

Zaynobidinov Sirojiddin Zaynobidinovich
Andijon davlat universiteti akademik, f.-m. f. doktori

Rasulova Marxabo Botirjon qizi

Andijon davlat universiteti f.-m.f.b PhD

Madaminova Zarnigor Shuhratbek qizi

Doniyorbekova Gulxayobonu Doniyorbek qizi

Numonjonova Gulhayo Ismoiljon qizi

Andijon davlat universiteti talabalari

e-mail: rasulovamarhabo@gmail.com. Tel: +998999289151

UDK: 621.315.592

ALYUMINIY BILAN LEGIRLANGAN ZnO YUPQA QATLAMLARINING VOLT AMPER XARAKTERISTIKASINI HARORATGA BOG'LIQLIGI

Annotatsiya: Mazkur ilmiy tadqiqot ishida quyosh elementlari uchun istiqbolli material bo'lgan Aluminiy bilan legirlangan rux oksidining (AZO) elektrofizik xossalari o'rganildi. Tadqiqotda sprej-piroliz usuli yordamida zol-gel texnologiyasi asosida turli Al konsentratsiyasiga ega bo'lgan AZO yupqa qatlamlari sintez qilindi. VAX (volt-ampere xarakteristikasi) o'lchovlari orqali ZnO va AZO qatlamlarining elektr xususiyatlariga harorat va kuchlanish ta'siri o'rganildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, Al legirlanishi ZnO ning elektr o'tkazuvchanligini oshiradi hamda yuqori kuchlanishlarda AZO qatlamlari yanada samarali tok tashuvchanlikka ega bo'ladi. Ushbu xususiyatlar AZO ni arzon va samarali shaffof elektrod materiali sifatida qayta tiklanadigan energiya tizimlarida qo'llash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: ZnO yupqa qatlamlar, sprej-piroliz usuli, shaffof o'tkazuvchan elektrod, legirlash

Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабидинович

Академик Андижанского государственного университета,

доктор физико математических наук

Расулова Мархабо Ботиржон кизи

Андижанский государственный университет, PhD по физико

математическим наукам

Мадаминава Зарнигор Шухратбек кизи

Дониёрбекова Гулхаёбону Дониёрбек кизи

Нумонжонова Гулхайо Исмоилжон кизи

Студентки Андижанского государственного университета

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ZNO, ЛЕГИРОВАННЫХ
АЛЮМИНИЕМ**

Аннотация: В настоящем научном исследовании изучены электрофизические свойства оксида цинка, легированного алюминием (AZO), как перспективного материала для солнечных элементов. В ходе исследования с использованием технологии золь-гель и метода распылительного пиролиза были синтезированы тонкие пленки AZO с различной концентрацией алюминия. С помощью измерений ВАХ (вольт-амперных характеристик) было изучено влияние температуры и напряжения на электрические свойства пленок ZnO и AZO. Результаты исследования показали, что легирование алюминием увеличивает электропроводность ZnO, а пленки AZO проявляют более эффективную токопереносимость при высоких напряжениях. Эти свойства делают AZO дешевым и эффективным материалом для прозрачных электродов в системах возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: Тонкие пленки ZnO, метод распылительного пиролиза, прозрачные проводящие электроды, легирование

Zaynobidinov Sirojiddin Zaynobidinovich

Academician of Andijan State University,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Rasulova Marxabo Botirjon qizi

Andijan State University, PhD in Physical and Mathematical Sciences

Madaminova Zarnigor Shuhratbek qizi

Doniyorbekova Gulxayobonu Doniyorbek qizi

Numonjonova Gulhayo Ismoiljon qizi

Students of Andijan State University

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF ALUMINUM-DOPED ZNO THIN FILMS

Abstract: This scientific study investigates the electrophysical properties of aluminum-doped zinc oxide (AZO) as a promising material for solar cells. AZO thin films with various aluminum concentrations were synthesized using the sol-gel method combined with spray pyrolysis. The current-voltage characteristics (I–V curves) were used to study the effects of temperature and voltage on the electrical properties of ZnO and AZO layers. The results show that aluminum doping enhances the electrical conductivity of ZnO, and AZO films exhibit more efficient charge transport at higher voltages. These properties make AZO a cost-effective and efficient transparent electrode material for renewable energy systems.

Keywords: ZnO thin films, spray pyrolysis method, transparent conducting electrode, doping

Kirish

Zamonaviy fan va texnologiya taraqqiyotining hozirgi bosqichi olimlar va mutaxassislar oldiga kishilik jamiyatining ortib borayotgan energiyaga bo'lgan ehtiyojlarini qondirish maqsadida qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish hissasini oshirish kabi dolzarb vazifani qo'yimoqda. Ushbu manbalar ichida quyosh energiyasi eng istiqbolli va ekologik toza energiya manbai sifatida alohida ahamiyat kasb etadi. Quyosh nurlaridan samarali foydalanish va ularni elektr energiyasiga aylantirish texnologiyalarini takomillashtirish maqsadida, an'anaviy kremniy asosidagi materiallardan tashqari, yangi turdagi materiallarga, xususan, metall oksidlarga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, metall oksidlar (MnO_x) asosida yaratilgan quyosh elementlari keng taqiqlangan sohaga ega ekanligi va quyosh nurlanishi spektrining katta qismini o'zlashtirish qobiliyati tufayli yuqori fotoelektrik samaradorlikni ta'minlashi mumkin. MnO_x materiallari odatda funktsional qatlam sifatida qo'llaniladi va ularni TiO_2 , SnO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , CuO kabi boshqa oksidlar bilan birgalikda ishlatish orqali shaffof o'tkazuvchan elektrodلarga ega yuqori samarali quyosh batareyalarini yaratish imkoniyati mavjud [1–3]. ZnO ushbu materiallar orasida o'zining noyob xossalari bilan ajralib turadi. U yuqori shaffoflik, yaxshi elektr o'tkazuvchanlik va fotostabillikka ega bo'lib, quyosh elementlarining yuqori samaradorlikka ega bo'lishini ta'minlashi mumkin. Quyosh elementlarida shaffof o'tkazuvchan elektrod quyosh nurlarini o'tkazib, shu bilan birga elektr tokini ham tashiy olishi kerak. An'anaviy shaffof o'tkazuvchan materiallar orasida eng ko'p ishlatiladigani — ITO (Indium Tin Oxide) hisoblanadi [4]. Biroq ITO ning yuqori narxi, mexanik nozikligi va kamyob metall — indiyga bog'liqligi sababli muqobil materiallarga ehtiyoj ortib bormoqda. Shu nuqtai nazardan, ZnO (zink oksidi) asosidagi shaffof o'tkazuvchan materiallar istiqbolli variant sifatida tavsiya etilmoqda [5–6]. ZnO asosidagi shaffof elektrodلarga misollar: AZO (Aluminiy bilan legirlangan ZnO), GZO (Galliy bilan legirlangan ZnO), IZO

(Indiy bilan legirlangan ZnO). Ushbu dopantlar ZnO ning elektr xossalarini yaxshilaydi, lekin shaffoflik darajasini pasaytirmaydi. Ushbu tadqiqot ishida biz Aluminiy bilan legirlangan ZnO elektrofizik va optik xususiyatlarini tahlil qildik.

Adabiyotlar tahlili

ZnO tabiiy ravishda keng taqiqlangan energiya sohasiga ega (3.3 eV) bo'lgan yarimo'tkazgich bo'lib, yaxshi optik shaffoflik, kimyoviy barqarorlik va fotostabillik kabi afzalliklarga ega. Ammo uning tabiiy o'tkazuvchanligi past bo'lganligi uchun dopantlar bilan legirlash orqali elektr xossalarini yaxshilash zarur [7]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, ZnO ga Al, Ga, In kabi elementlarni qo'shish orqali uning elektr o'tkazuvchanligini sezilarli darajada oshirish mumkin [8]. Ayniqsa, AZO materiali yuqori shaffoflikni saqlab qolgan holda, yuqori o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlariga ega bo'ladi [9]. AZO yupqa qatlamlarini tayyorlash uchun turli usullar mavjud: sol-gel, magnetron sepilishi, kimyoviy bug' fazasi usuli (CVD), hamda sprej-piroliz kabi past haroratli va arzon texnologiyalar [10]. Sprej-piroliz texnologiyasi o'zining soddaligi, iqtisodiyliigi va katta maydonli substratlar uchun mosligi bilan ajralib turadi. Ilgari o'tkazilgan tadqiqotlarda, 1–4 at.% oralig'idagi Al dopant konsentratsiyasi AZO ning optimal elektr xossalarini ta'minlashi aniqlangan [11]. Ba'zi tadqiqotlar [12] shuni ko'rsatadiki, yuqori dopant konsentratsiyasi (>4 at.%) materialning kristall tuzilmasiga salbiy ta'sir ko'rsatib, shaffoflik va elektr xossalarining yomonlashuviga olib keladi. Shu sababli dopant konsentratsiyasi muvozanatli bo'lishi kerak. Shuningdek, AZO ning elektr xossalari haroratga ham sezgir bo'lib, yuqori haroratda materialdagi donalararo chegaralar va nuqsonlar tok tashuvchanligiga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Bu holat VAX (volt-ampere xarakteristikasi) lar orqali aniq baholanadi [13].

Ushbu tahlillar asosida olib borilgan mazkur tadqiqotda 2–6 at.% oralig'ida Al qo'shilgan ZnO (AZO) yupqa qatlamlari sintez qilinib, ularning elektr o'tkazuvchanligi, harorat va kuchlanish ta'siridagi VAXlari chuqur tahlil qilindi.

Tadqiqot natijalari mavjud adabiyotlarda qayd etilgan ilmiy natijalarni tasdiqlaydi hamda o'ziga xos yangiliklar bilan boyitadi.

Tadqiqot metodologiyasi

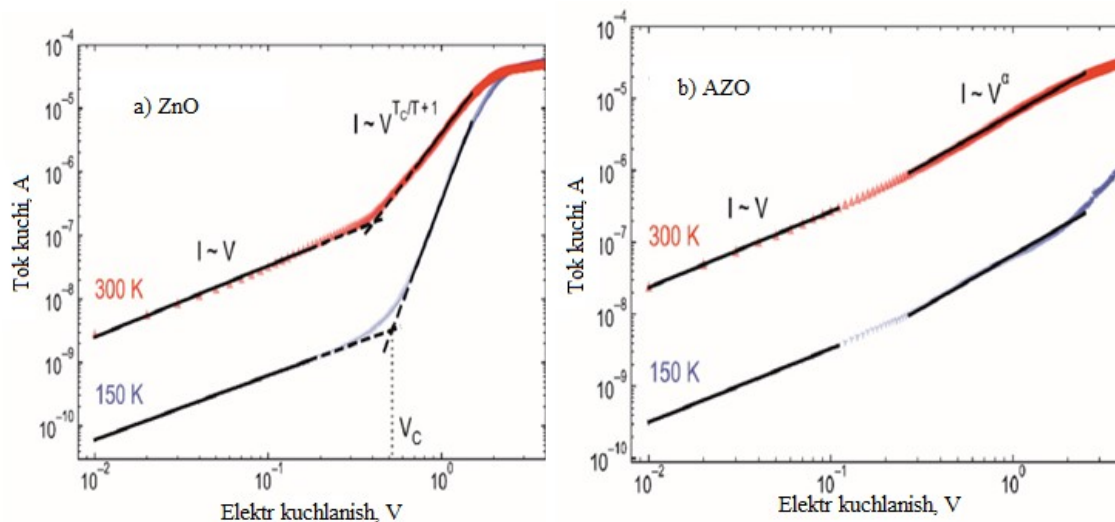
Tadqiqot ishida zol gel texnologiyasi asosida sprej piroliz usuli qo'llanildi. ZnO va kirishma atomlari kiritilgan rux oksidining sintezi mos metall tuzlarning eritmalarida amalga oshirildi. Rux oksidi yupqa qatlamini sintez qilish uchun prekursor sifatida rux atsetatidan $[Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O]$ dan foydalanildi, eritmadagi metall tuzlari miqdori 0.01 M konsentratsiyaga mos keldi. Erituvchi sifatida 100 ml hajmli izopropil spirtidan foydalanildi. Gidrolizdan saqlanish uchun unga 15 ml dietilamin tomchilab 85 s davomida qo'shildi. Keyin eritma 30 minut davomida aralashtirildi. Aralashtirish xona haroratida IKA RH basis 2 magnitli aralashtirgich bilan amalga oshirildi. Xuddi shu tarzda AZO namunalarini olish uchun rux asetatga alyuminiy asetat gidrati $[(CH_3CO_2)AlOH \cdot H_2O]$ qo'shildi. Turli xil Al konsentratsiyasiga ega bo'lgan AZO yupqa plyonkalarni tayyorlash uchun prekursor eritmasiga asosiy alyuminiy asetat gidratini qo'shib, 2 at.%, 4 at.% va 6 at.% li konsentratsiyaga ega bo'lgan eritmalar tayyorlandi. Tayyorlangan eritmalardan shaffof va bir xil eritma olish uchun 80° C da 2 soat davomida aralashtirildi.

Muhokama va natijalar

Elektr xususiyatlari optoelektronik qurilmalarda asosiy rol o'ynaydi va bizga ma'lumki, elektr xarakteristikalarini kirishma atomlar tarkibiga kuchli ta'sir qiladi. ZnO xona haroratidagi volt-amper xarakteristikasi (VAX) ni tekshirish uchun standart qurilmalar majmuidan ya'ni tok manbai sifatida DC Power Suply HY3005 qurilmasidan hamda voltmetr va ampermetr meyorida ishlovchi MASTECH M3900 raqamli multimetrlaridan foydalanildi.

Namunaning VAXsini tekshirish uchun 200°C haroratda termik ishlov berish usuli bilan namunaning yuqori hamda pastki qismiga toza kumushdan omik kontaktlar olindi.

ZnO yupqa qatlamlarining VAX lari 1.a-rasmdagi logarifmik diagrammasida ko'rsatilgan. Ikkala holatda ham ikkita chiziqli mintaqani aniq ajratishimiz mumkin. Past kuchlanish uchun VAX omik tashish jarayoni bilan yaxshi tavsiflangan, yuqori kuchlanishlar uchun esa sof ZnO yupqa qatlamlarining o'rtasida sezilarli farq aniqlangan.



1-rasm. Turli haroratlarda o'lchangan a) ZnO va b) AZO yupqa qatlamlarining VAXi.

Yuqori kuchlanishlarda ($V > V_c$) ZnO uchun volt-amper xarakteristikalari fazaviy zaryadni tashish jarayonlari bilan cheklangan tok oqimi orqali ifodalangan(1.a -rasm). ZnO uchun volt-amper xarakteristikalarining harorat ta'sirida o'zgarishi aniqroq kuzatildi. Kritik nuqtasi (kritik kuchlanish, V_c) aniq belgilangan va haroratning pasayishi bilan yuqori kuchlanishlarga o'tkazilgan. Past kuchlanishlarda ZnO qatlamlarining VAX si omik rejimga amal qilgan.

AZO yupqa qatlamlarining VAX lari 1.b-rasmdagi logarifmik diagrammasida ko'rsatilgan. Past kuchlanishlarda VAX omik tashish jarayoni bilan yaxshi ifodalangan, yuqori kuchlanishlarda esa ZnO va AZO yupqa qatlamlarining o'rtasida sezilarli farq aniqlangan.

AZO holatida $>0,3$ V kuchlanish uchun VAX i $I \sim V^\alpha$ munosabati bilan ifodalangan(1.b-rasm). AZO uchun volt-amper xarakteristikalarining harorat ta'sirida o'zgarishi ikkita chiziqli sohalar o'rtasida keskin o'tish aniqlanmadi. Pastroq kuchlanishlar uchun sof ZnO va AZO qatlamlarining VAX si omik

rejimga amal qilgan, biroq AZO esa yuqori kuchlanishlarda tok tashuvchanlik xususiyatlari o'zgargan. Bundan tashqari, AZO qatlamlarining elektr o'tkazuvchanligini oshiradi. Chunki Al ZnO ga kiritilganda donor vazifasini bajaradi ya'ni, Al uchta valentlik elektronga ega va rux atomi esa ikkita valentlik elektroniga ega bo'lganligi uchun Zn bilan almashganda, u o'tkazuvchanlik zonasiga qo'shimcha elektron beradi. Bu materialdagi erkin elektronlar konsentratsiyasini oshiradi, uning elektr o'tkazuvchanligini oshiradi.

Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, Aluminiy bilan legirlangan ZnO (AZO) yupqa qatlamlari yuqori elektr o'tkazuvchanlik, yaxshi shaffoflik va haroratga nisbatan barqaror volt-amper xarakteristikalariga ega. Al qo'shilishi ZnO strukturasiga donor elektronlar kiritib, erkin elektronlar sonini oshiradi va materialning elektr o'tkazuvchanligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Harorat va kuchlanishga nisbatan VAXdagi farqlar esa AZO ning quyosh elementlari va boshqa optoelektron qurilmalarda yuqori samaradorlikka ega bo'lgan material sifatida ishlatilish imkoniyatlarini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari ZnO asosidagi shaffof o'tkazuvchan elektrodarga bo'lgan talabni qondirishda AZO ni istiqbolli muqobil sifatida taklif etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Green, M.A. et al. "Solar cell efficiency tables (Version 57)", *Progress in Photovoltaics*, 2021.
2. Chopra, K.L. et al. "Thin-film solar cells: An overview", *Progress in Photovoltaics*, 2004.
3. Razykov, T. et al. "Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects", *Solar Energy*, 2011.
4. Granqvist, C.G. "Transparent conductors as solar energy materials", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2007.
5. Minami, T. "Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes", *Semiconductor Science and Technology*, 2005.
6. Ellmer, K. "Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes", *Nature Photonics*, 2012.
7. Özgür, Ü. et al. "A comprehensive review of ZnO materials and devices", *Journal of Applied Physics*, 2005.

8. Kim, H. et al. "Electrical, optical, and structural properties of AZO thin films", *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 2000.
9. Look, D.C. "Recent advances in ZnO materials and devices", *Materials Science and Engineering B*, 2001.
10. Vayssieres, L. "Growth of arrayed nanorods and nanowires of ZnO from aqueous solutions", *Advanced Materials*, 2003.
11. Tiwari, B. et al. "Spray Pyrolyzed AZO Films for Transparent Electrode Applications", *Solar Energy Materials*, 2019.
12. Rajalakshmi, R. et al. "Optimization of Al doped ZnO films for photovoltaic applications", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2013.
13. Lee, S.H. et al. "Temperature-dependent electrical behavior of AZO thin films", *Applied Surface Science*, 2011.