

Umarov Qudiratulla Bekboyevich

Namangan Davlat Texnika Universiteti

Fizika-matematika f.n.dotsent

Mamadaliyev Shoxjaxon Ozodbek o'g'li

Namangan Davlat Texnika Universiteti

magistranti

Jamoliddinov Murodilla Saidaxmat o'g'li

Namangan Davlat Texnika Universiteti magistranti

murodillajamoliddinov@gmail.com

PEROVSKITLI QUYOSH EL EMENTLARINING TO'LA QARSHILIGIGA HARORATNING TA'SIRI

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotda perovskit asosidagi quyosh elementining yorug'lik kuchayishi sharoitidagi elektr xususiyatlari o'rganildi. Samaradorlikni pasayib borishiga qurilmaning to'la qarshiligi (R_s) sabab bo'lishi mumkinligi ko'rsatildi. Olingan natijaga ko'ra, zaryad uzatish qatlamlari va kontakt metallari sifatini optimallashtirish orqali to'la qarshilikni kamaytirish bilan perovskit asosidagi konsentratsiyali fotovoltaik tizimlarni yanada samarali rivojlantirishga yordam beradi.

Kalit so'zlar: perovskit, to'la qarshilik, kontakt qarshiligi, zaryad tashuvchilar, perovskit qatlam, P-i-n tuzilishga ega perovskit quyosh elementlari, harakatchanlik.

Умаров Қудиратулла Бекбоевич

Наманганский государственный

технический университет Физика-

математика ф.н.доцент

Мамадалиев Шохжахон Озодбек ўғли

Наманганский государственный

технический университет магистранти

Джамолиддинов Муродилла Саидахмат оглы

Наманганский государственный технический

университет, магистрант

murodillajamoliddinov@gmail.com

Аннотация: В данном исследовании изучены электрические свойства перовскитного солнечного элемента в условиях усиленного освещения. Показано, что снижение эффективности может быть связано с последовательным сопротивлением (R_s) устройства. Согласно полученным результатам, уменьшение последовательного сопротивления за счёт оптимизации качества слоёв переноса заряда и контактных металлов способствует более эффективному развитию перовскитных концентрированных фотоэлектрических систем.

Ключевые слова: перовскит, последовательное сопротивление, контактное сопротивление, носители заряда, перовскитный слой, перовскитные солнечные элементы с p–i–n структурой, подвижность.

Umarov Qudiratulla Bekboyevich

Namangan State Technical University professor

Mamadaliyev Shoxjaxon Ozodbek o'g'li

Namangan State Technical University master degree

Jamoliddinov Murodilla Saidakhmat oglu

Namangan State Technical University Master's student

murodillajamoliddinov@gmail.com

Abstract: In this study, the electrical properties of a perovskite-based solar cell under light concentration conditions were investigated. It is shown that the degradation of efficiency can be attributed to the series resistance (R_s) of the device. According to the obtained results, reducing the series resistance by optimizing the quality of charge transport layers and contact metals can contribute to the further efficient development of perovskite-based concentrated photovoltaic systems.

Keywords: perovskite, series resistance, contact resistance, charge carriers, perovskite layer, p–i–n structured perovskite solar cells, mobility.

1.KIRISH

So‘nggi yillarda gibrid organik–noorganik perovskitlarga asoslangan quyosh batareyalari juda tez rivojlanib, laboratoriya sharoitida 25% dan yuqori fotoelektrik samaradorlikka erishdi. Bunday yuqori ko‘rsatkichlar ularni kelajakning yengil, arzon va yuqori samarali fotoenergetik texnologiyalari qatoriga kiritadi. Shunga qaramay, katta maydonli qurilmalar, yuqori yorug‘lik intensivligi va real ekspluatatsiya sharoitida samaradorlikning pastligi muammolari hali to‘liq hal etilmagan.

Qurilmadagi umumiy qarshilik (R_s) ning kelib chiqishi bir nechta omillarga bog‘liq: metall–o‘tkazgichli qatlamlar orasidagi kontakt qarshiligi, elektron va kovak tashuvchi qatlamlarning o‘tkazuvchanligi, shuningdek metal elektrodlar orqali tokning tarqalish yo‘qotishlari hisoblanadi. Shu sababli R_s nafaqat ichki tok oqimini chegaralaydi, balki qurilmaning volt-amper xarakteristikasiga kuchli ta’sir ko‘rsatib va natijada samaradorlikni sezilarli kamaytiradi.

Ushbu ishda, perovskit qatlamli qurilmalarda to‘la qarshilikning fizik tabiatini tahlil qilamiz, R_s ning tok kuchiga ta’sirini hamda R_s ni kamaytirish orqali yuqori yorug‘lik ostida samaradorlikni oshirish yo‘llarini muhokama qilamiz. Bu yondashuv konsentratsiyalangan quyosh nurida ishlaydigan perovskit fotoelementlarining keyingi avlodini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Adabiyotlar tahlili

So‘nggi yillarda perovskit asosidagi quyosh elementlari fotoelektrik energiya manbalari orasida eng istiqbolli texnologiyalardan biri sifatida keng o‘rganilmoqda. Gibrid organik–noorganik perovskit materiallarining yuqori yutilish koeffitsienti, katta zaryad tashuvchilar diffuziya uzunligi va past rekombinatsiya yo‘qotishlari sababli ularning laboratoriya sharoitidagi samaradorligi 25 % dan yuqori qiymatlarga yetgan. Biroq real ish sharoitlarida, ayniqsa yuqori yorug‘lik

intensivligi va harorat ta'sirida, qurilma samaradorligining pasayishi hanuz dolzarb muammo bo'lib qolmoqda.

Adabiyotlarda perovskit quyosh elementlarining samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillardan biri sifatida to'la qarshilik (R_s) ko'rsatib o'tiladi. R_s ning kelib chiqishi metall–kontaktlar orasidagi qarshilik, elektron va kovak tashuvchi qatlamlarning cheklangan o'tkazuvchanligi hamda elektrodlar bo'ylab tokning tarqalishidagi omik yo'qotishlar bilan bog'liq ekanligi ko'plab tadqiqotlarda qayd etilgan. R_s ning ortishi volt–amper xarakteristikasining egilishini kuchaytirib, to'ldirish koeffitsienti va tok zichligining kamayishiga olib keladi.

Yuqori yorug'lik intensivligi yoki konsentratsiyalangan quyosh nuri sharoitida olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, R_s perovskit quyosh elementlarining ishlashini cheklovchi asosiy parametrga aylanadi. Yorug'lik intensivligi oshishi bilan generatsiyalangan zaryad tashuvchilar soni ortadi, biroq katta R_s sharoitida ularning samarali yig'ib olinishi qiyinlashadi. Natijada ichki kuchlanish yo'qotishlari ortadi va fotoelektrik samaradorlik pasayadi.

Harorat ta'siri masalasida esa adabiyotlarda ikki tomonlama tendensiya kuzatiladi. Bir tomondan, harorat oshishi zaryad tashuvchilarning harakatchanligini kuchaytirib, tok zichligining biroz ortishiga olib kelishi mumkin. Ikkinchi tomondan, yuqori harorat interfeys va kontakt qarshiliklarining ortishiga hamda rekombinatsiya jarayonlarining kuchayishiga sabab bo'ladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, agar qurilmaning to'la qarshiligi katta bo'lsa, haroratning ijobiy ta'siri deyarli namoyon bo'lmaydi va samaradorlik asosan R_s bilan belgilanadi.

p–i–n tuzilishga ega perovskit quyosh elementlari bo'yicha olib borilgan ishlarda R_s ni kamaytirish uchun zaryad tashuvchi qatlamlar qalinligini optimallashtirish, yuqori o'tkazuvchan kontakt materiallarini tanlash hamda interfeys muhandisligi usullarini qo'llash tavsiya etilgan. Shunga qaramay, harorat, yorug'lik intensivligi va to'la qarshilikning o'zaro bog'liqligi kompleks tarzda yetarli darajada o'rganilmagan.

Shu sababli perovskit asosidagi quyosh elementlarida to'la qarshilikning fizik tabiati va uning harorat ta'siridagi roli bo'yicha chuqur tahlil olib borish ilmiy va amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega.

II. NAZARIY ASOSLAR VA MUHOKAMALAR

P-i-n tuzilishga ega perovskit quyosh elementlari perovskit moddasi qatlami qarama-qarshi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan ikki qatlam (p-tipi va n-tipi) o'rtasida va yupqa izolyatsion qatlamda (i-tipi) joylashgan. Yorug'lik ta'sirida bo'lgan faol qatlamda ikki turdagi erkin zaryadlar hosil bo'ladi: elektronlar va teshiklar yoki etishmayotgan elektronlar. Faol qatlamning har ikki tomonida elektronlarni bir yo'nalishda, ikkinchisida esa teshiklarni tanlab o'tkazadigan materiallardan tayyorlangan plyonkalar mavjud. U yerdan to'lovlar elektrodga o'tkaziladi (1-rasmga qarang), ular ham turli materiallardan tayyorlanadi, natijada qurilma ichida doimiy potentsial farq paydo bo'ladi. Odatda, bitta elektrod kumush, mis yoki alyuminiy kabi metallardan, ikkinchisi esa qalay qo'shilgan indiy oksididan tayyorlanadi. Ushbu o'tkazuvchi material shaffofligi bilan ajralib turadi, bu esa tushayotgan yorug'likning katta qismini perovskitga o'tkazish imkonini beradi.

p-i-n tuzilishidagi perovskit qatlam yorug'lik intensivligi oshirilganda ishlab chiqarilgan elektr quvvati ortadi, biroq umumiy fotoelektrik samaradorlik kamayadi. Bu asosan perovskit qatlamining ichki xususiyatlari — masalan, tashuvchilar harakatchanligi yoki nuqsonlar zichligi bilan bog'liq emas. Biroq, ketma-ket qarshilik yuqori yorug'lik intensivligida perovskitli quyosh elementlarini ishlashi uchun asosiy cheklovchi omil hisoblanadi.

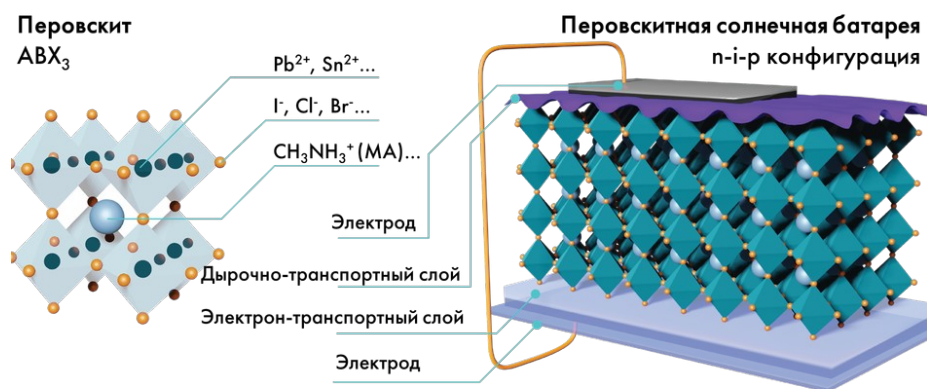
Bitta yachekaning to'la qarshiligi quyidagicha ifodalanadi:

$$R_s = R_{\text{kontakt}} + R_{\text{HTL}} + R_{\text{Perovskit}} + R_{\text{ETL}} + R_{\text{vara}}$$

bu yerda: R_{kontakt} — metall-qatlamni kontakt qarshiligi;

$R_{\text{HTL}}, R_{\text{ETL}}$ — tegishli o'tkazuvchi qatlamlarining qarshiligi;

R_{vara} — metal elektrodlar orqali tokning tarqalishdagi yo'qotishlari.



1-**расм.** p–i–n tuzilishidagi perovskit qatlam.

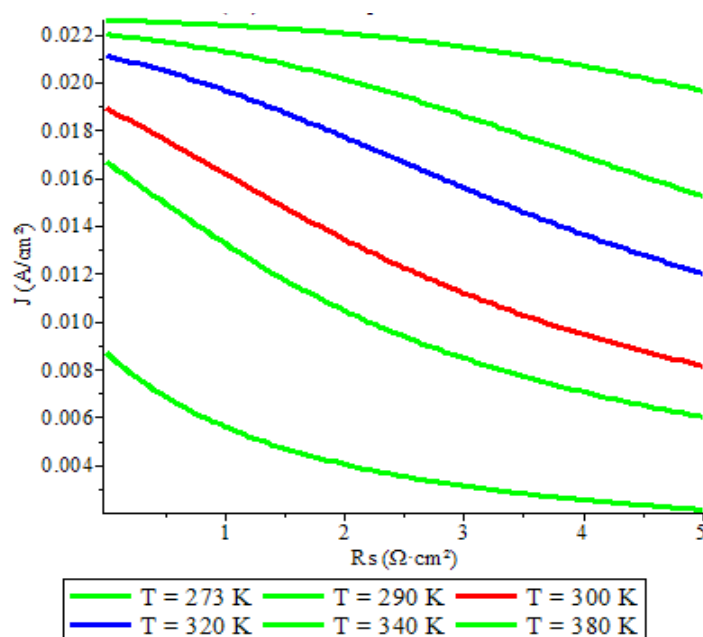
$R_{\text{perovskit}}$ – perovskit qarshiligining o'z qarshiligi

$$R_{\text{perovskit}} = \frac{r_{\text{pvk}} L}{A}$$

r_{pvk} – qarshilik, L- qalinlik, A— maydon);

Quyosh panelining ideal VAX tenglamasiga R_s ni qo'ysak,

$$J = J_{ph} - J_0 \left(e^{\frac{q(V + J R_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V + J R_s}{R_{sh}}$$



2-**расм.** J tok kuchini to'la qarshilikka bog'liqligi

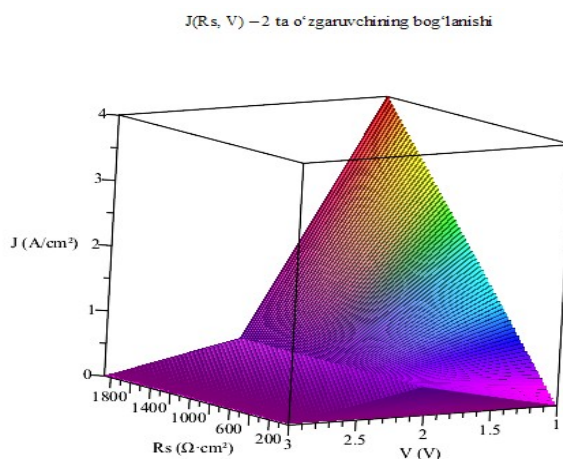
Chizilgan grafikda to'la qarshilikning (R_s) oshishi bilan tok zichligi J ning muntazam ravishda kamayib borishi aniq ko'zga tashlanadi. Bu xulosa quyidagi fizik omillar bilan izohlanadi:

1. R_s ortishi elektron va kovak zaryad tashuvchilarning harakatini cheklaydi. To'la qarshilik qurilmaning ichki qatlamlari (kontakt–transport qatlamlari–perovskit interfeysi) orqali zaryad tashuvchilarning oqimini sekinlashtiradi. R_s katta bo'lganda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi kamayadi va J pasayadi.

2. Omik yo'qotishlar kuchayadi. $J \times R_s$ ko'paytma ortadi, natijada qurilma ichida kuchlanish kamayadi. Bu esa samaradorlikning pasayishiga olib keladi.

3. T yuqori bo'lganda J biroz oshadi. Grafikda $273K \rightarrow 290K \rightarrow 300 K \rightarrow 320 K \rightarrow 340 K \rightarrow 380K$ bo'yicha J ning oz miqdorda ko'tarilishi kuzatiladi. Sababi harorat oshishi zaryad tashuvchilarning harakatchanligini kuchaytiradi. Quyosh elementning potentsial to'siq balandligi kamayadi, shuning uchun J yuqori T da bir oz kattaroq chiqadi.

4. Ammo R_s yuqori bo'lganda haroratning foydali ta'siri ham yo'qoladi. Katta R_s sharoitida ($R_s > 2-3 \Omega \cdot \text{cm}^2$) temperaturaning oshishi sezilarli o'zgarish bermaydi. Chunki asosiy chegaralovchi omil — R_s .



3D grafikning R_s yo'nalishi bo'yicha cho'qqidan uzoqlashgan sari J ning tez pasayishi shuni ko'rsatadiki: $R_s \uparrow \rightarrow$ ichki kuchlanish yo'qotishlari $\uparrow$ natijada fotoelektronlar oqimi J sezilarli kamayadi. Grafikda V bo'yicha tekis ko'tarilish J ning oshishiga olib keladi: $V \uparrow \rightarrow$ tashqi elektr maydon kuchayadi

elektron/kavaklarning drift transporti yaxshilanadi. J maksimal qiymatiga yaqinlashadi. 3D grafikdan ko‘rinadiki, fototok zichligi J asosan to‘la qarshilikka juda sezgir bo‘lib, R_s ning katta qiymatlari hatto yuqori kuchlanishda ham oqimni chegaralab qo‘yadi. Demak: Perovskitli quyosh batareyalarida yuqori samaradorlikni ta‘minlash uchun asosiy vazifa — R_s ni kamaytirish va kontakt/interfeys qarshiliklarini optimallashtirishdir.

III. XULOSA

Grafikdan ko‘rinadiki, perovskit quyosh elementining eng katta cheklovchisi — to‘la qarshilik R_s hisoblanadi. R_s oshishi bilan J keskin pasayadi va bu yuqori yorug‘lik intensivligida PCE ning pasayishiga olib keladi. Harorat oshishi J ni biroz yaxshilasa-da, katta R_s sharoitida bu ta‘sir yetarli emas. Shuning uchun qurilma samaradorligini oshirish uchun asosiy yo‘l — metal–transport qatlam interfeyslarini, kontakt sifatini va qatlamlar o‘tkazuvchanligini optimallashtirib, R_s ni kamaytirishdir.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

- [1] Li, X., Wang, Y., & Chen, L. (2025). *Influence of Series Resistance on the Performance of Perovskite Solar Cells under High Illumination*. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, 273, 112431.
- [2] Green, M. A., & Dunlop, E. (2023). *Solar Cell Efficiency Tables (Version 62)*. **Progress in Photovoltaics**, 31(1), 3–12.
- [3] Tress, W. (2017). *Metal Halide Perovskites as Mixed Electronic–Ionic Conductors: Charge Transport, Recombination and Limits to Solar Cell Efficiency*. **Energy & Environmental Science**, 10(3), 1007–1013.
- [4] Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). *Detailed Balance Limit of Efficiency of p - n Junction Solar Cells*. **Journal of Applied Physics**, 32(3), 510–519.
- [5] Berry, J., Buonassisi, T. et al. (2020). *Perovskite Photovoltaics: Device Physics and Materials Science*. **Nature Materials**, 19(5), 463–474.

