

Sharibayev Nosir Yusupjanovich¹

Namangan muhandislik-texnologiya instituti, f.-m.f.d. professor

Ergashov Abdurasul Qodirjonovich²

Namangan muhandislik-texnologiya instituti, kata o'qituvchi, PhD

Fazliddinov Saloxiddin Baxriddin o'g'li³

Namangan davlat iniversiteti tayanch doktoranti.

Tel : +98941544341

E-mail: saloxiddinfazliddinov9@gmail.com

TiO₂ asosli yupqa plyonkali quyosh elementini tashkil etishda ishchi qatlamdagi moddalar miqdorini optimallashtirishning ahamiyati.

Annotatsiya: Ushbu tip quyosh elementlari hali rivojlanish bosqida bo'lishiga qaramasdan juda ko'plab ilmiy jamoalarning nazariga tushib ulgirgandir. Buning sababi esa kelajakda arzon va ekologik toza materiallardan foydalanib energiya batareyalarini hosil qilish imkoniyatidir. Tajriba kuzatuv ishlarini amalga oshirish uchun zarur materiallar jamlanmasini tayyotlash. Namuna qismlarini bosqichma bosqich tayyorlab chiqish hamda tayyorlangan namunaning turli fizik kattaliklarini aniqlash uchun o'lchov kuzatuv ishlarini olib borildi.

Kalit so'zlar: TiO₂ (titan ikki oksidi), SBQE(Sezgir bo'yoqli quyosh elementi), suyuq kristallar, polimerlangan ionli suyuqlik, ITO (indiy qo'shilgan qalay oksidi), qisqa tutashish toki zichligi, salt ishlash kuchlanishi,

Sharibayev Nosir Yusupjanovich¹

Doctor of physical and mathematical sciences.

Namangan Engineering and Technology Institute

Ergashov Abdurasul Qodirjonovich²

Namangan Engineering and Technology Institute, PhD

Fazliddinov Solokhiddin Bakhriiddin o'g'li³

Doctoral student of Namangan State University

Tel : +98941544341

E-mail: saloxiddinfazliddinov9@gmail.com

The importance of optimizing the amount of substances in the working layer in the formation of a TiO₂-based thin film solar cell

Annotation: Despite the fact that this type of solar elements is still at the stage of development, it has caught the attention of many scientific communities. The reason for this is the possibility of creating energy batteries using cheap and environmentally friendly materials in the future. Compilation of materials necessary for the implementation of experimental observation works. To prepare the sample parts step by step and to determine the various physical dimensions of the prepared sample, measurements were carried out.

Keyword: TiO_2 (Titanium dioxide), SBQE (Sensitized Dye Solar Cell), liquid crystals, polymerized ionic liquid, ITO (Indium doped tin oxide), short circuit current density, pure operating voltage.

Шарибаев Насир Юсупжанович¹

Доктор физика-математических наук, профессор.

Наманганский инженерно-технологический институт

Эргашов Абдурасул Кадиржонович²

Наманганский инженерно-технологический институт, PhD

Фазлиддинов Солохиддина Бахриддин угли²

Докторант Наманганского государственного университета.

Tel : +98941544341

E-mail: saloxiddinfazliddinov9@gmail.com

Важность оптимизации количества веществ в рабочем слое при формировании тонкопленочного солнечного элемента на основе TiO_2 .

Аннотация: Несмотря на то, что этот тип солнечных элементов пока находится на стадии разработки, он привлек внимание многих научных кругов. Причиной этого является возможность создания в будущем энергетических батарей с использованием дешевых и экологически чистых материалов. Сбор материалов, необходимых для проведения экспериментально-наблюдательных работ. Для поэтапной подготовки деталей образца и определения различных физических размеров приготовленного образца были проведены измерения.

Ключевое слово: TiO_2 (диоксид титана), SBQE (сенсibilизированный краситель солнечный элемент), жидкие кристаллы, полимеризованная ионная жидкость, ITO (оксид олова, легированный индием), плотность тока короткого замыкания, чистое рабочее напряжение.

Kirish:

Quyosh elementlari haqida so'z yuritganda dastlab uning sifat ko'rsatkichi ya'ni samaradorligi haqida qiziqqa boshlanadi. Biroq bugungi kun energetika sohasidagi sharoit kvorumi shuni taqozo etadiki, samaradorlik ko'rsatkichi past bo'lishiga qaramay ekologik sof mataeriallardan foydalanib tayyorlangan element namunalari quyi samaradorlik ko'rsatkichiga ega bo'la turib ham jamiyat tanloviga erishmoqda. Tadqiqotimiz ob'ekti bo'lgan sezgir bo'yoqli quyosh elementlarining sifat ko'rsatkichlari tashqi qarshilik yani istemolchi qarshiligi oshgani sari yaxshilanadi, lekin ketma-ket qarshilik va quvvat potentsiallar oshganda esa kamayib boradi. Bundan tashqari fotogeneratsiya samaradorligi bu fotoanod kattaliklariga bog'liq bo'lib, umuy samaradorlikni o'rganishda ushbu jihatni ham e'tibordan qochirmaslik lozim.

Hozirgi vaqtda yarimo'tkazgich qatlamni organik moddalardan tayyorlashga erishilgan bo'lib ular asosida elektron qurilmalar tayyorlash va sezgir fotoqarshiliklar olish ustida izlanishlar olib borilmoqda. Metyu J. Dayson, Maykl Verhagelar tomonidan tayyorlangan organik fotoqarshiliklarning sezuvchanligi ortirilganligi ma'lumd[1]. Bu ishda metall oksidli yuzaning elektron ekstraktsiya qatlamidagi optik induktsiyalangan o'raning holatlari natijasida kelib chiqadigan zaryad olishning yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligidan foydalanish orqali erishilgan[2].

M. Gratsel va Oreganlar tomonidan 1991 yilda DSSC tipidagi fotoelementga asosl solindi. Bunda ular mezoprous TiO_2 ning bo'yoqlar bilan ligerlash asosida samarador fotoelement xosil qilishga erishdilar[2]. Ushbu fotoelementda elektrolit yordamida o'tkazuvchanlik taminlanadigan holda tayyorlangan bo'lib oksidlanish-qaytarilish reaksiyasi asosida elektrolitlarda $I_2=I_3$ moddalarining almashinisi jarayonlari sabab amalga oshirilishi aniqlangan. Ushbu fotoelement 83750 Vt/m yorug'lik intensivligida 7,1% 7,9% konversiya samaradorligini berdi. Ikki yil o'tgach, 1993 yilda Gratzel guruhi 960 Vt/m yorug'lik intensivligida samaradorlikni 10,0% gacha oshirishga erishdilar. Bunda ular taniqli N_3 bo'yoqdan foydalandilar ($\text{RuL}_2(\text{NCS})_2$)[3]. Ushbu bo'yoq turi bugunga qadar ushbu sohada izlanish olib boruvchilar diqqat markazida bo'lib hozirgi vaqtga qadar tajribalarda foydalanib kelinmoqda. Ushbu so'nggi tadqiqot natijalari va DSSC tipidagi quyosh elementlarining kelajak uchun foydalaniladigan quyosh texnologiyasi sifatida asosiy tanlovlardan biri ekanligini ko'rsatdi. Bu esa DSSClarni tadqiq qilish va ishlab chiqarishda eksponensial o'sishiga olib keluvchi sababdir[4]. Har qanday mos bo'yoqli sezgir elementga erishish uchun silliq va nuqsonsiz yarim o'tkazgich sathlar kerak degan fikrlashdan holi bo'lish vaqti kelganligini tushunish mumkin.

Yupqa qatlamli quyosh elementining afzalliklar tabiiy ravishda sanoatda ishlab chiqaruvchilar tomonidan qiziqish uyg'otdi va yirik transmilliy kompaniyalardan tortib to rivojlanayotgan startaplarga bo'lgan korporatsiyalar endi DSSC quyosh texnologiyasini bozorga chiqarish uchun uni ishlab chiqish va tijoratlashtirish bilan bog'liq rejalarni ishlab chiqish ustida ishlamoqdalar.

Bugungi kunga qadar DSSC komponentlarini, ayniqsa yangi bo'yoqlarni ishlab chiqish Solaronix kabi kompaniyalar tomonidan amalga oshirildi.

DSSC-larning elektronika, kompyuter mahsulotlari, kameralar va tibbiy asboblari kabi ichki va kam quvvatli qurilmalarda foydalanish uchun qo'llanilishini rejalashtirish maqbul tanlovdir[5]. Bularga planshetlar, aqlli soatlar, sensorlar, avtomatlashtirish qurilmalarining energiya ta'minoti kabi qurilmalarni misol qilib keltirish mumkin.

2005 yilda 11.18% samaradorlikga 1,5-AM-1000 Wt/m^2 (air mass) birlikda erishildi. 2014 yilda donorlik tizimi p bilan ishlash uchun ishlab chiqilgan qabul qiluvchi sink porfirin bo'yoqlari yordamida fotogeneratsiyani amalga oshirishga erishildi[6]. Natijada DSSC ko'rinishini to'liq quyosh nuri bilan 13,0% ga yetgan quvvatni o'zgartirish samaradorligiga erishildi[7]. 2015 yilda Kakiage va uning jamoadoshlari 1,5 AM quyosh nuri ostida (1000 Wt/m^2) 14,3% konversiya samaradorligini qayd etdi.

Yupqa qatlamli fotoelementlarda Fotoanod elektrodleri muhim ahamiyatli xisoblanib uning tarkibidagi moddalar uzilishlarini o'rganish muhim o'rin tutadi. Ular nanokristalli TiO_2 asosidagi yupqa plyonkali elektroddan tayyorlangan holda 7-14% samaradorlikka erishganligini tajriba kuzatuv ishi natijalaridan ma'lumdir[8]. Bu elektrod ion-qaytarilish elektrolitlari bilan mos keluvchi zaryad o'tkazuvchanlik diapazonini namoyish qildi.

Yupqa qatlamli quyosh elementlarini o'rganishda ularning samaradorligini tekshirishda FF (full factor) to'ldirish omili kattaligi bilan ishlashga tog'ri keladi[9]. Bu Fotoelementlarning to'ldirish ko'effitsienti fill Factor quyosh batareyasi ishidagi maksimal quvvatni ($P_{\max}$) nazariy xisoblashda chiqarilgan quvvat qiymati bilan taqqoslaydi.

$$FF = \frac{P_{\max}}{U_{sk} I_{qt}}$$

Bu yerda:

$P_{\max}$ — maksimal quvvat bo'lib u $U_m \cdot I_m$ ga tengdir

U_{sk} — ochiq zanjir uchun qisqa tutashuv kuchlanishining qiymati olinadi.

I_{qt} -Qisqa tutashuv holidagi tok kuchi qiymati

Ushbu ifodaning fizik ma'nosi: Agar FF yuqori bo'lsa (masalan, 0.8 yoki undan yuqori): Samaradorlik: Yuqori FF elementlarning samaradorligini ko'rsatadi[10]. Bu elementlar asosida xosil qilingan batareyalar ko'proq energiyani konversiya qila oladi va yaxshi ishlash imkoniyatiga ega deganidir.

Sifat nuqtai nazaridan: Yuqori FF ko'pincha batareyaning sifatli materiallardan tayyorlanganligini va ishlab chiqarish jarayonining optimallashtirilganligini bildiradi.energiya ishlab chiqarish jihatidan Ular energiyani fenegeneratsiya qilish imkoniyatini yaxshilab ko'rsatadi va ko'proq energiya ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo'ladi, bu esa iqtisodiy jihatdan foydali hisoblanadi[11].

Agar FF past bo'lsa (masalan, 0.6 yoki undan past): Samaradorlik qiymati past FF batareyaning samaradorligini yomon ekanligini anglatadi. Bu batareyalar ko'proq deffektlar, ichki o'tishlar yoki boshqa energiya yo'qotishlari tufayli quvvatlarni samarali to'play olmaydi[12].

Muammo: Past FF ko'plab muammolarni, masalan, materiallar yaroqsizligi, ishlab chiqarish jarayoni kamchiliklari yoki batareyalarning eskirishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

Iqtisodiy xarajatlar: Past samaradorlik qiymatiga ega elementlarning ishlashi ko'proq xarajatlarni keltirib chiqarishi mumkin, chunki ko'proq batareyalar yoki uning qismlarini tayyorlashda talab etiladigan iqtisodiy muammolar va energiya ishlab chiqarish imkoniyati quyi darajada bo'ladi.

Umuman olganda, to'ldirish omili elementlarning ishlashi haqida muhim ma'lumot beradi va uning yuqori yoki past qiymatlari, batareyalarning sifatini va iqtisodiy jihatlariga ta'sir qiladi.

Metodologiya: TiO_2 asosli yupqa plyonkali quyosh elementini ishlab chiqarishda ishchi qatlamdagi moddalar miqdorini optimallashtirish juda muhimdir. Buning uchun namuna fotoelement tayyorlashda quyidagi jixatlarni e'tiborga olishimiz darkor.

1. **Materiallar va uskunar tanlovi:** fotoelement uchun foydalaniladigan moddalar sifatida yuqori sifatli titan dioksidi (TiO_2) va boshqa qo'shimchalar tanlanadi. Uskunar (masalan, sputtering sentrafuga xossasi asosida ishlash uchun) tayyorlash jarayonida foydalaniladi.

2. **Yupqa qatlamlarni tayyorlash:** Tizimda foydalanish uchun maqsadli tanlangan va tayyorlangan yupqa qatlamlar, uning qalinligi va tarkibini aniqlash bosqichlari. TiO_2 yupqa qatlamli plyonkalari uchun turli krishma kiritish usullari (sputtering, kovakda qoplash) va ularning ishchi qatlamga ta'sirini o'rganish.

3. **Modifikatsiya va optimallashtirish:** Moddalar miqdorini optimallashtirish jarayonini tajriba yo'li bilan o'rganish. Bu jarayonda turli modifikatsiyalar (masalan, krishma kiritish, qatlamning qalinligi va boshqa

parametrlarni o'zgartirish) qilinganida, quyosh elementining samaradorligi qanday o'zgarishini tahlil qilish[13]. **Qatlamning turi:** TiO_2 ni anataz yoki rutil Kristal ko'rinishida tayyorlash va ularning samaradorligini taqqoslash ishlarini olib borish nazarda tutiladi.

4. **Namuna tayyorlangandan so'ng sinov va o'lchov tahlil ishlarini amalga oshirish:** bunda tajriba natijalariga asoslanib tavsiflarni olish: Tayyorlangan yupqa plyonkalar uchun yuza tahlili (XRD, SEM, TEM va UV-Vis spektrlari) orqali tavsiflarni belgilash va o'lchash ishlarini olib borish ko'zda tutilgandir[14].

Ishlash samaradorligi: Olingan plyonkalar yordamida tayyorlangan quyosh elementlarining ish jarayonini baholash va tashkil etish uchun turli ko'rsatkichlarni o'lchash (masalan, salt ishlash kuchlanishi, qisqa tutashuv toki)

Ko'zlangan natijalar: Turli modda nisbati va qatlam xususiyatlarining quyosh elementining umumiy samaradorligiga ta'sirini tushunishga imkon beruvchi tajriba natijalarini ega bo'lish.

Xulosa xosil qilish uchun har qanday natijalarga asoslangan holda, ishchi qatlamlar va ularning tezligini, samaradorligini va boshqa ahamiyatli jihatlarini qisqacha tahlil qilish uchun malumotlar jumladan grafiklarni umumlashtirish ishlarini olib borish. Optimal hollatda moddalar nisbati va qatlam xususiyatlarining umumiy samaradorlikka ta'siri bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish choralarini korish nazarda tutilgan[15].

Natijalar: Ushbu tadqiqot davomida TiO_2 va ITO (Indiy qoshilgan qalay oksidi) plyonkalarining relief va tarkibini spektral elektron mikroskop (SEM) yordamida aniqlash bo'yicha tajriba o'tkazildi. Olingan natijalar quyidagi ko'rsatkichlar bilan ifodalanadi:

TiO_2 kolloid zarralari ustida olib borilgan o'lchov kuzatuv ishi tajribalari.

SEM (spectral electron mikroskop) da o'lchov kuzatuv ishlari olib borildi. Uning ishlash prinsipi quyidagicha.

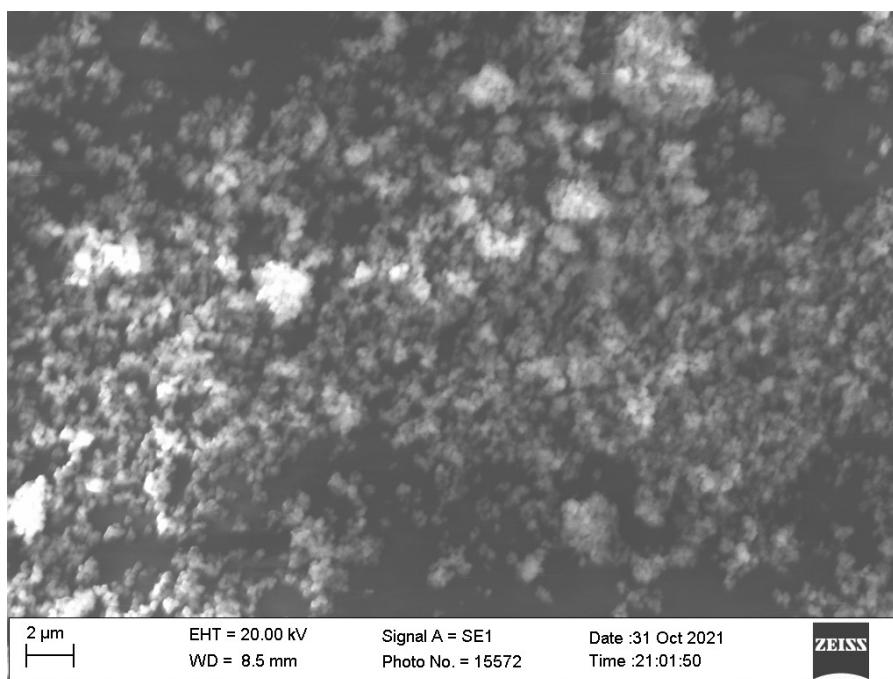
Elektron manba: SEMda elektronga manba sifatida electron nurli trubka ishlatiladi. Elektronlar manba ichida yuqori tezlikka tezlashadi.

Elektronlarni to'g'ri yo'naltirish: Tezlashuvchi elektronlar mikroskopning konussimon trubkasi ichida joylashgan magnit yoki elektr maydonlar tomonidan boshqariladi. Bu allaqachon tayyorlangan elektron nurlarini ob'ektivdagi manba ustiga olib borishga yordam beradi[16]. Ob'ekt bilan ta'sir jarayonida elektronlar ob'ektdan qaytib ko'tarilib detektorga boradi va ularning ob'ekt bilan ta'siri natijasida turli xil signallar olinadi va tahlil qilishning avtomatlashgan bosqichi boshlanadi[17]. Vaqt birligi ichida elektronlarni detektorga kelib urilishi, turli fizik qonuniyatlar asosida taxlil qilinib xulosalar tayyorlash mumkin.

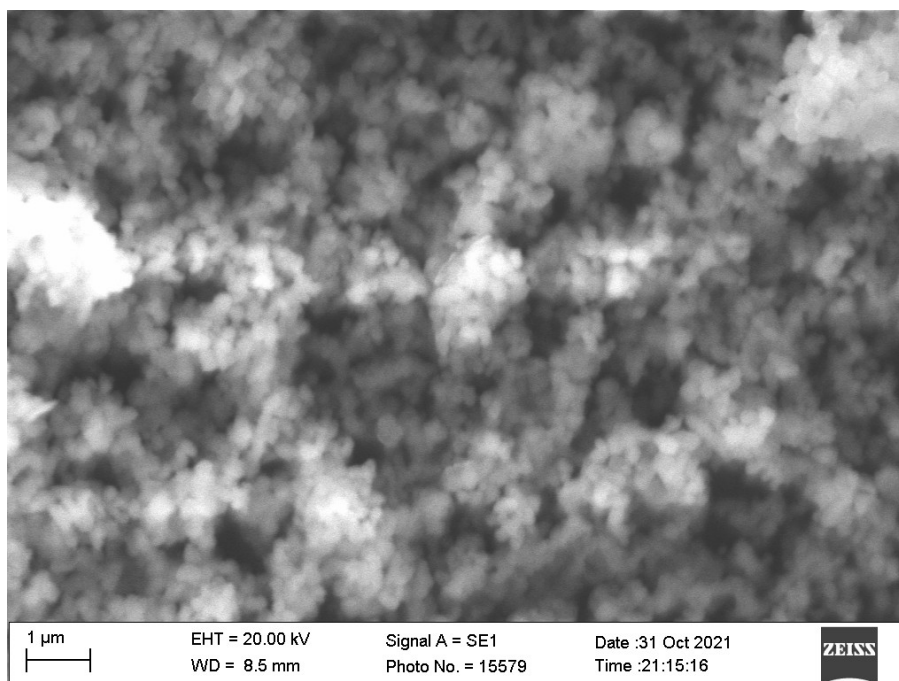
Bunda elektronlar oqimi asosan tasvirni olish uchun ishlatiladi, rentgen nurlari esa elementar tahlil uchun foydalaniladi.

Xozirgi vaqtda foydalanilayotgan SEM larda olingan signallar kompyuter yordamida qayta ishlanadi va tasvir shaklida ko'rsatiladi. Bu tasvir juda yuqori rezolyutsiyaga ega bo'lib, nanometr darajasida detallarni ko'rsatishi mumkin.

SEM-(spectral electron mikroskopiya) tahlilidan so'ng, TiO_2 zarralari ko'rsatkichlar va yuzasining relefli strukturalari tahlil qilindi. TiO_2 plyonkalarining yuzasi mikro tuzilmalarga ega bo'lib, bu esa ularning quyosh energiyasini qabul qilish samaradorligini oshirishga sabab bo'la oladi[18]. Tajribalar natijasida, TiO_2 plyonka qalinligi 200-400 nm bo'lganda, uning mikrostruktura hosilasi eng optimal bo'lganligi aniqlandi. Bunda, elektr o'tkazuvchanlik va energiya konversiya samaradorligi eng yuqori ko'rsatkichlarga ega bo'ldi[19]. Ushbu kuzatuv ishlarini amalga oshirishda ko'zlangan maqsad fotoanod tayyorlanishida zarur xisoblangan TiO_2 ni mezoprousluk xossasini ortirish bo'lib bunda ahamiyatli jixati shundaki elektrolitning oquvchanlik xossasi mavjudligi va bu sabab ITO yoki FTO qatlamga qadar yetib kelishini oldini olishdir.



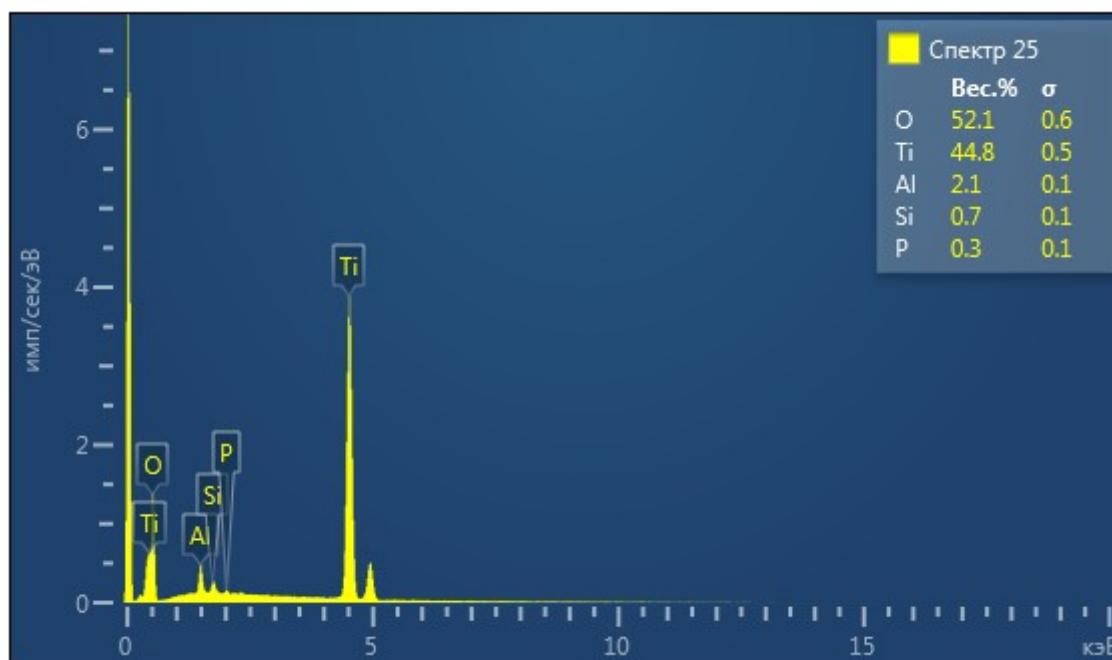
1-rasm. TiO_2 kolloid zarralari uchun SEM da olingan relefli tasviri masshtab 1sm:2mkm



2-rasm. TiO_2 kolloid zarralari uchun SEM da olingan relefli tasviri masshtab 1sm:1mkm

ITO oyna uvhun o'lchov kuzatuv tajribalari:

ITO qatlami uchun ham SEM tahlili olib borildi. ITO plyonkalarining strukturasida aniq va yopishqoq mikroshakllar mavjudligi kuzatildi. (Bunda topishqoqlik deganda TiO_2 va boshqa moddalarni ho'llash hodisasi nazarda turilmoqda.) SEM natijalari ITO plyonkalari zaryad tashish tezligini va energiya konvertatsiyasini amalga oshirishda muhim rol o'ynashini belgilab bera oldi, chunki uning to'plangan elektr energiyasi quvvatini juda yaxshi uzatishi ma'lum bo'ldi. ITO plyonkalaridagi 300-500 nm qalinlikdagi qatlamlarda eng yaxshi elektr o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari qayd etildi.



3-rasm. TiO_2 kolloid zarralari uchun SEM da olingan spektral tasviri

Taqqoslash va muhokama

TiO_2 va ITO plyonkalarining SEMda o'tkazilgan tahlili natijalari shuni ko'rsatadiki, har ikki materialning relefli tuzilishi ularning quyosh elementlari samaradorligiga bevosita ta'sir qiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, TiO_2 plyonkalarida ko'rilgan mikrostruktura o'ziga xos bo'lib, energiya to'plashga qodir yaxshilangan relefli yuzalar keltirib chiqaradi[20]. ITO plyonkalarida esa, ularning yuqori elektr o'tkazuvchanligi quyosh elementlarining samaradorligini yanada oshiradi. Mazkur natijalar, TiO_2 va ITO plyonkalarini optimallashtirish orqali quyosh energiyasini yanada samarali generatsiya qilish imkonini berishini ko'rsatadi, bu esa kelajakda bu materiallar asosida yangi avlod quyosh batareyalarini yaratishda katta ahamiyatga egadir.

Xilosa: Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) fotovoltaiik texnologiyalar orasida o'zining innovatsion yondashuvi bilan ajralib turadi. Ushbu turdagi fotoelementlar asosan fotosezgirlikni taminlovchi rolini o'ynovchi organik bo'yoqlar, TiO_2 kabi yarim o'tkazgich materiallar va elektrolitdan iborat[21]. Shunday qilib, TiO_2 ning Strukturaviy va optik xususiyatlari, DSSC samaradorligini belgilovchi muhim omil hisoblanadi.

TiO_2 ning SEM (Skanning Elektron Mikroskop) tasvirlari, uning mikrostrukturasini taqdim etadi. SEM orqali olingan tasvirlar, TiO_2 ning zarracha o'lchamlari va tuzilishi, ularning go'vaklilik bo'shliqlar va turli murakkabliklarda yani kristallanishda qanday joylashganligini ko'rsatadi[22]. Tasvirlar, TiO_2 kolloid zarrachalarining bir-biriga qayta ishlanmasi va mezoporoz o'zgarishlari haqidagi

ma'lumotlarni bershchi sifatida, DSSC ning samaradorlik ko'rsatkichlariga ta'sir qiluvchi asosiy faktor hisoblanadi.

Yuqori ko'rinishga ega SEM tasvirlaridan quyidagi faktlarni ajratib olish mumkin:

TiO₂ ning zarracha o'lchamlari bir tekis tarqatilishiga ega, bu esa DSSC ning samaradorlik kattaligiga ta'sir qiladi.

TiO₂ ning mezoporozi tuzilishi fotosensitizirlashtiruvchi moddalar tomonidan yaltiroq ko'rinishdan foydalanish imkonini beradi, natijada quvvat ishlab chiqarishga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

SEM analizi TiO₂ ning tashkil topish jarayonida bir qator aralashmalar mavjudligini ochib beradi, bu eksperimentlar yordamida DSSC ning samaradorligini oshirish imkoniyatlarini ko'rsatadi.

Spektral analiz: TiO₂ ning spektral analizlari orqali fotovoltaik jarayonning optik xususiyatlari aniqlanadi[23]. Bu o'z ichiga TiO₂ ning absorbentlik spektrini ham oladi, u o'z navbatida foton energiyasining ta'sir darajasini va DSSC ning energiya samaradorligini ko'rsatadi. Ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki TiO₂ ning ko'plab spektral diapazonlarda eng yuqori g'ovaklilik xossasiga erishish hamda uning fotosensitizirlashtiruvchi organik bo'yoqlar bilan yaxshi almashinishini ko'rsatadi.

TiO₂ ning SEM dagi tasvirlari va spektral analizlaridagi ma'lumotlar, DSSC texnologiyalarini yanada zamonaviylashtirish va optimallashtirish jarayonlarida muhim boshqaruv vositalari hisoblanadi. Tahlil natijalari, mavjud bo'lgan hamda kelajakda ishlab chiqilayotgan DSSC modellariga asos bo'lib xizmat qiladi. TiO₂ strukturasidagi o'zgarishlar, misol uchun, tarkibiy elementlarning qo'shilishi yoki yangi yondashuvlar (masalan, nanostrukturalar yordamida) DSSC ning energiya konversiyasini yanada oshirishda katta rol o'ynashi mumkin.

Umuman olganda, TiO₂ ning SEM tasvirlari va spektri DSSC ning o'ziga xos xususiyatlarini, samarasini va sotish imkoniyatlarini belgilovchi muhim resursdir. Ushbu tadqiqotlar orqali DSSC ning iqtisodiy jihatlari va ekologik toza energiya manbai sifatida yuksak ahamiyatini tan olish mumkin. Shuning uchun, kelajakda TiO₂ ni kengaytirish va alohida diqqatni jalb etish uchun ko'proq tadqiqotlar olib borilishi muhim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] S. Shalini, R. Balasundaraprabhu, T. Satish Kumar, N. Prabavathy, S. Senthilarasu, and S. Prasanna, "Status and outlook of sensitizers/dyes used in dye sensitized solar cells (DSSC): a review," 2016. doi: 10.1002/er.3538.
- [2] UU Republik Indonesia *et al.*, "PENENTUAN ALTERNATIF LOKASI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH DI KABUPATEN

SIDOARJO,” *Energies*, vol. 15, no. 1, 2022.

- [3] S. Shalini, R. Balasundara Prabhu, S. Prasanna, T. K. Mallick, and S. Senthilarasu, “Review on natural dye sensitized solar cells: Operation, materials and methods,” 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.052.
- [4] M. Bonomo *et al.*, “Unreported resistance in charge transport limits the photoconversion efficiency of aqueous dye-sensitised solar cells: an electrochemical impedance spectroscopy study,” *Mater. Today Sustain.*, vol. 21, 2023, doi: 10.1016/j.mtsust.2022.100271.
- [5] C. C. P. Chiang *et al.*, “PtCoFe Nanowire Cathodes Boost Short-Circuit Currents of Ru(II)-Based Dye-Sensitized Solar Cells to a Power Conversion Efficiency of 12.29%,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 28, no. 3, 2018, doi: 10.1002/adfm.201703282.
- [6] A. Åkesson, R. Hesselstrand, A. Scheja, and M. Wildt, “Longitudinal development of skin involvement and reliability of high frequency ultrasound in systemic sclerosis,” *Ann. Rheum. Dis.*, vol. 63, no. 7, 2004, doi: 10.1136/ard.2003.012146.
- [7] H. S. Kang, W. S. Kim, Y. K. Kshetri, H. S. Kim, and H. H. Kim, “Enhancement of Efficiency of a TiO₂-BiFeO₃ Dye-Synthesized Solar Cell through Magnetization,” *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 18, 2022, doi: 10.3390/ma15186367.
- [8] V. Verma, M. Al-Dossari, J. Singh, M. Rawat, M. G. M. Kordy, and M. Shaban, “A Review on Green Synthesis of TiO₂ NPs: Synthesis and Applications in Photocatalysis and Antimicrobial,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 7, 2022, doi: 10.3390/polym14071444.
- [9] A. A. Abdukarimov, R. G. Ikramov, O. O. Mamatkarimov, and A. K. Arof, “Dependence of the characteristics of dye-sensitized solar cells on amount tetrapropylammonium iodide,” *«Узбекский физический журнал»*, vol. 22, no. 4, 2019, doi: 10.52304/.v22i4.166.
- [10] Q. A. Yousif and N. H. Haran, “Fabrication of TiO₂ nanotubes via three-electrodes anodization technique under sound waves impact and use in dye-sensitized solar cell,” *Egypt. J. Chem.*, vol. 64, no. 1, 2021, doi: 10.21608/EJCHEM.2020.28233.2596.
- [11] A. M. Zulkifli *et al.*, “Characteristics of Dye-Sensitized Solar Cell

Assembled from Modified Chitosan-Based Gel Polymer Electrolytes Incorporated with Potassium Iodide,” *Molecules*, vol. 25, no. 18, 2020, doi: 10.3390/molecules25184115.

- [12] R. Ahmad *et al.*, “Contributors,” in *Advances in Electronic Materials for Clean Energy Conversion and Storage Applications*, 2023. doi: 10.1016/b978-0-323-91206-8.00065-0.
- [13] J. H. Kim, D. H. Kim, J. H. So, and H. J. Koo, “Toward eco-friendly dye-sensitized solar cells (DSSCs): Natural dyes and aqueous electrolytes,” 2022. doi: 10.3390/en15010219.
- [14] H. Esgin, Y. Caglar, and M. Caglar, “Photovoltaic performance and physical characterization of Cu doped ZnO nanopowders as photoanode for DSSC,” *J. Alloys Compd.*, vol. 890, 2022, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.161848.
- [15] A. M. El-naggar, Z. K. Heiba, A. M. Kamal, and M. B. Mohamed, “Modification and development of the structural, linear/nonlinear optical and electrical characterization of PVC incorporated with iron chromium oxide and TPAI,” *Opt. Quantum Electron.*, vol. 55, no. 11, 2023, doi: 10.1007/s11082-023-05230-9.
- [16] A. С. Рудый, С. В. Курбатов, А. А. Мироненко, В. В. Наумов, Ю. С. Егорова, and Е. А. Козлов, “Удельное сопротивление тонкопленочных электродов Si@O@Al и LiCoO₂=SUB=-2-=/SUB=-,” *Письма в журнал технической физики*, vol. 49, no. 14, 2023, doi: 10.21883/pjtf.2023.14.55817.19543.
- [17] R. Katoh *et al.*, “Efficiencies of Electron Injection from Excited N3 Dye into Nanocrystalline Semiconductor (ZrO₂, TiO₂, ZnO, Nb₂O₅, SnO₂, In₂O₃) Films,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 108, no. 15, 2004, doi: 10.1021/jp031260g.
- [18] A. Dolgonos, T. O. Mason, and K. R. Poeppelmeier, “Direct optical band gap measurement in polycrystalline semiconductors: A critical look at the Tauc method,” *J. Solid State Chem.*, vol. 240, 2016, doi: 10.1016/j.jssc.2016.05.010.
- [19] Ł. Haryński, A. Olejnik, K. Grochowska, and K. Siuzdak, “A facile method for Tauc exponent and corresponding electronic transitions determination in semiconductors directly from UV–Vis spectroscopy data,” *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 127, 2022, doi: 10.1016/j.optmat.2022.112205.

- [20] А. Н. Резник and Н. В. Востоков, “Резонансная микроволновая спектроскопия полупроводников с микронным разрешением,” *Журнал технической физики*, vol. 92, no. 3, 2022, doi: 10.21883/jtf.2022.03.52145.262-21.
- [21] J. Klein, L. Kampermann, B. Mockenhaupt, M. Behrens, J. Strunk, and G. Bacher, “Limitations of the Tauc Plot Method,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 33, no. 47, 2023, doi: 10.1002/adfm.202304523.
- [22] H. H. Nguyen, G. Gyawali, T. H. Kim, S. Bin Humam, and S. W. Lee, “Blue TiO₂ polymorph: An efficient material for dye-sensitized solar cells fabricated using a low-temperature sintering process,” *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, vol. 28, no. 5, 2018, doi: 10.1016/j.pnsc.2018.08.003.
- [23] Q. Guo, C. Zhou, Z. Ma, and X. Yang, “Fundamentals of TiO₂ Photocatalysis: Concepts, Mechanisms, and Challenges,” 2019. doi: 10.1002/adma.201901997.