ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 7

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

YUQORI SAMARADORLIKKA EGA YARIM O‘TKAZGICHLI QUYOSH ELEMENTLARINING ISHLASH TAMOYILI VA RIVOJLANISH TENDENSIYALARI

Uraimov Axror
Andijon davlat texnika instituti, Muqobil energiya manbalari yo’nalishi talabasi;
Aliyev Suxrob Rayimjonovich
Andijon davlat texnika instituti, Muqobil energiya manbalari kafedrasi dotsenti, PhD
Alijonov Abbosbek Azizjon-o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti, Muqobil energiya manbalari kafedrasi doktaranti.

Anotatsiya. Ushbu maqolada yuqori samaradorlikka ega yarim o‘tkazgichli quyosh elementlarining ishlash tamoyili va rivojlanish tendensiyalari tahlil qilinadi. Tadqiqot jarayonida fotoelektrik hodisa, p-n o‘tishdagi zaryad tashuvchilar harakati hamda energiya konversiya jarayonlari fizik-matematik modellashtirish asosida o‘rganildi. Quyosh elementlarining volt-amper va quvvat xarakteristikalari orqali ularning asosiy parametrlari aniqlandi. Shuningdek, kremniy, perovskit va tandem strukturalarning samaradorlik ko‘rsatkichlari taqqoslandi. Olingan natijalar zamonaviy texnologiyalar yordamida quyosh elementlarining samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkinligini ko‘rsatadi hamda ushbu yo‘nalishning istiqbolli ekanligini asoslaydi.

Kalit so‘zlar: p-n o‘tish, kremniy, perovskite, tandem struktura, qayta tiklanuvchi energiya, Shockley–Read–Hall, GaAs, I–V xarakteristika, quvvat–kuchlanish (P–V) xarakteristikalari.

Annotation. This article analyzes the principle of operation and development trends of high-efficiency semiconductor solar cells. In the course of the research, the photoelectric effect, the movement of charge carriers in the p-n junction, and energy conversion processes were studied based on physical and mathematical modeling. The main parameters of solar cells were determined through their volt-ampere and power characteristics. The efficiency indicators of silicon, perovskite, and tandem structures were also compared. The results obtained show that the efficiency of solar cells can be significantly increased using modern technologies and justify the promising nature of this direction

Keywords: p-n junction, silicon, perovskite, tandem structure, renewable energy, Shockley–Read–Hall, GaAs, I–V characteristic, power–voltage (P–V) characteristics.

ISSN 3030-3907

Аннотация. В данной статье анализируются принцип работы и тенденции развития высокоэффективных полупроводниковых солнечных элементов. В ходе исследования на основе физико-математического моделирования изучались фотоэлектрический эффект, движение носителей заряда в p-n-переходе и процессы преобразования энергии. Основные параметры солнечных элементов определялись по их вольт-амперным и мощностным характеристикам. Также проводилось сравнение показателей эффективности кремниевых, перовскитных и тандемных структур. Полученные результаты показывают, что эффективность солнечных элементов может быть значительно повышена с использованием современных технологий, и подтверждают перспективность этого направления.

Ключевые слова: p-n переход, кремний, перовскит, тандемная структура, возобновляемая энергия, Шоккли–Рид–Холл, GaAs, вольт-амперная характеристика, вольт-амперная характеристика (P–V).

KIRISH

Yuqori samaradorlikka ega yarim o‘tkazgichli quyosh elementlari zamonaviy energetikaning muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanishni ta’minlaydi. Quyosh elementlarining ishlash tamoyili asosan yarim o‘tkazgich materiallarda yuzaga keladigan fotoelektrik hodisaga asoslanadi. Bu jarayonda quyosh nurlari ta’sirida yarim o‘tkazgich ichida elektron-kovak juftliklari hosil bo‘ladi va p-n o‘tish orqali ajratilib, tashqi zanjirda elektr toki hosil qiladi. So‘nggi yillarda kremniy asosidagi an’anaviy quyosh elementlari bilan bir qatorda, yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan perovskit, galliy arsenid (GaAs) va ko‘p qatlamli (tandem) tuzilmalar keng o‘rganilmoqda[1]. Ushbu texnologiyalar energiya konversiya samaradorligini 25–30% va undan yuqori darajaga yetkazish imkonini bermoqda. Bundan tashqari, zaryad tashuvchilarning rekombinatsiya yo‘qotishlarini kamaytirish, yorug‘likni maksimal darajada yutish va ichki qarshilikni pasaytirish orqali samaradorlikni oshirish muhim ilmiy muammo hisoblanadi[2]. Zamonaviy tadqiqotlar nanostrukturalar, sirt passivatsiyasi va yangi materiallar qo‘llash orqali quyosh elementlarining ishlash ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilashga qaratilgan. Shu sababli, yuqori samaradorlikka ega yarim o‘tkazgichli quyosh elementlarining ishlash mexanizmini chuqur tahlil qilish va ularning rivojlanish tendensiyalarini o‘rganish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi[3].

METODLAR.

Ushbu tadqiqot ishida yuqori samaradorlikka ega yarim o‘tkazgichli quyosh elementlarining ishlash tamoyilini o‘rganishda kompleks yondashuv qo‘llanildi. Tadqiqotning asosiy qismini nazariy tahlil, fizik-matematik modellashtirish va

ISSN 3030-3907

grafik usullar tashkil etadi. Dastlab, quyosh elementlarida yuzaga keladigan fotoelektrik jarayonlar yarim o‘tkazgich fizikasi qonunlari asosida o‘rganildi. Bunda p-n o‘tishdagi ichki elektr maydon ta’sirida elektron va kovaklarning ajralish mexanizmi tahlil qilindi.

Fotoelektrik konversiya jarayonini baholash uchun quyosh elementining tok zichligi quyidagi tenglama orqali ifodalandi[4]:

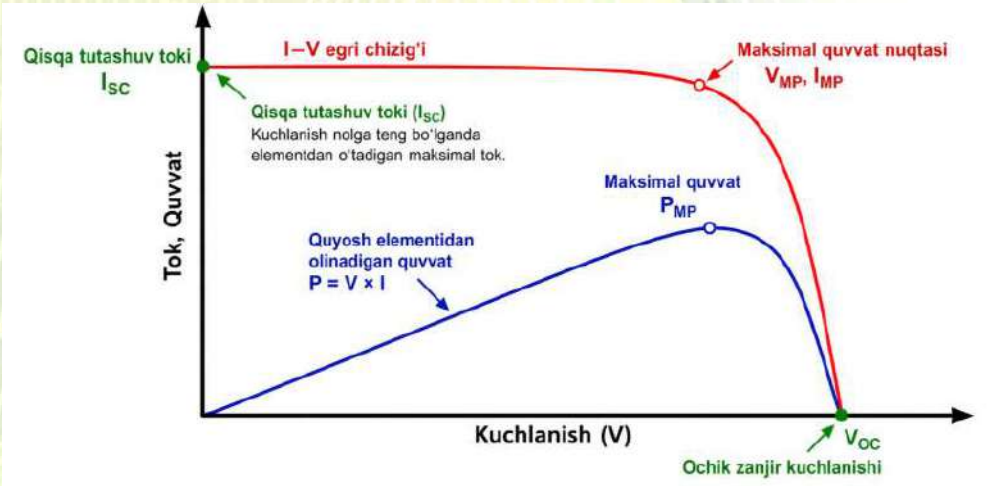
$$J = J_{ph} - J_0\left(e^{\frac{kT}{qV}} - 1\right) \quad (1)$$

bu yerda J_{ph} — foto hosil bo‘lgan tok zichligi, J_0 — to‘yinish toki, q — elektron zaryadi, V — kuchlanish, k— Boltsman doimiysi va T — mutlaq harorat. Ushbu tenglama orqali quyosh elementining volt-amper xarakteristikasi (I–V) tahlil qilindi[5].

Quyosh elementining maksimal foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlandi:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{max} * I_{max}}{P_{in}} \quad (2)$$

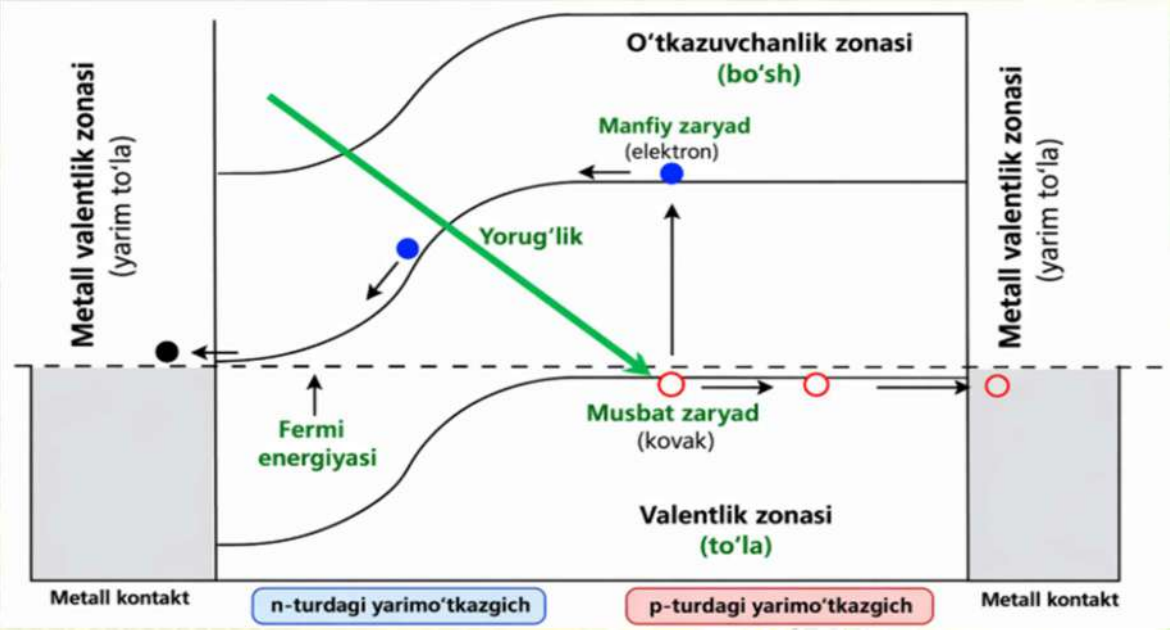
bu yerda P_{max} — maksimal chiqish quvvati, P_{in} — tushayotgan quyosh nurlanishi quvvati. Samaradorlikni oshirish omillari sifatida yorug‘likni maksimal yutish, rekombinatsiya yo‘qotishlarini kamaytirish va ichki qarshilikni optimallashtirish ko‘rib chiqildi.



1-rasm. Quyosh elementining tok–kuchlanish (I–V) va quvvat–kuchlanish (P–V) xarakteristikalari grafigi

Tadqiqotda, shuningdek, turli materiallar asosidagi quyosh elementlari (kremniy, GaAs, perovskit va tandem strukturalar) taqqoslash usuli orqali baholandi. Ularning samaradorlik ko‘rsatkichlari, optik yutilish xususiyatlari va texnologik afzalliklari analitik yondashuv asosida o‘rganildi. Rekombinatsiya jarayonlari Shockley–Read–Hall modeli orqali tushuntirilib, zaryad tashuvchilar yo‘qotishlari tahlil qilindi[6].

ISSN 3030-3907



2-rasm. Standart quyosh elementining p–n o'tishidagi energiya zonalari va zaryad tashuvchilar harakati.

Natijada, qo'llanilgan metodlar quyosh elementlarining ishlash mexanizmini chuqur tahlil qilish, samaradorlikni aniqlash va zamonaviy rivojlanish tendensiyalarini baholash imkonini berdi.

NATIJALAR.

Ushbu tadqiqotda yarim o'tkazgichli quyosh elementining asosiy elektr parametrlari fizik-matematik modellashtirish orqali aniqlandi. Hisoblashlar standart sinov sharoitlari (STC: G=1000 W/m^2 T =25 ◦C) uchun bajarildi. Model sifatida kremniy asosidagi quyosh elementi qabul qilindi. Olingan natijalarga ko'ra, qisqa tutashuv I_{sc}≈9.1 A, ochiq zanjir kuchlanishi V_{oc}≈0.62 V ni tashkil etdi.

Quyosh elementining tok-kuchlanish bog'lanishi yuqoridagi 1-tenglama asosida hisoblandi. Hisoblashlar natijasida kuchlanish oshishi bilan tokning eksponensial kamayishi kuzatildi. Grafik tahlil asosida maksimal quvvat nuqtasi (MPP) $V_{max} \approx 0.48\,V\ va\ I_{max} \approx 8.3\,A$ qiymatlarida hosil bo'lishi aniqlandi. Shu asosda maksimal chiqish quvvati:

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \approx 3.98\,W$$

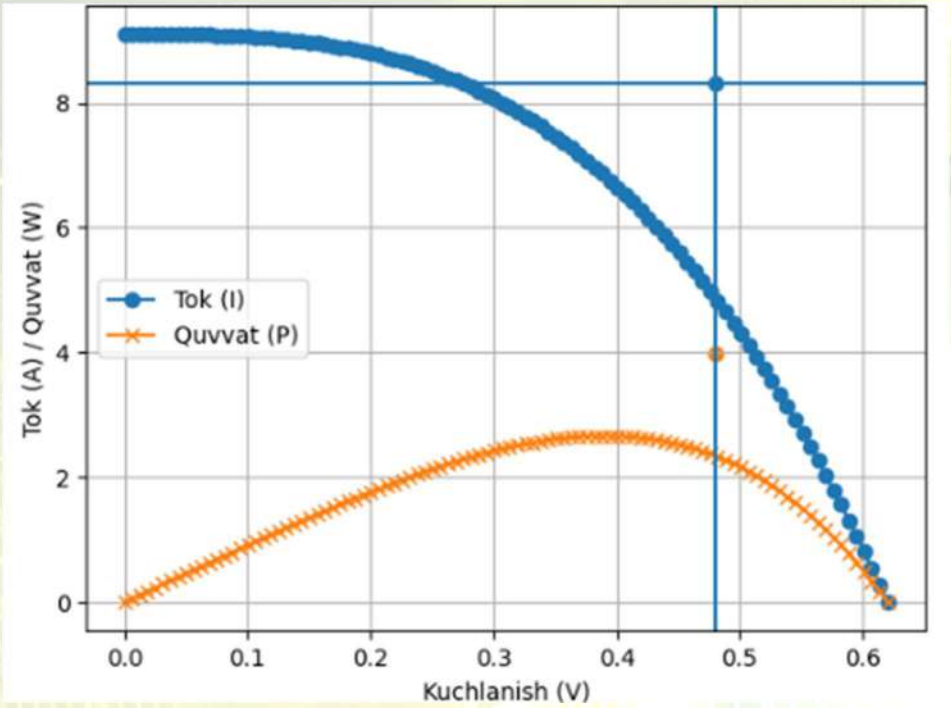
ni tashkil etdi.

Agar kiruvchi quyosh nurlanishi quvvati $P_{in} \approx 20\,W$ olinsa, hisob-kitob natijasida samaradorlik:

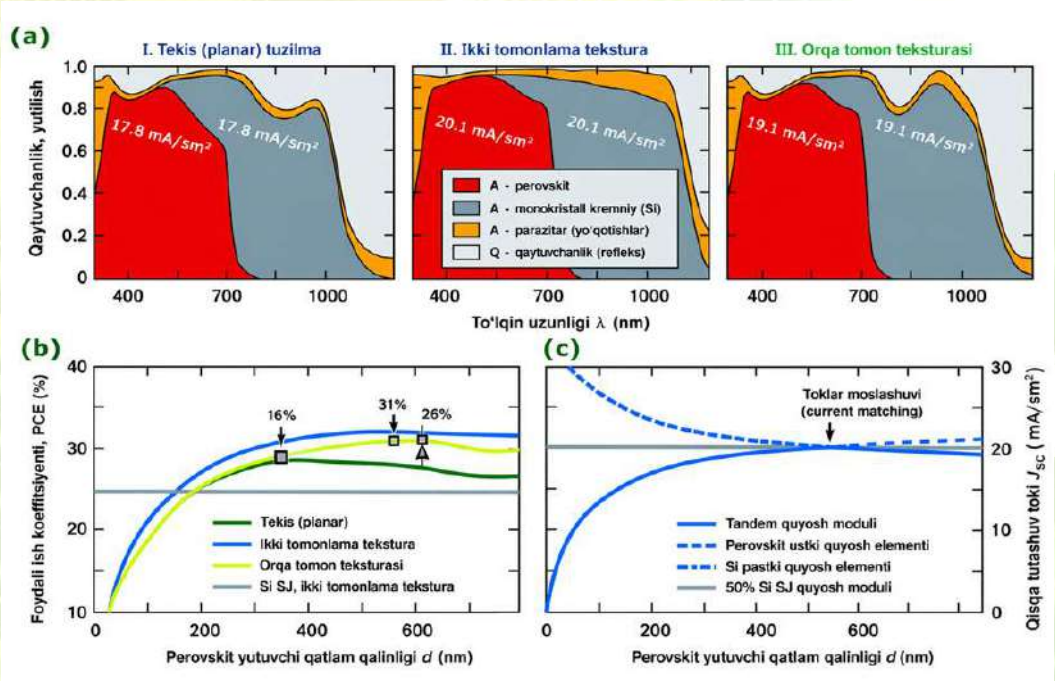
$$\eta \approx 19.9\%$$

ga teng bo'ldi. Bu natija amaliy kremniy quyosh elementlari uchun xos bo'lgan 18–22% diapazonga mos keladi.

ISSN 3030-3907



3-rasm. Quyosh elementining tok–kuchlanish (I–V) va quvvat–kuchlanish (P–V) xarakteristikalari (maksimal quvvat nuqtasi – MPP bilan)



4-rasm. Perovskit/Si tandem quyosh modulining optik va elektr xarakteristikalari hamda qatlam qalinligiga bog‘liqligi. (a) Optik xarakteristikalar (yutilish va qaytish spektri). (b) Foydali ish koeffitsiyenti (PCE) ning qatlam qalinligiga bog‘liqligi. (c) Toklarning moslashuvi (current matching)

Grafik natijalar shuni ko‘rsatdiki, I–V xarakteristika nolinear bo‘lib, maksimal quvvat nuqtasi faqat ma’lum yuklama qarshiligida yuzaga keladi. P–V

ISSN 3030-3907

grafikda esa quvvatning bitta maksimum nuqtasi mavjud bo‘lib, bu nuqta quyosh elementining optimal ishlash rejimini ifodalaydi.

Taqqoslash natijalari asosida turli materiallarning samaradorligi quyidagicha baholandi: kremniy (Si) — 18–22%, galliy arsenid (GaAs) — 25–28%, perovskit — 23–27%, tandem strukturalar — 30% va undan yuqori. Bu natijalar yuqori samaradorlikka erishishda ko‘p qatlamli strukturalarning ustunligini ko‘rsatadi.

Shuningdek, rekombinatsiya jarayonlari natijasida tok yo‘qotishlari 10–15% gacha yetishi aniqlanib, bu samaradorlikka sezilarli ta’sir ko‘rsatishi qayd etildi. Ichki qarshilikning ortishi esa chiqish quvvatini kamaytirib, maksimal quvvat nuqtasini siljitishi kuzatildi. Yorug‘lik intensivligi oshishi bilan I_{sc} qiymati chiziqli ortishi, V_{oc} esa logarifmik ravishda o‘sishi aniqlandi.

Natijalar umumlashtirilganda, yarim o‘tkazgichli quyosh elementlarining samaradorligi ularning materiali, struktura dizayni va ish sharoitlariga bog‘liq ekanligi tasdiqlandi. Zamonaviy texnologiyalar, ayniqsa tandem va perovskit asosidagi elementlar, yuqori samaradorlikka erishishda istiqbolli yo‘nalish ekanligi aniqlandi.

XULOSA.

Ushbu tadqiqot natijalariga ko‘ra, yarim o‘tkazgichli quyosh elementlarining ishlash tamoyili fotoelektrik hodisa va p-n o‘tishdagi ichki elektr maydon orqali zaryad tashuvchilarning ajralishiga asoslanishi ilmiy jihatdan asoslab berildi. O‘tkazilgan hisob-kitoblar va grafik tahlillar quyosh elementining asosiy parametrlari — qisqa tutashuv toki, ochiq zanjir kuchlanishi hamda maksimal quvvat nuqtasi orqali uning samaradorligini aniq baholash imkonini berdi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, an’anaviy kremniy asosidagi quyosh elementlarining samaradorligi 18–22% atrofida bo‘lsa, zamonaviy perovskit va tandem strukturalarda bu ko‘rsatkich 25–30% va undan yuqori qiymatlarga yetishi mumkin. Shuningdek, rekombinatsiya yo‘qotishlari, ichki qarshilik va yorug‘lik yutilish darajasi samaradorlikka sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi.

Umuman olganda, yuqori samaradorlikka ega quyosh elementlarini yaratish material tanlash, strukturani optimallashtirish va yangi texnologiyalarni joriy etish bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib, ushbu yo‘nalish kelajak energetikasida muhim ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. *Jiaping Wang, Peng Zhao, Ying Hu, Zhenhua Lin,* Jie Su and others* “An Exploration of All-Inorganic Perovskite/GalliumArsenide Tandem Solar Cells” May 2021Solar RRL 5(7) DOI: 10.1002/solr.202100121

2. *Abdelrahman O. Ali, Abdelrahman T. Elgohr, Mostafa H. El-Mahdy, Hossam M. Zohir and others,* “Advancements in photovoltaic technology: A comprehensive

ISSN 3030-3907

review of recent advances and future prospects" Energy Conversion and Management: X, Volume 26, April 2025, 100952 https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100952

3. *Vinay Kumar1, Surendra Kumar*, "Enhancing Solar Photovoltaic Cell Efficiency: A Comparative Analysis of Advanced Materials and Manufacturing Techniques" International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH) ISSN: 2584-2137Vol. 02 Issue: 05 May 2024 https://doi.org/10.47392/IRJAEH.2024.0180

4. *Atib Mohammad Oni, Abu S.M. Mohsin, Md. Mosaddequr Rahman, Mohammed Belal Hossain Bhuian,* "A comprehensive evaluation of solar cell technologies, associated loss mechanisms, and efficiency enhancement strategies for photovoltaic cells" Energy Reports Volume 11, June 2024, Pages 3345-3366, https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.007

5. *Shockley, W.* "The Theory of p-n Junctions in Semiconductors and p-n Junction Transistors" *Bell System Technical Journal*, 1949.

6. *William Shockley & Hans Queisser* "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells" (1961)

ISSN 3030-3907