

Sultanov No`manjon Akramovich Fargʻona davlat texnika universiteti, professor
Madraximov Muminjon Mo`ydinovich Fargʻona davlat texnika universiteti,
doktarant tel;93-640-80-15 elektron po`chta
madrahimovmuminjon43@gmail.com

SnO₂-p/n- SI YUPQA PLYONKALARNI GETEROSTRUKTURASI VA ELEKTR XOSSALARINI O`RGANISH

Anotatsiya. Ushbu maqolada SnO₂/n-Si yupqa plyonkali quyosh elementlarining elektr va fotoelektrik xossalari tadqiq qilindi. Vakuumli bugʻlanish texnologiyasi yordamida tayyorlangan namunalarda plyonka qalinligi va tavlanish haroratining oʻsish parametrlari oʻrganildi. Tahlillar shuni koʻrsatdiki, SnO₂ qatlamining qalinligi hamda issiqlik bilan ishlov berish jarayoni strukturaning elektr oʻtkazuvchanligi, tunnel jarayonlari va C–V xarakteristikalariga sezilarli taʼsir koʻrsatadi. Olingan natijalar yupqa plyonkali fotovoltaik qurilmalar samaradorligini oshirish uchun SnO₂ asosidagi shaffof oʻtkazuvchi qatlamlarni optimallashtirish muhimligini tasdiqlaydi

Kalit soʻzlar. SnO₂/Si strukturasi; yupqa plyonkali fotovoltaika; vakuumli bugʻlanish; shaffof oʻtkazuvchi oksid (TCO); tunnel jarayonlari; I–V xarakteristikasi; C–V xarakteristikasi; tavlanish harorati; plyonka qalinligi

Султанов Нуманжон Акрамович Ферганский государственный
технический университет, профессор **Мадрахимов Муминжон**
Муйдинович Ферганский государственный технический университет,
Докторант

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЁНОК SnO₂–P/N–SI

Аннотация. В данной статье исследованы электрические и фотоэлектрические свойства тонкоплёночных солнечных элементов на

основе структуры $\text{SnO}_2/\text{n-Si}$. На образцах, изготовленных методом вакуумного испарения, изучено влияние толщины плёнки и температуры отжига на параметры роста. Анализ показал, что толщина слоя SnO_2 и термическая обработка оказывают существенное влияние на электропроводность структуры, туннельные процессы и C–V характеристики. Полученные результаты подтверждают важность оптимизации прозрачных проводящих слоёв на основе SnO_2 для повышения эффективности тонкоплёночных фотовольтаических устройств.

Ключевые слова: структура SnO_2/Si ; тонкоплёночная фотовольтаика; вакуумное испарение; прозрачный проводящий оксид (TCO); туннельные процессы; I–V характеристики; C–V характеристики; температура отжига; толщина плёнки.

Sultanov Numanjon Akromovich Fergana State Technical University, Professor
Madrakhimov Muminjon Muydinovich Fergana State Technical University,
Doctoral Student

STUDY OF THE HETEROSTRUCTURE AND ELECTRICAL PROPERTIES OF $\text{SnO}_2\text{--P/N--SI}$ THIN FILMS

Abstract. This paper investigates the electrical and photoelectrical properties of $\text{SnO}_2/\text{n-Si}$ thin-film solar cells. Samples fabricated by vacuum evaporation were studied to evaluate the effects of film thickness and annealing temperature on growth parameters. The analysis revealed that the thickness of the SnO_2 layer and thermal treatment significantly influence the electrical conductivity of the structure, tunneling processes, and C–V characteristics. The obtained results confirm the importance of optimizing SnO_2 -based transparent conductive layers to enhance the performance of thin-film photovoltaic devices.

Keywords: SnO_2/Si structure; thin-film photovoltaics; vacuum evaporation; transparent conductive oxide (TCO); tunneling processes; I–V characteristics; C–V characteristics; annealing temperature; film thickness.

Kirish. Yupqa plyonkali fotovoltaik (TF-PV) quyosh elementlarini ishlab chiqarishda keng qo'llaniladigan yondashuvlardan biri ularni superstrat konfiguratsiyasida ishlab chiqarishdir, shunda yorug'lik shisha substrat orqali quyosh batareyasiga kiradi. Hujayrada ishlab chiqarilgan oqimni olish uchun elektr kontaktlari kerak. Quyosh energiyasini o'tkazish uchun yuqori kontaktning elektr o'tkazuvchanligi va shaffofligi afzalroqdir, shuning uchun shaffof o'tkazuvchi oksid (TCO) ishlatilgan.

TCO xususiyatlari PV quyosh elementlarining samaradorligida katta ahamiyatga ega. U nisbatan past qarshilikka ega bo'lishi kerak, odatda hosil bo'lgan oqimni samarali tashish uchun 10-15 $\text{Om}\cdot\text{cm}$ atrofida, faol Si absorber qatlamiga etib boradigan yorug'likni oshirish uchun yuqori optik o'tkazuvchanlik va mos morfologiyaga ega bo'lishi kerak.

Muqobil energiyaga bo'lgan qiziqish ortib borayotganligi sababli, fotovoltaiklar faol tadqiqot maydoniga aylandi. Bugungi tijorat quyosh elementlari asosan kristalli kremniy asosida ishlab chiqariladi. Biroq, quyosh batareyalarida samarali foydalanish uchun kremniyni 99,999% tozalikka tozalash kerak [1]. Silikon quyosh elementlari yuqori samaradorlikni keltirib chiqargan bo'lsada, yuqori qayta ishlash xarajatlari uni keng miqyosdagi talablar uchun yaroqsiz qiladi. Bundan tashqari, kremniy bilvosita tarmoqli bo'shliq materiali bo'lganligi sababli, quyosh nurini olish uchun kattaroq qalinlik kerak. Bu kamchiliklar tufayli kremniy bilan bog'liq bo'lgan P V sanoati nozik plyonka shaklida yangi yarimo'tkazgichlarning arzon samarali PV hujayralarini qidira boshladi. Yupqa plyonkali quyosh elementlari (TFSC) ning asosiy afzalligi shundaki, ular oxir-oqibat arzonroq bo'ladi, chunki:

1.Si dan taxminan yuz marta yupqa qatlamlar kerak.

2.Ular kabi arzon narxlardagi substratlarga yotqizilishi mumkin shisha, metall plyonkalar va plastmassa.

3. Ular bir qator arzon joylashtirish usullari bilan yotqizilishi mumkin.

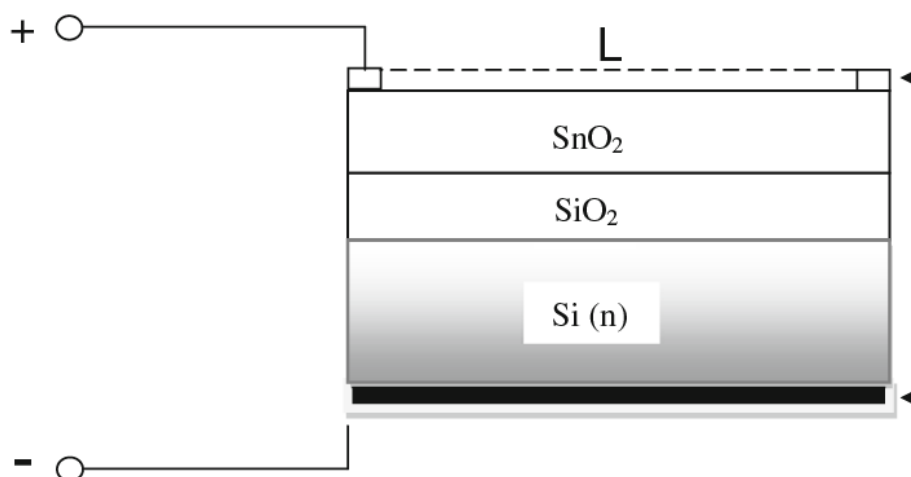
Ushbu maqolada biz vakuumli bug'lanish texnikasi (VUB) ta'sirini tizimli o'rganish orqali yuqori yorug'likni ushlab turish xususiyatlariga ega bo'lgan past nur singdirish uchun optimallashtirilgan SnO_2 -p/n-Si yupqa plyonkalarni ishlab chiqarishni maqsad qilganmiz. $\text{SnO}_2/\text{Si}(\text{n})$ yupqa plyonkali quyosh elementlarining TCO qatlaminin elektr xususiyatlariga va ichki kvant samaradorligiga plyonka qalinligi va tavlani sh harorati kabi o'sish parametrlarining ta'siri o'rganiladi. Ushbu parametrlar SnO_2 - p//n-Si yupqa plyonkasi quyosh elementi xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi .

Eksperimental tafsilotlar jarayonlar va SnO_2 -p/n-Si tuzilmasini ishlab chiqarish

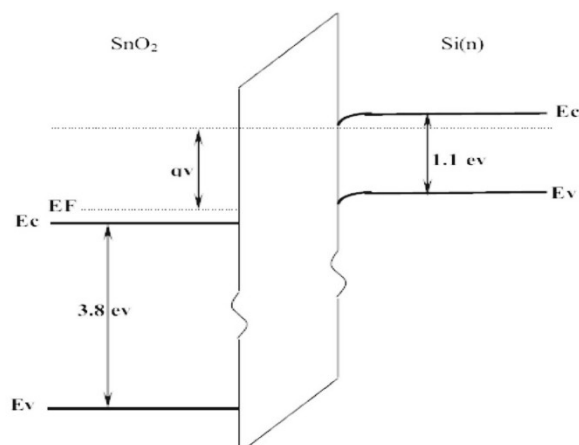
Namunalar VUB qurilmasi (VUB-4) yordamida vakuumli bug'lanish texnologiyasi bo'yicha tayyorlangan. Silikon n-tipli gofretlar p in teshigi shakllanishini kamaytirish uchun uch bosqichda qattiq tozalash o'tkaziladi. bu e rda I - chiqish oqimi, I_0 - to'yinganlik oqimi, A va B - harorat va kuchlanishga bog'liq bo'lmagan doimiylar, $A = 3,09 \text{ V}^{-1}$ va $B = 0,073 \text{ K}^{-1}$. Teskari oqim elektronlarning SnO_2 ning o'tkazuvchanlik zonasidan kremniydagi o'tkazuvchanlik zonasiga tunnel o'tishi tufayli hosil bo'ladi.

Ushbu maqolada biz vakuumli bug'lanish texnikasi (VUB) ta'sirini tizimli o'rganish orqali yuqori yorug'likni ushlab turish xususiyatlariga ega bo'lgan past nur singdirish uchun optimallashtirilgan SnO_2 -p/n-Si yupqa plyonkalarni ishlab chiqarishni maqsad qilganmiz. $\text{SnO}_2/\text{Si}(\text{n})$ yupqa plyonkali quyosh elementlarining TCO qatlaminin elektr xususiyatlariga va ichki kvant samaradorligiga plyonka qalinligi va tavlani sh harorati kabi o'sish parametrlarining ta'siri o'rganiladi. Ushbu parametrlar SnO_2 - p//n-Si yupqa plyonkasi quyosh elementi xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi .

Qalinligi 300 m km va q arshiligi 4 ,5 s m bo'lgan, {100} tekislikda yo'naltirilgan fosfor qo'shilgan Si gofretlari ishlatilgan. Termik ishlov berish natijasida Si yuzasida yupqa izolyator qatlami hosil bo'ldi. Alyuminiy yupqa plyonkalar tayyorlangan namunalar uchun orqa kontaktlar sifatida yotqizilgan. Gofretning qo'pol yuzasiga alyuminiy plyonka qo'yilgandan so'ng, namunalar vakuum ostida yarim soat davomida 350 °C haroratgacha tavlandi . Ushbu issiqlik bilan ishlov berish alyuminiy va gofret o'rtasida ohmik kontaktni olish uchun zarurdir [13]. Kerakli qalinlikdagi SnO₂ kremniy gofretga yotqizilgandan so'ng , gofret havosi so'rib olingan kameraga (2 s oat) 350 °C gacha bo'lgan haroratda tavlanish uchun joylashtiriladi. rasmda ishlab chiqarilgan hujayralarning sxematik diagrammasi ko'rsatilgan.



SnO₂-Si(n) strukturasiining elektr xossalari



ilikon o'tkazuvchanlik zonasidan SnO_2 o'tkazuvchanlik zonasiga elektron tunnellash rasmda ko'rsatilganidek, taqiqlangan hududida tuzoqlar ishtirokida sodir bo'ladi.

I-V bog'liqligi [14] bilan tavsiflanishi mumkin:

$$I = I_0 \exp(AV) \cdot \exp(BT) \quad (1)$$

bu erda I - chiqish oqimi, I_0 - to'yinganlik oqimi, A va B - harorat va kuchlanishdan bog'liq bo'lmagan doimiylar, $A = 30,9 \text{ V}^{-1}$ va $B = 0,073 \text{ K}^{-1}$.

Teskari oqim elektronlarning SnO_2 ning o'tkazuvchanlik zonasidan kremniydagi o'tkazuvchanlik zonasiga tunnel o'tishi tufayli hosil bo'ladi.

Riben va Feucht shuningdek, kuchlanish va harorat funktsiyasi sifatida teskari oqimning funktsional harakatini tasvirlash uchun Zenear tunnel modelini taklif qildilar. Ushbu modelda chiziqli to'siq va a sosan n-tipli materialda tunnel qilish taxminlari bilan teskari oqim quyidagi shaklda yozilgan

$$I = C(-V)\exp[\alpha(V_d - V)^{1/2}] \quad (2)$$

SnO_2 – Si(n) strukturasining elektr va fotoelektrik xarakteristikalari o'rganildi va namunalar keng tarmoqli yarimo'tkazgich shaffof metall rolini o'ynaydigan assimetrik doplangan to'siq tuzilmalarini ifodalaydi.

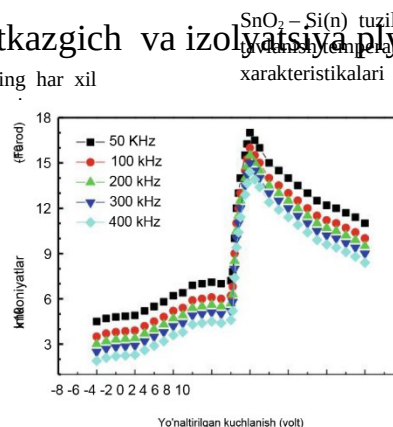
5000 Å qalinligi uchun SnO_2 – Si(n) strukturasining I-V xarakteristikasi 2-rasmda ko'rsatilgan. SnO_2 – Si(n) strukturasida uchun qorong'u oldinga I-V xarakteristikalari harorat oralig'ida (25-300°C) o'lchangan, SnO_2 qalinligi 5000 Å edi. Oldinga I-V xarakteristikalari nishabning harorat bilan mustaqilligi ularning o'ziga xosligidir. Oldinga oqimning bunday harakati tunnel jarayonlari uchun xarakterlidir. SnO_2 – Si(n) strukturasida uchun qorong'u oldinga IV xarakteristikalar harorat oralig'ida (25-300°C) o'lchandi, SnO_2 qalinligi 5000 Å edi.

Si(n) ning 10^{15} sm^{-3} doping darajasi to'siq orqali to'g'ridan- to'g'ri tunnel o'tkazish uchun juda kichik va kremniy o'tkazuvchanlik zonasidan SnO_2 o'tkazuvchanlik zonasiga elektron tunnel o'tishi kamayish hududidagi tuzoqlar

ishtirokida sodir bo'ladir rasmda turli haroratlarda SnO_2 -Si(n) s trukturasining teskari I V xarakteristikalari ko'rsatilgan .

Ko'rinib turibdiki, 0,65V dan kam kuchlanish uchun teskari oqim kuchlanishga proporsionaldir, lekin 0,65V dan yuqori kuchlanishda elektronlarning SnO_2 o'tkazuvchanlik zonasidan Si ning o'tkazuvchanlik zonasiga tunnel o'tishi tufayli oqimning keskin ko'tarilishi kuzatiladi. Teskari oqim 0,65 V gacha bo'lgan kichik bilvosita moyillik uchun ozchilik tashuvchilarni Si valent zonasidan SnO_2 o'tkazuvchanlik zonasiga tashish bilan aniqlanadi . Teskari kuchlanishning katta qiymatlari uchun y arimo'tkazgich va izolyatsiya plyonkasi xususiyatlari tufayli

2-rasm SnO_2 -Si(n) tuzilmalarining har xil tavlani sh temperaturasi dagi o' l' xarakteristikasi



50 KHz dan 400 KHz gacha chastota diapazonida SnO_2 / n-Si interfeysi uchun sig'im-kuchlanish (C-V) xususiyatlar

kuchlanish pasayadi.

rasmda interfaal to'siq turini aniqlash uchun SnO_2 /n - Si interfeysi uchun sig'im-kuchlanish (C-V) xarakteristikasining chastotaga bog'liqligi

ko'rsatilgan . To'siqdagi differensial sig'im o'lchovlari to'g'ridan-to'g'ri oqim (to'g'ridan-to'g'ri) kuchlanish ustiga qo'yilgan o'zgaruvchan kuchlanish yoshiga (AC) to'siqning javobini o'lchaydi. To'g'ridan-to'g'ri kuchlanish teskari yo'nalishga to'g'ri kelganda, differensial sig'im kamayish qatlamining o'zgaruvchan tok signaliga javobini ifodalaydi. O'lchovlar xona haroratida va keng chastota diapazonida (50 kHz-400kHz). Umuman o'lganda, C-V grafigi 2V da cho'qqiga oldinga siljish bilan sig'imning o'rtishi va keyin pasayishini ko'rsatadi. So'nggi yillarda C-V oldingi xarakteristikasidagi anomal cho'qqi interfeys holatlari va seriyalari bilan bog'liq edi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda $\text{SnO}_2/\text{n-Si}$ asosidagi yupqa plyonkali fotovoltaik tuzilmalar vakuumli bug'lanish usuli yordamida tayyorlanib, ularning elektr va fotoelektrik xossalari tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, SnO_2 qatlamining qalinligi hamda tavlaniş jarayoni strukturaning elektr o'tkazuvchanligiga, tunnellash jarayonlariga, shuningdek, I-V va C-V xarakteristikalariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Xususan, 0,65 V dan yuqori kuchlanishda elektronlarning SnO_2 o'tkazuvchanlik zonasidan kremniyning o'tkazuvchanlik zonasiga tunnel o'tishi natijasida teskari oqim keskin oshishi kuzatildi. Shuningdek, C-V o'lchovlari interfeys holatlarining sezilarli ta'sirini namoyon etdi. Bu natijalar SnO_2 asosidagi shaffof o'tkazuvchi oksid (TCO) qatlamlarini optimallashtirish orqali yupqa plyonkali fotovoltaik qurilmalar samaradorligini oshirish mumkinligini tasdiqlaydi. Kelgusida fotovoltaik samaradorlikni yanada yaxshilash uchun plyonka morfologiyasi, dopant konsentratsiyasi va kontakting muhandisligi bo'yicha qo'shimcha izlanishlar olib borish maqsadga muvofiqdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. С.И.Рембеза, Т.В.Свистова, Е.С.Рембеза, О.И.Борсякова. SnO₂ ning yuqqa qatlamlarining mikrotuzilishi va fizik xususiyatlari. "Fizika" yarim o'tkazgichlar texnikasi: 2001. T.35, son 7.
2. Н.А.Султанов, З.Мирзажонов, Ф.Т.Юсупов. - Кремний asosida ZnO geterojuftliklarini olish texnologiyasi va elektr xususiyatlari.
3. Стафеев В.И., Вакулин И.М. S-diodlar // Yarim o'tkazgichli qurilmalar va ularning qo'llanilishi to'plamida. 1974. Son 28. B. 23-56.
4. А.П.Рягузов, Р.Р. Немкаева, Н.Р. Гусейнев, Д.М.Матырбаева. Zamonaviy texnologiyalar fan va ta'limda. СТНО2017 to'plamida. О.В.Миловзорова tahriri ostida. (Ryazan. Ryazan davlat radiotexnika universiteti, 2017) b. 182.
5. П.В.Серегин. Porli kremniyning fotoluminestsent xususiyatlari va ularni o'zgartirish usullari. "Fizika" Yosh olim jurnali №10(45) oktyabr 2012.
6. Lavanya, Nehru & Fazio, Enzo & Bonavita, Anna & Leonardi, S.G. & Neri, Giovanni & Sekar, Chinnathambi. (2015). Sensors and Actuators B: Chemical. Sensors and Actuators B Chemical. 221. 10.1016/j.snb.2015.08.020.
7. Da Hora Machado, Antonio Eduardo & Batista, Paulo & Rodrigues de Souza, Danilo & Maximiano, Rodolfo & Neto, Newton. (2013). Journal of Materials Science Research. Journal of Materials Science Research. 2. 82.