

ЗАХИРИДДИН
МУҲАММАД БОБУР
НОМИДАГИ АНДИЖОН
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE
UNIVERSITY NAMED
AFTER ZAKHIRIDDIN
MUKHAMMAD BABUR

ИЛМИЙ ХАБАРНОМА
Физика-математика
тадқиқотлари

SCIENTIFIC BULLETIN
Physical and
Mathematical Research

2023/№2(5)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Физика

E.Z. IMAMOV, R.A. MUMINOV, M.A. ASKAROV, A.E. IMAMOV, X.N. KARIMOV. Properties of lead chalcogenide nanocrystals in nanoheterojunctions <Si:PbX>.....	5
A.P. ТУРАЕВ, К.Т.НОРМУРАТОВ, И.М.СОЛИЕВ Влияние всесторонних гидростатических давлений на свойства Si<Ni>.....	10
Ш.Х. ЙУЛЧИЕВ, Б.ГУЛОМОВ, Н. ЮНУСАЛИЕВ Алюминий атомлари киритилган ZnO пленкаларининг оптик ва электрофизик хоссалари.....	15
H.J. MANSUROV. X.A. MAXMUDOV, M. PACULOBA ZnO пленкасининг оптик хоссалари.....	19
O.O. OLIMOV, I.I. ANARBOYEV Granulalangan Si asosida olingan poli-Si ning mikrotuzilmasi va elektrofizik xossalari.....	22
A.A. АБДУМАЛИКОВ О РАСПАДЕ ^{166}Tu	26

Техника

P.A. МУМИНОВ, М.Н. ТУРСУНОВ, Х. САБИРОВ, Т.З. АХТАМОВ Передвижная фотоэлектрическая установка для использования жителями сельских домохозяйств.....	34
S.Z.ZAINABIDINOV, A.Y. BOBOEV, B.M. ERGASHEV Growth of $(\text{Ge}_2)_{1-x-y}(\text{GaAs})_x(\text{ZnSe})_y$ Epitaxial Films on Si Substrates by Liquid-Phase Epitaxy.....	41
A.A. MIRZAALIMOV Uch tomonlama yoritilgan quyosh elementlari fotoelektrik parametrlariga haroratning ta'siri.....	46

Математика

SH.G. KASIMOV, L.A. RUZMETOVA , N.M. KOMILOV Miller–rossa ma'nosidagi kasr tartibli hosila va poligarmonik operator qatnashgan ayrim xususiy hosilali differensial tenglama uchun silindrik sohadagi boshlang'ich–chegaraviy masala.....	53
B.T. IBROXIMOV, S.O.G'ULOMOV Yarim tekislikda tutish masalasi.....	59
M.Y.ХОДЖАБЕКОВ, З.С.ЮЛДОШОВА Тебранишлардан ҳимояланувчи стерженни математик моделлаштириш	62
M.K. МАХКАМОВ, С.С. АХМАДЖОНОВ Применение метода характеристик для решения задачи об элементарном участке газопровода при истечении газа из его конца в окружающую среду.....	66

Информатика

МИРЗАЕВА М.М., МАХКАМОВ М.К., ТАЖИБАЕВ Ғ.О., МАМАЖАНОВ А.О. Боғдорчилик ва деҳқончилик маълумотларини рақамлаштириш масаласини ҳал этиш технологияси.....	74
---	----

Uch tomonlama yoritilgan quyosh elementlari fotoelektrik parametrlariga haroratning ta'siri

Mirzaalimov Avazbek Alisherovich

Z.M.Bobur nomidagi Andijon davlat universiteti, O'zbekiston, 170100, Andijan sh, Universitet ko'chasi 129 uy

2023 yil. 30 oktabrda berilgan; 2023 yil. 20 dekabrda chop etish uchun qabul qilingan

Annotatsiya: Quyosh elementlarini foydali ish koeffitsientini oshirish va uni ishlab chiqarishda sarflanadigan material hajmini kamaytirish bugungi kunning muhim vazifalaridan biri. Buning uchun 3 tomonlama sezgir quyosh elementi loyihalashtirildi. Uning bitta yuzasi yoritilgandagiga nisbatan uchta yuzasi yoritilganda foydali ish koeffitsienti 2.81 marta va ikkita yuzasi yoritilganda 1.72 marta ortdi. Atrof muhitning asosiy parametrlaridan biri bu harorattir. Fasllarga ko'ra kunlik harorat o'zgaradi. Shuning uchun quyosh elementlariga temperaturaning ta'sirini o'rganish muhimdir. Ushbu ilmiy ishda uch tomonlama sezgir kremniy asosli quyosh elementining fotoelektrik parametrlariga temperaturaning ta'siri o'rganildi. Uch tomonlama sezgir quyosh elementining fotoelektrik parameterlarining temperatura koeffitsientlari turli soxalari yoritilganda o'zgarmasligi aniqlandi. Salt ishlash kuchlanishining temperatura koeffitsienti 2.52×10^{-3} W/K ga va to'ldirish koeffitsientining temperatura koeffitsienti 1.8×10^{-3} K⁻¹ ga tengligi aniqlandi. Bundan tashqari, temperatura 300K dan 350K ga o'zgarganda, uchala tomoni yoritilgan holatdagi qisqa tutashuv toki 4% ga kamaydi.

Kalit so'zlar: Uch tomonlama sezgir, quyosh elementi, kremniy, modellashtirish, yorug'lik

Аннотация: Повышение эффективности солнечных элементов и сокращение количества материала, используемого при их производстве, является одной из важных задач современности. Для этой цели был разработан трехполосный чувствительный солнечный элемент. По сравнению с одной поверхностью эффективность трех поверхностей увеличилась в 2,81 раза, а двух поверхностей – в 1,72 раза. Одним из основных параметров окружающей среды является температура. Дневная температура меняется в зависимости от сезона. Поэтому важно изучить влияние температуры на солнечные элементы. В данной научной работе изучалось влияние температуры на фотоэлектрические параметры трехкомпонентного чувствительного солнечного элемента на основе кремния. Установлено, что температурные коэффициенты фотоэлектрических параметров трехчувствительного солнечного элемента не изменяются при освещении разных участков. Определено, что температурный коэффициент рабочего напряжения составляет $2,52 \times 10^{-3}$ В/К, а температурный коэффициент заполнения – $1,8 \times 10^{-3}$ К⁻¹. Кроме того, при изменении температуры с 300К до 350К ток короткого замыкания в трехстороннем светлом состоянии уменьшился на 4%.

Ключевые слова: трехсторонняя чувствительность, солнечный элемент, кремний, моделирование, свет.

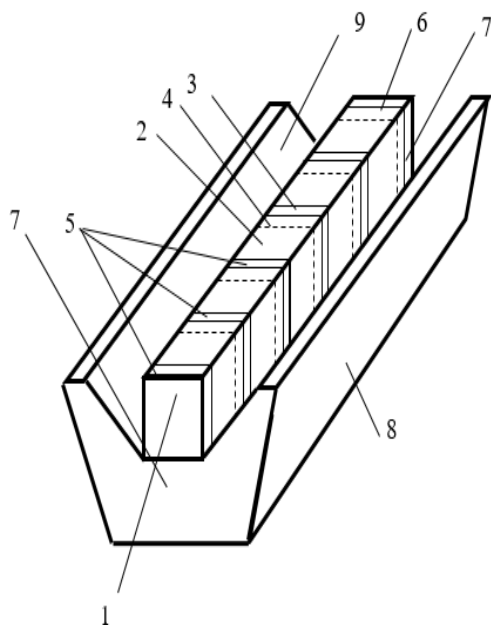
KIRISH

Energiyaga bo'lgan ehtiyojni ortishi bilan bir vaqtda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish hajmi ham ortmoqda. Chunki, qayta tiklanuvchi energiya manbalari bugungi kundagi energiya taqchiligini atrof-muhitga zarar yetkazmasdan berta'rif etishning eng maqbul yechimidir [1]. International energy agency ning ma'lumotiga ko'ra 2021-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalari hajmi 276 GW ga yetgan. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari ichida quyosh energiyasidan ishqilik va elektr energiyasi olishda keng foydalanilmoqda [2]. Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish uchun asosan quyosh elementlaridan foydalaniladi. Sanoatda ishalb chiqarilayotgan quyosh elementlarining 85% qismini kremniy asosli quyosh elementlari tashkil qiladi [3]. Shuning uchun ushbu ilmiy ishda tadqiqot obyekti sifatida kremniy asosli quyosh elementi tanlandi. Nazariy hisoblarga ko'ra kremniy asosli quyosh elementining maksimal foydali ish koeffitsienti 29% dan ortmaydi [4]. Kremniy asosli quyosh elemen-

ting foydali ish koeffitsientini oshirish va tannarxini tushurish uchun ilmiy ishlar olib borilmoqda. Masalan, kremniy asosli quyosh elementini yuza rekombinatsiyasini kamaytirish va optik xususiyatlarini yaxshilash uchun uning yuzasi qalinligi 75 nm bo'lgan SiN_x yoki 100 nm bo'lgan SiO₂ bilan qoplanadi [5]. Bundan tashqari, kremniy asosli quyosh elementiga metal nanozarrachalar kiritilganda foydali ish koeffitsientini ortishi aniqlangan [6]. Ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining miqdorini oshirish uchun ikki tomonlama sezgir kremniy asosli quyosh elementlari loyihalashtirilgan [7]. Tajribda, ikki tomonlama sezgir kremniy asosli quyosh elementining oldi tarafining foydali ish koeffitsienti 19.4% va orqa tarafi 16.5% ligi aniqlangan, lekin simmetrik foydali ish koeffitsientiga 18.4% va 18.1% ega bo'lgan ikki tomonlama sezgir quyosh elementlari ham eksperimentda yasalgan [8]. Ushbu ilmiy ishda yangi 3 tomonlama sezgir kremniy asosli quyosh elementi tadqiq qilingan. Chunki, rasm 1 da tasvirlangan 3 tomonlama sezgir kremniy asosli quyosh elementi

O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi qoshidagi Intelektual Mulk Agentligi tomonidan FAP 00623 nomer bilan foydali model sifatida ro'yxatga olingan [9]. Lekin uning xususiyatlariga atrof muhit ta'siri o'rganilmagan.

Quyosh elementlari atrof muhitga juda sezgir hisoblanadi. Shuning uchun ularning xususiyatlariga atrof muhit ta'sirini o'rganish muhimdir. Masalan, nanozarracha kiritilgan quyosh elementining xususiyatlariga yorug'lik tushish burchagini [10] va temperaturaning ta'siri o'rganilgan [11]. Chunki, asosan quyosh elementlariga temperatura va yorug'lik tushish burchagi ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun ham ushbu ilmiy ishda 3 tomonlama sezgir kremniy asosli quyosh elementiga temperaturaning ta'siri o'rganildi.



Rasm 1. 3 tomonlama sezgir vertikal o'tishli quyosh elementining loyihasi. 2 – n soxa, 3 – p soxa, 4 – p-n o'tish, 5 – kontakt soxa, 6 – ustki yuza, 7 – yon yuza, 8 – asos.

METOD

Fizik jarayonlarni o'rganishni turli uslublari mavjud. Bular eksperiment, nazariya va simulatsiyalash. Nazariy tadqiqotlarda ikkiga bo'linadi, jarayonning fundamental nazariyasidan va tajribada anqilangan qiymatlarga ko'ra hosil qilingan empirik formulalardan foydalanib analitik yechim olish. Simulatsiya methodi bir muncha murakkabroq hisoblaandi. Chunki, qurilmalarni simulatsiyalash jarayonida fundamental nazariya va eksperimentda aniqlangan empirik formula birgalikda ishlatiladi. Yarimo'tkazgichli qurilmalarni simulatsiyalashning asosini xususiy differensial tenglamalar tashkil qiladi. Xususiy differensial tenglamalarni analitik uslubdan foydalanib hisoblash qiyin, shuning uchun sonli metodlardan foydalaniladi. Chunki sonli metodlar orqali hisoblash ketma-ketligini algoritmash va shu asosida dasturlar tuzish mumkin. Xususiy differensial tenglama-

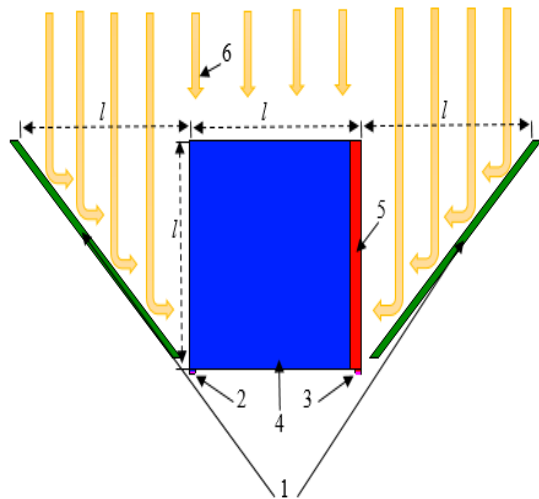
larda bishlang'ich shartlar muhim ro'l o'ynaydi. Boshlang'ich shartlar aniq qiymat va funktsiya ko'rinishida bolishi mumkin. Fizik jarayonlarni modellashtirishda asosan boshlang'ich shartlar sifatida eksperimentda aniqlangan empirik formulalardan foydalaniladi.

Yarimo'tkazgichli qurilmalarni simulatsiyalashda asosan TCAD (Technology Computing Aided Design) dasturlari keng foydalaniladi. TCAD bu CAD dasturlari negizida tashkil qilingan yangi dasturlar oilasi. CAD dasturlari asosan qurilmalarni 3D va 2D geometrik modellarini yasashga mo'ljallangan. Bunga Solidworks yoki AutoCAD dasturlari misol bo'lishi mumkin. TCAD dasturlari esa, qurilmalarni geometrik modellarini yashashdan tashqari ularga fizik xususiyatlar berib undagi fizik jarayonlarni simulatsiyalash mumkin. Eng keng tarqalgan TCAD dasturlariga Sentaurus TCAD, Silvaco TCAD va Lumerical TCAD dasturlari kiradi. Shuning uchun ushbu ilmiy ishda Synopsys kompaniyasining Sentaurus TCAD dasturlar paketidan foydalanildi.

Sentaurus TCAD imkoniyatalari keng dasturlar paketi hisoblanib o'z ichiga 23 ta instrumentni qamrab olgan. Quyosh elementlarini modellashtirish uchun asosan 4 ta instrumentdan foydalanish yetarli. Bular Sentaurus Structure Editor, Sentaurus Device, Sentaurus Visual va Sentaurus WorkBench. Har bir instrumenting o'zining vazifasi mavjud. Sentaurus Structure Editor qurilmalarning 2D va 3D modeli yaratiladi va sonli metodda hisoblashlar olib borish uchun to'rlanadi. Sentaurus Deviceda Sentaurus Structure Editor yasalgan geometrik modelga fizik xususiyatlar beriladi va qurilmalning elektrik, optik, termik xususiyatlari sonli metodlar yordamida hisoblanadi. Sentaurus Visualda Sentaurus Deviceda olingan natijalar grafik ko'rinishga keltiriladi va vizuallashtiriladi. Sentaurus WorkBench yuqoridagi uchta instrument bir-biri bilan ma'lumot almashinish va virtual tajriba jarayonini boshqarish uchun yagona muhit vazifasini bajaradi.

Eng sodda quyosh elementi asosan oldi, orqa kontaktlar va p-n o'tishda tashkil topadi. Quyosh elementlarini simulatsiyalash uchun ularning geometrik modeli huddi real hayotdagi ko'rinishi kabi ishlab chiqiladi. Faqat hisoblash jarayonini tezlashtirish va hisoblash aniqligini orttirish uchun ularning o'lchami kichroq olinadi. Rasm 2 da kremniy asosli quyosh elementini uch tomonlama yoritish uchun ishlab chiqilgan sistemaning geometrik modeli tasvirlangan. Quyosh elementining uchta yuzasiga bir xil intensivlikda yorug'lik tushishi uchun, ikki yoniga to'la nur qaytaruvchi kumush 45° burchak ostida qo'yilgan. Chunki yorug'lik p-n o'tishga parallel tushirilgan. Kumush nur qaytaruvchilarga tushgan nur quyosh elementining ikki yoniga perpendikulyar yo'naladi. Quyosh elementining eni ham bo'yi ham bir xilda $l=175$ mkm olingan. p soxaga 10^{15} sm $^{-3}$ miqdorda Bor aktiv atomlari kiritilgan. n soxaga 10^{17} sm $^{-3}$ miqdorda Fosfor aktiv atomlari kiritilgan. n soxan-

ing qalinligi 3.5 mkm va p soxaning qalinligi 171.5 mkm olingan. Yorug'lik manbai sifatida AM1.5G



spektri tanlangan.

Rasm 2. Sentaurus Structure Editor'da yasalgan 3 tomonlama yoritishga mo'ljallangan quyosh elementining va umumiy sistemaning geometrik modeli. 1 – kumush nur qaytargichlar, 2,3 – kontaktlar, 4 – p soxa, 5 – n soxa, 6 – yorug'lik nuri va l – uzunlik.

NAZARIYA

Yarimo'tkazgichli qurilmalarni simulatsiya qilishda asosiy ro'lni xususiy differensial tenglamalar tashkil qiladi. Masalan, muvozanat holatdagi oddiy yarimo'tkazgichli p-n strukturani elektrik parametrlarini aniqlash uchun formula 1 da berilgan Fermi statistikasi va formula 2 da berilgan Puasson tenglamasini hisoblash yetarli.

$$n = N_c F_{1/2} \left(\frac{E_{F,n} - E_c}{kT} \right) \text{ and } p = N_v F_{1/2} \left(\frac{E_v - E_{F,p}}{kT} \right) \quad (1)$$

Fermi statistikasi yordami zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining yarimo'tkazgichli qurilma bo'ylab taqsimoti aniqlanadi. Fermi statistikasining funksiyasini uning tarkibida fermi yarimintegrali mavjudligi tufayli analitik uslubda hisoblashning imkoni mavjud emas. Analitik uslubda hisoblash uchun ma'lumshartlar kiritish orqali Fermi statistikasining funksiyasi Boltsman yaqinlashishiga olib kelinadi. Lekin Boltsman taqsimoti energiya bo'yicha ma'lum oralig'idagina aniqroq qiymatini beradi. Sentaurus TCAD da asosan sonli metoddan foydalanilgani uchun Fermi statistikasini hisoblash uchun Fermi funksiyasining o'zidan foydalanildi. Chunki, Fermi funksiyasini iteratsion yoki sonli metodlarda hisoblashning imkoni mavjud. Hisoblangan elektron n va kovaklar p konsentratsiyasi Puasson tenglamasiga qo'yilib, yarimo'tkazgichli qurilmadagi elektr maydon kuchlanganligi va elektr potensialni taqsimoti aniqlanadi.

$$\Delta\phi = -\frac{q}{\varepsilon}(p - n + N_D + N_A) \quad (2)$$

Yarimo'tkazgichli qurilmalar ichida quyosh elementlarini modellash tirish murakkabroq. Chunki, quyosh elementlarining elektrik va termik xususiyatlaridan tashqari optik xususiyatlarini ham hisobga olish kerak. Sentaurus Deviceda quyosh elementlarini optik xususiyatlarini aniqlash uchun asosan Transfer Matrix Method (TMM), Ray Tracing Method va Beam Propagation Method lar foydalaniladi. Har bir uslubning o'zini ustunlik tarafi mavjud. Masalan, TMM metodi yupqa quyosh elementlarining optik xususiyatlarini interferensiya xodisasini hisobga olgan holda hisoblaydi. Rasm 2 da tasvirlangan sistemaning optik xususiyatlarini aniqlash uchun Ray Tracing metodidan foydalanildi. Chunki, quyosh elementi va kumush nur qaytargichlarga tushayotgan nur sinib ularni populyatsiyalanishini ham hisobga olish zarur. Ray Tracing metodida quyosh elementiga ma'lum sondagi yorug'lik nuri tushiriladi va har bir nurning singan va qaytgan qismlariga ham mustaqil nur sifatida qaraladi. Qachonki nurning intensivligi modellash tirish jarayonida qo'yilgan minimal yorug'lik intensivligidan kichik bo'lsa, ushbu nurni hisoblash to'xtatiladi. O'z navbatida simulatsiya boshlanishida quyosh elementiga tushirilgan har bir nurning energiyasi simulatsiya yakunida yutilgan, ozod bo'lgan va to'xtagan qismlarga bo'linadi. Bir dona nur mingdan ortiq nurlarga bo'linishi mumkin. Shu nurlardan bir qismi quyosh elementi yuzasidan qaytib ketishi va o'tib ketishi mumkin. Ushbu qismi ozod bo'lgan nurlar hisoblanadi. Bir quyosh elementida yutulib energiyasini yo'qotishi mumkin. Qolgan qismi esa, energiya yetmasdan xisoblash jarayoni to'xtatiladi. Ushbu qismi to'xtagan nurlarni tashkil qiladi. Lekin Quyosh elementiga tushurilayotgan har bir nurning umumiy energiyasi har birining yig'indisiga teng bo'ladi va formula 3 ga asosan hisoblanadi.

$$P_{total} = P_{abs} + P_{escape} + P_{stopped} \quad (3)$$

Qurilmalarning optik xususiyatlarini aniqlash uchun qurilma o'z ichiga olgan materiallarning nur sindirish ko'rsatkichi va yutulish koeffitsientlari kabi asosiy optik parametrlari ma'lum bo'lishi kerak. Umumiy holatda materiallarning optik parametrlari formula 4 da berilgan kompleks nur sindirish ko'rsatkichi orqali aniqlanadi. Kompleks nur sindirish ko'rsatkichining haqiqiy qismi materialning nur sindirish ko'rsatkichi va mavhum qismi esa "excitation coefficient" i hisoblanadi. Materiallarning nur sindirish ko'rsatkichi va "excitation coefficient"ni yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligi mavjud. Lekin aniq funksiyasi har bir material uchun aniqlanmagan. Shuning uchun modellash tirish jarayonida tajriba natijalariga ko'ra hosil qilingan nur sindirish ko'rsatkichi va "excitation coefficient"ni yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqlik jadvalidan foydalaniladi. Bu quyosh elementini simulatsiya orqali aniqlanayotgan optik

xususiyatlarini aniqligini va ishonchligini ta'minlaydi.

$$n_{tot}(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda) \quad (4)$$

Materialning yutulish koeffitsientini formula 5 da berilganidek "excitation coefficient" orqali aniqlash hisoblanadi.

$$\alpha(\lambda) = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (5)$$

Ray Tracing metodda opti xususiyatlarni hisoblashda ma'lum chegaraviy shartlar shartlar kiritiladi. Asosan ikki muht chegarasiga tushayotgan nurning tushish, sinish va qaytish burchaklari orasidagi munosabat formula 6 da berilgan Snelli qonuni orqali aniqlanadi.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin(\gamma)}{\sin(\theta)}, \quad \beta = \theta \quad (6)$$

Ikki muhit chegarasiga tushgan, singan va qaytgan nurlarning energiyalari orasidagi munosabatlar formula 7 da berilgan Fresnel formulalari orqali aniqlanadi. Chegaraviy shart sifatida Snelli va Fresnel qonunlaridan foydalanilganda nurning ikki muhit chegarasida qaytish va o'tish koeffitsientlari yorug'lik to'lqin uzunligiga mos ravishda o'zgaradi. Chunki, yuqorida aytilganidek, materiallarning nur sindirish ko'rsatkichi va yutulish koeffitsienti yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liq. Sentaurus Devicening yana bir imkoniyati ikki muhit chegarasining o'tish yoki qaytish koeffitsientlarini o'zgarmas son sifatida berish mumkin. Ushbu ilmiy ishda quyosh elementining muhitlar bilan tutashgan sohalarida chegaraviy shart sifatida Fresnel va Snelli qonunlaridan foydalanildi. Kumush nur qaytargich (Rasm 2.1) va havo chegarasida esa chegaraviy shart sifatida Snelli qonuni va o'zgarmas qaytarish koeffitsienti $R=1$ dan foydalanildi. Bundan maqsad kumush nur qaytargichga tushayotgan nurni hammasini energiyasi kamaymagan holda quyosh elementining ikki yon yuzasiga perpendikulyar yo'naltirishdir.

$$\begin{cases} r_t = \frac{n_1 \cos \beta - n_2 \cos \gamma}{n_1 \cos \beta + n_2 \cos \gamma} \\ t_t = \frac{2n_1 \cos \beta}{n_1 \cos \beta + n_2 \cos \gamma} \end{cases} \text{ and } \begin{cases} r_p = \frac{n_1 \cos \gamma - n_2 \cos \beta}{n_1 \cos \gamma + n_2 \cos \beta} \\ t_p = \frac{2n_1 \cos \beta}{n_2 \cos \beta + n_1 \cos \gamma} \end{cases} \quad (7)$$

Yorug'lik nuri quyosh elementining qatlamlarida yutilganda hosil bo'ladigan elektron va kovaklarni miqdori formula 8 da berilgan optik generatsiya formulasi orqali aniqlandi. Quyosh elementlarida faqat optik emas, termik generatsiyalar ham mavjud va ushbu ilmiy ishda modelashtirishda u ham hisobga olingan. Bundan tashqari tadqiq qilinayotgan quyosh elementi kremniydan tashkil topgani uchun modelashtirishda Auger va Shokley-Read-Hall rekombinatsiyasi ham hisobga olindi. Shundan so'ng, formula 1 da berilgan fermi funksiyasi orqali quyosh elementidagi umumiy elektron va kovaklar taqsimoti hisoblandi. Yuqorida yozilganidek,

aniqlangan elektron va kovaklar konsentratsiyasi formula 2 da berilgan Puasson tenglamasiga qo'yildi va tenglama sonli metod orqali hisoblandi.

$$G^{opt}(x, y, z, t) = I(x, y, z) [1 - e^{-\alpha L}] \quad (8)$$

Sonli metoddan foydalanib hisoblash uchun quyosh elementi to'rlanishi shart. Ushbu ilmiy ishda quyosh elementi x o'q bo'yicha minimal 0.04 mkm dan maksimal 0.08 mkm gacha y o'q bo'yicha 0.01 mkm dan maksimal 0.02 mkm o'lchamda to'rlandi. Quyosh elementida optik va elektrik xususiyatlarini hisoblash uchun ikki xil to'r xosil qilindi. Lekin ularning to'rlarining o'lchami bir xil qilindi.

$$\nabla \cdot \vec{J}_n = qR_{net,n} + q \frac{\partial n}{\partial t} \quad \text{and} \quad -\nabla \vec{J}_p = qR_{net,p} + q \frac{\partial p}{\partial t} \quad (9)$$

Quyosh elementida foton yutilganda elektron kovak juftligi hosil bo'ladi va p-n o'tish hosil qilgan ichki maydon tufayli ular ajraladi. Ya'ni ular harakatga keladi. Dema quyosh elementi yoritilganda unda zaryad tashuvchilar ko'chishi yuzaga keladi va tok hosil bo'ladi. Quyosh elementining aniq bir hajmidagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini vaqt bo'yicha o'zgarishi tokni hosil qiladi. Elektron va kovaklarning konsentratsiyasining vaqt bo'yicha o'zgarishi hamda ular hosil qilyotgan tok zichliklari orasidagi munosabat formula 9 da berilgan uzluksizlik tenglamasi orqali ifodalaniadi. Sentaurus Deviceda zaryad tashuvchilar ko'chishini hisoblash uchun asosiy 4 xil modellar mavjud: Dreyf-Diffuzion, Termodinamik, Hydrodinamik va Monte-Karlo. Sentaurus Deviceda Dreyf-Diffuzion model zaryad tashuvchilar ko'chishini hisoblash uchun odatiy model hisoblanadi. Yani Sentaurus Devicening buyruqlar faylida zaryad tashuvchilarning ko'chishini hisoblash uchun muayyan model e'lon qilinmasi, dastur avtomatik tarzda Dreyf-Diffuzion modelni tanlaydi. Ushbu ilmiy ishda, elektron va kovaklar hosil qilyotgan tok zichligini hisoblash uchun formula 10 da berilgan termodinamik modeldan foydalanildi. Chunki, ushbu modelda zaryad tashuvchilarning ko'chishiga temperaturaning ta'siri va rekombinatsiya jarayonida hosil bo'layotgan fononlar ham hisobga olinadi. Ammo, buning uchun formula 11 da berilgan temperatura tenglamasi ham hisoblanishi kerak. Ya'ni, Termodinamik modeldan to'g'ri foydalanish uchun Sentaurus Devicening buyruqlar faylining Physics qismida Termodinamik modelni e'lon qilsihning o'zi yetarli emas, bunga qo'shimcha ravishda buyruqlar faylining "Solve" qismida Temperatur tenglamasini hisoblashni ham amalga oshirish shart. Aks holda, termodinamik model huddi Dreyf-Diffuzion modelda olingan natija bilan bir xil natija beradi.

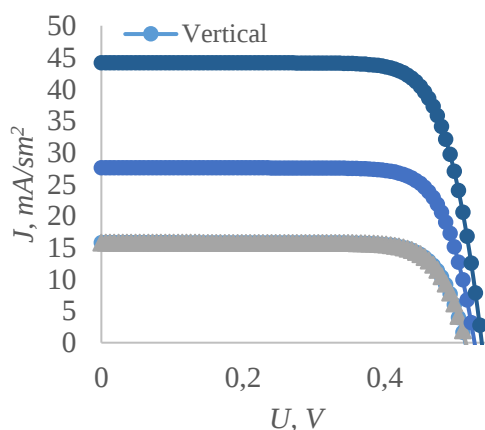
$$J_n = -nq\mu_n(\nabla F_n + P_n \nabla T) \quad \text{and} \quad J_p = -pq\mu_p(\nabla F_p + P_p \nabla T) \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(c_L T) - \nabla(k \nabla T) = -\nabla[(P_n T + F_n) \bar{J}_n + (P_p T + F_p) \bar{J}_p] - \frac{1}{q} \left(E_c + \frac{3}{2} kT \right) (\nabla \bar{J}_n - q R_{net,n}) - \frac{1}{q} \left(E_v + \frac{3}{2} kT \right) (-\nabla \bar{J}_p - q R_{net,p}) + \hbar \omega G^{opt} \quad (11)$$

Yuqoridagi simulatsiyalash bosqichlari orqali uchta yuzaga ega quyosh elementining xususiyatlariga temperaturaning ta'siri aniqlandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMALAR

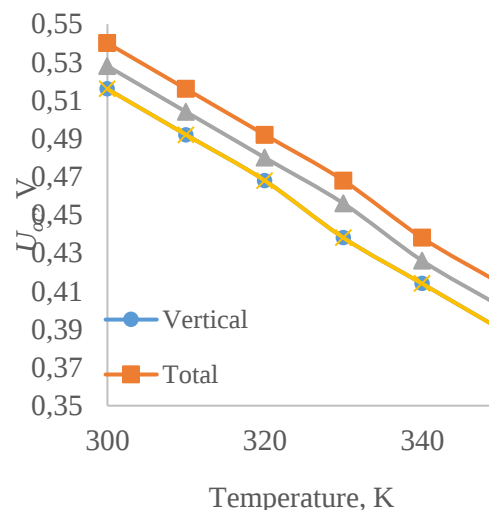
Ushbu ilmiy ishda kengligi va qalinligi 175 mkm dan bo'lgan kremniy asosli quyosh elementi 4 xil uslubda yoritilib fotoelektrik parametrlari aniqlandi va va ularga temperaturaning ta'siri o'rganildi. Rasm 1 dda turli xil sohalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining volt-ampere xarakteristikalarini tasvirlangan. Vertikal ya'ni yorug'lik p-n o'tishga parallel holatda tushurilgandagi qisqa tutashuv toki hamda salt ishlash kuchlanishi gorizontall ya'ni yorug'lik p-n o'tishga parallel n soxa tomondan tushurilgan holatdagi qiymatlari bilan bir xil bo'ldi. Ikki taraflama yoritilganda bir tomonlama yoritilganga nisbatan qisqa tutashuv toki 1.75 marta, uch tomonlama yoritilganda esa 2.81 marta katta bo'ldi. Kremniy asosli quyosh elementini ikki tomonlama yoritilgandagi salt ishlash kuchlanishi bir tomonlama yoritilgandagidan ko'ra esa 2.3% ga, uch tomonlama yoritilganda esa 4.7% ga katta bo'ldi. Pal tomonidan olib borilgan ilmiy ishda, ikki yuzasi yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining qisqa tutashuv toki bir tomonlama yoritilganinkiga nisbatan 20.1% dan 68.1% ga katta bo'lishi aniqlangan [12].



Rasm 3. Turli xil sohalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining volt-ampere xarakteristikalarini

Quyosh elementining asosiy fotoelektrik parametrlari qisqa tutashuv toki, salt ishlash kuchlanishi, to'ldirish koeffitsienti, maksimal quvvat va foydali ish koeffitsientidir. Bularni hisoblash uchun quyosh elementining volt-ampere xarakteristikasini aniqlash yetarli. Shuning uchun,

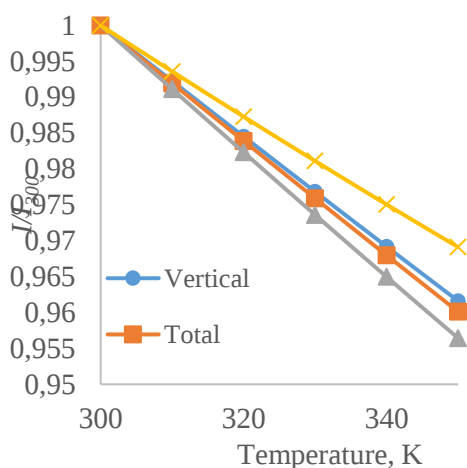
ushbu ilmiy ishda quyosh elementining turli temperaturalaridagi volt-ampere xarakteristikalarini xisoblandi va asosiy fotoelektrik parametrlarni temperaturaga bog'liqligi aniqlandi. Temperaturaga eng sezgir fotoelektrik parameter bu salt ishlash kuchlanishidir. Shuning uchun, quyosh elementining temperatura ortishi bilan foydali ish koeffitsientini tushib ketish salt ishlash kuchlanishini o'zgarishi orqali tushuntiriladi. Salt ishlash kuchlanishini temperaturaga bog'liq rabishda o'zgarishida Auger rekombinatsiyasini qolgan rekombinatsiyalariga qaraganda ulushi kattaroq. Rasm 4 da turli xil soxalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining salt ishlash kuchlanishini temperaturaga bog'liqligi tasvirlangan. Hamma holat uchun salt ishlash kuchlanishining temperatura koeffitsienti bir xil qiymatga 2.52×10^{-3} V/K teng bo'ldi. Ya'ni quyosh elementini yoritilish yuzasini o'zgarishi salt ishlash kuchlanishining temperatura koeffitsientiga ta'siri mavjud emasligi ma'lum bo'ldi. Tiedjening ilmiy ishida ikki tomonlama yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining salt ishlash kuchlanishini temperatura koeffitsienti 1.36×10^{-3} V/K ga tengligi aniqlangan [13].



Rasm 4. Turli soxalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining salt ishlash kuchlanishini temperaturaga bog'liqligi

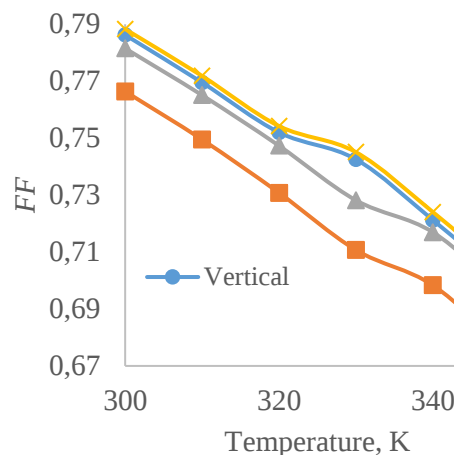
Quyosh elementining temperaturasi o'zgarganda, uning ichidagi fononlar konsentratsiyasi va termal generatsiya tufayli yuzaga kelayotgan elektron va kovakalr konsentratsiyasi ham o'zgaradi. Demak, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga bog'liqligi tufayli qisqa tutashuv toki ham o'zgarishi kerak. Rasm 5 da turli soxalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining qisqa tutashuv tokini temperaturaga bog'liqligi tasvirlangan. Yuqoridagi Rasm 3 da ko'rsatilganidek, bir yuzasi yoritilgandagiga qaraganda ikki va uch yuzasi yoritilgan quyosh elementining qisqa tutashuv toklari kattaroq. Shuning uchun, Rasm 4 da qisqa tutashuv tokini temperaturaga bog'liqligini tas-

virlash uchun har bir temperaturadagi qisqa tutashuv tokini 300K dagi qisqa tutashuv tokiga nisbatini temperaturaga bog'liqlik grafigi hosil qilindi. Temperatura 300 K dan 350 K gacha o'zgarganda, qisqa tutashuv toki gorizontaal bir tarafdin yoritilganda 3.1% ga, gorizontaal ikki tarafdin yoritilganda 4.4%, vertikal bir taraflama yoritilganda 3.8% va uchta yuza teng yoritilganda 4% ga kamayishi aniqlandi. He Wang tomonidan olib borilgan eksperimental tadqiqotda, 600W/m^2 yorug'lik nuri ostida kremniy asosli ikki taraflama sezgir quyosh modulining qisqa tutashuv tokini temperatura koeffitsienti $0.7 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ga tengligi aniqlangan [14].



Rasm 5. Turli soxalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining qisqa tutashuv tokini temperaturaga bog'liqligi

Quyosh elementlarining sidati fill faktor orqali aniqlanadi. Fill faktorning qiymatiga asosan quyosh elementdagi qarshilik ta'sir ko'rsatadi. Bunda asosiy ro'lni kontaktlarning sifati o'ynaydi. Rasm 6 da turli soxalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining to'ldirish koeffitsientini temperaturaga bog'liqligi tasvirlangan. Umumiy yuza yoritilganda bir va ikki tomoni yoritilgandagiga qaraganda to'ldirish koeffitsienti 2% ga kamroq bo'ldi. 330 K temperaturada gorizontaal va vertikal yoritilgan holatlar uchun to'ldirish koeffitsientini o'sishi kuzatildi. Lekin barcha holatlar uchun to'ldirish koeffitsientini temperaturaga bog'liq ravishda o'zgarish funksiyasi deyarli bir xil sifatga ega. To'ldirish koeffitsientining temperatura koeffitsienti barcha holat uchun deyarli bir xil $1.8 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ga teng bo'ldi. (Adabiyot) Temperatura ortgan sari to'ldirish koeffitsientining kamayishiga asosan yuza rekombinatsiyasining tezligi ortishi sabab bo'ladi.



Rasm 6. Turli soxalari yoritilgan kremniy asosli quyosh elementining to'ldirish koeffitsientini temperaturaga bog'liqligi

XULOSA

Kremniy asosli quyosh elementlaridan chiqayotgan elektr energiyasi miqdori uning yoritilish yuzasi ortishi bilan ortadi. Bunga sabab uning ichida fotogeneratsiyalanayotgan elektron va kovaklar konsntratsiyasi ortadi. Yoritilish yuzasi ortganda asosan qisqa tutashuv tokiga ta'sir ko'rsatdi. Salt ishlash kuchlanishi esa deyarli o'zgarmadi. Kremniy asosli quyosh elementining foydali ish koeffitsienti temperatura ortganda kamayadi. Shuningdek, ushbu ilmiy ishda o'rganilgan quyosh elementining foydali ish koeffitsienti ham kamaydi. Temperatura 300 K dan 350 K gacha o'zgarganda, qisqa tutashuv toki gorizontaal bir tarafdin yoritilganda 3.1% ga, gorizontaal ikki tarafdin yoritilganda 4.4%, vertikal bir taraflama yoritilganda 3.8% va uchta yuza teng yoritilganda 4% ga kamayishi aniqlandi. Demak uch tomonlama sezgir quyosh elementlarini sanoatda ishlab chiqarish va foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- [1] A. Mardani, A. Jusoh, E. K. Zavadskas, F. Cavallaro, and Z. Khalifah, "Sustainable and Renewable Energy: An Overview of the Application of Multiple Criteria Decision Making Techniques and Approaches," *Sustainability* 2015, Vol. 7, Pages 13947-13984, vol. 7, no. 10, pp. 13947–13984, Oct. 2015, doi: 10.3390/SU71013947.
- [2] F. M. Guangul and G. T. Chala, "Solar energy as renewable energy source: SWOT analysis," *2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City, ICBDSO 2019*, Feb. 2019, doi: 10.1109/ICBDSO.2019.8645580.
- [3] P. Fath, S. Keller, P. Winter, W. Jooß, and W. Herbst, "Status and perspective of crystalline silicon solar cell production," *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 002471–002476, 2009, doi: 10.1109/PVSC.2009.5411274.

- [4] W. Shockley and H. J. Queisser, "Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells," *Journal of applied physics*, vol. 32, no. 3, pp. 510–519, 1961.
- [5] J. Schmidt *et al.*, "Advances in the Surface Passivation of Silicon Solar Cells," *Energy Procedia*, vol. 15, pp. 30–39, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2012.02.004.
- [6] R. Aliev, J. Gulomov, M. Abduvohidov, S. Aliev, Z. Ziyoidinov, and N. Yuldasheva, "Stimulation of Photoactive Absorption of Sunlight in Thin Layers of Silicon Structures by Metal Nanoparticles," *Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika)*, vol. 56, no. 5, 2020, doi: 10.3103/S0003701X20050035.
- [7] Mori Hiroshi, "US3278811A - Radiation energy transducing device - Google Patents." <https://patents.google.com/patent/US3278811A/en> (accessed Sep. 14, 2021).
- [8] A. Hübner, A. G. Aberle, and R. Hezel, "Novel cost-effective bifacial silicon solar cells with 19.4% front and 18.1% rear efficiency," *Applied Physics Letters*, vol. 70, no. 8, p. 1008, Aug. 1998, doi: 10.1063/1.118466.
- [9] Aliev Rayimjon, Muxtarov Erkinjon, and Mirzaalimov Avazbek, "Quyosh generator," FAP 00623, 2011
- [10] J. Gulomov *et al.*, "Studying the effect of light incidence angle on photoelectric parameters of solar cells by simulation," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 10, no. 4, pp. 731–736, 2021, doi: 10.14710/ijred.2021.36277.
- [11] J. Gulomov and R. Aliev, "Study of the Temperature Coefficient of the Main Photoelectric Parameters of Silicon Solar Cells with Various Nanoparticles," *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 13, no. 4, pp. 04033-1-04033-5, 2021, doi: 10.21272/JNEP.13(4).04033.
- [12] S. Pal, A. Reinders, and R. Saive, "Simulation of Bifacial and Monofacial Silicon Solar Cell Short-Circuit Current Density under Measured Spectro-Angular Solar Irradiance," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 10, no. 6, pp. 1803–1815, Nov. 2020, doi: 10.1109/JPHOTOV.2020.3026141.
- [13] T. Tiedje and D. A. Engelbrecht, "Temperature Dependence of the Limiting Efficiency of Bifacial Silicon Solar Cells," *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, vol. 2020-June, pp. 1789–1791, Jun. 2020, doi: 10.1109/PVSC45281.2020.9300921.
- [14] H. Wang, X. Cheng, and H. Yang, "Temperature Coefficients and Operating Temperature Verification for Passivated Emitter and Rear Cell Bifacial Silicon Solar Module," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 10, no. 3, pp. 729–739, May 2020, doi: 10.1109/JPHOTOV.2020.2974289.
- [15] J. Zhou, Q. Huang, Y. Ding, G. Hou, Y. Zhao, *Nano Energy* 92, 106712 (2022).
- [16] Solar PV – Analysis – IEA. (2023).
- [17] B. Grübel, G. Cimiotti, C. Schmiga, S. Schellinger, B. Steinhauser, A. A. Brand, M. Kamp, M. Sieber, D. Brunner, S. Fox, S. Kluska, *Prog. Photovolt.: Res. Appl.* 30 No 6, 615 (2022).
- [18] Z. Sun, X. Chen, Y. He, J. Li, J. Wang, H. Yan, Y. Zhang, *Adv. Energy Mater.* 12 No 23, 2200015 (2022).
- [19] J. Gulomov, R. Aliev, *J. Nano- Electron. Phys.* 13 No 6, 06036 (2021).
- [20] Y. Da, Y. Xuan, Q. Li, *Sol. Energy Mater. Sol. C.* 174, 206 (2018).
- [21] M. Abderrezek, M. Fathi, F. Djahli, *J. Nano- Electron. Phys.* 10, No 2, 02027 (2018).

Информация об авторах

1-Мирзаалимов Авазбек Алишерович – старший преподаватель кафедры Общей физики, Андижанский государственный университет.
E-mail: avazbek.mirzaalimov@mail.ru
Телефон: +998972734808