

UO‘K: 621.313

QUYOSH ELEMENTLARI ENERGIYA SAMARADORLIGINING XUSUSIYATLARI

Sa’dullayev Alaviddin Bobakulovich – fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent, professor,
ORCID: 0009-0007-9517-3877, E-mail: sadullayevalaviddin@gmail.com.

Umirov Asror Pardayevich - texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,
ORCID: 0009-0007-5051-6012, E-mail: _asror30.03.1989@mail.ru.

Shoyqulova Dilnoza Sobir qizi – assistant, ORCID: 0009-0009-6636-6025,
E-mail: _dilnoza-shoyqulova@mail.ru.

Bobakulov Zavkiddin Aloviddin o'g'li- magistrant, ORCID: 0009-0008-8137-5627,
E-mail: _zavqiddin20021009@gmail.com.

Nabiyeva Iroda Islom qizi – magistrant, ORCID: 0009-0008-5963-5162,
E-mail: _irodanabiyeva875@gmail.com.

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada Qarshi shahri iqlim sharoitida Quyosh elementlarining energiya samaradorligini ularni tayyorlashda qo'llanilgan monokristal kremniyning tarkibidagi kirishma atomlari konsentratsiyasi va tashqi omillarning ta'sirlariga bog'liqligi xususiyatlari tadqiq qilingan. Nazariy hisob ishlari asosida Quyosh elementlarining samaradorligi monokristal kremniyning tarkibidagi donor va akseptor kirishma atomlarining konsentratsiyasiga, zaryad tashuvchi zarrachalarning o'rtacha yashash vaqtidagi bog'liqligi ilmiy jihatidan asoslangan hamda monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan Quyosh panelining energiya samaradorligini yoritilganlik darajasi va harorat ta'sirida o'zgarishi qonuniyati kristalning ichki tuzilishi, ularda tashqi ta'sirlar natijasida sodir etiladigan fizik jarayonlar asosida tushuntirilgan.

Kalit so'zlar: quyosh elementi, monokristal kremniy, energiya samaradorlik, zaryad tashuvchilarning o'rtacha yashash vaqti, quyosh paneli, yoritilganlik, ishchi harorat, kirishma atomlari, volt-lyuks tavsifi, donor va akseptorlar konsentratsiyasi, nominal ish rejimi.

УДК: 621.313

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Саъдуллаев Алавиддин Бобакулович - кандидат физико-математических наук, профессор

Умиров Асрор Пардаевич - доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Шойкулова Дилноза Собир кизи – ассистент

Бобокулов Завкиддин Аловиддин угли - магистрант

Набиева Ирода Ислон кизи - магистрант

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье исследованы свойства зависимости эффективности солнечных элементов в климатических условиях города Карши от концентрации примесей в монокристаллическом кремнии, который использовался при их изготовлении и при воздействии внешних факторов. На основе приведённых теоретических расчетов научно обоснованы зависимости эффективности солнечных элементов от концентрации примесных атомов доноров и акцепторов в монокристаллическом кремнии и среднего времени жизни носителей заряда. Также, на основе кристаллической структуры и совершённых физических процессов под влиянием освещённости и температуры объяснена закономерность изменения эффективности солнечной панели, изготовленной из монокристаллического кремниевого материала.

Ключевые слова: солнечный элемент, монокристаллический кремний, энергоэффективность, среднее время жизни носителей заряда, солнечная панель, освещённость, рабочая температура, примесные атомы, вольт-люксовая характеристики, концентрация доноров и акцепторов, номинальный режим работы.

UDC: 621.313

FEATURES OF ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR CELLS

Sadullaev, Alaviddin Bobakulovich - Candidate of physical and mathematical sciences, professor

Umirov, Asror Pardaevich - Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Associate professor

Shoykulova, Dilnoza Sobir kizi - Assistant

Bobakulov, Zavkiddin Aloviddin ugli - Master's student

Nabieva, Iroda Islam kizi - Master's student

Karshi State Technical University, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. *The article examines the properties of the dependence of the efficiency of solar cells in the climatic conditions of the city of Karshi on the concentration of impurities in monocrystalline silicon, which was used in their manufacture and under the influence of external factors. Based on the above theoretical calculations, the dependences of the efficiency of solar cells on the concentration of impurity atoms of donors and acceptors in monocrystalline silicon and the average lifetime of charge carriers are scientifically substantiated. Also, based on the crystal structure and perfect physical processes under the influence of illumination and temperature, the pattern of changes in the efficiency of a solar panel made of monocrystalline silicon material is explained.*

Keywords: *solar cell, monocrystalline silicon, energy efficiency, average lifetime of charge carriers, solar panel, illumination, operating temperature, impurity atoms, volt-lux characteristics, concentration of donors and acceptors, nominal operating mode.*

Kirish

Dunyoning rivojlangan barcha davlatlari qatorida mamlakatimizda ham aholi sonining ortib borishi va turli quvvatdagi yangi ishlab chiqarish sanoat korxonalarining ishga tushirilishi hamda ularda innovatsion texnologiyalarni samarali qo'llanilishi natijasida elektr energiyasiga bo'lgan talab bugungi kunda keskin ortib bormoqda. Shu sababli qayta tiklanmaydigan organik yoqilg'i zahiralarini kamayib borayotgan bir vaqtda elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojni qondirish maqsadida qayta tiklanuvchi muqobil energiya manbalarini yaratish hamda ularni samarali qo'llanilishini tashkil etish energetika tizimida dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ma'lumki, mamlakatimiz joylashgan geografik hududda qayta tiklanuvchi muqobil energiya resurslarining boshqa turdagilariga nisbatan Quyosh energiyasi o'zining uzluksizligi va ekologik tozaligi xususiyatiga ko'ra muhim amaliy ahamiyat kasb etadi [1-6]. Zamonaviy elektronika ishlab chiqarish sanoatida Quyosh elementlarini tayyorlashda boshqa turdagilariga nisbatan yarimo'tkazgichli mono va polikristal kremniy moddalari kengroq qo'llanilmoqda [7-9]. Bugungi kunda yarimo'tkazgichli kremniy kristali asosida Quyosh elementlarini ishlab chiqarish sohasida dunyo miqyosida Xitoy mamlakatining "LONGi Solar" ishlab chiqarish quvvati 14,7 GVt, "Tongwei Solar" ishlab chiqarish quvvati 12,1 GVt, "Aiko Solar" ishlab chiqarish quvvati 10,5 GVt, AQShning "JinkoSolar" ishlab chiqarish quvvati 8,7 GVt, Kanadaning "Canadian Solar" ishlab chiqarish quvvati 8,3 GVt bo'lgan kompaniyalari yetakchi o'rinlarni egallagan.

Quyosh elementlarini keng tarqalgan turlaridan bo'lib, monokristal kremniyli (F.I.K. $\eta \leq 25\%$), polikristal kremniyli (F.I.K. $\eta \leq 20\%$) va amorf kremniyli (F.I.K. $\eta \leq 9\%$) hisoblanadi. Monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan Quyosh elementlarining energiya samaradorlik ko'rsatkichlari yuqori bo'lsada, ammo boshqa turdagilariga nisbatan ishlab chiqarish xarajatlariga ko'ra qimmat bo'lib, undan keyingi o'rinlarda polikristal va amorf kremniyli Quyosh elementlari turadi. Kremniy kristalli Quyosh elementlarining energiya samaradorlik ko'rsatkichlari asosan ularni tayyorlashda ishlatiladigan yarimo'tkazgich kremniy materialining ichki kristal tuzilishi va atrof-muhit iqlim sharoitiga kuchli bog'liq bo'ladi [10-15].

Ilmiy-tadqiqot ishida yarimo'tkazgichli monokristal kremniy asosida tayyorlangan Quyosh elementlarini Qarshi shahri iqlim sharoitida samaradorligini materialning tarkibidagi kirishma atomlarining konsentratsiyasiga, zaryad tashuvchi zarrachalarning o'rtacha yashash vaqtiga va tashqi ta'sir etuvchi omillarga bog'liqligi qonuniyatlarini o'rganish hamda ilmiy asoslash asosiy maqsad qilib olindi. Ilmiy maqolada tadqiqot obyekti sifatida tanlangan monokristal kremniyli Quyosh

elementining samaradorlik ko'rsatkichlarini tavsiflovchi asosiy kattaliklari nazariy hisob ishlarining natijalari asosida tahlil qilinib, ilmiy asoslangan xulosalar yoritildi.

Tadqiqot ishining uslubiyoti

Ushbu tadqiqot ishida Quyosh elementlarini tavsiflovchi asosiy kattaliklarning son qiymatlarini aniqlashda ma'lum formulalar asosida nazariy hisob, tajribaviy o'lchovlar va qiyosiy tahlil usullari qo'llanildi. Quyosh elementlari xarakteristikalarining tahlili tajriba natijalariga muvofiq olingan Volt-amper va Lyuks-amper xarakteristikalarini asosida amalga oshirilgan

Tajriba natijalari

Ma'lumki, Quyosh elementlarining energiya samaradorligi ularning Volt-amper tavsifidagi 2 ta asosiy kattalik, ya'ni tok kuchi $I = 0$ holatdagi $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishi va kuchlanish $U = 0$ holatdagi $I_{q,t}$ - qisqa tutashuv toki, quvvatning maksimal qiymati esa tok kuchi va kuchlanishning I_{max} hamda U_{max} qiymatlari bilan aniqlanadi.

Quyosh elementlarining $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishi umumiy holatda quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_{s,yu} = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{I_f}{I_s} \right) = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{e\gamma\beta SI_m}{h\nu I_s} \right). \quad (1)$$

Salt yurish kuchlanishi Quyosh elementlarini samaradorligini tavsiflovchi asosiy kattalik bo'lib, uning son qiymatini (1) tenglamaga asosan I_f - fototokning I_s - to'yinish tokiga nisbatini, p-n o'tishning p va n o'tkazuvchanlik sohalaridagi kirishma atomlarining konsentratsiyasini yoki asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchi zarrachalarning o'rtacha yashash vaqtini oshirish orqali o'zgartirish mumkin.

Quyosh elementning P_m - maksimal quvvati, tok kuchi va kuchlanishning maksimal qiymatlarini ko'paytmasi orqali quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$P_m = I_m \cdot U_m \approx I_f \cdot \left[U_{s,yu} - \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{eU_m}{kT} \right) - \frac{kT}{e} \right] = I_f \cdot \frac{E_m}{e}. \quad (2)$$

Tenglamadagi E_m - kattalik Quyosh elementiga bitta foton yutilishi natijasida hosil qilingan elektr energiyasining maksimal qiymatini tavsiflaydi va I_s - to'yinish tokining son qiymatiga, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchi zarrachalarning yashash vaqtiga, kirishma atomlarining konsentratsiyasiga bog'liq bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$E_m = e \left[U_{s,yu} - \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{eU_m}{kT} \right) - \frac{kT}{e} \right]. \quad (3)$$

Quyosh elementlarining samaradorlik ko'rsatkichlarini tavsiflovchi asosiy kattaliklaridan biri η - foydali ish koeffitsiyenti ularning P_m - maksimal quvvatini ishchi sirti yuzasiga tashayotgan nurlanishning P_n - quvvatiga nisbati bilan aniqlanib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

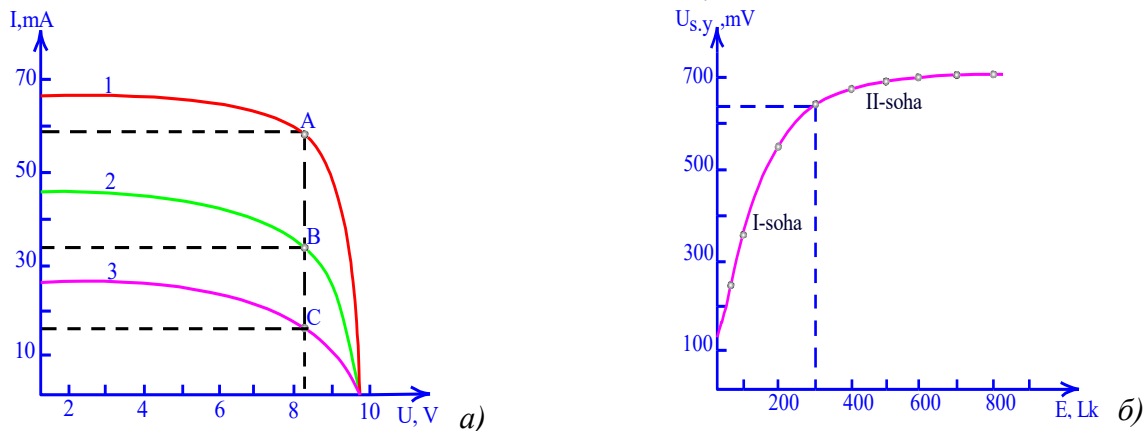
$$\eta = \frac{P_m}{P_n} = \frac{I_m \cdot U_m}{P_n}. \quad (4)$$

Yuqorida keltirilgan (1), (2), (3) va (4) tenglamalarning chuqur tahlillari shuni ko'rsatdiki, har qanday turdagi Quyosh elementlarining samaradorligini maksimal qiymati ularni tayyorlashda qo'llanilgan yarimo'tkazgich materiallarida asosan yoritilganlik va haroratni o'zgarishi oqibatida sodir etiladigan fizik jarayonlarning ta'sirlari bilan chegaralangan. Shu sababli, samaradorlik ko'rsatkichlari yuqori bo'lgan Quyosh elementlarini yaratish, ularni tavsiflovchi asosiy kattaliklar $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishi, $I_{q,t}$ - qisqa tutashuv toki, I_s - to'yinish toki va τ - zaryad tashuvchi zarrachalarning o'rtacha yashash vaqtining optimal son qiymatlarini to'g'ri tanlanishini talab etadi. Ushbu kattaliklarning optimal son qiymatlari qanday omillarga bog'liqligi monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan Quyosh elementlarida quyidagicha aniqlandi:

Quyosh elementning samaradorligi P_m - maksimal quvvatga bog'liq bo'lib, uning son qiymati (2) tenglamaga muvofiq $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishiga, (1) tenglamaga asosan $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishi I_f - fototokka to'g'ri proporsional. Agarda p-n o'tish sohasida $\Delta\phi_k$ - kontakt potentsiallari farqi qancha yuqori bo'lsa, I_f - fototok shuncha katta bo'lib, Quyosh elementining samaradorligi ortadi, ammo quyidagi (5) tenglamaga asosan $\Delta\phi_k$ - kontakt potentsiallari farqining son qiymati p va n o'tkazuvchanlik sohalaridagi N_d -donor va N_a -akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasiga bog'liq

bo'lib, monokristal kremniy hajmida ularning sonini $N_d = N_a \leq 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ chegaraviy qiymatidan oshirib bo'lmaydi, aks holda monokristal kremniyning xususiyatlarini keskin o'zgartiruvchi turli xildagi hajmiy nuqsonlarni paydo bo'lishiga olib keladi.

$$\Delta\varphi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_p}{p_n} \approx \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a \cdot N_d}{n_i^2}. \quad (5)$$



1-rasm. Monokristal kremniy asosida tayyorlangan kichik quvvatli Quyosh elementining a)- Volt-Amper, b)- Volt-Lyuks xarakteristikalari.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, kichik quvvatli Quyosh elementining Volt-Lyuks xarakteristikasi ikkita sohadan iborat bo'lib, I - sohada $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishi ishchi sirt yuzasining yoritilganligi ortib borishi bilan chiziqli ravishda ortib boradi, II - sohada esa to'yinish jaryoni kuzatiladi, ya'ni samaradorlikning ortish ko'rsatkichi chegaralanadi (1, b)- rasm). Ushbu jarayonni $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishini ifodalovchi (6) tenglamaga asosan quyidagicha izohlash mumkin, ya'ni I_f - fototokning son qiymati Quyosh elementining ishchi sirti yuzasiga tushayotgan nurlanish oqimining P_n - quvvatiga to'g'ri proporsional ravishda chiziqli, I_f - fototokning ortib borishi bilan $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishi logarifmik qonuniyat asosida ortib boradi. Amalda tenglamaning chap tomonidagi salt yurish kuchlanishining fototok kuchiga ko'paytmasini ifodalovchi $U_{s,yu} \cdot I_f$ - kattalikni nurlanishning P_n - quvvatini chiziqli ortib borishiga nisbatan tezroq o'sishi Quyosh elementining samaradorligini ortishini ta'minlaydi.

$$U_{s,yu} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_f}{I_s} \right); \quad I_f \cdot U_{s,yu} = I_f \cdot \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_f}{I_s} \right). \quad (6)$$

Quyosh elementlarining Volt-Lyuks xarakteristikasining chiziqli bog'lanishli sohasida ishchi sirt yuzasiga yutilgan nurlanish yarimo'tkazgich materialida ichki fotoeffektni yuzaga keltiradi va fototokning qiymati ortib boradi. To'yinish sohasida esa yarimo'tkazgich materialida yutilgan nurlanish oqimi kristalning hajmida r va n o'tkazuvchanlik sohalarida zaryad tashuvchi zarrachalarni yutuvchi markazlarni paydo qilishi natijasida ularning o'rtacha yashash vaqtlarini qisqarishi oqibatida Quyosh elementining samaradorlik darajasi o'sishdan to'xtaydi.

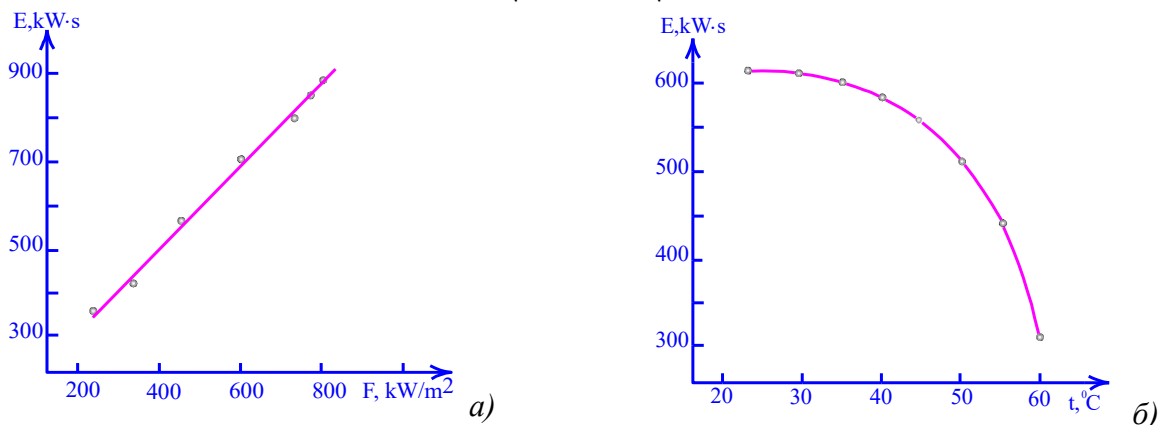
Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, Quyosh elementlarining ishchi jismini harorati ortib borishi bilan samaradorligi kamayib boradi. Monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan Quyosh elementlarida eng optimal ish harorati $T_{ish} = 25 \div 26 ^\circ\text{C}$ oralig'ida bo'lib, haroratni $T_{ish} = 40 \div 41 ^\circ\text{C}$ gacha ortishi samaradorlikni $19 \div 20 \%$ gacha kamayishiga olib keladi [10]. Ushbu jarayonni sodir etilishining fizik mexanizmini quyidagicha izohlash mumkin, ya'ni ishchi jismining harorati ortib borishi bilan uning ichki energiyasi ortib borishi natijasida kristal panjara tugunlarida joylashgan atomlarning tebranma harakat amplitudasi ortadi va zaryad tashuvchi zarrachalarni xususiy hamda kirishma atomlari bilan to'qnashuvlari sonining ortishi oqibatida ularning o'rtacha erkin yugurish yo'li va yashash vaqtining keskin qisqarishi samaradorlikning nominal ishchi haroratiga nisbatan kamayishini ta'minlaydi.

Monokristal kremniy materiali asosida tayyorlangan Quyosh elementida ishchi haroratning o'zgarishi natijasida sodir etiladigan termoelektrik jarayonlar natijasida $U_{s,yu}$ - salt yurish kuchlanishining o'zgarishi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$U_{s,yu} = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_f}{I_S} \right) = \frac{kT}{e} \ln \left[\frac{I_f}{e \cdot A \cdot n_i^2 \left[\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p} \cdot \frac{1}{N_d}} + \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n} \cdot \frac{1}{N_a}} \right]} \right]. \quad (7)$$

Ma'lumki, Quyosh elementlarida p-n o'tishning teskari I_S - to'yinish toki ortib borishi bilan samaradorlik kamayib boradi, (7) tenglamaga asosan harorat ortib borishi bilan to'yinish tokining ortishi p va n o'tkazuvchanlik sohalaridagi kovaklar hamda elektronlarning o'rtacha τ_p va τ_n yashash vaqtlarini kamayishi hisobiga sodir etiladi. Agarda p-n o'tishning teskari I_S - to'yinish tokini (7) tenglamadagi ifodasi chuqur tahlil qilinsa, I_S - to'yinish toki ikkita kattaliklarning algebraik yig'indisidan iborat bo'lib, ildiz ostidagi $\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}}$ va $\sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}}$ ifodaga asosan harorat ortishi bilan bir vaqtda elektron va kovaklarning monokristal kremniy materialida D_p , D_n - diffuziya koeffitsiyentlari ortadi, τ_p va τ_n - o'rtacha yashash vaqtlari qisqaradi, natijada esa Quyosh elementining samaradorligi nominal ishchi haroratiga nisbatan kamayadi.

$$I_S = e \cdot A \cdot n_i^2 \left[\sqrt{\frac{D_p}{\tau_p} \cdot \frac{1}{N_d}} + \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n} \cdot \frac{1}{N_a}} \right]. \quad (8)$$



2-rasm. Monokristal kremniy asosida tayyorlangan Quyosh elementi samaradorligini a)- yoritilganlikka, b)- haroratga bog'liqligi grafigi.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, Quyosh elementlarining samaradorligi, ya'ni ishchi sirt yuzasiga yutilgan yorug'lik energiyasining elektr energiyasiga o'zgartirilgan qismi Quyosh elementi ishchi yuzasini yoritilganlik darajasi yuqori bo'lgan holatda katta bo'lsada, ammo ishchi jismining sirt yuzasiga yutilgan nurlanish oqimi uning haroratini keskin ortishiga olib kelishi natijasida samaradorlik kamayadi (2-b)-rasm). Bunday holatlarda samaradorlikni oshirish maqsadida Quyosh elementlarini sun'iy ravishda sovutishni amalga oshirish talab etiladi.

Quyosh elementlarining samaradorligini ishchi jismining yoritilganlik darajasi va haroratiga bog'liqligi grafigidan ko'rinib turibdiki, yoritilganlik ortib borishi bilan samaradorlik chiziqli ravishda ortib boradi (2-a)-rasm), ammo haroratni effektiv qiymatiga nisbatan ortishi natijasida eksponensial qonuniyat asosida kamayadi (2-b)-rasm). Buning sababi, yarimo'tkazgichli monokristal kremniyning p va n o'tkazuvchanlikli sohalarida zaryad tashuvchi zarrachalarning o'rtacha yashash vaqtini harorat ortib borishi bilan eksponensial ravishda qisqarish jarayoni bilan izohlanadi.

Xulosa

1. Quyosh elementlarining samaradorligini ularni tayyorlashda qo'llanilgan monokristal kremniy materialining tarkibidagi kirishma atomlarining konsentratsiyasini o'zgartirish orqali boshqarish mumkin;

2. Quyosh elementlarining samaradorligini maksimal darajasiga yetkazish uchun diffuziya jarayonida p va n o'tkazuvchanlik sohasidagi donor va akseptor kirishma atomlari konsentratsiyasining optimal son qiymatini tanlash talab etiladi;

3. Quyosh elementlarining samaradorligi maksimal qiymatiga yetadigan shunday ishchi harorati mavjudki, haroratni undan yuqori qiymatlarida samaradorlik keskin pasayib ketadi;

4. Quyosh elementlarini ishchi sirti yuzasini yoritilganlik darajasi ortib borishi bilan samaradorlik ko'rsatkichlari ham ortib boradi, ammo yuqori yoritilganlik sohalarida yarimo'tkazgich materialining qizib ketishi natijasida samaradorlikni sezilarli darajada pasayishi kuzatiladi.

Adabiyotlar

- [1] Litvin N.V., Lokonova E.L., Zheleznyakova A.V., Zarochintseva I.V., Modeling solar battery efficiency. Engineering Journal of Don. 2022. No. 1 (85). P. 117-130.
- [2] Shonina D.E., Nechaev I.S., Frolova K.Yu. Zavisimost raboty solnechnoj batarei of solnechnogo sveta [Dependence of solar panel operation on sunlight]. Student's. 2020. No. 39-5 (125). P. 90-92 [in Russian].
- [3] Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии /В.В. Елистратов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 224 с.
- [4] Обозов А.Д. Возобновляемые источники энергии /А.Д. Обозов, Р.М. Ботпаев. – Бишкек.: КГТУ, 2010. – 218 с
- [5] Ali Sayigh. Comprehensive Renewable Energy. Volume One. Photovoltaic Solar Energy // Elsevier Ltd – 2012. – P. 746. [Электронный ресурс].
- [6] Основы возобновляемой энергетики. Компания «Ваш Солнечный Дом», 2016. [Электронный ресурс].
- [7] Основы возобновляемой энергетики. Компания «Ваш Солнечный Дом», 2016. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.solarhome.ru/ru/basics/pv/>
- [8] Баженов Н.Л., Мынбаев К.Д., Семакова А.А., Зегря Г.Г. Время жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках с близкими значениями запрещённой зоны и спинорбитального отщепления. //Физика и техника полупроводников, 2019, том 53, вып.4. с.450-455.
- [9] Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
- [10] Влияние температуры на эффективность солнечных батарей: статья в журнале GWS energy. [Электронный ресурс]. URL: <http://gws-energy.ru/blog/40-vliyanie-temperatury-na-effektivnost-solnechnykh-batarej>.
- [11] А да Роза, Возобновляемые источники энергии. Физико - технические основы, перевод с английского под редакцией С.П. Малышенко, О.С. Попеля, М., МЭИ, 2010 - 704с.
- [12] M. Kneissl, T. Kolbe, C. Chua, V. Kueller, N. Lobo, J. Stellmach, A. Knauer, H. Rodriguez, S. Einfeldt, Z. Yang, N.M. Johnson, M. Weyers. Advances in group III-nitride-based deep UV light-emitting diode technology. Semiconductor Science and Technology. 2011. V. 26. Art. 014036.
- [13] M. Kneissl, T. Kolbe, C. Chua, V. Kueller, N. Lobo, J. Stellmach, A. Knauer, H. Rodriguez, S. Einfeldt, Z. Yang, N.M. Johnson, M. Weyers. Advances in group III-nitride-based deep UV light-emitting diode technology. Semiconductor Science and Technology. 2011. V. 26. Art. 014036.
- [14] John Ellis. Pressure transients in water engineering/ University of Glasgow, Thomas Telford Publishing Ltd, UK, 2008, ISBN: 978-0-7277-3592-8.
- [15] А.Б.Саъдуллаев. Монокристал кремний асосида тайёрланган куёш модулининг фотоэлектрик хусусиятлари. Инновацион технологиялар. Илмий журнали. ҚарМИИ. 2017 й. №2, 24-28 б.