

OPTIK SHAFFOF FOTOELEKTR MATERIALLARI (ITO,FTO,TIO VA BOSHQALAR) TAHLILI**Atajonov Muhiddin Odiljonovich***Muqobil energiya fakulteti dotsenti***Boboyev Abror Karim o'g'li***Muqobil energiya fakulteti 4 kurs talabasi*

ANOTATSIYA: Optik shaffof fotoelektr materiallari, ayniqsa shaffof o'tkazuvchi oksidlar (TCOs), zamonaviy optoelektronika, jumladan quyosh batareyalari, sensorlar va aqlli oynalar kabi qurilmalarning ajralmas qismidir. Ushbu materiallar yuqori optik shaffoflikni elektr o'tkazuvchanligi bilan uyg'unlashtirib, fotonlarning yutuvchi qatlamga erkin o'tishini ta'minlaydi, shu bilan birga hosil bo'lgan zaryad tashuvchilarni samarali yig'adi [1]. Ularning asosiy vazifasi quyosh nurini maksimal darajada o'tkazish va shu bilan birga minimal elektr qarshilikka ega bo'lishdir. TCO materiallarining xususiyatlari, masalan, ularning band oralig'i, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligi, ularning samaradorligini belgilaydi. Ushbu xususiyatlar materialning sintez usuli, qalinligi va doping darajasiga bog'liq bo'lib, ularni optimallashtirish orqali qurilma ish faoliyatini sezilarli darajada oshirish mumkin. Shaffof o'tkazuvchi materiallarga bo'lgan talab, energiya samaradorligi va barqarorlikka qaratilgan global tendensiyalar tufayli tobora ortib bormoqda [2].

KALIT SO'ZLAR: TCO, ITO, AZO, FTO, optik shaffoflik, list qarshiligi, Haacke FOM, UV-Vis, Hall.x

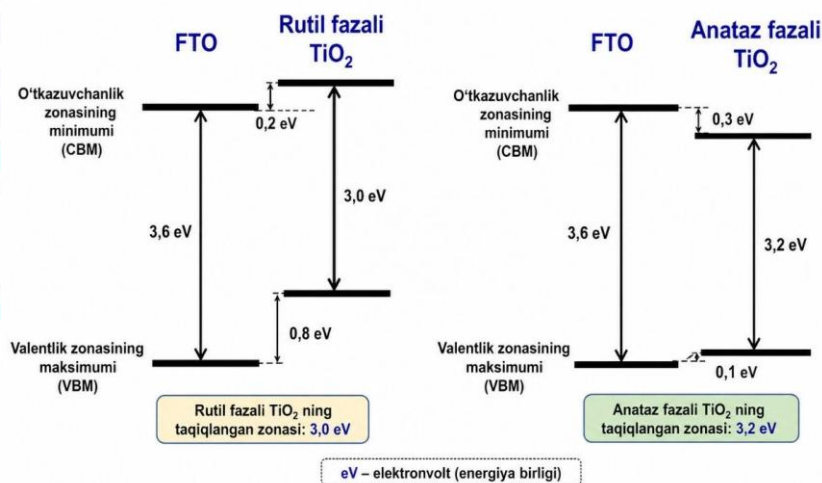
АННОТАЦИЯ: Оптически прозрачные фотоэлектрические материалы, особенно прозрачные проводящие оксиды (TCO), являются неотъемлемой частью современной оптоэлектроники, включая такие устройства, как солнечные батареи, сенсоры и умные стекла. Эти материалы сочетают в себе высокую оптическую прозрачность с электрической проводимостью, обеспечивая свободное прохождение фотонов к поглощающему слою и одновременно эффективно собирая генерируемые носители заряда [1]. Их основная функция — максимальное пропускание солнечного света при минимальном электрическом сопротивлении. Свойства материалов TCO, такие как ширина запрещенной зоны, концентрация и подвижность носителей заряда, определяют их эффективность. Эти характеристики зависят от метода синтеза, толщины и уровня легирования материала, и их оптимизация позволяет значительно повысить производительность устройств. Спрос на прозрачные проводящие материалы неуклонно растет в связи с глобальными тенденциями, ориентированными на энергоэффективность и устойчивое развитие

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: TCO, ITO, AZO, FTO, оптическая прозрачность, слоистое сопротивление, добротность Хаакке (Haacke FOM), УФ-видимая спектроскопия (UV-Vis), эффект Холла.

ABSTRACT: Optically transparent photovoltaic materials, particularly transparent conducting oxides (TCOs), are an integral part of modern optoelectronics, including devices such as solar cells, sensors, and smart windows. These materials combine high optical transparency with electrical conductivity, ensuring the free passage of photons to the absorber layer while efficiently collecting the generated charge carriers [1]. Their primary function is to maximize sunlight transmission while maintaining minimal electrical resistance. The properties of TCO materials, such as their band gap, carrier concentration, and mobility, determine their efficiency. These characteristics depend on the synthesis method, thickness, and doping level of the material, and their optimization can significantly enhance device performance. The demand for transparent conducting materials is steadily increasing due to global trends focused on energy efficiency and sustainability [2].

KEYWORDS: TCO, ITO, AZO, FTO, optical transparency, sheet resistance, Haacke FOM, UV-Vis, Hall.

KIRISH: Quyosh elementlarida yuqori optik shaffoflikka ega bo‘lgan, shu bilan birga yetarlicha elektr o‘tkazuvchan TCO (Transparent Conductive Oxide) qatlamlar muhimdir: ular yuqori spektral o‘tkazuvchanlik bilan yoritish oqimini absorberga yetkazadi va past yo‘qotishli old kontakt vazifasini bajaradi. Tanlash muammosi keng optik oynaviylik (400–1100 nm) va past list qarshilik R_s o‘rtasidagi kompromissga borib taqaladi



1-rasm. FTO va Titan 2 oksid materiallarining energiya sathlari taqqoslanishi

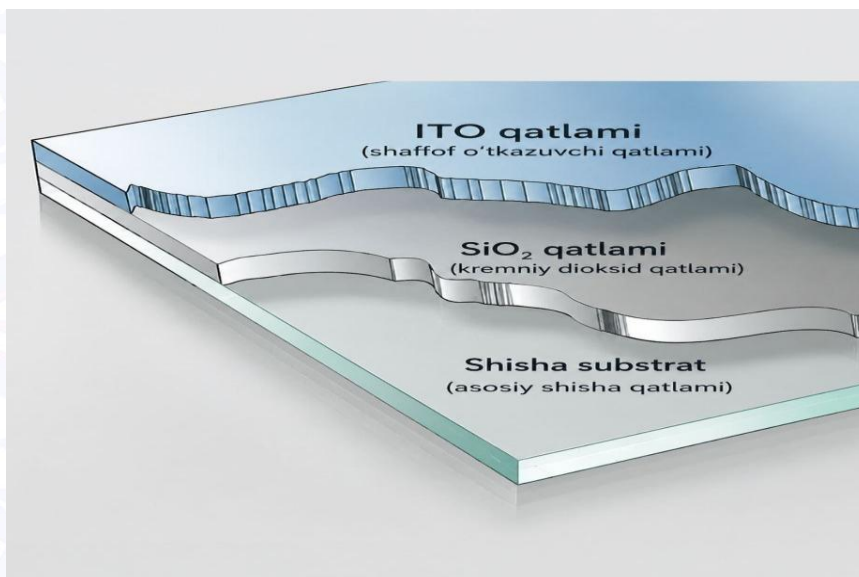
Indiy qalay oksidi (ITO) eng keng tarqalgan va samarali TCO materiallaridan biri hisoblanadi. U yuqori optik shaffoflik (ko‘rinadigan spektrda 80% dan ortiq) va a‘lo

elektr o'tkazuvchanlikni namoyish etadi, bu esa uni LCD displeylar, OLEDlar va yuqori samarali quyosh batareyalari uchun ideal tanlovga aylantiradi. ITO odatda magnetron purkash (sputtering), bug' fazali cho'ktirish (CVD) va boshqa usullar bilan tayyorlanadi [3].

$$\sigma = n \cdot e \cdot \mu$$

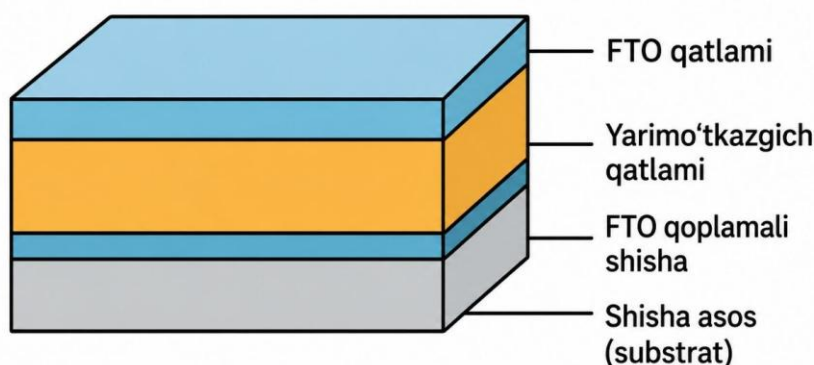
Bu yerda σ elektr o'tkazuvchanlik, n zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, e elementar zaryad, μ zaryad tashuvchilar harakatchanligi. Misol uchun, yuqori sifatli ITO plyonkalarida n qiymati 10^{20} sm^{-3} dan oshishi mumkin, bu esa yuqori o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi.

Odatda (og'irligi bo'yicha) 74% In, 8% Sn va 18% O₂ dan iborat kislorod bilan to'yingan shaklda uchraydigan indiy qalay oksidi optoelektronik material bo'lib, u quyma shaklda sarg'ish-kulrang va yupqa plyonka qatlamlarida qo'llanilganda rangsiz va shaffof bo'ladi.



2-rasm. ITO/SiO/Shisha qatlamlaridan tashkil topgan ko'p qatlamli optoelektron strukturaning sxematik tasviri

FTO bilan qoplangan shisha substratlar ajoyib issiqlik va kimyoviy qarshilikka ega, bu esa uni atmosfera sharoitida issiqlik va kimyoviy jihatdan barqaror qiladi. FTO shisha qoplamasi yuqori haroratli ishlov berishga chidamli. FTO shisha substratining maksimal ish harorati 650 gradus. FTO bilan qoplangan oynalarning o'lchami va varaq qarshiligiga qarab ko'p turlari mavjud. Asosiy mahsulotlar 1,1 mm, 1,6 mm, 2,2 mm, 2,3 mm, 3 mm va 3,2 mm qalinlikda mavjud bo'lib, sirt qarshiligi 7 ohm/kv. dan 100 ohm/kv. gacha. FTO plyonka qatlamining qalinligi odatda 50 nm dan 200 nm gacha bo'lgan kerakli sirt qarshiligiga bog'liq [4].



3-rasm. Qatlamli yarimo'tkazgich qurilma tuzilishi

Titan 2 oksidi (TiO_2) shaffof o'tkazuvchi materiallar qatoriga kirmasa-da, u fotoelektr tizimlarida, ayniqsa DSSCs va perovskit quyosh batareyalarida muhim elektron transport qatlami (ETL) sifatida ishlatiladi. TiO_2 yarimo'tkazgich bo'lib, uning band oralig'i (odatda 3.0-3.2 eV) ultrabinafsha nurlarini yutishga imkon beradi, shu bilan birga ko'rinadigan yorug'likka shaffofdir. Uning asosiy vazifasi yutuvchi qatlamda hosil bo'lgan elektronlarni samarali qabul qilish va ularni tashqi kontaktga o'tkazishdir. TiO_2 ning anatase va rutile kabi turli kristall fazalari mavjud bo'lib, anatase fazasi odatda DSSCs da yuqori elektron harakatchanligi tufayli afzal ko'riladi. TiO_2 ning nanostrukturalari, masalan, nanotubalar yoki nanopartikullar, elektronlarni yig'ish samaradorligini oshirish uchun keng sirt maydonini ta'minlaydi. Uning barqarorligi, arzonligi va toksik emasligi uni ekologik jihatdan qulay tanlovga aylantiradi [5].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mirziyoyev Sh.M. Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi. Toshkent: O'zbekiston, 2022. B. 120-135
2. Abdullayev A.A. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari: nazariya va amaliyot. Toshkent: Fan va texnologiya, 2023. B. 88-105
3. Karimov B.I. Fotovoltaik tizimlar va ularning samaradorligi. Samarqand: Samarqand davlat universiteti nashriyoti, 2021. B. 45-60
4. Ahmedov D.E. Optik materiallar fizikasi va texnologiyasi. Toshkent: Universitet, 2024. B. 110-125
5. Siddiqov U.R. Shaffof quyosh elementlari: yangi avlod texnologiyalari. Farg'ona: Farg'ona politexnika instituti nashriyoti, 2022. B. 70-85