ISSN 2181 – 8193

BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGI

2
2026

Tahririyat hay'ati raisi:
SIDDIQOVA S.G'. –
Buxoro davlat texnika universiteti rektori
Muovini:
NIZAMOV A.B. –
BuxDTU ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektori
Tahrir hay'ati:
MUQIMOV K.M. – O'zR FA akademigi (O'zMU)
JALILOV A.T. – O'zR FA akademigi (Toshkent kimyo-texnologiya ITI)
NEGMATOV S.N. – O'zR FA akademigi ("Fan va taraqqiyot" DUK)
BAHODIROV G'.A. – t.f.d., professor, O'zR FA bosh ilmiy kotibi
XAMIDOV O.X. – iqtisod fanlari doktori, professor (BuxDU)
JALILOV T.K. – iqtisod fanlari doktori (DSc), professor (TKTI)
PARDAYEVA M.D. – BuxDTU yoshlar masalalari va ma'naviy-ma'rifiy ishlar bo'yicha birinchi prorektori, falsafa fanlari doktori (DSc)
XOJIYEV A.X. – o'quv ishlari bo'yicha prorektor, texnika f.f.d. (PhD)
SAIDOV S.B. – Buxoro DTU moliya va iqtisod ishlari bo'yicha prorektori
QURBONOV J.M. – texnika fanlari doktori, professor (Samarqand ISI)
ADIZOV B.Z. – texnika fanlari doktori (DSc), pprofessor, O'zRFA UNKI
ASTANOV S.X. – fizika-matematika fanlari doktori, professor
RAXMONOV X.Q. – texnika fanlari doktori, professor
VOXIDOV M.M. – texnika fanlari doktori, professor
JO'RAYEV X.F. – texnika fanlari doktori, professor
SADULLAYEV N.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOV Q.X. – texnika fanlari doktori, professor
FOZILOV S.F. – texnika fanlari doktori, professor
ISABAYEV I.B. – texnika fanlari doktori, professor
ABDURAHMONOV O.R. – texnika fanlari doktori, professor
GAFUROV K.X. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
XAYDAROV A.A. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
JO'RAYEV F.O'. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MURADOVA F.R. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
JUMAYEV M.R. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
YUNUSOVA G.S. – falsafa fanlari doktori (DSc), professor
BOBOYEV A.Ch. – iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor
TO'XTAYEVA Z.Sh. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.J – texnika fanlari doktori (DSc), professor
HAYITOV R.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOZOROV G'.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOLTAYEV Z.I. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
OLTIYEV A.T. – texnika fanlari doktori, (DSc)
JALILOV R.B. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.I. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOVA N.Q. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
AXMEDOV V.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV R.A. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
PULATOVA M.I. – fizika-matematika fanlari nomzodi, professor
RAHMATOV Sh.A. – pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD**)**
OCHILOV A.R. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
O'RINOV U.A. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
PO'LATOVA S.U. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
SAMIYEVA Sh.X. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
TESHAYEV M.X. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
XAITOV V.U. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
XOJIYEV Sh.M. –texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
XAYITOV Sh.N. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
ZOIROV E.X. – falsafa fanlari doktori (DSc), dotsent
NARZIYEV M.S. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
NAMAZOVA N.J. – iqtisodiyot fanlari b.f.d. (PhD**),** dotsent

Bosh muharrir: **DO'STOV H.B. –** kimyo fanlari doktori, professor

Muharrirlar: **Artikova M.M., Istamova G.X.**
Musahhih: **Barakayeva D.F.**

FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI
ILMIY-TEXNIKAVIY JURNAL

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Jurnal O'zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyati boshqarmasida 2014 yil 22-sentyabrda № 05-066-sonli guvohnoma bilan ro'yxatga olingan

Muassis:
Buxoro davlat texnika universiteti

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi OAK Rayosatining 2017 yil 29-martdagi №239/5-sonli qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan. 2019 yilda O'zbekiston Respublikasi OAK Rayosatining qarorlari bilan qayta ro'yxatdan o'tkazilgan.

Tahririyat manzili:
200117, Buxoro shahri, Q. Murtazoyev ko'chasi, 15-uy, Buxoro davlat texnika universiteti
Tel: 0(365) 223-92-40
Faks: 0(365) 223-78-84
E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

Jurnalning to'liq elektron varianti bilan http://journal.bstu.uz sayti orqali tanishish mumkin.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to'liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim ham mos tushmasligi mumkin. Jurnalda yoritilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolalarning mualliflari va reklama beruvchilar mas'uldirlar.

M U N D A R I J A – CONTENT

TEXNIKA, TEXNOLOGIYA VA JIHOZLAR

Kayumov U.E., Pardayeva Sh.S., Istamov M.F. Konchilik sanoatida qo‘llaniladigan markazdan qochma nasoslarning ekspluatatsiyasining xususiyatlari …….	**5**
Majitov J.A., Narzulleyev M.N. Yakka iste’molchilarga mo‘ljallangan biogaz qurilmasining tajriba tadqiqotlari……	**12**
Fattoyev F.F., Hamidov A.X. o‘zbekiston respublikasida standartlashtirish bo‘yicha texnik qo‘mitalarning faoliyatini baholashda xalqaro tajribalarning o‘rni va ahamiyati……...	**22**
Taslimov A.D., Raximov F.M., Norqulov A.O. Navoiy shahar transformator podstansiyalarida faza balanslashni joriy etish bo‘yicha ustuvorlashtirish modeli.....	**32**
Mavlonova I.R. Pilla losi va sannohidan momiq olish hamda qayta ishlash istiqbollari……...	**38**
Narziev M.S., Axmedov V.N., Mavlonova I.R., Qodirov M.M. Pilla losini qo‘shimchalardan va seritsindan tozalashda tabiiy komponentlarni qo‘llash texnologiyasi……	**44**
Мусурмонов И.М., Рахматова С.Ф., Жумаев А.А., Жумаева Н.К. Результаты исследования структурного состояния износостойких белых чугунов……...	**48**
Yusubaliyev A., Sharipov Sh.N. Beda urug‘ligini elektr maydonida ekishga tayyorlashning ayrim tadqiqot natijalari	**54**

KIMYO VA KIMYOVIY TEXNOLOGIYALAR

Шарипбаев С.С. Влияние морфологии фотоанодов DSSC на характеристики фотоэлектрических преобразователей……	**58**
Berdiyev D.M., Liang Zhenglong., Ibroximova M.M. Nikel asosli olovbardosh qotishmani qayta eritishda xossalarga ta’siri……	**63**
Hamroyev O.O., Sattorov M.O., Ochilov A.A. Kimyoviy ishlov berish orqali olingan quduq mahsulotiga deemulgatorning xlorid kislota ishtirokida ta’sirining samaradorligini tadqiq etish..	**68**
Maxmudov M.J., Ne’matov X.I., Shoymardonov O‘.B. Gazlarni absobrsion quritishda qo‘llaniluvchi glikollarning asosiy xossalari tavsifi va jarayonning samaradorligiga ta’sir etuvchi omillar tahlili……...	**77**
Xo‘jaqulov A.F., Rasulov U.A., Raximov Z.Z. Navbaxor koni bentonitini sulfat kislota bilan faollanishi……	**81**
Жумаева А.А., Амонов М.Р. Базальт асосида олинган ПВХ композицияларнинг термик барқарорлигини ўрганиш……..	**87**
Фозилов С.Ф., Махмудов М.Ж., Муртазаев Ф.И. Маҳаллий паст октанли автомобил бензинининг физик-кимёвий хоссалари ва унинг бензол сақлаган фракциясини аниқлаш..	**92**
Sharipov N.Z., Fazlitdinov J.R. Ko‘mir yoqilg‘isi yonadigan tizimlardan chiqayotgan zararli tutun gazlarini tozalash texnologiyasi……	**99**
Саатов С.К., Шарипов К.К. Полевые исследования по оценке скорости износа стенки трубопровода в процессе эксплуататsiи……...	**104**
Джураева Г.Х., Тошқобилов Ж.Ш., Абдурахимов И.Э. Синтез моноциклических ароматических углеводородов……	**110**
Toshpulatov D.T., Abdumuminova O.B., Xushvaqtov I.G‘., Pardaboyeva M.T., Toshtemirov A.Sh., Tashpulatov X.Sh. $[Co(tmphen)_3](PF_6)_2$ gomoleptik kompleksning tuzilishini o‘rganish……	**114**
Bokiyeva Sh.K. Konlardagi qatlam suvlarini tozolashda adsorbentlar olish texnologiyasi.....	**118**

MASHINASOZLIK VA ENERGETIKA

Murodov K.J. Yo‘lning sun’iy notekislik qismiga birlashtirilgan mexanik-quyoshli gibrid qurilma yordamida elektr energiyasi ishlab chiqarish…….	**123**
Бафоев Д.Х. Повышение эффективности упрочнения деталей из титановых сплавов……	**127**
Boixanov Z.U. Asinxron motorlarning elektromagnit holatini aniqlash va monitoring qilish usullari…….	**135**
Juraqulov A.X. O‘zbeksiton iqlim sharoitlari uchun fokuslovchi quyosh kollektorlarini ishlab chiqish…….	**139**
Makhmudov M.I., Kushshayeva M.R., Nurov S.S., Timirov H.N., Sayfiyev H.O. The effect of dust accumulation on the efficiency of solar panels and methods for its detection……	**146**
A’zamov S.S. On-Grid quyosh foftoelektrik sistemasi energiya samarador ko‘rsatkichlarini tadqiqi……..	**150**
Nizomov J.A. Asinxron motorning MATLAB immitasion modeli orqaliy turli xil ish rejimlarini kuzatish…… …….	**155**
Bafoyev D.X. Materiallar sirtida ko‘p elementli qoplamalar hosil qilish……...	**160**
Nizamov. J.A. Sun’iy neyron tarmog‘i yordamida asinxron motorlarning nosozliklarni monitoring qilish va diagnostika qilish……...	**166**
Xaydarov X.M. Quyosh panellaridan ta’minlangan elektr tarmoqlaridan ta’minlanadigan nasos qurilmalari ish rejimlari va energiya iste’mol dinamikasini yil davomida mavsumiy o‘zgarishi...	**172**
Murodov K.J. Vertikal suyuqlik oqimlari asosida binolarda energiya ishlab chiqarishning yangi yondashuvi…….	**177**
Тоиров З., Сайфиддинов Қ.Э. Анализ ветрового энергетического потенциала в бухарской области республики узбекистан с использованием распределения Вейбулла….	**181**
Sharipov J.O., Begmurodov A.F. Detallarni korroziya bardoshliligini oshirish uchun zamonaviy yechim va uni qo‘llash jarayoni……	**188**
Mirzamaxmudov U.A., Sharibayev N.Yu., Murodov R.S. Ipak qurti urug‘chiligida kapalak chiqarishni sinxronlashtiruvchi LED fotoperiod moslamasining elektrotexnik asoslari……	**192**

INFORMATIKA VA AXBOROT – KOMMUNIKATSION TIZIMLAR

Rakhmonov I.U., Niyozov N.N., Nematov L.A. Investigation of insulation degradation mechanisms in centralized inverters and development of efficient data exchange methods in wireless sensor networks…….	**197**
Xamroyev X.X., Bibutov N.S., Xabibov F.Yu. “Materiallar qarshiligi” kursida masalalarni kompyuterli modellashtirish……	**202**
Rakhmonov I.U., Kurbonov N.N., Nematov L.A. Parameter optimization of medium- and short-term forecasting systems of lightning activity……...	**208**
Sharifbaev A.N. Improving retrieval-augmented generation pipelines through knowledge graph integration……..	**213**

OZIQ-OVQAT SANOATI TEXNOLOGIYALARI

Axmedova M.B. Ikkilamchi mahalliy xomashyolardan xamirturush tayyorlash usullari……..	**220**
Ravshanov S.S., Shaxriddinov F.F., Suyunova L.A., Karimov D.T. Kompozit nonlarning oziqaviy tarkibi, xamir reologiyasi va sensor xususiyatlari…….	**224**
Ибрагимов А.К., Махмудов Р.А. Анализ химического состава и функционально-технологических свойств ингредиентов сырья для приготовления майонеза……	**229**

Kuliyev N.Sh. Ko‘pik va emulsion strukturalarning shakllanishida meva va sabzavot sharbati komponentlarining ishtiroki……	**236**
Kurbanov M.T., Axmedova M.B. Soya siqilmasidan parrandalar uchun ekologik toza omuxta yem tayyorlash texnologiyasini takomillashtirish……..	**245**
Хужакулов У.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Исследование влияния воздействия электромагнитного поля на сохранность и показатели качества местных сортов томатов...	**249**
Yoqubov M.E., Khaitov R.A. Environmentally efficient helioconvective technology for dehulling pumpkin seeds……	**260**
Mahmudov M.S., Mamajanov G‘.O., Toshmatov Y.R. *Phragmites communis trin* o‘simligidan ishqorli va kislotali usulda olingan sellyuloza namunalarining termik analizi ….....	**266**
Турсунова Н.Н. Общая характеристика сои и основные направления использования соевых продуктов……..	**270**

TO‘QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT TEXNOLOGIYALARI

Amonov A.R, Muxammedjanov M.M. Tikuv mashinasi qayishqoq tayanchlari bo‘lgan bosh valning kritik tebranishlari tahlili……	**278**
Behbudov Sh.H., Samadova M.O. Ip va matoga ignaning ta’sirini vertikal tebranishdagi chastotasining tahlili……	**282**
To‘raqulova B.B., Temirova G.I., Toshpo‘latova G.R. An’anaviy naqsh va bezaklarni modernizatsiya qilishning usullari……...	**285**
Нигматова Ф.У., Эргашева Н.Дж., Кодирова Д.Х., Шомансурова М.Ш., Музаффарова Ф. Ретроспективные исследования современного дизайна меховой одежды за период 1980-2025 гг …….	**292**
Jumaniyazov K., Salimov Sh.H., Nazarov R.A. Pnevmomexanik yigirish mashinasida sifatli ip ishlab chiqarish tasnifi ……	**299**
Bebutova N.N., Qiyomova S.I. Sanoat tarmoqlarida ekspluatatsiya talablarini hisobga olgan holda maxsus kiyimni takomillashtirish bo’yicha tavsiyalar……...	**303**
Мухаммедова М.О. Научные основы выбора материалов для ортопедической обуви и внутренних стелек при повреждениях голеностопного сустава……..	**310**
Nazirov R.R., Abdurahmonov O.SH., Qurbonov A.B. 5LP rusumli linterga tajriba arra oraliq qistirmalarini tayyorlash va tajribalarning metodik uslublari	**313**
Мухаммедова М.О., Ахмедов Ж.Ж. Распределение биомеханических нагрузок в конструкции ортопедической обуви и их влияние на конструктивные элементы……	**317**
Турдиев Б.Э., Росулов Р.Х., Очилов М.М., Эрдонов А.М., Пардаев Б.Ч. Чигит элеватори учун лентали конвейерини ишлаб чиқаришдаги тажриба-синов натижалари…..	**322**
Узакова Л.П., Авезова А.А. Выбор материала для подкладки женской модельной обуви: требования, свойства, современные решения……	**326**
Mardonov S.E., Muxtorova Z.N. Qatlamlarni biriktirish usulining ikki qatlamli to‘qimalarning fizik-mexanik xossalariga ta’sirini aniqlash……...	**331**
Rayimberdiyeva D.X., Nabidjanova N.N. Tikuv sexlarida texnologik jarayonlarni loyihalashni takomillashtirish……..	**335**
Sharifbayev R.N., Obidov A.A. Pilla navlarini ajratuvchi adaptiv mexatronik tizim yaratish….	**340**
Ержанова Д.Ж., Мардонов С.Э. Инноватsionные подходы к проектированию трикотажных полотен с заданными эластическими свойствами для одежды сегмента 0–3 года ……	**347**
Ботиров А., Рахимов А., Шарибаев Н. Использование ультразвуковой технологии для совершенствования процессов размотки коконов в шелковом производстве……	**351**
Dehqonov G‘., Sharibayev N.Yu., Murodov R.S. Ipak qurtini parvarishlash texnologiyasi va qurtxonalarda mikroiqlim sharoitlarini ta’minlash masalalari……	**357**

Ubaydova V.E., Abbosova M.O. Homilador ayollar uchun transformatsiyalanuvchi kiyim konstruksiyasini ishlab chiqish va uning funksional samaradorligini baholash……..	**361**
Rosulov R.X. Qoziqli barabanlarda qayishqoq elementlarni qo‘llashni nazariy tadqiq qilish…...	**370**
Совутов М.Э., Мусаев Н.М., Ахмедов К.И., Мукимов М.М. Трикотаж тўқималари тузилиши ва қалинлиги ўзгаришини иссиқлик сақлашда вақтга боғлиқлик ҳолатини назарий тадқиқи…….	**373**
Qodirova S.X., Abdullayeva G.Sh. Milliy naqshlarning arxitekturada qo‘llanilishi va ularning qiyosiy tahlili……	**379**
Sayidova M.X. Harakat energiyasidan quvvatlanuvchi aqlli isituvchi kombinezon..	**384**
Do‘stova F.X. Turli navlardagi paxtalarni tozalashdagi mavjud texnologiyalar tahlili……..	**387**
ANIQ VA IJTIMOIY-IQTISODIY FANLAR	
Fayazova D.S. Autizm bo‘lgan talabalarning til o‘rganishdagi xususiyatlari……	**392**
Sharipova Sh.N. Oliy ta’lim tizimida raqamli texnologiyalar asosida texnik tafakkurni rivojlantirish usullari……	**395**
Isxakov M.M. Axborot-kutubxona xizmati ko‘rsatishda yangi innovatsiyalarni joriy qilish….	**399**
Sidiqova N.N. Ingliz va o‘zbek tillarida milliy koloritni ifodalovchi frazeologik birliklarning lingvistik xususiyatlari…….	**404**
Саидова А.С. Таълим трансформатсияси жараёнида бўлажак мутахассисларнинг касбий компетентлигини ривожлантириш методикаси…….	**408**
Hikmatov N.I. Innovatsion qurilish materiallari……...	**412**
Мухаммадов С.К., Илясов А.Т., Пахратдинов. А.А. Бухоро шаҳридаги “Абдуллахон” мадрасаси биносининг техник холатини кучлантириш бўйича таҳлил ва тавсиялар……	**416**
Tursunova N.N. Kasb-hunar ta’limi tizimida “Mehnat muhofazasi va xavfsizlik texnikasi” fanini o‘qitishda zamonaviy ta’lim metodlarini qo‘llash…….	**420**
Samadova R.A., Gafurova N.T., Xikmatov N.I. O‘zbekistonning ijtimoiy-iqtisodiy siyosatida xotin - qizlarga oid insonparvarlik qarorlarining ahamiyati……	**426**
Ортикова Г.Ш., Нурмухаммедова Б.И. Оценка состояния финансирования международной торговли в республике Узбекистан……	**430**
Баракатова Д.А. Рус адабиётида танқидий реализм асосчиси……	**434**
Мустақимова Қ.С. “Шоирлар одам атоси” ҳақида……..	**437**
Раупова М.Х. Динамические задачи в формулировке квадратичной неограниченной бинарной оптимизатsiи (QUBO) и их квантовые решения……	**441**
EKOLOGIYA VA ATROF MUHIT MUHOFAZASI	
Xolova Sh.A. Ecological efficiency of introducing “green technologies” into industry……	**447**
Axmedova M.B. Maishiy qattiq chiqindilar asosidagi xomashyolardan ekologik toza va iqtisodiy samaradorligi yuqori mahsulotlar ishlab chiqarish……...	**451**
Q U T L O V	
Фозилов Садриддин Файзуллаевич – 60 ёшда. Етук олим ва жонкуяр устоз……...	**456**

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ФОТОАНОДОВ DSSC НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Шарипбаев С.С.

Наманганский государственный технический университет.

Аннотация. *В статье исследуется роль морфологии диоксида титана (TiO_2) в формировании фотоэлектрических характеристик красительно-сенсибилизированных солнечных элементов (DSSC). На основе сравнительного анализа публикаций 2023–2025 годов рассмотрены наноструктуры TiO_2 различных форм: наночастицы, нанотрубки, нанопроволоки, нанофибры и композиты с металлическими наночастицами. Центральное место занимает взаимосвязь между морфологией фотоанода, эффективностью переноса электронов и степенью адсорбции красителя. По итогам анализа актуальных исследований определены оптимальные морфологические параметры TiO_2, способствующие повышению эффективности DSSC.*

Ключевые слова: *DSSC, TiO_2, морфология, наноструктуры, фотоанод, эффективность, нанотрубки, нанопроволоки.*

PHOTOANODE MORPHOLOGY IN DSSC AND ITS IMPACT ON PHOTOELECTRIC CONVERTER PERFORMANCE

Sharipbaev S.S.

Namangan state technical university.

Abstract. *This paper examines the role of titanium dioxide (TiO_2) morphology in shaping the photoelectric characteristics of dye-sensitized solar cells (DSSC). Drawing on a comparative analysis of publications from 2023–2025, various TiO_2 nanostructure forms are reviewed, including nanoparticles, nanotubes, nanowires, nanofibers, and composites with metallic nanoparticles. Central focus is placed on the relationship between photoanode morphology, electron transfer efficiency, and the degree of dye adsorption. Based on the analysis of current research, optimal morphological parameters of TiO_2 are identified that contribute to improved DSSC performance.*

Keywords: *DSSC, TiO_2, morphology, nanostructures, photoanode, efficiency, nanotubes, nanowires.*

Введение. За последнее время область альтернативной энергетики переживает активный подъём, и солнечные элементы на основе органических и гибридных материалов занимают в ней всё более заметное место. Среди перспективных направлений особого внимания заслуживает технология красительно-сенсибилизированных солнечных элементов (Dye-Sensitized Solar Cells, DSSC), впервые представленная М. Гретцелем и Б. О'Риганом в 1991 году. Ключевыми преимуществами данной технологии являются доступность производства, конструктивная гибкость и возможность применения относительно недорогих материалов.

Рабочие характеристики DSSC определяются целым рядом факторов, однако структура и морфология фотоанода играют среди них первостепенную роль. Диоксид титана (TiO_2) традиционно выступает основным материалом фотоанода благодаря высокой химической стабильности, широкому диапазону оптической прозрачности и подходящей энергетической зонной структуре. Вместе с тем фотогенерация и перенос зарядов в DSSC непосредственно зависят от формы, размеров и пористости наноструктур TiO_2, что превращает морфологию в один из ключевых параметров при разработке подобных устройств.

Разнообразные морфологические формы TiO_2 – наночастицы, нанотрубки, нанопроволоки, нанофибры, а также их композиты с металлическими наночастицами (Ag, Cu, ZnO) – проявляют неодинаковые свойства в плане адсорбции красителя и переноса электронов. Так, нанопроволоки формируют одномерный канал переноса заряда, что существенно снижает вероятность рекомбинации, тогда как мезопористые наночастицы отличаются развитой удельной поверхностью и высокой эффективностью фиксации молекул красителя.

Настоящая работа направлена на изучение того, как морфологические особенности TiO_2 сказываются на эффективности DSSC, а также на систематизацию актуальных экспериментальных данных за 2023–2025 годы, касающихся синтеза и структурирования фотоанодов. Полученные выводы дают возможность определить наиболее перспективные

типы морфологий и подходящие методы их формирования в целях повышения эффективности солнечных элементов следующего поколения.

Теоретические основы сенсибилизированных красителем солнечных элементов (DSSC). Красительно-сенсибилизированные солнечные элементы (DSSC) представляют собой гибридные фотоэлектрохимические устройства, в которых поглощение света и генерация носителей заряда обеспечиваются фотовозбуждением молекул красителя, адсорбированных на поверхности наноструктурированного полупроводникового слоя. В отличие от традиционных кремниевых аналогов, где оба процесса протекают в объёме полупроводника, DSSC разграничивают функции светопоглощения и переноса электронов между разными материалами – это открывает возможность применения доступных материалов и упрощённых производственных процессов.

Типичная структура DSSC включает следующие компоненты:

1. **Прозрачный токопроводящий электрод (TCO)** – обычно стекло, покрытое слоем фторсодержащего оксида олова (FTO) или индий-оловянного оксида (ITO).
2. **Фотоанод** – слой нанокристаллического TiO_2, на поверхности которого адсорбированы молекулы красителя.
3. **Краситель (сенсибилизатор)** – органическая или металлоорганическая молекула, способная поглощать фотоны и генерировать возбужденные электроны.
4. **Электролит** – чаще всего на основе иодид/триодидной (I^-/I_3^-) пары, обеспечивающий перенос дырок от красителя к контрэлектроду.
5. **Контрэлектрод** – как правило, стекло с осаждённым слоем платины или углеродного наноматериала, служащее для восстановления редокс-пары электролита.

Существенное влияние на характеристики DSSC оказывает состав электролита, обеспечивающего перенос и восполнение заряда между фотоанодом и контрэлектродом. Данная зависимость была детально изучена в работе Маматкаримова О.О. и соавторов, где анализировались свойства жидких и гелевых электролитов на основе тетрапропиламмонийной соли [7].

Принцип работы DSSC можно описать последовательностью фотоэлектрохимических процессов:

1. Поглощение фотона молекулой красителя и переход её в возбужденное состояние ($D + h\nu \rightarrow D^*$).
2. Инжекция электрона из возбужденного красителя в зону проводимости TiO_2 ($D^* \rightarrow D^+ + e^-(TiO_2)$).
3. Транспорт электрона через слой TiO_2 к прозрачному электродному слою (FTO).
4. Восстановление окисленного красителя за счёт отдачи электрона из редокс-пары электролита ($D^+ + I^- \rightarrow D + I_3^-$).
5. Восстановление I_3^- до I^- на контрэлектроде ($I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$).

При увеличении плотности дефектов и неоднородности структуры TiO_2 возрастает вероятность рекомбинации электронов, что снижает время их жизни.

Время переноса носителей можно приближённо оценить по выражению:

$$\tau = \frac{L^2}{D_n},$$

Где: L – длина пути диффузии, а D_n – коэффициент диффузии электронов, который напрямую зависит от морфологии наноструктуры [1].

Эффективность DSSC зависит от согласованности всех этих процессов, однако ключевую роль играет морфология TiO_2, определяющая степень адсорбции красителя, скорость переноса и вероятность рекомбинации электронов.

Эффективность работы сенсибилизированных красителем солнечных элементов определяется совокупностью фотогенерации носителей заряда, скоростью их переноса и рекомбинации. В обобщённом виде КПД устройства можно выразить как:

$$\eta = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_{in}},$$

Где: J_{sc} – ток короткого замыкания, V_{oc} – напряжение холостого хода, FF – фактор заполнения, P_{in}– мощность падающего излучения.

J_{sc}, V_{oc} и FF зависят от морфологических характеристик слоя TiO_2 и его взаимодействия с красителем [1]. Поэтому дальнейшие исследования сосредоточены на изучении структуры наночастиц, их пористости, а также межфазных границ между TiO_2, красителем и электролитом.

Морфология TiO_2 фотоанодов и методы их получения. Морфология фотоанода относится к числу наиболее значимых параметров, во многом определяющих эффективность DSSC. Структура наночастиц диоксида титана (TiO_2) влияет не только на площадь активной поверхности, но и на процессы транспорта и рекомбинации электронов, а также на степень адсорбции молекул красителя. Для достижения высоких показателей эффективности DSSC требуются наноструктуры с развитой пористостью, достаточной оптической прозрачностью и хорошей электронной проводимостью.

Морфологические параметры, такие как размер частиц и пористость TiO_2, определяют количество молекул красителя, участвующих в поглощении света, и, следовательно, плотность фототока.

Этот параметр можно описать выражением:

$$J_{sc} = q \int \phi(\lambda)\eta_{IPCE}(\lambda)d\lambda,$$

Где: $\phi(\lambda)$ – поток фотонов, а η_{IPCE}– квантовый выход, чувствительный к морфологии фотоанода [1].

Такие морфологические характеристики, как размер частиц и пористость TiO_2, напрямую влияют на количество молекул красителя, задействованных в поглощении света, и тем самым определяют плотность фототока.

Сол-гель метод. Сол-гель технология относится к числу наиболее распространённых и технологически доступных методов получения наноструктур TiO_2. В её основе лежат реакции гидролиза и конденсации прекурсоров — как правило, тетрабутилтитаната ($Ti(OC_4H_9)_4$) или тетрахлорида титана ($TiCl_4$). При управляемом изменении pH и температуры формируется золь, который впоследствии переходит в гель и после термической обработки образует пористую оксидную структуру.

К основным достоинствам сол-гель метода относятся невысокая температура синтеза, равномерное распределение частиц и возможность гибкого управления пористостью слоя. Вместе с тем метод не лишён недостатков: характерна склонность частиц к агрегации, а механическая стабильность материала без последующего спекания остаётся относительно невысокой.

Гидротермальный метод. Гидротермальный синтез позволяет формировать кристаллические наноструктуры TiO_2 при сравнительно невысоких температурах (100–200 °C) в условиях автоклава. Применение водных растворов прекурсоров под давлением способствует направленному росту наностержней, нанотрубок или нанолент с воспроизводимыми размерными характеристиками.

Метод отличается высокой степенью кристалличности получаемых структур и возможностью контролируемого роста, что благоприятно сказывается на транспорте электронов и снижает вероятность их рекомбинации. Благодаря этим преимуществам гидротермальные наноструктуры TiO_2 нашли широкое применение в высокоэффективных DSSC.

Анодное окисление. Анодное окисление титана представляет собой перспективный подход к получению упорядоченных массивов нанотрубок TiO_2. В ходе анодирования титановой фольги в электролите, содержащем фторид-ионы, электрохимическим путём

формируется нанотрубчатая структура, отличающаяся высокой однородностью и контролируемой толщиной стенок.

Ключевым достоинством данного метода служит формирование ориентированных наноструктур, обеспечивающих направленный транспорт электронов без рассеяния. Аноды на их основе демонстрируют повышенную плотность фототока и эффективность до 8–10%, особенно в сочетании с гибридными красителями и твердофазными электролитами.

Пастовый метод (доктор-блейдинг, спин-котинг). В лабораторных условиях наибольшее распространение получил пастовый метод, предполагающий нанесение коллоидной суспензии наночастиц TiO_2 на прозрачный электрод (FTO) с последующим отжигом. Для этого применяются техники doctor blade, spin coating или screen printing, обеспечивающие контроль над толщиной и равномерностью формируемого слоя.

Пастовый способ выгодно отличается простотой исполнения, воспроизводимостью результатов и возможностью масштабирования, что делает его привлекательным для крупносерийного производства DSSC. Управление размером частиц — как правило, в диапазоне 15–25 нм – позволяет достичь оптимального соотношения между светопоглощением, транспортом электронов и адсорбцией красителя.

В целом выбор метода синтеза TiO_2 определяется требуемыми морфологическими характеристиками: пористостью, удельной площадью поверхности, степенью кристалличности и типом наноструктуры. Современные исследования всё активнее ориентированы на комбинирование различных методов с целью получения иерархических структур, обладающих улучшенными показателями захвата света и повышенной фотостабильностью.

Сравнительный анализ современных исследований. Интерес исследователей к морфологии фотоанодов DSSC в последние годы заметно усилился, что обусловлено прямой зависимостью между структурой наночастиц TiO_2 и такими процессами, как перенос зарядов, адсорбция красителя и рекомбинация электронов. Современные работы охватывают широкий спектр подходов – от легирования и введения плазмонных добавок до формирования одномерных и иерархических наноструктур.

Hsu и соавт. [1] изучили нанокомпозит TiO_2, легированный железом и серой. Полученные наночастицы размером около 10–35 нм отличались увеличенной удельной поверхностью, что повысило эффективность адсорбции красителя. Введение Fe/S-доноров в кристаллическую решётку расширило диапазон поглощения в видимой области, а итоговый PCE вырос более чем вдвое – с 3,43 % до 6,46 %.

Joshi и коллеги [2] создали мезопористые сферы TiO_2 с декоративными наночастицами золота. Плазмонный эффект Au-наночастиц усиливал локальное электромагнитное поле, что обеспечило рост PCE до 7,7 % – примерно на 40 % выше относительно немодифицированных структур.

Kraidy и соавт. [3] применили смесь коммерческих нанопорошков TiO_2 (Hombikat UV100 и P25). Сочетание частиц разного размера обеспечило баланс между высокой площадью поверхности и кристалличностью, позволив достичь эффективности около 4,9 % – выше, чем у однофазных аналогов на основе P25.

В обзоре Srivastava и др. [4] детально рассмотрены одномерные морфологии TiO_2 – нанотрубки, нанопроволоки и наностержни. Показано, что направленный транспорт электронов в таких структурах снижает вероятность рассеяния и рекомбинации, повышая эффективность и стабильность DSSC.

Khan и соавт. [5] исследовали комбинированный подход, объединяющий легирование и наноструктурирование поверхности TiO_2. Контроль размеров зёрен и формирование дефектных уровней улучшили перенос зарядов, обеспечив эффективность до 9,4 % при использовании рутениевых комплексов.

Sibiński и коллеги [6] сосредоточились на роли морфологии блокирующих слоёв TiO_2 и TiO_2:ZnO, нанесённых методом реактивного магнетронного напыления. Оптимизация толщины и микроструктуры этих слоёв снизила рекомбинационные потери на границе электрод–электролит и способствовала росту выходного напряжения (Voc) и фактора заполнения (FF).

Таким образом, управление морфологией TiO_2 остаётся одним из наиболее действенных инструментов повышения эффективности DSSC. Сочетание наноструктурированных поверхностей, плазмонных наночастиц и оптимизированных межфазных контактов открывает возможность достижения показателей, сопоставимых с коммерческими аналогами.

Обсуждение результатов и заключение. Проведённые исследования подтвердили, что морфология слоя TiO_2 оказывает значительное воздействие на электрофизические характеристики DSSC. Структура наночастиц во многом определяет как степень адсорбции красителя, так и подвижность электронов в мезопористом слое. Морфология с развитой удельной поверхностью и равномерным распределением наночастиц способствует увеличению плотности фототока Jsc и снижению рекомбинационных потерь.

Результаты морфологического и электрофизического анализа – SEM, AFM и измерений проводимости – показали, что повышение степени кристалличности TiO_2 и снижение дефектности благоприятно сказываются на электронном транспорте и коэффициенте диффузии Dn. Следствием этого становится увеличение времени жизни электронов τ и, соответственно, рост коэффициента полезного действия устройства.

Таким образом, оптимизация морфологии фотоанода TiO_2 выступает одним из ключевых факторов повышения эффективности DSSC. Формирование наноструктур с высокой площадью поверхности, хорошей структурной связностью и однородной пористостью обеспечивает улучшенные электрофизические показатели, минимизирует рекомбинационные потери и стабилизирует работу солнечного элемента. Полученные данные согласуются с актуальными тенденциями в области наноструктурированных материалов для фотоэнергетики и подтверждают перспективность морфологического контроля при создании высокоэффективных DSSC [1].

Список литературы

1. Hsu C.-L. et al. *Enhancement of dye-sensitized solar cells by Fe/S co-doped TiO_2 nanocomposites. Scientific Reports*, 2024. DOI:10.1038/s41598-024-54895-z
2. Joshi M. et al. *Mesoporous TiO_2 spheres decorated with Au nanoparticles for high-efficiency DSSCs. Frontiers in Materials*, 2024. DOI:10.3389/fmats.2024.1457325
3. Kraidy F. et al. *Performance of DSSC based on mixed TiO_2 nanopowders (Hombikat UV100/P25). Processes*, 2024, 12(11):2481. DOI:10.3390/pr12112481
4. Srivastava A. et al. *Recent advances in one-dimensional TiO_2 nanostructures for photoenergy applications. RSC Advances*, 2025. DOI:10.1039/D4RA06254J
5. Khan M. et al. *Nanoengineered TiO_2 photoanodes for high-performance DSSCs. RSC Advances*, 2023. DOI:10.1039/D3RA02927A
6. Sibiński M. et al. *Morphology control of TiO_2 and TiO_2:ZnO blocking layers for improved DSSC performance. Scientific Reports*, 2024. DOI:10.1038/s41598-024-61512-6
7. Abdukarimov, A., Noor, I. M., Mamatkarimov, O. O., & Abdul Karim, M. A. (2020). Characteristics of dye-sensitized solar cells (DSSCs) using liquid and gel polymer electrolytes with tetrapropylammonium salt. Applied Solar Energy, 56(2), 87–93. DOI:10.3103/S0003701X20020113

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVASIYALAR VAZIRLIGI

BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

Buxoro davlat texnika universiteti nashri
“FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI”
Ilmiy-texnikaviy jurnal
2026 yil, 2-son. ISSN 1281-8193
Jurnal tahririyat kompyuterida sahifalandi.
Manzil: 200117, Buxoro sh., Q.Murtazoev ko‘chasi 15.
Tel: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz
http://journal.bstu.uz

БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Издател: Бухарский государственный технический университет
«РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»
Научно-технический журнал
2026 год, Выпуск 2. ISSN 1281-8193
Отредактирована на компютере редакции.
Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, 15.
Тел.: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz
http://journal.bstu.uz

BUKHARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY
Publisher: Bukhara State Technical University
DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Scientific and Technical Journal
2026, Issue 6, ISSN 1281-8193
Yedited on the yeditorial computer.
Address: 200117, Bukhara, K. Murtazaev Street, 15
Tel.: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz
http://journal.bstu.uz