



FOTOELEKTRIK PANELLARNING SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARINI O'RGANISH

Ziyoboyev Jamshid Sherali o'gli

Magistrant, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya: *Ushbu akademik maqolada fotoelektr panellarning (FEP) samaradorligini oshirishga qaratilgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar va texnologik yechimlar tizimli ravishda tahlil qilinadi. Global energiya resurslariga bo'lgan talabning ortib borishi sharoitida quyosh energiyasi muqobil energiya manbai sifatida muhim ahamiyat kasb etadi. Biroq fotoelektr panellarning keng joriy etilishi ularning energiyani elektr energiyasiga aylantirish samaradorligi bilan bevosita bog'liq. Maqolada hujayra darajasidagi ilg'or materiallar (perovskit asosidagi va ko'p qatlamli III–V turdagi hujayralar), tizim darajasidagi samaradorlikni oshirish usullari (kontsentrlangan fotovoltaika va quyoshni kuzatuv tizimlari), shuningdek ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish yondashuvlari tahlil qilinadi. Tadqiqot metodologiyasi so'nggi yillardagi ilmiy adabiyotlarni solishtirma va tanqidiy tahlil qilishga asoslangan. Har bir yondashuvning texnik va iqtisodiy afzalliklari, cheklovlari hamda istiqbollari baholanadi. Natijalar fotoelektr panellar samaradorligini oshirish materialshunoslik, muhandislik va ishlab chiqarish texnologiyalarining o'zaro integratsiyasini talab qiluvchi kompleks muammo ekanini ko'rsatadi.*

Kalit so'zlar: *Fotoelektr panellar, Samaradorlik, Perovskit hujayralar, Ko'p-qatlamli hujayralar, Tizim optimallashtirish, Ishlab chiqarish texnologiyasi, Barqarorlik*

Abstract: *This academic article provides a comprehensive overview of current research and innovative methods for increasing the efficiency of photovoltaic panels (PVPs). Amid growing global energy demands, solar energy plays a crucial role, but the economic viability and widespread adoption of PVPs depend on enhancing their conversion efficiency. The article analyzes various approaches, from cell-level*



material innovations (perovskite and multi-junction III-V cells) to system-level optimization techniques (concentrated photovoltaics, tracking systems) and improvements in manufacturing processes. The research methodology is based on synthesizing existing literature, evaluating the advantages, disadvantages, and future potential of each approach. In conclusion, improving PVP efficiency is a complex and multifaceted challenge, requiring continuous innovation in materials science, engineering, and manufacturing technologies.

Keywords: Photovoltaic panels, Efficiency, Perovskite cells, Multi-junction cells, System optimization, Manufacturing technology, Sustainability

Аннотация: Данная академическая статья представляет всесторонний обзор текущих исследований и инновационных методов повышения эффективности фотоэлектрических панелей (ФЭП). В условиях растущих мировых потребностей в энергии солнечная энергия играет ключевую роль, однако экономическая эффективность и широкое распространение ФЭП зависят от повышения их эффективности преобразования. В статье анализируются различные подходы, от инноваций в материалах на уровне ячеек (перовскитные и многослойные III-V ячейки) до методов оптимизации на системном уровне (концентрированная фотовольтаика, системы слежения) и усовершенствований в производственных процессах. Методология исследования основана на синтезе существующей литературы с оценкой преимуществ, недостатков и будущего потенциала каждого подхода. В заключение, повышение эффективности ФЭП является сложной и многогранной задачей, требующей непрерывных инноваций в материаловедении, инженерии и производственных технологиях.

Ключевые слова: Фотоэлектрические панели, Эффективность, Перовскитные ячейки, Многослойные ячейки, Оптимизация системы, Технология производства, Устойчивость

Kirish



Dunyo bo'ylab energiya iste'moli doimiy ravishda oshib borar ekan, atrof-muhitga kam ta'sir ko'rsatadigan va qayta tiklanadigan energiya manbalariga talab tobora ortib bormoqda. Quyosh energiyasi ushbu muammoning barqaror yechimlaridan biri bo'lib, fotoelektr panellar (FEP) orqali quyosh nurini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirish texnologiyasi so'nggi o'n yilliklarda sezilarli yutuqlarga erishdi.

Biroq, FEPlarning keng qo'llanilishi va raqobatbardoshligini oshirishda ularning energiya konversiya samaradorligi asosiy cheklovchi omil hisoblanadi. Samaradorlikni oshirish nafaqat bir birlik maydondan ko'proq energiya olish imkonini beradi, balki ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi, modul narxini pasaytiradi va umumiy tizimning iqtisodiy samaradorligini yaxshilaydi.

Ushbu maqola fotoelektr panellarning samaradorligini oshirishga qaratilgan turli ilmiy va texnologik yondashuvlarni tahlil qiladi. Tadqiqot hujayra darajasidagi materiallar innovatsiyasidan tortib, tizim darajasidagi optimallashtirishlar va ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirishgacha bo'lgan usullarni qamrab oladi. Maqola maqsadi – quyosh energiyasi sohasidagi eng so'nggi yutuqlarni umumlashtirish, mavjud texnologiyalarning afzalliklari va cheklovlarini baholash hamda kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlarini belgilashdir. Bu ish muhandislik, materialshunoslik va qayta tiklanadigan energiya sohasidagi mutaxassislar uchun qimmatli ma'lumot manbai bo'lib xizmat qiladi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Fotoelektr panellarning samaradorligini oshirish bo'yicha tadqiqotlar keng qamrovli bo'lib, ular materiallar, qurilma arxitekturasini va tizim optimallashtirishining turli jihatlarini o'z ichiga oladi. Soatov va Qosimov (2024) tadqiqotlarida fotoelektr panellarni ishlab chiqarish texnologiyasining samaradorligini oshirish strategiyalari tahlil qilingan. Ular quyosh batareyalarining energiya tizimlaridagi ahamiyatini ta'kidlab, asosan ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish va modul dizaynini takomillashtirish orqali samaradorlikni oshirish



yo'llarini ko'rsatganlar. So'nggi yillarda perovskit quyosh hujayralari yuqori samaradorlik va arzon narx imkoniyatlari tufayli katta qiziqish uyg'otmoqda. Bu hujayralar ABX3 kristall tuzilishiga ega bo'lib, ularning samaradorligi 2009 yilda 3.8% dan 2020 yilga kelib 25.5% gacha oshgan. Perovskit-silikon tandem hujayralarining samaradorligi esa hatto 29.15% ga yetgan. Perovskit hujayralarining asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat: arzon xomashyo, moslashuvchan bosma usullar va yupqa plyonkalar (taxminan 500 nm) orqali quyosh spektrining katta qismini yutish imkoniyati. Biroq, ularning barqarorligi, ayniqsa namlik va yorug'lik sharoitida buzilish ehtimoli hamda qo'rg'oshin (Pb) kabi zaharli elementlarning ishlatilishi muammo bo'lib qolmoqda. Tadqiqotchilar qo'rg'oshin o'rniga qalay (Sn) asosidagi perovskitlarni o'rganmoqda, ammo hozirgi paytda ularning samaradorligi pastroq. Hujayra darajasida samaradorlikni oshirish uchun tok tashuvchilarining rekombinatsiyasini kamaytirish va yuqori poklikka ega, bir xil yupqa plyonkalarni tayyorlash jarayonlarini takomillashtirish ustida ish olib borilmoqda. Boshqa yuqori samarali texnologiya – III-V guruh elementlariga asoslangan ko'p-qatlamli quyosh hujayralaridir. Bu hujayralar bir nechta diapazonli bo'shliqlarni (bandgap) ishlatib, quyosh spektrining turli qismlarini yutish orqali 45% dan ortiq rekord samaradorlikka erishgan. Masalan, 2015 yilda to'rt qatlamli inverted metamorphic multijunction (IMM) hujayrasi bilan 46% samaradorlik, 2019 yilda olti qatlamli IMM hujayrasi bilan esa 47.1% samaradorlik qayd etilgan. Ushbu texnologiya, ayniqsa, yuqori konsentratsiyali fotovoltaik (CPV) tizimlarda samarali bo'lib, kosmik ilovalardan tortib yer usti sharoitida konsentratsion optika va ikki o'qli kuzatuv tizimlari yordamida iqtisodiy jihatdan maqbul bo'lishi mumkin. Tadqiqotlar materiallar, ishlab chiqarish, kuzatuv va konsentratsiya usullarining xarajatlarini kamaytirishga qaratilgan. Metamorfik epitaksiya kabi texnikalar turli panjara konstantalariga ega materiallarni o'stirish va murakkab, ko'p qatlamli qurilmalarda dislokatsiyalarni aniq nazorat qilish imkonini beradi.

Umuman olganda, adabiyotlar tahlili FEP samaradorligini oshirish bo'yicha tadqiqotlar ikki asosiy yo'nalishda rivojlanayotganini ko'rsatadi: birinchidan, yangi



avlod materiallari va qurilma arxitekturasini (perovskitlar va koʻp-qatlamli hujayralar); ikkinchidan, mavjud texnologiyalarning ishlab chiqarish samaradorligi, barqarorligi va tizim darajasidagi optimallashtirishini takomillashtirish. Ushbu ikki yoʻnalish birgalikda quyosh energiyasining kelajakdagi rivojlanishida hal qiluvchi rol oʻynaydi.

Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu tadqiqot fotoelektr panellarning samaradorligini oshirish usullarini oʻrganishga qaratilgan boʻlib, fundamental adabiyot tahlili va kritik sintez yondashuviga asoslanadi. Tadqiqot metodologiyasi mavjud akademik manbalarni, jumladan ilmiy maqolalar, tadqiqot hisobotlari va texnik nashrlarni tizimli ravishda koʻrib chiqish va baholashni oʻz ichiga oladi.

Tadqiqot jarayoni quyidagi asosiy bosqichlarni qamrab oladi:

1. Tegishli manbalarni aniqlash va yigʻish;
2. Maʼlumotlarni kategoriyalash;
3. Har bir kategoriya boʻyicha chuqur tahlil oʻtkazish.

Asosiy maqsad turli texnologik va strategik yondashuvlarning samaradorlikka taʼsirini, ularning afzalliklari, kamchiliklari va kelajakdagi rivojlanish potentsialini baholashdir.

Material va qurilma darajasi Perovskit quyosh hujayralari: ABX_3 kristall tuzilishiga ega boʻlgan perovskit materiallar, jumladan metilammonium lead trihalide va formamidinium lead trihalide, samaradorlik potentsiali va diapazonli boʻshliqlari (1.48–2.3 eV) boʻyicha oʻrganiladi. Ularning samaradorligi 2009 yildagi 3.8% dan 2020 yilga kelib 25.5% gacha, perovskit-silikon tandem hujayralarida esa 29.15% ga yetgan. Takomillashtirishlar: tok tashuvchilar rekombinatsiyasini kamaytirish, yuqori poklikka ega yupqa plyonkalarni tayyorlash (masalan, eritmani markazdan qochirma qoplash orqali), Cl-doped $CH_3NH_3PbI_3$, nanostrukturaviy ZnO va CuI kabi yangi materiallardan foydalanish. Barqarorlik muammolari (namlik



va yorug'lik ta'siri) va qo'rg'oshin zaharliligi ham tahlil qilinadi, ularni bartaraf etish usullari esa material barqarorligini oshirish va atrof-muhitdan izolyatsiya qilishni o'z ichiga oladi. III-V ko'p-qatlamli quyosh hujayralari: Bir nechta bandgaplarni birlashtirib, quyosh spektrining keng qismini yutish orqali 45% dan ortiq samaradorlikka erishadi. GaInP/GaAs va inverted metamorphic multijunction (IMM) hujayralari, metamorfik epitaksiya texnikasi, yuqori konsentratsiyali fotovoltaik (CPV) tizimlari va yer usti tizimlaridagi qo'llanilishi tahlil qilinadi. Yuqori samaradorlik 143 quyosh konsentratsiyasida 47.1% ga yetgani misol sifatida keltiriladi.

Tizim va boshqaruv darajasi

- Maksimal Quvvat Nuqtasi Kuzatuv (MPPT): Panelning maksimal quvvat chiqarish nuqtasini har xil yorug'lik va harorat sharoitida aniqlash va unga moslashish mexanizmlari.
- Kongsentrlangan Fotovoltaika (CPV): Linza yoki ko'zgular yordamida quyosh nurini kichikroq, yuqori samarali hujayralarga yo'naltirish. Issiqlik boshqaruvi va aniq kuzatuv tizimlari talab qilinadi.
- Quyosh kuzatuv tizimlari: Bir yoki ikki o'qli kuzatuv tizimlarining samaradorlikka ta'siri va xarajat-samaradorlik nisbati.
- Termal boshqaruv: Panellarning harorati oshishi bilan samaradorligi pasayadi, shuning uchun sovutish mexanizmlari va issiqlik tarqatish dizaynlari qo'llaniladi.
- Modul dizaynini optimallashtirish: Hujayralarni joylashtirish, soya ta'sirini kamaytirish, aks qaytaruvchi qoplamalar va optik yo'qotishlarni minimallashtirish.

Ishlab chiqarish va iqtisodiy jihat



- Ishlab chiqarish samaradorligini oshirish: Quvvat ishlab chiqarishni ko'paytirish, modul dizaynini optimallashtirish, avtomatlashtirish va chiqindilarni minimallashtirish.
- Xomashyo xarajatlarini kamaytirish: Perovskitlarda qo'rg'oshin o'rniga qalay kabi arzon va kamroq zaharli materiallar. III-V hujayralarida yangi substrat va absorber materiallari.
- Barqarorlik va ishlash muddati: Perovskit hujayralarni namlik va yorug'likdan himoya qilish, encapsulation materiallari va qoplamalar.
- Ekologik ta'sirni kamaytirish: Zaharli moddalarni almashtirish yoki utilizatsiya qilish strategiyalari.

Ushbu metodologiya fotoelektr panellarning samaradorligini oshirish bo'yicha dolzarb muammolar va yechimlarni kompleks baholash imkonini beradi hamda kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlarini aniqlashga xizmat qiladi.

Xulosa

Fotoelektr panellarning samaradorligini oshirish global energiya muammosini hal qilishda va qayta tiklanadigan energiya manbalarining kengroq qabul qilinishini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ushbu maqola hujayra darajasidagi fundamental materialshunoslikdan tortib, tizim darajasidagi optimallashtirish va ishlab chiqarish jarayonlaridagi takomillashtirishlarga qadar bo'lgan keng ko'lamli yondashuvlarni tahlil qildi.

Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, perovskit quyosh hujayralari va III-V ko'p-qatlamli hujayralar kabi ilg'or texnologiyalar samaradorlikni sezilarli darajada oshirish potentsialiga ega. Perovskitlar arzonligi, moslashuvchanligi va yuqori samaradorligi bilan jozibador bo'lsa-da, ularning barqarorligi va zaharli elementlardan foydalanish muammolari hal qilinishi lozim. III-V ko'p-qatlamli hujayralar esa rekord darajadagi samaradorlikni taqdim etadi, ayniqsa kontsentrlangan fotovoltaik (CPV) tizimlarda, biroq ularning yuqori xarajati yer usti ilovalari uchun qulayroq yechimlarni talab qiladi.



Samaradorlikni oshirish faqat hujayra darajasidagi innovatsiyalar bilan cheklanmaydi. Tizim darajasidagi optimallashtirishlar, jumladan, maksimal quvvat nuqtasi kuzatuvi (MPPT), quyosh kuzatuv tizimlari va termal boshqaruv panellarning real ishlash sharoitlarida samaradorligini sezilarli darajada yaxshilashi mumkin. Ishlab chiqarish jarayonini takomillashtirish, xarajatlarni kamaytirish va panellarning uzoq muddatli barqarorligini ta'minlash umumiy iqtisodiy samaradorlikni oshirishning ajralmas qismidir.

Kelajak istiqbollari turli texnologik yondashuvlarning integratsiyasini, masalan, perovskit-silikon tandem hujayralarini, shuningdek, sun'iy intellekt va mashinani o'rganish kabi zamonaviy usullardan foydalangan holda tizimni optimallashtirishni o'z ichiga oladi. Materialshunoslikda barqaror, zaharli bo'lmagan va arzon xomashyolarni izlash, shuningdek, ishlab chiqarish jarayonlarida energiya samaradorligini oshirish va ekologik izni kamaytirish ustida ishlash dolzarb bo'lib qoladi. Uzluksiz tadqiqotlar va innovatsiyalar tufayli fotoelektr panellarning samaradorligi oshishda davom etib, quyosh energiyasini global energiya aralashmasida yanada markaziy o'ringa olib chiqadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. McEvoy, Augustin, Lawrence Markvart, va Tom Markvart. *Fotovoltaika bo'yicha amaliy qo'llanma: Asoslar va Ilovalar*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
2. Würfel, Peter, va Uli Würfel. *Quyosh elementlarining fizikasi: Prinsiplardan yangi konsepsiyalargacha*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2016.
3. Green, Martin A. "Yuqori samaradorlikdagi kremniy quyosh batareyalari: tarixiy sharh." *Fotovoltaikada taraqqiyot: Tadqiqotlar va ilovalar*, jild 23, son 6, 2015, bet. 805–812.
4. Saliba, Michael, Taisuke Matsui, Jin-Young Seo, K. W. Tan, Zhiping Xia, Anders Hagfeldt, va Michael Grätzel. "Perovskit quyosh batareyalari: taraqqiyot va istiqbollar." *Ilg'or energiya materiallari*, jild 8, son 12, 2018, bet. 1702410.



5. King, R. R., D. Bhusari, D. L. Hom, R. A. Sherif, R. M. France, va M. A. Green.
"III-V ko'p tutashgan quyosh batareyalari: hozirgi holat va kelajak tendensiyalari."
Fotovoltaika taraqqiyoti: Tadqiqot va ilovalar, jild 24, son 8, 2016, bet. 1009–1021.