



Dependence of photoelectric parameters of a simple and solar element based on silicon nanoparticles on illumination angle of light.

Jasurbek GULOMOV¹, Rayimjon ALIEV², Avazbek MIRZAALIMOV³, Murodjon ABDUVOXIDOV⁴, Jamshidbek KAKHKHOROVI⁵, Navruzbek MIRZAALIMOV⁶, Bobur RASHIDOV⁷, Jahongir ZIYOITDINOV⁸, Sodikjon TEMIROV⁹, Abduhalil ERALIEV¹⁰, Khurmatillo IZZATILLAIEV¹¹

Andijan state university

ARTICLE INFO

Article history:

Received January 2021
Received in revised form
15 January 2021
Accepted 20 January 2021
Available online
01 February 2021

Keywords:

Solar cells
Sentaurus TCAD
Silicon
Photoelectric parameters
Modeling.

ABSTRACT

There are many types of solar cells. The most common of these is the silicon-based solar cell. To increase the efficiency of a silicon-based solar cell, it is advisable to study its properties in more detail. Because silicon is one of the most common elements in the world. In this article, the effect of nanoparticles on the opto-electrical properties of a silicon-based solar cell was studied. We know that the photoelectric parameters of a solar cell change as the angle of incidence light changes. In this article, the effect of the angle of incidence of light on the photoelectric parameters of simple and nanoparticle introduced silicon-based solar cells is studied.

2181-1415/© 2021 in Science LLC.

This is an open access article under the Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

¹ Bachelor student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

² D.Sc. professor, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

³ PhD student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

⁴ PhD student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

⁵ PhD student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

⁶ PhD student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

⁷ PhD student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

⁸ PhD student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

⁹ Master student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

¹⁰ Master student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

¹¹ Master student, Andijan state university, Andijan, Uzbekistan

Oddiy va nanozarracha kiritilgan kremniy asosli quyosh elementining fotoelektrik parametrlarini yorug'likning tushish burchagiga bog'liqligi

Kalit so'zlar:

Quyosh elementi
Sentaurus TCAD
Kremniy
Fotoelektrik parametrlar
Modellashtirish.

ANNOTATSIYA

Quyosh elementlarini turlari juda ko'p. Ular ichida eng keng tarqalgani kremniy asosli quyosh elementidir. Kremniy asosli quyosh elementini foydali ish koeffitsientini orttirish, uning xususiyatlarini to'liqroq o'rganish maqsadga muvofiq. Chunki kremniy dunyoda eng keng tarqalgan elementlardan biri. Ushbu ishda kremniy asosli quyosh elementini opto-elektrik xususiyatlariga nanozarrachalarining ta'sirini o'rganilgan. Bilamiz, yorug'lik tushish burchagi o'zgarishi bilan quyosh elementining fotoelektrik parametrlari o'zgaradi. Ushbu maqolada, oddiy va nanozarracha kiritilgan kremniy asosli quyosh elementlarining fotoelektrik parametrlariga yorug'lik tushish burchagining ta'siri o'rganilgan.

Зависимость фотоэлектрических параметров простого и солнечного элемента на основе наночастиц кремния от освещения угол света

Ключевые слова:

Солнечные элементы
Sentaurus TCAD
Кремний
Фотоэлектрические
параметры
Моделирование

АННОТАЦИЯ

Есть много типов солнечных батарей. Самым распространенным из них является солнечный элемент на основе кремния. Чтобы повысить эффективность кремниевого солнечного элемента, желательно более подробно изучить его свойства. Потому что кремний - один из самых распространенных элементов в мире. В этой статье изучалось влияние наночастиц на опто-электрические свойства кремниевого солнечного элемента. Мы знаем, что фотоэлектрические параметры солнечного элемента меняются при изменении угла падения света. В данной статье исследуется влияние угла падения света на фотоэлектрические параметры простых солнечных элементов на основе кремния и наночастиц.

KIRISH

Hozirgi kunda eng dolzarb bo'lgan mavzulardan biri bu qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish ko'lamini orttirish va ularni takomillashtirishdir. Qayta tiklanuvchi energiya manbaalari turlari va ulardan foydalanish maqsadlari kundan-kunga ko'payib bormoqda [1]. Ulardan eng keng foydalanilayotgani quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishdir. Bunda asosan quyosh elementlaridan foydalanilmoqda. Quyosh elementlaridan foydalanish istiqbollidir. Chunki ularning tannarxi yildan-yilga tushib bormoqda [2]. Hamda foydali ish koeffitsienti ortib bormoqda. Sanoatda ishlab chiqarilayotgan quyosh elementlarining 97% ni kremniy asosli quyosh elementlari tashkil

qiladi. Bunga sabab kremniy yer yuzida eng ko'p tarqalgan yarimo'tkazgich elementdir [3]. Yuqori foydali ish ko'effitsientga ega quyosh elementlari ham mavjud, lekin ularga ishlatilayotgan elementlarning aksariyati kamyob va narxi qimmat. Shuning uchun, biz kremniy asosli quyosh elementlarini chuqurroq o'rganib takomillashtirishimiz kerak. Quyosh elementida asosan 3 ta yo'qotilish mavjud. Bular optik, rekombinatsion va termik. Ushbu yo'qotilishlar kremniy asosli quyosh elementining nazariy jihatdan maksimal foydali ish ko'effitsienti 29 % dan oshmasligiga sabab bo'ladi [4]. Quyosh elementlarini optik hususiyatlarini yaxshilash uchun teksturalar hosil qilish [5] va optik qatlamlar bilan qoplash [6] metodikalari ishlab chiqildi. Rekombinatsiyani kamaytirish uchun, quyosh elementining yuqori va pastki qismiga passivlashtiruvchi qatlamlar qo'yilmoqda [7]. Termik ko'effitsientini yaxshilash ya'ni quyosh elementini qizib ketishini oldini olish uchun orqa kontakti to'r ko'rinishda olish taklif qilinmoqda. Bilamizki, quyosh elementi ichiga nanozarracha kiritilganda uning hususiyatlariga ta'sir qiladi [8-10]. Shu o'rinda savol paydo bo'ladi. Quyosh elementiga qanday materialdagi va o'lchamdagi nanozarrachalar kiritilishi kerak? Oddiy va nanozarracha kiritilgan quyosh elementining asosiy fototelektrik parametrlari qanday farq qiladi? Bilamiz, quyosh bir joyda turmaydi. U kunga va soatga qarab o'zining fazoviy joyini o'zgartiradi. Bu esa quyosh elementi yoki paneliga tushayotgan nurning tushish burchagi o'zgaradi. Shuning uchun ham ushbu maqolada nanozarracha kiritilgan va oddiy quyosh elementining asosiy fotoelektrik parametrlarini yorug'lik nurini tushish burchagiga bog'liqlilgi modellashtirish orqali o'rganildi va yuqoridagi savollarga ham javoblar topildi.

Quyosh elementlarini o'rganish va uni tadqiq qilish albatta asosiy fotoelektrik parametrlarni o'lchash bilan boshlanadi. Biz ham o'z tadqiqotlarimiz davomida quyosh elementini va panelini volt-amper xarakteristikasini o'lchashga xarakat qilganmiz. Quyosh elementi va paneliga tushayotgan yorug'likning tushish burchagini quydagicha aniqlaymiz. Birinchi, vaqt va koordinataga qarab quyoshni joylashgan o'rni topiladi. Ikkinchi, quyoshni joylashgan o'rniga qarab tushish burchagi aniqlanadi.

Modellashtirish uchun mo'ljallangan dasturlarning kundan kunga soni ortib bormoqda. Hozirgi kunda ishonchli va olimlar tomonidan keng foydalanilayotgan dasturlar Silvaco TCAD (Technology Computing Aided Design) va Synopsys kompaniyasining Sentaurus TCAD dasturlaridir [11-12]. Chunki ushbu dasturlar 3d/2d/1d o'lchamlarda yarimo'tkazgichli qurilmalarni yuqori darajadagi aniqlikda modellashtirishga mo'ljallangan [13]. Lekin biz yarimo'tkazgichli qurilmani emas, butun bir sistemani va sitemani atrof-muhit bilan ta'sirlashuvini modellashtirmoqchi bo'lsak Comsol Multiphysics dan foydalanish maqsadga muvofiq.

TAJRIBAVIY METOD

Quyosh elementlarini fotoelektrik xususiyatlarini aniqlashda asosan Sinton Instruments kompaniyasining SunVoc avtomatik qurilmasidan foydalanamiz. Ushbu qurilmada yorug'lik manbai sifatida quyosh spektriga yaqin bo'lgan ksenon lampa ishlatiladi. Quyosh elementining asosiy fotoelektrik hususiyatlaridan bo'lgan volt-amper xarakteristikasi va salt ishlash kuchlanishini yorug'lik intensivligiga bog'liqliligi grafigini olishimiz mumkin. SunVoc ning intensivligi 0.1 dan 10 quyosh oralig'ida o'zgaradi. Bundan tashqari mexanik uslubda R33 klass 0.2 GOST 7003-54 qarshiliklar paketi orqali bitta fotoelementni va quyosh panelini tabiiy quyosh nuri ostida volt-amper xarakteristikalari olindi.

DASTURIY METOD

Quyosh elementlarinin modellashtirishda Synopsys kompaniyasining Sentaurus TCAD dasturidan foydalanildi. Sentaurus TCAD umumiy 20 ta instrumentdan iborat bo'lib ulardan 17 tasi asosiy va 3 tasi yordamchi instrumentlar hisoblanadi. Quyosh elementlarini modellashtirishda 4 ta asosiy instrumentdan foydalaniladi. Bular *Sentaurus Structure Editor (SDE)*, *Sentaurus Device (SDevice)*, *Sentaurus Visual (SVisual)* va *Sentaurus Work Bench (SWB)*.

SDE geometric model tuzishga mo'ljallangan bo'lib, mustaqil ishlash imkoniyati mavjud. Ya'ni, foydalanuvchining dasturlashdan bilimi mavjud bo'lmasa, geometrik modelni shakllardan foydalanib chizish imkoniyati mavjud. Agar algoritmi tuzish va dasturlash ko'nikmasi mavjud bo'lsa, to'g'ridan-to'g'ri *Tool Command Language (TCL)* orqali kod yozib geometrik modelni hosil qilishi mumkin. SDE da geometrik model tuzishdan tashqari quyidagishlar ham amalga oshiriladi: sonli metodda hisoblash ishlarini amalga oshirish uchun to'rlanadi, hamma sohalarning material turlari e'lon qilinadi, kerakli turdagi kirishma konsentratsiyasi, miqdori beriladi kontaktlarni aktivlashtiriladi [15].

SDevice kremniy asosdagi va boshqa yarimo'tkazgichli qurilmalarning elektr, termal va optik xususiyatlarini simulatsiya qilishga mo'ljallangan ko'p o'lchovli yuqori darajadagi qurilma simulyatori. SDevice bu hozirgi va kelajakdagi yarimo'tkazgichli qurilmalarni loyihalash va optimallashtirish uchun yangi avlod dasturlar paketidir. Bundan tashqari, SDevice sonli metod orqali bitta yarimo'tkazgichli qurilmani izolatsiyalangan holda yoki yarimo'tkazgichli qurilmalar zanjirini elektr xususiyatlarini simulatsiyalanadi. Terminal tok, kuchlanish va zaryadlar fizik tenglamar ya'ni zaryad tashuvchilar taqsimoti va o'tkazish mexanizmlari asosida hisoblanadi [14].

SVisual olingan natijalar bir, ikki va uch o'lchamlarda vizuallashtirishga imkon beradi. Bundan tashqari grafiklar hosil qilinadi. Olingan natijalarni bazsini qayta ishlash uchun olish mumkin. Yarimo'tkazgichli qurilmalarda eng muhim karakteristikalaridan biri Volt amper xarakteristikasini grafik ko'rinishida ko'rish va maqola yoki prezentatsiyalar uchun qayta ishlash imkoniyati mavjud [16].

SWB barcha instrumentlarni bir-biriga bog'lab birgalikda ishlash imkoniyatini yaratadi. Chunki barcha instrumentlar mustaqil ishlashga yo'naltirilgan. Shuning uchun ham barchasini bir muhitga birlashtirib ishlatishga majburmiz. Ushbu muhit vazifasini SWB bajaradi. SWB imkoniyatlari keng bo'lib bir vaqtni o'zida modelning bir necha hil qiymatlari uchun natijalar olish mumkin. Buning afzallik tarafi shundaki, SDevice yoki SDE da o'zgaruvchi hosil qilib qiymatlar berish mumkin [17].

GEOMETRIK MODEL

Geometrik model hosil qilishda asosiy e'tibor, sohalarni koordinatalarni to'g'ri berishdan iborat. Model quyidagi tartibda hosil qilinadi.

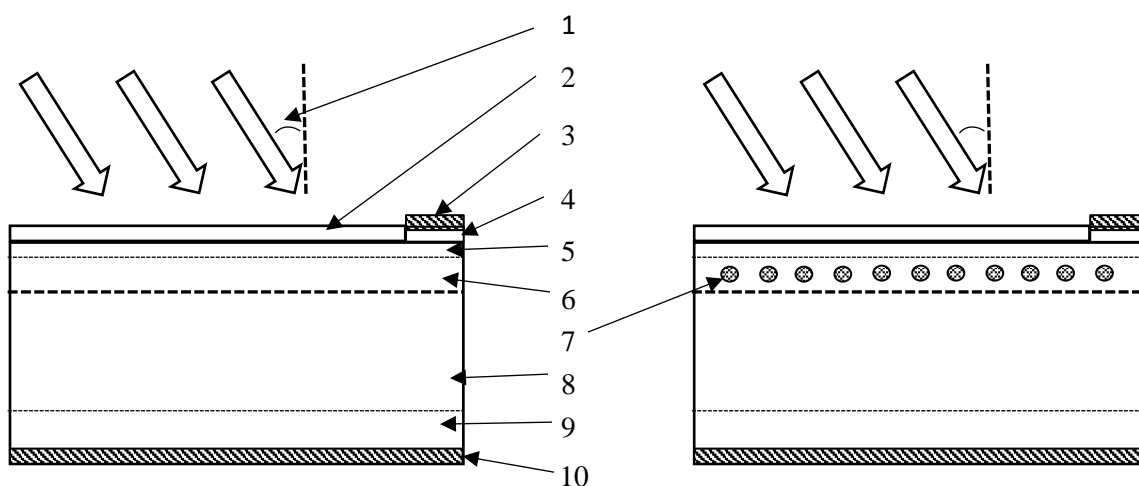
1. Sohalarning koordinatalari, nomi va material turi beriladi.
2. Kerakli sohalarga kirishma beriladi. Bunda asosan kirishma konsentratsiyasi miqdori va kirishma atom turi beriladi.
3. Elektrodlar beriladi va aktiv holatga keltiriladi.
4. Geometrik modelning o'lchamiga qarab kerakli o'lchamda to'rlanadi.

Biz ikki xil oddiy va nanozarracha kiritilgan kremniy asosli quyosh elementining geometrik modellarini yasadik. Nanozarracha kiritilgan quyosh elementining o'lchamlari

nanozarracha radiusi r ga proporsional olingan. Ya'ni optik qatlam qalinligi $3r$, $n++$ qatlam qalinligi $5r$, n qatlam $7r$, p qatlam $45r$ va $p++$ qatlam $5r$ olingan. Kengligi esa 2 mkm olingan (Jadval 1). Nanozarracha sifatida platina, oltin, mis va kumush materiallari tanlandi.

Jadval 1.
Nanozarracha kiritilgan kremniy asosli quyosh elementining geometrik modelining har bir sohasi haqida ma'lumotlar

		Kontakt soha	Optik qalam	$N++$ soha	N soha	P soha	$P++$ soha	Nanozarracha
Nanozarracha kiritilgan quyosh elementi	Material turi	Si	SiO_2	Si	Si	Si	Si	Pt
	Qalinligi	$3r$	$3r$	$5r$	$7r$	$46r$	$4r$	
	Kengligi, mkm	0.2	1.8	2	2	2	2	
	Kirishma atom turi	P	-	P	P	B	B	
	Kirishma konsentratsiyasi	$1e19$	-	$1e18$	$1e17$	$1e15$	$1e16$	



Rasm 1. Oddiy va nanozarracha kiritilgan kremniy asosli quyosh elementining chizmasi. Bu yerda: 1 – yorug'likning tushish burchagi, 2 – optik qatlam, 3 – oldi kontakt, 4 – kontakt soha, 5 – $n++$ soha, 6 – n soha, 7 – nanozarracha, 8 – p soha, 9 – $p++$ soha va 10 – orqa kontakt.

NAZARIYA

Quyosh elementlarinida bo'layotgan fizik hodisalarni nazariy tahlil qilish uchun klassik jihatdan yondashsak bo'ladi. Sirtga tushayotgan nurni tushish va sinish burchagi, muhitlarning nur sindirish ko'rsatkichlari orqali sirtning o'tish va qaytish koeffitsientlarini aniqlash mumkin. Bunda asosan frenel koeffitsientlaridan (1-formula) foydalaniladi.

$$\begin{aligned}
 r_{\perp} &= \frac{n_1 \cos \beta - n_2 \cos \gamma}{n_1 \cos \beta + n_2 \cos \gamma} \\
 t_{\perp} &= \frac{2n_1 \cos \beta}{n_1 \cos \beta + n_2 \cos \gamma} \\
 r_{\parallel} &= \frac{n_1 \cos \gamma - n_2 \cos \beta}{n_1 \cos \gamma + n_2 \cos \beta} \\
 t_{\parallel} &= \frac{2n_1 \cos \beta}{n_1 \cos \gamma + n_2 \cos \beta} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Bu yerda: n_1 – birinchi muhit nur sindirish ko'rsatkichi, n_2 – ikkinchi muhit nur sindirish koeffitsienti, β – yorug'likning tushish burchagi, γ – yorug'likning sinish burchagi.

Frenel koeffitsientlari orqali sirdan qaytayotgan va o'tayotgan nurning qismlarini aniqlashimiz mumkin (Formula 2).

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{(r^{\parallel})^2 + (r^{\perp})^2}{2} \\
 T &= \frac{n_1 \cos \gamma}{n_0 \cos \beta} \cdot \frac{1}{t} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Bu yerda: R – qaytish koeffitsienti, T – o'tish koeffitsienti

Qatlamlarda yutilishni aniqlash uchun esa, Burger-Lambert qonunidan foydalaniladi (Formula 3).

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \quad (3)$$

Bu yerda: d – qatlam qalinligi, α – materialning yutish koeffitsienti, I_0 – yorug'likning boshlang'ich intensivligi, I – yorug'likning d qatlamdan keyingi intensivligi.

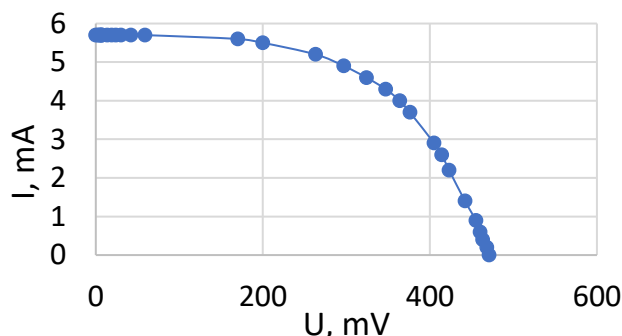
Yuqorida aytganimizdek, Frenel formulalari faqat yorug'likni sirtini hususiyatlarini aniqlash uchun bo'lsa, Burger-Lambert qonuni esa faqat qatlamdagi yutilishni o'rganish uchun ishlatiladi. Bilamizki, quyosh elementi ko'p qatlamli yarimo'tkazgichli qurilma hisoblanadi. Frenel va Burger-Lambert qonunlarini bir vaqtning o'zida Transfer Matrix Method (TMM) orqali ishlatsak bo'ladi (Formula 4) [6].

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{t_{01}} \begin{bmatrix} 1 & r_{01} \\ r_{01} & 1 \end{bmatrix} &\equiv D_{01} \\
 \begin{bmatrix} e^{ikd} & 0 \\ 0 & e^{-ikd} \end{bmatrix} &\equiv P_1 \\
 \begin{bmatrix} E_i \\ E_2 \end{bmatrix} &= D_{01} \cdot P_1 \cdot D_{12} \cdot P_2 \cdot D_{23} \begin{bmatrix} E_t \\ 0 \end{bmatrix} \\
 D_{01} \cdot P_1 \cdot D_{12} \cdot P_2 \cdot D_{23} &\equiv M \\
 \begin{bmatrix} E_i \\ E_2 \end{bmatrix} &= M \begin{bmatrix} E_t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)
 \end{aligned}$$

Bu yerda: D_{ij} – transmission matrix, P_j – propagation matrix, M – transfer matrix, E_i – tushayotgan yorug'lik elektr maydon kuchlanganligi, E_r – qaytayotgan yorug'lik elektr maydon kuchlanganligi, E_t – o'tib ketayotgan yorug'likning elektr maydon kuchlanganligi, r_{ij} va t_{ij} – Frenel koeffitsientlari.

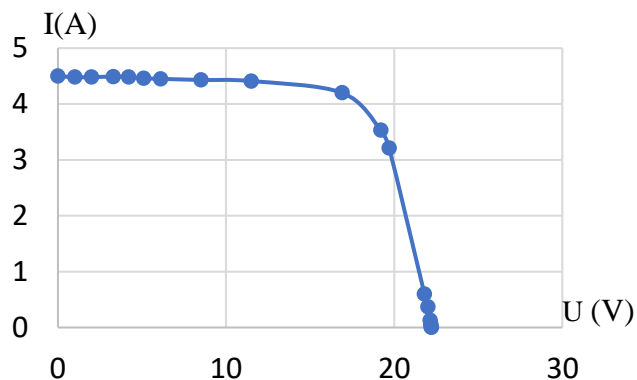
NATIJALAR

O'lchami 1 sm^2 bo'lgan quyosh elementining 0.7 quyosh intensivlikdagi tabiiy quyosh nuri ostida tajriba o'tkazildi. Quyosh elementi bazasi p tipli monokristall kremniy bo'lib yuzasiga 100 nm qalinlikdagi SiN_x bilan qoplangan. Ushbu tajriba o'tkazilgan koordinata: $40^{\circ}44'47''17$, $72^{\circ}22'217''17$ vaqt: 17.03.2020 13:00. Ya'ni ushbu va undan keyingi tajribalar barchasi O'zbekistondagi Andijon davlat univesitetida o'tkazilgan.



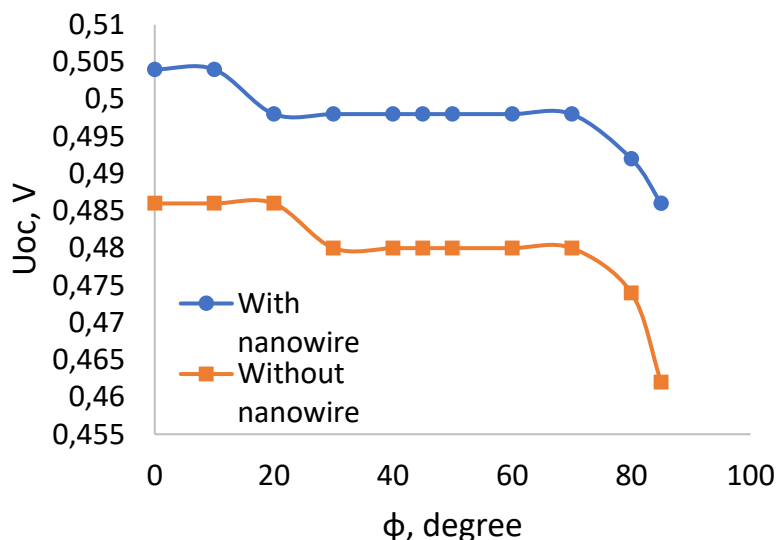
Rasm 2. 1 sm^2 o'lchamli bazasi p-tip bo'lgan yuzasiga SiN_x qoplangan kremniy asosli quyosh elementining oddiy quyosh nurida 0.7 quyosh intensivligida o'lchangan volt-ampere xarakteristikasi

Quyosh elementlaridan tashqari bizning "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari" ilmiy laboratoriy hodimlari tomonidan Andijon davlat universitetini elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojini bir qismini qoplash uchun o'rnatilgan quyosh panellari ustida ham tajribalar o'tkaziladi. Quyosh paneli yuqorida natijalari keltirilgan 1 sm^2 o'lchamdagi quyosh elementning 15.6×15.6 o'lchamliligidan yasalgan. Tajriba o'tkazilish vaqti: 11.01.2021 14:00.

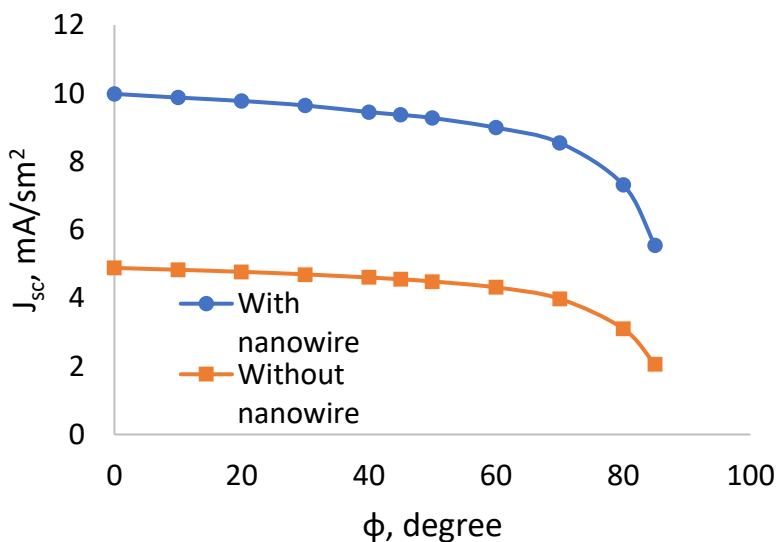


Rasm 3. 36 ta monokristall kremniyli fotoelementdan yasalgan quyosh panelining 11.01.2021 yil 14:00 da o'lchangan volt-ampere xarakteristikasi

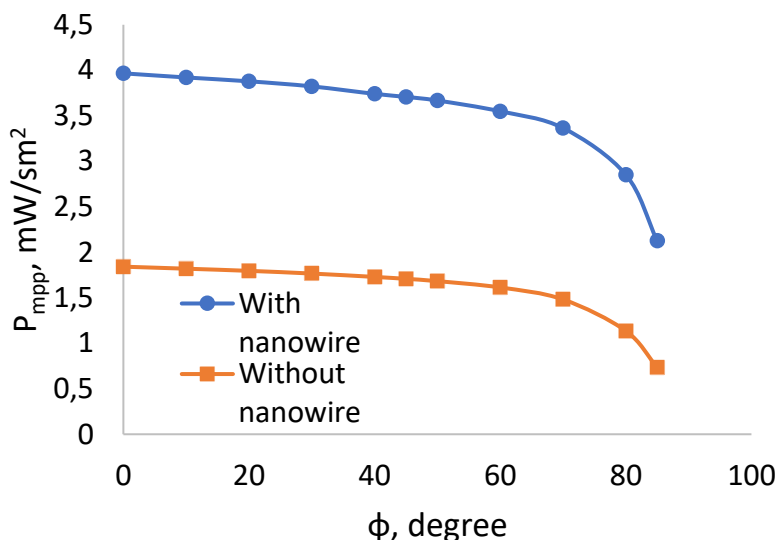
Hozirgi kunda nanozarracha kiritilgan quyosh elementlarini yasash qiyin bo'lgani uchun modellashtirish orqali natijalar olindi. 4-grafikdan ko'rishimiz mumkinki, nanozarracha kiritilgan va oddiy kremniy asosli quyosh elementining salt ishlash kuchlanishining o'zgarishi taxminan bir xil. Lekin nanozarracha kiritilgan quyosh elementining salt ishlash kuchlanishi yorug'likning barcha tushish burchaklarida o'rtacha 0.02 V ga oddiy quyosh elementining salt ishlash kuchlanishiga qaraganda yuqoriroq.



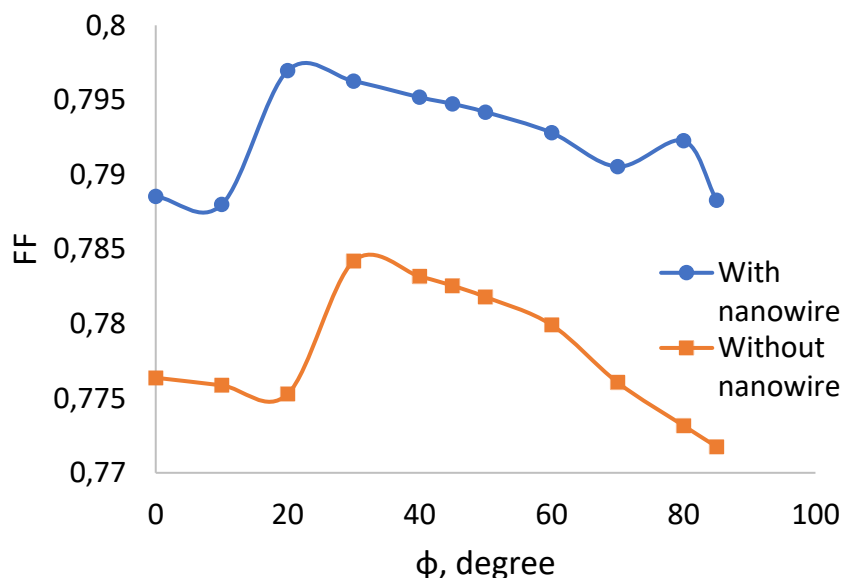
Rasm 4. Nanozarracha kiritilgan va oddiy kremniy asosli quyosh elementining salt ishlash kuchlanishini yorug'lik tushish burchagiga bog'liqlik grafigi



Rasm 5. Nanozarracha kiritilgan va oddiy kremniy asosli quyosh elementining qisqa tutashuv tok zichligini yorug'lik tushish burchagiga bog'liqlik grafigi



Rasm 6. Nanozarracha kiritilgan va oddiy kremniy asosli quyosh elementining maksimal quvvatini yorug'lik tushish burchagiga bog'liqlik grafigi



Rasm 7. Nanozarracha kiritilgan va oddiy kremniy asosli quyosh elementining to'ldirish koeffitsientini yorug'lik tushish burchagiga bog'liqlik grafigi

Qisqa tutashuv toki, maksimal quvvat va to'ldirish koeffitsientining yorug'likning tushish burchagiga bog'liqligi huddi salt ishlash kuchlanishining yorug'lik tushish burchagiga bog'liqligiga o'xshash. Ya'ni nanozarracha kiritilgan va oddiy quyosh elementlarining I_{sc} , FF, P_{mpp} qiymatlarini ϕ ga bog'liqligi ikkala element uchun taxminan bir xil.

MUHOKAMA

Yuqorida olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, nanozarracha kiritilgan quyosh elementlarining barcha fotoelektrik parametrlari oddiy quyosh elementinikiga qaraganda yaxshiroq. Lekin, fotoelektrik parametrlarni yorug'lik tushish burchagiga bog'liq ravishda o'zgarishi esa taxminan bir xil. Nanozarracha kiritilgan fotoelektrik parametrlarni yaxshilanishini nanoplazmonika effekti yuzaga kelayotgani bilan tushuntirishimiz

mumkin. Chunki, oddiy kremniy asosli quyosh elementi faqat ko'rinarli sohadagi nurlarni yutadi. Agar quyosh elementiga yetarli o'lchamdagi platina nanozarrachani kiritsak, quyosh elementi endi infraqizil va ultrabinafsha sohadagi nurlarni ham yuta boshlaydi. Bunga sabab, platina nanozarrachalar huddi o'zini yorug'lik chastotasini o'zgartiruvchi vosita sifatida tutadi. Agar nanozarrachaning o'lchami yorug'lik to'lqin uzunligiga solishtirarli bo'lsa keyin nanoplazmonika effekti yuzaga keladi. Nanoplazmonika effekti tufayli platina nanozarrachalar infraqizil nurni yutib o'zidan ko'rinarli sohadagi nurlarni chiqaryapti. Bunga sabab nanozarracha ichidagi elektronlarning yorug'lik elektr maydonida tebranishidan elektromagnit nurlanishni paydo bo'lishidir. Agar nanozarracha ichidagi elektronlarning tebrabish chastotasi bilan elektr maydonning tebrabish chastotasi teng bo'lib qolsa rezonans hodisasi yuzaga keladi va nanozarrachadan elektron yoki elektronlarni muhitga ajralib chiqishiga sabab bo'ladi. Nanozarracha kiritilgan quyosh elementlarini modellashtirish davomida nanozarrachaning o'lchami, nanozarrachalar orasidagi masofa qanday bo'lishi kerakligi shartlari va nanozarrachalarni quyosh elementini qayeriga kirgizilish kerakligi o'rganildi hamda yechim topildi. Bunga ko'ra nanozarracha sifatida platina olinishi, uning o'lchami 15 nm bo'lishi, nanozarrachalar orasidagi masofalar 100 nm bo'lishi va nanozarrachalar n sohaga kiritilishi kerakligi aniqlandi.

XULOSA

Yuqoridagi natija va muhokamalardan quydagilarni xulosa qildik:

1. O'lchami 15 nm bo'lgan platina nanozarrachasi ikki nanozarracha orasidagi masofani 100 nm hosil qilgan holatda n sohaga kiritilsa, foydali ish koeffitsienti oddiy monokristal kremniy asosli quyosh elementining foydali ish koeffitsientidan ikki marotaba ortib ketadi.

2. Lekin nanozarracha kiritilgan quyosh elementining fotoelektrik parametrlarini yorug'likni tushish burchagiga bog'liqligi huddi oddiy quyosh elementinikiga o'xshash. Ya'ni nanozarracha yorug'likning tushish burchagining ta'sirini sezilarli o'zgartirmaydi.

TASHAKKURNOMA

Mualliflar ushbu maqolani yozishda yaqindan yordam bergan Andijon davlat universitetidagi "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari" ilmiy laboratoriyasi hodimlariga rahmat aytadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Benli, H. (2013). Potential of renewable energy in electrical energy production and sustainable energy development of Turkey: Performance and policies. *Renewable Energy*, 50, 33–46.

2. Solanki, C.S. and Singh, H.K., *Anti-reflection and light trapping in c-Si solar cells*, Green Energy and Technology, Singapore: Springer Nature, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4771-8>

3. Saga, T. Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production. *NPG Asia Mater* 2, 96–102 (2010). <https://doi.org/10.1038/asiamat.2010.82>

4. William Shockley and Hans J. Queisser (March 1961). "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells" ,*Journal of Applied Physics*. 32 (3): 510–519. doi:10.1063/1.1736034.

5. G. Kumaravelu, M. M. Alkaisi and A. Bittar, "Surface texturing for silicon solar cells using reactive ion etching technique," Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002., New Orleans, LA, USA, 2002, pp. 258-261, doi: 10.1109/PVSC.2002.1190507.

6. Jasurbek Gulomov, Rayimjon Aliev, Murodjon Abduvohidov, Avazbek Mirzaalimov, Navruzбек Mirzaalimov. Exploring optical properties of solar cells by programming and modeling. Global Journal of Engineering and Technology Advances [Internet]. GSC Online Press; 2020 Oct 30;5(1):032–038. Available from: <http://dx.doi.org/10.30574/gjeta.2020.5.1.0080>

7. Rayimjon Aliev, Murodjon Abduvohidov, Navruzбек Mirzaalimov, and Jasurbek G'Ulomov. "KREMNIY ASOSLI QUYOSH ELEMENTLARIDA REKOMBINATSIYA VA GENERATSIYA JARAYONI" Science and Education, vol. 1, no. 2, 2020, pp. 230-235. doi: 10.24412/2181-0842-2020-2-230-235

8. Atwater, H. and Polman, A., Plasmonics for improved photovoltaic devices, Nat. Mater., 2010, vol. 9, no. 3, pp. 205–213.

9. Klimov, V.V., Nanoplasmonika (Nanoplasmonics), Moscow: Fizmatlit, 2009.

10. Schuller, J.A., Barnard, E.S., Cai, W., et al., Plasmonics for extreme light concentration and manipulation, Nat Mater., 2010, vol. 9, no. 4, p. 368. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20168343.

11. Jasurbek Gulomov, Rayimjon Aliev, Murad Nasirov and Jakhongir Ziyoyitdinov (2020); MODELING METAL NANOPARTICLES INFLUENCE TO PROPERTIES OF SILICON SOLAR CELLS Int. J. of Adv. Res. 8 (Nov). 336-345. Doi: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/12015>

12. Aliev, R., Gulomov, J., Abduvohidov, M. et al. Stimulation of Photoactive Absorption of Sunlight in Thin Layers of Silicon Structures by Metal Nanoparticles. Appl. Sol. Energy 56, 364–370 (2020). <https://doi.org/10.3103/S0003701X20050035>

13. Burgelman M, Nollet P, Degraeve S. Modelling polycrystalline semiconductor solar cells. Thin Solid Films 2000; 361–362: 527–532.

14. Sentaurus device user guide, version O-2018.06, June 2018.

15. Sentaurus structure editor user guide, version O-2018.06, June 2018.

16. Sentaurus visual user guide, version O-2018.06, June 2018.

17. Sentaurus work bench user guide, version O-2018.06, June 2018.