar markazi

$\vec{k}_0 = 0$ Bu holda optik o'tishlar energiyasida joylashgan sferalar bo'ladi.

$$\hbar\omega = E_g + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_r}. \quad (4.17)$$

Formula bilan aniqlanadi, bunda E_g -taqiqlangan zona kengligi, $m_r = \frac{m_n \cdot m_p}{m_n + m_p}$.

elektronlar va kovaklarning keltirilgan effektivmassasi. Kvant o'tishlar nazariyasiga ko'ra, xususiy yutish chegarasi sohasida yutilish koeffisienti $\alpha(\hbar\omega)$ ning fotonlar energiyasiga bog'lanishi to'g'ri ruxsat etilgan o'tishlar uchun

$$\alpha(\hbar\omega) = A_1 (\hbar\omega - E_g)^{1/2} / \hbar\omega, \quad (4.18)$$

taqiqlangan o'tishlar uchun

$$\alpha(\hbar\omega) = A_2 (\hbar\omega - E_g)^{3/2} / \hbar\omega, \quad (4.19)$$

ko'rinishda bo'ladi; bunda A_1, A_2 -chastotaga bog'liq bo'lmagan, ammo optik o'tishda ishtirok qiluvchi zonalar parametrlari va bazi xalqaro doimiylarni o'z ichiga oluvchi koeffisientlar. Ba'zi bir noto'g'ri zonali yarim o'tkazgichlar (Ge, Si) uchun $\vec{k}_{\max} \neq \vec{k}_{\min}$; kvant tanlash qoidalariga ko'rato'g'ri o'tishlar uchun $\vec{k} = 0$ da taqiqlangan bo'ladi (3.3-rasm).

Zonalararo noto'g'ri o'tishlar. Agar birholatdan ikkinchi holargao'tishda electron ning to'lqin vektori o'zgarsa, bunday o'tishni *noto'g'ri o'tish* deyiladi. Impul'sning saqlanish qonuniga ko'ra noto'g'ri optik o'tishda fonon ishtirok qilishi kerak. Elektronning fonon bilan o'zaro ta'siri hisobga olinganda uning energiya va to'lqin vektori saqlanish qonunlari noto'g'ri o'tishlar uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$E_f = E_i + \hbar\omega \pm E_q; \vec{k}_f = \vec{k}_i + \vec{k}_q \pm \vec{k}_q, \quad (4.20)$$

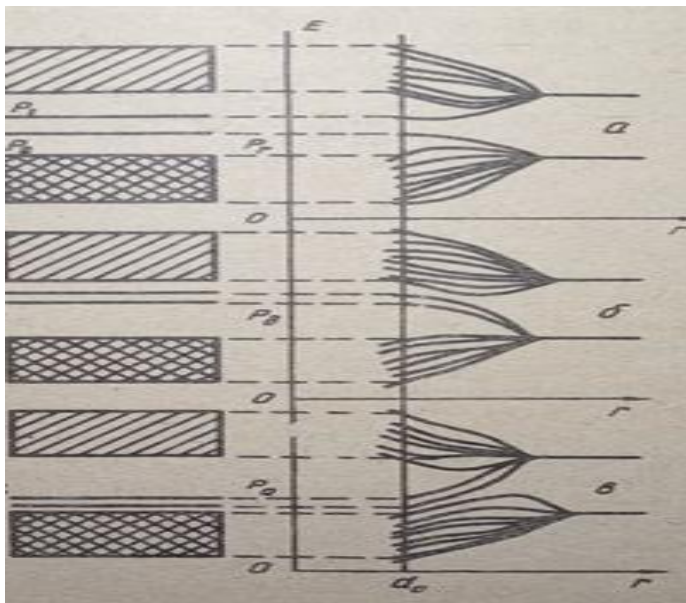
Bundagi E_q, k_q -fononning energiyasi va to'lqin vektori, (+) ishora fononning yutilishi, (-) ishora esa uning chiqarilishiga mos tushadi. Fonon chiqarilisi yoki yutilishi bilan birgalikdasodir bo'ladigan noto'g'ri o'tish (4.3-rasmda) ikki pog'onali jarayon sifatida qaraladi: elektron dastlab valent zonadagi E_i, \mathbf{k}_i holatdan foton ta'sirida (uni yutib) o'tkazuvchanlik zonasidagi oraliq (virtual) k_k, \mathbf{k}_i holatga to'g'ri o'tadi (1-o'tish), keyin esa \vec{k}_q to'lqin vektorli fononni yutib yoki chiqarib oxirgi E_f, \vec{k}_f holatga o'tadi (2-o'tish). Yorug'lik o'tishining boshqa variantlari ham mavjud. Masalan, nurlanish ta'sirida valent zona chuqurdagi electron $k = k_{\min}$ tolqin vektorli o'tkazuvchanlik zonadagi holatga "vertikal o'tish" bajaradi (3-o'tish); bunda

chuqurda hosil bo'lgan kovakfonon chiqarib yoki yutib valent zonaning shipi yaqinidagi $k=0$ holatga o'tadi (4-o'tish). Bunday oraliq jarayonlarni virtual jarayonlar, zarralarning oraliq holatlarini esa virtual holatlar deyiladi.

2-asosiy savolning bayoni: Yarimo'tkazgichlar sirtidan yorug'likning qaytishi

Nomuvozanatholatdagi zaryad tashuvchilar yarimo'tkazgichning sirtida undagi holatlar orqali rekombinasiyalashi mumkin. Sirt holatlarini keltirib chiqaruvchi sabablar quyidagilar:

1. Kristall panjara elektr potentsiali davriyligining sirtida uzulishi unda *Tamm sathlarini* hosil qiladi.



4.4-rasm. Sirt sathlari (P_1 va P_2) ning hosil bo'lishi (P -rekombinasiya, P_D -donor, P_a -akseptor).

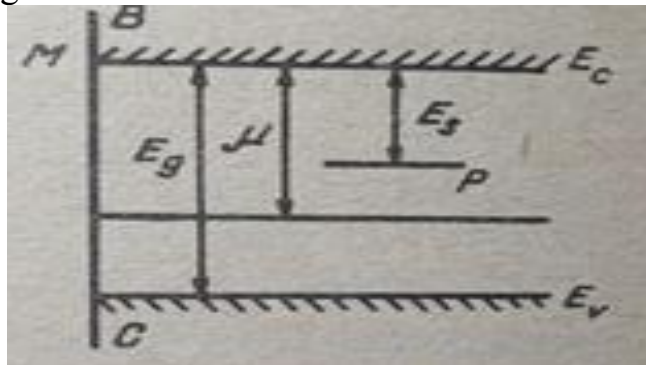
2. Sirt atomlarining valent bog'lanishlari to'latilmaganligi sababli *Shokli sathlari* hosil bo'ladi.

3. Sirt qatlamiga adsorbsiyalangan atomlar va kristall sirtining boshqa nuqsonlari ham *sirt sathlarini* hosil qiladi.

Qattiq jismlarning energetik zonalari strukturasi nazariy tekshirganda kristallni ideal, barcha yo'nalishlar bo'yicha cheksiz deb faraz qilingan. Haqiqiy kristallda yuqoridagi kabi ideallikdan chetlantiradigan, potensial davriylikni buzadigan nuqsonlar mavjud.

4.4-rasmda sakkiz atomdan iborat, ikki yoqdan cheklangan zanjirchada sirt sathlarining vujudga kelish sxemasi tasvirlangan. Bu holda ikkita (P_1 va P_2) sirt sathi vujudga keladi. Tamm sathlari konsentrasiyasi $N_s \sim 10^{15} \text{ sm}^{-1}$ sirdagi atomlar konsentrasiyasi bilan aniqlanadi. Bunday katta zichlik sirt zonasining paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. Bu zonadagi elektronlar faqat sirt bo'ylab harakatlanishi mumkin. Ba'zi hollarda sirt zonasi qisman o'tkazuvchanlik zonasi ustiga tushishi mumkin. Sirt sathlari donor (4.4^b-rasm), akseptor (4.4^v-rasm) va rekombinasiya markazi vazifalarini bajarishi mumkin. Tamm sathlari atomar toza sirtlarda kuzatilgan. Ammo, oddiy sharoitda – kristall sirtini yupqa oksid qatlami qoplaganda – Tamm sathlari yo'qoladi, chunki bu holda kristallning chegarasidapotensial davriylik tiklan bo'ladi.

Shokli sathlari paydo bo'lishining sababi sirdagi atomlarning ximyaviy bog'lanishi to'ldirilmaganligidadir Shokli modelida sirdagi atom potensial chuqurning shakli buzulmagan bo'ladi. Bu modelni atomning bir o'lchovli zanjitiga tatbiqan qaraganda panjara doimiysi kamaya borgach taqiqlangan zonada ikki energetik sath yuzaga keladi, ularning biri valent zonadan, ikkinchisi o'tkazuvchanlik zonasidan ajralgan bo'ladi. Shokli sathlari konsentrasiyasini ham atomlarning sirtidagi konsentrasiyasi belgilaydi. Shokli sirt sathlarinima sababdan mavjud bo'lishini kristalldagi ximyaviy bog'lanishlar tahlili tushintiradi. Bu nuqtai nazardan sirdagi sathlar panjaraning uzulishi tufayli mavjud bo'ladigan juftlanmagan elektronlar borligi tufayli paydo bo'ladi. Shokli hamda Tamm sathlari faqat ideal sirda mavjud bo'lishi mumkin. Ma'lumki, haqiqiy kristall sirtida ham mikroskopik, ham makroskopik strukturaviy nuqsonlar bo'ladi. Ular jumlasiga nuqtaviy nuqsonlar va ularning guruhlari, sirtiga chiqqan dislokasiya lar va boshqa nuqsonlar kiradi. Bundan tashqari, haqiqiy sharoitda kristallning sirtida hamma vaqt adsorbsiyalangan yoki ximyaviy bog'langan atomlar bo'ladi.



4.5-rasm. Sirda yutilgan molekulaning mahalliy sathi (P).

4.5-rasmdagi zona strukturasi BC tikka to'g'ri chiziq kristallning erkin bir sitinitasvirlaydi. Shu sirtga M zarra yopishgan bo'lsin. Bu zarra shu joyda panjara potentsiali davriyligini buzadi va taqiqlangan zonada donor yoki akseptor tipidagi P diskret sath paydo bo'ladi. P sath akseptor sath bo'lsin. Kvant mexanikasiga ko'ra, elektronning to'lqin funksiyasi M zarr atrofida maksimumga ega, elektron shu joyda joylashishi mumkin. P sathning vaziyati M zarraning kristall sirtidan qanday masofada bo'lishiga ham bog'liq bo'ladi. Bu masofa ortgan sari sath yuqoriga ko'tarila boradi, to'lqin funksiya yoyilib ketadi, M zarra sirdan etarlicha uzoqlashganda P sath o'tkazuvchanlik zonasiga kiradi, undagi elektron erkin bo'lib oladi,

3-asosiy savolning bayoni: Yutilish va qaytarish koeffitsientlari orasidagi bog'lanish

Yutilish koeffisienti. Optik nurlanish bilan yarimo'tkazgich ta'sirlashganda, uning sirtidan qisman qaytadi, qisman sirda yutiladi va qisman yarim o'tkazgichdan yutilmasdan o'tadi. Ularni mos ravishda qaytuvchi, o'tuvch va yutiluvchi energiya koeffisienti bilan baholanadi.

$$\text{O'tkazish koeffisienti} \quad T = P_{o'tgan} / P_{tush}, \quad (4.21)$$

$$\text{Qaytish (sochilish) koeffisienti} \quad R = P_{qaytgan} / P_{tush}, \quad (4.22)$$

$$\text{Yutilish koeffisienti} \quad A = P_{yutilgan} / P_{tush}, \quad (4.23)$$

bu yerda $P_{o'tgan}$ – o'tgan nurlanishning quvvati, $P_{qaytgan}$ – qaytgan nurlanish quvvati, $P_{yutilgan}$ – yutilgan nurlanishning quvvati, P_{tush} – tushuvchi nurlanish quvvati.

Ma'lumki, yorug'lik to'lqini yarimo'tkazgich sirtiga tushganda yorug'lik oqimining P_R qismishu sirtidan qaytadi, P_T qismi yarim o'tkazgichdan o'tib ketadi, P_r qismi sochiladi va P_α qismi o'tkazgich hajmida yutiladi. Bu qismlarning tushayotgan to'la yorug'lik oqimi P_0 ga nisbatlari:

$$R = \frac{P_R}{P_0}; T = \frac{P_T}{P_0}; r = \frac{P_r}{P_0}; A = \frac{P_\alpha}{P_0}, \quad (4.24)$$

Mos ravishda, qaytarish, o'tkazish, sochish (sochilish) koeffisientlari, yutilish qobiliyati deb ataladi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, bu koeffisientlarning yig'indisi 1 ga teng:

$$R + T + r + A = 1. \quad (4.25)$$

Bu koeffisientlar yarim o'tkazgichlarning xossalari, nurlanishning to'lqin uzunligiga, tushish burchagiga, qutublanish hamda namuna sirtining ishlanishiga, uning qalinligiga bog'liq bo'ladi.

Yorug'lik yutilishining bir necha mexanizmlari bor. Yorug'lik yutilishi mexanizimi qanday bo'lsa ham, yarimo'tkazgich hajmida fotonlar oqimi Buger-Lambert qonuniga binoan eksponensial ravishda kamayib boradi:

$$I_v(x) = I_{v_0}(1 - R_v)e^{-\alpha x}, \quad (4.26)$$

Bu yerda I_0 - yarimo'tkazgich sirtiga tushayotgan v-chastotalifotonlar oqimi, foton/ sm^2s (yoki yorug'lik intensivligi, Wt/sm^2); $I_{v_0}(1 - R_v)$ -yarim o'tkazgich ichiga kirgan fotonlar oqimi; $I_v(x)$ -sirtidan x masofa ichkaridagifotonlar oqimi; α -yutilish koeffisienti, sm^{-1} ; R_v -qaytarish koeffisienti.

Yutilishning ko'rsatgichi α – sirtgacha bo'lgan masofaga teskari kattalik bo'lib, boshlang'ich tushayotgan nurlanish quvvatini $e=2,71$ marta susaytiradi, x chuqurlikda quyidagi ko'rinishda ifoda qilinadi:

$$P(x) = P_{tush}e^{-\alpha x}, \quad (4.27)$$

$$\alpha = -\frac{1}{x} \ln \frac{P(x)}{P_{tush}}, \quad (4.28)$$

bu yerda $P(x)$ - x-chuqurlikda nurlanishning quvvati. Yutilish koeffisienti bilan tushuvchi nurlanishning to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanishni $\alpha(\lambda)$ –yutilish spektri deb ataladi. Agar man qilingan (taqiqlangan) zona uncha katta bo'lmasa ($\Delta E = 1\text{eV}$), elektronning valent zonadan o'tkazish zonasiga issiqlik yoki nurlanish (boshqa) ta'sir bilan ko'chirish mumkin. Masalan, Ge uchun man qilingan zona kengligi 0,72 eV, Si uchun esa 1,11 eV. O'tkazgichlar uchun man qilingan zonaning kengligi nolga teng, yarim o'tkazgichlar uchun 2 eV dan oshmaydi, dielektriklar uchun 2 eV dan katta bo'ladi. 4.6-rasmdan energiyaning bir qismi valent zonaning 1 buzilishiga sarflanadi va qolgan qismi elektronni valent zonadan o'tkazish zonasiga ko'chishiga sarflanadi. Elektronning o'tish zonasiga o'tishi uchun yutilgan foton energiyasi ma'n qilingan zona kengligidan kata bo'lishi kerak:

$$E_{ph} = h\nu \geq E_g, \quad (4.29)$$

bu yerda E_{ph} – tashuvch foton energiyasi, E_g - man qilingan zonaning kengligi, h - Plank doimiysi, ν – nurlanishning elektromagnit tebranish chastotasi. Shu sababli xususiy yutilish spektri aniq chegara qiymatlar bilan ifodalanadi, uni fotoeffektning qizil chegarasi deb ataladi.

$$\lambda_{chegara} = ch / E_g, \quad (4.30)$$

$\lambda_{chegara}$ chegara sohada fononlar, eksitonla yutiladigan sohalarda to'g'ri bo'lmagan o'tishlar kuzatilishi mumkin 4.6-rasmdagi 2 soha. $\lambda_{chegara}$ kattalik temperatura, tashqi maydon ta'sirlari va yarim o'tkazgichning legerlashda aralashmalar ta'sir qiladi.

Yarim o'tkazgich nurlantirilganda unda zaryad tashuvchilarda o'zgarish bo'ladi, bunday elektr o'tkazuvchanlikni –fotorezistivli effekt deb ataladi. Umumiy o'tkazuvchanlik bu holda

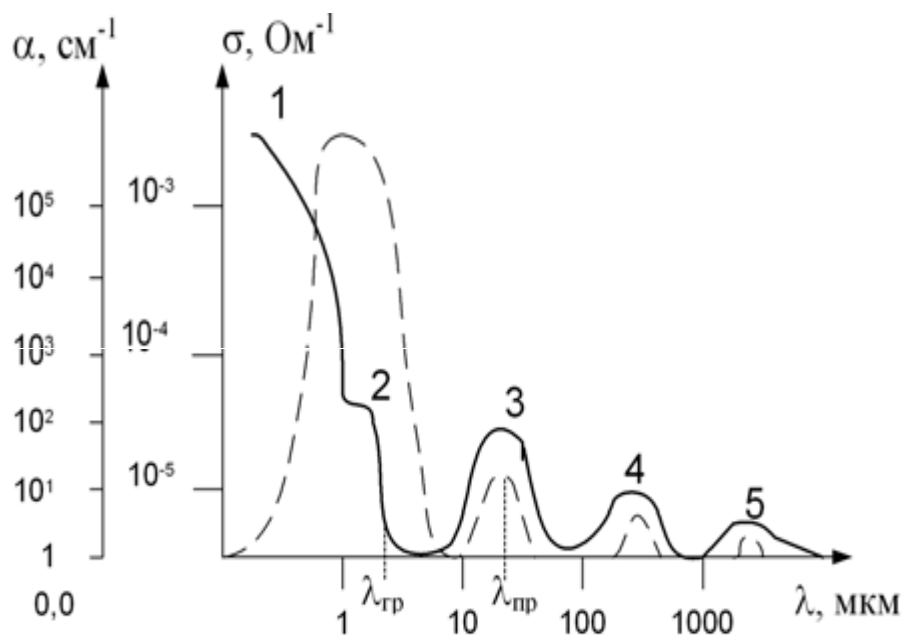
$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_{ph}, \quad (4.31)$$

$\sigma_0 = e(n_0\mu_0 + p_0\mu_p)$ –qorong'idagi xususiy o'tkazuvchanlik, σ_{ph} – foto o'tkazuvchanlik, $\mu_n; \mu_p$ –tesik va elektronlar harakarchanligi, n_0 va p_0 - bir xil og'irlikli konsentrasiyadagi erkin elektronlar va teshiklar, e - elementar zaryad. Yorug'lik yutilishini yarim o'tkazgichda samaradorligini aniqlashda kvantlar chiqishi hisobga olinadi

$$\eta_{ph} = \frac{\Delta n + \Delta p}{2N_{yut}}, \quad (4.32)$$

bu yerda $\Delta n, \Delta p$ -yorug'lik nurlarini yutishda ortiqch zaryad tashuvchilarning miqdori, N_{yut} –yutilgan fotonlar soni [6]. Ideal holda $\eta_{ph} \approx 1$ bo'ladi, ya'ni bir yutilgan foton bir juftli electron vateshiklar jufti hosil qiladi.

Kirishmaning konsentrasiyasini ortishi $\lambda_{chegara}$ pasaytiradi valent zona shipida to'lishi yoki o'tkazuvchi zonaning tubida energetik sathlar atrofida pasayadi. Temperatura ortishi ko'pchilik yarim o'tkazgichlarda $\lambda_{chegara}$ qiymatini oshishiga, man qilingan zona kengligi kamayishiga olib keladi. Elektr maydoni ta'sirida $\lambda_{chegara}$ uzun to'lqinli soha tomonga siljiydi (Keldish-Frans effekti), magnit maydoni ta'sirida esa qisqa to'lqinli tomon siljiydi (Landau yoyilishi). 3 va 4 soha 4.6-rasmda aralashma tomonidan yutilish ko'rsatilgan, (foton energiyasi aralashma atomlarini ionlashtirishga sarf qilinadi).



4.6-rasm. Yarimo'tkazgich materialning optik yutilishi (uzuluksiz egri chiziq) va fotoo'tkazuvchanlik spektral bog'lanishi (shtrihlangan egri chiziq): 1-xususiy yutilish; 2- fonon va eksitonning ta'sirida to'g'ri bo'lmagan o'tishlar; 3,4- qo'shimchalarning yutilishi [5]

Aralashmaning ionizatsiya energiyasi $\delta E_{ar} \ll E_g$ bo'lganda, aralashmaning yutilish spektri IQ-sohaga siljigan bo'ladi. Aralashma atomlaridagi elektronlar asosan uyg'ongan holatda bo'ladi, shu sababli yutilish spektri bir qancha oraliqlarda bo'ladi (misol uchun 4.1-rasmdagi 3 va 4. Eksiton yutilish fotonning shunday yutilish energiyasiga mos holda, valent zonadagi elektron atomdan ajralmaydi, u uyg'ongan holatga o'tadi, kovak hosil bo'ladi, ya'ni elektr dipol – eksiton hosil bo'ladi. Eksitonning yutilish spektrlari ingichka chiziq bo'lib, λ_{chegra} sohada (rasmda ko'rsatilmagan). 4.6-rasmdagi 5 soha panjarali yutilishga mos keladi, yorug'lik kvantlari fononlarni generatsiya qiladi va yarim o'tkazgichning issiqlik energiyasi ortadi. Bunday yutilish spektri amalda uzuluksiz bo'ladi, chunki spektrlar orasi juda kichik bo'ladi.

Muhokama uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlarda to'g'ri o'tishlarni izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlarda noto'g'ri o'tishlar qanday yuz beradi?
3. Yarimo'tkazgichlar sirtidan yorug'likning qaytishini nima?
4. Yarimo'tkazgichlar sirtidan yorug'likning qaytishi qan?
5. Yarimo'tkazgichlardagi o'tkazish koeffitsientini izohlab bering.
6. Yarim o'tkazgichlarda qaytish (sochilish) koeffitsienti tushuntiring.
7. Yarimo'tkazgichlar sirtida yorug'likning yutilish koeffitsienti nima?
8. Yarimo'tkazgichlar sirtida va ichida bo'ladigan hodisani tushuntiring.

Adabiyotlar

1. H.Akramov, S.Zaynobiddinov, F. Teshaboev "Yarimo'tkazgichlar parametrlarini aniqlash usullari". -T.: "O'zbekiston", 1994. -272 b.
2. S.Zaynobiddinov, H.Akramov "Yarimo'tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar". -T.: "O'zbekiston", 2001. -320 b.

3.В.Ф.Гребе́нок, М.С.Тиванов, В.Б.Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. //Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология" №1(69) 2009.59-115 с.

4. Фаренбрух А., Бьюб Р.Солнечные элементы: теория и эксперимент/пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна.М.: Энергоатомиздат, 1987.

5- ma'ruza. Yarimo'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar xarakati

Asosiy savollar:

5.1.Yarimo'tkazgichlarda n-p o'tishlar, yarimo'tkazgichlarda p-n-o'tishni shakllantirish.

5.2. Yarimo'tkazgichlardagi muvozanatsiz elektron va teshiklar

5.3. Diffuziya va dreyfi.

Tayanch so'z va iboralar: diffuziya, dreyf, injeksiya, to'gri p-n o'tish, o'rtacha yashash vaqti, diffuziya hodisasi

Darsning maqsadi: Magistr'larga Yarimo'tkazgichlarda n-p o'tish, zaryad tashuvchilar xarakati, diffuziya va dreyfi haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

5.1. Yarimo'tkazgichlarda n-p o'tishlar haqida ma'lumot bera oladi.

5.2. Yarimo'tkazgichlardagi muvozanatsiz elektron va teshiklar haqida ma'lumot bera oladi.

5.3. Yarimo'tkazgichlarda p-n-o'tishni shakllantirishni izohlay oladi.

5.4.Diffuziya va dreyfi haqida ma'lumot haqida ma'lumot bera oladi.

5.1-asosiy savolning bayoni:

Metallar-yarimo'tkazgich va yarimo'tkazgich- yarimo'tkazgich kontaktlari Om qonuniga bo'ysinmaydi. Kontaktlarning qarshiliklari qo'yilgan kuchlanishning kattaligiga bog'liq, kuchlanish kattaligi birday bo'lganda tok yo'nalishining o'zgarishi bilan kuchli o'zgarishi mumkin.

Yarimo'tkazgich - metall kontaktida bo'ladigan elektron jarayonlar ikki yarimo'tkazgich kontaktida bo'ladigan jarayonlardan farq qiladi. Biroq biz faqat ikkita yarimo'tkazgich kontaktlarida bo'ladigan jarayonlarni ko'rish bilan cheklanamiz, chunki bu jarayonlar tobora ajoyib texnikaviy qo'llanishlarga ega bo'lmoqda.

Yarimo'tkazgich o'zlarining o'tkazuvchanlik xarakterlariga ko'ra elektron yarimo'tkazgichlar(n-tip), teshikli yarimo'tkazgich(p-tip), boladi.n-tip yarimo'tkazgichlarda asosiy zaryad tashuvchilar harakatchan manfiy elektronlar, p-tip yarimo'tkazgichlarda esa asosiy zaryad tashuvchilar musbat zaryadli teshiklar bo'ladi. Ikki yarimo'tkazgich kontaktida elektronlar va teshiklar bir yarimo'tkazgichdan ikkinchisiga o'tish imkoniga ega bo'ladi va shuning uchun yarimo'tkazgichlar orasida, shuningdek metallar orasida ham kontakt potentsiallar farqi yuzaga keladi, yupqa chegaraviy qatlamda esa kontakt elektr maydoni yuzaga keladi.

Agar kontakt ikkita bir xil tipdagi yarimo'tkazgichdan tashkil topgan bo'lsa, u holda har ikkala yarimo'tkazgich bir xil zarralar n yoki p bilan almashadi va bu holda hodisa ko'p jihatdan ikkita kontaktlashuvchi metall holiday singari bo'ladi.

Yarimo'tkazgichlardan biri n-tip bo'lgan va ikkinchisi p- tip bo'lgan hol to'g'risida to'xtalamiz. Bunday kontaktlar *elektron-teshik o'tishlar yoli n-p o'tishlar* deb ataladi.

Ikki yarimo'tkazgichni bir-biriga siqish bilan bunday sof kontaktni hosil qilish mumkin emas, chunki sirtlarning gadir- budurliklari tufayli bu ikki yarimo'tkazgich faqat ayrim nuqtalardagina tegishadi; bu ikki yarimo'tkazgich kontaktida havo oraliqlari ham bo'ladi va shuning uchun bu oraliqlarda oksid pardalari hosil bo'lib, kontaktning murakkab tuzilishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun p-n –o'tish hosil qilish uchun sof yarimo'tkazgich plastinkasiga (Si, Ge ga) ikkita aralashma – bitta donor aralashma va bitta aktseptor aralashma kiritiladiki va ularni shunday taqsimlanadiki, bir uchida bir aralashma ortiqcha bo'lsin, ikkinchi uchida esa boshqa aralashma ortiqcha bo'lsin. Bunday qilinganda plastinkaning bir yarmida elektron o'tkazuvchanlik, ikkinchi yarmida esa teshik o'tkazuvchanlik yuzaga keladi, shu bilan birga har ikkala soha orasida har ikkala aralashmalar bir –birini kompensatsiyalaydigan yupqa o'tish qatlami joylashadi.

Dastlab tok bo'lmagandagi p-n- o'tishni ko'raylik. Issiqlik harakati tufayli elektronlar n-sohadan p- sohaga o'tadi (va u yerda teshiklar bilan rekombinatsiyalanadi), teshiklar esa p-sohadan n-sohaga o'tadi (va u yerda elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi). Shuning uchun n-sohada ajralish chegarasining yaqinida musbat hajmiy zaryad, p- sohada esa manfiy hajmiy zaryad paydo bo'ladi; n-soha musbat potentsial oladi va unda elektronning energiyasi kamroq bo'lib qoladi (chunki elektronning zaryadi manfiy) sohaning potentsiali manfiy bo'ladi va unda elektronning energiyasi ortadi. Elektronlarning potentsial energiyalari taqsimot egri chizig'i W_e . 5.1-a rasmdagi tutash chiziq ko'rinishida bo'ladi. Aksincha, musbat teshiklarning W_t energiyasi n-sohada ko'p va p-sohada kam bo'ladi (punktir egri chiziq).

Muvozanat holatda kontakt orqali o'tadigan to'liq tok nolga teng bo'ladi. Bu tok, asosiy zaryad tashuvchilari faqat elektronlar bo'lgan metallardan farqli, elektronlar va teshiklarning harakati tufayli yuzaga keladigan toklar yig'indisidan iborat bo'ladi.

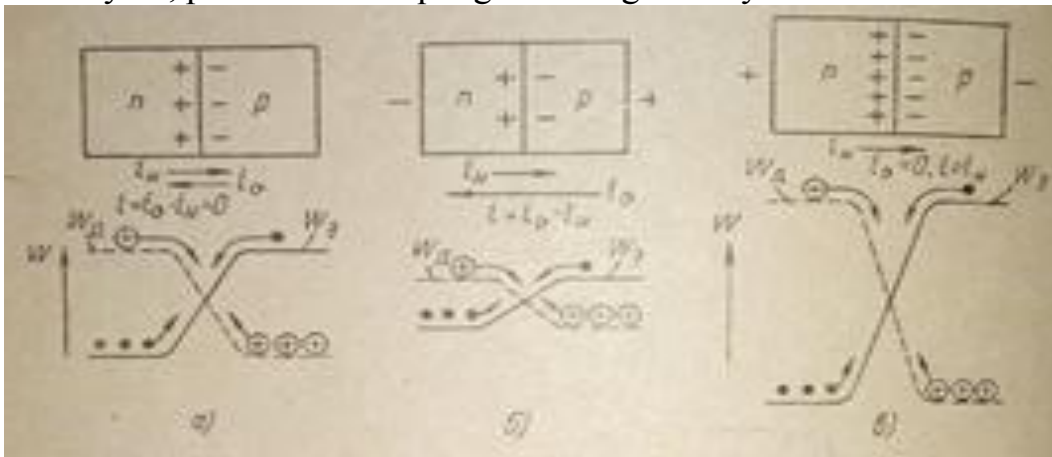
Avvalo shuni takidlab o'tish joizki, har qanday yarimo'tkazgichda asosiy zaryad tashuvchilardan tashqari biror miqdorda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar ham bo'ladi. Shuning uchun elektron yarimo'tkazgichda o'tkazuvchanlik elektronlar bilan birga uncha ko'p bo'lmagan miqdorda bo'lsa ham teshik yarimo'tkazgichda teshiklardan tashqari, biror miqdorda o'tkazuvchanlik elektronlari bo'ladi. Odatda, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar soni asosiy zaryad tashuvchilar sonidan kam bo'ladi.

Kontakt maydoni asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning harakatiga yordam beradi va ular potentsial cho'qqidan “dumalb” ketadi. Kontaktga yaqin sohada generatsiyalanayotgan barcha asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar p-n– o'tish orqali harakatlanadi va n dan p ga qarab yo'nalgan biror i_H tok kuchini hosil qiladi. Bu tok kuchi amalda n- va p- yarimo'tkazgichlar orasidagi potentsiallar farqiga bog'liq bo'lmaydi va faqat vaqt birligi ichida kontakga yaqin sohada paydo bo'layotgan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar miqdori bilan aniqlanadi. Asosiy bo'lgan zaryad tashuvchilar (o'ngdan chapga harakatlanuvchi teshiklar va chapdan o'ngga harakatlanuvchi elektronlar) esacqarama-qarshi p dan n ga yo'nalgan i_0 tokni hosil

qiladi. 5.1-a rasmdan ko'rinib turibdiki, potensial to'siqni oshib o'tuvchi kontakt maydoni asosiy zaryad tashuvchilarning harakatiga to'sqinlik qilar ekan. Muvozanat holatida potensial to'siqning shunday balandligi yuzaga keladiki, bunda to'la tok

$$i = i_0 + i_H = 0, \quad (5.1)$$

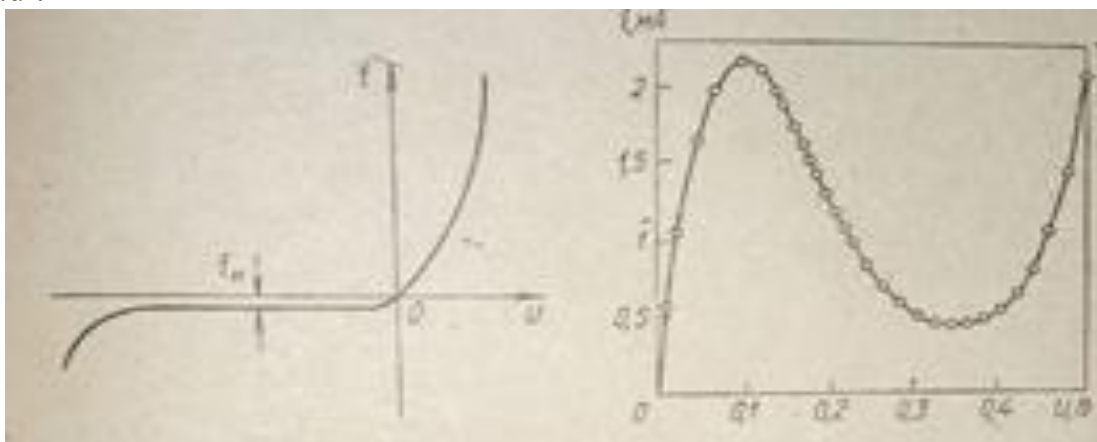
bo'ladi. Endi kontakt orqali tok o'tgandanim bo'lishini ko'raylik. Kontaktga shunday ishorali kuchlanish beraylik, bunda n-sohada manfiy va p-sohada musbat potensial bo'lsin (5.1-b rasm). u holda n-sohada elektronlarning energiyasi ortadi, p-sohada esa kamayadi, potensial to'siqning balandligi kamayadi.



5.1-rasm. p-n- o'tishdagi elektr toki

Bunda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar toki i_H yuqorida aytganimizdek, o'zgarmaydi. Asosiy bo'lgan zaryad tashuvchilar toki i_0 esa ortadi, chunki endi elektronlarning katta qismi potensial to'siqni yengib, chapdan o'ngga o'ta oladi va shuningdek teshiklarning ko'p qismi o'ngdan chapga o'ta oladi. Buning natijasida kontakt orqali p- dan n- ga yo'nalgan $i = i_0 - i_H$ tok o'tadi; qo'yilgan kuchlanishning ortishi bilan tok kuchi tez orta boshlaydi.

Agar n-sohaga tok manbaining musbat qutibi, p-sohaga manfiy qutibi ulangan bo'lsa, boshqacha hol ro'y beradi (5.1-v rasm). Bu holda potensial to'siq balandligi ortadi va asosiy zaryad tashuvchilarning i_0 toki kamayadi. Bu bayon qilinganlarga ko'ra, p-n- o'tishning vol't-ampere xarakteristikasi 5.2-rasmda tasvirlangan singari bo'ladi.

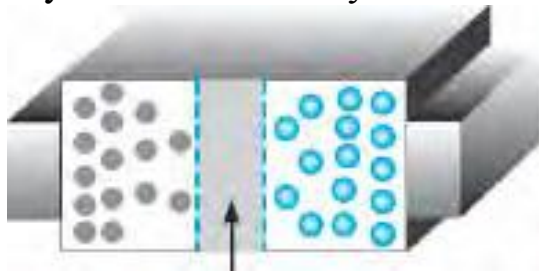


5.2-rasm. p-n- o'tishning VAX 5.3-rasm. Juda qisqa p-n- o'tishning VAX (tunel effekti)

Tok p- sohadan n-sohaga qarab yo'nalganda, tok kuchi katta bo'ladi va kuchlanish ortishi bilan tez ortadi, tokning bu yo'nalishi uchun kontakt kam

qarshilikkka ega bo'ladi (tok uchun bu o'tish yo'nalishi). Agar tok n- dan p-sohaga qarab yo'nalgan bo'lsa, uholda tok kuchi juda kichik o'ladi va kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi (to'yinish toki). Tokning bu yo'nalishi uchun kontaktning qarshiligi katta bo'ladi (tok uchun berk yo'nalish).

Yarimo'tkazgichlarda p-n-o'tishni shakllantirishi. Biror yarimo'tkazgich kristalining bir tomonida *n*-turdagi, ikkinchi tomonida *p*-turdagi yarimo'tkazgichni hosil qilaylik (5.1-rasm). Yarimo'tkazgichning o'rta qismida erkin elektronlar tezgina bo'sh kovaklarni to'ldiradi. Natijada yarimo'tkazgichning o'rta qismida zaryad tashuvchilar bo'lmagan soha hosil bo'ladi. Bu sohaning xususiyati dielektriklarday bo'ladi.



kovaklar berkituvchi qatlam elektronlar

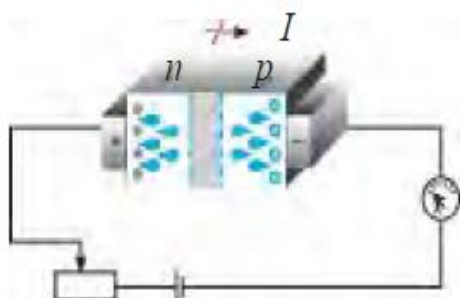
5.3-rasm.

Shunga ko'ra bu soha bundan keyin elektronning p-sohaga, kovakning n-sohasiga o'tishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli uni **berkituvchi qatlam** deyiladi.

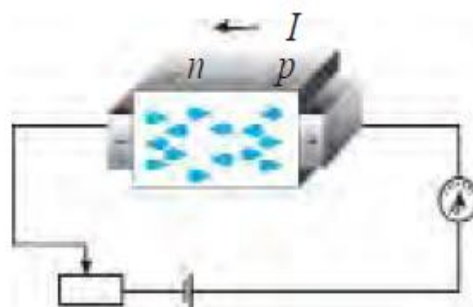
Mazkur yarimo'tkazgichni tok manbaiga ulaylik. Dastlab yarimo'tkazgichning p-sohasini manbaning manfiy qutubiga, n-sohanimanbaning musbat qutubiga ulaylik.

Bunda elektron manbaning musbat qutubiga, teshiklar manbaning manfiy qutubiga tortiladi. Natijada berkituvchi qatlam kengayadi. Yarimo'tkazgich orqali deyarli tok o'tmaydi. Bunday holat teskari p-n o'tish deb ataladi.

Endi yarimo'tkazgichning p-sohasiga manbaning musbat qutubi, n-sohaga manfiy qutubini ulaylik. Bunda elektronlar n-sohadan itarilib p-sohaga tortiladi.



5.4-rasm.



5.5-rasm.

Kovaklar esa p-sohadan itarilib, n-sohaga tortiladi. Natijada berkituvchi qatlam torayadi va undan zaryad tashuvchilar o'ta boshlaydi. Yarimo'tkazgichdan tok o'tadi. Bunday holatni *to'g'ri p-n o'tish* deyiladi. To'g'ri p-n o'tishda yarimo'tkazgich elektr qarshiligi, teskari p-n o'tishga nisbatan bir necha marta kichik bo'ladi. Yarimo'tkazgich p-n o'tish tufayli tok faqat bir yo'nalishda o'tadi. Uning bu xususiyatidan yarimo'tkazgichli asboblarda foydalaniladi.

5.2. Yarimo'tkazgichlardagi muvozanatsiz elektron va teshiklar

2-asosiy savolning bayoni: p- va n- tip yarimo'tkazgichlar kontakti ko'rib chiqdik va bu kontakt orqali o'tish yo'nalishida o'tmoqda deb faraz qilamiz (5.6-rasm). p-sohadagi teshiklar p-n-o'tishga qarab harakatlanadi va bu sohadan o'tib, n-sohaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar sifatida kiradi va u yerda elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi. n-sohadagi elektronlar ham xuddi shunday, ular ham ajralish chegarasidan o'tib, p-sohaga tushadi va u yerda teshiklar bilan rekombinatsiyalanadi. Biroq bu rekombinatsiyalar bir onda ro'y bermaydi, shuning uchun n-sohada teshiklarning ortiqcha konsentratsiyasi n-p-sohada esa elektronlarning ortiqcha konsentratsiyasi n_e hosil bo'ladi. Bunda n-sohadagi ortiqcha teshiklar o'ziga elektronlarni tortadi va shunday qilib elektronlar konsentratsiyasi ham ortadi, hajmiy zaryad, xuddi tok bo'lmagandagi singari, hosil bo'lmaydi, p-sohada ham xudda shunday bo'ladi, u yerda elektronlar konsentratsiyasining ortishi teshiklar konsentratsiyasining ortishiga olib keladi.

Shunday qilib, p-n-o'tish orqali elektr tok bo'lganida yarimo'tkazgichda elektronlar va teshiklar muvozanatsiz bo'lib qoladi. Ularning konsentratsiyasi muvozanat holatidagi qiymatidan katta bo'ladi, bunda go'yo n-sohaga teshiklar, p-sohaga elektronlar "nurlanayotgandek" bo'ladi. Bayon qilinayotgan bu hodisa elektronlar va teshiklar *injeksiyasi* deyiladi.

Elektronlar va teshiklarning muvozanat holati yarimo'tkazgichlarning muvozanat holati yarimo'tkazgichlarni yoritishda ham bo'lishi mumkin, hatto yarimo'tkazgich bir jinsli bo'lganda ham bu hodisa bo'laveradi. Bunday holda elektronlar va teshiklar konsentratsiyasining kristalda taqsimlanish ularning rekombinatsiya tezligiga bog'liq bo'ladi. Bunday holda elektronlar va teshiklar konsentratsiyasining o'zgarishi yorug'lik ta'sirida yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi o'zgarishiga sabab bo'ladi (foto o'tkazuvchanlik). Ortiqcha elektronlar va teshiklar harakatchanligi oshgan sari ular rekombinatsiyalana boradi va ularning konsentratsiyasi kamayadi. Shuning uchun ortiqcha elektronlar va teshiklar konsentratsiyalarining kristalda taqsimlanish ularning rekombinatsiyalash tezliklariga bog'liq bo'ladi.

Yarimo'tkazgichlarda biror usul bilan kristallning barcha joylarida birday bo'lgan ortiqcha elektronlar va teshiklar konsentratsiyasi hosil qilgan bo'lsin, bu ortiqcha zaryad tashuvchilar rekombinatsiya natijasida yo'qolgan bo'lsin. Elektronlar va teshiklar konsentratsiyasi $-dn$ ning dt vaqt ichida kamayishi ularning ortiqcha konsentratsiyalari n ga va vaqtga proporsional bo'ladi

$$-dn = \frac{1}{\tau} n dt. \quad (5.2)$$

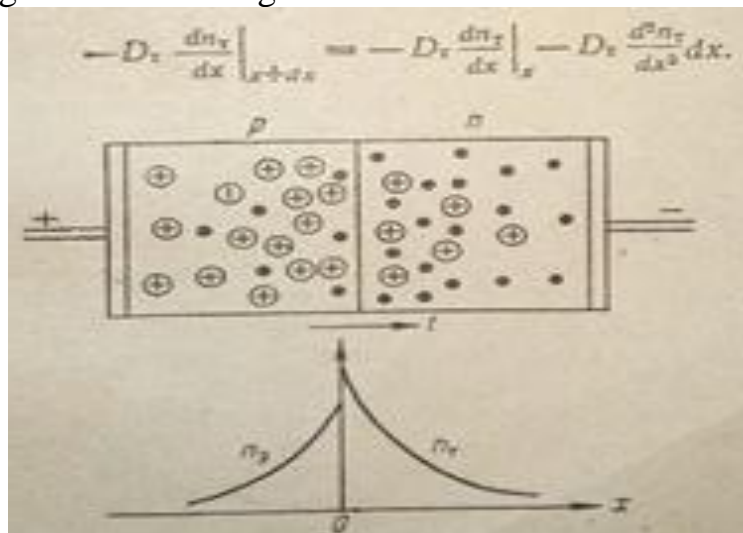
Bu yerda $\frac{1}{\tau}$ - rekombinatsiyalash ehtimolligini aniqlovchi proporsionallik koeffitsienti, τ - kattalik esa ortiqcha zaryad tashuvchilarning o'rtacha yashash vaqti deb ataladi. Bu kattalik materialning xili va sifati, uning holatiga va undagi aralashmalarning mavjudligiga bog'liq bo'ladi. Yozilgan tenglamani integrallab quyidagini topamiz

$$n = n(0) \exp(-t/\tau), \quad (5.3)$$

Bu yerda $n(0)$ - ortiqcha zaryad tashuvchilarning boshlang'ich konsentratsiyasi, τ - esa muvozanatsiz zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi tufayli $e=2,71$

kamayish uchun ketgan vaqt. Yashash vaqti tushunchasidan foydalanib, biz elektronlar va teshiklar ning fazodagi taqsimotiga qaytishimiz mumkin (5.6-rasm).

Buning uchun kristallning o'ng qismida (n-sohada) p-o'tishga parallel va undan x va (x+dx) masofada joylashgantezisliklar bilan chegaralangan ∞ yupqa qatlamni ko'raylik. Berilgan kuchlanish kichik bo'lganda o'tish yaqinida elektr maydonda dref tokini diffuziya tokiga nisbatan nazarga olmaslik mumkin.



5.6-rasm.p-n- o'tishda elektronlar va teshiklar injeksiyasi

x tekislik sirtining har bir birligi orqali vaqt birligi ichida diffuziya tufayli qatlam ichiga $-D_r \frac{dn_r}{dx} \Big|_x$ sondagi teshik o'tadi, bu yerda D_r - n sohada teshiklarning diffuziya koeffitsienti, (x+dx) tekislik orqali qatlamdan chiqadigan teshiklar soni

$$-D_r \frac{dn_r}{dx} \Big|_{x+dx} = -D_r \frac{dn_r}{dx} \Big|_x - D_r \frac{d^2 n_r}{dx^2} dx \quad (5.4)$$

Buning uchun vaqt birligi ichida diffuziya tufayli hajm birligidagi teshiklar miqdorining to'liq ortishi $+D_r \frac{d^2 n_r}{dx^2}$ ga tehg bo'ladi. Bundan tashqari, qatlam ichida rekombinatsiya, tufayi teshiklar soni kamayadi. Vaqt birligida hajm birligidagi teshiklarning kamayishi

n_r / τ ga teng. Statsionar holatda diffuziya tufayli keluvchi teshiklarning soni rekombinatsiya tufayli yo'qoluvchi teshiklar soniga teng bo'lishi kerak. Shuning uchun n-sohada ortiqcha teshiklar konsentratsiyasining (xuddi shuningdek unga tehg bo'lgan ortiqcha elektronlar konsentratsiyasining) fazodagi taqsimlanishini aniqlash uchun quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{d^2 n_r}{dx^2} - \frac{n_r}{L_r^2} = 0 \quad (5.5)$$

bu yerda $L_r = \sqrt{D_r \tau_r}$ belgilash kiritilgan.

Masalaning chegaraviy shartlari shunday bo'ladi, x=0 bo'lganda, $n_r = n_{r0}$, bu yerda n_{r0} -

n-soha chegarasidagi ortiqcha teshiklar konsentratsiyasi. Bundan tashqari, $x \rightarrow \infty$ bo'lganda $n_r \rightarrow 0$ bo'ladi, chunki o'tishdan yetrlicha kata masofada barcha ortiqcha teshiklar elektronlar bilan rekombinatsiyalashga ulguradi. Yuqorida

yoxzilgan tenglamaning chegaraviy shartlarniqanoatlantiruvchi yechimlarin quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$n_T = n_{T0} \exp(-x/L_T) \quad (5.6)$$

Bu yechim injektsiyalangan teshiklar konsentratsiyasi masofano'tishdan uzoqlashgan sari eksponentsial qonunga muvofiq kamayishini ko'rsatadi. Biz kiritgan L_T xarakteristik uzunlik ortiqcha teshiklar konsentratsiyasi $e=2,71$ marta kamaygan masofadir. L_T -kattalik diffuzion siljish uzunligi yoki qisqacha, teshiklar ning diffuzion uzunligi deyiladi.

p-sohada injektsiyalangan elektronlar konsentratsiyasi ham eksponentsial qonunga muvofiq kamayadi, biroq elektronlarning diffuzion uzunligi $L_e = \sqrt{D_e \tau_e}$ bilan aniqlanadi.

3-asosiy savolning bayoni:

Qattiq jismda issiqlik ta'sirida yoki notekis taqsimlanish tufayli zarralar (atomlar, ionlar, elektronlar, kovaklar) ning ko'chishi *-diffuziya hodisasi* yuz beradi. Agar bir jinsli hajmning har xil sohalaridagi zaryad tashuvchilar soni farqli bo'lib qolsa, u holda mana shu sohalar orasida zaryad tashuvchilarning yuqori temperaturali sohasidan past temperaturali sohaga yo'nalgan diffuzion oqimi vujudga keladi. Bu oqim ko'rilayotgan sohalar orasida muvozanat tiklanmaguncha davom etadi.

Umuman olganda diffuzion oqim paydo bo'lishining asosiy sharti shu muhitda ximiyaviy potentsiyalar farqining mavjud bo'lishidir. Bu holda oqim yo'nalishiga ko'ndalang bo'lgan birlik yuzadan o'tayotgan zarralar soni N ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$N = -D(d\mu/dx) \quad (5.7)$$

Bunda D - diffuziya koeffitsienti, μ -ximiyaviy potentsiyal. - ishora oqimning $d\mu/dx$ gradient kamayishi tomonga yo'nalganini bildiradi. Agar ximiyaviy potentsiyal μ faqat muhitdagi zarralar soni farqi bilan belgilanadigan bo'lsa, bu holda yuzaga kelgan oqim *erkin diffuziya* deyiladi. Erkin diffuziya tufayli muhitdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi tenglashadi.

Tabiatda bunga teskari bo'lgan, ya'nizaryad tashuvchilar taqsimlanishining notekisligini kuchaytirishga olib keluvchi hodisalar ham mavjud. Bular asosan tashqi ta'sirlar tufayli yuz berishi mumkin bo'lgan hodisalar bo'lib, bu hodisalar *majburiy diffuziya* deb ataladi. Ular quyidagi turrlarga bo'linadi:

Termodiffuziya-temperatura farqi (dT/dx) ta'sirida yuzaga keladigan diffuziya. Bu holda zarralarning oqimi temperatura pastroq bo'lgan tomonga yo'nalgan bo'ladi.

Elektrodiffuziya-elektr maydoni yoki potentsiallar farqi (dp/dx) tufayli yuzaga keladigan diffuziya. Bu holda zarralar yoki zaryad tashuvchilar qarama-qarshi zaryadli qutublar tomoniga harakatlanadilar.

Baridiffuziya-diffuzion oqim og'irlik kuchi hosilqilgan maydon yoki yuqori bosimlar farqi (dp/dx) tufayli yuzaga keladi. Bu hodisa asosan moddalarning kristallanishi jarayonlarida va qattiq deformatsiyalanishi paytida vujudga keladi. Yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanlik zonasiga qandaydir tashqi ta'sirlar- yorug'lik, elektr maydon yoki ionlashtiruvchi nurlanish yprdamida qo'shimcha elektronlar kiritaylik. Bu qo'shimcha elektronlar konsentratsiyasi koordinata o'qlariga bog'liq

bo'lsin, ya'ni notekis taqsimlangan bo'lsin(buni masalan, yarimo'tkazgich sirtinotekis yoritish yo'li bilan hosil qilish mumkin). Buning natijasida elektronlar diffuziyasi yuzaga keladi.Soddalik uchun oqimni x o'qi bo'ylab yo'nalgan desak, birlik vaqt ichida birlik yuzadan oqib o'tuvchi elektronlar soni

$$I_n = -D_n \frac{dn}{dx}, \quad (5.8)$$

bu oqimga mos keladigan elektr tokining zichligi

$$J_{nx} = eD_n \frac{dn}{dx}, \quad (5.9)$$

ko'rinishda ifodalanadi.Shunga o'xshash ifodalarni kovaklar uchun ham yozish mumkin

$$I_p = -D_p \frac{dp}{dx}, \quad (5.10)$$

$$J_{px} = eD_p \frac{dp}{dx}. \quad (5.11)$$

Muvozanat holatda, elektronlar va kovaklar soni bir-biriga teng bo'ladi.Demak, mana shunday bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgichda diffuzion tokka qarshilik ko'rsatuvchi statikmelekr maydon mavjud bo'ladi.Masalan, duffuziya tufayli ma'lum bir sohada ortiqcha elektronlar yig'ilib qoladi, binobarin, manfiy ishorali hajmiy zaryad paydo bo'ladi, deylik.Elektronlar ko'chgan joyda esa musbat hajmiy zaryad qoladi.Mana shu hajmiy zaryadlar hosil qilgan elektr maydon endi elektronlarning ko'chishiga, ya'ni diffuziyaga xalaqit bera boshlaydi.Hosil bo'lgan elektr maydon \vec{E} bo'lsa, unga mos keluvchi elektr toki zichligi $\vec{j}_E = ne\mu_n \vec{E}$ (μ_n – elektronlar harakatchanligi) bo'ladi.

Shunday qilib yarimo'tkazgichning ixtiyoriy sohasida istalgan paytdagi elektronlar tok zichligi

$$j_n = ne\mu_n E + eD_n dn/dx \quad (5.12)$$

va shunga o'xshash kovaklar tok zichligi

$$j_p = pe\mu_p E + eD_p dp/dx \quad (5.13)$$

Umumiy tok zichligi esa ularning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$j = j_n + j_p = e[(n\mu_n + p\mu_p)E + (D_n dn/dx - D_p dp/dx)] \quad (5.14)$$

Mana shunday holatga jism ichidagi zaryad tashuvchilarning , hajmiy zaryadning va elektr maydonning muayan taqsimoti mos keladi.Bu taqsimotnianiqlash uchun (5.8) ifodadan tashqari yana

$$\text{div}E = \frac{4\pi\rho}{\varepsilon} \quad (5.15)$$

ko'rinishidagi Puasson saqlanish tenglamasidan ham foydalaniladi.Ma'lum bir sohadagi zaryad tashuvchilar soni generatsiya tufayli ortadi,rekombinatsiya r tenglamasi va zaryad tashuvchilar soni generatsiya tufayli ortadi, rekombinatsiya tufayli kamayadi.Undan tashqari ma'lum bir hajimga kirayotgan elektronlar soni undan chqayotgan elektronlar soniga teng bo'lmasligi mumkin.Shularni hisobga olgan holda yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar konsentratsiyasining vaqt bo'yicha o'zgarishiquyidagicha bo'ladi:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = Q + \beta \alpha I - \frac{n}{\tau} + \frac{1}{e} \operatorname{div} \vec{j}, \quad (5.16)$$

bu yerda Q -issiqlik tufayli generatsiyalangan elektronlar soni, $\beta \alpha I$ – yorug'lik ta'sirida hosil bo'layotgan elektronlar soni, n/τ - rekombinatsiya tezligi, $\frac{1}{e} \operatorname{div} \vec{j}$ – elektronlarning ko'chishi tufayli kamayishi. (5.14)- (5.16) tehlamlar ko'pgina umumiy masalalarni echishda elektronlar sonini, zaryadlar va maydon taqsimotini topish uchun qo'llanilishi mumkin. Muvozanat holat ($j_n = 0, j_p = 0$) da elektr maydon x o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa, (5.6) ifodadan

$$n \mu_n E_x = -D_n \frac{dn}{dx} \quad (5.17)$$

tenglik kelib chiqadi. Agar elektrostatik potentsialni ϕ bilan belgilasak,

$$E_x = -\frac{d\phi}{dx} \quad (5.18)$$

bo'ladi va elektronning potentsial energiyasi $e\phi$ ga teng. Bol'tsman formulasiga ko'ra, yarimo'tkazgichda aynish bo'lmagan holda $n = C \exp\left(\frac{e\phi}{k_0 T}\right)$ bo'ladi (C -konstanta). U holda

$$\frac{1}{n} \frac{dn}{dx} = \frac{e}{k_0 T} \frac{d\phi}{dx} \quad (5.19)$$

(5.20) va (5.21) ni (5.13) ga qo'ysak:

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{k_0 T}{e} \text{ yoki } D_n = \frac{k_0 T}{e} \mu_n \quad (5.20)$$

$$\text{Shunga o'xshash, kovaklar uchun: } D_p = \frac{k_0 T}{e} \mu_p \quad (5.21)$$

Mana shu diffuziya koeffitsienti, temperature, harakatlanayotgan zarra zaryadi va harakatchanligini bog'lovchi ifoda Eynshteyn munosabati deb ataladi.

Muhokama uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlarda to'g'ri o'tishlarni izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlarda noto'g'ri o'tishlar qanday yuz beradi?
3. Yarimo'tkazgichlar sirtidan yorug'likning qaytishini nima?
4. Yarimo'tkazgichlardagi diffuziya hodisasi izohlab bering.
5. Yarim o'tkazgichlarda birlik yuzadan o'tuvchi zarralar soni qanday ifodalanadi?
6. Yarimo'tkazgichlarda erkin diffuziya qanday sodir bo'adi?
7. Yarimo'tkazgichlarda majburiy diffuziya qanday sodir bo'ladi?
8. Yarimo'tkazgichlardagi termodiffuziya, elektrodifuziya, baridifuziyani izohlab bering.
9. Yarimo'tkazgichlarning n -turdagi va p -turdagi turlarini izohlang.
10. p - n turdagi o'tishlarni izoxlang.
11. Yarimo'tkazgichlar sirtidan yorug'likning qaytishi qan?
12. Yarimo'tkazgichlardagi o'tkazish koeffisientini izohlab bering.
13. Yarim o'tkazgichlarda qaytish (sochilish) koeffisienti tushuntiring.
14. Yarimo'tkazgichlar sirtida yorug'likning yutilish koeffisienti nima?

6-ma'ruza. Diod, diod kuchlanishi va diod tenglamasi

Asosiy savollar:

1. Ideal diod tenglamasini keltirib chiqarish.
2. Fundamental tenglamalar.
3. Fundamental tenglamalarni $p-n$ -o'tishga qo'llash

Tayanch so'z va iboralar: diod, yarimo'tkazgichli diod, donor aralashma, monokristal, salt yurish EYK, diffuziya hodisasi,

Darsning maqsadi: Magistrarga diod, diod kuchlanishi va diod tenglamasi haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

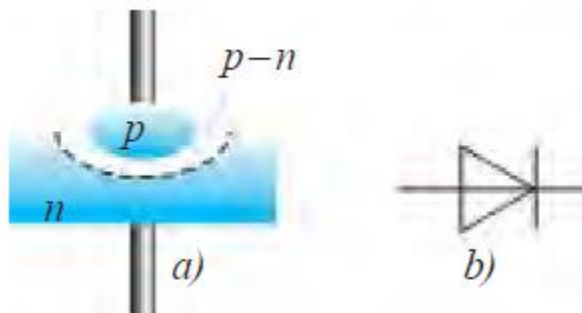
- 6.1. Ideal diod tenglamasini keltirib chiqarishni biladi.
- 6.2. Fundamental tenglamalar haqida ma'lumot bera oladi.
- 6.3. Fundamental tenglamalarni $p-n$ -o'tishga qo'llashni izohlay oladi.

1-asosiy savolning bayoni: Yarimo'tkazgichli diod

Yarimo'tkazgichlarda $p-n$ o'tishni hosil qilish uchun p va n o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ikkita yarimo'tkazgichni mexanik ravishda ulash yetarli bo'lmaydi. Chunki bu holda ulardagi oraliq katta bo'lmaydi. p va n o'tishdagi qalinlik atomlararo masofaga teng bo'ladigan drajada kichik bo'lishi kerak. Shu sababli donor aralashmaga ega bo'lgan germaniy monokristali yuzalaridan biriga indiy kavsharlanadi. Diffuziya hodisasi tufayli indiy atomlari germaniy monokristali ichiga kiradi. Natijada Ge yuzasida p - tipidagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan soha hosil bo'ladi.

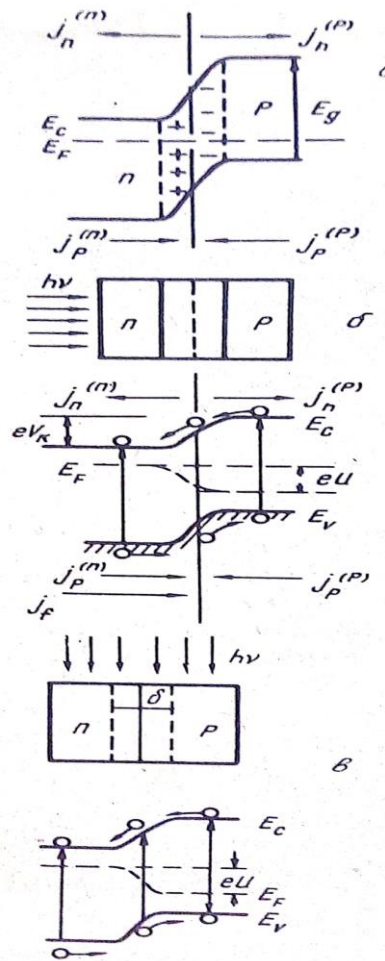
Germaniy monokristalining indiy atomlari kirmagan sohasi avvalgidek n -tipdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Oraliq sohada $p-n$ o'tish hosil bo'ladi. Bitta $p-n$ o'tishga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli asbobga **yarimo'tkazgichli diod** deyiladi.

Yarimo'tkazgichli diodga yorug'lik, havo va tashqi elektr, magnit maydonlarining ta'sirlarini kamaytirish uchun germaniy kristali germetik berk metall qobiqqa joylashtiriladi.



6.1-rasm.

Yarimo'tkazgichli diodning shartli belgisi 6.1-rasmda keltirilgan. Ma'lumki, bir yarimo'tkazgich namunasida elektron (n) o'tkazuvchanlikli va kovak (p) o'tkazuvchanlikli ikki soha hosil qilish mumkin. Elektronlar n -sohadan p -sohaga diffuziyalanib o'tib, asosan uning hajmida rekombinatsiyalanib ketadi, chegaraning n -soha tarafidagi tor qatlamda esa donor ionlardan iborat musbat qo'zg'almas hajmiy zaryad qoladi.



6.2-rasm. p-n-o'tishning energetik sxemasi: a- yoritilmagan (muvozanatdagi) hol; b, v- yoritilgan (nomuvozanat) hol.

Kovaklar esa p -sohadan n -sohaga diffuziyalanib o'tib, asosan uning hajmida rekombinatsiyalanib ketadi. Chegaraning p -soha tarafidagi tor qatlamda esa akseptor ionlardan iborat manfiy qo'zg'almas hajmiy zaryad qoladi. Hajmiy zaryadlar paydo bo'lishi bilan birga chegaraviy qatlamda n -sohadan p -sohaga yo'nalgan elektr maydon va uning ta'sirida elektronlar va kovaklarning dreyf oqimlari vujudga keladi. Hajmiy zaryadlar chegaraviy qatlamning shakllanishi to dreyf oqimlari diffuzion oqimlarga tenglashguncha davom etadi. p - va n - sohalar chegarasida vujudga keladigan qatlamni p - n o'tish deyiladi (6.2-rasm).

Xona temperaturasida n -tipdagi yarimo'tkazgichda qancha donor aralashmali atomlar bo'lib, amalda ular ionlashgan bo'ladi. Muvozanatlashgan erkin elektronlar va shuncha miqdorda harakatsiz zaryadli ionlar bo'ladi. Kovakli yarim o'tkazgichda p -erkin kovaklar va shuncha harakatsiz manfiy zaryadli ionlar bo'ladi. Ular p - va n - kontakda bo'lganda, kovak va elektron konsentratsiyasini gradienti vujudga keladi, n - tip yarimo'tkazgichda elektronlar oqimi diffuziyasi va p -tip yarimo'tkazgichda aksincha kovaklar oqimi vujudga keladi. n -sohadan p -sohaga o'tgan elektronlar o'tish chegarasiga yaqin joyda rekombinatsiyalashadi. Xudda shunday kovaklar p -sohadan n -sohaga o'tganda rekombinatsiyalanadi. Natijada p - n -

o'tish sohasi yaqinida amalda erkin zaryadlar qolmaydi, $p-n$ - o'tishning ikki tomonda harakatsiz ionli zaryadlarning ikkilangan qatlami vujudga keladi.

Yuqorida aytilganlarga ko'ra, $p-n$ - o'tish sohasi quyidagi asosiy xossalarga egadir:

1. Termodinamik muvozanat sharoitida $p-n$ - o'tish sohasi hajmiy zaryad mavjud bo'lgan qatlamdir. Bu halmiy zaryadni asosan donor va aktseptor ionlar tashkil qiladi.

2. $p-n$ - o'tishning hajmiy zaryadiga bog'liq bo'lgan va n - sohadan p -sohaga tomon yo'nalgan elektr maydon mavjud, u esa bu sohada potentsial o'zgarishini taqazo qiladi, binobarin, $p-n$ -o'tishning chegaralari orasida potentsial lar ayirmasi vujudga keladi.

3. $p-n$ - o'tishning elektr maydoni elektronlarning n - sohadan p -soha tomon va kovaklarning p -sohadan n -soha tomon o'tishiga to'sqinlik qiladi. Shuning uchun hozir aytilgan ma'noda $p-n$ - o'tish potentsial to'siq bo'lib, uning balandligi $p-n$ -sohadagi potentsiallar ayirmasiga teng.

4. Yupqagina $p-n$ - o'tish qatlamdagi ichki elektr maydon elektr yurituvchi kuch hosil qilmaydi.

5. $p-n$ - sohasida harakatchan zaryadlar – elektronlar va kovaklar juda kam miqdorda bo'ladi, bu sohaning solishtirma qarshiligi juda ham katta (solishtirma o'tkazuvchanligi juda kichikdir).

$p-n$ - o'tish orqali n -sohadan p -sohaga o'tuvchi va kovaklar toklarimzichligini $j_n^{(n)}$ va $j_p^{(n)}$ bilan, p -sohadan n -sohaga o'tayotgan kovaklar va elektronlar toklari zichligini esa $j_p^{(p)}$ va $j_n^{(p)}$ bilan belgilasak, u holda muvozanat sharti quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$-j_n^{(n)} + j_p^{(p)} - j_p^{(p)} + j_n^{(p)} = 0, \quad (6.1)$$

bundan: $-j_n^{(n)} + j_n^{(p)} = 0; \quad -j_n^{(p)} + j_p^{(n)} = 0.$

(6.1) dan ko'rinishicha, elektronlar toklari yig'indisi hamda kovaklar toklarining yig'indisi nolga teng.

p -sohadan elektronlarning n -sohaga oqimi zichligi va n -sohadan kovaklarning p -sohaga oqimi zichligi to'yinish toki zichligini tashkil etuvchilaridir:

$$j_s = j_n^{(p)} + j_p^{(n)} = j_{ns} + j_{ps} = eD_n \frac{n_p}{L_n} + eD_p \frac{p_n}{L_p} \quad (6.2)$$

Agar $p-n$ - o'tishli yarimo'tkazgichni fotonning energiyasi $\hbar\omega \geq E_g$ bo'lgan kuchsiz yorug'lik bilan yoritilsa, unda electron – kovak juftlari vujudga keladi. Agar $p-n$ - o'tishni uning chegarasi bo'ylab yoritilsa (6.1-rasm), u holda namunada nomuvozanat holatdagi zaryad tashuvchilar vujudga keladi. $p-n$ - o'tish sohasidan diffuzion uzunlik chamasidagi masofada vujudga kelgan elektron-kovak juftlar $p-n$ - o'tish chegarasi tomonga diffuziyalanadi, uning maydoni esa juftlarni ajratadi, ya'ni elektronlarni p -sohadan n -sohaga o'tkazadi, kovaklarni esa n -sohadan p sohaga o'tkazadi. $p-n$ - o'tishdan diffuzion uzunlik chamasidan naribroqda vujudga kelgan nomuvozanatliy elektronlar va kovaklar $p-n$ - o'tishga yetib kelolmay, rekombinatsiyalanib ketadilar.

Yorug'lik $p-n$ -o'tish tekisligiga tik tushayotgan holda (6.2,b-rasm) agar $p-n$ -o'tish yoritilayotgan sirtan uncha ichkarida bo'lmasa, uning ikkala tarafida ham electron – kovak juftlar vujudga keladi.

Agar $p-n$ -o'tish zanjiri uzoq bo'lsa, bu holda yoritish n - sohada elektronlarning va p -sohada kovaklarning to'planishi ga sabab bo'ladi, potentsial to'siq eV qadar pasayadi, $p-n$ - o'tishning muvozanat holati buziladi. Yoritish oqibatida $p-n$ - o'tishning ikki tarafi orasida paydo bo'lgan qo'shimcha V potentsiyallar ayirmasi *salt yurish EYK* i dyeiladi.

$p-n$ - o'tishni yoritganda j_ϕ fototok hosil bo'ladi, u nomuvozanat holatdagi zaryad tashuvchilar tokiga mos keladi. $p-n$ - o'tishni yoritganda hosil bo'ladigan V_ϕ foto EYK ni aniqlash uchun natijaviy tokni quyidagicha yozib olamiz:

$$j = j_\phi - j_{n,\phi}^{(n)} + j_{n,\phi}^{(p)} - j_{p,\phi}^{(p)} + j_{p,\phi}^{(n)}. \quad (6.3)$$

Muvozanat holatdagi asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar toklari o'zining qiymatini saqlab qoladi:

$$j_{n,\phi}^{(p)} = j_n^{(n)} = j_{n_s}^{(p)} = j_{n_s}; j_{p,\phi}^{(p)} = j_p^{(n)} = j_{n_s}^{(p)} = j_{n_s}. \quad (6.4)$$

Biroq, potentsial to'siq pasayishi tufayli $p-n$ - o'tish orqali oqadigan asosiy zaryad tashuvchilar ning toklari ortadi:

$$j_{n,\phi}^{(p)} = j_s \exp\left(\frac{eV}{k_0T}\right); j_{p,\phi}^{(p)} = j_{ps} \exp\left(\frac{eV}{k_0T}\right). \quad (6.5)$$

To'yinish to'la toki zichligi $j_s = j_{ns} + j_{ps}$ bo'lishini e'tiborga olib va (6.5) ni (6.3) ga qo'ysak:

$$j = j_s \left(e^{\frac{eV}{k_0T}} - 1\right) - j_\phi. \quad (6.6)$$

To'la fototok $I = jS_{p-n} = I_s \left(e^{\frac{eV}{k_0T}} - 1\right) - I_\phi,$ (6.7)

bundan $V = \frac{k_0T}{e} \ln\left(1 + \frac{I_\phi + I}{I_s}\right).$ (6.8)

(6.8) tehglama har qanday rejim uchun fotodiod tenglamasidir. Zanjir uzoq bo'lganda ($I=0, R=\infty$) da $V=V_{\phi,эКЖ}$ bo'ladi

$$V_{\phi,эКЖ} = \frac{k_0T}{e} \ln\left(1 + \frac{I_\phi}{I_s}\right). \quad (6.9)$$

Qandaydir R qarshilik ulangan holda (6.8) ifoda

$$V_R = \frac{k_0T}{e} \ln\left(1 + \frac{I_\phi - I_R}{I_s}\right), \quad (6.10)$$

ko'rinishni oladi, bunda $I_R = \frac{V_R}{R}$. Qisqa tutashuv holida $p-n$ - o'tishning bu ish rejimini ventil' fotoelement rejimi deyiladi. Agar $p-n$ o'tishga yopuvchi yo'nalishda u kuchlanish berilsa, yoritish sharoitida u fotodiod rejimida ishlaydi. Bunday holda teskari VAX ning to'yinish qismi ishlash qismi bo'ladi. Teskari kuchlanish ancha katta bo'lgan holda $p-n$ -o'tish orqali oqayotgan tok fototok va teskari tokdan iborat:

$$I = I_\phi + I_s, \quad (6.11)$$

zanjirdagi tok esa: $I = \frac{U - V}{R}$.; fotodiod tenglamasi:

$$\frac{U - V}{R} = I_s \left(e^{\frac{eV}{k_0 T}} - 1 \right) - I_\Phi, \quad (6.12)$$

$I_\Phi = 0$ bo'lganda bu diodning ma'lum tehglasiga aylanadi.

Muhokama uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichli diodni ishlash jarayonini izohlang.
2. Ideal diod tenglamasini keltirib chiqaring.

Testlar

3. Donor aralashmali yarim o'tkazgichlar qanday turdagi o'tkazuvchanlikka ega?
A) asosan elektron o'tkazuvchanlikka; B) asosan teshik o'tkazuvchanlikka;
C) elektr tokini o'tkazmaydi; D) Teng miqdorda elektron va teshikli o'tkazuvchanlikka.
4. Toza yarimo'tkazgichdan elektronlarning tartibli harakati tufayli 1 mA tok o'tmoqda. Yarimo'tkazgichdan o'tayotgan to'la tok kuchi nimaga teng?
A) 1 mA; B) 2 mA; C) 0,5 mA; D) 0.
5. Gapni davom ettiring. " Temperaturata ortishi bilan yarim o'tkazgichning qarshiligi ..."
A) ... ortadi; B) ... avval ortadi, so'ngra kamayadi;
C) ... kamayadi; D) ... avval kamayadi, so'ngra ortadi.
6. Yarimo'tkazgichda teshik va elektron uchrashganda nima hosil bo'ladi?
A) musbat ion; B) neytral atom; C) manfiy ion; D) molekula hosil bo'ladi

7-ma'ruza. Quyosh fotoelementi

Asosiy savollar:

1. Ideal quyosh fotoelementi.
2. Fotoelement tuzilishi va fototok generatsiyasi.
3. Zaryad tashuvchilarni jamlanishi va jamlash koeffitsienti.

Tayanch so'z va iboralar: fotoelement, fototok generatsiyasi,

Darsning maqsadi: Magistr'larga ideal quyosh fotoelementi va ularning tuzilishi, fototok generatsiyasi, zaryad tashuvchilarni jamlanishi va jamlash koeffitsienti haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

- 7.1. Ideal quyosh fotoelementi tuzilishini va fototok generatsiyasini biladi.
- 7.2. Zaryad tashuvchilarni jamlanishi va jamlash koeffitsienti haqida ma'lumot bera oladi.

1-asosiy savolning bayoni:

7.1. Ideal quyosh fotoelementi

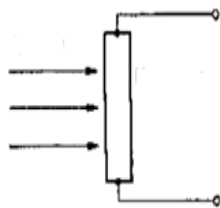
Ideal quyosh fotoelementi (fotoelektrik almashtirgich, fotoelement)- elektr qurilmasi bo'lib, almashtirgichlarga o'hshab ishlaydi va elektromagnit nurlanish oqimning bir qismini almashtirishga xizmat qiladi, u (odatda, ko'rinuvchi nur va infraqizil elektromagnit to'lqini) fotoelektrik effekt yordamida elektr energiyasiga aylantiriladi.

Fotoelektrik almashtirgichlarning ishlashi asosan yarim o'tkazgichlarda ichki fotoelekt effekt hodisasiga asoslangan. Yarim o'tkazgichlarga elektromagnit

nurlanish ta'sir qilish natijasida, fotoelementda erkin harakatlanuvchan musbat (kovaklar) va manfiy (elektronlar) zaryad tashuvchi juftlar hosil bo'ladi, undan keyin elektr maydoni ta'sir qilganda element ichida bo'linish sodir bo'ladi.

**Elektromagnit
nurlanishi**

**Qarshilikning
o'zgarisi**



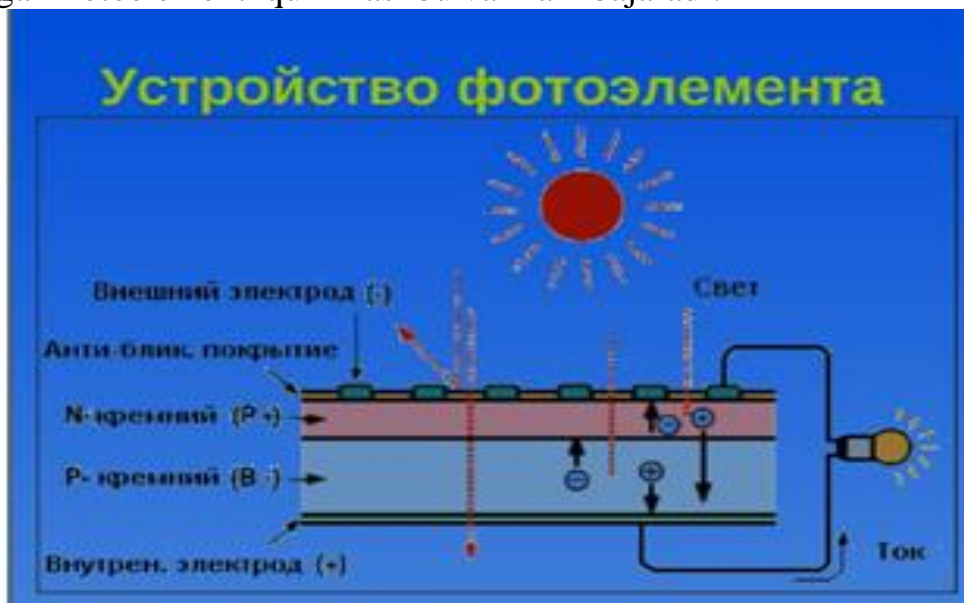
7.1 – rasm. Fotoelektr almashtirgich

Shunga asosan, ideal yarim o'tkazgichda nurlanishning yutilishi elektron –teshik juftlikni hosil bo'lishiga olib keladi, ularning yasashda davri yarim o'tkazgich materialning tuzilish tarkibiga bog'liq bo'ladi. Elektron –teshik juftllarini annigilyatsiya jarayoniga *rekombinatsiya* deb ataladi. Nurlanishning hamma chastotalari ham elektron –teshik juftllarini generatsiya qila olmaydi, atom yadrosidagi elektronlarni bog'lanish energiyasini yengib chiqishi uchun yetarli bo'lganida hosil bo'ladi. Jarayon vaqtidagi elektromagnit nurlanishning xarakteristikasini yarimo'tkazgich materialining hossalari belgilaydi, hamma yarimo'tkazgichlar ham bunday nurlanish uchun sezgir bo'lmaydi. Elektromagnit nurlanishini yutilishi ta'siri ostida fotonlar elektronlar to'la zonadan erkin zonaga o'tadi, bunda fotoo'tkazuvchanlik sodir bo'ladi. Bunda yarim o'tkazgich qo'shimcha o'tkazuvchanlik hasil qiladi, lekin elektr harakatlanuvchi kuch hosil qilmaydi.

Bundan tashqari boshqa fizik hodisa ham bor, yarimo'tkazgichga tushuvchi yorug'lik nuri o'zgaritilsa elektr harakatlanish kuchi ham oshadi. Buning uchun yarim o'tkazgich tekis bo'lmagan yorug'lik bilan yoritiladi, bunda yarim o'tkazgich sirtining bir qismi kuchli yoritiladi, boshqa qismi kuchsiz yoritiladi. Bunda yorig' va qorong'i qismlarda potentsiallar farqi vujudga keladi. Bu hodisa shuni ko'rastadiki, yoritilish vaqtida elektronlar yoritildan qismda, qoraygan qismga qaraganda ko'proq miqdorda diffuziyalana boshlaydi, teskari yo'nalishga nisbatan.

Bu diffuziyaning ustunligi shunga olib keladiki, qoraygan qism (elektron o'tkazuvchanlik mexanizimi hoida) asta sekin manfiy zaryadlanana boshlaydi, yoritilgan qism esa –musbat zaryadlanadi. Bu jarayon ta'sirida yarim o'tkazgich ichida elektr maydon hosil bo'ladi va asta - sekin potentsiallar farqi orta boshlaydi. Ma'lum vaqt o'tish bilan muvozanat holat yuzaga keladi, bunda va bu tomondagi elektronlar oqimining xakeri tenglashadi. Yarimo'tkazgichning yorug' va qorong'i qismlarida muvozanat sodir bo'lganida, potentsiallar farqi vujudga keladi, uning kattaligi 0,2 V yetadi. Fototok hosil qilish va undan amalda foydalanishda fotoelektrik effekt hosil qilish uchun elektron – teshik juftlarni ajratish kerak bo'ladi. Ajratilgan musbat va manfiy zaryadlar energetik (taqiqlangan) to'siq hosil qilishi mumkin. Ko'pchilik fotoelementlarda energetik to'siq bo'lib, ikki hil o'tkazuvchanlikli yarim o'tkazgich materialli chegarasida sodir bo'luvchi elektr maydoni hisoblanadi, farqlanuvchi elektr o'tkazuvchi tiplar (n – elektron va p – teshik). Yarim o'tkazgich tarkibini nur bilan yoritish vaqtida, elektr maydonda

elektron- teshik juftlarni bo'linishida foto –e.y.k shakillanishiga olib keladi. 7.2-rasmda berilgan fotoelement qurilmasi bu vazifani bajaradi.



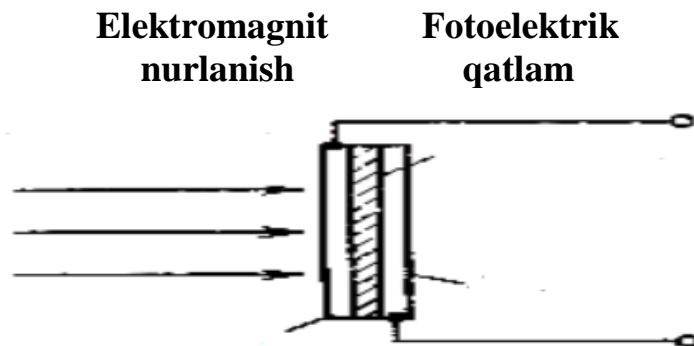
7.2-rasm. Quyosh elementi qurilmasi

Bunday fotoelement ikki qatlamli yarim o'tkazgich materiall, masalan, n- va p-yupqa qatlamli qandaydir boshqa metall surkaladi, masalan kumish. Bu yupqa metall qatlam yarim shaffof bo'lib, quyosh nurlanishini yaxshi o'tkazadi. Bu qatlam tashqi elektrod bo'lib hisoblanadi. Pastki elektrod sifatida mis plastinkasidan foydalanish mumkin. 7.2-rasmda quyosh elementi qurilmasi keltirilgan. Agar eng sodda bo'lgan elektr zanjirini yig'sak-yarim shaffof kumush qatlamli o'tkazgich simga ulab qisqich yordamida gal'vanometr ga ulasak, uning ikkinchi qisqichini mis plastinkasiga ulasak, bunday zanjirda tok manbai bo'lmaydi va shu sababli gal'vanometr ko'rsatishi nulgga teng bo'ladi. Agar yuqorigi yarim shaffof kumush qatlamga yorug'lik nurlanishi oqimini yo'naltirsak, unda gal'vanometr strelkasi nul holatdan ketadi, zanjirda elektr toki hosil bo'ladi. Shunday qilib, fotoelement sirtiga yorug'lik nurlanishi berilsa zanjirda elektr toki hosil bo'ladi. Huddi shunga o'xshash hodisa boshqa yarimo'tkazgichlarda ham uchrashi mumkin. Bu effekt quyidagi yarimo'tkazgichlarda sodir bo'ladi: oltingugurt talliy, oltingugurt kumush, selen, germaniy, kremniy, oltingugutr kadmiyda alohida effekt beradi. Bu fizik hodisa berkituvch qatlamli fotoeffekt yoki ventill' fotoeffekti deb ataladi. Fotoelektr almashtirgichning elektr sxemasi 7.1-rasmda berilgan, o'zining ichiga yarim o'tkazgichli fotosezgir qatlamni materialni oladi, ikki elektr tokini o'tkazuvchi eletrodlar orasiga joylashtirilgan bo'ladi.

Elektrodlardan biri shaffof materialdan tayorlangan bo'lib, undan quyosh nurlanishi o'tadi va fotosezgir materialga tushadi. Bunday element to'liq yoritilganda uning elektrodlari orasida potentsiallar farqi yuzaga keladi (chiqish kuchlanishi) taxminan 0,5 V.

Quyosh nurlanishini elektr energiyasiga almashtirish mexanizimini bir qancha pog'onalariga bo'lish mumkin. Birinchi bosqichda, quyosh nurlanishi yutilishi natijasida yarim o'tkazgichdan bir vaqtning o'zida "elektronlar" va "teshiklarni" bo'shatadi, "elektron –teshik" juftlarini hosil qiladi. Bo'shagan juftlarda shunga olib keladiki, elektronlar to'la zonadan erkin zonaga siljiy boshlaydi, shunday qilib

elektron o'tkazuvchanlik bilan almashadi, "teshiklar" to'la zonada qoladi va elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok etadi. Agar nurlanish faqat bitta yarimo'tkazgichda yutilsa, boshqa yarimo'tkazgichlar bilan kontaktda bo'lmasa, yorug'lik nuri ta'siri ostida "elektron – teshik" juftlarini faqat berilgan yarimo'tkazgich uchun o'tkazuvchanligi ortadi. Agar tizim bo'sa, unda elektron o'tkazuvchanlikli yarimo'tkazgich bo'lsa (n) harfi va teshik o'tkazuvchanlik bo'lsa (p) harfi bilan belgilanadi.



Elektrod

7.3-rasm. Berkituvchi qatlamli quyosh fotoelement qurilmasi.

Yarimo'tkazgichlar oralig'i berkituvchi qatlamdan iborat. p va n tipdagi yarimo'tkazgich qatlami kontaktlari, ular orasida elektr maydonni hosil qilishga olib keladi. "Teshik"li yarimo'tkazgichlarda chiqish ishi elektronni chiqish ishidan katta sharti bajarilsa, (ikki yarimo'tkazgich bir xil ximiyaviy tarkibga ega bo'lsa), unda kontaktdagi elektr maydon yo'nalishi elektronlardan "teshik" o'tkazuvchanlikka bo'ladi. "Bo'shagan" nurlanish asosiy bo'lmagan tok elitgichi bo'ladi, ya'ni elektronlar teshikli yarim o'tkazuvchda yoki "teshik" elektron yarimo'tkazgichda, bunday maydon ta'sirida berkituvchi qatlam bir yarimo'tkazgichdan boshqasiga o'tadi. Asosiy tok elitgichlar bir yarimo'tkazgichdan boshqasiga o'tishida, qaralayotgan tizimning bir tarafida ularning yig'lishi, shu vaqtning o'zida boshqa qismda asosiy tok tashuvchilar yig'ladi. Quyosh nurlanishi hisobiga "elektron – teshiklar" juftlari bo'linishni boshlaydi: elektronlar elektron yarimo'tkazgichga kontsentratsiyalanadi, teshiklar esa teshik yarim o'tkazgichga yig'ladi.

Bu jarayon cheksiz davom etishi mumkin, ya'ni parallel holda teshiklar kontsentratsiyasi ortishi bilan "teshiklar" yarim o'tkazgichida va elektron-elektronli ortishni boshlaydi, ularning elektr maydonlari ortadi, asosiy bo'lmagan elitgichlarning bir yarimo'tkazgichdan ikkinchisiga o'tishiga berkituvchi qatlam yo'l qo'ymaydi. Bir vaqtning o'zida bu maydonning ortishi natijasida, teskari oqim asosiy bo'lmagan tok elitgichi ham ortadi. Jarayonning oxirida, dinamik muvozanat yuz beradi.

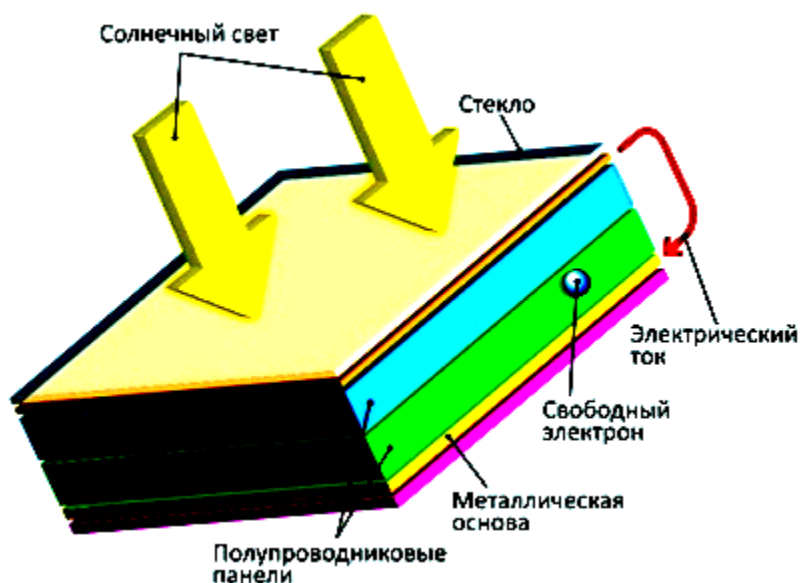
Bu vaqtda elektrodlar orasida stabil potentsiallari farqi hosil bo'ladi, bu fotoelektr harakatlantiruvchi kuch bo'lib hisoblanadi. Bunday dinamik muvozanatni hosil qilishda, shuni nazarga olish keraki, asosiy bo'lmagan tok tashuvchilar soni N birlik vaqt ichida aralashishi yoritilgan yarimo'tkazgichda berkituvchi qatlam orqali boshqa yarim o'tkazgichga quyosh nurlanishining oqim zichligi intensivligiga bog'liq bo'ladi. Nurlanish intensivligi ortishi bilan N soni ham ortadi. Boshlanishda bu ortish

chiziqli qonun bo'yicha bo'ladi, keyin N ning ortishi kamaya boshlaydi, asta sekin xarakterli qiymatga yaqinlasha boradi, dinamik muvozanat holatga o'tadi.

Mos ravishda, N ning o'zgarishi quyosh nurlanishi intensivliining o'zgarishiga bog'liq holda fotoelektr harakatlanuvchi kuchi kattaligini o'zgartiradi, hamda eng muhim natija berkituvchi qatlamli fotoeffektida olinadi. Berkituvchi qatlamli fotoeffekt "asosiy bo'lmagan" tok tashuvchilar katta diffuziyali uzunlikli va mos ravishda katta yashash vaqtiga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli sistemada aktiv o'tadi. Quyosh nurlanish oqimi generatsiyasida zaryad tashuvchilar I_f fototok hosil qiladi. Fototok kattaligining son qymati generatsiyasidan o'tgan tashuvchi zaryadga, birlik vaqt ichida $p-n$ o'tishga bog'liq bo'ladi va quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$I_f = (q \cdot P_n) / h\nu, \quad (7.1)$$

bu yerda q - elektronning zaryad kattaligi, P_n – monoxromatik nurlanishning yutilgan quvvati; $h\nu$ - fotonning energiyasi, elektron – vol'tda.



7.4-rasm. Quyosh elementi fotoelektrik almashtirgichi

Bu yerda shuni e'tiborga olinganki, yarimo'tkazgich xar bir fotonni yutishida energiya $h\nu > E_g$ (yarim o'tkazgichning taqiqlash zonasi kengligi) bitta elektron – teshik jufti hosil qiladi deb qaraladi. Bu shart kremniy asosli fotoelementlarda yaxshi bajariladi. Berkituvchi qatlamli fotoeffektning ochilishi yarimo'tkazgichlarning amalda qo'lash imkoniyatlarini oshiradi va uning asosida ventli fotoelementlar yaratildi, uning asosida Quyosh nurlanish energiyasini to'g'ridan - to'g'ri elektr energiyasiga aylantiruvchi qurilmalar ishlab chiqilmoqda. Quyosh elementining sxemasi 7.4-rasmda berilgan. Bir qancha fotoelektrik almashtirgichlarni birlashtirish natijasida quyosh batareyalarini yasash mumkin.

Yutilish koeffitsienti. Optik nurlanish bilan yarimo'tkazgich ta'sirlashganda, uning sirtidan qisman qaytadi, qisman sirtida yutiladi va qisman yarimo'tkazgichdan yutilmasdan o'tadi. Ular mos ravishda qaytuvchi, o'tuvchi va yutiluvchi energiya koeffitsienti bilan baholanadi.

O'tkazish koeffitsienti $T = P_{o'tgan} / P_{tush}, \quad (7.2)$

Qaytish (sochilish) koeffitsienti $R = P_{qaytgan} / P_{tush}, \quad (7.3)$

Yutilish koeffitsienti $A = P_{yutilgan} / P_{tush}, \quad (7.4)$

bu yerda $P_{o'tgan}$ – o'tgan nurlanishning quvvati, $P_{qaytgan}$ – qaytgan nurlanish quvvati, $P_{yutilgan}$ – yutilgan nurlanishning quvvati, P_{tush} – tushuvchi nurlanish quvvati.

Ma'lumki, yorug'lik to'liqini yarimo'tkazgich sirtiga tushganda yorug'lik oqimining P_R qismi shu sirdan qaytadi, P_T qismi yarim o'tkazgichdan o'tib ketadi, P_r qismi sochiladi va P_α qismi o'tkazgich hajmida yutiladi. Bu qismlarning tushayotgan to'la yorug'lik oqimi P_0 ga nisbatlari quyidagiga teng:

$$R = \frac{P_R}{P_0}; T = \frac{P_T}{P_0}; r = \frac{P_r}{P_0}; A = \frac{P_\alpha}{P_0}, \quad (7.5)$$

bu yerda mos ravishda, qaytarish, o'tish, sochilish koeffisientlari bo'lib, yutilish qobiliyati deb ataladi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, bu koeffisientlarning yig'indisi 1 ga teng:

$$R + T + r + A = 1 \quad (7.6)$$

Bu koeffisientlar yarim o'tkazgichlarning xossalari, nurlanishning to'liq uzunligiga, tushish burchagiga, qutublanish hamda namuna sirtining ishlanishiga, uning qalinligiga bog'liq bo'ladi.

Yorug'lik yutilishining bir necha mexanizmlari mavjud. Yorug'lik yutilishi mexanizimi qanday bo'lsa ham, yarimo'tkazgich hajmida fotonlar oqimini Buger-Lambert qonuniga binoan eksponentsial ravishda kamayib boradi:

$$I_\nu(x) = I_{\nu_0}(1 - R_\nu)e^{-\alpha x}, \quad (7.7)$$

Bu yerda I_0 - yarimo'tkazgich sirtiga tushayotgan ν -chastotali fotonlar oqimi, foton sm^2s (yoki yorug'lik intensivligi, Wt/sm^2); $I_{\nu_0}(1 - R_\nu)$ -yarim o'tkazgich ichiga kirgan fotonlar oqimi; $I_\nu(x)$ -sirdan x masofa ichkaridagi fotonlar oqimi; α -yutilish koeffisienti, sm^{-1} ; R_ν -qaytarish koeffisienti.

Yutilishni ko'rsatgichi α – sirtgacha bo'lgan masofaga teskari kattalik bo'lib, boshlang'ich tushayotgan nurlanish quvvatini $e=2,71$ marta susaytiradi, x chuqurlikda u quyidagi ko'rinishda ifoda qilinadi:

$$P(x) = P_{tush}e^{-\alpha x} \quad (7.8)$$

$$\alpha = -\frac{1}{x} \ln \frac{P(x)}{P_{tush}}, \quad (7.9)$$

bu yerda $P(x)$ - x -chuqurlikda nurlanishning quvvati. Yutilish koeffisienti bilan tushuvchi nurlanishning to'liq uzunligi orasidagi bog'lanishni $\alpha(\lambda)$ – yutilish spektri deb ataladi. Agar taqiqlangan zona uncha katta bo'lmasa ($\Delta E = 1\text{eV}$), elektronning valent zonadan o'tkazish zonasiga issiqlik yoki nurlanish (boshqa) ta'sir bilan ko'chirish mumkin. Masalan, Ge uchun man qilingan zona kengligi 0,72 eV, Si uchun esa 1,11 eV. O'tkazgichlar uchun man qilingan zonaning kengligi nolga teng, yarim o'tkazgichlar uchun 2 eV dan oshmaydi, dielektriklar uchun 2 eV dan katta bo'ladi. Elektronning o'tish zonasiga o'tishi uchun yutilgan foton energiyasi ma'n qilingan zona kengligidan katta bo'lishi kerak:

$$E_{ph} = h\nu \geq E_g \quad (7.10)$$

bu yerda E_{ph} – tushuvchi foton energiyasi, E_g - man qilingan zonaning kengligi, h - Plank doimiysi, ν – nurlanishning elektromagnit tebranish chastotasi. QE asosiy xarakteristikasi FIK – aniqlashda quyosh energiyasi nurlanish samaradotrligini elektr energiyasiga almashtirishda [4,5] ga asosan;

$$\eta = \frac{P_M}{P} = \frac{ff J_{sc} U_{oc}}{P}, \quad (7.11)$$

Bu yerda P – QE ning birlik yuzaga tushuvchi nurlanishning quvvati, P_M – QE sirtidan maksimal chiquvchi quvvat, ff –to'latish yoki VAX shaklini ifodalovchi ko'effitsent.

$$ff = \frac{J_M U_M}{J_{sc} U_{oc}} \quad (7.12)$$

Bu yerda J_M va U_M – tok va kuchlanish zichligi, P_M nuqtaga mos keluvchi eng katta quvvat (6.6-rasm). QE FIK ko'rsatadiki, unga tushuvchi yorug'lik energiyasining qancha qismi energiyasiga aylantirishni ko'rsatadi. FIK faol maydon sirtining yuzi bilan farq qiladi va FIK umumiy sirt yuzasi bo'yicha

$$\eta_{akt} = \frac{P_{el}}{S_{akt} \Phi_0}, \quad (7.13)$$

Bu yerda P_{el} – QE ishlab chiqan elektr quvvati, Φ_0 –QE ga tushgan yorug'lik oqim zichligi, S_{akt} va S_{umum} – aktiv yuza va QE umumiy sirti. Agar QE FIK ko'rsatilmagan bo'lsa, qoidaga ko'ra, η_{akt} bo'ladi. Salt ishlash kuchlanishi (U_{oc})- bu maksimal kuchlanish bo'lib, QE ning ochiq holatida, unga tushayotgan yorug'lik nurlanishidagi kuchlanish. Qisqa tutashuv (I_{sc}) – bu maksimum tok bo'lib, QE chiqishidagi uni qisqa tutashirishda o'tuvchi tok. Qisqa tutashuv vaqtida tok zichligi quyidagicha aniqlanadi, qisqa tutashish tokini QE ni yuzasiga bo'linadi:

$$J_{sc} = I_{sc} / S_{akt}, \quad (7.14)$$

Ko'p hollarda S_{akt} aniqlash qiyin bo'lganligi sababli, S_{umum} dan foydalaniladi. Qoidaga ko'ra QE ning sirt yuzasi ko'rsatiladi. Umumiy maydon quyidagi ko'rinishda beriladi $S=a \times b$, a -QE ning uzunligi; b - QE ning kengligi, yoki sm^2 beriladi.

Kontsentratorlardagi elementlarda nurni yig'ish ko'effitsenti alohida tartibda beriladi. Bulardan tashqari,

$$J = J_{ph} - J_d = J_{ph} - J_0 \left(\exp\left(\frac{e(U + JR_s)}{AkT}\right) - 1 \right) - \frac{JR_s}{R_n} \quad (7.15)$$

(7.15) ifodaning tarkibiga bir qator parametrlar kiradi. Bu parametrlar QE VAX ni ko'rinishini aniqlaydi, shunga ko'ra FIK. QE amaliy ishlatishda yuqorida ko'rsatilganlarga asosan VAX optimallashtirish kerak bo'ladi.

7.3. Umumiy elektr tarmog'iga ulangan quyosh fotoelektrik qurilmalari

Quyosh nurlanishi yordamida olingan elektr energiyasidan foydalanishning k'op ustun jihatlari bor. Bu ekologik toza, tinch va ishonchli energiya manbaidir. Shu sababli hozirgi vaqtda, markaziy elektr ta'minoti bo'lmagan uzoq hududlarda quyosh elektridan keng foydalaniladi, alohida uylarni elektr ta'minoti, ofislar va boshqa binolarga suvni ko'tarish va dorilarni sovutishda ishlatiladi.

Bunday quyosh panellariga qo'shimcha akkumulyator batareyasi ulanadi bunda elektr energiyasidan foydalanishga imkoniyat yaratiladi, kunduzgi vaqtda ishlab chiqilgan energiyadan kechquringi vaqtda foydalaniladi. Bundan tashqari, kal'kulyatorlar, telekamunikatsion tizimlar, va boshqalar quyosh elektrida ishlaydi. Quyosh fotoelektr

qurilmalari quyidagi turlarga bo'linadi:

□ avtonom – qo'llanilishi, agar ob'ekt markaziy elektr ta'minot tizimiga ulnmagan bo'lsa, quyosh moduli elektrni generatsiya qiladi, yoritish maqsadida, maishiy qurilmalarni yoki qo'lda ishlatadigan qurilmalarni manbai bo'ladi; bunda odatda akkumulyator batareyasidan foydalaniladi;

□ ulanganda – agar ob'ekt markaziy elektr ta'minot tizimiga ulngan bo'lsa, quyosh batareyasidan hususiy elektr energiyasini generatsiya qilishda foydalaniladi, ortiqqa elektr energiyasini elektrosetga sotadi;

□ rezerv tizimlar – fotoelektr qurilmalar setga ulangan sifati yomon va cho'qi yuklanishni qoplash uchun yoki avariya holatida foydalaniladi, odatda u o'z ichiga akkumulyatorlar va o'zgarmas tokni o'zgaruvchan tokka aylatiruvchidan tashkil topgan bo'ladi.

7.4. Quyosh fotoelektrik stansiyalar

Quyosh fotoelektrik stansiyalarni qo'lanilishi kosmik kemalardan boshlandi, ishlab chiqilgan energiyani naxi ikkinchi darajali rolli edi. Yer sharoitida quyosh elektr uchun asosiy faktor bu texnologiyani harakatlanishi hisoblanadi. Keyingi 40 yilda kremniyli fotoelektr almashtirgichlarning bahosi 40 marta pasaydi. Bir kW quvvat quyosh elektrostansiyalarida 2500\$ ga to'g'ri keladi.

Bir vaqtning o'zida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi ham oshdi. Xozirgi vaqtda FIK quyosh modulida 13 – 16 % ga yetdi, laboratoriya sharoitida samradorlik 40 %. Lekin, hamma bu yutug'larga qaramasdan, quyosh elektr energiyasi va ana'naviy issiqlik elektrostansiyalari ishlab chiqarayotgan energiyaning taxminiy narxi tenglasha olmaydi. Asosiy omillarga ta'sir qiluvch raqobatbardoshlik quyosh energetikasida, kelajakda quyosh energiyasini elektr enrgiyasiga aylantirish texnologiyani mukamallashadi, organik va yadro yonilg'isini narxiga tenglashishadi

Takrorlash uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlardagi o'tkazish koeffisientini izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlarda qaytish (sochilish) koeffisienti tushuntiring.
3. Yarimo'tkazgichlar sirtida yorug'likning yutilish koeffisienti nima?
4. Yarimo'tkazgichlar sirtida va ichida bo'ladigan hodisani tushuntiring.
5. Yorug'lik yutilishining yarim o'tkazgichdagi samaradorligi qanday aniqlanadi?

Adabiyotlar

1. H.Akramov, S/Zaynobiddinov, F. Tshaboyev “Yarimo'tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar”. -T.: “O'zbekiston”, 1994. -272 b.
2. В.Ф.Греенок, М.С.Тиванов, В.Б.Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов.//Международный научный журнал ”Альтернативная энергетика и экология” №1(69) 2009.59-115 с.
3. Фаренбрух А., Бьюб Р.Солнечные элементы: теория и эксперимент/пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна.М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Зи.С.Физика полупроводниковых приборов: в 2 т./ пер. с англ. В.А.Гергея, В.В.Ракитина; под ред. Р.А. Суриса.М.: Мир. 1984. Т.2.
5. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи М.: Сов. радио, 1971.

8-ma'ruza. Fotoelement parametrlari

Asosiy savollar:

1. Spektral sezgirlik va fotovoltaiik effekt.
2. Qitsa tutashuv toki va salt ishlash kuchlanishi.
3. VAX va uning tuldirish koeffitsienti. Foydali ish koeffitsienti yoki samaradorlik

Tayanch so'z va iboralar: fotoelement, fototok generatsiyasi, spektral sezgirlik, fotovoltaiik effekt,

Darsning maqsadi: Magistrlarga fotoelement parametrlari, spektral sezgirlik, fotovoltaiik effect, qitsa tutashuv toki va salt ishlash kuchlanishi, VAX va uning tuldirish koeffitsienti, foydali ish koeffitsienti yoki samaradorlik haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

- 8.1. Spektral sezgirlik va fotovoltaiik effektini biladi.
- 8.2. Qitsa tutashuv toki va salt ishlash kuchlanishi haqida ma'lumot bera oladi.
- 8.3. VAX va uning tuldirish koeffitsienti va foydali ish koeffitsienti yoki samaradorlikni izoxlay oladi.

1-asosiy savolning bayoni:

Shu sababli xususiy yutilish spektri aniq chegara qiymatlar bilan ifodalanadi, uni fotoeffektning qizil chegarasi deb ataladi:

$$\lambda_{chegara} = ch / E_g, \quad (8.1)$$

$\lambda_{chegara}$ chegara sohada fononlar, eksitonlarda yutiladigan sohalarda to'g'ri bo'lmagan o'tishlar kuzatilishi mumkin 8.1-rasmdagi 2 soha. $\lambda_{chegara}$ kattalik temperatura, tashqi maydon ta'sirlari va yarim o'tkazgichning legerlashdagi aralashmalar ta'sirida bo'ladi.

Yarim o'tkazgich nurlantirilganda unda zaryad tashuvchilarda o'zgarish bo'ladi, bunday elektr o'tkazuvchanlikni –fotorezistivli effekt deb ataladi. Umumiy o'tkazuvchanlik bu holda

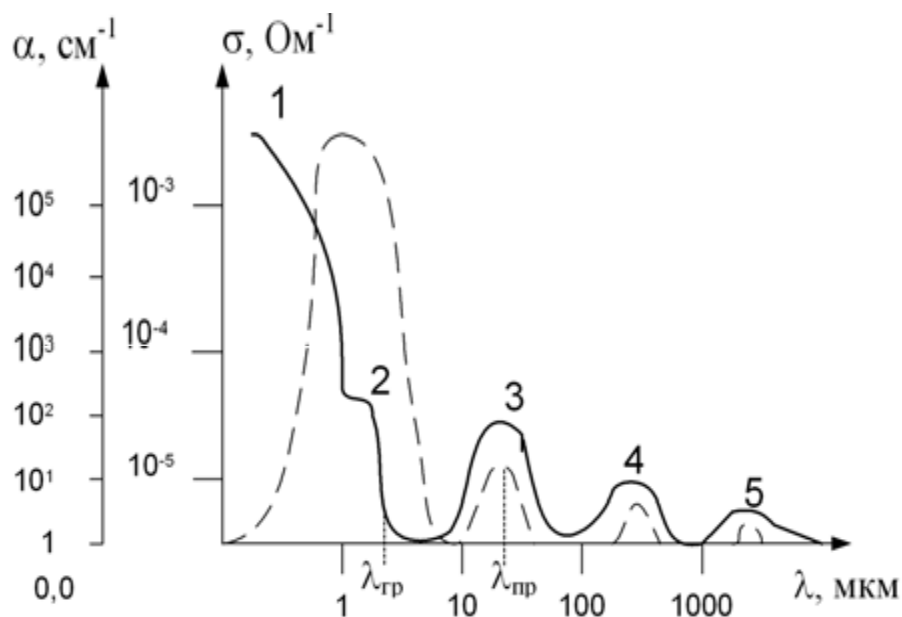
$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_{ph}, \quad (8.2)$$

$$\sigma_0 = e(n_0\mu_0 + p_0\mu_p) \quad (8.3)$$

σ_0 – qorong'idagi xususiy o'tkazuvchanlik, σ_{ph} – foto o'tkazuvchanlik, $\mu_n; \mu_p$ – tesik va elektronlar harakarchanligi, n_0 va p_0 – bir xil og'irlikli konsentrasiyadagi erkin elektronlar va teshiklar, e - elementar zaryad. Yorug'lik yutilishini yarim o'tkazgichda samaradorligini aniqlashda kvantlar chiqishi hisobga olinadi

$$\eta_{ph} = \frac{\Delta n + \Delta p}{2N_{yut}}, \quad (8.4)$$

bu yerda $\Delta n, \Delta p$ -yorug'lik nurlarini yutishda ortiqcha zaryad tashuvchilarning miqdori, N_{yut} –yutilgan fotonlar soni [6]. Ideal holda $\eta_{ph} \approx 1$ bo'ladi, ya'ni bir yutilgan foton bir juftli elektron va teshiklar jufti hosil qiladi deb qaraladi.



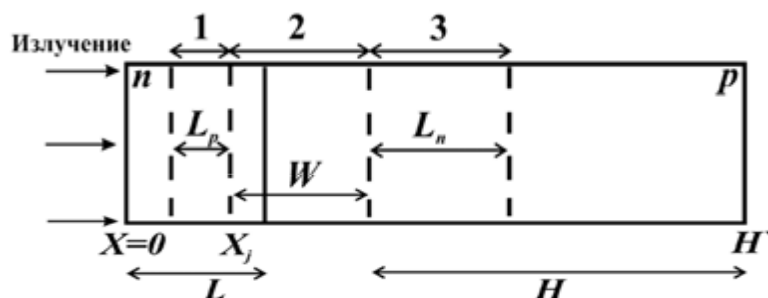
8.1-rasm. Yarimo'tkazgich materialning optik yutilishi (uzuluksiz egri chiziq) va foton o'tkazuvchanlik spektral bog'lanishi (shtrihlangan egri chiziq): 1-xususiy yutilish; 2- fonon va eksitonning ta'sirida to'g'ri bo'lmagan o'tishlar; 3,4- qo'shimchalarning yutilishi [3]

Kirishmaning konsentrasiyasini ortishi λ_{chegra} pasaytiradi valent zona yuqori qismini to'lishi yoki o'tkazuvchi zonaning tubidagi energetik sathlar atrofida pasayadi. Temperatura ortishi ko'pchilik yarim o'tkazgichlarda λ_{chegra} qiymatini oshishiga, man qilangan zonaning kengligi kamayishiga olib keladi. Elektr maydoni ta'sirida λ_{chegra} uzun to'lqinli soha tomonga siljiydi (Keldish-Frans effekti), magnit maydoni ta'sirida esa qisqa to'lqinli tomon siljiydi (Landau yoyilishi). 3 va 4 soha 4.1-rasmda aralashma tomonidan yutilish ko'rsatilgan, (foton energiyasi aralashma atomlarini ionlashtirishga sarf qilinadi).

Aralashmaning ionizasiya energiyasi $\delta E_{ar} \ll E_g$ bo'lganda, aralashmaning yutilish spektri IQ-sohaga siljigan bo'ladi. Aralashma atomlaridagi elektronlar asosan uyg'ongan holatda bo'ladi, shu sababli yutilish spektri bir qancha oraliqlarda bo'ladi (misol uchun 8.1-rasmdagi 3 va 4. Eksiton yutilish fotonning shunday yutilish energiyasiga mos holda, valent zonadagi elektron atomdan ajralmaydi, u uyg'ongan holatga o'tadi, kovak hosil bo'ladi, ya'ni elektr dipol – eksiton hosil bo'ladi. Eksitonning yutilish spektrlari ingichka chiziq bo'lib, λ_{chegra} sohada (rasmda ko'rsatilmagan). 8.1-rasmdagi 5 soha panjarali yutilishga mos keladi, yorug'lik kvantlari fononlarni generatsiya qiladi va yarim o'tkazgichning issiqlik energiyasi ortadi. Bunday yutilish spektri amalda uzuluksiz bo'ladi, chunki spektrlar orasi juda kichik bo'ladi.

QE spektral sezgirligi. QE optik nurlanish energiyasini aniq spektral sohasini elektr energiyasiga almashtiradi. Shu sababli QE asosiy xarakteristikalaridan biri spektral sezgirligi bo'lib hisoblanadi. QE spektral sezgirligi deganda J_{sc} (J_{ph} , U_{oc}) kattalik bilan tushuvchi monoxromatik nurlanish to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanish tushuniladi, uning me'yori birlik tushuvch energiyaga nurlanishiga mos keladigan berilgan to'lqin uzunligi bo'lib hisoblanadi. QE fototokni generatsiyalashda QE

spektral seliktivligini sabablarini qarab chiqaylik. Optik nurlanishning turli to'liqin uzunligi turli chuqurliklarga o'tib boradi va o'zining taqsimotiga ega bo'ladi, yorug'lik ta'sirida elektron-teshik juftlar generatsiyasini hosil qiladi. Shu sababli J_{ph} ni aniqlashda tushuvch nurlanishning spektral tarkibi orqali va fazoviy joylashishi orqali baholanadi.

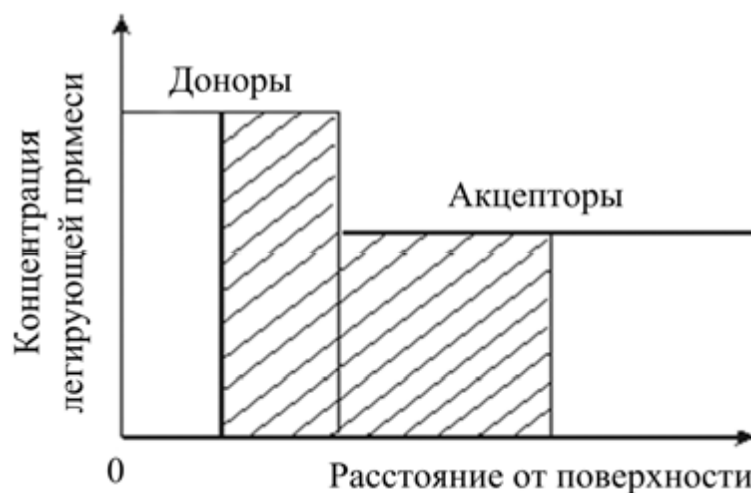


4.2-rasm. QE ning bir o'lchamli sodda modeli [4]: W-fazoviy zaryad sohasining kengligi; L_n - p-sohadagi elektronlar diffuziyasi uzunligi; L_p – n-sohadagi teshiklar diffuziyasi uzunligi; X_j - fazoviy zaryad sohasining n-sohadagi chegarasi; L- p-n – o'tishning kirib borish chuqurligi; H- Kvazineytral sohadagi p-bazaning qalinligi; H' - to'liq qalinlik

QE larini fototokni generatsiyalashda uch sohaga bo'lish mumkin (4.3-rasm). Unda

$$J_{ph} = J_p + J_n + J_{SCR}, \quad (8.5)$$

bu yerda J_p -fazoviy zaryadning sohasining, 1 sohada hosil bo'lgan teshikning tok zichligi; J_n - fazoviy zaryadning sohasining, 3 sohasidagi hosil bo'lgan elektronlar tok zichligi; J_{SCR} - elitgichning tok zichligi, fazoviy zaryadning sohasini ichki 2 sohasida.



4.3-rasm. p-n – o'tishning ligerlash profili. Shtrihlangan qism birlashgan sohani bildiradi

Takrorlash uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlardagi spektral sezgirlik qanday kattaliklarga bog'liqligini izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlardagi fotovoltaik effektini tushuntiring.
3. Yarimo'tkazgichlarda qisqa tutashuv toki nima?
4. Yarimo'tkazgichlarda salt ishlash kuchlanishini tushuntiring.
5. Yarimo'tkazgichlarda VAX va uning tuldirish koeffitsienti qanday aniqlanadi.

9-ma'ruza. Qarshilik xarakteristikalar

Asosiy savollar:

1. Parazitik qarshilik effekti va ketma-ket, parallel qarshiliklar.
2. Temperatura va yorug'lik intensivligi ta'siri. Ideallik faktori.

Tayanch so'z va iboralar: parazitik qarshilik, ketma-ket, parallel qarshilik, ideallik faktori, fotovoltaik effekt, injeksiyalanuvch

Darsning maqsadi: Magistr'larga qarshilik xarakteristikalar, parazitik qarshilik effekti va ketma-ket, parallel qarshiliklar, temperatura va yorug'lik intensivligi ta'siri, ideallik faktori haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

9.1. Parazitik qarshilik effekti va ketma-ket, parallel qarshiliklar haqida ma'lumot bera oladi.

9.2. Temperatura va yorug'lik intensivligi ta'siri. Ideallik faktorini biladi.

1-asosiy savolning bayoni:

Quyosh moduli. Quyosh moduli alohida yachekalardan (fotoelementdan) iborat bo'lib, ular ketma-ket ulanadi. Bunday holda foto E.Y.K. yig'iladi, yachekalarning har biridagi E.Y.K. ning qiymati 0,5 V bo'ladi. Odatda modulni tashkil qilishda 30-36 yachekadan tashkil topadi. Yacheykani modulga ulashda, mustahkamligi va konstruksiyani qatligi, elektr izolyatsiyani ishoniligi va iqlim ta'siridagi sharoitlardagi omillarga ta'sirchan bo'lmasligini ta'minlashi lozim. Bunday maqsadni amalga oshirishda, yacheykani elektr izolyatsiyasini ta'minlash maqsadida, rezinka yoki plastinkali kapsula qobiq bilan o'raladi. Ularni qotirishda, quyoshga qaragan tarafini kam miqdorda temir qo'shilgan shisha bilan berkitiladi, teskari tarafi – ko'p qatlamli plastinkali (poliester) plastinka bilan bektiladi. Ba'zi hollarda shisha shaffof plastmassali plastinka bilan almashtiriladi. Turli turdagi materialdan tayyorlangan yachekadan foydalanilmoqda va ularning tayyorlash usullari bir biridan farq qilnadi:

1) **amorf kremniyli** yacheyka, shisha yoki metall sirtiga juda yupqa kremniy cho'kma qatlami joylashtiriladi; quyosh nurlanishining elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi 5% va 7% ni tashkil qiladi;

2) **monokristall kremniyli** yacheyka, mahsus pechlarda ssilindrik sterjinli monokristall kremniyi tayyorlanadi; yacheka yupqa kvadrat shaklidagi plastinka bo'lib, qalinligi 0,4-0,5 mm. Quyosh nurlanishining elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi 12% ni tashkil qiladi;

3) polikristall kremniyli yacheka, kremniyli bloklarda ishlab chiqiladi, mahsus shaklni toza kremniyni eritish yordamida hosil qilinadi; mis asosda polikristall tuzilish shakllantiriladi; quyosh nurlanishining elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi monokristall kremniydan pastroq;

4) **arsenit arsenida galliy (Ga As)** yacheyka, xozirgi vaqtda yuqori samaradorli (28%) quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirib beradi; ularning narhi juda yuqori, shu sababli ular asosan kosmik texnikada ishlatilmoqda.

5) kadmiy tellurli yacheka (**CdTe**) yacheyka, quyosh nurlanishini yaxshi yutadi; ular juda arzon tayyorlanadi, bundan tashqari CdTe qotishmasini Zn, Hg va boshqa elementlardan berilgan hossal qatlam tayyorlash mumkin; CdTe qo'lanilishidagi

asosiy muommalardan biri yuqori qarshilikli CdTe qatlamidagi p-o'tkazuvchalikdir, ichki isrofga olib keladi;

CdTe asosli yacheka tez harakatlanuvchi zaryad tashuvchidan iborat bo'ladi, ular asosidagi quyosh elementlarining F.I.K., 10 dan 16 % gacha boradi.

6) **organik material** asosli yacheykalar keng zonali yarimo'tkazgich (odatda TiO₂) bo'lib, organik qatlan qoplangan; elementning ishlash jarayoni krasitelning foto uyg'otishga va o'tkazuvchan zonada tez injeksiyalanuvch elektronga asoslangan; bunda krasitel molekulasi oksidlanadi, elementdan elektr toki o'tadi va platinali elektrodda qayta tiklanish triiodiddan iodidagacha bo'ladi. Shundan so'ng iodid elektrolit orqali foto elektrodga o'tadi, bu yerda oksislenniy krasitel qayta tiklanadi; bunday turdagi quyosh yachekasini FIK 11%ni tashkil qiladi. Shu bilan birga, bo'yoq molekulasi oksidlanadi, elementdan elektr oqimi orqali o'tadi va triiodid platinaviy elektrod ustida iodidga qaytariladi. Keyin yodid elektrolitdan fotovoltaikga o'tadi, bu yerda oksidlangan bo'yoq tiklanadi;

Yarim o'tkazgich materialning qo'lanilishiga bog'liq holda va quyosh batareyasi texnologiyasi foydalanib yuqori yoki quyi samaradorli almashtirgichlar turli spektral sohalarda quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantiradi. Nurlanish diapazoning spektral sezgirligi aniqlashda, yachekaning samarali ishlashi va samaradorlikning turli nurlanish sharoitidagi ta'siri o'rganiladi. Quyosh nurlanishining asosiy qismini elektr energiyasiga aylantirish diapazoni 0,400 mkm dan 0,8 mkm gacha (ko'rinuvchi nur) bo'ladi. Quyosh panellari janubiy tarafga orentirlangan bo'ladi, quyosh nurlarini yo'nalishi nurlanishni qabul qiluvchi tekisligiga normal joylashgan bo'ladi. Panel qurilmasini yilning vaqtiga hisobga olgan holda tuzatishlar kiritib boriladi. Buni treker yordamida amalga oshiriladi – u orientatsiyani buruvchi konstruktsiya bo'lib, panelni Quyoshga nisbatan buradi. Odatda panellar kontrolerlar bilan ta'minlanadi, akkumulyator batareyasini klemmasidagi kuchlanish sathini kuzatadi, u quyosh qurilmasidan tushuvchi energiyadir.

Quyosh batareyasini xarajatlariga quyidagilar kiradi: unga xizmat ko'rsatish, panel sirtini rejali asosda tozalash, invertorni va akkumulyatorni almashtirish (10 yilda bir marta) va kontaktlarni korroziyasini tozalash. Shu sababli, quyosh batareyalarida ideal avtonom elektr energiya manbaidir. Fotoelektrik almashtirgichlarning afzal tomoni harakatlanuvchi qismning yo'qligidir, ular yuqori darajada ishonchli va stabildir. Xizmat qilish davri amalda cheklanmagan. Ularkichik massaga ega, xizmat ko'rsatish sodda, to'g'ri va sochilgan quyosh nurlanishidan samarali foydalanish mumkin. Modulli tip konstruktsiyasi amalda hohlagan quvvatli qurishga imkon beradi va ularni kelajakda ishlatishga imkoniyat yaratadi. Kamchiligi yuqori narhlarda ekanligi va FIK past (10-12%).

Kelajakda quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirib beruvchi samarali yo'nalish sifatida quyidagilar qaralmoqda:

- 1) arsenid galiy va alyumin materiallar turiga o'tish;
- 2) konsentratorlarni qo'llash, quyosh radiatsiyasini 50-100 karrali konsentratsiyalash.

Natijada quyosh modulini FIK 30-35 % oshirish kutilmoqda. 1989 yilda "Boing" firmasi tomonidan ikki qatlamli quyosh elementi qurildi, u ikki yarim o'tkazgichli arsenid va antimmonid galliydan tashkil topgan. Laboratoriya sharoitida

o'tkazilgan sinov natijasida bu quyosh elementining FIK quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirishda 37% ga teng ekanligi aniqlandi, xozirgi zamonaviy issiqlik va atom elektrostantsiyalarning FIK ga solishtirish mumkin. Yangi elementning ishlashidagi alohida sifati quyidagidan iborat, birinchi shaffof qatlam (arsenid galiy) yutadi va ko'rinuvchi nurni elektr energiyasiga aylantiradi, spektrning infra qizil qismi bu qatlamdan o'tib, yutiladi va ikkinchi qatlamda (antimonid galliyda) elektrga aylanadi.

Yangi turdagi quyosh batareyalari 1991 yilda Shveeysariyada ishlab chiqildi. Quyosh batareyasini yachekasidagi yarim o'tkazgich materiali sifatida (TiO_2) titan dioksididan foydalanilgan. Yarim o'tkazgichda quyosh nurlanishi yutiladi, ya'ni o'simliklarning xlorofilida bo'lgandek usul kabi fotosintez bo'ladi. Laboratoriya sharoitida almashtirish samatradorliga 12% bo'ldi. Sanoat miqyosida cheklangan partiyada ishlab chiqilgan modulni FIK 5% bo'lgan.

Takrorlash uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlardagi qarshilik xarakteristikalarini izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlardagi parazitlik qarshilik effekti haqida ma'lumot bering.
3. Yarimo'tkazgichlarda ketma-ket, parallel ulashdagi qarshilikni hisoblash ifodalarini yozing.
4. Yarimo'tkazgichlarda temperatura va yorug'lik intensivligi ta'siri haqida ma'lumot bering.
5. Yarimo'tkazgichlarda ideallik faktori qanday aniqlanadi.

10-ma'ruza. Yarim o'tkazgichlarning optik xususiyatlari

Asosiy savollar:

1. Rekombinatsiyani kamaytirish va optik yo'qotishlar.
2. Nurning qaytishiga qarshi qoplamalar, ularning rangi, sirt teksturasi va materialning qalinligi.
3. Qatgic jism xajmida nurning traektoriyasi va Lambertning orqa nurning qaytargichlari.
4. Rekombinatsion yo'qotishlar va rekombinatsiya tufayli tokning kamayishi, kuchlanishning kamayishi, sirtning yuzasida rekombinatsiya.

Tayanch so'z va iboralar: rekombinatsiya, optik yo'qotish, nurning qaytishiga qarshi qoplam, sirt teksturasi

Darsning maqsadi: Magistr'larga rekombinatsiyani kamaytirish va optik yo'qotishlar, nurning qaytishiga qarshi qoplamalar, ularning rangi, sirt teksturasi va materialning qalinligi, qatgic jism xajmida nurning traektoriyasi va Lambertning orqa nurning qaytargichlari, rekombinatsion yo'qotishlar va rekombinatsiya tufayli tokning kamayishi, kuchlanishning kamayishi, sirtning yuzasida rekombinatsiya haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

- 10.1. Rekombinatsiyani kamaytirish va optik yo'qotishlar haqida ma'lumot bera oladi.
- 10.2. Nurning qaytishiga qarshi qoplamalarini, ularning rangini, sirt teksturasi va materialning qalinligi tanlashni biladi.

10.3. Qatqiq jism xajmida nurning traektoriyasi va Lambertning orqa nurning qaytargichlarni izoxlay oladi.

10.4. Rekombinatsion yo'qotishlar va rekombinatsiya tufayli tokning kamayishi, kuchlanishning kamayishi, sirtning yuzasida rekombinatsiya haqida ma'lumot bera oladi.

1-asosiy savolning bayoni:

Yarim o'tkazgichlarning optik xossalari. Yarim o'tkazgichlarda yorug'likni yutilishi va sochilishi, yirik namunalarga nisbatan o'ziga xos xususiyatlarga ega. Bu xususiyatlar ko'p sonli zarrachalarni o'rganishda yaqolroq namoyon bo'ladi. Masalan, kolloid eritmalar va donalangan pardalar zarrachalarning maxsus xossalari tufayli tezkor ravishda bo'galishi mumkin. Dispers muhit optik xossalarini o'rganishning eng yaxshi namunasi oltindir. O'z vaqtida Faradey oltinning kolloid eritmasi va yupqa pardasi ranglari o'xshash ekanligiga e'tibor berdi va oltinning dispers tuzilishga ega ekanligi haqida fikr bildirgan.

Yorug'likning nozik donadorlik metall pardalarida yutilishida spektrning ko'rinadigan qismida yirik namunalarda uchramaydigan yutilish chiziqlari (cho'qilari) paydo bo'ladi. Masalan, Au zarralarining donadorlik 4 nm diametrli pardalari yorug'likning $\lambda = 560 - 600_{HM}$ sohasida yaqqol namoyon bo'ladigan yutilish maksimumiga ega. Shunga o'xshash Ag, Cu, Mg, Li, K, Na zarralari ham optik diapazonda eng ko'p yutilishni ko'rsatadi. Donalangan pardalarni yana alohida xususiyatlaridan biri yorug'lik spektrining ko'rinish sohasidan infraqizil sohaga o'tganda yutilishning kamayishidir. Tutash metall pardalarda esa, bundan farqli ravishda, yorug'lik to'lqin uzunligi ortishi bilan yutilish ham ortib boradi. Optik xossalarning o'lchamlik effektlari o'lchamlari yorug'lik to'lqin uzunliklaridan sezilarli darajada kichik bo'lgan va 10-15 nm dan katta bo'lmagan nanozarralar uchun muhim rol o'ynaydi. Nanozarrachalar va yirik metallar yutilish spektrlaridagi farqlar ularning dielektrik singdiruvchanliklari farqi tufayli yuz beradi $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$. Diskret energetik spektrli nanozarrachalarning dielektrik singdiruvchanligi zarrachalar o'lchamlariga va nurlanish chastotalariga bog'liq. Dielektrik singdiruvchanlik nurlanish chastotasiga monoton emas, balki elektronlar holatlari orasidagi o'tishlar tufayli tez o'zgarib turuvchi holga bog'langan. Tajribalarda optik xossalarni o'lchash uchun zarrachalarning soni 10^{10} dan kam bo'lmasligi kerak. Bunday miqdordagi bir xil o'lcham va shakldagi zarrachalarni hosil qilish amalda mumkin bo'lmagani uchun real sharoitlarda zarrachalar to'plami uchun tebranishlar tekislanib ko'rinadi. Shunga qaramasdan ε ning o'rtacha qiymati yirik namuna ε sidan farq qiladi. Dielektrik singdiruvchanlikning mavhum qismi zarracha radiusi r ga teskari proportsionalligini ko'rish mumkin:

$$\varepsilon_2(\omega) = \varepsilon_{\infty,2}(\omega) + \frac{A(\omega)}{r} \quad (10.1)$$

bunda, $\omega_{\infty,2}$ - yirik kristal dielektrik singdiruvchanligining mavhum qismi, $A(\omega)$ - chastotaga bog'liq funktsiya. Tajribalarda $\lambda = 510_{HM}$ li oltin zarrachalari uchun $\varepsilon \approx \frac{1}{r}$ ekanligi tasdiqlangan. Zarrachalar o'lchamiga yutilish sohasi kengligi va uning past chastotali tomoni

shakliga ham bog'liq, Au va Ag nanozarrachalarini kichiklanganda yorug'likni yutilish sohasi kengayishi tajribalarda kuzatilgan.

Yana bir o'lchamlik effekti - yorug'likning rezonans yutilishi cho'qqisining siljishidir. Diametri yirik metallidagi elektronlarning erkin yugurish yo'li λ_∞ , dan kichik zarralardagi elektronlarning erkin yugurish yo'li zarracha radiusi r ga teng. Bu holda yorug'lik yutilishidagi effektiv relaksatsiya vaqtini

$$\tau_{ef}^{-1} = \tau^{-1} + \frac{v_F}{r} \quad (10.2)$$

ko'rinishda ifodalash mumkin. Bunda $\tau = \lambda_\infty / v_F$ - yirik metall namunasidagi relaksatsiya vaqti; v_F - elektronlarning Fermi sathidagi tezligi. Zonalararo o'tishlarni hisobga olinmasdan va faqat erkin elektronlar harakatini hisobga olgan holda

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{w_p^1}{w_p^2 + 1/\tau_{ef}}; \quad \varepsilon_1 = 1 - \frac{\omega_p^1}{\omega_p^2 + 1/\tau_{ef}}; \quad (10.3)$$

deb yozish mumkin. Bunda $\omega_p = 4\pi Ne^2 / m^*$ plazma chastotasi, N , e , m^* - erkin elektronlar zichligi, zaryadi va effektiv massasi.

Kvant nazariyasida yorug'lik yutilishining eng katta qiymatiga $\varepsilon_m = -\varepsilon_1(\omega_1)$ sharoitida erishiladi. Buni hisobga olgan juda mayda zarrachalar uchun $\tau_{ef}^{-1} \approx v_F / r$ bo'lgan holda (4) dan rezonans chastota

$$\omega_1 = \left(\frac{\omega_p^2}{1 + 2\varepsilon_m} - \frac{v_F^2}{r^2} \right)^{1/2} \quad (10.4)$$

ko'rinishga keladi. Bunga, asosan, zarracha o'lchami kichiklashganda rezonans chastota ham kamayadi, ya'ni yutilish sohasi past chastotalar tomonga siljishi kerak. Lekin, kvant mexanik hisoblar zarracha o'lchamlari kichiklashganda rezonans yutilish cho'qqisi yuqori chastotalar tomoniga siljishini ko'rsatadi. Mana shunday qarama-qarshi natijalar tajribalarda ham ko'rinadi. Bunday siljishlar uchun elektron bulutining zarracha sirtida juda oz miqdorda o'zgarishi ham kifoya ekanligi taxmin qilinadi. Shunga asosan, yorug'lik yutilish sohasi kengligi zarrachalar o'lchamining murakkab funktsiyasi bo'lib, u $D \approx 1,1\mu m$ atrofida eng katta qiymatga erishadi.

Takrorlash uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlardagi qarshilik xarakteristikalarini izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlardagi parazitlik qarshilik effekti haqida ma'lumot bering.
3. Yarimo'tkazgichlarda ketma-ket, parallel ulashdagi qarshilikni hisoblash ifodalarini yozing.
4. Yarimo'tkazgichlarda temperatura va yorug'lik intensivligi ta'siri haqida ma'lumot bering.
5. Yarimo'tkazgichlarda ideallik faktori qanday aniqlanadi.

Adabiyotlar

1. Бранд Дж., Эглинтон Г. Применение спектроскопии в органической химии: [учебное пособие для студентов химических вузов] / пер. с англ. М.Ю. Корнилова, В.А. Чуйгука ; под ред. Ю.Н. Шейнкера. М.: Мир, 1967. 279 с.

11-ma'ruza. Quyosh elementi strukturasi

Asosiy savollar:

1. Quyosh elementlarini tayyorlash va kremniy asosidagi quyosh elementining strukturasi, parametrlari, samaradorligi.
2. Birinchi fotoelektrik asboblar va quyosh elementlarini olishning planar texnologiyasi.
3. Yuqori samarador elementlar va omik kontaktlari faqat orqa tomonda joylashgan elementlar.

Tayanch so'z va iboralar: quyosh elementi, kremniy asosi, element strukturasi, fotoelektrik asbob,

1-asosiy savol:

Darsning maqsadi: Magistr'larga quyosh elementlarini tayyorlash va kremniy asosidagi quyosh elementining strukturasi, parametrlari, samaradorligi, birinchi fotoelektrik asboblar va quyosh elementlarini olishning planar texnologiyasi, yuqori samarador elementlar va omik kontaktlari faqat orqa tomonda joylashgan elementlarni qo'llash haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

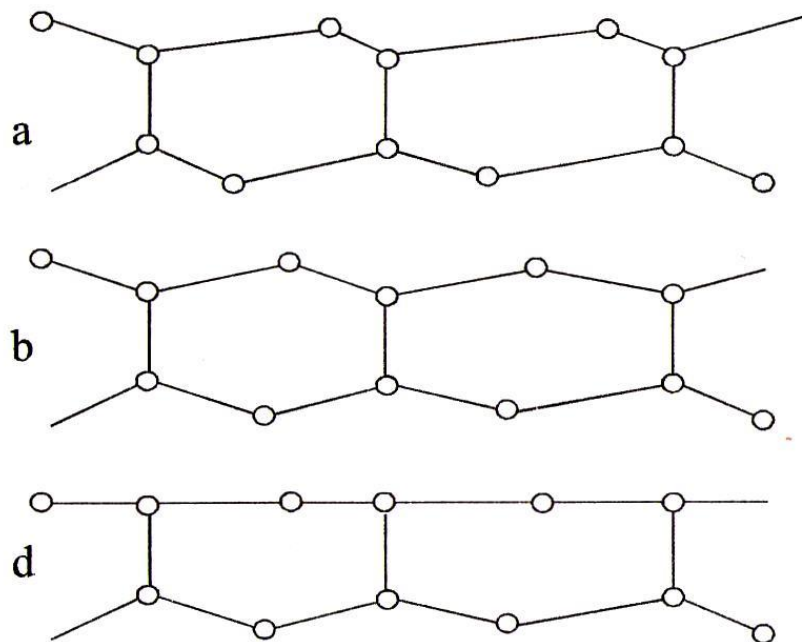
1. Quyosh elementlarini tayyorlash va kremniy asosidagi quyosh elementining strukturasi, parametrlari, samaradorligini izohlay oladi.
2. Birinchi fotoelektrik asboblar va quyosh elementlarini olishning planar texnologiyasi ni qo'llash haqida ma'lumot bera oladi.
3. Yuqori samarador elementlar va omik kontaktlari faqat orqa tomonda joylashgan elementlarni izoxlay oladi.

1-asosiy savolning bayoni: Yarimo'tkazgichlar yuzalarini tuzilishi. Kristallarning yuza tuzilishi juda ko'p yillardan beri o'rganilib kelinmoqda. Ularning ichida keyingi 20 yilda o'tkazilgan eksperiment alohida ahamiyatga ega; chunki bu eksperimentlar asosini yuqori vakuum (10^{-8} - 10^{-10} Pa) sharoitida kristallarni sindirish hamda ularni harorat va boshqa usullar bilan tozalash orqali amalga oshirilgan. Shunga qaramasdan hozirgi paytgacha ham eng ko'p tekshirilgan Si va GaAs yuzalarining tuzilishi haqida juda ishonarli ma'lumotlar etarli emas. Mikroelektronikada asosan Si va GaAs kristallari ishlatilgan va ishlatilib kelinmoqda. Bugungi kunda 1 sm^3 ga 1000 dan ortiq p-n, n-p, p-n-p o'tishlar joylashtirilgan katta (hajmiy) integral sxemalar ishlab turibdi. 1 sm^3 da milliondan ortiq o'tishlari joylashtirish imkonini beradigan o'ta katta integral sxemalar yaratish ustida ish olib borilmoqda. Shuning uchun ham Si va GaAs lar yuzasi har tomonlama o'rganilgan va o'rganish davom ettirilmoqda.

Si monokristallarining yuzi. Si ning (100), (111), (110) kristallografik yo'nalishlarga mos kelgan yuzalari juda ko'p o'rganilgan. Ular asosan yuqori vakuumda sindirib o'rganilgan (kremniy (111) yo'nalishi bo'yicha oson sinadi). Sindirilgan zahoti azot haroratigacha (≈ 10 K gacha) sovitilgan kristallarning yuzasi 2×1 yacheykacha ega ekanligi aniqlangan. Bu kristallni 500 K gacha qizdirilganda uning yuzasi (7×7) yacheykaga o'tadi. Agar qizdirishni davom ettirsak, taxminan 1170 K da (1×1) yacheyka hosil bo'lishi aniqlangan. Si yuzasiga ozgina miqdorda (0,1 monoqatlam) Te yoki Cl atomlarini o'tkazib yuza barqarorlashtirilsa ham 1×1

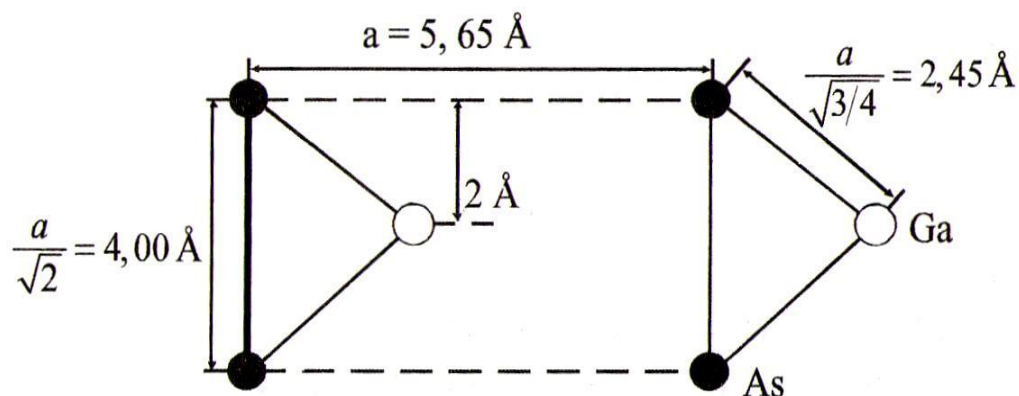
yacheyka hosil bo'lganligi aniqlangan. Shuning uchun ham yuqori haroratda Si yuzasida 1x1 yacheykaning hosil bo'lishi chetki atomlarning yuzaga chiqib o'ta barqarorlashishi tufayli ro'y beradi, deb faraz qilish mumkin. Umuman 1x1 yacheyka hosil bo'lganda ham yuzadagi atomlar relaksatsiyalangan (ma'lum bir tartibda siljigan) bo'ladi. Bu siljish kattaligi eng yaxshi sharoitda 0,12-0,16 Å ekanligi aniqlangan. 11.1-rasmda Si (111) monokristallining ideal yuzasi, birinchi qatlami relaksatsiyalangan, birinchi va ikkinchi qatlamlari relaksatsiyalangan hollar uchun to'g'ri keladigan shakllar keltirilgan.

GaAs monokristallarining yuzi. Arsenid galliyning kristall va elektron tuzilishi kremniy hamda germaniydan farqli ravishda ikki xil atomlardan: arsenid va galliy atomlaridan tashkil topgan. Bu atomlar orasidagi bog'lanish faqatgina kovalent emas, qisman ionli hamdir. Yuqori vakuumda sindirilgan arsenid galliyning yuza qismida atomlar joylashishi juda ko'p hollarda hajmniki bilan bir xil bo'ladi, ya'ni 1x1 tuzilishni beradi. Arsenid galliyning (111) va (100) yon sirtlari yuzalari bir xil atomlardan: yoki Ga dan yoki As dan iborat bo'ladi.



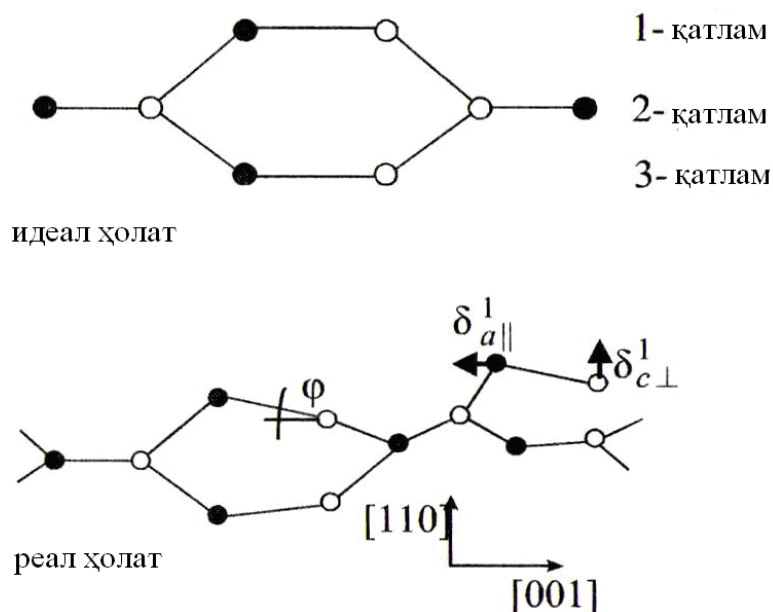
11.1-rasm. Si (111) yuzasi (1x1) yacheykasining geometrik ko'rinishi: a-ideal sirt; b-birinchi qatlam relaksatsiyalangan; d-birinchi va ikkinchi qatlam relaksatsiyalangan.

Demak, bu yo'nalishlar uchun yuzaning birinchi qatlamida galliy, ikkinchi qatlamida mishyak, uchinchi qatlamida yana galliy joylashgan bo'ladi. Arsenid galliyning (110) yo'nalishiga mos keluvchi sirtida har bir qatlamning o'zida galliy va mishyak atomlari galma-gal almashinib keladi. GaAs (100) kristalliga tepa tomondan qaraganda atomlarning joylashishi 11.2-rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi.



11.2-rasm. GaAs (110) yon sirtining tepasidan ko'rinishi.

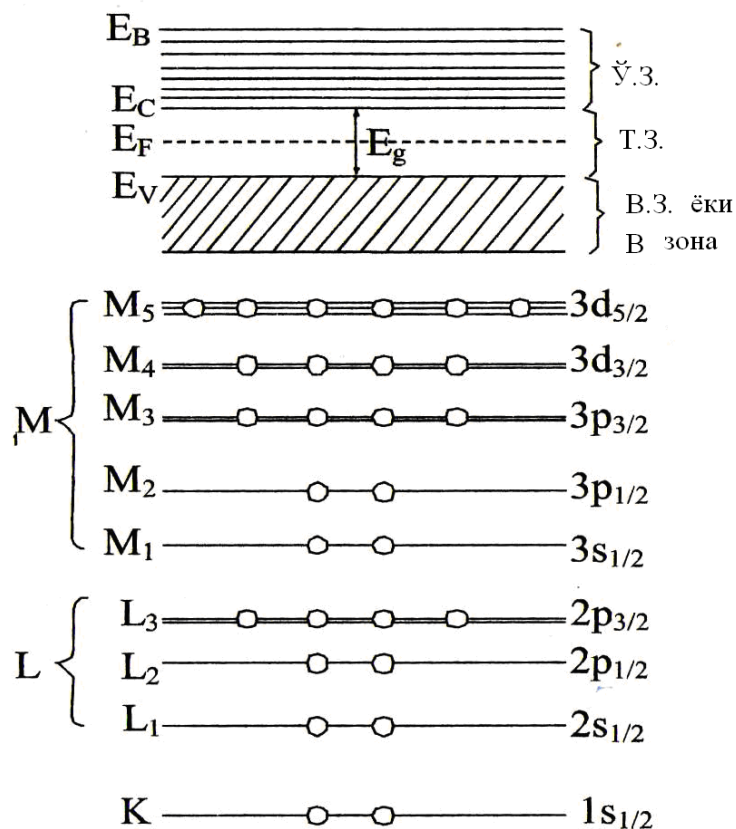
Ma'lumki, elementar yacheyka hajmiy kristallar uchun parallelepiped ko'rinishga ega bo'lsa, sirt uchun to'rtburchak shaklga ega bo'ladi. 4.3-rasmda bu elementar yacheyka shtrix chiziq bilan ko'rsatilgan. Har bir yacheykada hammasi bo'lib ikkitadan atom joylashgan: bitta Ga va bitta As. GaAs (110) kristali yuza qismidagi uchta qatlamda atomlarning joylashishi ideal va real hoi uchun 11.3-rasmda ko'rsatilgan. Real holda, masalan, Ga atomlari o'z qatoridan ma'lum bir masofa siljigan bo'ladi. Bu bog'lanishlar qisman ionli bo'lganligi uchun juda kuchli bo'ladi. Shuning uchun ham ko'p hollarda kristali panjaraning kuchli rekonstruktsiyasi ro'y bermaydi. Ammo ozroq bo'lsa ham relaksatsiya va rekonstruktsiyaning mavjudligi GaAs yuza qismi elektron tuzilishining «hajmiy» elektron tuzilishidan farq qilishiga olib keladi.



11.3-rasm. GaAs (110) yuzasidagi 3 ta qatlamda atomlarning joylashish sxemasi.

Yarimo'tkazgichlarning energetik zonolari xaqida tushuncha. Juda yaxshi tozalangan va yuzadagi atomlarining joylashishi hajmdagi bilan deyarli bir xil deb faraz qilingan yarimo'tkazgichlar ideal yarimo'tkazgichlar deb hisoblanadi. Qattiq jismlarda sathlar atomlardagi kabi harflar yoki sonlar bilan belgilanadi. Qattiq jismda

elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishi va sathlarning belgilanishi (germaniy misolida) 11.4-rasmda keltirilgan.



11.4-rasm. Qattiq jismda elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishi: E_B - vakuum sathi, E_F - Fermi sathi, E_C - o'tkazuvchanlik zonasining (O'.Z) pastki chegarasi, E_V - valent zonasining (V.Z) yuqori chegarasi, E_g - taqiqlangan zona kengligi.

Endi bu rasmlarga izoh beramiz:

1. Yadroga eng yaqin joylashgan sath K harfi yoki 1 raqami bilan belgilanadi. Bu sathda 2 tagacha elektron joylashishi mumkin. Uni $1s_{1/2}$ deb belgilash mumkin.

2. K dan keyingi sathlar to'plamini L yoki 2 deb belgilanadi. Bu to'plamdagi 4 ta sathda 8 tagacha elektron joylashadi. Bu sathlar L_1 yoki ($2s_{1/2}$), L_2 ($2p_{1/2}$), L_3 ($3p_{3/2}$) deb belgilanadi. L_3 ya'ni ($2p_{3/2}$) sath juda yaqin joylashgan 2 ta sathdan iborat bo'lganligi uchun unda 4 tagacha elektron bo'ladi.

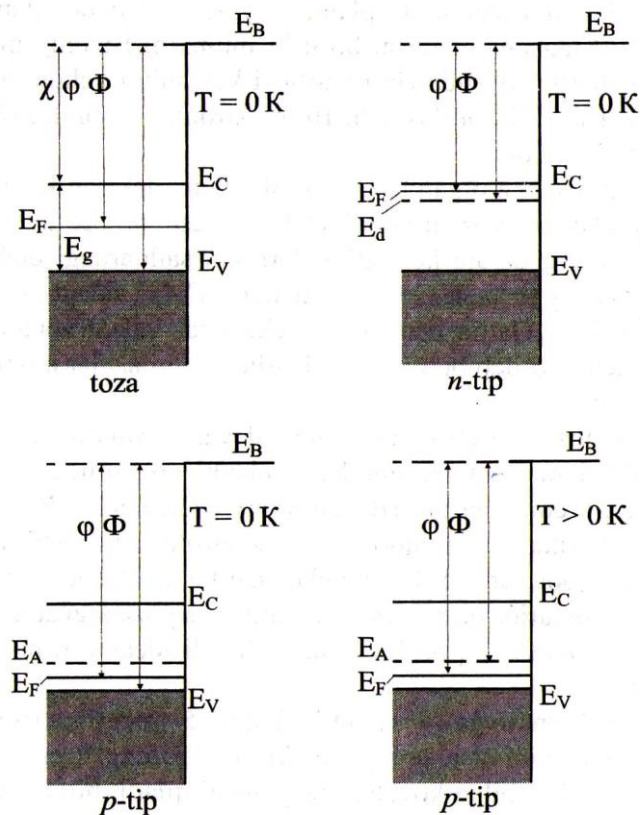
Keyingi bir necha sathlar to'plami M yoki 3 deb belgilanadi. Bu to'plamda 9 ta sath bo'lib, ularda 18 tagacha elektronlar joylashishi mumkin. Bu sathlardagi belgilashlar: $M_1 - 3s_{1/2}$ (2 ta elektron), $M_2 - 3p_{1/2}$ (2 ta), $M_3 - 3p_{3/2}$ (4 ta), $M_4 - 3d_{3/2}$ (4 ta), $M_5 - 3d_{5/2}$ (6 ta).

M dan keyingi sathlar to'plami N yoki 4 deb belgilanadi. Bu to'plamda 32 tagacha elektron bo'lishi mumkin. Bizning misolimiz (4.4-rasm) shartli ravishda Ge ga to'g'ri kelganligi uchun bu sathlar to'plamida 4 ta elektron bo'ladi. Bu elektronlar umumlashib valent zonani tashkil qiladi.

Sathlari hisobga olganda Ge atomi uchun elektron konfiguratsiyalarni quyidagicha yozish mumkin: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$, s, p va d larning daraja ko'rsatkichlari shu sathlardagi elektronlarning soniga teng bo'ladi. Ge atomi uchun

$4s^2 4p^2$ valent elektronlarga to'g'ri keladi. Qattiq jismda bu elektronlar valent zonani tashkil qilganligi uchun V deb belgilanadi. Boshqa belgilashlar atomdagidan farq qilmaydi.

Amalda toza yarimo'tkazgichlar deyarli ishlatilmaydi. Ularning tarkibiga ma'lum bir miqdorda chetki qo'shimchalar kiritiladi. Masalan, kremniyga bor (B), alyuminiy (Al), fosfor (P), ruh (Zn). Bu qo'shimchalarning miqdori 1,0 % atrofida bo'lishi mumkin. Qo'shimchasi bor yarimo'tkazgichda, agar bu qo'shimchalar kristallning hamma joylarida bir tekis taqsimlangan va yuzadagi atomlar hajm bilan bir xil joylashgan bo'lsa, u aralashmali ideal yarimo'tkazgich deb ataladi. Masalan, kremniyga (4 valentli) fosfor (5 valentli) kiritilsa va u kremniyning o'rnini olsa, uning 4 elektroni atrofidagi kremniylarning valent elektronlari bilan kovalent bog' hosil qiladi, bittasi esa bo'sh qoladi. U bu elektronni osongina elektr maydon ta'sirida yoki boshqa biror ta'sir natijasida o'tkazuvchanlik zonasiga bera oladi. Bunday hosil bo'lgan o'tkazuvchanlik «donorli yoki elektronli yoki n-tipli o'tkazuvchanlik» deb ataladi. Agar kremniyga bor kiritilgan bo'lsa (3 valentli), uning uchta elektroni atrofidagi uchta Si bilan kovalent bog'lanish hosil qiladi, bitta kremniyga esa elektron yetishmay qoladi, ya'ni u «musbat» ishoraga ega bo'lib qoladi va o'ziga valent zonadan elektron olishga harakat qiladi. Bunday o'tkazuvchanlik «aktseptorli o'tkazuvchanlik» yoki «teshikli (yoki p-tip) o'tkazuvchanlik» deb ataladi. 11.5-rasmda toza va aralashmali o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ideal yarimo'tkazgichlar energetik zonalarining tuzilishi ko'rsatilgan.



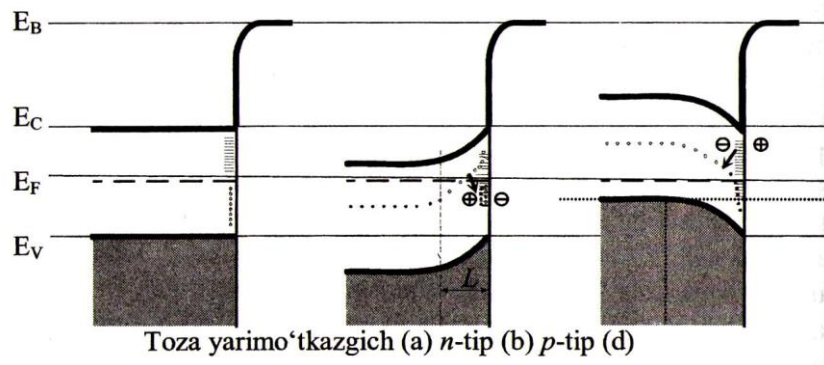
11.5-rasm. Toza va aralashmali yarimo'tkazgichlar energetik zonalarining sxematik ko'rinishi.

11.5-rasmdan ko'rinadiki, termoelektron chiqish ishi ϕ har qanday yarimo'tkazgich uchun (toza yoki aralashmali) va har qanday haroratda ham Fermi

sathidan hisoblanadi. Fotoelektron chiqish ishi F esa ko'p xollarda yarimo'tkazgichning turiga va harortaiga bog'liq bo'ladi. 11.5-rasmdagi belgilashlar quyidagicha: x – yarimo'tkazgich o'tkazuvchanlik zonasining kengligi, E_g – taqiqlangan zonaning kengligi, ϕ – termoelementlarning chiqish ishi, F – fotoelektronlarning chiqish ishi, E_D – donor sathlari, E_A – aktseptor sathlari.

«Toza» yarimo'tkazgichda F ning qiymati valent zonaning eng yuqori sathidan vakuum sathigacha bo'lgan energiyaga teng bo'ladi ($T > 0$ K da: $\Phi = E_V - E_B$). n-tip yarimo'tkazgichda F ning qiymati $T=0$ K da donor sathlaridan hisoblanadi: $\Phi = E_D - E_B$. p-tip yarimo'tkazgichda $T=0$ K uchun $\Phi = E_B - E_B$, $T>0$ K uchun esa $\Phi = E_A - E_B$. Bunga sabab r-tip yarimo'tkazgichda $T=0$ K da aktseptor sathlarda elektronlar mavjud bo'lmaydi. $T>0$ K da aktseptor sathlarga valent zonadan o'tgan elektronlar joylashishi mumkin. Ushbu 11.5-rasmdagi holatlar etarli darajada yuqori legirlangan p- va n-tip yarimo'tkazgichlarga taalluqli. Umuman ko'p hollarda fotoemissiya valent elektronlarning emissiyasi bilan aniqlanadi va F aralashmali yarimo'tkazgichlar uchun ham valent zonaning yuqori sathi E_B dan hisoblanadi.

Yarimo'tkazgichlar yuzasining real holdagi energetik tuzilishi. Real holdagi yarimo'tkazgichning yuzasi juda murakkab kristall tuzilishiga ega, shuningdek u murakkab elektron tuzilishga ega bo'ladi. Real kristallarning elektron tuzilishi haqida umumiy mulohazalarga suyanan holda ayrim ma'lumotlarni berish mumkin bo'ladi. Har qanday kristallning energetik holatini tasvirlashda «har qanday sharoitda (aralashma qo'shilsa, boshqa modda bilan birikma hosil qilsa va hokazo) ham ularning Fermi sathlari o'z joyini o'zgartirmaydi» degan tushunchaga asoslanish kerak. Ma'lumki, eng tashqi, ya'ni yuzadagi atomlar, masalan, kremniy atomlarining bittadan elektronlari bog'lanmagan holda bo'ladi, ular neytrallanishi uchun bu atomlar bittadan elektron qabul qilib olishi kerak. Yuzadagi har bir atomning bittadan bo'sh elektroni bor bo'lgani uchun yuzaga tegishli yangi sathlar hosil bo'ladi. Bu sathlar Tamm sathlari deyiladi (yoki «adashgan atomlar sathlari» deyiladi). Toza yarimo'tkazgichda Tamm sathlarining yarmisi elektronlar bilan to'la, yarmisi bo'sh bo'ladi (11.6-a rasm). n-tip yarimo'tkazgichda ortiqcha va oson harakat qila oladigan elektronlar mavjud bo'lganligi uchun bu elektronlar yuzadagi Tamm sathlarini to'ldira boshlaydi.



11.6-rasm. Toza va aralashmali yarimo'tkazgichning tuzilishi.

Natijada kristallning yuza qismi manfiy, yuza osti qismi esa musbat zaryadlanadi va donor elektronlarning yuzaga o'tishi qiyinlasha boradi; bu esa zona chegaralarining egilishiga olib keladi. Egilish qismining kengligi donor

elektronlarining konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi. Donor elektronlarining konsentratsiyasi qancha katta bo'lsa, egilish kengligi L shuncha qisqa bo'ladi; chunki bu elektronlar qancha ko'p bo'lsa, shuncha tez va qisqa masofada Tammning bo'sh sathlarini to'ldirishga ulguradi (11.6- b rasm). r -tip yarimo'tkazgichda ortiqcha teshiklar mavjud bo'lganligi uchun ular Tamm sathlaridagi elektronlari o'ziga qabul qila boshlaydi. Yuza musbat yuza osti esa manfiy zaryadlanib qoladi (11.6-d rasm).

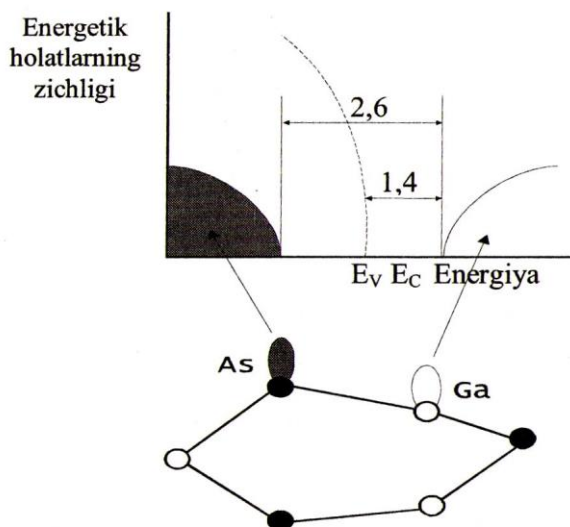
Shunday qilib, yuzada zonalar egilishining vujudga kelishi yarimo'tkazgich n -tip bo'lsa, elektronlarning chiqish ishini kattalashtiradi, p -tip bo'lsa, kamaytiradi. 11.6-d rasmdan ko'rinadiki, yarimo'tkazgichlarda termoelektron chiqish ishi sirtidagi (yuzadagi) Fermi sathining holati bilan aniqlanadi va uning qiymati yarimo'tkazgichga qanday aralashma kiritilishidan qat'i nazar (p -tipdan n -tipga o'tsa ham) deyarli o'zgarmaydi hamda quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\varphi \cong \chi + \frac{1}{2} E_g \quad (11.1)$$

Bu yarimo'tkazgichlarning yuzasida Fermi sathi holati o'zgarmaydi, ammo hajmdagi Fermi sathi o'zgaradi. Bunday yarimo'tkazgichlar yuzasidagi Fermi sathining holati fiksatsiyalangan (muvofiqlashgan) yarimo'tkazgichlar deb ataladi: agar u elektronli (donorli, ya'ni n -tip) yarimo'tkazgich bo'lsa, uning yuzasi har doim «manfiy», agar kovakli (aktseptorli, ya'ni p -tip) bo'lsa, «musbat» zaryadlanadi. Ko'rib o'tilgan yarimo'tkazgichlarda fotoelektronlarning chiqish ishi (valent zonasining eng yuqori sathidan hisoblanganda) aralashmaning turiga qarab sezilarli darajada o'zgaradi. Bu o'zgarishning eng maksimal qiymati yarimo'tkazgichning taqiqlangan zonasi kengligiga yaqin bo'ladi (masalan, Si uchun ~ 1 eV, GaAs uchun $\sim 1,4$ eV). Agar yarimo'tkazgich yuzasida zonalar egilishi yo'q deb faraz qilinsa, Fermi sathi fiksatsiyalanmagan bo'ladi. Bunda yarimo'tkazgich n -tipdan p -tipga o'tganda (yoki aksi) fotoelektronlar chiqish ishi o'zgarmaydi va aksincha termoelektronlar chiqish ishi o'zgaradi. Ammo deyarli hamma yarimo'tkazgichlarda (ayrim ion bog'lanishli birikmalardan tashqari) zonalar egilishi kuzatiladi. Zonalar chegaralarining egilishi toza va aralashmali kremniyda yaqqol ko'rinadi. GaAs va Ga kabi ikki komponentli yarimo'tkazgichlarda yuzadagi atomlarning joylashishi hajmdagi joylashishga juda yaqin bo'ladi, ya'ni 1×1 tuzilish hosil bo'ladi. Ammo real holda hattoki qisman ion bog'lanishga ega bo'lgan kristallarda ham ma'lum bir miqdorda relaksatsiya yoki rekonstruktsiya ro'y beradi. Natijada yuzada bitta qatorda turishi kerak bo'lgan atomlar bir oz siljiydi (4.7-rasm). Tajribalarning ko'rsatishicha siljish natijasida hosil bo'lgan burchak - $\varphi \sim 25 \div 30^\circ$ atrofida bo'lishi mumkin. Natijada GaAs ning yuza qismidagi elektron tuzilish hajmnikidan sezilarli farq qiladi. Bu farq 11.7-rasmda aks ettirilgan.

Ideal holda hajm uchun taqiqlangan zonaning (E_v va E_c orasidagi masofa) kengligi 1,4 eV ni tashkil etadi. Yuzadagi atomlarning hosil qiladigan energetik sathlarining tuzilishi hajmnikidan farq qiladi. O'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatadiki, bu farq asosan Tamm sathlari (bog'larning uzilishi tufayli hosil bo'ladigan sathlar) tufayli vujudga keladi. Bunda mishyak atomlari Ga dan elektron qabul qilib olib, valent zonaning ichkarirog'iga joylashgan to'la sathlarni vujudga keltiradi. Ga atomlari esa elektronlarini bergani uchun o'tkazuvchanlik zonasida

bo'sh sathlar hosil qiladi. Yuzaga tegishli bo'lgan to'la va bo'sh sathlar orasidagi masofa, ya'ni taqiqlangan zona kengligi 2,6 eV ni tashkil qiladi.



11.7-rasm. GaAs (110)ning relaksatsiyalangan yuzasi elektron va fazoviy tuzilishining sxematik tasviri.

4.3.Yarimo'tkazgichlarning magnit va optik xossalari. Magnit xossalari.

Tarkibida nodir Yer elementlari va o'tish guruhi metallari ionlari bo'lgan molekular kristallarga magnit molekular nanoklasterlar deyiladi. Bu kristallarning tarkibiy qismi bo'lgan molekular murakkab tuzilishga ega. Ular qo'shimcha ichki erkinlik darajasi-magnit momentiga ega. Aynan shu magnit momenti ularning hossalari xilma-xillik bag'ishlaydi va ularni tashqi magnit maydoni yordamida boshqarishga imkon beradi. Aytish joizki, magnetizm mohiyatan kvant mexanik hodisadir. Mendeleev jadvalining ko'pgina elementlari atomlari, elektron spinlari kompensatsiyalanmagani tufayli magnit momentiga ega. Ular orasida o'tish guruhi metallari (Fe, Co, Ni, Mn va boshqa) lantanoidlar (nodir Yer elementlari va aktanoidlar) eng ko'p e'tiborga molikdir.

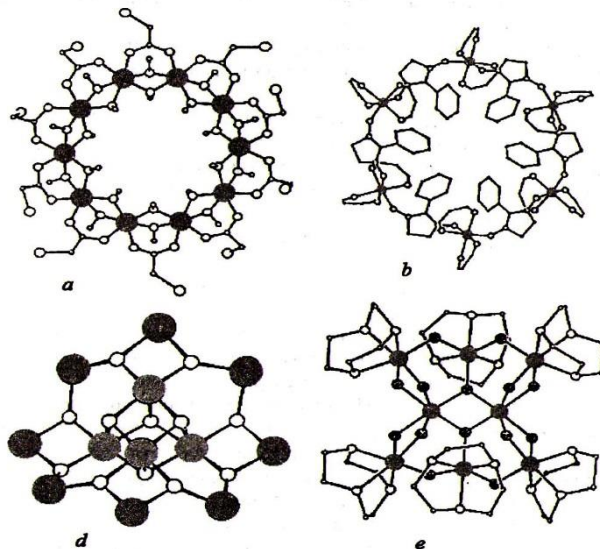
Odatda, molekular diamagnitdir, ammo ba'zida masalan, kislorod molekulari bundan istisno bo'lishi ham mumkin. Mikroskopik moddalarning magnit xossalari unchalik oddiy emas, chunki alohida atom yoki molekularlarning magnit momentlari murakkab darajada bo'ladi. Alohida atomlarning magnit xossalari juda yaxshi tushunarli. Hozirga qadar, tarkibida o'tish guruhi yoki nodir yer elementlari atomlari mavjud bo'lgan magnit kristallarning xossalari batafsil o'rganilgan bo'lsada, qator savollar ochiq qolmoqda.

Gap shundaki, bu materiallarda mavjud uzoq magnit tartib alohida atomlarning magnit xossasi hissalarining oddiy superpozitsiyasi emas. Magnit tartiblanish - bu jamoaviy kvant mexanik hodisa bo'lib, uning asosida Pauli printsipli bilan bog'liq atom spinlari orasidagi o'ziga xos ta'sirlashuv yotadi. Bu almashinuv ta'sirlashuvi deyiladi.

Almashinuv ta'sirlashuvi moddaning makroskopik sohalarida spinlarning parallel joylashuvini (ferromagnitizm) panjarasining qo'shni tugunlarida antiparallel joylashivi ferromagnetizm yoki magnit tartiblanishning boshqa murakkab shakllarini yuzaga keltirish mumkin. Magnetik klasterlar yoki magnit molekular alohida

atomlarning mikroskopik magnetizmini va kristall holda amorf jismlarning makroskopik magnetizmini birlashtiruvchi bo'g'imdir. Shuning uchun ular ba'zan mezoskopik atamasi o'rta, o'raliq ma'nosini bildirib, modda makroskopik jism sifatida shakllanmagan, biroq alohida atom emas, balki atomlar majmuasi bo'lganda ularning xossalari tavsiflashda ishlatiladi

Ana shunday xossalarga ega molekular o'tish guruhi elementlari ishtirokida qurilgan (Fe, Mn va b.) yuqori spinli metalloorganik molekular yoki magnit molekular deb ham ataladi (11.8-rasm).



11.8-rasm. Yuqori spinli molekular klasterlar. $Fe_{10}(a)$, $Mn_6(b)$, $Mn_{12}(d)$, $Fe_8(e)$

Ta'kidlash lozim, bu molekularning uyg'unligi va mukamalligi kishini xayratda qoldiradi. Misol tariqasida oddiy Fe_{10} klasterlarni ko'rib chiqaylik. Bu – xlor, kislorod va uglerod ionlari bilan o'ralgan o'nta Fe ionlari, ular orasidagi ta'sirlashuv antiferromagnit xarakterga ega. Shu sabab molekularning asosiy holatiga spini nolga teng S, O, Fe magnit klasterini bir molekula doirasidagi antiferromagnit deyish mumkin.

Takrorlash uchun savollar

1. Quyosh elementlarini qanday tayyorlanadi?
2. Kremniy asosidagi quyosh elementining strukturasi va parametrlari qanday bo'ladi?
3. Birinchi fotoelektrik asboblari qanday edi?
4. Yuqori samarador elementlar qanday bo'ladi?

12-ma'ruza. Kremniy plastinalarini olish

Asosiy savollar:

1. Kremniyning turlari va ularni tozalash va monokristall kremniy.
2. Choxralskiy va zonalar eritish usullarida kremniy olish.
3. Texnik, mul'ti-, poli- va mikrokrystal kremniy.
4. Amorf kremniy va kremniy plastinalarini olish usullari.

Tayanch so'z va iboralar: quyosh elementi, kremniy asosi, element strukturasi, fotoelektrik asbob,

1-asosiy savol:

Darsning maqsadi: Magistrarga kremniyning turlari va ularni tozalash va monokristall kremniy, choxralskiy va zonalar eritish usullarida kremniy olish, texnik, mul'ti-, poli- va mikrokrystal kremniy, amorf kremniy va kremniy plastinalarini olish usullari haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

1. Kremniyning turlari va ularni tozalash va monokristall kremniyning izohlay oladi.
2. Choxralskiy va zonalar eritish usullarida kremniy olish haqida ma'lumot bera oladi.
3. Texnik, mul'ti-, poli- va mikrokrystal kremniy, amorf kremniy va kremniy plastinalarini olish usullarini izoxlay oladi.

1-asosiy savolning bayoni:

Tabiatda Si faqat birikmalar holada uchraydi. Uni birikmalardan ajratib olish – uncha oson ish emas. Buni yo'lini yaqinda bilib oldik. Qum tuproq - Si ning eng ko'p uchraydigan birikmalaridan biri, ya'ni Si oksidlarining biri - “oddiy modda, balki metalning bir nav oksididan iborat birikma ekanligini” Lavuaz'e birinchi bo'lib fahmladi. 1810 yili shved ximigi I. Bertselus odiy kvarts qumini Fe qirindilari va maydalangan ko'mir bilan aralashtirib, aralashmani qattiq qizdirdi. Natijada Si va Fe qotishmasini oldi. 1825 yilda qilingan keying tajribalarida bir muncha uzil-kesil natijalarni oldi: u gazsimon SiF ni metall K bilan qaytarib, toza Si ajratib oldi. Bu elementning odiy qumdan hech olib bo'lmagan element bilan bir xilligini ham I. Bertseluius aniqladi: shuncha mashaqat bilan olingan jigar rang kukun kislorod bilan birikanida allaqachon ma'lum bo'lgan va tekshirib chiqilgan qum tuproqni hosil qilar edi.

Kremniy olishning sanoat usulini 1865 yilda N.N. Beketov taklif etdi. Bunday Si tetraxloridni Zn (rux) bug'lari bilan qaytarish yo'li bilan Si olindi. Hozir Si olishning birdan- bir usuli bu emas. Suyultirilgan Na SiF ni gidroliz qilish yo'li bilan ham, qum tuproqni koks bilan qaytarish yo'li bilan ham Si olinadi. Bu jarayon maxsus yoyli elektr pechlarda olib boriladi. N.N. Beketov mayin jigar rang kukun hosil qilgan edi. Bu kukun aslida mayda-mayda kristalchalardan tashkil topgan bo'lsa ham, hozir amorf Si deb ataladi. Bu kukunni suyultirish mumkin, lekin bunga 1415 gradusli temperature kerak bo'ladi. 2600 gradusda Siqaynaydi. Uni sovutib, yirik kristalik Si hosil qilsa bo'ladi, u – salga shishani tirnaydigan, juda qattiq, yerga tushib ketsa chil-chil sinadigan, juda mo'rt, metaldek yaltillab turadi, shunga ko'ra uni ba'zan metal Si deb ataydilar.

Takrorlash uchun savollar

1. Quyosh elementlarini qanday tayyorlanadi?
2. Kremniy asosidagi quyosh elementining strukturasi va parametrlari qanday bo'ladi?
3. Birinchi fotoelektrik asboblari qanday edi?
4. Yuqori samarador elementlar qanday bo'ladi?

13-ma'ruza. Quyosh elementlari tayyorlash texnologik liniyalari.

Asosiy savollar:

1. Quyosh elementlarini tayyorlash texnologik liniyalari va xomashyolar.
2. Kremniy sterjenlarini o'stirish hamda plastinalar olish hamda ularga mexanik va kimyoviy ishlov berish.
3. Sirtni teksturlash va diffuziya orqali emitterni shakllantirish.
4. Chekkaparni izolyatsiyalash va nur qaytarish qatlamlarini qoplash

Tayanch so'z va iboralar: texnologik liniyalar, quyosh elementi, kremniy asosi, element strukturasi, fotoelektrik asbob,

1-asosiy savol:

Darsning maqsadi: Magistr'larga quyosh elementlarini tayyorlash texnologik liniyalari va xomashyolar, haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

1. Quyosh elementlarini tayyorlash texnologik liniyalari va xomashyolarni izohlay oladi.
2. Kremniy sterjenlarini o'stirish hamda plastinalar olish hamda ularga mexanik va kimyoviy ishlov berish haqida ma'lumot bera oladi.
3. Sirtni teksturlash va diffuziya orqali emitterni shakllantirishni izoxlay oladi.
4. Chekkaparni izolyatsiyalash va nur qaytarish qatlamlarini qoplash haqidama'lumot bera oladi.

1-asosiy savolning bayoni:

QFE larini ishlab chiqarish uchun asosiy materiallar quyidagilardan iborat:

Kremniy (Si) –ozirgi vaqtda quyosh fotoelektr elementlarini ishlab chiqarishda qo'laniladigan eng muhim material bo'lib hisoblanadi.

Gally arsenidi (GaAs) – yuqori samarali QFE larining ishlab chiqarish uchun foydalaniladi. Bu material ko'p hollarda kontsentratsiyalangan fotoelektr tizimi va kosmik qurilmalarda ishlatiladi. Kontsentratsiyalangan quyosh radiatsiyasida uning FIK 25%dan 28% gacha bo'ladi. Maxsus turlarida esa 30% dan ortadi.

Kadmii telluridi (CdTe) – yupqa plenkali material, cho'kish va changlatish bilan hosil qilinadi, fotoelektr tizimlar uchun kelgusida orzon istiqbolga ega bo'lgan material. Laboratoriya nusxalarida quyosh fotoelementlarining FIK 16% , sanoatda ishlab chiqilgan nusxalarda 8% gacha bo'ladi.

Mis – indiyli diselenid (CuInSe₂ yoki CIS) –yupqa plyonkali material bo'lib, FIK 17% gacha bo'ladi.U istiqbolli material bo'lib, ishlab chiqarish jarayoni o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lganligi uchun xozirgi davda keng foydalanilmaydi.

Xozirgi vaqtda fotoelementlardan sanoat miqyosida foydalanish uchun juda ko'p texnologik jarayonlarda ishlatish uchun ishlanmalar ishlab chiqilgan. Lekin ularning hammasi ham quyidagi asosiy texnik talablarga mos kelishi kerak bo'ladi:

- foydalaniladigan yarimo'tkazgichli materiall yuqori darajali ximiyaviy toza, fizik hususiyatlari o'zgarmas bo'lishi kerak;

- fotoelementni sanot miqyosida ishlab chiqarishda minimal narxli va talabning uzoq muddatli (hizmat qilish vaqti 20 yildan kam bo'lmagan);

- atrof muhit ta'siriga chidamli (ishchi temperatura diapazoni -30 dan +200 °C gacha) germetik va hamma turdagi korroziyadan muhofazalangan bo'lish kerak;

- bir yoki bir necha fotoelement ishdan chiqanda butun tizim funksiyasiga ta'sir ko'rsatmasligi kerak.

Таблица 3

Солнечные элементы на основе кремния [83-86]

Table 3

Silicon based solar cells [83-86]

Структура	$S_{\text{общ}}, \text{см}^2$	$U_{\text{OC}}, \text{мВ}$	$J_{\text{SC}}, \text{мА/см}^2$	$ff, \%$	КПД, %	Дата	Производитель
c-Si	4,00	709	40,9	82,7	24,0	9/94	UNSW
c-Si	45,7	694	39,4	78,1	21,6	4/94	UNSW
c-Si	22,1	702	41,6	80,3	23,4	5/96	UNSW
mc-Si	1,00	636	36,5	80,4	18,6	12/91	Georgia Tech.
mc-Si	100	610	36,4	77,7	17,2	3/93	Sharp
tf-Si	240	582	27,4	76,5	12,2	3/95	Astro Power
tf-Si	4,04	699	37,9	81,1	21,1	8/95	UNSW
a-Si:H	1,06	864	16,66	71,7	10,3	10/90	Chronar
a-Si:H	0,99	886	17,46	70,4	10,9	9/89	Glass tech.
a-Si:H	1,00	887	19,4	74,1	12,7	4/92	Sanyo
a-Si:H	1,08	879	18,8	70,1	11,5	4/87	Solarex
ITO/c-Si/a-Si	1,0	644	39,4	79,0	20,0	9/94	Sanyo
a-Si:H	1,0	891	19,13	70,0	12,0	9/94	Solarex
p-a-Si:H	1,0	923	18,4	72,5	12,3	9/94	Fuji-Elect.
a-Si/a-Si/a-SiGe		2320	7,3	73,0	12,4	9/94	Sumitomo
a-Si:H	1,0	887	19,4	74,1	12,7	9/94	Sanyo
a-C/a-SiML/a-SiC/a-Si	1,0	936	19,6	71,8	13,2	9/94	Mutsui-Toatsu
a-C/a-Si/a-SiC/a-Si	1,0	909	19,8	73,3	13,2	9/94	Mutsui-Toatsu
ITO/a-Si:H/a-SiGe:H	0,28	1621	11,72	65,8	12,5	1/92	USSC/Cannon
a-Si/k-Si	0,03	1480	16,2	63,0	15,0	9/94	Osaka Univ.
a-SiC/a-Si	1,0	1750	8,16	71,2	10,2	9/94	Solarex
a-Si/a-Si	1,0	1800	9,03	74,1	12,0	9/94	Fuji
a-SiC/a-SiGe/a-SiGe	1,0	2290	7,9	68,5	12,4	9/94	Sharp
a-Si/a-Si/a-SiGe	1,0	2550	7,66	70,1	13,7	9/94	ECD/Sovonics
p-a-SiO:H/a-Si:H/n-a-Si:H	1,0	899	18,8	74,0	12,5	9/94	Fuji-Elect.
ITO/a-Si:H/-Si:H/a-SiGe	0,27	2541	6,96	70	12,4	2/88	ECD
a-Si:H/a-Si:H/a-SiGe:H	1,00	2289	7,9	68,5	12,4	12/92	Sharp
a-Si/CuInSe ₂	-	871 432	16,4 17,4	72,0 68,0	10,3 5,3	9/94	ARCO
a-Si/mc-Si	-	917 575	10,4 30,2	76,0 79,2	7,25 13,75	9/94	Osaka Univ.

Takrorlash uchun savollar

1. Quyosh elementlarini tayyorlash texnologik liniyalari va xomashyolar haqida ma'lumot bering.
2. Kremniy sterjenlarini o'stirish hamda plastinalar olish hamda ularga mexanik va kimyoviy ishlov berishni izoxlab bering.
3. Sirtini teksturlash va diffuziya orqali emitterni shakllantirishni tushuntiring.
4. Chekkaparni izolyatsiyalash va nur qaytarish qatlamlarini qoplash haqida ma'lumot bering.

14-ma'ruza. Elementlar parametrlarini o'lchash va baholash

Asosiy savollar:

1. p-n-o'tish chuqurligini o'lchash va elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash.
2. Tayyor elementlar parametrlarini o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblash.

Tayanch so'z va iboralar: o'tish chuqurligi, texnologik liniyalar, quyosh elementi, kremniy asosi, element strukturasi, fotoelektrik asbob, nurqaytarish qatlamlarisiz, o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblash

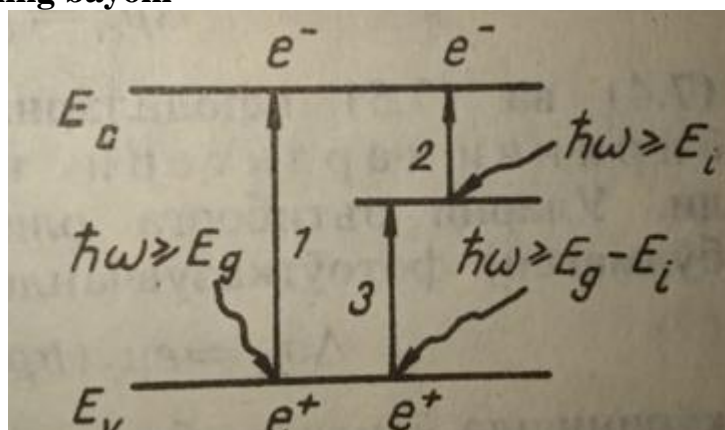
1-asosiy savol:

Darsning maqsadi: Magistrarga p-n-o'tish chuqurligini o'lchash va elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash, tayyor elementlar parametrlarini o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblash haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

1. Elementlar parametrlarini o'lchash va baholashni aytib bera oladi.
2. p-n-o'tish chuqurligini o'lchash va elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash haqida ma'lumot bera oladi.
3. Tayyor elementlar parametrlarini o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblashni izohlay oladi.

1-asosiy savolning bayoni



14.1-rasm. Yorug'likning yarimo'tkazgichning xususiy (1) va (2,3) kirishmaviy yutilishi.

Yorug'likning xususiy yutilishi (bunda yotrug'lik kvanti energiyasi $\hbar\omega > E_g$) va kirishmaviy yutilishi $\hbar\omega < E_g$ zaryad tashuvchilar juftlarini yoki (ikkinchi

holatda) bir ishorali zaryad tashuvchilarniyuzaga keltiradi (6.1-rasm). Shu tufayli fotoo'tkazuvchanlik ning kirishmaviy va xususuy turlari mavjud.

Yorug'likning yutilishi hisobiga paydo bo'lgan ortiqcha Δn elektronlar va Δp kovaklar kristall panjara tebranishlari va nuqsonlari bilan o'zaro ta'sirlashishi natijasida 10^{-10} - 10^{-12} s vaqtichidaenergiya va kvaziimpul'slar bo'yicha muvozanat holatdagi zaryad tashuvchilarniki kabi taqsimotga ega bo'lib qoladilar.Shuning uchun ham nomuvozanat holatdagi zaryad tashuvchilar harakatchanligidanfarq qilmaydi va yoritilayotgan yarim o'tkazgich elektr o'tkazuvchanliginingo'zgarishiga erkin zaryad tashuvchilarkonsentrasiyasining ortishi sabab bo'ladi.Qorong'ilikdagi elektr o'tkazuvchanlik

$$\Delta\sigma = \sigma_{yo} - \sigma_0 = e\mu_n\Delta n + e\mu_p\Delta p, \quad (14.1)$$

kattalik qadar ortadi. Mana shu kattalik yorug'likdagi o'tkazuvchanlik yoki fotoo'tkazuvchalikni ifodalaydi. Nomuvozanat holatdagi zaryad tashuvchilarning ortiqcha konsentrasiyalari uzuluksizlik tenglamalaridan topiladi:

$$\frac{\partial\Delta n}{\partial t} = g_n - \frac{\Delta n}{\tau_n} + \frac{1}{e} \operatorname{div} \vec{j}_n, \quad (14.2)$$

$$\frac{\partial\Delta p}{\partial t} = g_p - \frac{\Delta p}{\tau_p} - \frac{1}{e} \operatorname{div} \vec{j}_p. \quad (14.3)$$

Yorug'likning xususiy yutilishi elektronlar va kovaklar generatsiyasi tezliklari o'zaro teng, ya'ni $g_n = g_p = g$. Doimiy yoritilganlik sharoitida $\frac{\partial\Delta n}{\partial t} = \frac{\partial\Delta p}{\partial t} = 0, \vec{\varepsilon} = 0$ da tekis generatsiyalash sharoitida $\operatorname{div} \vec{j}_n = \operatorname{div} \vec{j}_p = 0$ bo'lganligi sababli

$$\begin{aligned} \Delta n_{st} &= g_n \tau_n, \\ \Delta p_{st} &= g_p \tau_p. \end{aligned} \quad (14.4)$$

Bu ifodanifotorezistiv effekt uchun birinchi xarakteristik munosabatlar deyiladi.Bularni e'tiborga olib, stasionar fotoo'tkazuvchanlikni

$$\Delta\sigma_{st} = e\mu_p (bg_n\tau_n + g_p\tau_p), \quad (14.5)$$

ko'rinishda yoziladi, bunda $b = \mu_n / \mu_p$. Optik generatsiya ifodasini (14.5) tenglamaga qo'ysak

$$\Delta\sigma_{st} = e\alpha I_v (1 - R_v)(\mu_p\tau_n\beta_n + \tau_p\mu_p\beta_p) \quad (14.6)$$

ko'rinishdagi ifodani olamiz.Nurlanishning yutilish koeffisienti α va elektronlar hamda kovaklar uchun kvant chiqishlar β_n, β_p to'g'risida batafsil gapirilgan. Tutuvchi markazlar yo'q va xususiy generatsiya mavjud bo'lgan holda:

$$\Delta n = \Delta p; \tau_p = \tau_n = \tau; \beta_n = \beta_p = \beta; \Delta\sigma_{st} = e\alpha\beta(1 - R_v)I\mu_p(1 + b) \quad (14.7)$$

Kirishmaviy yutilish holida (donorlarda) yoki $\tau_n > \tau_p; \mu_n > \mu_p$ bo'lganda (14.6) ifodadagi hadlardan biri tashlab yuboriladi:

$$\Delta\sigma_{st} = e\alpha\beta(1 - R_v)I_{v0}\mu_n\tau_n. \quad (14.8)$$

Fotoo'tkazuvchanlik $\Delta\sigma$ ning yorug'lik intensivligi I_{v0} ga nisbatini yarim o'tkazgichning solishtirma fotosezgirliigi deyiladi:

$$S_F = \Delta\sigma / I_{v0} \quad (14.9)$$

Fototok zichligining stasionar qiymati ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

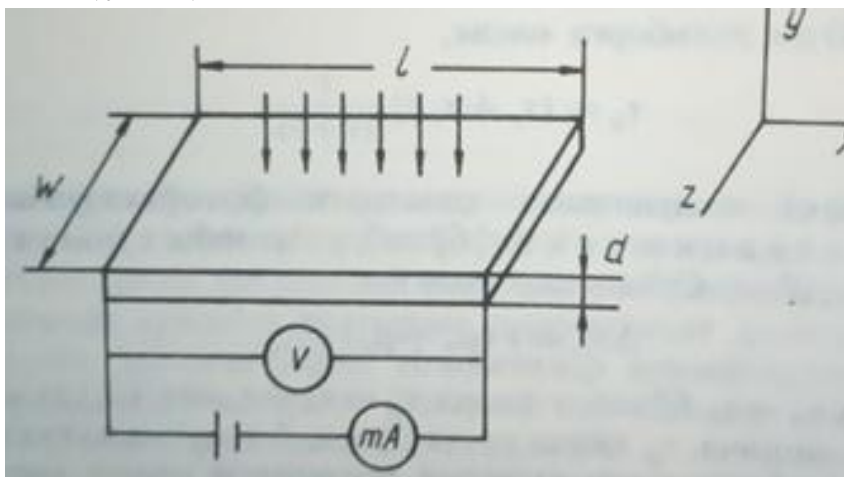
$$\vec{j}_F = \vec{j}_{yo} - \vec{j}_q = \Delta\sigma_{F.st} \cdot \vec{\varepsilon} = e\mu_p(g_p\tau_p + g_n\tau_nb)\vec{\varepsilon}. \quad (14.10)$$

Agar yarim o'tkazgichning maydon yo'nalishdagi uzunligini l orqali, undagi kuchlanishni V orqali ifodalasak, u holda maydon kuchlanganligi $\varepsilon = V/l$, elektron va kovakning dreyf tezliklari mos ravishda

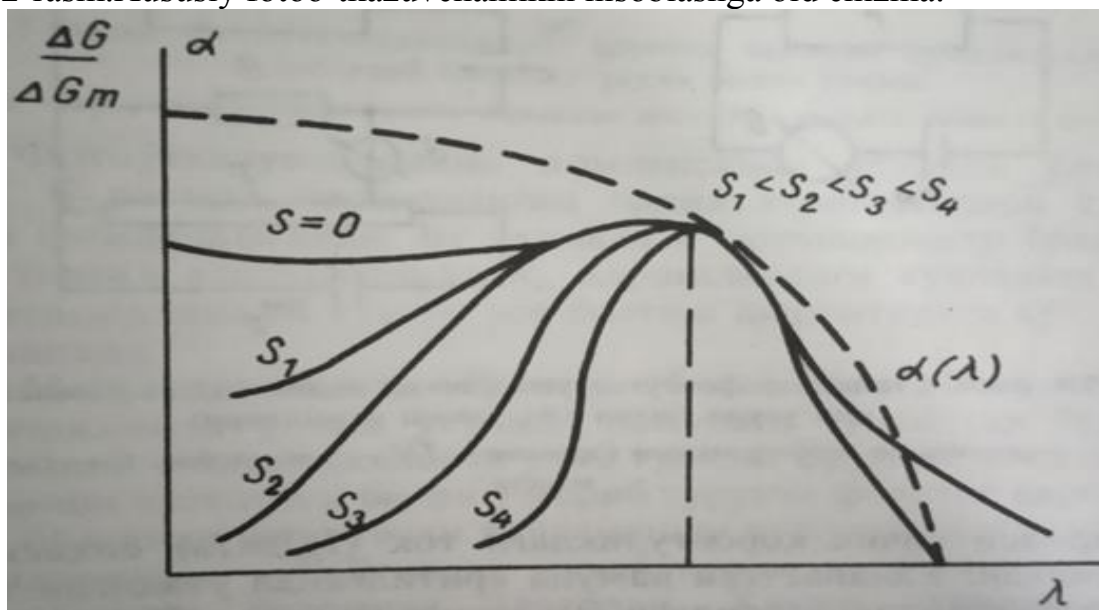
$$v_{dn} = \mu_n \varepsilon = \mu_n \frac{V}{l}, \quad v_{dp} = \mu_p \frac{V}{l}. \quad (14.11)$$

Kengligi W , qalinligi d va uzunligi l bo'lgan to'g'ri to'rburchakli plastoinadan iborat yarim o'tkazgichning sirti $\hbar\omega \geq E_g$ energiyali fotonlar oqimidan iborat yorug'lik bilan y o'qi qalinlik koordinatasi bo'ylab yoritilgan bo'lsin (14.2-rasm). Yarim o'tkazgich namunasi yetarlicha uzun bo'lsin, u holda yonsirtdagirekombinatsiyani nazarga olmaslik mumkin. Optik generatsiya qalinlik koordinatasiga y ga bog'liq bo'ladi

$$g(y) = g_0 e^{-\alpha y} = \alpha \beta I_{v0} (1 - R_v) e^{-\alpha y}$$



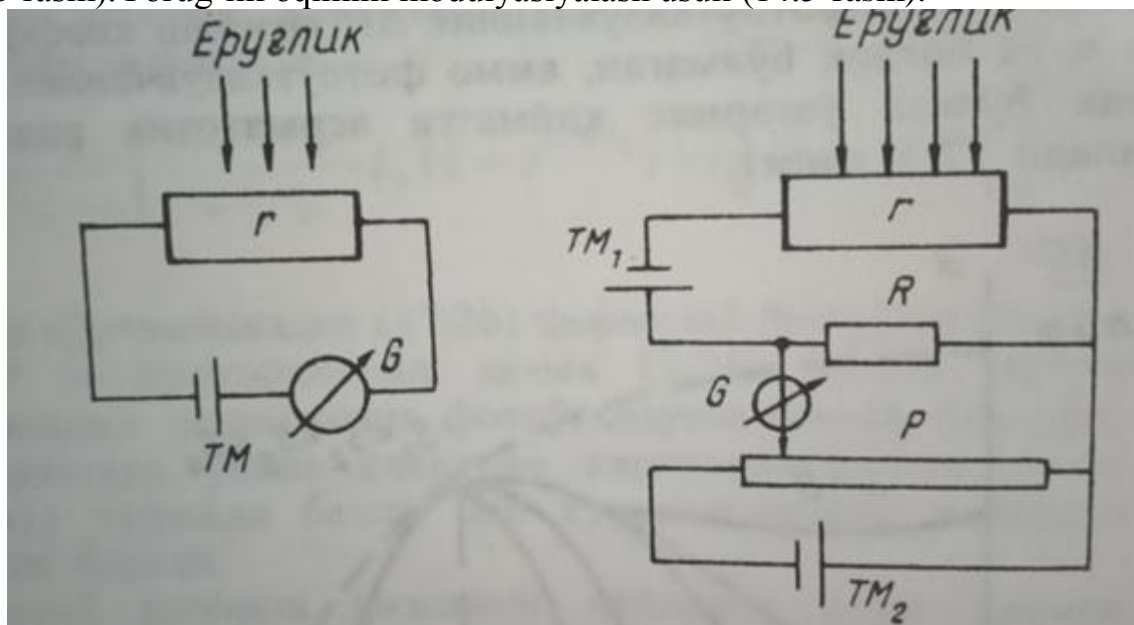
14.2-rasm. Xususiyy fotoo'tkazuvchanlikni hisoblashga oid chizma.



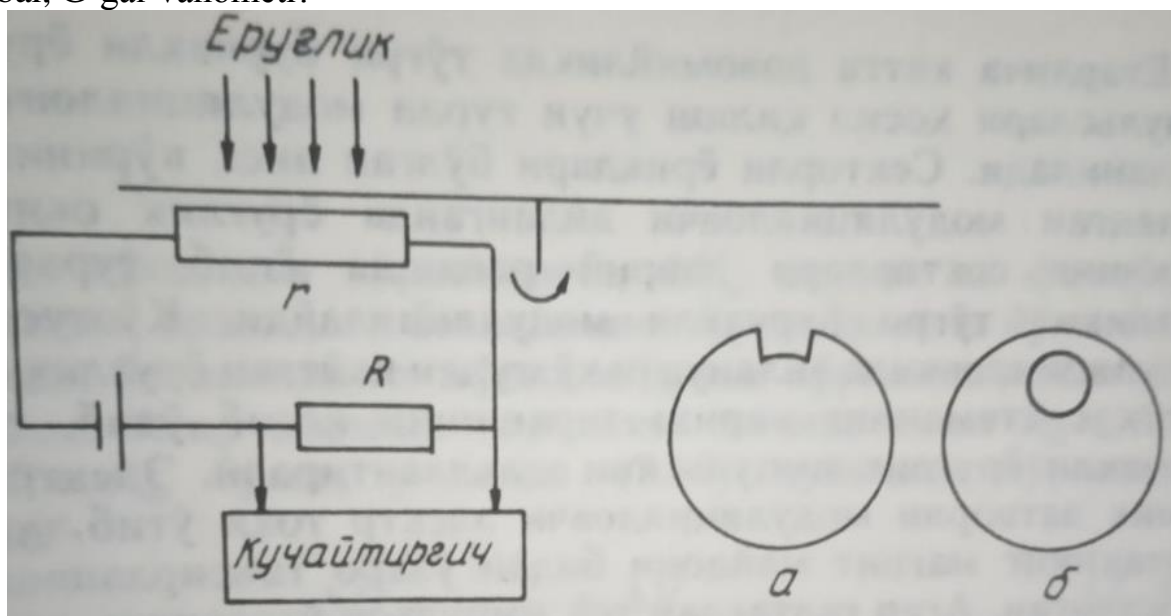
14.3-rasm. Xususiyy fotoo'tkazuvchanlikning yorug'likning to'liq uzunligiga bog'liqligi. Fotoo'tkazuvchanlik ΔP ning yutilish koeffitsienti α ga bog'liq

bo'lmagan, ammo fotoo'tkazuvchanlik s ga bog'liq bo'lgan o'zgarmas qiymatga asimptotik ravishda intiladi.

14.4-rasmdagi sxema yordamida stasionar fotoo'tkazuvchanlikni o'lchash qiyin, ba'zanesa umuman mumkin bo'lmaydi. Qorong'likdagi tokni kompensasiyalash usuli (14.4, b-rasm). Yorug'lik oqimini modulyasiyalash usuli (14.5-rasm).



14.4-rasm. Stasionar fotoo'tkazuvchanlikni oddiy (a) va kompensasiya usuli bilan (b) o'lchash sxemalari: 1- namunaning qorong'likdagi qarshiligi, TM- tok manbai, G-gal'vanometr.



14.5-rasm. Fotoo'tkazuvchanlikni yorug'lik oqimini modulyasiyalash (uzib-uzib yoritish) usuli bilan o'lchash: a-sektor ko'rinishli shakl qirqilgan disk; b- dumaloq teshikli disk.

Bu usullar bilan fotoo'tkazuvchanlikni o'lchashdanamunaga ketma-ket ravishda V kuchlanishli tok manbai, R_{yu} yuklama qarshilik ulanadi. Fotosignalni R_{yu} yuklama qarshilik orqali yoki ham o'zgarmas, ham modulyasiyalangan yoritishda namuna orqali olinadi.

Yarim o'tkazgichli injeksion lazer. Ideal p-n getroo'tishlarning energetik diagrammalariga asosan to'g'ri yo'nalish bo'yicha kuchlanish qo'yilganda, tokni keng zonalni o'tkazgichdan tor zonali yarim o'tkazgichga asosiy zaryad tashuvchilarning injeksiyasi orqali o'tishi aniqlaydi, chunki kovakning n-sohasiga engib o'tadigan potentsial to'siq balandligielektronning p-sohasiga engib o'tish potentsial to'siq balandligidan katta.

Yarim o'tkazgichli lazer qurilmasida xarakteristikalarini, generatsiyalarini o'rganish va uni tekshirish mumkin. Buning uchun aktiv sterjen va rezanator ko'zgularini almashtirish kerak. Lazer qurilmasi quyidagi qismlardan iborat: lazer boshi, optikaviy rezanator, istemol manbai, yuqori kuchlanishli kondensatorlari, blakirovka.

Aktiv muhitni kuchaytirish ikki diskret sathlarda o'tishda quyidagi ifoda bilan muhitning kuchayish ko'rsatgichi aniqlanadi

$$\chi_0 = \frac{c^2 \left(N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1} \right) \varphi(\nu)}{8\pi\nu^2 n^2 \tau}, \quad (14.12)$$

$\varphi(\nu)d\nu = 1$; bunda $\varphi(\nu)$ – chiziq formasini normallashtiruvchi funktsiya; N_i – santimetr kubdagi atomlar soni; g_i – sathning statistik og'irligi; n – yarim o'tkazgich materialning sindirish ko'rsatgichi; τ – elitgichlarning yashash vaqti. Hamma OKG kabi yarim o'tkazgichli lazerlarda ham generatsiya sharti

$$\rho e^{(\chi_0 \delta)^L} \geq 1,$$

χ_0 – aktiv muhitning to'yinmaganlik ko'rsatgich koeffitsienti; L – aktiv muhitning uzunligi; ρ – yarim o'tkazgichning qaytarish koeffitsienti; δ – yarim o'tkazgich qalinligida isrof bo'lish koeffitsienti. Yarim o'tkazgichli lazerlarning alohida xususiyatlaridan biri, uzuliksiz elektron spektrlar sathini turli usullardan foydalanib inversiya hosil qilishdir.

Kuchli elektr maydoni ta'sirida uyg'otish. Toza va aralashmali yarim o'tkazgichlar uchun kuchli elektr maydoni ta'siridan foydalanish mumkin. Toza yarim o'tkazgichlarga kuchli elektr maydoni ta'siri qildirilsa, unda mos ravishda o'tkazuvchi va valent zonalarda teng bo'lmagan elektronlar va teshiklar hosil qilinadi. Bunda tepki ionizatsiya hisobiga o'tkazuvchini energiyasi tezlashadi, bu atomni ionlashtirish uchun etarli bo'ldi va elektron-teshik juftlar hosil qiladi, yoki elektronlar va teshiklarni kuchli elektr maydon ta'sirida ajratib olinadi. Agar elektronlar va teshiklar kontsentratsiyasi o'tkazuvchi zonada oshirilsa u holda valent zonada funktsiya taqsimoti muvozanatli holatdan farq qiladi.

Bunda erkin elektron va teshiklar keng energetik polosada mos zonalarda taqsimlanadi. Invertsiya hosil bo'lishi uchun $\tau_s \ll \tau_c$; shart bajarilishi kerak bo'ladi, bunda τ_s – ichki mos zonalardagi harakat tezligining energiyasi qiymatini $-kT$ gacha tenglashguncha ketgan vaqt; τ_c – qarama – qarshi ishorali elitgichlarning rekombinatsiya vaqti. Turli isimli zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi natijasida foton nurlanadi, uning energiyasi

$$\Delta W < h\nu. \quad (14.13)$$

Nurlanuvchi fotonlar energiyasi kattaligini umumiy holda

$$\Delta W < h\nu < \Delta W + W_c + W_v \quad (10.14)$$

bo'ladi. W_c -o'tkazuvchi zonaga mos keluvchi to'latilgan holat energiyasi, W_v -valent zonadagi to'lmagan holatga mos keluvchi energiya.

Muhokama uchun savollar:

- 1.14.1-rasmni tushintiring, hariflarni izohlang.
- 2.14.2-14.4-rasmlarni tushintiring va undan olinadigan qiymatlarini izohlang.
- 3.Yarim o'tkazgichli lazerlar qanday ishlaydi?

Adabiyotlar

- 1.H.Akramov, S.Zaynobiddinov, A.Teshaboyev. Yarim o'tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar. Toshkent. Uzbekiston 1994.271-.,.
2. B. Gatehouse.J. Inog.Nucl Chem.,8(6), 79 (1958).
3. A. Burgess, M.J.Seaton. Monthly Notices Roy.Astron. Soc., **120**, 121(1960)
4. Karzas W.J., Latter R. Astrophys. J. Suppl.VI, no 55, 167 (1961).
5. M.A. Yelyashevich «Atomnaya I molekularnaya spektroskopiya» M., Fizmatgiz. 2002 g.64-88 betlar.
6. S.E. Frish «Opticheskie atomnye spektry» M. Fizmatgiz.1963g.
7. Leshe «Fizika molekul». M., «Mir». 1987 g.
8. Biberman L.M., NormanG.E., Ulyanov K.H."Astronoicheskiy jurnal", **39**, 107(1962)

15-ma'ruza. Fotovoltaika materialshunosligi

Asosiy savollar:

1. Fotovoltaika materialshunosligi.
2. Fotovoltaikada qo'llaniladigan boshqa yarimo'tkazgich materiallari.
3. Konstruktsion va texnologik materiallar. Birinchi, ikkinchi va uchinchi avlod fotoelementlari.

Tayanch so'z va iboralar: o'tish chuqurligi, texnologik liniyalar, quyosh elementi, kremniy asosi, element strukturasi, fotoelektrik asbob, nurqaytarish qatlamlarisiz, o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblash

1-asosiy savol:

Darsning maqsadi: Magistr'larga fotovoltaika materialshunosligi, fotovoltaikada qo'llaniladigan boshqa yarimo'tkazgich materiallari, konstruktsion va texnologik materiallar, birinchi, ikkinchi va uchinchi avlod fotoelementlari haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

1. Elementlar parametrlarini o'lchash va baholashni aytib bera oladi.
- 2.p-n-o'tish chuqurligini o'lchash va elementlar parametrlarini nurqaytarish qatlamlarisiz va ular bilan o'lchash haqida ma'lumot bera oladi.
3. Tayyor elementlar parametrlarini o'lchash, baholash, samaradorligini hisoblashni izohlay oladi.

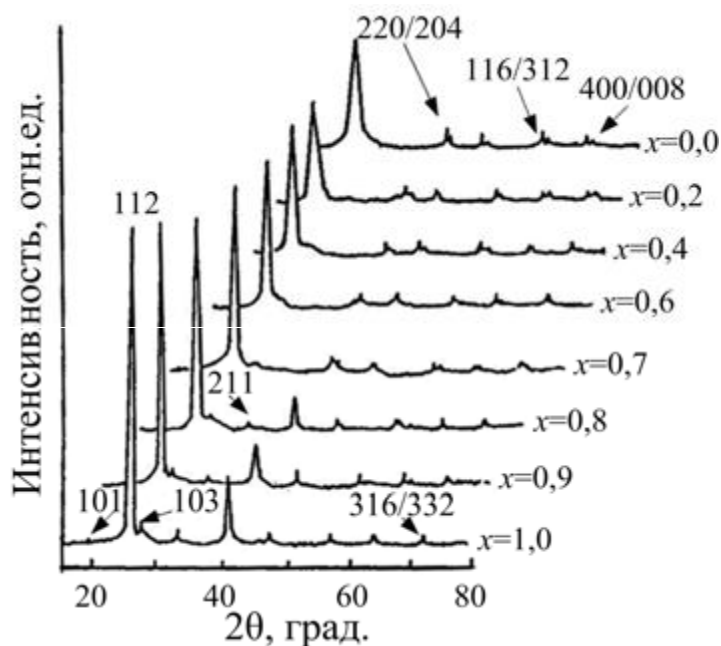
Kristall moddalarda rentgen nurlarining difraksiyasidan foydalanish, ularning kristall strukturfviy tuzilishini va fazoviy tarkibini aniqlashda o'rganishdagi asosiy

metodlardan biridir. Bu metodning mazmuni shundan iboratki, ob'ektdagi rentgen nurlarining difraksiyasining o'lchami tushuvch nurlanishning to'liq uzunligiga yaqin bo'ladi. Rentgen nurlari difraksiyasining nazariyasi Bregga tenglamasiga asoslanadi, rentgen nurlarining kuchayishini ifoda qiladi, u kristallning atom tekisligida sochilishini belgilaydi, natijada ularning interferensiyasi hosil bo'ladi [1,2]:

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (15.1)$$

bu yerda θ – nurning tushish burchagi, λ – tushuvchi nurlanishning to'liq uzunligi; n – maksimumlar tartibi, d – kristaldagi tekisliklar orasidagi masofa. Bregga formulasidan shu narsa ko'rinadiki, diffraksion maksimumlar kattaligi tushish burchagi va rentgen nurlanishining to'liq uzunligi orqali beriladi. Agar λ doimiy bolsa, $\sin\theta$ o'zgarsa, unda diffraksion maksimumlarning tushish burchagiga bog'lanishini olish mumkin bo'ladi – namunaning rentgenogrammasi (5.1-rasm).

Odatdarentgen nurlanishining manbai sifatida standart rentgent trubkasidan foydalaniladi (ko'pincha medisinada ishlatiladigan CuK rentgan nurlanishning to'liq uzunligi $\lambda = 1,542 \text{ \AA}$ bo'ladi).



15.1-rasm. $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ plenkadagi rentgen nurlarining diffraksion rentgenogrammasi

Rentgenogramмага asosan $d(\theta)$ [2] bog'lanishning jadvali tuziladi. Shundan so'ng d tekisliklar orasidagi masofa bo'yicha ruxsat etilgan refleklar bo'yicha intifisiyalashtiriladi. Identifikatsiyani o'lchashda rentgenogrammadagi refleklar orasidagi masofadan (diffraksion maksimumlar) foydalanamiz, undan so'ng ular orasidagi proporsionallik koeffisienti aniqlanadi.

Bu munosabatlar turli turdagi kristall panjaralar uchun doimiydir [2]:

I panjara uchun $2\frac{1}{2}, 4\frac{1}{2}, 6\frac{1}{2}, 8\frac{1}{2}$;

F panjara uchun $3\frac{1}{2}, 4\frac{1}{2}, 8\frac{1}{2}, 11\frac{1}{2}, 12\frac{1}{2}, 16\frac{1}{2}, 19\frac{1}{2}, 20\frac{1}{2}$;

P panjara uchun $1\frac{1}{2}, 2\frac{1}{2}, 3\frac{1}{2}, 4\frac{1}{2}, 5\frac{1}{2}, 6\frac{1}{2}, 8\frac{1}{2}$.

Panjara turi aniqlangandan so'ng, diffraksion maksimumlar joylashishiga qarab refleklarning o'zlari ruxsat etilgan jadval asosida identifikatsiya qilinadi berilgan

turdagi kristall panjara uchun, shundan so'ng berilgan strukturaga mos kelmayigan reflekslar aniqlanadi, va ular orqaliboshqa birikma yoki kristall modifikatsiyasi indentifikatsiya qilinadi.

Kristall strukturasi eng sodda usulda aniqlash usuli rentgenogrammani ma'lumotlarini nazariy hisoblash yo'li bilan kristall panjarani uchun olingan ma'lumotlar bilan solishtirishdir. Agar yuqqa plenaning CIGS strukturasi tahlil qilinayotgan bo'lsa, u holda berilgan birikmalarning olingan rentgenogrammasi nazariy yo'l bilan hisoblangan rentgenogrammaning to'liq uzunligi bilan solishtiriladi [3].

Rentgenogramma mos kelsa shunday hulosaga kelish mumkin, olingan plenka xal'kopirit kristall strukturasi ega va uning panjara parametrlari a va c . Reflekslar hisoblash bilan mos kelmasa, boshqa birikma hisoblashlarining rentgenogrammasi bilan solishtiriladi, chunki texnologik jarayon natijasida boshqa birikma hosil bo'lishi mumkin. Intensivlikni o'lchash va identifikatsiya qilingan reflekslarni aniqlashda kristallning orientatsiyasi polikristallar plenkalarda katta ahamiyatga ega bo'ladi. Kristall strukturasi baholashda rentgen kuzatish usuli taqribiy plenka qalinligini aniqlashga imkon beradi. Difraksion intensivlikning bir qismi kuzatilayotgan qatlama kelayotgan qalinlik bo'lsin, u quyidagicha beriladi:

$$G_x = \left(1 - \exp\left(-\frac{2\mu_x}{\sin\theta}\right) \right), \quad (15.2)$$

bu yerda μ – rentgen nurlanishining yutilish koeffitsienti; θ -difraksiya burchagi.

Yutilish koeffitsientini CIS uchun ning nisbiy qiymatidan foydalanib aniqlanadi, nisbiy qiymatni hisoblash mumkin uni Cu, In va Se uchun 1- jadvaldan olinadi [4].

$$\frac{\mu}{\rho}(\text{CuInSe}_2) = \frac{1}{4} \left(\frac{\mu}{\rho}(\text{Cu}) + \frac{\mu}{\rho}(\text{In}) + \frac{\mu}{\rho}(\text{Se}) \right) \quad (15.3)$$

Unda plenaning tahminiy qalinligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$x = \frac{-\sin\theta \cdot \ln\left(1 - \frac{I}{I_{his}}\right)}{2\mu} \quad (15.4)$$

bu yerda I_{his} – hisoblashdagi intensivlik; I – refleksning real' intensivligi. CuK-nurlanishning yutilish koeffitsienti [4] Jadval 1

Element	$\frac{\mu}{\rho}, \text{sm}^2 / \text{g}$	$\rho, \text{g} / \text{sm}^3$
Cu	52,7	8,96
In	252	7,31
Se	82,8	4,81
Mo	164	10,2

Eslatma : $\lambda = 1,542 \text{ \AA}$; $\rho(\text{CuInSe}_2) = 5,77 \text{ g/cm}^3$; $\mu(\text{CuInSe}_2) = 678 \text{ cm}^{-1}$.

Shunday qilib, rentgent kuzatishida standart o'lchash usulidan qurilmadan foydalaniladi va [4] ning metodikasi kristall strukturasi va fazoviy tarkibini aniqlashga imkon yaratadi.

Fotovoltaik materiallarda zaryad tashuvchilarning yashash vaqtini aniqlash.

Molekulaning o'rtacha yashash vaqti erkin yugirish vaqtini ta'riflanganda

$$\tau = 1/S_m \bar{v}_T N_0, \quad (15.5)$$

ifodadan foydalanib, bunda \bar{v}_T – molekulaissiqlik harakatining o'rtacha tezligi, $S_m = \pi R_m^2$ – uning ko'ndalang kesimi, R_m – radiusi, N_0 – molekular konsentrasiyasi. Shunga o'xshash, sochilish nazariyasida va rekombinasiya nazariyasida bu jarayonlarning xarakterli vaqtini aniqlashda sochilish hamda tutilish ko'ndalang kesimi tushinchalari kiritiladi. Molekulalarning bevosita tegishli ko'rinishdagi to'qnashishlari holda ko'ndalang kesim molekulaning geometrik kesimidan iborat bo'ladi. Biroq, zaryadlangan zarralarning zaryadlangan zarralar bilan, kristall panjaraning turli nuqsonlari bilan to'qnashish hollari uchun kiritiladigan ko'ndalang kesimlar to'qnashish markazlarining geometrik ko'ndalang kesimini ifodalamaydi, balki bu kesimlar zaryad tashuvchilarning mazkur to'qnashish, tutilish kesimlar zaryad tashuvchilarning mazkur to'qnashish, tutilish markazlari bilan o'zaro ta'sirning xarakterlaydigan va umuman bir necha omillarga bog'liq bo'lgan effektiv fizikaviy kattaliklardir. Masalan, elektronlarning panjaraning zaryadli nuqsoni bilan o'zaro ta'siri nuqsonning o'z radiysidan ancha uzoq masofalarda boshlanadi, bu holda effektiv ko'ndalang kesimni o'zaro ta'sir sferasi radiusi aniqlaydiki, u nuqsonning geometrik kesimidan ko'p marta ortiqdir.

Endi rekombinasiya jarayonida foydalaniladigan "tutish kesimi" tushunchasi bilan tanishamiz. Nomuvozanatliy zaryad tashuvchi, masalan, elektron kristall panjarada harakatlanayotib muayyan ehtimollik bilan teshikka duch kelib qolishi va unda tutilishi mumkin. Umumiy holda yarim o'tkazgichda teshiklarning (elektronni tutib olish markazlarining) bir necha tipi mavjud bo'la oladi: valent zonadagi erkin teshiklar, turli kirishmalarning energetik sathlari, panjara nuqsonlari sathlarida o'rinishgan teshiklar va h.k.

Elektronning teshik bilan har bir uchrashuvi ushlanish bilan yakunlanadi deb hisoblaymiz. Elektronning mazkur k tipdagi teshiklar bilan birlik vaqtda uchrashishlar soni N_{nk} shu teshiklar konsentrasiyasi P_k ga va elektronning o'rtacha nisbiy tezligi v_{nk} ga proporsionaldir:

$$N_{nk} = S_{nk} P_k v_{nk}, \quad (15.6)$$

bo'ladi, uni mazkur holda nomuvozanatliy elektronlarning o'rtacha yashash vaqti deyiladi. Bu yerda S_{nk} – elektronning k tipdagi teshik tutib olishi effektiv kesimi. Elektronning teshiklar bilan ikki ketma-ket duch kelishi orasida o'tgan o'rtacha vaqt

$$\tau_{nk} = 1/N_{nk} = 1/S_{nk} v_{nk} P_k, \quad (15.7)$$

bo'ladi, uni mazkur holda nomuvozanatliy elektronning ortacha yashash vaqti deyiladi. (15.5) va (15.8) larni taqqoslab, ular shaklan o'xshash ekanligini ko'ramiz ($v_{nk} \rightarrow v_T, P_k \rightarrow N_0, S_{nk} \rightarrow S_M$). (15.8) ifodani teshiklarning ko'p turlari mavjud bo'lgan hol uchun umumlashtirish mumkin. Bu holda elektronning barcha turdagi teshiklar bilan birlik vaqtda uchrashish soni:

$$N_n = \sum_k S_{nk} p_k \nu_{nk}, \quad (15.8)$$

o'rtacha yashash vaqti:

$$\tau_{nk} = 1 / \sum_k S_{nk} \nu_{nk} p_k, \quad (15.9)$$

(15.9) ni quyidagicha ifodalasa ham bo'ladi:

$$1 / \tau_n = \sum_k 1 / \tau_{nk}, \quad (15.10)$$

Yuqoridagi mulohazalarni valent zonadagi erkin teshikning electron to'ldirgan markaz tomonidan tutilishi holi uchun ham takrorlash mumkin. Bunday markazlarning bir necha turlari mavjud. (15.8) va (15.10) ifodalarga o'xshash, teshikning bir turdagi markazda tutilishigacha bo'lgano'rtacha yashash vaqti:

$$\tau_{pk} = 1 / S_{pk} \nu_{pk} n_k, \quad (15.11)$$

bir necha turdagi markazlarda turlicha bo'lgan o'rtacha yashash vaqti:

$$\tau_p = 1 / \sum_k S_{pk} \nu_{pk} n_k, \quad (15.12)$$

$$\frac{1}{\tau_p} = \sum_k \frac{1}{\tau_k}, \quad (15.13)$$

bundagi S_{pk} – teshikni k-markaz tutib olishi effektiv kesimi, ν_{pk} – teshikning o'rtacha nisbiy tezligi, n_k – esa k-markaz konsentrasiyasi.

$$\gamma_{pk} = S_{pk} \cdot \nu_{pk}, \quad (15.14)$$

$$\gamma_{nk} = S_{nk} \cdot \nu_{nk}, \quad (15.11)$$

kattaliklar tutib olish (rekombinasiya) koeffisientlari deyiladi.

$$\tau_{nk} = 1 / \gamma_{nk} \cdot p_k, \quad (15.12)$$

$$\tau_{pk} = 1 / \gamma_{pk} \cdot n_k, \quad (15.13)$$

(15.12) va (15.13) larni nazarga olsak, tutilish kesmining effektiv kattaliklari (ularni tutilish kesimi deb ataymiz), tutuvchi markazlar tabiatiga hamda tutilish jarayoni qanday sharoitda yuz berayotganniga bog'laqbo'ladi. Nomuvozanat yaryad tashuvchilarning yashash vaqti ma'nosini quyidagicha tushuntirish mumkin: generasiyalash tezligi(ya'ni birlik hajimda birlik vaqtda yorug'lik hosil qiladigan electron-teshik juftlar soni) ifodasidir. Rekombinasiyalash tezligi(r_n, r_p)nomuvozanat yaryad tashuvchilar konsentrasiyasiga proporsional:

$$r_n = \Delta n / \tau_n; r_p = \Delta p / \tau_p. \quad (15.14)$$

Nostasionar sharoitda, doimiy tashqi kuchlar ta'siri ostida stasionar holat o'rnatilishigacha nomuvozanat yaryad tashuvchilar konsentrasiyasining o'zgarishi ni generasiyalash va rekombinasiya tezliklari farqini aniqlaydi:

$$\frac{d\Delta n}{dt} = g_n - r_n = \alpha \beta I - \frac{\Delta n}{\tau_n}; \quad (15.15)$$

$$\frac{d\Delta p}{dt} = g_p - r_p = \alpha \beta I - \frac{\Delta p}{\tau_n}; \quad (15.16)$$

bu yerda $g = \alpha \beta I$ – kattalik yaryad tashuvchilarni vujudga keltirish (generasiyalash) tezligidir, α – yorug'lik yutilish koeffisienti, β – bir yorug'lik kvanti(foton) vujudga keltirgan elektron-teshik juftlar sonini aniqlaydigan kvant

chiqish, I –yorug'lik intensivligi.n,p-indekslar mos kattaliklarning elektronlar va kovaklarga tegishli ekanini ko'rsatadi.

t=0 vaqt momentida yoritish (generasiyalash) to'xtatiladideb qaraylik, uholda

$$d\Delta n / dt = -\Delta n / \tau_n, \quad (15.17)$$

$$d\Delta p / dt = -\Delta p / \tau_p \quad (15.18)$$

tenglamalarni integrallasak,

$$\Delta n(t) = \Delta n(0)\exp(-t/\tau_n), \quad (15.19)$$

$$\Delta p(t) = \Delta p(0)\exp(-t/\tau_p) \quad (15.20)$$

Elektron va teshiklarning $\tau_n; \tau_p$ yashash vaqtlari muvozanat holat o'rnatishishi va unga teskari jarayon-nomuvozanat (xususan stasionar) holat o'rnashish jarayoni vaqtini belgilaydi.

Muhokama uchun savollar:

1. Fotovoltaik materiallarda zaryad tashuvchilarning yashash vaqtini qanday aniqlanadi?
2. Fotovoltaik materiallarda zaryad tashuvchilarning xarakatchanligini qanday aniqlanadi?
3. Fotovoltaik materiallarda zaryad tashuvchilarning chegarada rekombinatsiya tezligi qanday aniqlanadi?
4. Fotovoltaik materiallarda zaryad tashuvchilarning termoemissiya qobiliyatlarini qanday aniqlanadi?

Adabiyotlar

1. H. Akramov, S. Zaynobiddinov, A. Teshaboyev. Yarim o'tkazgichlarda fotoelektrik hodisalar. Toshkent. Uzbekiston 1994. -271b.
2. B. Gatehouse. J. Inorg. Nucl. Chem., 8(6), 79 (1958).
3. A. Burgess, M. J. Seaton. Monthly Notices Roy. Astron. Soc., **120**, 121 (1960)
4. Karzas W. J., Latter R. Astrophys. J. Suppl. VI, no 55, 167 (1961).
5. M. A. Yelyashevich «Atomnaya i molekularnaya spektroskopiya» M., Fizmatgiz. 2002. 64-88 betlar.
6. S. E. Frish «Opticheskie atomnye spektry» M. Fizmatgiz. 1963.
7. Leshe «Fizika molekul». M., «Mir». 1987.
8. Biberman L. M., Norman G. E., Ul'yanov K. H. "Astronoicheskiy jurnal", **39**, 107 (1962)
9. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок / под ред. В. В. Белошвицкого. М.: Мир, 1989.
10. Ормонт Б. Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.: Высшая школа, 1973.
11. JCPDS-International center for diffraction data, PCPDFWIN, v. 2.00, 1998
12. Shay J. L., Wernick J. H. Ternary chalcopyrite semiconductors: growth, electronic properties and applications. New York: Pergamon Press, 1975.

1-seminar mashg'uloti: Fotovol'taik effekt

Mashg'ulot turi-seminar

1. Fotovol'taik effekt

Tayanch so'z va iboralar: Yutilish koeffitsienti, qaytarish koeffitsienti, o'tish koeffitsienti, optik nutrlanish, yutilish spektri, fotoeffektning qizil chegarasi,

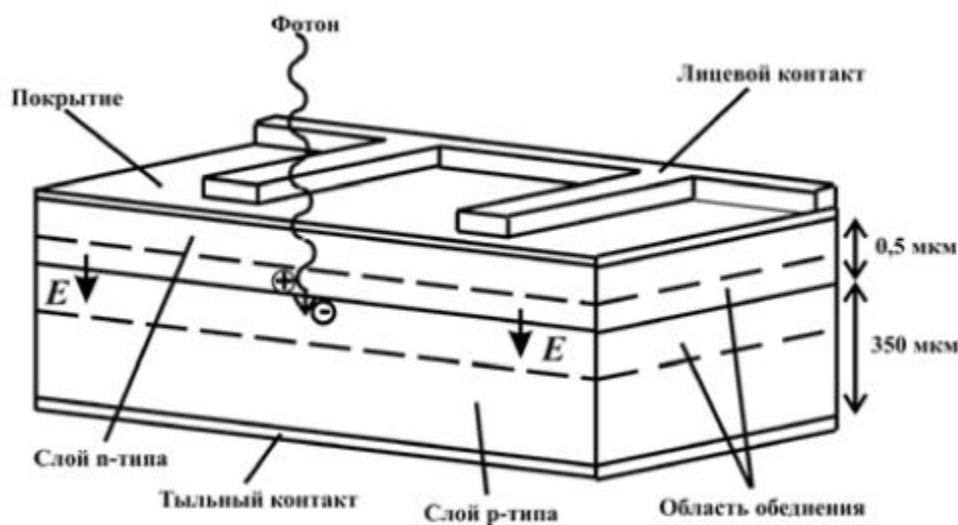
Darsning maqsadi: Magistr'larga yutilish va qaytarish koeffitsientlari orasidagi bog'lanish haqida ma'lumot berish.

Idetiv o'quv maqsadlari:

1. Quyosh nurlarini almashtirishni tushuntirib bera oladi.
2. Yutilish koeffitsienti haqida ma'lumot bera oladi.
3. Qaytarish koeffitsientini izohlay oladi.

Quyosh nurlarining tabiati va spektral tarkibi

1-asosiy savolning bayoni. Ko'pchilik muqobil energiya turlari - gidroenergiya, mexanik va issiqlik energiyasi, okean, shamol va geotermal' energiya – cheklangan potentsialga egaligi bilan yoki undan keng foydalanish qiyinligi bilan xarakterlanadi. Lekin yana bir energiya manbai bor –Quyosh energiyasi. Quyosh elementlarida (QE) p-n o'tishli fotovol'taik hodisasida, optik nurlanish energiyasini to'g'ridan – to'g'ri elektr energiyasiga aylantiradi, bunda issiqlik va mexanik energiya oraliq shakllar bo'lmaydi. Uning ishlashi yarimo'tkazgichlardagi ichki fotoeffekt asoslangan bo'lib, tarkibidagi p-n o'tishdan (getroo'tish, Shottki to'sigi) iborat. QE ning eng sodda konstruksiyasi ikki qatlamli turli xildagi o'tkazuvchanlika ega bo'lgan (elektron-n va kovak-p) yarim otkazgichdan iborat (1.6-rasm) [1].



1.6-rasm. Kremniyli monokristalli QE sxemasi n-tipidagi yarimo'tkazgich ma'lum miqdorda donor tipidagi aralashma atomlardan iborat bo'ladi, uy temperaturasida amalda hammasi ionlashadi, ya'ni n_0 erkin muvozanatdagi erkin elektronlar va shuncha miqdorda harakatsiz musbat zaryadli ionlar bo'ladi. Kovakli yarimo'tkazgich (p- tipidagi yarimo'tkazgich) p_0 erkin kovaklar va shuncha miqdorda manfiy zaryadlangan ionlar bo'ladi. p- va n- soha (1.7-rasm) kontaktida elektronlar va kovaklar kontsentratsiyasi gradienti sababli, diffuzion elektronlar oqimi n-tipli yarim o'tkazgichlardan va bunga teskari, p- tipdagi kovaklar oqimi n-tipga yo'naladi.

Quyosh spektral tarkibi bo'yich ikkinch darajali yulduz hisoblanadi, sariq karlik, gaz shaklidagi radiusi 6,955 mln km massasi $1,98 \cdot 10^{30}$ kg o'zining parametrlari

(massasi, radiusi, temperaturasi va absolyut qiymati) bilan o'rtacha yulduz hisoblanadi. Quyoshda keng tarqalgan element vodorod va geliydir (Ras.1.6.)[2].

Quyosh tarkibiga mikroskopik konsentratsiyali temir, nikel, kislorod, kremniy, oltingugurt, magniy, uglerod, neon, kal'tsiy va xrom kiradi [3]. Bu yulduz alohida xususiyatga ega Yerga $2 \cdot 10^{17}$ Vt quvvatli energiya beradi, 12,7 ming kmsirtni yoritadi. Yorug'lik nurining dengiz sathidagi intensivligi ekvator kengligida Quyosh zenitda bo'lganda 1 kVt/m^2 bo'ladi.

Quyosh energiyasining manbai termoyadro reaksiyasi bo'lib hisoblanadi [2,5] proton-proton va uglerod-azor tsikllardan iborat bo'ladi, natijada to'rt proton geliy hosil qiladi.

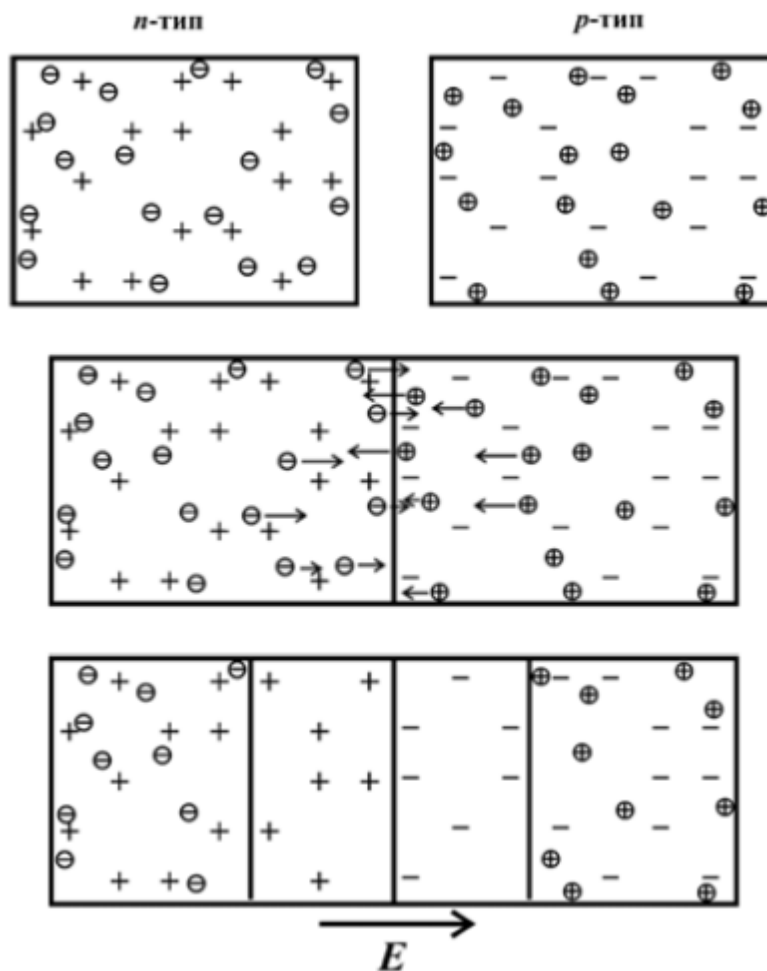


e^+ -pozitron, ν_e -elektronli neytrino, xar sekunda $6 \cdot 10^{11} \text{ kg } ^1\text{H}$ geliyga aylanadi ^4He . Deffekt massa $4 \cdot 1,008 \text{g } (^1\text{H}) = 4,003 \text{g } (^4\text{He}) + 0,029 \text{g}$, bunda $4 \cdot 10^9 \text{kg}$ tashkil qiladi bu Eyishteyn munosabatidan ajralgan energiya $\sim 3,8 \cdot 10^{26} \text{ J}$.

$$\Delta E = (4m_{\text{H}} - m_{\text{He}})c^2, \quad (1.17)$$

c- yorug'likning tezligi.

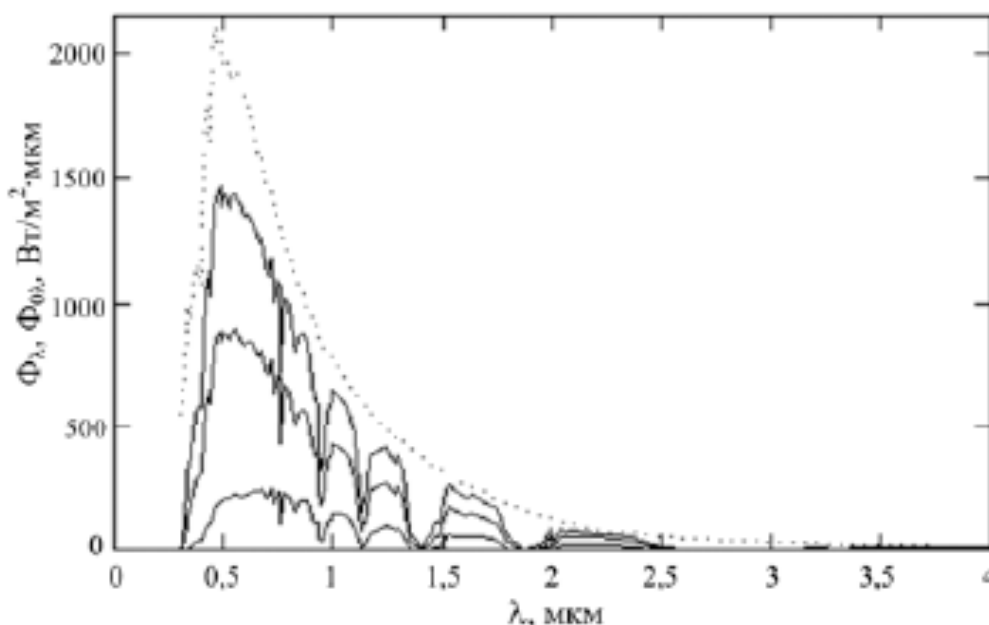
Bu energiyaning asosiy qismi elektromagnit nurlanish diapazonida UF dan IQ gacha 99% to'lqin uzunligi 100-4000 nm (Ras.1.7)



1.7-rasm. p-n-o'toshlarning hosil bo'lishi



Ras.1.6.Quyosh tarkibidagi elementlar [2]



Ras.1.7.Hisoblash natijasida olingan quyosh nurlanishining quvatini taqsimoti yassi sirtli maydonga tushuvchi astronomik tush payti.

Umumiy quyosh nurlanishi Q hamma to'liq uzunligi uchun $3,8 \cdot 10^{26} \text{Vt}$. Atrof muhitga Quyosh nurlanishi sochilganligi sababl L masofaning kvadratiga teskari proporsional bo'ladi.

$$\Phi = \frac{Q}{4\pi L^2}, \quad (1.17)$$

Yerdan Quyoshgach bo'lgan masofa 149,5 mln km va yer orbitasidagi o'rtacha quyosh nurlanishining energiya zichliga 1370Vt/m^2 ni tashkil qiladi. Bu kattalikka quyosh doimiysi deb ataladi (Φ_0) [6,7]. Quyosh spektri uch qisimdan tashkil topadi: UB ($\lambda < 390 \text{nm}$)- hamma nurlanish energiyasini 9%; ko'rinuvchi nurlar ($390 \text{nm} < \lambda < 760 \text{nm}$)-47%; IQ ($\lambda > 760 \text{nm}$)-44%. Atmosferadan quyosh nurlari o'tishi natijasida so'nadiasosan IQ- nurlanishning suv bug'larida yutilishi sababli, UB –nurlanish ozon va havo tarkibidagi chang zarralari hamda aerezollarda yutiladi. Atmosferaning ta'sirini ko'rsatuvchi kattalik quyosh nurlanishi intensivligidir u atmosfera massasi orqali AM [6] orqali ifoda qilinadi:

$$AM = \frac{y}{y_0} \frac{1}{\sin \vartheta}, \quad (1.18)$$

Bu yerda y - atmosfera bosimi, y_0 -normal atmosfera bosimi(101,3 kPa), ϑ – Quyoshning yfqdan balandlik burchagi(Ras.1.8).

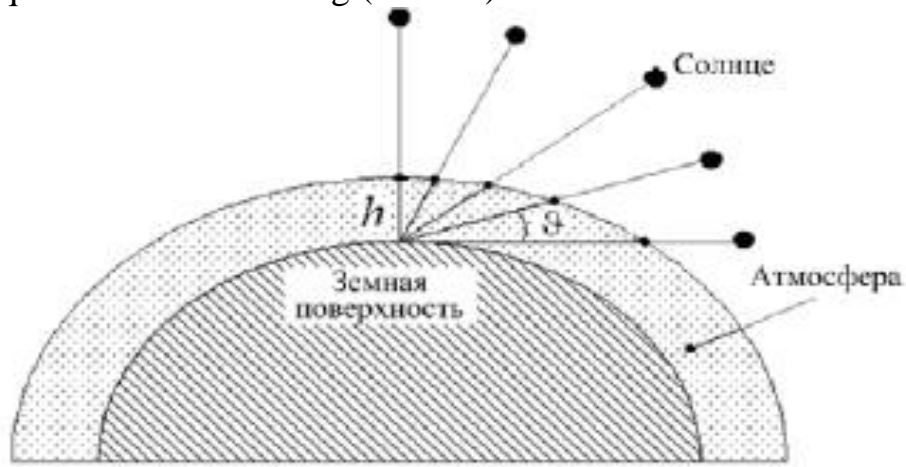


Рис. 13. Расстояние, проходимое в атмосфере солнечными лучами при различных положениях Солнца над горизонтом
Fig. 13. Distance covered by solar beams in the atmosphere at different positions of the Sun over the horizon

Ras.1.8. Quyoshning turli vaziyatida atmosferadan o'tishi.

Yer sirtiga tushuvchi yorug'lik oqimi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Phi_0 = \int_0^{\infty} \Phi_{0\lambda} e^{-\tau_{\lambda} m} d\lambda = \int_0^{\infty} \Phi_{0\lambda} e^{-\frac{\tau_{\lambda} h}{\sin \vartheta}} d\lambda = \int_0^{\infty} \Phi_{0\lambda} P^{-\frac{1}{\sin \vartheta}} d\lambda, \quad (1.19)$$

Bu yerda τ_{λ} – atmosferaning yutilish koeffitsienti, to'liq uzunlika bog'liq, masofa, atmosferadan o'tuvchi quyosh nurlari, h - atmosfera balandligi, $P = \Phi_{p\lambda} / \Phi_{0\lambda} = e^{-\tau_{\lambda} h}$ – shaffoflik koeffitsienti, atmosferani yutilishini xarakterlaydi.

Yutilish koeffitsienti. Optik nurlanish bilan yarimo'tkazgich ta'sirlashganda, uning sirtidan qisman qaytadi, qisman sirtida yutiladi va qisman yarim o'tkazgichdan yutilmasdan o'tadi. Ularni mos ravishda qaytuvchi, o'tuvch va yutiluvchi energiya koeffitsienti bilan baholanadi.

$$\text{O'tkazish koeffitsienti} \quad T = P_{o'tgan} / P_{tush}, \quad (1.20)$$

$$\text{Qaytish (sochilish) koeffitsienti} \quad R = P_{qaytgan} / P_{tush}, \quad (1.21)$$

$$\text{Yutilish koeffitsienti} \quad A = P_{yutilgan} / P_{tush}, \quad (1.22)$$

bu yerda $P_{o'tgan}$ – o'tgan nurlanishning quvvati, $P_{qaytgan}$ – qaytgan nurlanish quvvati, $P_{yutilgan}$ – yutilgan nurlanishning quvvati, P_{tush} – tushuvchi nurlanish quvvati.

Ma'lumki, yorug'lik to'liqini yarimo'tkazgich sirtiga tushganda yorug'lik oqimining P_R qismishu sirtidan qaytadi, P_T qismi yarim o'tkazgichdan o'tib ketadi, P_r qismi sochiladi va P_{α} qismi o'tkazgich hajmida yutiladi. Bu qismlarning tushayotgan to'la yorug'lik oqimi P_0 ga nisbatlari:

$$R = \frac{P_R}{P_0}; T = \frac{P_T}{P_0}; r = \frac{P_r}{P_0}; A = \frac{P_{\alpha}}{P_0}, \quad (1.23)$$

Mos ravishda, qaytarish, o'tkazish, sochish (sochilish) koefitsientlari, yutilish qobiliyati deb ataladi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, bu koefitsientlarning yig'indisi 1 ga teng:

$$R + T + r + A = 1. \quad (1.24)$$

Bu koefitsientlar yarim o'tkazgichlarning xossalari, nurlanishning to'lqin uzunligiga, tushish burchagiga, qutublanish hamda namuna sirtining ishlanishiga, uning qalinligiga bog'liq bo'ladi.

Yorug'lik yutilishining bir necha mexanizmlari bor. Yorug'lik yutilishi mexanizimi qanday bo'lsa ham, yarimo'tkazgich hajmida fotonlar oqimi Buger-Lambert qonuniga binoan eksponensial ravishda kamayib boradi:

$$I_v(x) = I_{v_0} (1 - R_v) e^{-\alpha x} \quad (1.25)$$

Bu yerda I_0 - yarimo'tkazgich sirtiga tushayotgan v-chastotalifotonlar oqimi, foton/ sm^2s (yoki yorug'lik intensivligi, Vt/sm^2); $I_{v_0}(1 - R_v)$ -yarim o'tkazgich ichiga kirgan fotonlar oqimi; $I_v(x)$ -sirtidan x masofa ichkaridagifotonlar oqimi; α -yutilish koefitsienti, sm^{-1} ; R_v -qaytarish koefitsienti. Yutilishning ko'rsatgichi α - sirtgacha bo'lgan masofaga teskari kattalik bo'lib, boshlang'ich tushayotgan nurlanish quvvatini $e=2,71$ marta susaytiradi, x chuqurlikdau quyidagi ko'rinishda ifoda qilinadi:

$$P(x) = P_{tush} e^{-\alpha x}, \quad (1.26)$$

$$\alpha = -\frac{1}{x} \ln \frac{P(x)}{P_{tush}}, \quad (1.27)$$

bu yerda $P(x)$ - x-chuqurlikda nurlanishning quvvati. Yutilish koefitsienti bilan tushuvchi nurlanishning to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanishni $\alpha(\lambda)$ - yutilish spektri deb ataladi. Agar man qilingan (taqiqlangan) zona uncha katta bo'lmasa ($\Delta E = 1\text{eV}$), elektronning valent zonadan o'tkazish zonasiga issiqlik yoki nurlanish (boshqa) ta'sir bilan ko'chirish mumkin. Masalan, Ge uchun man qilingan zona kengligi 0,72 eV, Si uchun esa 1,11 eV. O'tkazgichlar uchun man qilingan zonaning kengligi nolga teng, yarim o'tkazgichlar uchun 2 eV dan oshmaydi, dielektriklar uchun 2 eV dan katta bo'ladi. 1.9-rasmdan energiyaning bir qismi valent zonaning 1 buzilishiga sarflanadi va qolgan qismi elektronni valent zonadan o'tkazish zonasiga ko'chishiga sarflanadi. Elektronning o'tish zonasiga o'tishi uchun yutilgan foton energiyasi ma'n qilingan zona kengligidan kata bo'lishi kerak:

$$E_{ph} = h\nu \geq E_g \quad (1.28)$$

bu yerda E_{ph} - tushuvch foton energiyasi, E_g - man qilingan zonaning kengligi, h-Plank doimiysi, ν - nurlanishning elektromagnit tebranish chastotasi. Shu sababli xususiy yutilish spektri aniq chegara qiymatlar bilan ifodalanadi, uni fotoeffektning qizil chegarasi deb ataladi.

$$\lambda_{chegara} = ch / E_g, \quad (1.29)$$

$\lambda_{chegara}$ chegara sohada fononlar, eksitonla yutiladigan sohalarda to'g'ri bo'lmagan o'tishlar kuzatilishi mumkin 1.9-rasmdagi 2 soha. $\lambda_{chegara}$ kattalik temperatura, tashqi maydon ta'sirlari va yarim o'tkazgichning legerlashda aralashmalar ta'sir qiladi. Yarim o'tkazgich nurlantirilganda unda zaryad

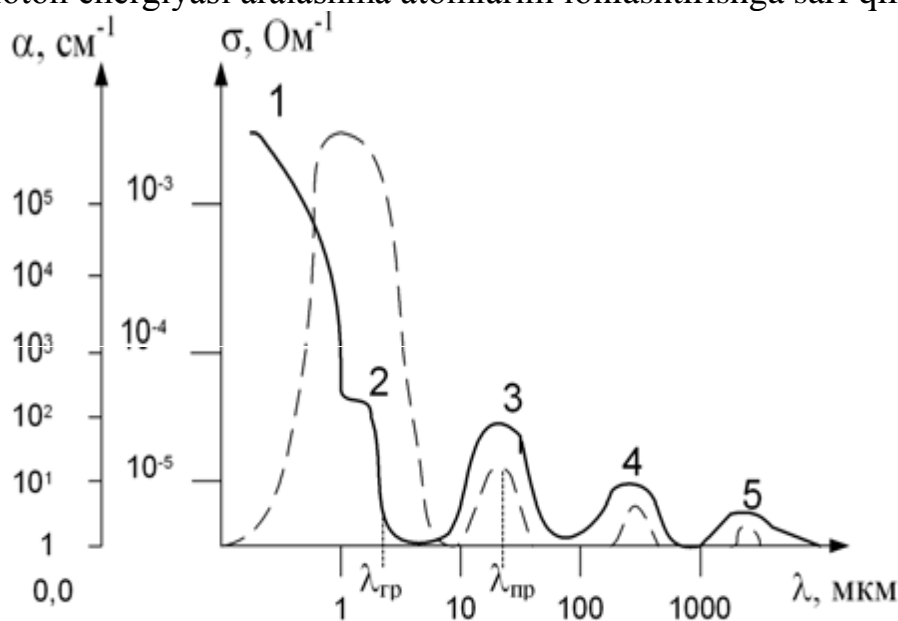
tashuvchilarda o'zgarish bo'ladi, bunday elektr o'tkazuvchanlikni –fotorezistivli effekt deb ataladi. Umumiy o'tkazuvchanlik bu holda

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_{ph}, \quad (1.30)$$

$\sigma_0 = e(n_0\mu_0 + p_0\mu_p)$ –qorong'idagi xususiy o'tkazuvchanlik, σ_{ph} – foto o'tkazuvchanlik, $\mu_n; \mu_p$ – tesik va elektronlar harakatchanligi, n_0 va p_0 – bir xil og'irlikli konsentratsiyadagi erkin elektronlar va teshiklar, e – elementar zaryad. Yorug'lik yutilishini yarim o'tkazgichda samaradorligini aniqlashda kvantlar chiqishi hisobga olinadi

$$\eta_{ph} = \frac{\Delta n + \Delta p}{2N_{yut}}, \quad (1.31)$$

bu yerda $\Delta n, \Delta p$ -yorug'lik nurlarini yutishda ortiqch zaryad tashuvchilarning miqdori, N_{yut} –yutilgan fotonlar soni [6]. Ideal holda $\eta_{ph} \approx 1$ bo'ladi, ya'ni bir yutilgan foton bir juftli electron vateshiklar jufti hosil qiladi. Kirishmaning konsentratsiyasini ortishi λ_{chegra} pasaytiradi valent zona shipida to'lishi yoki o'tkazuvchi zonaning tubida energetik sathlar atrofida pasayadi. Temperatura ortishi ko'pchilik yarim o'tkazgichlarda λ_{chegra} qiymatini oshishiga, man qilangan zona kengligi kamayishiga olib keladi. Elektr maydoni ta'sirida λ_{chegra} uzun to'lqinli soha tomonga siljiydi (Keldish-Frans effekti), magnit maydoni ta'sirida esa qisqa to'lqinli tomon siljiydi (Landau yoyilishi). 3 va 4 soha 4.1-rasmda aralashma tomonidan yutilish ko'rsatilgan, (foton energiyasi aralashma atomlarini ionlashtirishga sarf qilinadi).



1.9-rasm. Yarimo'tkazgich materiallarning optik yutilishi(uzuluksizegri chiziq) vafotoo'tkazuvchanlikkaspektral bog'lanishi (shtrihlangan egri chiziq):1-xususiy yutilish; 2- fonon va eksitonning ta'sirida to'g'ri bo'lmagan o'tishlar; 3, 4- qo'shimchalarning yutilishi [5]

Aralashmaning ionizasiya energiyasi $\delta E_{ar} \ll E_g$ bo'lganda, aralashmaning yutilish spektri IQ-sohaga siljigan bo'ladi. Aralashma atomlaridagi elektronlar asosan uyg'ongan holatda bo'ladi, shu sababli yutilish spektri bir qancha oraliqlarda bo'ladi (misol uchun 4.1-rasmdagi 3 va 4. Eksiton yutilishfotonning shunday yutilish

energiyasiga mos holda, valent zonadagi elektron atomdan ajralmaydi, u uyg'ongan holatga o'tadi, kovak hosil bo'ladi, ya'ni elektr dipol – eksiton hosil bo'ladi. Eksitonning yutilish spektrlari ingichka chiziq bo'lib, $\lambda_{chegara}$ sohada (rasmda ko'rsatilmagan). 4.1-rasmdagi 5 soha panjarali yutilishga mos keladi, yorug'lik kvantlari fononlarni generatsiya qiladi va yarim o'tkazgichning issiqlik energiyasi ortadi. Bunday yutilish spektri amalda uzuliksiz bo'ladi, chunki spektrlar orasi juda kichik bo'ladi.

Muhokama uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlardagi o'tkazish koeffitsientini izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlarda qaytish (sochilish) koeffitsienti tushuntiring.
3. Yarimo'tkazgichlar sirtida yorug'likning yutilish koeffitsienti nima?
4. Yarimo'tkazgichlar sirtida va ichida bo'ladigan hodisani tushuntiring.

Adabiyotlar

1. В.Ф.Гребе́нок, М.С.Тиванов, В.Б.Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов.//Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология" №1(69) 2009.59-115 с.
2. Фаренбрух А., Бьюб Р.Солнечные элементы: теория и эксперимент/пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна.М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Зи.С.Физика полупроводниковых приборов: в 2 т./ пер. с англ. В.А.Герге́ля, В.В.Ракитина; под ред. Р.А. Суриса.М.: Мир. 1984. Т.2.

2-seminar mashg'uloti: Quyosh energetikasi sohasida nanotexnologiyalarning o'rni. Energetik zonalar diagrammasi

1. Taqiqlangan zona.
2. Yarim o'tkazgichlarni legirlash.
3. Asosiyva noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasi.

Barcha qattiq jismlar o'zlarining elektr xossalariga ko'ra uch sinfga ajratiladi: metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektriklar. Metallarning elektr o'tkazuvchanligi ancha katta bo'ladi, dielektriklar esa tokni deyarli o'tkazmaydi. Ularning orasida kichik elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan juda ko'p moddalar mavjudligi aniqlangan.

Metallar bilan yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi bir-biridan faqat miqdoriy jihatdan emas, balki muhim sifatijihatdan, ham farqlanadi. Masalan, temperatura ortganda metallarning elektr qarshiligi ortadi (elektr o'tkazuvchanligi kamayadi), yarim o'tkazgichlarning elektr qarshiligi esa kamayadi. Yorug'lik ta'sirida metallarning elektr o'tkazuvchanligi o'zgarmaydi, ammo yarim o'tkazgichlarniki ko'p marta o'zgarib ketishi mumkin. Yarim o'tkazgichlarning elektr va optik xossalari tashqi ta'sirga metallarnikiga nisbatan beqiyos darajada sezgirdir.

Qattiq jismlarning kvant nazariyasi metallar, yarimo'tkazgichlar va dielektriklarning elektr xossalarini tushintirib beradi. Mazkur nazariya Shryodinger tenglamasi yordamida yechiladi. Adibatik bir elektronli tarkibning ma'nosi shundaki, bunda bir elektronning barcha atomlar yadrolari hamda qolgan barcha elektronlarning elektr maydondagi harakati qaraladi. Kristall shaklidagi qattiq jismlarda bu maydon fazoviy davriy maydon bo'lishini eslatadi. Elektronlarning

davriy elektr maydondagi harakati bir necha hollar uchun qaralgan va ularning barchasi bir qator muhim xulosaga olib kelgan.

Davriy elektr maydonda harakatlanayotgan elektronning to'liqin funksiyasi sifatida Blox funksiyasi quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$\psi_{\vec{k}}(\vec{r}) = u_{\vec{k}}(\vec{r}) e^{i\vec{k}\vec{r}}, \quad (2.1)$$

bundagi $u_{\vec{k}}(\vec{r})$ – panjara davriyligiga ega bo'lgan funksiya:

$$u_{\vec{k}}(\vec{r}) = u_{\vec{k}}(\vec{r} + \vec{a}_n), \quad (2.2)$$

bu yerda r -radius –vektor, a_n – to'g'ri panjara vektori. To'liqin vektori k ning muayan davr bilan takrorlanadigan qiymatlari elektronning bir xil holatlarini ifodalaydi. Agar kristall panjarasining asosiy vektorlarini $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ bilan belgilasak, birinchi davr \mathbf{k} ning sanoq boshiga nisbatan

$$-\pi \leq \vec{k} \vec{a}_i \leq +\pi, \quad (2.3)$$

bilan ifodalanadi va k fazodagi hajmi beradi, bu hajm birinchi(keltirilgan) Brullyun zonasi deyiladi, uning qiymati $(2\pi)^2/V_0$ ga teng bo'lib, bu yerda V_0 elementar yacheyka hajmidir.

(2.1) Blox funksiyasini Shredinger tenglamasi

$$(\hbar^2/2m)\nabla^2\psi_{\vec{k}} + V(\vec{r})\psi_{\vec{k}} = E_{\vec{k}}\psi_{\vec{k}}, \quad (2.4)$$

ga qo'ysak va $V(\mathbf{r})$ davriy potensialning tayinli ko'rinishini tanlab olinsa, u holda kristalldagi elektron energiyasi $E(\mathbf{k})$ ning mumkin bo'lgan qiymatlari spektrni aniqlash mumkin.

Turli ko'rinishdagi davriy maydonlarda (bir o'lchovli modellar asosida, kuchsiz va kuchli bog'lanish hollarida va hakazo) elektron harakatini tekshirish va umumiy mulohazalar kristalldagi elektron energiyasining hamma qiymatlari ham ruxsat etilgan qiymatlar bo'lavermasligini, balki, *ruxsat etilgan qiymatlari orliqlari (zonalari) taqiqlangan energiya qiymatlari oraliqlari (zonalari) bilan bir-biridan ajralgan* bo'lishini ko'rsatadi. Ya'ni atomlar bir-biriga yaqinlashib, qattiq kristall jism hosil qilganda yakka atomdagi elektron energiyasi sathlari parchalanib, ruxsat etilgan energiya zonalari hosil qiladi, deb tasavvur qilish mumkin.

Ba'zi hollarda yakka atomdagi elektronlarning turli enertiya sathlariga mos keladigan qattiq jism elektronlarining energiya zonalari bir-biri ustiga qisman tushishi ham mumkin.

Ruxsat etilgan energiyalar zonasida elektronlarning energiyasi uzuluksiz o'zgaradi deb hisoblash mumkin, chunki uning ichida energiya sathlari juda zich joylashgan. Yuqorilashgan sari ruxsat etilgan zonalar kengayib, taqiqlangan zonalar esa torayib boradi.

Har bir zona ichida elektronning energiyasi E vektor \mathbf{k} ning funksiyasi bo'ladi. $E(\mathbf{k})$ funksiyaning ko'rinishi murakkab bo'lishi, u bir necha maksimum va minimumlarga ega bo'lishi mumkin. $E(\mathbf{k})$ ning ushbu zonadagi eng kichik minimumi zonaning pastki chegarasini (tubini) aniqlaydi, uning eng katta maksimumi esa

zonaning yuqori chegarasini (shipini) aniqlaydi (bundan tashqari, bir zonaning o'zida bir necha ekvivalent ekstremumlar bo'lishi ham mumkin). $\vec{P} = \hbar \vec{k}$ vektor elektronning kvazi impulsini ifodalaydi.

Maksimum yoki minimum yaqinida $E(\mathbf{k})$ funksiyani qatorga yoyib, bu yoyma asosida *effektiv massa tenzori* tushunchasi kiritiladi. Eng sodda holda-izotrop kristallda bu tenzorning tashkil etuvchilari bir-biriga teng bo'lib, sklyar effektiv massa m^* ni beradi.

Erkin elektronning to'liq vektori orqali ifodalangan energiyasining formulasi

$$E = \hbar^2 k^2 / 2m_0, \quad (2.5)$$

ko'rinishida bo'ladi; bunda m_0 -erkin elektron massasi. N'yutonning 2-qonuni esa erkin elektron uchun $\vec{F} = m_0 \left(d\vec{v}/dt \right)$ ko'rinishida bo'ladi. Izotrop kristalldagi elektronning energiyasi va N'yutonning 2-qonuni formulalari yuqoridagi shakillarda yoziladi, ammo bunda erkin elektronning massasi m_0 o'rniga kristalldagi elektronga tegishli effektiv massa m^* yoziladi. Bundan ajoyib bit xulosa keltirib chiqariladi: effektiv massa

$$m^* = \hbar^2 / \frac{\partial^2 E}{\partial k^2}, \quad (2.6)$$

formuladan aniqlanadi. Minimum yaqinida ikkinchi hosila musbat, binobarin, effektiv massa ham musbat bo'ladi. Ammo, maksimum yaqinida $\frac{\partial^2 E}{\partial k^2}$ hosila manfiydir, binobarin, $m^* < 0$ bo'ladi. Bunda ichki maydon elektronga tashqi maydonnikiga qarama-qarshi ta'sirni ko'rsatadi. Agar elektron o'rniga musbat zaryadli zatta $+e$ qaralsa, bu holda uning massasi $-m^* = m_p > 0$ musbat bo'ladi. Demak, zonaning maksimumi (shipi) yaqinida elektron harakati o'rniga musbat $+e$ zaryadli zarra harakati qaralsa, energiya va Nyutonning qonuni ifodalari o'z klassik shakillarini saqlaydi. Bunday musbat zaryadli kvazizarra kovak deb nomlangan. Bu nomning kelib chiqishi quyidagicha: biror zonaning yuqori chegarasidagi elektron yuqorigi zonaga o'tib olgan bo'lsa, bu holda u egallagan holat bo'sh holda (kovak hosil bo'ladi). Endi shu zonaning shipi yaqinida qolgan elektron harakati o'rniga musbat zaryadli kovak harakatini tekshirish ma'quldir, chunki bunda oddiy munosabatlar o'z kuchini saqlaydi.

Endi kristall qattiq jismlarda elektron energiyasi spektri zonaviy tuzilishining ba'zi xususiyatlari ustida to'xtalib o'tamiz.

Neytral yakka atomda elektronlar energiyasining eng yuqori sathlari (valent sathlar) to'la to'ldirilgan yoki chala to'ldirilgan bo'lishi, yanada yuqori sathlar bo'm-bo'sh bo'lishi mumkin. Ichki sathlarning parchalanishidan paydo bo'lgan energiya zonalarni hamma vaqt elektronlar to'la to'ldirgan bo'ladi. Valent sathlardan paydo bo'lgan valent energiya zonalarni elektronlar to'la to'ldirgan yoki chala to'ldirgan bo'lishi mumkin. Valent zonadan yuqorigi zona esa bo'sh bo'ladi.

Muhokama uchun savollar

1. Yorug'lik ta'sir qilganda qanday materiallar o'zining o'tkazuvchanligini o'zgartiradi?
2. Qattiq jismlarning kvant nazariyasi nimani tushuntiradi?

3. Energetik zonalar diagrammasini tushuntiring.
4. Taqiqlangan zona deganda nimani tushunasiz?
5. Yarim o'tkazgichlarni legerlash nima?

3-seminar mashg'uloti: Quyosh elementlari va batareyalarining samaradorligi, kamchiliklari va istiqbollari. Asosiy va noasosiy yoki muvozanatli va nomuvozanatli zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi

Yarim o'tkazgichlar tashqi ta'sir ostida, ya'ni yorug'lik, rentgen, γ - kvantlar, tezlashtirilgan neytral, zaryadlangan zarrachalar hamda p-n o'tiss orqali injeksiya, elektr maydonida zarbadan ionlanish, tunneljarayonlari tufayli nomuvozanat zaryad tashuvchilarning paydo bo'lishi mumkin.

Yarim o'tkazgichlarda nomuvozanat zaryad tashuvchilar xususiyati quyidagicha:

elektronlar va kovaklar tok zichliklari, elektronlar konsentratsiyasi n va kovaklar konsentratsiyasi p ga bog'liq bo'ladi, ya'ni o'tkazuvchan pastki zona sohadagi elektronlar konsentratsiyasi va valent zona yaqinidagi kovaklar konsentratsiyasi bilan ifodalanadi. Bu zarralar Fermi-Dirak statistikasiga bo'ysinadi, energiya taqsimotini quyidagi formula yordamida yozish mumkin:

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} f_n E^{1/2} dE, \quad (3.8)$$

$$dp = \frac{4\pi(2m_p^*)^{3/2}}{h^3} f_p (-\Delta E - E)^{1/2} dE, \quad (3.9)$$

bu yerda dn - birlik hajmdagi elektronlar soni, uning energiyasi E dan $E+dE$ gacha oraliqda, m_n^* -elektronning effektiv massasi; f_n -elektron uchun Fermi-Dirak funksiyasi; E -energiya, E_0 dan shartli ravishda nul'dan boshlab hisoblanadi; dp - birlik hajmdagi kovaklar soni, energiyasi $(-\Delta E - E)$ dan $(-\Delta E - E)+dE$ gacha (kovaklar energiyasi elektronlar energiyasiga teskari ishora bilan olinadi); m_p^* -kovakning effektiv massasi; f_p -kovak uchun Fermi-Dirak funksiyasi. Fermi-Dirak funksiyasi:

$$\text{elektronlar uchun} \quad f_n = \frac{1}{e^{\frac{E-F}{kT}} + 1}, \quad (3.10)$$

$$\text{kovaklar uchun} \quad f_p = 1 - f_n, f_p = \frac{1}{e^{-\frac{E-F}{kT}} + 1}. \quad (3.11)$$

O'tkazuvchan sohadagi elektronlar va valent sohadagi kovaklar konsentratsiyasini aniqlashda (3.8) va (3.9) ifodani integrallash lozim bo'ladi:

$$n = \int_0^{E_2} \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} f_n E^{1/2} dE, \quad (3.12)$$

$$p = \int_{-E_1}^{-\Delta} \frac{4\pi(2m_p^*)^{3/2}}{h^3} f_p (-E - \Delta E)^{1/2} dE. \quad (3.13)$$

Hususi yarimo'tkazgichlardagi o'tkazuvchan sohaga o'tuvchi elektronlar soni odatda o'tkazuvchan sohadagi elektronlar soniga qaraganda juda kam bo'ladi, shu sababli $f_n \ll 1$ yoki $\frac{1}{e^{\frac{E-F}{kT}} + 1} \ll 1$ bo'lganligi sababli

$$\begin{aligned} e^{\frac{E-F}{kT}} &\gg 1, \\ \frac{E-F}{kT} &\gg 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

va (3.10) va (3.11) ifodadagi mahrajdagi birni hisobga olmaslik ham bo'ladi. (3.13) va (3.14) integralni hisoblab, quyidagini hosil qilamiz:

$$n = 2(2\pi m_n^* kT)^{3/2} h^{-3} e^{\frac{F-E_s}{kT}} = N_s e^{\frac{F-E_s}{kT}}, \quad (3.15)$$

$$p = 2(2\pi m_p^* kT)^{3/2} h^{-3} e^{-\frac{\Delta E + F}{kT}} = N_v e^{\frac{E_v - F_s}{kT}} \quad (3.16)$$

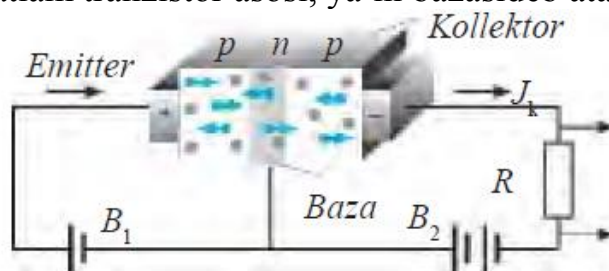
bu yerda N_s va N_v – mos ravishda, o'tkazuvchan va valent zonadagi effektiv zilik holatni ifodalaydi: $N_s = 2(2\pi m_n^* kT)^{3/2} h^{-3}$; $N_v = 2(2\pi m_p^* kT)^{3/2} h^{-3}$; $E_s = 0$; $E_v = -\Delta E$.

Hususi o'tkazuvchanlik yarimo'tkazgichlarda $n=p$ bo'lganligi uchun, (3.15) va (3.16) ifodalarni logoriflab bir oz almashtirishlarni amalga oshirsak quyidagini hpsil qilamiz:

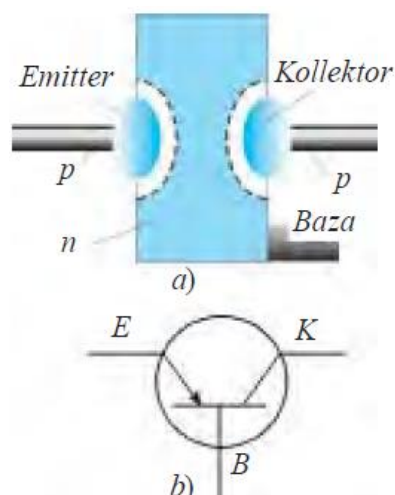
$$F = -\frac{\Delta E}{2} - \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_n^*}{m_p^*} \quad (3.17)$$

Agar $T=0$ bo'lsa $F = -\Delta E/2$ bo'ladi, ya'ni absolyut nolda Fermi sathi hususi o'tkazuvchanlikli yarim o'tkazgichlarda taqiqlangan zona o'rtasida bo'ladi.

Tranzistor haqida tushuncha. Ikkita p-n o'tishga ega bo'lgan yarim o'tkazgichli sistemaga *tranzistor* deyiladi. Tranzistor yordamida elektr tebranishlari hosil qilinadi, boshqariladi va kuchaytiradi. Tranzistor tayyorlash uchun elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan germaniy kristalining ikki tomoniga indiy kavsharlanadi. Germaniy kristalining qalinligi juda kichik bo'ladi (bir necha mikrometr). Mana shu qatlam tranzistor asosi, ya'ni bazasideb ataladi (3.6-rasm).



3.6- rasm. Tranzistorning umumiy ulanish sxemasi



3.7-rasm. Tranzistorning elektr sxemasi.

Muhokama uchun savollar:

1. Ideal va real kristallarning asosiy farqlari nimada?
2. Kristallarning nuqsonlarini turlari va paydo bo'lish sabablarini ayting?
3. Frenkel va Shotki nuqsonlarini tushuntiring?
4. Radiatsion nuqsonlarning paydo bo'lish mexanizmlari qanday? Optik rekombinasiya qanday turlarga bo'linadi?

Adabiyotlar

1. S.Zaynobiddinov, SH.Yo'lchiyev, D.Nazirov, M. Nosirov "Yarimo'tkazgichlarda atomlar diffuziyasi". -T.: "O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati", 2012. -175 b.
2. A. Teshaboyev, S.Zaynobiddinov, S.Vlasov, I. Karimov, V. Abduazimov "Yarimo'tkazgichlar sirti fizikasi". -T.: "Ilm zyo", 2010. -167 b.
3. В.Ф.Гребе́нок, М.С.Тиванов, В.Б.Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов.//Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология" №1(69) 2009.59-115 с.

6-seminar mashg'uloti: Quyosh elektr stantsiyalari

Umumiy elektr tarmog'iga ulangan quyosh fotoelektrik qurilmalari

Quyosh nurlanishi yordamida olingan elektr energiyasidan foydalanishning k'op ustun jihatlari bor. Bu ekologik toza, tinch va ishonchli energiya manbaidir. Shu sababli hozirgi vaqtda, markaziy elektr ta'minoti bo'lmagan uzoq hududlarda quyosh elektridan keng foydalaniladi, alohida uylarni elektr ta'minoti, ofislar va boshqa binolarga suvni ko'tarish va dorilarni sovutishda ishlatiladi.

Bunday quyosh panellariga qo'shimcha akkumulyator batareyasi ulanadi bunda elektr energiyasidan foydalanishga imkoniyat yaratiladi, kunduzgi vaqtda ishlab chiqilgan energiyadan kechquringi vaqtda foydalaniladi. Bundan tashqari, kal'kulyatorlar, telekamunikatsion tizimlar, va boshqalar quyosh elektrida ishlaydi. Quyosh fotoelektr qurilmalari quyidagi turlarga bo'linadi:

- avtonom – qo'llanilishi, agar ob'ekt markaziy elektr ta'minot tizimiga ulnmagan bo'lsa, quyosh moduli elektrni generatsiya qiladi, yoritish maqsadida, maishiy qurilmalarni yoki qo'lda ishlatadigan qurilmalarni manbai bo'ladi; bunda odatda akkumulyator batareyasidan foydalaniladi;

- ulanganda – agar ob’ekt markaziy elektr ta’minot tizimiga ulangan bo’lsa, quyosh batareyasidan hususiy elektr energiyasini generatsiya qilishda foydalaniladi, ortiqcha elektr energiyasini elektrosetga sotadi;

- rezerv tizimlar – fotoelektr qurilmalar setga ulangan sifati yomon va cho’qi yuklanishni qoplash uchun yoki avariya holatida foydalaniladi, odatda u o’z ichiga akkumulyatorlar va o’zgarimas tokni o’zgaruvchan tokka aylatiruvchidan tashkil topgan bo’ladi.

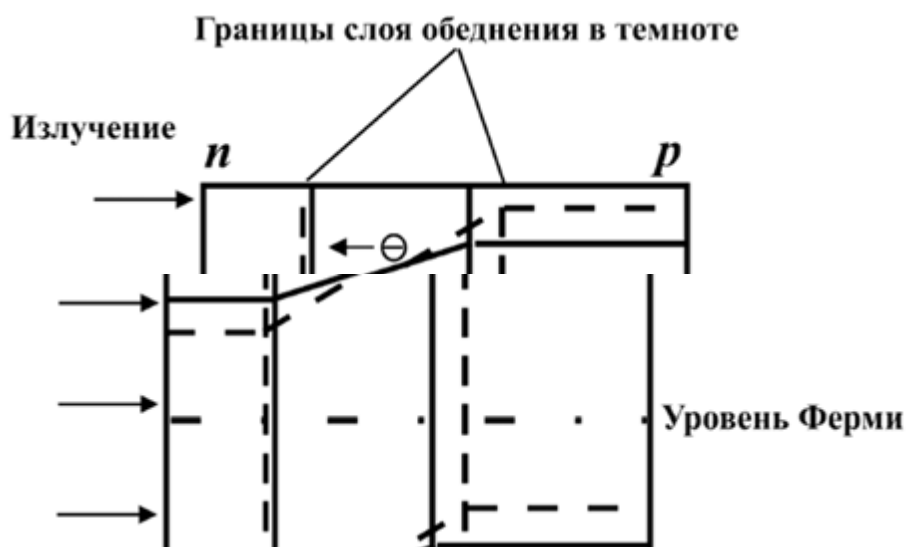
Quyosh fotoelektrik stansiyalar

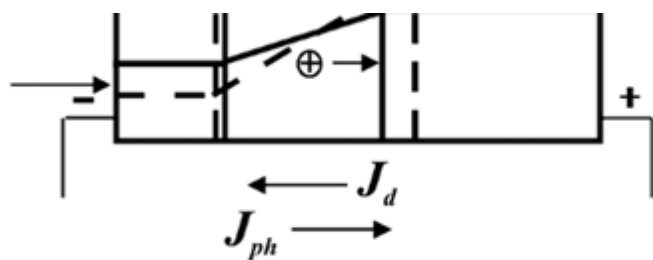
Quyosh fotoelektrik stansiyalarni qo’lanilishi kosmik kemalardan boshlandi, ishlab chiqilgan energiyani naxi ikkinchi darajali rolli edi. Yer sharoitida quyosh elektr uchun asosiy faktor bu texnologiyani harakatlanishi hisoblanadi. Keyingi 40 yilda kremniyli fotoelektr almashtirgichlarning bahosi 40 marta pasaydi. Bir kW quvvat quyosh elektrostansiyalarida 2500\$ ga to’g’ri keladi.

Bir vaqtning o’zida quyosh nurlanishini elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi ham oshdi. Xozirgi vaqtda FIK quyosh modulida 13 – 16 % ga yetdi, laboratoriya sharoitida samradorlik 40 %. Lekin, hamma bu yutug’larga qaramasdan, quyosh elektr energiyasi va ana’naviy issiqlik elektrostansiyalari ishlab chiqarayotgan energiyaning taxminiy narxi tenglasha olmaydi. Asosiy omillarga ta’sir qiluvch raqobatbardoshlik quyosh energetikasida, kelajakda quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish texnologiyani mukamallashadi, organik va yadro yonilg’isini narxiga tenglashishadi.

Quyosh elementining ekvivalentnaya sxema va uning vol’t-amper xarakteristikasi.

Drefli fototokning asosiy bo’lgan nomuvozanat zaryad tashuvchilarini chegaradan o’tishi 6.3-rasmda ko’rsatilgan. Muvozanatlashmagan asoiy elitgichpotensial to’siqdan o’taolmaydi va generatsiya sohasida qoladi. Natijada optik generatsiyalangan elitgichlarda bo’linish konstantratsiyasiya bo’yich vujudga keladi, teshiklar p-sohada va elektronlar n-sohada ortadi, harakatsiz aralashmali ionlarda hajmiy zaryadlarning kompensatsiyasi hosil bo’ladi.





6.3-rasm. p-n –o'tishda elektron va kovalarning bo'linishi (shtrixlangan qism qorong'ida energetik zona chegarasi) [2]

Potentsial to'siqdan o'tish foto EYK kattaligida kamayadi (salt kuchlanish). Potentsiyal to'siqning kamayishi, asosiy elitgichlarning o'tishidagi diffuziya tokining oshishiga olib keladi, u fototok yo'nalishiga qarama qarshi bo'ladi. Statsionar holatda diffuziya tok zichligi J_{dif} , dreyf tok zichligiga J_{ph} teng bo'ladi, u o'z navbatida fototok zichligi J_{ph} va o'tishdagi issiqlik tok zichligi J_0 ga teng bo'ladi, yani dinamik muvozanat sharti bajariladi:

$$J_{dif} = J_{ph} + J_0. \quad (6.13)$$

$J_{dif} - J_{ph}$ farq diodning tok zichligi bo'lib hisoblanadi va J_d bilan belgilanadi. Ideal p-n- o'tishda diffuziya tok zichligi va issiqlik tok zichligi quyidagi munosibat bilan bog'langan bo'ladi

$$J_{dif} = J_0 e^{U_{oc}/V_T}, \quad (6.14)$$

$$\text{Unda } J_{dif} = J_d = J_0 (e^{U_{oc}/V_T} - 1), \quad (6.15)$$

bu yerda U_{os} - salt ishlash kuchlanishi; $V_T = kT/e$ -issiqlik potentsiali. Salt ishlash kuchlanishini fototok orqali ifodalash mumkin:

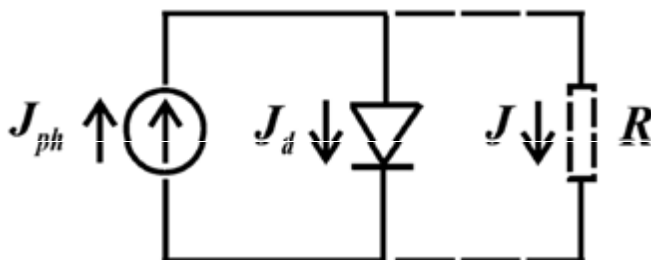
$$V_{os} = V_T \cdot \ln\left(1 + \frac{J_{ph}}{J_0}\right). \quad (6.16)$$

Lekin U_{oc} (xar qanday J_{ph})da ham p-n-o'tish uchun kontakt potentsiallar farqidan oshmaydi [2,3]. To'liq kompensatsiyalashda harakatsiz hajmiy zaryad elitgich aralashmali ionlarda tugaydi. Agar QE elektrodleri tashqi yuklamaga berk bo'lsa, unda kuchlanish U kam bo'ladi U_{os} dan va diod fototokni kompensatsiya qila olmaydi.

Ideal holatga yaqinlashganda diod tok zichligi tashqi yuklamada quyidagicha bo'ladi

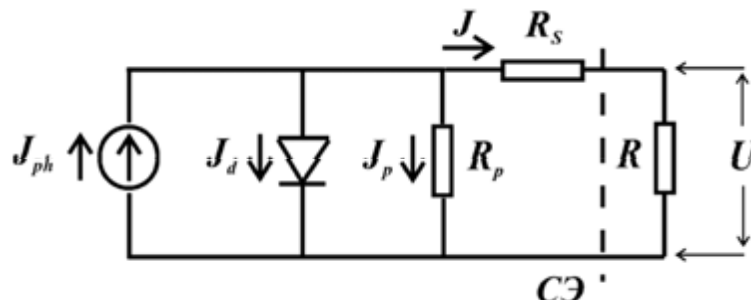
$$J = J_{ph} - J_d = J_{ph} - J_0 \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1\right). \quad (6.17)$$

(6.17) tenglama ideal QE elementining (VAX) volt-amper xarakteristikasini ifodalaydi. Ideal QE elementining qisqa tutashuv toki $J_{sc} = J_{ph}$ bo'ladi. Ideal QE elementlarining ekvivalent sxemasi tok generatoriga parallel ulangan ideal diod (6.4-rasm) ko'rinishida bo'ladi.



6.4-rasm. Ideal QE- elementining ekvivalent sxemasi: R- yuklanish qarshiligi.

Bu ifoda eksperiment bilan mos kelmaydi, chunki QE- qurilmalari yuqori tok zichligi bilan ishlash uchun mo'ljallangan, parallel qarshilikni R_p (o'tkazish qarshiligini) va keta-ket qarshilik R_s [1,3,4] hisobga olish kerak bo'ladi.



6.5-rasm.QE ekvivalent sxemasi

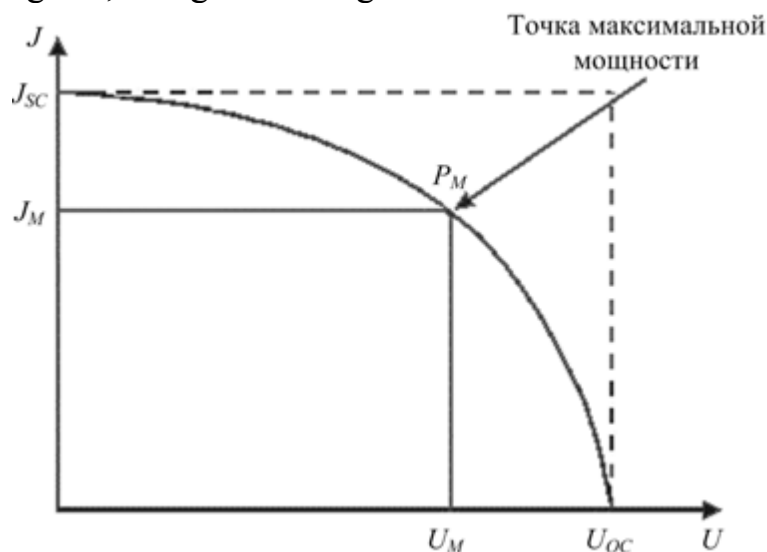
QE almashtirilgan mos ravishda ekvivalent sxemasi (6.4-rasm). J_{ph} yorug'lik bilan yoritilganda tok generatori modelyatsiyalanadi, unga parallel dioddan injeksion tok (J_{dif} va J_0) larni hisobga olinadi. Ketma-ket ulangan R_s qarshilik kontakkt qarshiliklar qatlamidan tashkil topgan bo'lib, xar bir p - va n - soha elementlaridan iborat bo'ladi, o'tiuvchi metall-yarimo'tkazgichlar, parallel R_p qarshilik tokni oqish ehtimoli bo'lgan kanallarga parallel p - n - sohaga tarqatadi.

6.5-rasmga asosan tenglama hosil qilamiz, u QE VAX ni yaxsh ifodalaydi [4,5]:

$$J = J_{ph} - J_d = J_{ph} - J_0 \left(\exp\left(\frac{e(U + JR_s)}{AkT}\right) - 1 \right) - \frac{JR_s}{R_n}. \quad (6.18)$$

QE asosiy parametrlari va xarakteristikasi. QE ni yozish uchun bir qator maxsus parametrlar to'plami va xarakteristikalarini turli tipdagi QE solishtirish kerak bo'ladi. Maxsus xarakteristikaga VAX va spektral xarakteristika kiradi. Maxsus parametrga FIK (samaradorlik), ff (to'latish omili), U_{OC} (salt kuchlanish yo'li), I_{SC} (qisqa tutashuv toki) yoki J_{SC} (qisqa tutashuv tok zichligi) kiradi.

QE VAX shunday bog'lanishni ko'rsatadiki QE ning chiqish toki va kuchlanishi ko'rsatadi (6.6-rasm). Spektral tarkib o'zgarsa va yorug'lik oqimi kattaligi o'zgarsa, QE tushuvchinar o'zgarsa, uning VAX o'zgaradi.



6.6-QE ning volt-amper xarakteristikasi

Shunga ko'ra ishonchli qiymat olish uchun standart o'lchash sharoitlarini test o'tkaziladigan na'munalar uchun, jumladan beriladigan tushuvchi yorug'lik nurini spektral tarkibini tanlash kerak bo'ladi [4].

Spektral xarakteristika deganda kvat samaradorlik (QE ning samaradorlik qiymati bo'lib, shunday bog'lanish kattaligi tushiniladiki monoxromatik yorug'lik bilan nurlantirilgandagi to'lqin uzunligini ifodalaydi) tushuvchi uzun to'lqin uzunligi nurlanishi bo'lib hisoblanadi.

Takrorlash uchun savollar

1. Yarimo'tkazgichlardagi o'tkazish koeffisientini izohlab bering.
2. Yarim o'tkazgichlarda qaytish (sochilish) koeffisienti tushuntiring.
3. Yarimo'tkazgichlar sirtida yorug'likning yutilish koeffisienti nima?
4. Yarimo'tkazgichlar sirtida va ichida bo'ladigan hodisani tushuntiring.
5. Yorug'lik yutilishining yarim o'tkazgichdagi samaradorligi qanday aniqlanadi?

Adabiyotlar

1. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент / пер. с англ. под ред. М.М.Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. Москва: Наука, 1977.
3. Мартынов В.Н., Кольцов Г.И. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: МИСИС, 1999.
4. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов М.: Наука, 1984.

1-laboratoriya mashg'uloti: laboratoriya mashg'ulotlari va ularni tashkil qilish usullari

Laboratoriya mashg'ulotlari nazariya va amaliyotni bog'lovchi, ularning birligini ta'minlovchi asosiy omil bo'lib, talabalarning bilimlarini mustaxkamlash bilan bir qatorda o'lchov asboblari bilan ishlash va tajriba o'tkaza bilish ko'nikmalarini shakllantirishda va rivojlanishda katta ahamiyat kasb etadi. Oliy o'quv yurtlarida o'tkaziladigan laboratoriya mashg'ulotlarini uch usulda tashqil qilish mumkin: *umumiy, aralash vassiklli*.

Umumiy usul. Har bir talaba ma'ruzada o'tilgan mavzuga taalluqli muayyan bir ishni bajarish imkoniyatiga ega bo'ladi. Ushbu usul darsni tashqil qilish va o'tkazishni, dars davomida talabalarning faoliyatini boshqarib borishni engillashtiradi. Umumiy usul laboratoriyalarda bir xil qurilmalardan bir nechitasi bo'lganda laboratoriya xonalarining kengaytirilishi va barcha talabalarning bir xil mazmunli va bir tartibdagi vazifalarni bajara olishga sharoit tug'dirilishini talab qiladi. Bundan tashqari laboratoriya ishlarining bir xilligi, qiyin o'zlashtiradigan talabalarning fikrlash qobiliyatini chegaralaydi.

Laboratoriya mashg'ulotlarining *aralash bajarish usuli*. Har bir talaba ma'ruzada o'tilgan yoki o'tilmaganidan qat'iy nazar alohida – alohida laboratoriya ishlarini bajaradi. Bu ishlarning mazmuni ham, bajarish usuli ham turlicha. Laboratoriya va ma'ruza mavzularining bir – biri bilan mos kelmasligi talabalarning tegishli adabiyot bilan mustaqil ishlashga o'rgatadi, fikrlash jarayonlarini aktivlashtiradi.

Siklli usul. Bu usulda esa amaliyotga kiritilgan laboratoriya ishlari, umumiy fizika kursining ma'lum bilimlari asosida yoki biron – bir fizik kattalikning turli o'lchash usullarini umumlashtirish yo'li bilan birlashtirilib tashqil qilinadi. Laboratoriya ishlarining yoki ma'ruza mashg'ulotining matnini moslashtirish laboratoriya ishlarini bajarishda unumli variantlarni qo'llash imkonini beradi. YUqorida bayon etilgan usullarni tahlil qilish oliy o'quv yurtlarida fizikadan o'tkazilgan laboratoriya mashg'ulotlarinissiklli usulda olib borish maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi.

O'LCHASH NATIJALARINI ISHLASH

Biz qo'llayotgan o'lchov asboblarini va sezgi organlarimizning uncha yaxshi takomillashmagani tufayli har qanday o'lchash natijalari ma'lum bir darajadagina aniqlikka ega bo'ladi. SHuning uchun ham o'lchash natijalari bizga o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatini emas, taqribiy qiymatinigina beradi. O'lchashning o'lchov birligining qanday eng kichik ulushigacha ishonchli bajarish mumkin bo'lsa, ana shu o'lchash natijasining aniqlik darajasi bo'ladi. O'lchash aniqligining darajasi bu o'lchashda ishlatilayotgan asboblarga, o'lchashning umumiy usullariga bog'liq bo'ladi: biron muayyan sharoitda erishilishi mumkin bo'lgan aniqlikdan ham aniqroq natijalar olish uchun urinish vaqtni bekorga sarflash demakdir. Odatda, o'lchanayotgan kattalikning 0,1 protsentigacha aniqlik bilan kifoyalansa bo'ladi.

Eng oxirgi natijaning aniqligini oshirish uchun har qanday fizik o'lchashni bir martagina emas, balki tajribada o'tkazilayotgan sharoitni o'zgartirmay turib, bir necha marta takrorlash lozim. Haqiqatan ham biz o'lchashda va sanoqda hamma vaqt ozmi, ko'pmi xato qilamiz. Bu xatolar ikki sababga ko'ra yuz berishi mumkinligidan, ular ikki guruhga: hamma vaqt bo'ladigan (sistemali) va tasodifiy xatolarga bo'linadi.

Sistemali xatolar o'lchov asboblarning buzuqligi, o'lchash usulining noto'g'riligini yoki kuzatuvchining biror xato qilib qo'yishi natijasida yuz beradi. Ravshanki, o'lchashni bir necha marta takrorlash bu xatolar ta'sirini kamaytirmaydi. Bu xatolarning yo'qotish uchun, o'lchash usuliga tanqidiy ko'z bilan qaray bilish, asboblarga aniq qarab turish va ish bajarishni amalda yaratilgan qoidalariga kattiq rioya qilish kerak.

Tasodifiy xatolar esa tajriba o'tkazuvchi har qanday kishining sanoq vaqtida mutlaqo ixtiyorsiz qilib qo'yishi mumkin bo'lgan xatosi natijasida vujudga keladi. Bu xatolarga sezgi organlarimizning uncha yaxshi takomillashmaganligi va o'lchash vaqtida yuz beradigan (oldindan e'tiborga olinishi mumkin bo'lmagan) boshqa ko'pgina hollar sabab bo'ladi. Tasodifiy xatolar ehtimollar nazariyasining qonunlariga bo'ysunadi. Demak, biror kattalikni bir marta o'lchanganda olingan natija shu kattalikni keyingi o'lchashlardan birining natijasi, ehtimol haqiqiy qiymatda kichik bo'lib chiqishi mumkin. Bunday holda ayni bir kattalikni bir necha marta o'lchash natijasida tasodifiy tomonga chetlanishlardan ko'proq bo'lishining ehtimoli ortiq emas. Shuning uchun ham, juda ko'p o'lchash natijalarining o'rtacha arifmetik qiymati, o'lchash natijalarining har qaysisidan ko'ra, o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinroq bo'ladi. Faraz qilaylik, ayrim kattaliklarni o'lchash talab etilsin:

Ayrim o'lchashlarning natijalari $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ bo'lsin, n - alohida o'lchashlar soni. U holda bu natijalarning o'rtacha arifmetik qiymati:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n N_i \quad (1.32)$$

Bir miqdor o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga eng yaqin bo'ladi. Har bir alohida o'lchashlarning bir o'rtacha qiymatdan farqi, ya'ni:

$$\begin{aligned} |\bar{N} - N_1| &= \Delta N_1 \\ |\bar{N} - N_2| &= \Delta N_2 \\ |\bar{N} - N_3| &= \Delta N_3 \\ \dots & \dots \\ |\bar{N} - N_n| &= \Delta N_n \end{aligned} \quad (1.33)$$

alohida o'lchashlarning absolyut xatosi deyiladi. Bu xatolarning ishorasi har xil bo'ladi: ular musbat hamda manfiy bo'lishlari mumkin. O'rtacha absolyut xatoni hisoblash uchun ayrim xatolar son qiymatlarining o'rtacha arifmetik qiymati olinadi.

$$\Delta \bar{N} = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3 + \dots + \Delta N_n}{n} \quad (1.34)$$

$\frac{\Delta N_1}{N_1}, \frac{\Delta N_2}{N_2} \dots$ nisbatlarga ayrim o'lchashlarning nisbiy xatolari deyiladi. O'rtacha absolyut xato ($\Delta \bar{N}$) ning o'lchanayotgan kattalikni o'rtacha arifmetik qiymati (\bar{N}) ga nisbati o'lchashning o'rtacha nisbiy xatosi (E) deyiladi.

$$E = \frac{\Delta \bar{N}}{\bar{N}} \quad (1.35)$$

nisbiy xatolar foizlarda ifodalanadi:

$$E = \frac{\Delta \bar{N}}{\bar{N}} \cdot 100\% \quad (1.36)$$

o'lchash kattaliklarni haqiqiy qiymati:

$$N_x = \bar{N} \pm \Delta \frac{\bar{N}}{N} \quad (1.37)$$

Bundan N_x - ikki qiymat $\bar{N} + \Delta \bar{N}$ va $\bar{N} - \Delta \bar{N}$ ga ega deb tushunish yaramaydi. N_x faqat bir qiymatga egadir. (-) va (+) ishoralar o'lchanadigan kattalikning haqiqiy qiymati:

$$\bar{N} + \Delta \bar{N} \text{ ba } \bar{N} - \Delta \bar{N} \quad (1.38)$$

intervalida ekanligini ko'rsatadi, ya'ni

$$\bar{N} + \Delta \bar{N} \leq N_x \leq \bar{N} - \Delta \bar{N} \quad (1.39)$$

Ehtimollik nazariyasi absolyut xato N topishlikni yanada aniqroq formulasini berib, natijasining ΔN_m - ehtimolliigi katta deb ataluvchi xatolik tushunchasini beradi.

$$\Delta N_m = \pm 0,6743 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i)^2}{n(n-1)}} \quad (1.40)$$

Bu holda o'lchanayotgan kattalikning natijalovchi qiymati:

$$N_x = \bar{N} \pm \Delta N_m \quad (1.41)$$

Agar asbobning aniqligi shunday bo'lsaki, har qanday o'lchash sonida ham, asbob bir xil qiymatni ko'rsatsa, u holda xatolikni hisoblashning yuqorida keltirilgan usuli qo'llanilmaydi. Bu holda o'lchash bir marta o'tkazilib, uning natijasi qo'yidagicha yoziladi:

$$N_x = \bar{N} + \Delta N_{mex} \quad (1.42)$$

bunda N_x - izlanayotgan o'lchash natijasi, \bar{N} - ikki o'lchashning o'rtacha arifmetik qiymati. ΔN_{mex} - asbob shkalasi bo'linmalarini yarmiga teng bo'lgan chegaraviy xatolik. To'g'ridan - to'g'ri o'lchash xatoliklarini quyidagi jadval ko'rinishida rasmiylashtiriladi.

1.3-jadval

O'lchashlar soni	N_i	ΔN_i	$\frac{\Delta \bar{N}}{\bar{N}} \cdot 100\%$	$N_x = \bar{N} + \Delta N_{mex}$
1.	N_1	ΔN_1		
2.	N_2	ΔN_2		

3.	N_3	ΔN_3		
...				
n	N_n	ΔN_n		

FOTOVOL'TAIKANING FIZIK ASOSLARI FANIDAN LABORATORIYA MASHG'ULOTLARIDA KOMPYUTER TEXNIKASIDAN FOYDALANISH

Laboratoriya mashg'ulotlarida turli kompyuterlardan foydalanish tajriba natijalarini hisoblash va ularni analiz qilishning samarali usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usuldan foydalanish: tajriba natijalarini o'rganishda matematik statistikaning yuqori aniqlikka ega bo'lgan usullarini qo'llaniladi: asosiy o'quv materiallari ko'lamini matematik amallar bajarishga ketadigan vaqtni tejash hisobiga kengaytirish; o'quv laboratoriyalarini ilmiy tadqiqot laboratoriyalariga yaqinlashtirish kabi imkoniyatlarini beradi.

Laboratoriya ishlarining natijasini o'rganishda kompyuterdan foydalanish uchun qo'yidagilarni bajarish zarur:

- hisoblash formulasini mumkin qadar sodda holga keltirish, hususan, o'rganilayotgan tajriba uchun matematik ifodaning doimiy qismini ajratish;

- o'lchangan va jadvaldan olingan kattaliklarni bitta o'lchov birliklar sistemasiga keltirish va ularning asosiy harakteristikalarini nomi belgilab yozilishi.

Hisoblashda ishlatiladigan kattaliklarni aniqlash:

- hisoblash algoritmining: a) analitik va b) grafik-blok sxemasini tuzish;

- dasturlar ya'ni o'rganilayotgan hodisa yoki aniqlanayotgan kattalik ifodasini kompyuter dasturi tilida ifodalash;

- o'lchangan kattalikni kompyuter dasturiga kiritish;

- dastur to'g'riligini tekshirib ko'rish;

- kompyuterda hisoblash;

- dastur va hisoblash natijalarini tashqi xotira qurilmasiga o'tkazish.

Hozirgi davrda eng ko'p ishlatiladigan ayrim laboratoriya ishlari virtual tizimda ishlash uchun yaratilgan.

1.3. Quyosh energiyasini o'lchash va hisoblash

Quyosh nurlanishining parametrlarini o'lchash aktinometrik stansiyalarda amalga oshiriladi. Bunday stansiyalar O'zbekistonda mavjud. Ushbu stansiyalarda amalga oshirilgan o'lchovlar turli xil quyosh energiyasi qurilmalarining usullari va parametrlarini hisoblashda ishlatilishi mumkin.

Yil davomida Yer Quyoshdan taxminan $6 \cdot 10^{17}$ Kw·soat nurlanish enyergiyasini oladi, bu insoniyat hozirgi vaqtda sarflayotgan enyergiyadan 20 ming martadan ko'proqdir. Uning 0,001 qismidan kamrog'ini o'simliklar va odamlar ishlatadilar. Enyergiyaning nurlanish manbaini sifatida quyosh o'zidan, turli tuman elektromagnit to'lqinlarni chiqaradi. Quyosh nurlarining katta qismi spektrning infraqizil sohasiga, deyarli yarmini ko'zga ko'rinadigan spektrning $4 \cdot 10^{-7}$ m ÷ $7 \cdot 10^{-7}$ m gacha to'lqin uzunliklar sohasiga to'g'ri keladi. Bu enyergiya yer yuzasiga yorug'lik ko'rinishida etib keladi. Atmosfyerada ro'y byeradigan hamma hodisalar quyosh radiassiyasi

ta'sirida sodir bo'ladi. Yorug'lik va issiqlik xususiyatiga ega bo'lgan quyosh nurlari quyosh radiassiyasi deb ataladi.

Atmosferaning yuqori chegaralariga kirib kelayotgan quyosh enyergiyasi bir qancha omillarga bog'liq bo'lgan holda, ular ta'sirida solyar (quyosh) iqlimi shakllanadi. Bu miqdor quyosh doimiysi deb ataladi. Yerning Quyoshgacha bo'lgan o'rtacha joylashishida quyosh doimiysining qiymati 1 yanvar 1981 yildan $1,367 \pm 0,007 \text{ kW/m}^2$ deb qabul qilingan. Ayni vaqtda kirib kelayotgan quyosh radiatsiyasi oqimi quyosh doimiysi qiymatiga, quyoshgacha bo'lgan masofaga, δ – quyoshning og'ishiga, φ – joyning geografik kengligiga va τ – vaqtga bog'liq bo'ladi. Yer sirti atmosferasi va umuman yer sayyorasi radiatsion rejimining shakilantiruvchi omili bo'ladi. Bu quyosh doimiysi parametrlari qiymati: quyoshning og'ishi, kun soatlari, atmosferada tarkibi undagi aerozollar va suv bug'larining miqdori va turi, yer sirti al'bedosi, yer sirtining turi holati bilan aniqlanadi. Sanab o'tilgan omillar yer sirti va atmosferada radiatsion balansini hamda uni tashkil etuvchilari (to'g'ri, sochilgan, yig'indi radiatsiyasi va effektiv nurlanishi)ning kunlik va yillik o'zgarishlariga sabab bo'ladi.

Aktinometriya-metrologiyaning bir qismi bo'lib, nurlanish enyergiyasining (radiatsiyasi) oqimini o'lchash bilan shug'ullanadi. Quyosh radiatsiyasining yer sirtiga tushuvchi parallel nurlari to'g'ri quyosh radiatsiyasi deyiladi. Quyosh radiatsiyasining yer sirtiga tushishini xarakterlaydigan kattalik uning intensivligidir. U issiqlik miqdori bilan baholanadi. Quyosh nurlariga pyerpendikulyar joylashgan 1m^2 yuzali qora jism sirtiga 1 minut vaqt ichida tushuvchi quyosh nurlarini yutib issiqlik miqdoriga aylantirish intensivlik bilan ifodalanadi. Atmosferada chegarasidagi quyosh radiatsiyasining intensivligi quyosh doimiysi deyiladi.

Quyosh enyergiyasining yassi sirtga tushishini xarakterlaydigan kattalik insolyatsiya (E) deyiladi, u ham W/m^2 birlik bilan o'lchanadi. Insolyatsiya va intensivlik orasida quyidagicha bog'liqlik bor:

$$E = E_0 \cdot \sin h_0 = E_0 \cos Z_0, \quad (1.43)$$

bunda h_0 - quyosh balandligi; Z_0 - quyoshning zenit masofasi. Quyoshning balandligi quyidagi astronomik formula yordamida hisoblanadi:

$$\sin h_0 = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau \quad (1.44)$$

bu yerda φ – joyning geografik kengligi, Guliston shahri uchun $\varphi = 40, 5^0$; Toshkent uchun $\varphi = 41^0 3$; δ – quyoshning og'ishi; τ – quyoshning soat burchagi. Har bir oyning 21 sanasi uchun quyoshning og'ish qiymatlarini quyidagi jadvalda keltirilgan. Aniq kengliklar uchun, quyosh radiatsiyasi intensivligining normal J_H sirtga tushishini aniqlashning turli usullari mavjud. J_H ning $38-63^0$ geografik kengliklar uchun hisoblashda

$$J_H = \frac{Q_0 \sin h_0}{\sin h_0 + c}, \quad (1.45)$$

formuladan foydalaniladi. Bu ifodada c - atmosfera tozaligini ifodalovchi koeffitsient.

$$c = (1 - \rho) / \rho, \quad (1.46)$$

ρ – quyosh nurlari normal bo'yicha atmosferadan o'tishdagi tozalik koefitsientini, bulutsiz kunlar uchun $\rho = 0,7 - 0,8$ qiymat atrofida tebranadi.

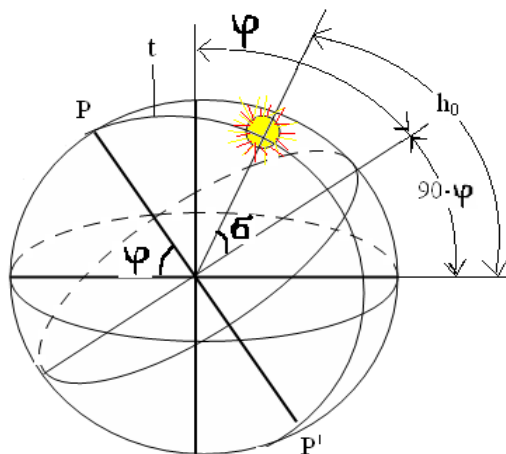
Quyoshning og'ishini quyidagi formuladan

$$\delta_i = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{n_i + 284}{365}\right) \quad (1.47)$$

foydalanib aniqlanadi, bu yerda n_i - kalendardagi kunlar soni.

Har bir oyning 21 sanasi uchun quyoshning og'ish qiymati. 1.4-jadval.

t/r	Oylar	δ , quyoshning og'ishi	t/r	Oylar	δ , quyoshning og'ishi
1	Yanvar	$-19^{\circ}57$	7	Iyul	$+20^{\circ}32$
2	Fevral	$-10^{\circ}38$	8	Avgust	$+12^{\circ}12$
3	Mart	$-0^{\circ}09$	9	Sentyabr	$0^{\circ}48$
4	Aprel	$+11^{\circ}47$	10	Oktyabr	$-10^{\circ}38$
5	May	$+20^{\circ}09$	11	Noyabr	$-19^{\circ}53$
6	Iyun	$+23^{\circ}27$	12	Dekabr	$-23^{\circ}27$



1.10-rasm. Ekvatorial koordinatalar sistemasi: φ – joyning geografik kengligi, δ – quyoshning og'ishi, τ – quyoshning soat burchagi, PP' – dunyo o'qi, h_0 – quyosh balandligi. Quyosh balandligi har qanday kenglik uchun, har qanday kun vaqtida, yil va yo'nalish sirtining hisoblash (1.48) formula yordamida bajariladi. Quyosh radiatsiyasining o'rtacha intensivligi $I_{o'r}$, tushuvchi nur va sirt burchak orasidagi ifoda quyidagi formula yordamida aniqlanadi;

$$I_{o'r} = I_{\perp} \cos i, \quad (1.48)$$

bu yerda \cos - kosinus burchak, sirt bilan normal orasidagi burchak.

Quyosh balandligi har qanday kenglik uchun, har qanday kun vaqtida, yil va yo'nalish sirtining hisoblash (1.49) formula yordamida bajariladi. Quyosh radiatsiyasining o'rtacha intensivligi $I_{o'r}$, tushuvchi nur va sirt burchak orasidagi ifoda quyidagi formula yordamida aniqlanadi;

$$I_{o'r} = I_{\perp} \cos i, \quad (1.49)$$

bu yerda \cos - kosinus burchak, sirt bilan normal orasidagi burchak.

Sutkaning har xil vaqtida turli yo'nalishdagi sirtlar uchun \cos qiymati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\text{yassi sirtlar uchun: } \cosh_0^G = \sin \delta \sin \varphi + \cos \varphi \cos \delta \cos \varphi \quad (1.50)$$

$$\text{tik sirtlar uchun: } \cos \otimes_j^v = \cos \delta \sin \varphi \cos \varphi - \sin \delta \cos \varphi, \quad (1.51)$$

$$\cos \otimes_{shimol}^v = \sin \delta \sin \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos \delta, \quad (1.52)$$

$$\cos \otimes_{G-sharq}^v = \cos \delta \sin \varphi, \quad (1.53)$$

$$\cos \otimes_{j-G, j-sharq}^v = 0,707(\cos \delta \sin \varphi \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi - \sin \delta \cos \varphi), \quad (1.54)$$

$$\cos \otimes_{sh-G, sharq}^v = 0,707(\cos \delta \sin \varphi + \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \beta \varphi \cos \varphi); \quad (1.55)$$

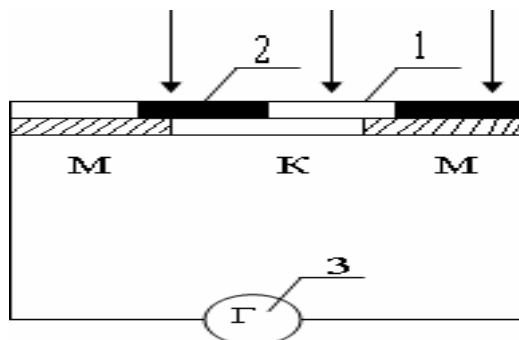
bu formulalarda $\otimes = h_0$ bo'lib, uning yuqoridagi indeksi: yoritiluvchi sirtning joylashishini belgilaydi (G-yassi, V-tik); pastki indeks esa yoritgichga nisbatan yo'nalish (j-janub, sh-shimol, g'-g'arb, sharq, j-g'-janubiy - g'arbiy, sha-j-sharqiy-janubiy, sh-g'-shimoliy-g'arbiy, sha- sh sharq- shimoliy).

Atmosfyeraning tiniqligi o'zgarib turganidan quyosh radiatsiyasining intensivligi tush vaqtidagi qiymati nisbatan simmetrik ravishda o'zgarmaydi. Qish oylarida tush vaqtda quyosh radiatsiyasi intensivligi o'zining maksimal qiymatiga erishadi. Yoz oylarida esa tush vaqti yaqinlashgan sari intensivlik o'zgarmay qoladi, ba'zan tush vaqtida intensivlik kamayib qolishi ham mumkin. Bunga sabab shuki, yilning issiq oylarida tush vaqti yaqinlashgan sari atmosferadagi suv bug'lari hamda turli xil chang zarralarining miqdori oshib ketadi, natijada ular quyosh radiatsiyasining yutish va sochishi sababli yer sirtiga tushadigan qismi kamayadi. Yassi va tik sirtlardagi farq sezilarlidir, bu farq ayniqsa qish oylarida juda katta bo'ladi. Yoz oylarida quyosh osmon sfyerasidan balandda bo'lganida to'g'ri quyosh radiatsiyasining tik va yassi sirtida intensivliklar bir-biriga ancha yaqin bo'ladi.

Quyosh nurlanishi enyergiyasini o'lchash kalorimetrik, fotoelektrik, fotografik va ko'rish usullarida olib boriladi. Kalorimetrik usulda o'lchash quyosh nuri enyergiyasini qora jismlarda yutilib issiqlik enyergiyasiga aylantirish orqali amalga oshiriladi. Hozirgi vaqtda eng ko'p qo'llaniladigani asbob termoelektrik aktinometrdir. Aktinometrning ishlashi uchun termoelektrik effekt asos qilib olingan. Ikki turdagi metall o'tkazgichning uchlari o'zaro kavsharlanib, berk elektr zanjiri hosil qilingan. Kavsharlangan uchlarning tempyerasi bir-biridan farqlanganda zanjirdan kam miqdorda elektr toki o'tadi. Zanjir ochiq bo'lganda vujudga keladigan tyermo E.Y.K. kattaligi kavsharlangan uchlar orasidagi tempyeralar ayirmasiga va kavsharlangan moddaning matyerialiga bog'liq bo'ladi. Metallar elektr tokini yaxshi o'tkazishi bilan issiqlikni ham yaxshi o'tkazadilar. Shu tufayli kavsharlangan uchlardagi tempyeralar ayirmasi ΔT ning katta qiymatlariga erishish qiyin. Bunda hosil bo'lgan termo E.Y.K. miqdori ham katta bo'lmaydi. Shu sababli kattaroq qiymatli E.Y.K. olish uchun ko'p sonli termomyerlarni o'zaro ketma-ket ulanadi (1.11-rasm).

Termoelektrik aktinometrning asosiy qismlari. Termobatareyali yutgich, ichiga termobatareyali disk joylashtirilgan quvur va shtativdan iborat. Yutgich disk kumush fol'ga 1 dan iborat bo'lib qalinligi 2 mk, diametri 11 mm ni tashkil qiladi. Quyoshga qaragan tarafi qoraytirilgan. Pastki tarafiga papiros qog'oziga termoelektrik batareyaning manganin va kanstantta poloskalar mahkamlangan. 1.11-rasmda 8 elementdan tashkil topgan sxema ko'rsatilgan. Zamonaviy aktinometrlarda 35 va undan ortiq termoelementdan foydalaniladi. Barcha toq nomyerli

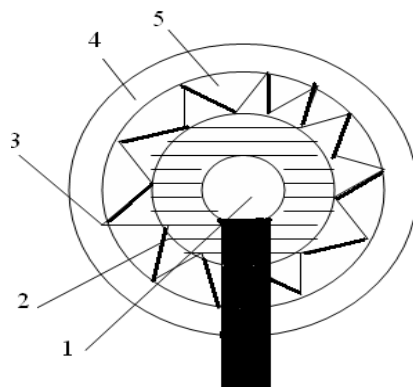
kavsharlangan uchlar markaz atrofida, juft nomyerli kavsharlangan uchlar esa mis tashqi xalqaga ulangan bo'ladi. Toq nomyerli kavsharlar markazdagi qoraytirilgan kumush diskning teskari tomoniga ishqor laki surkab yopishtirilgan papiros qog'ozini ustiga o'rnatilgan.



1.11-rasm. Termoelektrik yutgich sxemasi.

1-oq kavshar, 2-qoraytirilgan kavshar, 3-gal'vanometr, m-magnin, k-konstanta.

Termoyulduzchani juft nomerli kavsharlari esa mis halqaning ustiga ishqor laki surkalib unga yopishtirilgan papiros qog'ozini ustiga o'rnatilgan. Natijada termobatariya kumush diskdan va mis halqadan elektr jihatdan izolyatsiyalangan bo'ladi. Aktinometr quvurining ochiq uchi ro'parasiga teskari tomondan toq nomyerli kavsharlangan uchlar yopishtirilgan va quyosh nurlari tushadigan tomon qoraytirilgan va kumush diska joylashtirilgan (1.12-rasm).



1.12-rasm. Aktinometr termoyulduzchalarining sxemasi.

1-kumush fol'gali disk, 2-ichki kavsharlar, 3-tashqi kavsharlar, 4-mis disk, 5-izolyatsiyalangan taglik.

Agar aktinometr quvurini quyoshga qaratsak, kumush disk to'g'ri quyosh nurlanishining ta'sirida qiziydi, mis halqa ismaydi. To'g'ri quyosh nurlanishining intensivligi qancha katta bo'lsa issiq va sovuq kavsharlar uchidagi temperaturalar ayirmasi ham shuncha ortadi. Natijada termotok E.Y.K. kattaligi ham to'g'ri quyosh nurlanishi intensivligiga proporsional ortadi. Termobatariya kavsharlariga tushuvchi to'g'ri quyosh nurlanishi enyergetik yoritilganlik enyergiyasi termoelektrik tok kattaligiga proporsional bo'ladi:

$$S = a \cdot N \quad (1.56)$$

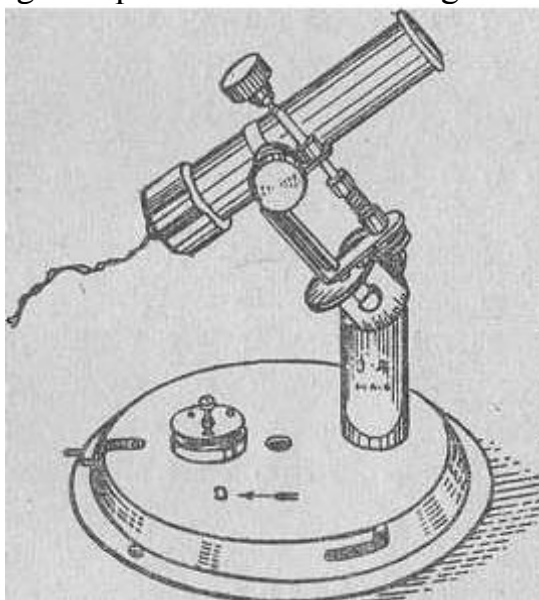
bu yerda N-gal'vanometr strelkasining og'ishi, bo'lim; a-o'tkazuvchi ko'paytma, $VT/(m_{bo'lim}^2)$. Asbobga GSA-1 turidagi strelkali gal'vanometr ulanadi. O'tkazuvchi ko'paytma har bir juftlik uchun alohida bo'lib, uni nazorat asbobi bilan solishtirish yoki gal'vanometr va aktinometr syertifikatidan foydalanib elektr

xarakteristikalarini hisoblab chiqish orqali aniqlash mumkin. Bu o'tkazuvchi ko'paytmaning qiymati:

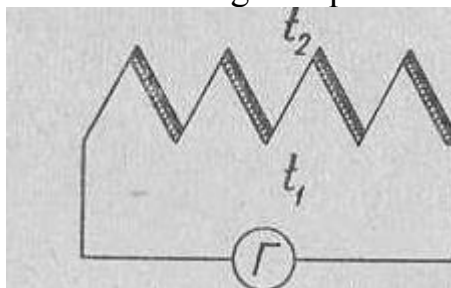
$$a = \frac{\alpha}{1000k}(R_s + R_r + R_{\text{do}}), \quad (1.57)$$

bu yerda α – o'tkazuvchi ko'paytma; α – gal'vanometr bo'limlarning shkaladagi baholanishi, mkA; k-termoelektrik asbobning sezgirligi, $mv/(698VT/m^2)$; R_s – termobatareya qarshiligi om da; R_r – gal'vanometrning ichki qarshiligi; R_{do} – gal'vanometrning qo'shimcha qarshiligi. Misol, laboratoriyadagi asboblardan uchun: $R_s = 16,1\text{om}$; $R_r = 40,7\text{om}$; $R_{\text{do}} = 75,5\text{om}$; $\alpha = 0,91 \cdot 10^{-6} \text{ A}$; $k = 6,45\text{mv}/(1\text{kcal}/\text{sm}^2 \text{ min})$.

Ishni bajarish tartibi. To'g'ri quyosh nurlanishini o'lchashda M-3(AT-50) termoelektrik aktinometrlari keng foydalaniladi. Xozirgi vaqtda turli quyosh radiassiyasini o'lchashda eng ko'p qo'llanadigan asbob termoelektrik aktinometrlardir. Shuning uchun Savinov - Yanishevskiy termoelektrik aktinometrining tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishamiz. 1.13 - rasmda termoelektrik aktinometrning tashqi ko'ruinishi ko'rsatilgan.



1.13-rasm. Termoelektrik aktinometrning tashqi ko'ruinishi.



1.14-rasm. Termobatareya sxemasi.

Ma'lumki, ikki xil metall o'tkazgichning uchlari o'zaro kavsharlab, berk elektr zanjiri hosil qilsak, kavsharlangan uchlarning temperaturasi bir-biridan farq qilganda zanjirdan juda oz miqdorda tok o'tadi. Metallar elektr tokini yaxshi o'tkazishi bilan birga issiqlikni ham yaxshi o'tkazadi. Shu tufayli kavsharlangan uchlardagi temperaturalar ayirmasi Δt ning katta qiymatlariga erishish qiyin. Bunda hosil bo'lgan termo e.y.k. miqdori ham katta bo'lmaydi. Shu sababli kattaroq qiymatli e.y.u.k. ni olish uchun ko'p sonli termoparalarni o'zaro ketma-ket ulanadi.

Termoelektrik aktinometrlarning asosiy qismlari: termobatareyali yutgich, ichiga termobatareyali disk joylashtirilgan trubka va shtativdan iborat.

Zanjir ochiq bo'lganda vujudga keladigan termo e.y.k. ning kattaligi kavsharlangan uchlar orasidagi temperaturalar ayirmasiga va kavsharlangan o'tkazgichlarning moddalariga bog'liq bo'ladi.

1.4. Quyosh energiyasi to'g'risida ma'lumotlar bazasi

Yorug'lik energiyasidan foydalanish imkonini beradigan quyosh qurilmalari yaratilgan.

Yarim silindr shaklidagi quyosh qurilmalari sirtiga tushayotgan to'g'ri quyosh radiatsiyasining o'rtacha integral burchagini hisoblash. $\tau_{n,i}^{To'g'}$ ning qiymatini va uning asosida $\tau_{kir}^{To'g'}$ aniqlash uchun to'g'ri quyosh radiatsiyasini qaralayotgan sirtga tushish burchagi haqida ma'lumot kerak bo'ladi. Yarim silindr shaklidagi shaffof plyonka to'siqlarning yassi shaffof to'siqlardan alohida farqi shundaki, bir xil tashqi sharoitda to'g'ri quyosh nurlanishining yarim silindr shaklidagi nur qabul qiluvchi sirtlarga tushish burchagi (i) istalgan vaqt momentida mazkur sirdagi ko'p sonli nuqtalarning koordinatalarga bog'liqligidir.

Agar yarim silindrli sirtini cheksiz sonli (N) kichik sirtlarga bo'lsak i hisoblash soddalashadi. i ning qiymatini aniqlashda, n - sirtning kichik deb qaralsa uni doimiy deb hisoblash mumkin bo'ladi. Shunday qilib hamma yarim silindrik sirtlarni yig'indisi sifatida qaralganda, bir sirdan ikkinchisiga o'tganda i ning qiymati o'zgaradi.

Hisoblash ishlari [1] ishlarida olib borilgan va i ning qiymati: yilning mavsumiga

(δ), kunning yoritilgan (τ) vaqtiga, geografik kenglikka (φ), shaffof to'siqli inshootning yoritgichga nisbatan orientatsiyasiga (γ), bog'liqligi aniqlangan, uning bog'lanishini quyidagi ko'rinishda yozish qulay.

$$\cos i = f(\delta, \tau, \varphi, \gamma). \quad (1.57)$$

Qaralayotgan sirdagi $\cos i$ ning o'rtacha qiymatini quyidagi formula orqali aniqlash mumkin bo'ladi.

$$\overline{\cos i} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \cos i_n; \quad (1.58)$$

yoki

$$\overline{\cos i} = \frac{\int \cos i dm}{\int_m dm}. \quad (1.59)$$

bu yerda, m - yarim silindrli to'siqdagi elementar sirtning og'ish burchagi bo'lib, diametral sirtga nisbati bilan ifoda qilinadi. (1.59) dagi integrallash chegarasi yarim silindrik sirdagi burchak qiyaligiga mos kelishi kerak bo'ladi. $\overline{\cos i}$ ning (1.58) formuladan aniqlangan qiymati o'rtacha arifmetik qiymat deb ataladi, (1.59) dagi qiymat esa o'rtacha integral qiymat deb ataladi. [1] hisoblashlaridan ko'rinadiki, (1.58) formulada hisoblash aniq natijalarni beradi va (1.59) dagi hisoblashga qaraganda ancha kam vaqt sarflanadi.

Yarim silindrik sirtlarining yon sirtiga tushuvchi to'g'ri quyosh radiatsiyasini hisoblash usulida $\overline{q_{\perp} \cos i}$ kattalikni aniqlashga asoslangan bo'lib, [1] ishda o'zining aksini topgan. Lekin, olingan natijalarni amaliy hisoblashlar uchun qo'llab bo'lmaydi. $\overline{\cos i}$ aniqlashda, issiqxona katta o'qi shimoldan janubga qaraganda ($\gamma = 0$; meridian yo'nalish) sharq va g'arb taraflarni yarim silindr sirti yarmida simmetrik deb qaralgan va hisoblashlar faqat bir taraf uchun bajarilgan, ya'ni silindrik sirtning to'rtidan biri uchun hisoblash ishlari olib borilgan. Bunda elementar sirtlarning og'ish burchagining integrallash chegarasi yarim silindrik sirt uchun (m) ning qiymati $\frac{\pi}{2}$ dan 0 gacha olingan. Bunda to'g'ri quyosh radiatsiyasini sirt ustiga tushuvchi qarama-qarshi tomonidagi qismi hisobga olinmagan. $\overline{\cos i}$ hisoblashda issiqxona o'qi sharqdan - g'arbgga yo'nalgan hol uchun ($\gamma = 270^0$; ekvator yo'nalishi) (1.57) formuladagi integrallash chegarasi janubiy qismlar uchun yarim silindr ($\frac{\pi}{2} \div 0$) olingani to'g'ri, shimoliy tomon uchun (0 dan $90 - \varphi + \delta$; gacha) olinganligi to'g'ri emas. Integrallash chegarasi (1.59) formuladagi yilning mavsumiga, kunning yoritilganlik vaqtiga bog'liq bo'ladi. O'rtacha arifmetik hisoblash usuli $\overline{\cos i}$ ni tahminiy va katta hisoblash hajmidagi ishni bajarishga to'g'ri keladi. Qaralayotgan masalani integrallash usuli bilan yechaylik

$$\begin{aligned} \cos i = & (\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \cos m + \\ & + [(\sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos \omega z) \cdot \sin \gamma + \cos \delta \sin \omega z \cos \gamma] \cdot \sin m) \end{aligned} \quad (1.60)$$

(1.58) formulaning integrallash chegarasi meridian yo'nalish uchun ($\gamma = 0$), $+\frac{\pi}{2}$ dan m^* gacha $z \geq 0$ bo'lganda va $-\frac{\pi}{2}$ dan m^* gacha $z \leq 0$ bo'lgan qiymati olingan. Ekvator yo'nalishida joylashgan inshoot uchun ($\gamma = 270^0$), integrallash chegarasi z ning xar qanday qiymati uchun $+\frac{\pi}{2}$ dan m^* gacha olingan. Berilgan masalani yechishda bunday yaqinlashish bilan quyidagi natijaga erishiladi:

- meridian yo'nalishdagi gelioteplitsalar uchun;

$$\overline{\cos i} = \frac{1}{m^* - \frac{\pi}{2}} [(\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi)(\sin m^* - 1) - \cos \delta \sin \omega z \cos m^*]; \quad z \geq 0 \quad (1.61)$$

$$\overline{\cos i} = \frac{1}{m^* + \frac{\pi}{2}} [(\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi)(\sin m^* + 1) - \cos \delta \sin \omega z \cos m^*]; \quad z \leq 0 \quad (1.62)$$

- ekvator yo'nalishidagi gelioissiqxonalar uchun,

$$\overline{\cos i} = \frac{1}{m^* - \frac{\pi}{2}} [(\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi)(\sin m^* - 1) - (\cos \delta \sin \varphi \sin \omega z - \sin \delta \cos \varphi) \cos m^*] \quad (1.63)$$

m^* ning (1.63) formuladagi qiymatlarini aniqlashda $\cos i = 0$, shartdan foydalanib, (1.61) hisobga olingan bo'lsa, meridian yo'nalishdagi inshoot uchun ($\gamma = 0$), ya'ni

$$m^* = -\operatorname{arctg} \frac{\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \sin \omega z} . \quad (1.64)$$

Ekvatorial yo'nalishdagi gelyoissiqxonalarda m^* ning qiymatini hisoblashda yuqoridagilarni hisobga olgan holda $\gamma = 270^\circ$,

$$m^* = -\operatorname{arctg} \frac{\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \sin \varphi \cos \omega z - \sin \delta \cos \varphi} \quad (1.65)$$

Shunday qilib hisoblash usuliga ko'ra universal va nisbatan aniqroq qiymat hosil qiladi. Ekvator va meridian yo'nalishlar uchun (1.64) va (1.63) shartlardan foydalanib bo'lmaydi. Shuning uchun yuqoridagi kamchiliklarni yo'qotish maqsadida $\overline{\cos i}$ ni hisoblashning aniqroq usuli taklif qilinadi. Elementar sirtchalardagi $\cos i$ ni yarim silindr yon sirti uchun hisoblashda ixtiyoriy sirtlar uchun quyidagi shaklda ifodalash mumkin bo'ladi.

$$\cos i = M \cos m + N \sin m \quad (1.66)$$

bu yerda

$$M = \cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi , \quad (1.67)$$

$$N = B \cos \gamma - A \sin \gamma , \quad (1.68)$$

$$A = \cos \delta \sin \varphi \cos \omega z - \sin \delta \cos \varphi , \quad (1.69)$$

$$B = \cos \delta \sin \omega z . \quad (1.70)$$

Matematik shakl almashtirish yordamida integrallab, mos ravishda quyidagini hosil qilinadi

$$\overline{\cos i} = \frac{M(1 - \sin m^*) + N \cos m^*}{\frac{5\pi}{2} - m^*} ; \quad z \leq 0 \quad (1.71)$$

$$\overline{\cos i} = \frac{M(1 + \sin m^*) - N \cos m^*}{m^* - \frac{3\pi}{2}} . \quad z \leq 0 \quad (1.72)$$

m^* ning o'zgaruvchan qiymati quyidagicha aniqlanadi (1.15-rasm)

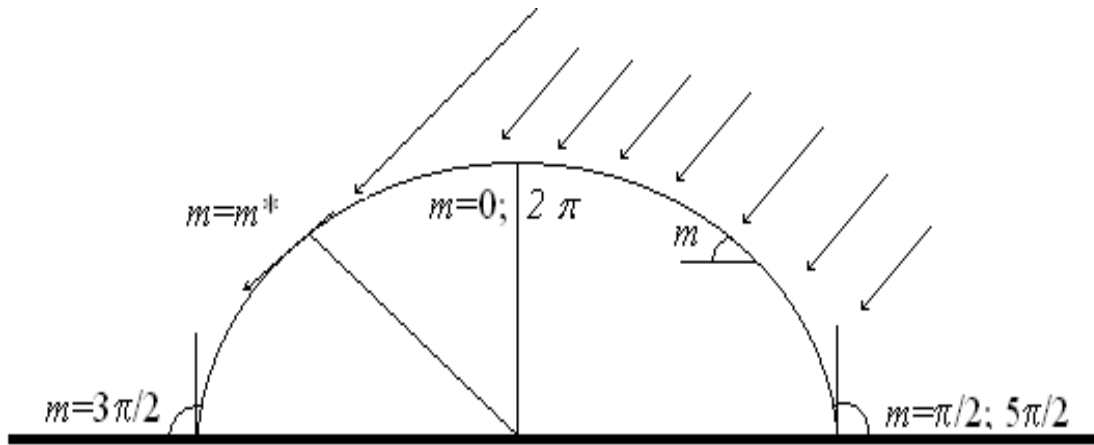
$$m^* = \pi n - \operatorname{arctg} \frac{M}{N}, \quad n \in \mathbb{Z} \quad (1.73)$$

$n = 2$ uchun quyidagini xosil qilamiz

$$\overline{\cos i} = \frac{M \left(1 + \sin \operatorname{arctg} \frac{M}{N} \right) + N \cos \operatorname{arctg} \frac{M}{N}}{\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{M}{N}} ; \quad z \geq 0 \quad (1.74)$$

$$\overline{\cos i} = \frac{M \left(1 - \sin \operatorname{arctg} \frac{M}{N} \right) - N \cos \operatorname{arctg} \frac{M}{N}}{\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{M}{N}} . \quad z \leq 0 \quad (1.75)$$

(1.74) va (1.75) ning yechimi $\cos i$ ning o'rtacha integral qiymatini aniqlashda ishlatiladi. Agar $z \leq 0$ bo'lsa, $\gamma = 0$ bo'ladi, N ning qiymati manfiy bo'ladi ($N \leq 0$) va (1.71) yechim (1.72) ko'rinishiga o'tadi. (1.71) formulani hususiy hollardagi qiymatini ko'rib chiqaylik: 1. Shaffof plyonka to'siqli gelyoissiqxonalar yarim silindrik shaklda bo'lib, meridian yo'nalishida ($\gamma = 0$) joylashgan bo'lsin.



1.15-rasm. Yarim silindr shaklidagi shaffof plyonka to'siqli geliolinshoatlar sirtiga tushuvchi quyosh nurlarining $\cos i$ qiymatini yuqori va pastki integrallash chegarasini aniqlash.

Bu holda $N = B$ bo'lib, $n = 2$ bo'ganda (1.66) ning ko'rinishi quyidagi holatga o'tadi

$$m^* = 2\pi - \operatorname{arctg} \frac{\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \sin \omega z}. \quad (1.76)$$

$m^* = 0$ (yoki 2π) bo'lganda, integrallash 0 dan $\pi/2$ (yoki 2π dan $\frac{5\pi}{2}$ gacha), ya'ni yarim silindrning yarmi uchun yechim quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\overline{\cos i} = \frac{\pi}{2} (\cos \delta \cos \varphi \cos z + \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \sin \omega z), \quad (1.77)$$

Bu formuladagi qiymat, $\gamma = 0$ va $m^* = 0$ bo'lgan hol uchun [51, 52] ishlariga mos keladi.

2. Yarim silindr shaklidagi shaffof plyonka to'siqli quyosh issiqxonalarining ekvator yo'nalishda ($\gamma = 270^\circ$) joylashgan holati uchun hisoblash ishlarini bajarishda, bu hol uchun $\gamma = 270^\circ$ bo'lib, $N = A$ bo'ladi, yuqoridagi ifodalarni hisobga olgan holda $n = 2$ teng bo'lganida

$$m^* = 2\pi - \operatorname{arctg} \frac{\cos \delta \cos \varphi \cos \omega z + \sin \delta \sin \varphi}{\cos \delta \sin \varphi \cos \omega z - \sin \delta \cos \varphi}. \quad (1.78)$$

Agar $m^* = 0$ bo'lsa (yoki 2π), unda integrallash chegarasi 0 dan $\frac{\pi}{2}$ gacha (yoki 2π dan $\frac{5\pi}{2}$ gacha), ya'ni yarim silindrning yarmi uchun yechim quyidagi ko'rinishni oladi

$$\overline{\cos i} = \frac{\pi}{2} [(\cos \delta \cos \varphi \cos z (\sin \varphi + \cos \varphi) + \sin \delta (\sin \varphi - \cos \varphi)]. \quad (1.79)$$

formula bilan mos keladi. Yuqorida ta'kidlab o'tilgandek, yechimlar umumiy yechimlar bo'lib hisoblanadi va $\overline{\cos i}$ ning issiqxonaning yarim silindr shaklidagi yon sirt bo'yicha hisoblashda aniqligi yuqori hisoblanadi. Bu ifodani integrallash chegarasi 0 dan $\frac{\pi}{2}$ bo'lganda [3,4] ishlarida ko'rsatilgan natija $m^* = 0$ bo'lganda farqli bo'lib chiqadi. Yuqorida takidlab o'tilganlarga asoslanib m^* ning qiymati yilning vaqtiga (δ) hamda sutkaning vaqtiga (z) bog'liq bo'ladi. Yuqoridagi

ko'rsatib o'tilgan ifodalardan ko'rinadiki $m^* = 0$ bo'lishi uchun $\delta = 0$ va $z = 90^\circ$ shart bajarilishi kerak bo'ladi, u faqat yilning teng kunliklarida (22.03. va 22.09) da quyosh chiqish vaqti (6 soat) va botish vaqti (18 soat) momentlarida sodir bo'ladi. $\overline{\cos i}$ ning o'rtacha arifmetik qiymatini aniqlashda [2] ishda yarim silindrik sirtning hammasini N bir xil elementar sirtchalarga bo'ldi, har biri uchun har bir soatda $\cos i$ ning qiymatini shaffof plyonka to'siqning yo'nalishiga bog'lab aniqladi. Shundan so'ng $\overline{\cos i}$ ning o'rtacha arifmetik qiymatini keltirib chiqargan. Har bir elementar sirtchalarning gorizontga nisbatan og'ish burchagi

$$m_n = 90 \left[1 - \frac{2N-1}{2N} \right], \quad (1.80)$$

bo'ladi. Bu yerda $n = 1, 2, \dots, N$ -yarim silindr sirtidagi elementar sirtchalarning tartib raqami. Hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, $\overline{\cos i}$ ning qiymati taklif qilgan usul bilan [5] hisoblagan qiymat $N = 36$ bo'lgan hol uchun 99 % mos keladi. Albatta [5] hisoblagan usulda hisoblash hajmi 36 marta katta bo'lgan. $\overline{\cos i}$ ning kunlik yo'li yarim silindrik plyonka to'siqli geliolinshoat uchun, ekvator va meridian yo'nalishlarda yoritgichga nisbatan yanvar, fevral, mart oylari uchun hisoblash ishlari bajarilgan.

Ekvator yo'nalishdagi quyosh inshoatida $\overline{\cos i}$ ning qiymati ancha yuqori. Isitish mavsumi davomida to'g'ri quyosh nurlarining radiatsiyasi shaffof to'siqlar orqali meridian yo'nalishga nisbatan ko'proq kiradi. Hisoblashlarda $\overline{\cos i}$ ning yillik yo'li qiymatini olishda Quyoshning og'ishi (δ) quyidagi tenglik asosida aniqlandi

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right); \quad (1.81)$$

bu yerda, n - yildagi kunning raqami, 1 yanvardan boshlanadi.

Quyosh energiyasi bu muqobil energiyalar ichida asosiysi hisoblanadi, lekin u past potentsialli bo'lgani uchun undan foydalanish samaradorligini oshirishning asosiy yo'li quyosh energiyasini ishlatishga mo'ljallangan issiqxonalar qurilmalarining tuzilishi issiqlik-texnikaviy ko'rsatkichlarining yaxshilash hisoblanadi. Hozirgi paytda ishlatilayotgan quyosh issiqxonalar qurilmalarining tuzilishi va texnikaviy xarakteristikalari o'rganilib chiqiladi, quyosh issiqxonalar qurilmalarining harorat rejimlarini quyosh nurlanishning va atrof - muhit haroratining nozarat issiqlik rejimlari tatqiq qilindi va shu asosda ularning issiqlik texnikaviy parametrlarini optimallashtirish bo'yicha takomillashtirilgan uslubni ishlab chiqildi. Quyosh issiqxonani optimal ish rejimi yuqorida keltirilgan nazariy hisoblashlardan foydalanilgan. Yarim silindr shaklidagi shaffof plyonka qoplamali issiqxonaga kirayotgan quyosh nurlanishini hisoblashning o'rtacha integral uslubini qo'llab, issiqxonaga kirayotgan yig'indi quyosh nurlanishining o'rtacha kirish koeffitsienti yillik o'zgarishning issiqxonalar o'qining dunyo tomonlariga nisbatan joylashishiga va plyonka qoplamalarning bir yoki ikki qavatli bo'lishiga bog'liqligini aniqlovchi formula hosil qilingan va bu formula asosida qoplamalarning issiqlik-texnikaviy tavsiflari ishlab chiqildi.

2-laboratoriya mashg'uloti

Mavzu: Yer sirtiga yetib kelgan quyosh radiatsiyasining adbedosini tajribida aniqlash

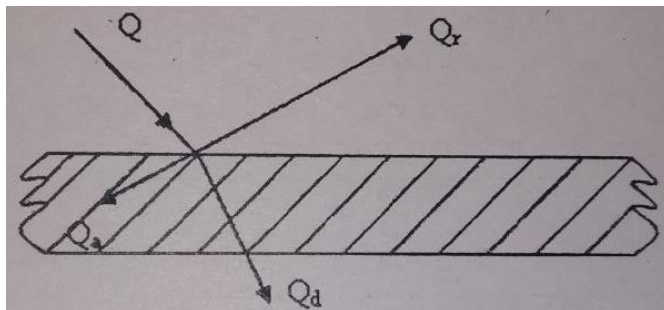
Ishni bajarishdan maqsad: Albedometr yordamida o'simliklar bor va yo'q bo'lgan tuproqdan qaytgan quyosh radiatsiyasini o'lchash.

Kerakli asbob va materiallar: M-69 turidagi albedometr, GSA-1 strelkali galvanometr, ulovchi simlar.

Ish to'g'risida nazariy ma'lumotlar

Dala sharoitida yig'indi, sochilgan va qaytgan radiatsiyani o'lchashda ko'chma M-69 albedometr dan foydalaniladi. Amaliy ishlarni bajarishda asosan o'simliklar sirtidagi albedoni aniqlashda bunday qurilmadan foydalaniladi. Sanoatda ishlab chiqarilgan piranometrlar, yig'indi quyosh radiatsiyasini o'lchab bo'lgandan keyin, sharnir yordamida 180° ga buriladi va qaytgan radiatsiyani (R) o'lchash mumkin. Albedometr bir vaqtning o'zida piranometr va aktinometr vazifasini bajarishi mumkin.

Nurlanish elektromagnit to'lqinlarini chiqaruvchi jismning nur chiqarishdagi foton energiyasi bilan bog'liq bo'ladi. Ko'zga ko'rinuvchi nurlar 0,4-0,8 mkm sohasida issiqlik uzatilishi uncha katta bo'lmasa ham, 0,8-40 mkm sohada issiqlik uzatilishi ancha katta qiymatni tashkil qiladi. Bu oraliqdagi to'lqin uzunligiga issiqlik nurlanishi deb ataladi. Agar qaralayotgan muhit toza bo'lsa, va ikki jism orasida temperatura farqi vujudga kelsa, u holda albatta issiqlik almashinishi sodir bo'ladi. Umumiy holda ixtiyoriy joylashgan jismning energetik balansini ko'rib chiqaylik (1-rasm).



1-rasm. Nurlanish balansining energiyasi. Q -tushuvchi nurning energiyasi, Q_r -qaytuvchi nur energiyasi, Q_d -o'tuvchi nur energiyasi, Q_a -yutiluvchi nur energiyasi.

Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra balans tenglamasini tuzamiz;

$$Q = Q_r + Q_a + Q_d \quad (1)$$

(1) o'ng va chap tarafini Q ga bo'lsak

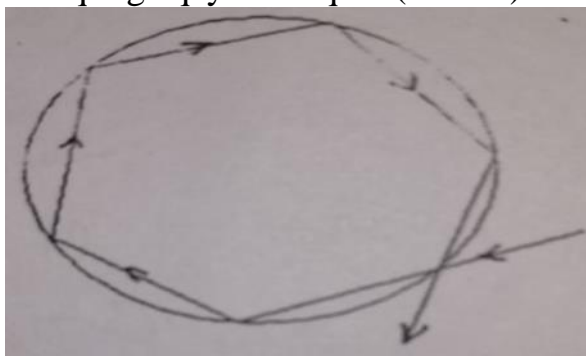
$$\frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_a}{Q} + \frac{Q_d}{Q} = r + a + d = 1 \quad (2)$$

ifodani hosil qilamiz. r , a , d -kattaliklar, nurning qancha qismi qaytishini, o'tishini va yutilishini ifoda qiladi. Bunda uch hol bo'lishi mumkin:

- 1) $r=0$; $d=0$; $a=1$ - ideal absolyut qora jismda nurlanish to'liq yutiladi;
- 2) $r=1$; $d=0$; $a=0$ - ideal absolyut oq jismda nurlanish to'liq qaytadi;
- 3) $r=0$; $d=1$; $a=0$ - ideal absolyut toza jismda nurlanish to'liq o'tadi.

Bunday ideal qora va oq toza jism tabiatda bo'lmaydi. Ideal qora jismni sun'iy usulda maxsus optik sistemalar yordamida hosil qilish mumkin. Agarda Q issiqlik energiyasiga ega bo'lgan nur, maxsus ichkarisi qoraytirilgan kameraga kiritilsa,

nurning ko'pgina qismi yutiladi. Juda ko'p qaytish natijasida dastlabki nurga nisbatan juda kam miqdordagi nur tashqariga qaytib chiqadi (2-rasm).



2-rasm. Ideal qora jism sxemasi.

Lambert qonuni.

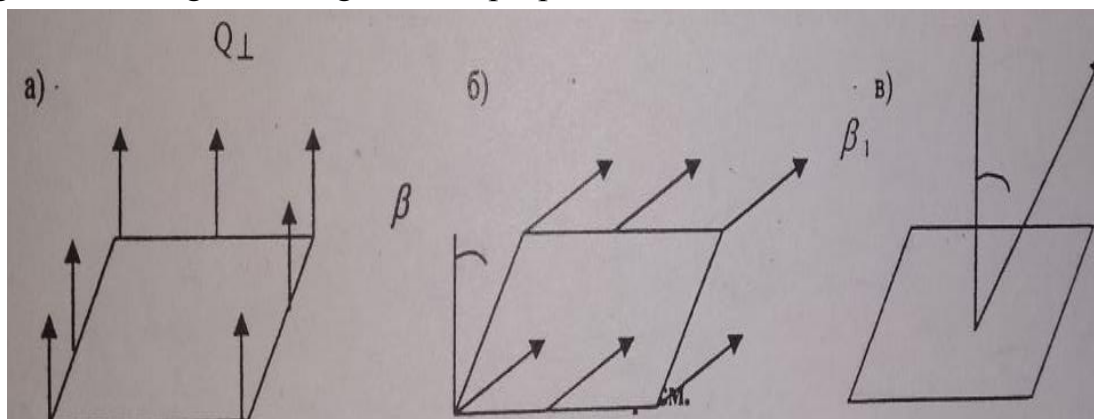
Yassi sirtlarning nurlanishini o'rganish natijasida, yassi sirtning nurlanish energiyasi normal yo'nalishidan og'irilganda, normal qiymatga nisbatan kosinus burchakka kamayganligi aniqlandi.

$$Q_{\beta} = Q_{\perp} \cos \beta \quad (3)$$

Agar nurlanuvchi element yuzasi dF_1 ga teng deb qaralsa, unda

$$dQ_{\beta} = E_{\perp} dF_1 \cos \beta_1 \quad (4)$$

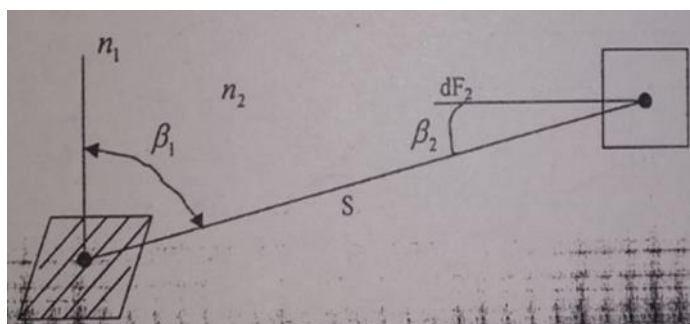
bu yerda E_{\perp} - normal yo'nalishda birlik yuzadagi nurlanishning energiyasi. $dF_1 \cos \beta_1$ esa yo'nalish sirtining proektsiyasini ifoda qiladi, normal yo'nalishdan β_1 burchakka og'gan. dF_1 yuzali ideal qora jism elementining dF_2 yuzali ikkinchi qora jism vaqtida nurlanish qanday energiya almashinishini aniqlaylik. Lambert qonuniga asosan bu energiya dF_1 , proektsiyasiga to'g'ri proporsional, dF_2 ning ko'rinuvchi yuzasiga to'g'ri proporsional va bu ikki sirt orasidagi masofaning kvadratiga teskari proporsional bo'ladi:



3-rasm. Og'ma sirtlar sxemasi.

$$dQ = E_{0\perp} \frac{dF_1 \cos \beta_1 dF_2 \cos \beta_2}{s^2} \quad (5)$$

dF_1 elementar ideal qora jism sirti yuzasidani dF_2 elementar yuzaga energiya miqdori uzatiladi. dF_1 yuza yarimsferaga kirishda bo'lgan hol uchun uni tadbiq qilaylik. Sferaning radiusi r ga teng bo'lgan hol uchun, n normal bilan qutub vaziyati β_1 burchak hosil qilinganda quyidagi ko'rinishda bo'ladi.



5-rasm. dF_1 elementning dF_2 yo'nalishdagi elementga nurlanishi (5) tenglamani ko'rinishini esa o'z navbatida

$$dQ = E_{0\perp} \frac{dF_1 \cos \beta_1 2\pi r^2 dF_2 \cos \beta_2}{r^2}, \quad (6)$$

bo'ladi. Shunga o'xshash

$$\frac{dQ}{dF_1} = dq = E_{0\perp} 2\pi \sin \beta_1 \cos \beta_1 d\beta_1 \quad (7)$$

$2\sin \beta_1 \cos \beta_1 q \sin 2\beta_1$ tengligidan

$$dq = E_{0\perp} 2\pi \frac{\sin 2\beta_1}{2} d\beta_1 \quad (8)$$

Agar hamma yarim sferaning dF_1 yuzaga berayotgan energiyasini hisoblasak $\beta_1 = 0$ dan $\beta_2 = \frac{\pi}{2}$ gacha o'zgaradi.

$$q = \pi E_{0\perp} \sin^2 \beta; \beta_1 = 0, \beta_2 = \frac{\pi}{2}$$

$$q = \pi E_{0\perp}.$$

Yer sirtiga quyoshdan kelayotgan radiatsiya taqsimlanadi: bir qismi yrdan atmosferaga qaytadi, uning qisqa to'lqinli qaytgan radiatsiyasini R deb belgilaylik, qolgan qismi yer yuzida yutiladi va uni V_q qisqa to'lqinli yutilgan radiatsiya deb qaraylik. Qaytgan radiatsiya miqdori yerning aktiv yuzasining xossalriga bog'liq (rangiga, namligiga, tuzilishiga va boshqalarga) bog'liq bo'ladi. Yuzani qaytaruchanlik xossasini xarakterlaydigan kattalikka sirtning albedosi A deb ataladi va u biror sirtidan qaytgan radiatsiyaning shu sirtga tushuvchi yig'indi radiatsiyasiga nisbati orqali ifodalanadi va foizlarda baholanadi.

$$A = \frac{R}{q} \cdot 100\%; \quad (9)$$

Qisqa to'lqinli nurlar bilan bir qatorda, er sirtiga uzun to'lqinli nurlar atmosferadan E_a ham tushadi. Ko'pincha E_a ni uchrashuvchi nurlanish deb ham ataladi. O'z navbvtida yer sirti ham temperaturaga mos holda uzun to'lqinli nurlanish E_3 (xususiy nurlanish) chiqaradi.

Yer sirtining xususiy nurlanish bilan E_3 , atmosferadagi E_a nurlanishning farqini effektiv nurlanish deb ataladi.

Istalgan vaqtda Yer sirtiga keluvchi va undan chiqib ketuvchi nurlanish energiyasi bo'ladi. Ularning algebraik yig'indisi radiatsion balans deb ataladi.

$$B = B^1 + D = E_a - R - E_a \quad (10)$$

yoki

$$B = Q - R - E_{eff} \quad (11)$$

Yer sirtining istalgan joyidagi albedosi shu joyning tekis-tekismasligiga, o'simliklar bilan qoplanish darajasiga va boshqa xossalriga bog'liq bo'ladi. Yer

sirtining turli ko'rinishlari uchun albedoning qiymatiga oid kattaliklar quyida keltirilgan.

1-jadval. Tabiiy sirtlarning xarakteristikasi.

№	Sirt xarakteristikasi	A %
Tuproqlar		
1.	Taqir tuproq (quruq)	30-33
2.	Quruq taqir tuproqda, cho'l o'simlik bo'lganda	36-30
3.	Quruq sho'r tuproq	25-35
4.	Qora rangli (quruq)	30-35
5.	Qizil qum rangli (quruq)	22-26
6.	Botqoqlik tuproq	12-14
Qor sirti va muzliklar		
7.	Yangi yog'gan qor	85-90
8.	Toza nam qor	50-55
Suvlar		
9.	Toza suv	6-8
10.	Orol dengizi suvi	6-8
11.	Tog' daryosi suvi	20
12.	Tinch oqayotgan daryo suvi	10
13.	Paxtaning gullagan davrida, tuproq nam	13-15
14.	Paxtaning gullagan davrida, tuproq quruq	18-20
15.	Paxta gullash davrida, tuproq quruq	19-21
16.	Bahorgi kartoshka, tuproq nam	14-18
17.	Kartoshka, tuproq quruq	18-22
18.	Qovun yashil, hosili bilan	15-17
19.	Yashil o't	26
20.	Qurigan o't	19
Qurilish materiallari		
21.	Beton	30-35
22.	Asfalt	10-30
23.	G'isht	28

Shuni aytish kerakki, albedoning kattaligi Quyoshning balandligiga ham bog'liq. Quyosh balandligi kamayishi bilan tuproq, suv sirtining albedosi oshib ketadi. To'g'ri quyosh radiatsiyasi uchun balandligi katta katta bo'lganda dengiz suvining tekis sirti uchun albedo 4 foizga yaqin, quyosh balandligi 4° ga teng bo'lganda esa albedo 65 foizga etadi. Suv yuzining tiniq-loyqaligi ham albedoning qiymatini o'zgartirib yuboradi. Sochilgan radiatsiya uchun suv sirtining albedosi 5-10 foiz chamasida o'zgaradi. Shunday qilib, er sirtiga tushayotgan yig'indi quyosh radiatsiyasining

$$Q = (S \sin h_{\theta} + D) \quad (12)$$

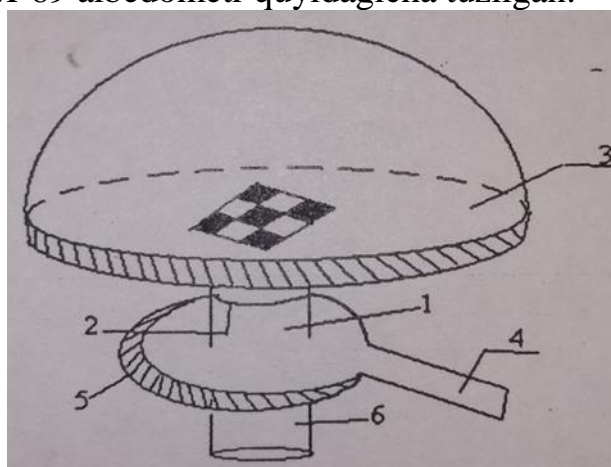
$$R = A(S \sin h_{\theta} + D) \quad (13)$$

qismi qaytadi.

$$Q_{yutil} = (S \sin h_{\theta} + D) \cdot (1 - A) \quad (14)$$

qismi esa yutilib tuproqning ustki qismini qizdirishga sarf bo'ladi. Bu radiatsiyani *yutilgan radiatsiya* deb yuritiladi. Al'bedometrning qabul qiluvchisi 3 piranometrning qopqog'i hisoblanadi, 2 quvurga 6 quvur burab kardonli osma 5 va 4 ushlagich yordamida 180° burchakka o'zgartirish mumkin. Kuzatuvchidan qaytgan nurni kamaytirish uchun 2 metr yog'och dasta ushlagichga o'rnatiladi. Albedometr yumshoq sim yordamida GSA-1 galvanometrning (Q) va S klemmlariga ulanadi. Agar galvanometr strelkasi noldan pastga tomon ketsa, simning o'rinlari almashtiriladi. O'lchash vaqtida albedometr yer yuzasidan 1-1,5 m balandlikka o'rnatiladi. Yig'indi va tarqoq radiatsiyani o'lchashda albedometr quyoshga tomon buriladi.

Asbobning tavsifi M-69 albedometr quyidagicha tuzilgan:



6-rasm. M-69 albedometrning tuzilishi. 1-rezinkali tiqin, 2-quvur, 3-piranometr qopqog'i, 4-ushlagich, 5-kardonli osma, 6-quvur.

Ishni bajarish tartibi

1. O'lchashdan 3 minut avval galvanometrning nol vaziyati aniqlanadi. Albedometrning kopqog'i berkitiladi va galvanometr ko'rsatishi N_0^1 yozib olinadi. Albedometr yuqoriga qaragan holda bo'lib, N_1, N_2, N_3 bo'lsin.

2. Uch marta o'lchash olingandan so'ng, qabul qiluvchi qurilma pastga buriladi va 1 minut o'tgandan so'ng, uchta o'lchash olinadi, bunda qaytgan radiatsiyaning qiymatlari N_4, N_5, N_6 o'lchanadi.

3. Shundan so'ng quyosh radiatsiyasi qabul qiluvchi qurilma buralib yuqoriga qaratiladi va 1 minut vaqtdan so'ng yana uchta yig'indi radiatsiya o'lchanadi N_7, N_8, N_9 .

4. Shundan keyin qabul qiluvchi qurilma qopqog'i bilan berkitiladi va galvanometrning N_0^{11} nol holat hisobga olinadi. Hamma olingan natijalar 2-jadvalga kiritiladi.

2-jadval.

Albedometr №

Galvanometr №

Vaqt	Hisoblash tartibi	Galvanometrdan olingan hisob		
		Nol holati	Yig'indi radiatsiya	Qaytgan radiatsiya

O'lchash natijalarini qaytv ishlash

1. Dastlabki no vaziyat va har bir turdagi radiatsiya uchun \bar{N}_0 , \bar{N}_a , \bar{N}_{Rk} o'rtacha qiymati aniqlanadi:

$$\bar{N}_0 = \frac{N_0^1 + N_0^{11}}{2}; \quad \bar{N}_a = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_6}{6}; \quad \bar{N}_{Rk} = \frac{N_4 + N_5 + N_6}{3}$$

2. Shundan so'ng o'rtacha qiymatdan foydalanib, shkalaning qo'shimchasi ΔN_Q va ΔN_{Rk} qurilma guvohnomasidan olinadi. N_0 holat aniqlanadi va N_a , N_{Rk} ning to'g'irlangan qiymati:

$$N_Q = N_Q \pm \Delta N_Q - N_0; \quad N_{Rk} = \bar{N}_{Rk} \pm \Delta N_{Rk} - N_0.$$

3. Bizga ma'lumki, al'bedo qaytgan radiatsiyaning yig'indisi radiatsiyaga nisbatiga teng bo'lganligi uchun

$$A = \frac{N_{Rk}}{N_Q} \cdot 100\%$$

shaklda yozish mumkin. O'qituvchining ko'rsatmasi, asosida haydalgan toza tuproq, o'simligi bo'lgan tuproq, suv va asfaltning albedosi aniqlanadi. Shundan so'ng hisobot tayyorlanadi.

Muhokama uchun savollar

1. Albedo nima?
2. Albedometr va aktinometrlar orasida qanday farq bor?
3. Albedoning Quyosh balandligiga bog'liqligi qanday aniqlanadi?
4. Ish to'g'risida tushuncha bering?
5. Albedoni o'lchashni ahamiyati nimada?

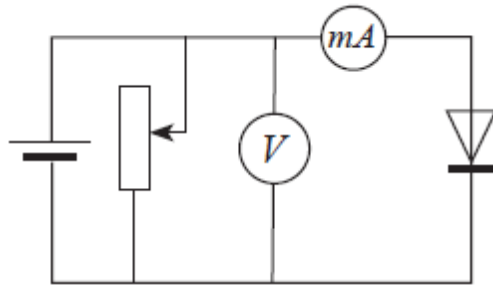
Adabiyotlar ro'yxati

1. M.D.Pavlova. "Praktikum po agrometeorologii", A, Gidrometeoizdat. Leningrad, 1984, 183s
2. Sh.K. Niyazov, A.Abdullaev. Maxsus kurs "Quyosh energiyasidan foydalanishning fizik asoslari" GDU Guliston. 1995. 48 b
3. Vayenberg V.B, "Optika i ustanovkax dlya ispozovaniya solnechnoy energii". Obrongaz. 1959.
4. Spravochnik po klimatu.... Vipusk 19. Solnechnoya radiatsiya, radiatsionno'y balans i solnechnoe siyanie. Gidrometeoizdat. Leningrad. 1966. 75s.

3-laboratoriya mashg'uloti: Yarim o'tkazgichlarning volt-amper xarakteristikasini o'rganish

Ishning maqsadi. Yarim otkazgichli dioddan o'tuvchi tok kuchining qo'yilgan kuchlanishga bog'liqligini o'rganish.

Kerakli asboblari: 1) yarimo'tkazgichli diod (kolodkada); 2) o'zgarmas tok manbai (36–42 V); 3) uzib-ulagich; 4) o'tkazgich simlari; 5) milliampermetr; 6) reostat; 7) vol'tmetr.



2.4-rasm.

Ishning bajarilishi

1. Kerakli asboblarni to'plab, 2.4-rasmdagi chizma bo'yicha elektr zanjiri yig'iladi.

2. Reostat jildirgichini surib chiqishda 0 V bo'ladigan holatga qo'yiladi.

3. Uzib-ulagich ulanadi.

4. Reostat jildirgichni surib, tashqi zanjirga beriladigan kuchlanish ortirib boriladi.

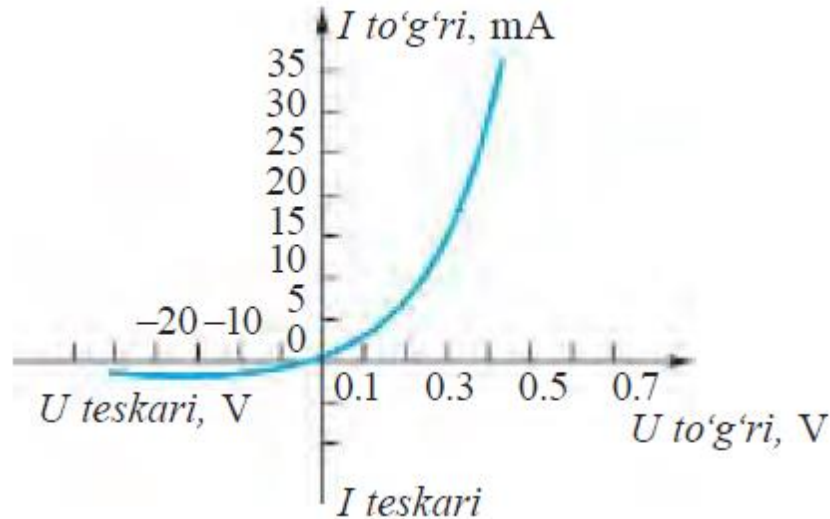
Voltmetr va ampermetr ko'rsatishlari yozib boriladi.

5. O'lchash natijalari quyidagi jadvalga kiritiladi.

U, V							
I, A							

6. Tok manbaining qutublari almashtirib ulanadi va tajriba takrorlanadi.

7. Natijalarga muvofiq yarim o'tkazgichli dioddan o'tuvchi tok kuchining qo'yilgan kuchlanishga bog'liqlik grafigi chiziladi.



2.5-rasm.

8. Yarim o'tkazgichli dioddan to'g'ri p-n o'tish va teskari p-n o'tish yo'nalishida o'tadigan tok kuchining qo'yilgan kuchlanishga bog'liqligi 2.5-rasmdagi grafikda keltirilgan.

Diodga teskari yo'nalishdagi kuchlanish qo'yilganda diodning pasportida yozilgan qiymatdan katta kuchlanishni qo'yish mumkin emas.

5-laboratoriya mashg'uloti: Quyosh elementlarni parallel va kema-ket ulash. Quyosh elementlarini VAX

I oraliq nazorat savollari (ma'ruza)

1-vaiant

1. Fotovoltakning fizik asoslari fanining asosiy tushuncha va qonunlari.
2. Yarimo'tkazgichlar ning materiallari
3. Ideal diod tenglamasi

2-vaiant

1. Quyosh energiyasi
2. Yarimo'tkazgichlar fizikasi
3. p-n- o'tish. Yarim o'tkazgichlarda zaryad tashuvchilar harakati

3-vaiant

1. Quyosh nurining xususiyatlari
2. Yarimo'tkazgichlar fizikasining asosiy tushunchalari
3. Diod krishmasi va diod teng'lamasi

4-vaiant

1. Quyosh nurining xossalari
2. Energetik zonalar diagrammasi
3. Quyosh fotoelementlari

5-vaiant

1. Foton energiyasi
2. Taqiqlangan zona
3. Fotoelement parametrlari

6-vaiant

1. Spektral nurlanishlar
2. Generatsiya va rekombinatsiya
3. Ideal quyosh elementlari

I oraliq nazorat savollari (laboratoriya va seminar mashg'ulari)

1-vaiant

1. Quyosh elementlari
2. Fotovoltaik effekt.
3. Quyosh energetikasi sohasida nanotexnologiyalarning o'rni

2-vaiant

1. Quyosh elementlari va batareyalarining samaradorligi, kamchiliklari va istiqbollari.
2. Optik va rekombinatsion yo'qotishlar
3. Quyosh elektr stantsiyalari.

3-vaiant

1. Quyosh elementlarida yarimutkazgichlar va dielektrlarning qo'llanilishi: yutuqlari va kamchiliklari
2. O'zbekistonning o'uziga xos iqdimi va uni quyosh batareyalarida qo'llashdagi ahamiyati
3. Zaryad tashuvchilarni jamlash. Jamlarsh koeffitsenti

4-vaiant

1. Quyosh nurining xossalari
2. Energetik zonalar diagrammasi
3. Quyosh fotoelementlari

5-vaiant

1. Foton energiyasi
2. Taqiqlangan zona
3. Fotoelement parametrlari

6-vaiant

1. Spektral nurlanishlar
2. Generatsiya va rekombinatsiya
3. Ideal quyosh elementlari

Yarimo'tkazgichli fotoelektrik o'zgartgichlar

Ma'lumki, har qanday mamlakatning rivojlanish darajasi birinchi navbatda uning energiya ishlab chiqarish imkoniyatlari va undan foydalanish darajasi bilan belgilanadi. Barcha mamlakatlarda aholi soni tez sur'atlar bilan oshib bormoqda, shu bilan birga uning energiyaga bo'lgan ehtiyojining yana ham kuchayishiga olib kelmoqda. XXI asrda kelib qazilma yonilg'ilar energiyasidan foydalanish muammolari yaqqol ko'zga tashlana boshlandi.

Hozirgi paytda ishlab chiqarilayotgan energiya asosan qayta tiklanmas qazilma boyliklar (neft, gaz, ko'mir va uran) energiyasi xisobiga xosil qilinmoqda. Ular dunyo energetika balansining asosi hisoblanadi. Ma'lumotlarga ko'ra hozir energiya ishlab chiqarishda ishlatilayotgan birlamchi xom ashyoning 33 % ni neft, 28 % ni ko'mir, 25 % ni tabiiy gaz tashkil etayotgan bo'lsa, 14 % ni atom, suv va boshqa tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanilgan holda hosil qilinadi.

Lekin, qazilma boyliklarining zahiralari cheklangan. Shu bilan birga izlab topish va foydalanishga topshirish xarajatlari tobora ortib bormoqda. Shu tufayli keyingi yillarda noan'anaviy muqobil yoki tiklanuvchi energiya manbalari (TEM) deb nom olgan energiya manbalaridan foydalanish ko'lamini va samaradorligini oshirish dolzarb muammoga aylanmoqda.

Insoniyat o'z faoliyatida eng ko'p ishlatadigan energiya – elektr energiyadir. Elektr energiyasi boshqa xildagi energiyalarga (issiqlik, atom, mexanik, kimyoviy, yorug'lik, suv oqimi) nisbatan oson usullar bilan xosil qilinadi va boshqa hil energiyalarga oson aylantirilish xossasiga ega. Uni turli masofalarga uzatish qulay. Ishlab chiqarishda elektr energiyasidan foydalanish mehnat unumdorligining oshishiga olib keldi, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va yangi uslublarni tatbiq etish imkoniyatini yaratadi. Hozirgi paytda jahonda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyaning 96 % qazilma yonilg'ilan hisobiga to'g'ri keladi. Tadqiqotlarning ko'rsatishicha, elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojning o'sishi hozirgi darajada saqlangan taqdirda ham uning bir necha o'n yildan so'ng yonilg'i tanqisligi ta'sir ko'rsata boshladi. Bu dolzarb muammo zahiralari kamayib borayotgan an'anaviy energiya manbalari o'rnini qoplash uchun muqobil energiya manbalarini o'zlashtirishni kun tartibiga qo'yimoqda.

Ikkinchidan energiya ishlab chiqarishda tabiiy yonilg'ilardan foydalanish ekotizimning buzilishiga olib kelmoqda. Bunda, birinchi navbatda, tabiiy yonilg'ilardan foydalanib ishlaydigan inshoot va qurilmalar yonilg'ining 55-60 % dan ortiq energiyani birinchi issiqlikga aylantirib ob-havoning isishiga, ish jarayonida hosil bo'layotgan zaharli chiqindilar atrof muhitning ifloslantirishiga olib kelmoqda. Bu masalalar echimini ijobiy hal qilish uchun hozirgi davrga kelib faqat ilmiy doiralardagina emas, shuningdek barcha rivojlangan davlatlar rahbarlari ham katta tashvish bildirib tegishli ishlarni amalga oshirmoqdalar.

2002 yil 26 avgustdan – 4 sentyabrgacha Yoxannesburgda (Janubiy Afrika) ko'plab davlatlarning rahbarlari, olimlari va mutaxassislari ishtirok etgan va barqaror taraqqiyotga bag'ishlangan xalqaro sammitda insonning tabiat bilan mutanosib xolda sog'lom va ijodiy hayot kechirishini ta'minlaydigan ustivor masalalar ko'rsatib berildi.

Tizimli tadqiqotlar asosida "kelajak energetikasi" andozasi yaratildi. Bunga ko'ra uzoq kelajakda ham zaxiralari tugamaydigan birlamchi energiya manbai bo'lib Quyosh energiyasi xisoblasa, ko'lami va imkoniyatlariga ko'ra ikkilamchi energiya vositalari bo'lib u elektr energiyasi va vodorod yuqori sifatli energiya manbalari hisoblanadi.

Vodorod ajratib olinishi va ishlatilishi jixatidan ancha texnikaviy murakkabliklarga ega. Bu borada elektr energiyasi beqiyos ustunliklarga ega. Shu sababli hozirgi paytda sanoatda elektr energiyasini ishlatishga asosiy o'rin

berilmoqda va uning bu ustunligi uzoq muddatlarga saqlanib qoladi deb aytish mumkin.

Quyosh energiyasini asosan ikki usul bilan o'zlashtirilmoqda. Birinchisi termodinamik usul bo'lib, bu usul quyosh energiyasini o'zlashtirish borasidagi dastlabki usullardan xisoblanadi va u ancha keng rivojlangan.

Ikkinchidan, fotoelektrik usul bo'lib, u quyosh energiyasini to'g'ridan to'g'ri elektr energiyasiga aylantirishdan iborat bo'lib, birinchisiga qaraganda ancha soddaligi, harakatlanuvchi qismlar bo'lmasligi, konstruktiv materiallar kam ishlatilishi, ko'chirib yurish qulayligi va ishga tushirish ososligi kabi jihatlari bilan farq qilib, hozirgi paytda katta e'tiborga sazovor bo'lmoqda. Termodinamik usulda quyoshning issiqlik energiyasidan foydalanish nazarda tutiladi. Bu usulda ishlovchi qurilmalarning samaradorligi ishchi jismlarning haroratiga bevosita bog'liq bo'lib, ba'zi hollarda $400^{\circ} - 500^{\circ} \text{ S}$ gacha qizdirish kerak bo'ladi. Buning uchun quyosh nurini to'plovchi murakkab tuzilishli qurilmalar (kontsentrator)dan foydalaniladi. Bu esa hosil qilingan energiyaning tannarxiga sezirarli ta'sir ko'rsatadi. Termodinamik o'zgartgichlar turli maqsadlarda ishlatilishi mumkin. Masalan, issiqlik bilan bog'liq texnologik jarayonlarni amalga oshirishda, turli mexanizmlarni harakatga keltirish, elektr generatori rotorini aylantirishi va h.k.

Fotoelektrik o'zgartgichlar esa quyosh nuri ta'sirida bevosita elektr energiyasi hosil qiluvchi generatorlar xisoblanadi. Keyingi yillarda ularning samaradorligini oshirish bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlari ancha kengaydi. Natijada fotoelektrik o'zgartgichlarning foydali ish ko'effitsienti termodinamik o'zgartgichlarnikiga yaqinlashib bormoqda.

Xo'sh, bunday xossaga ega bo'lgan fotoo'zgartgichlar qanday tuzilishga ega, ular qanday yasaladi va qanday moddalar ishlatiladi. Bu savollarga hozirgi paytda juda ko'pchilikni qiziqirmoqda. Hozirgi ko'pchilik davlatlarda energiya ishlab chiqarish va iste'mol qilishning tejamkor texnologiyasi ustida yirik bahslar kuchayib bormoqda. Bunday bahslarda gap albatta, energiya ishlab chiqarishning noan'anaviy usullardan biri, fotogeneratorlar to'g'risida so'z bo'lib o'tishi shubxasiz. Fotogeneratorlar to'g'risidagi munozaralar oddiy o'quvchidan tortib, to rahbar mutaxassislarni ham o'ziga chorlamoqda. Munozara ishtirokchilari yuqoridagi kabi turli savollar bilan olimlarga murojoat qilishadilar. Shu sababli ushbu risolada yarimo'tkazgichli fotoelektrik o'zgartgichlar to'g'risidagi ma'lumotlarni shunday savollar bo'yicha berishni ma'qul topdik.

1. Yarimo'tkazgich deganda nimani tushunasiz?

Qattiq jismlar elektr o'tkazuvchanligi jihatidan uch guruhga bo'linadi: **metallar**, **yarimo'tkazgichlar** va **dielektriklar** (izolatorlar). Metall elektr tokini eng yaxshi o'tkazuvchilar hisoblansa, dielektriklar elektr tokini deyarlik o'tkazmaydi. Metallarning o'tkazuvchanligi tashqi ta'sirlarga jumladan, haroratga juda kuchsiz bog'liq, amalda bog'liq emas deb qaraladi. Shu sababli ulardan tashqi ta'sirlarga sezgir asboblar kam yaratiladi.

Dielektriklar kundalik turmush sharoitida elektr o'tkazuvchanlikga ega emas va ular asosan izolatorlar sifatida ishlatiladi.

Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanlik jihatidan metallar va dielektrik moddalar oralig'idagi holatni egallaydi. Lekin, ular elektr o'tkazuvchanligi tashqi

ta'sirlarga (masalan, haroratga, yoritilganlikga, tarkibiga begona atomlar kiritilishiga) kuchli bog'liq. Masalan, ayrim yarimo'tkazgichlar xona haroratlarida elektr tokini juda yaxshi o'tkazsa, past haroratlarda juda yomon o'tkazadi, hatto dielektrik xossasini namoyon eta boshlaydi. Ularning bu xossasidan issiqlikga o'ta sezgir asboblari yaratilgan.

2. Qattiq jismlar elektr o'tkazuvchanligini nimalar xosil qiladi?

Kimyo fanidan ma'lumotga ega bo'lgan barchaga ma'lumki, qattiq jismlar o'zaro bog'langan va tartib bilan joylashgan atomlar to'plamidan iborat. Bu to'plam **kristall panjara** deb ataladi. Kristall panjarada atomlarning joylashishini tasavvur etish uchun qisqacha atom tuzilishini ko'rib chiqaylik. Kristaldagi har bir atom musbat va manfiy zaryadli zarralardan iborat. Musbat zaryadli zarralar atomning markazi yadrosida joylashgan. Yadro atrofida undagi zarralar soniga teng manfiy zaryadli zarrachalar – elektronlar ma'lum orbitalarda harakatlanib turishadi. Elektronlar orbitalar orasida ma'lum fizikaviy qonuniyatlar asosida taqsimlangan. Shuningdek, bu qonuniyatga ko'ra har bir elektron orbitada alohida energetik sathlarda harakatlana oladi. Bu sathlar elektronlar uchun **ruhsat etilgan sathlar** deb ataladi. Umuman olganda, har bir atom elektronlar uchun ruhsat etilgan va ruhsat etilmagan sathlardan iborat energetik sohalarga ajraladi. Pastki orbitadagi sohalarning ruhsat etilgan sathlari elektronlar bilan to'ldirilgan va ulardagi elektronlar yadro bilan kuchli bog'lanishga ega. Bu elektronlarni ajratib olish uchun katta energiya talab qilinadi. Elektronlar elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok etishi uchun ular energetik sohalarda erkin harakatlanish imkoniga ega bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda energetik sohada sathlar soni elektronlar sonidan ko'p bo'lishi kerak. Elektronlar bilan to'ldirilgan eng yuqori soha **valent soha** deb nomini olgan. Undagi ruhsat etilgan sathlar soni elektronlar soniga teng. Shu sababli bu sohada elektronlar ham o'tkazuvchanlikda ishtirok eta olmaydi.

Valent sohadan yuqorida **o'tkazuvchanlik sohasi** joylashgan. Bu sohada bo'sh sath ko'p va ularga o'tgan elektronlar elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok eta oladi. Ular **erkin elektronlar** deb ataladi. Qattiq jismlarning metallar, yarimo'tkazgichlar va dielektriklarga bo'linishi asosan ularda o'tkazuvchanlik va valent sohalarning o'zaro joylashishiga bog'liq.

Metallarda valent va o'tkazuvchanlik sohasining qo'shni chegaralari o'zaro qorishib ketgan. Shu sababli metallarning o'tkazuvchanlik sohasida hamma vaqt erkin elektronlar mavjud bo'ladi va binobarin metallar har qanday sharoitda elektr o'tkazuvchanlikga ega bo'ladi.

Yarimo'tkazgichlar va dielektrik moddalarda valent va o'tkazuvchanlik sohalari orasida elektronlar joylashishi mumkin bo'lmagan **tirqish** joylashgan. Bu tirqish elektronlar uchun **taqiqlangan soha** deyiladi. Taqiqlangan soha kengligi turli moddalar uchun turlicha. Bu soha kengligi 3 eV gacha bo'lgan moddalar yarimo'tkazgichlar hisoblanadi, 3,5 eV dan katta bo'lgan moddalar dielektriklar hisoblanadi.

Taqiqlangan sohaning kengligi turli yarimo'tkazgichlar uchun turlicha. Masalan, xona haroratida sof germaniy uchun 0,7 eV, kremniy uchun 1,1 eV, galliy arsenidi uchun 1,45 eV ga teng.

Yarimo'tkazgichlardagi bog'langan elektronlar turli tashqi ta'sirlar (issiqlik, yorug'lik va h.k.) tufayli o'z energiyasini taqiqlangan soha energiyasi qadar oshirib valent sohadan o'tkazuvchanlik sohasiga o'tib, elektr o'tkazuvchanlikda ishtirok eta oladi.

3. Yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligining metallar o'tkazuvchanligidan qanday farqlari bor?

Metallarda elektr o'tkazuvchanlikni o'tkazuvchanlik sohasidagi erkin elektronlarning tashqi ta'sir maydonidagi tartibli harakati hosil qiladi. Metallardagi erkin elektronlar sonini tashqi ta'sirlar bilan oshirishning iloji yo'q. Shu sababli tashqi ta'sirlar metallar elektr o'tkazuvchanligini deyarlik o'zgartira olmaydi. Masalan, metall o'tkazgich harorati oshirilsa, uning o'tkazuvchanligi kamayadi, qarshiligi oshadi. Bu hodisa maetalldagi erkin elektronlarning issiqliq ta'sirida energiyasi oshib, ularning ionlarga to'qnashishlari soni ortishi bilan izohlanadi. Yarimo'tkazgichlarda esa aksincha, harorat ortishi bilan erkin elektronlar soni ko'payib, o'tkazuvchanligi ortadi, qarshiligi kamayadi.

Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi metallarnikidan sifat jihatdan ham farq qiladi. Gap shundaki, yarimo'tkazgichda elektronlar tashqi ta'sir tufayli valent sohadan o'tkazuvchanlik sohasiga o'tganda uning o'rnida musbat zaryadli ion hosil bo'ladi. Bu musbat zaryadli bo'sh o'rin yarimo'tkazgichlar fizikasida "**kovak**" deb ataladi. Kovaklar kristallda bir atomdan ikkinchisiga ko'chib yurishi mumkin. Bu esa musbat zaryadning **erkin ko'chishi** deb ataladi. Tashqi elektr maydon ta'sirida kovaklar ham tartibli harakatga kelib, kovaklar elektr o'tkazuvchanligi xosil qiladi. Shunday qilib, yarimo'tkazgichlarda elektronli va kovakli o'tkazuvchanlik bo'ladi.

Erkin kovaklar soni ko'p bo'lgan yarimo'tkazgichlar **r-tur** yarimo'tkazgichlar, erkin elektronlar soni ko'p bo'lgan yarimo'tkazgichlar **n-tur** yarimo'tkazgichlar deb ataladi.

4. Yarimo'tkazgichlar o'tkazuvchanligini yana qanday usul bilan oshirish mumkin?

Yarimo'tkazgichlarning o'tkazuvchanligini ularga juda kam miqdorda begona atomlarni, ya'ni aralashma kiritish yo'li bilan oshirish mumkin. Bu aralashmaning turiga qarab, yarimo'tkazgich elektron yoki kovak o'tkazuvchanlikka ega bo'lib qoladi. Masalan, agar 4 valentli kremniy kristalliga 5 valentli aralashma (surma, fosfor, mishyak va b.) kiritilsa, ular yarimo'tkazgich kremniy atomi o'rnini egallab, 4 ta elektroni bilan qo'shni atomlarga bog'lanadi. Qolgan beshinchi elektroni hech qanday bog'lanishda ishtirok etmaydi va u erkin bo'lib qoladi. Shunday qilib, bu elektronlar hisobiga kristallda erkin elektronlarning soni keskin ortib ketadi, ya'ni kremniy elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lib qoladi. Yarimo'tkazgichda ortiqcha erkin elektronlarni hosil qiluvchi aralashma **donor** deb ataladi. Bunday yarimo'tkazgich esa **n-tur** yarimo'tkazgich deb ataladi.

Agar kremniy kristalliga 3 valentli aralashma (indiy, alyuminiy, galliy va b.) kiritilsa, kristallda bog'lanish to'la bo'lishi uchun bitta elektron etishmaydi va kristalldagi neytrallashmagan ion hisobiga bo'sh musbat o'rinlar - kovaklarning soni ortadi va kremniy kovakli o'tkazuvchanlikka ega bo'lib qoladi. Yarimo'tkazgichda ortiqcha erkin kovaklarni hosil qiluvchi aralashma **akseptor** deb ataladi. Bunday yarimo'tkazgich esa **r-tur** yarimo'tkazgich deb ataladi.

Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligini boshqa tashqi ta'sirlar bilan ham sezilarli darajada o'zgartirish mumkin. Masalan, sof yarimo'tkazgich qizdirilganda uning elektr o'tkazuvchanligi 20 martagacha ortishi mumkin. Absolyut nolga yaqin haroratlarda esa deyarlik barcha yarimo'tkazgich moddalar izolyatorlik xossasini namoyon qiladi.

Shunday qilib, yarimo'tkazgichlar elektr o'tkazuvchanligi jihatdan tarkibida begona moddalar (aralashmalar) bo'lishi yoki tashqi ta'sirlarga (haroratga, elektr va magnit maydon va h.k.) bog'liq moddalar hisoblanar ekan.

5. Yarimo'tkazgich kristalli qanday hosil qilinadi?

Yarimo'tkazgichli asboblar ishlab chiqarishda yarimo'tkazgichlarning monokristallaridan foydalaniladi. Monokristall deb, kristall tuzilishida nuqsonlari bo'lmagan, alohida atomlar hosil qilgan kristallik jismlarga aytiladi. Lekin tabiatda sof xoldagi yarimo'tkazgich kristalli mavjud emas. Ular turli moddalarning birikmalari – minerallar tarkibida uchraydi. Sof monokristall xosil qilish murakkab texnologik jarayon xisoblanadi. Ularning minerallari parchalanib, tarkiblovchi moddalardan turli usullar bilan ajratib olish yo'li bilan tozalanadi. Ayrim moddalar bir necha qayta ishlavlardan so'ng sof xolda hosil bo'lsa, boshqalari uchun juda murakkab usullar talab qilinadi. Bunda ekologik jihatdan havfli mahsulotlar ajralishi yoki ishlatilishi mumkin. Moddalarni saralash jarayoni ko'p miqdordagi energiya sarflanishi bilan bog'liq bo'ladi. Masalan, hozirgi zamon elektronikasining asosiy moddasi bo'lgan kremniyning kristallarini hosil qilish shunday murakkab jarayonlar bilan amalga oshiriladi. Garchi, kremniyning Er sharoitidagi ulushi 29,5 % ni tashkil etadi. Shu sababli kremniydan (umuman, yarimo'tkazgich moddalardan) yasalgan asboblar tannarxi hozirgi paytda ancha qimmat. Olimlar yarimo'tkazgich moddalarni xosil qilishning arzon, shu bilan birga ekologik jihatdan xavfsiz bo'lgan texnologik usullarini topish ustida tinimsiz tadqiqot ishlari olib bormoqdalar. Jumladan, ushbu risola mualliflari ishtirokida polikristall kremniyning quyosh energiyasidan foydalanib o'stirish usuli taklif etilgan. Bu usul ekologik jihatdan sof va tejamkor usul hisoblanadi. Lekin, ayrim texnik murakkabliklar tufayli bu usul polikristall kremniy ishlab chiqarishda o'z o'rnini topgani yo'q.

6. Sof yarimo'tkazgich qanday xossalarga ega?

Sof yarimo'tkazgich deganda tarkibida begona moddalarning atomlari bo'lmagan yoki juda kam miqdorda bo'lgan yarimo'tkazgich modda kristallari tushiniladi. Sof yarimo'tkazgichda erkin elektron va kovaklar soni juda kam (lekin ular o'zaro teng). Bunday yarimo'tkazgich xususiy yarimo'tkazgich deb ataladi. Xususiy yarimo'tkazgich elektr tokini yomon o'tkazadi.

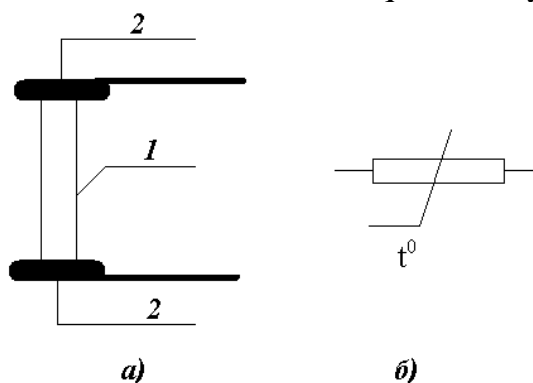
Sof monokristallarda aralashmalar kontsentratsiyasi juda kam bo'ladi. Masalan, aralashmalar kontsentratsiyasi germaniyda 10^{10} sm^{-3} dan, kremniyda 10^{13} sm^{-3} dan kam bo'lgandan ular xususiy hisoblanadi. Xususiy yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi juda kichik bo'ladi va bu o'tkazuvchanlikning tashqi ta'sirlar (masalan, harorat) tufayli o'zgarishi ham juda kichik bo'ladi. Shu sababli, yarimo'tkazgichli asboblar ishlab chiqarishda xususiy yarimo'tkazgichlar juda kam ishlatiladi.

7. Yarimo'tkazgichga nechta aralashma kiritiladi.

Yarimo'tkazgichlardan elektron asboblarda yaratishda legirlangan r- yoki n-xildagi monokristallardan foydalaniladi. Yarimo'tkazgichli asbobning qanday maqsadda ishlatilishiga qarab turli darajada legirlangan kristalldan foydalaniladi va odatdagi yarimo'tkazgichli elektron asboblarda yaratishda ishlatilgan yarimo'tkazgich kristallarda aralashmalar miqdori 10^{15} dan 10^{19} sm^{-3} gacha etadi.

8. Yarimo'tkazgichlardan qanday elektron asboblarda tayyorlanadi?

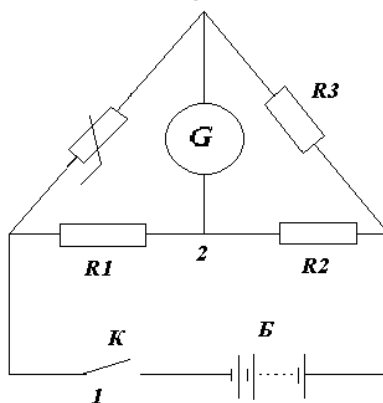
Yarimo'tkazgichlarning xossalari asoslanib yaratilgan eng birinchi elektron asbob – bu termorezistor (termoqarshilik) hisoblanadi. Termorezistor qarshiligi harorat ortishi bilan tez kamayadi. Uning asosida temperaturani o'lchaydigan asboblarda yaratilgan. Termorezistorlar past haroratlarda ham, yuqori haroratlarda ham, shuningdek turli agressiv muhitlarda ham benuqson ishlay oladi.



1-rasm. Termoqarshilik konstruktsiyasi va sxemalardagi belgisi.

1-rasmida termoqarshilikning konstruktsiyasi va uning sxemadagi belgisi ko'rsatilgan. Uning asosiy qismi – issiqlikka sezgir elementi yarimo'tkazgichlik xossasiga ega bo'lgan selen Mn_3O_4 va SuO aralashmalari yoki germaniy, kremniy singari elementlar hisoblanadi. Odatdagi termorezistorlar tsilindr shaklidagi issiqlikka sezgir yarimo'tkazgich material (1) va unga ulangan metall elektrodli kontakt qalpoqchalardan (2) tuzilgan. Termoqarshilik elektrodlar yordamida elektr zanjiriga ulanadi.

Termoqarshiliklar kichik o'lchamli, tayyorlanishi oson, issiqlik o'tkazishiga kuchli sezgirligi kabi xossalari bilan issiqlikni o'lchaydigan boshqa asboblardan farq qiladi. Ular bilan temperaturani uzoqdan va markazda turib katta aniqlikda o'lchash mumkin. 2-rasmida temperaturani uzoqdan va markazdan turib o'lchovchi termoqarshilikli asbobning sxemasi ko'rsatilgan.

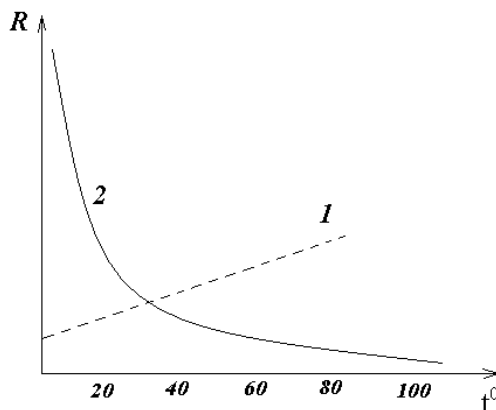


2-rasm. Termoqarshilikni o'lchaydigan termistorli o'lchov asbobining elektrik sxemasi.

Dastlab 1 kalit bilan sxema elektr manbaiga ulanadi. 2-surgich R_1 , R_2 , R_3 qarshiliklar yordamida galvonometr shkalasi nolga so'ngra termoqarshilik temperaturasi o'lchanadigan muhitga joylanadi. O'lchanayotgan temperaturani bevosita kuzatish uchun galvanometr shkalasi tselsiy gradusida darajalanadi. Termistor solishtirma qarshiligi kata bo'lgan materialdan qilingani uchun zanjirdagi tok asosan termistorning qarshiligi kattaligiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun ulovchi simlarning qarshiligini va uning temperaturaga qarab o'zgarishini hisobga olmasa ham bo'ladi. Bu esa o'lchov asbobidan yuz metr masofada joylashgan obektlarning temperaturasini etarlicha aniqlikda o'lchash mumkin.

Temperaturani o'lchashning bunday usuli sodda va ishonchli bo'lishi bilan birga insonning kirishi mumkin bo'lmagan (zaharlovchi moddalar, nurlanishlar, yuqori harorat va h.k.) joylardagi temperaturani o'lchash imkonini beradi.

3-rasmda termistor va metall o'tkazgich qarshiligining temperaturaga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, metallar va yarimo'tkazgichlar qarshiligining temperaturaga bog'liqligi bir-biridan katta farq qiladi.



3-rasm. Metall va yarimo'tkazgich qarshiligining temperaturaga bog'liqlik grafigi, 1-metall, 2-yarimo'tkazgich.

Temperatura ortishi bilan metall qarshiligi biroz ortadi, yarimo'tkazgichlar qarshiligi esa keskin kamayib ketadi. Bu holda temperatura ortishi bilan yarimo'tkazgich hajmidagi erkin zaryadlar konsentratsiyasi keskin ortib ketishi bilan tushuntiriladi.