

“ILMIY TAFAKKUR VA ZAMONAVIY TADQIQOTLAR: MUAMMOLAR, YECHIMLAR VA ISTIQBOLLAR” MAVZUSIDAGI RESPUBLIKA ILMIY KONFERENSIYASI
Qabul qilindi: 30-sentabr 2026-yil • Ma’qullandi: 6-oktabr 2026-yil • Nashr qilindi: 13-oktabr 2026-yil

ZnO YUPQA QATLAMLARIDAGI STRUKTURAVIY NUQSONLARNING ELEKTR O‘TKAZUVCHANLIKKA TA’SIR QONUNIYATLARI

Sobirova Tursunoy Abdipatto qizi

Andijon davlat texnika instituti, “Intellektual boshqaruv va robototexnika” kafedrasi assistenti

Email: sobirovatursunoy319@gmail.com

Annotatsiya. Rux oksidi (ZnO) yupqa qatlamlarida yuzaga keladigan strukturaviy nuqsonlarning elektr o‘tkazuvchanlikka ta’sir mexanizmlari, ZnO ning kristall tuzilishi, nuqsonlarning energetik holatlari, zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatchanligi o‘rtasidagi bog‘liqlik mavjud. Bunda kislorod va rux vakansiyalari, oraliq tugun atomlari, donalar chegaralari hamda kristall panjaradagi deformatsiyalarning elektr xususiyatlarga ehtimoliy ta’siri ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, termik ishlov haroratining strukturaviy tartiblanish, nuqsonlar holati va elektr qarshilikka ta’sirini baholash uchun nazariy asoslar keltiriladi. Sol-gel va spin-coating usullarida olingan ZnO yupqa qatlamlarini rentgen difraksiyasi hamda elektr o‘lchovlari yordamida kompleks tadqiq etish yondashuvi taklif qilinadi. Asosiy maqsad strukturaviy parametrlar va elektr o‘tkazuvchanlik orasidagi bog‘liqlikni tushuntiruvchi fizik mexanizmlarni tizimlashtirish hamda keyingi tajribaviy tadqiqotlar uchun metodik asos yaratishdan iborat.

Kalit so‘zlar: ZnO, yupqa qatlam, strukturaviy nuqsonlar, elektr o‘tkazuvchanlik, kislorod vakansiyasi, rux vakansiyasi, donalar chegarasi, kristallit o‘lchami, termik ishlov, sol-gel, spin-coating.

Kirish

Zamonaviy yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronikaning muhim vazifalaridan biri elektr hamda optik xususiyatlarini boshqarish mumkin bo‘lgan funksional materiallarni yaratishdir. Shu nuqtayi nazardan, rux oksidi - ZnO yuqori amaliy ahamiyatga ega bo‘lgan

metalloksid yarimo‘tkazgichlardan biri hisoblanadi. U to‘g‘ridan-to‘g‘ri taqiqlangan zona kengligi taxminan 3,37 eV va eksiton bog‘lanish energiyasi taxminan 60 meV bo‘lgan materialdir. Ushbu xususiyatlar ZnO ni ultrabinafsha fotodetektorlar, gaz sensorlari, shaffof elektrodlar, optoelektron qurilmalar va quyosh energetikasi elementlarida qo‘llash uchun istiqbolli qiladi [1–3].

ZnO yupqa qatlamlarining elektr xususiyatlari faqat kimyoviy tarkib bilan emas, balki kristall panjaraning mukammalligi, nuqsonlarning turi va konsentratsiyasi, donalar chegaralarining holati hamda qatlamni olish va termik ishlov berish sharoitlari bilan ham belgilanadi. Bir xil kimyoviy tarkibga ega bo‘lgan qatlamlarda tayyorlash usuli, tavlash harorati va atmosfera sharoitlarining o‘zgarishi elektr qarshilikning sezilarli farqlanishiga olib kelishi mumkin [2, 4, 5].

Kristall panjaradagi nuqsonlar elektronlarning energetik holatlariga va harakatiga turlicha ta’sir ko‘rsatadi. Ayrim nuqsonlar zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini o‘zgartirishi mumkin, boshqalari esa elektronlarning sochilishini kuchaytirib, ularning harakatchanligini pasaytiradi. Shu sababli strukturaviy nuqsonlar ko‘payganda elektr o‘tkazuvchanlik doimo bir xil yo‘nalishda o‘zgaradi, deb bo‘lmaydi. Natija nuqsonning turi, zaryad holati, energetik chuqurligi va kristall tuzilishdagi o‘rniga bog‘liq. ZnO yupqa qatlamlarining elektr o‘tkazuvchanligini tushuntirishda faqat bitta nuqson turiga tayanish yetarli emas. Strukturaviy va elektrofizik parametrlarni o‘zaro bog‘liq holda o‘rganish zarur.

Asosiy qism

ZnO yupqa qatlamlaridagi strukturaviy nuqsonlarning elektr o‘tkazuvchanlikka ta’sir mexanizmlarini tahlil qilish, kristall tuzilish parametrlari va elektr tashish jarayonlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash uchun nazariy hamda tajribaviy yondashuvni asoslash zarur.

Rux oksidi odatda olti burchakli Vursit kristall tuzilishida kristallanadi. Ushbu tuzilishda rux va kislorod atomlari o‘zaro bog‘langan kristall panjarani hosil qiladi. Ideal kristall panjarada atomlar muayyan tartibda joylashadi, yupqa qatlamlarda esa o‘sish jarayoni, termik ishlov, kimyoviy tarkib va substrat bilan o‘zaro ta’sir natijasida turli nuqsonlar paydo bo‘lishi mumkin. Nuqsonlarning barchasi bir xil ta’sir ko‘rsatmaydi.

Ayrimlari erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini oshirishi, boshqalari esa ularni kompensatsiyalashi yoki harakatchanlikni kamaytirishi mumkin. Shu bois nuqsonlar va elektr o‘tkazuvchanlik orasidagi bog‘liqlikni kompleks tahlil qilish talab etiladi.

Yarimo‘tkazgich materialning elektr o‘tkazuvchanligi erkin elektronlar va kovaklarning konsentratsiyasi hamda harakatchanligi bilan belgilanadi. Umumiy holda elektr o‘tkazuvchanlik quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

Bu yerda:

σ - elektr o‘tkazuvchanlik, S/m;

q - elementar elektr zaryadi;

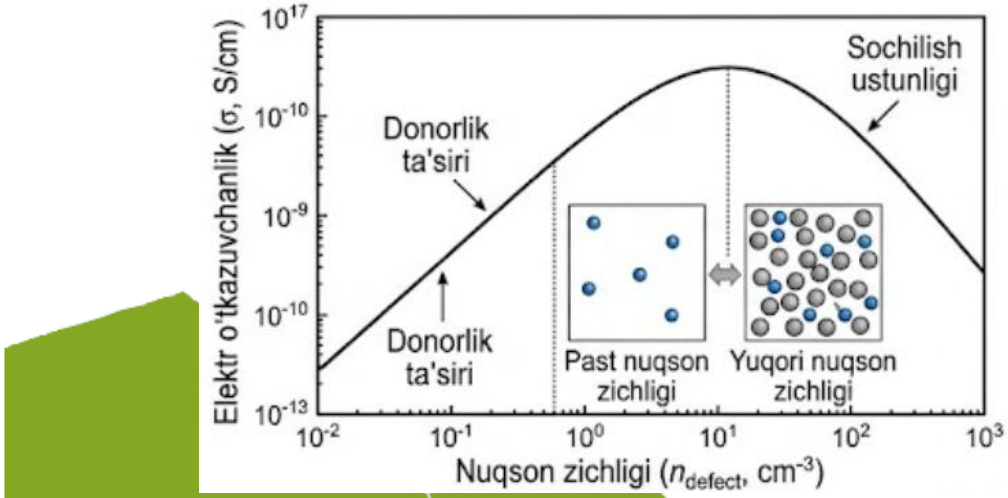
n va p - elektronlar hamda kovaklarning konsentratsiyasi;

μ_n va μ_p — elektronlar hamda kovaklarning harakatchanligi.

Demak, elektr o‘tkazuvchanlik ortsa, solishtirma qarshilik kamayadi. Ammo strukturaviy nuqsonlarning ko‘payishi o‘tkazuvchanlikni albatta oshiradi degan xulosa chiqarib bo‘lmaydi: buning uchun nuqsonlarning zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligiga ta’siri birgalikda hisobga olinishi kerak.

Kristall panjaradagi nuqsonlar elektronlarning energetik holatlarini o‘zgartirishi, ularni tutib qolishi yoki kristall ichida harakatlanishiga to‘sqinlik qilishi mumkin. Shu bilan birga, ayrim nuqsonlar donor yoki akseptor sifatida namoyon bo‘lib, erkin tashuvchilar konsentratsiyasiga ta’sir qiladi. Nuqsonlarning muvozanatdagi konsentratsiyasi umumiy holda hosil bo‘lish erkin energiyasiga bog‘liq. Elektronlarning harakatchanligi esa kristall panjaradagi tebranishlar, nuqsonlar, ionlashgan markazlar va donalar chegaralarida sochilish jarayonlariga bog‘liq. Yarimo‘tkazgichlarda elektr o‘tkazuvchanlikning haroratga bog‘liqligi zaryad tashuvchilarning faollashuvi, nuqsonlar energetik sathlaridan tashuvchilarning ajralib chiqishi va sochilish jarayonlari bilan belgilanadi. ZnO yupqa qatlamlarida elektr tashish jarayonini tahlil qilishda nuqsonlar konsentratsiyasi bilan bir qatorda ularning fazoviy taqsimlanishi ham muhimdir. Nuqsonlar kristallit ichida bir tekis taqsimlangan bo‘lishi yoki asosan sirt va donalar chegaralarida to‘planishi mumkin. Kristallit ichidagi nuqsonlar elektronlarning sochilishiga va tashuvchilar konsentratsiyasiga ta’sir ko‘rsatishi

mumkin. Donalar chegaralaridagi nuqsonlar esa elektronlarni tutib qoluvchi sathlar hosil qilib, potensial to‘siqlar paydo bo‘lishiga olib kelishi mumkin (1-rasm). Natijada kristallitlar orasidagi zaryad tashish jarayoni cheklanadi.



1-rasm. nuqsonlarning elektr o‘tkazuvchanlikka ta’siri

ZnO yupqa qatlamlarining elektr xususiyatlari bilan mikrostrukturasi o‘rtasidagi bog‘liqlik ilmiy adabiyotlarda ham ko‘rib chiqilgan. Masalan, N. Shakti sol-gel spin-coating usulida olingan ZnO qatlamlarining termik ishlov harorati o‘zgarganda strukturaviy va impedans xususiyatlari qanday o‘zgarishini tadqiq qilgan [4]. Bundan kelib chiqadiki, elektr qarshilikni faqat kristallit o‘lchami yoki nuqsonlar miqdorining bitta ko‘rsatkichi bilan izohlash yetarli emas. Donalar chegaralari, zaryad tashuvchilarning harakatchanligi va qatlamning kimyoviy holati ham hisobga olinishi zarur.

Sol-gel usulida ZnO yupqa qatlamini olish jarayoni odatda eritmani tayyorlash, substrat yuzasiga qoplash va termik ishlov berish bosqichlarini o‘z ichiga oladi. Termik ishlov erituvchi va organik qoldiqlarni chiqarish, kristallanishni rivojlantirish hamda mikrostrukturani o‘zgartirishga xizmat qilishi mumkin [2]. Yadav, Pandey va Jit tomonidan olib borilgan tadqiqotda sol-gel spin-coating usulida tayyorlangan ZnO yupqa qatlamlarining strukturaviy, optik va elektr xususiyatlari 450–650 °C harorat oralig‘ida o‘rganilgan [5]. Ushbu ish termik ishlov haroratini o‘zgartirish orqali qatlamlarning xususiyatlarini kompleks tekshirish mumkinligini ko‘rsatadi. Kristallit o‘lchamining elektr o‘tkazuvchanlikka ta’siri ko‘pincha donalar chegaralaridagi elektron sochilishi bilan bog‘liq. Agar boshqa omillar o‘zgarmagan holda kristallit o‘lchami oshsa, donalar chegaralarining umumiy zichligi kamayishi va elektronlarning harakatchanligi ortishi

mumkin. Biroq ZnO yupqa qatlamlarida kristallit o‘lchami oshishi bilan elektr qarshilikning kamayishi har doim ham kuzatilavermaydi. Sababi, termik ishlov bir vaqtning o‘zida nuqsonlar konsentratsiyasini, kimyoviy tarkibni va tashuvchilar konsentratsiyasini ham o‘zgartirishi mumkin. Shuning uchun XRD orqali hisoblangan kristallit o‘lchamini elektr o‘tkazuvchanlik bilan taqqoslashda kristallit o‘lchami, mikrodeformatsiya, elektr o‘tkazuvchanlik, solishtirma elektr qarshilik, konsentratsiya va harakatchanlik parametrlari birgalikda tahlil qilinishi lozim. Aynan shunday kompleks yondashuv strukturaviy o‘zgarishlar bilan elektr xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni ishonchliroq baholash imkonini beradi [6].

ZnO yupqa qatlamlari va metalloksid yarimo‘tkazgichlar bo‘yicha O‘zbekiston ilmiy maktablarida ham tadqiqotlar olib borilmoqda. Jumladan, S.Z. Zaynabidinov, A.Y. Boboev, M.B. Rasulova va N.Y. Yunusaliyev tomonidan n-ZnO/p-NiO geterotuzilmasining rentgen difraksion, optik va elektrofizik xususiyatlari o‘rganilgan. Ushbu ish ZnO asosidagi yupqa qatlamlarning strukturaviy va elektr xususiyatlarini kompleks tahlil qilishga misol bo‘la oladi [7]. S.Zaynobidinov, M.Rasulova, Sh.Ermatov va Sh.Shaxobid-dinovaning 2024-yildagi ishida sol-gel usulida ZnO asosidagi yupqa qatlamlar va nanostrukturalarni olish, ularning tuzilishi hamda funksional xususiyatlarini o‘rganish masalalari yoritilgan [8]. S.Zaynabidinov va hammualliflarning n-ZnO/p-Si geterotuzil-malarining fotoelektrik xususiyatlariga bag‘ishlangan tadqiqoti ham ZnO asosidagi materiallarning elektr va fotoelektrik parametrlarini o‘rganishda mahalliy ilmiy natijalarning ahamiyatini ko‘rsatadi [9].

Xulosa

ZnO yupqa qatlamlarining elektr o‘tkazuvchanligi kristall panjaradagi strukturaviy nuqsonlar, donalar chegaralari, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi va harakatchanligi bilan belgilanadigan murakkab fizik jarayondir. Strukturaviy nuqsonlar elektr o‘tkazuvchanlikni turli mexanizmlar orqali o‘zgartiradi. Ayrim nuqsonlar zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga ta’sir qilsa, boshqalari elektronlarning sochilishi va harakatchanligini belgilaydi. Kislorod vakansiyalarining mavjudligi o‘z-o‘zidan yuqori elektr o‘tkazuvchanlikni kafolatlamaydi. Nuqsonlarning energetik holati, zaryad holati va

boshqa nuqsonlar bilan o‘zaro ta’siri hisobga olinishi zarur. Termik ishlov harorati ZnO qatlamlarining mikrostrukturasi va elektr xususiyatlarini boshqaruvchi muhim texnologik omildir. XRD va elektr o‘lchovlarini birgalikda tahlil qilish muhim. Kristallit o‘lchami va mikrodeformatsiya kabi strukturaviy parametrlarni elektr qarshilik, solishtirma qarshilik va o‘tkazuvchanlik bilan taqqoslash sababiy bog‘liqlikni tekshirishga yordam beradi. Umuman olganda, ZnO yupqa qatlamlarining strukturaviy nuqsonlari va elektr o‘tkazuvchanligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni ishonchli aniqlash uchun strukturaviy tahlil, elektr o‘lchovlari va nuqsonlarning fizik tabiatini tushuntiruvchi ma’lumotlarni uyg‘unlashtirish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Janotti A., Van de Walle C. G. Native point defects in ZnO. Physical Review B, 2007, 76, 165202. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.76.165202

2. Znaidi L. Sol–gel-deposited ZnO thin films: A review. Materials Science and Engineering: B, 2010, 174(1–3), 18–30. https://doi.org/10.1016/j.mseb. 2010.07.001

3. Toma F. T. Z., Rahman M. S., Maria K. H. A review of recent advances in ZnO nanostructured thin films by various deposition techniques. Discover Materials, 2025, 5, 60. https://doi.org/10.1007/s43939-025-00201-1

4. Shakti N., Mandal T., Prakash A., Purohit G. Annealing temperature tuned structural and impedance properties of ZnO thin films. Surfaces and Interfaces, 2017, 9, 228–232. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.10.004

5. Yadav A. B., Pandey A., Jit S. Effects of Annealing Temperature on the Structural, Optical, and Electrical Properties of ZnO Thin Films Grown on n-Si〈100〉 Substrates by the Sol–Gel Spin Coating Method. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 2014, 27(4), 682–688. https://doi.org/10.1007/s40195-014-0097-4

6. Defect engineering of ZnO: Review on oxygen and zinc vacancies. Journal of the European Ceramic Society, 2021, 41(10), 4977–4996. https://doi. org/10.1016/ j.jeurceramsoc.2021.03.031

7. Zainabidinov S. Z., Boboev A. Y., Rasulova M. B., Yunusaliyev N. Y. X-ray diffraction analysis, optical characteristics and electro-physical properties of the n-ZnO/p-

NiO structure grown by the spray pyrolysis method. New Materials, Compounds and Applications, 2024, 8(3), 411–421. https://doi.org/10.62476 /nmca83411

8. Zaynobidinov S., Rasulova M., Ermatov Sh., Shaxobiddinova Sh. Study of the properties of thin films obtained by the sol–gel method. Eurasian Journal of Medical and Natural Sciences, 2024, 4(5), Part 2

9. Zainabidinov S.Z., MansurovH.J., Boboev A.Y., Yunusaliev N.Y. Photoelectric properties of n-ZnO film on p-Si. Scientific Bulletin Physical and Mathematical Research,

