

Yusupov Faxriddin Tojimamat o'g'li
Farg'ona politexnika instituti assistenti
E-mail: yusupov.fizika@gmail.com

УДК 538.911, 935, 958, 975

BOR BILAN LEGIRLANISHINING ZnO YUPQA

QATLAMLARINING ELEKTR XUSUSIYATLARIGA TA'SIRI

***Annotatsiya:** Tadqiqotda bor legirlanishining ZnO plyonkalari elektr xususiyatlariga ta'siri o'rganildi. Borning optimal konsentratsiyasi (2–3%) maksimal harakatchanlik va konsentratsiya, minimal qarshilikni ta'minlaydi. $U=2$ kuchlanish ZnO:B uchun optimal rejim sifatida aniqlandi. Natijalar yuqori samarali optoelektron materiallarni yaratishga xizmat qiladi.*

***Kalit so'zlar:** ZnO, bor legirlanishi, yupqa plyonkalar, zaryad tashuvchilar, elektr xususiyatlari, optoelektronika.*

Юсупов Фахриддина Тажимамаат угли.

Ассистент Ферганского политехнического института

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ БОРОМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO.

***Аннотация.** Исследовано влияние легирования бором на электрические свойства пленок ZnO. Оптимальная концентрация бора (2–3%) обеспечивает максимальную подвижность и концентрацию носителей заряда, минимальное сопротивление. Оптимальное рабочее напряжение для пленок ZnO:B - $U=2$. Результаты способствуют разработке эффективных оптоэлектронных материалов..*

***Ключевые слова:** ZnO, легирование бором, тонкие пленки, носители заряда, электрические свойства, оптоэлектроника.*

Yusupov Fakhrriddin Tajimamat ugli

Assistant of Fergana Polytechnic Institute

BORON DOPING EFFECTS ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF ZnO THIN FILMS.

Annotation. *This study explores the effect of boron (B) doping on ZnO thin films' electrical properties. Optimal B concentration (2–3%) ensures maximum charge carrier mobility and concentration, and minimal resistance. External voltage analysis identifies $U=2$ as the optimal working point for ZnO:B films. Findings support the development of efficient optoelectronic materials.*

Keywords: *ZnO, boron doping, thin films, charge carriers, electrical properties, optoelectronics.*

Kirish. So‘nggi yillarda sink oksidi (ZnO) materiallari o‘zining noyob fizik-kimyoviy xususiyatlari tufayli optoelektron qurilmalar uchun istiqbolli material sifatida katta qiziqish uyg‘otmoqda. ZnO yupqa plyonkalarining elektr va optik xususiyatlariga ularning mikrostruktura xususiyatlari va legirlash jarayonlari sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, mikrostrukturaning yaxshilanishi va legirlashning optimal parametrlari asosida yuqori samarali optoelektron materiallarni ishlab chiqish imkoniyati mavjud. Ushbu maqolada bor (B) elementi bilan legirlangan ZnO plyonkalarining elektr va optik xususiyatlari tadqiq qililib, ularning zaryad tashuvchilar harakatchanligi va konsentratsiyasiga ta‘siri o‘rganildi.

Adabiyotlar tahlili

So‘nggi yillarda ruh oksidi (ZnO) yupqa plyonkalari o‘zining noyob fizik-kimyoviy xususiyatlari tufayli katta e‘tiborni tortib, turli optoelektron qurilmalarda qo‘llanilish uchun istiqbolli material sifatida qaralmoqda. Ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, ushbu materiallarning funksional xususiyatlarini belgilashda mikrostruktura va legirlash jarayoni muhim rol o‘ynaydi. ZnO plyonkalarining mikrostruktura xususiyatlari, masalan, donadorlik hajmi, kristallarning yo‘nalishi va nuqsonlarning mavjudligi ularning elektr va optik xususiyatlariga katta ta‘sir ko‘rsatadi. Legirlash ZnO plyonkalari xususiyatlariga ta‘sir ko‘rsatadigan yana bir muhim omildir. [1,2] tadqiqotlarda bor (B) va fluor (F) kabi qo‘shimchalarni kiritish plyonkalarining elektron va optik xususiyatlarini o‘zgartirishga imkon berishi ko‘rsatilgan. Mikrostrukturaning yaxshilanishi zaryad tashuvchilar harakatchanligini sezilarli darajada oshirishi mumkin, bu esa materialning

o'tkazuvchanligini yaxshilaydi. Masalan, yuqori darajada kristallangan va nuqsonlari minimal bo'lgan kristallar zaryad tashish va tashuvchilarning rekombinatsiyalanish ehtimolini kamaytirish uchun eng yaxshi sharoitlarni ta'minlaydi. Shu tariqa, mavjud adabiyotlarning[3-6] tahlili shuni ko'rsatadiki, optimal mikrostruktura va legirlashning birikmasi asosida yuqori samarali optoelektron materiallarni ishlab chiqish uchun yangi imkoniyatlar ochiladi. Bundan tashqari, ZnO materialining elektr xususiyatlarini batafsil o'rganish turli optoelektron qurilmalarda foydalanish imkoniyatlarini kengaytiradi. Elektr xususiyatlar, masalan, omik o'tkazuvchanlik va shaffof elektrod sifatidagi ishlash, materialning umumiy samaradorligini belgilovchi asosiy omillar hisoblanadi.

Eksperimental metodologiya

Ushbu tadqiqotda bor bilan legirlangan sink oksidi (ZnO:B) plyonkalarini termik bug'latish usuli bilan olish va ularning elektr xususiyatlarini o'rganish uchun zamonaviy usullar qo'llanildi. Tadqiqot asosan ZnO:B plyonkalarining elektr xususiyatlarini holl qurilmasi yordamida o'rganishga qaratilgan. Tayyorlash jarayoni plyonkaning optimal tarkibi, kristallligi va elektr parametrlariga erishishga qaratilgan bo'lib, bunda bor elementining o'ziga xos xususiyatlari asosiy ahamiyatga ega bo'ldi. Dastlabki ishlar materiallar yuqori tozalikdagi ruh oksidi (ZnO) va borni (B) tanlab olishni o'z ichiga oldi. Texnik toza ZnO va mayda kristallangan yoki amorf bor (99,98% tozalikda) bir xil legirlanishni ta'minlash uchun belgilangan nisbatlarda yuqori aniqlik bilan aralashtirildi [5]. Hosil bo'lgan aralashma volframdan yasalgan tigelga joylashtirildi, tigel materialining ifloslanishini va reaksiyasini oldini olish uchun u oldindan alyuminiy oksidi bilan qoplangan edi. Tayyorlangan aralashma yuqori vakuum (10^{-4} mm sim. ust.) muhitida 1550°C dan 1600°C gacha bo'lgan haroratda termik bug'lanishga uchratildi. Ushbu yuqori haroratlar ZnO:B plyonkasining turli tagliklarda, jumladan, shisha, sapfir, kremniy yuzasida taxminan 1 mkm qalinlikda shakllanishiga yordam berdi. Plyonkalarining tarkibi va strukturaviy xususiyatlarini nazorat qilish uchun reaktiv bug'lanish, ikki manbali bug'lanish va tezkor bug'lanish usullari sinovdan o'tkazildi.

ZnO:B plyonkalarining elektr xususiyatlarini o'rganish uchun Holl qurilmasidan foydalanilgan holda o'lchovlar amalga oshirildi. Ushbu usul zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, ularning harakatchanligi va elektr qarshiligini aniqlashga imkon berdi. O'lchov natijalari plyonkalardagi zaryad tashuvchilar harakatchanligining bor legirlanishi natijasida sezilarli darajada oshishini va materialning elektr o'tkazuvchanligiga ta'sir qilishini ko'rsatdi.

Tahlillar va natijalar

ZnO:B yupqa qatlamlarining Holl effekti o'lchovlari bor kirishmasi konsentratsiyasining elektr o'tkazuvchanlikka va tashuvchi zarralar konsentratsiyasiga ta'sirini aks ettiradi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, bor konsentratsiyasining ZnO plyonkalarining elektr xususiyatlariga sezilarli ta'siri aniqlandi[6]. Bor konsentratsiyasi oshgani sari qarshilik va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasidagi o'zgarishlar kuzatildi, bu esa plyonkaning elektr o'tkazuvchanligini belgilovchi asosiy omillar sifatida namoyon bo'ldi. 1-rasmdagi grafikda bor konsentratsiyasi (%) oshgani sari ZnO:B plyonkalarining qarshiligi ($k\Omega$) va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasidagi o'zgarishlar aks ettirilgan. Qarshilikning boshlang'ich qiymati bor konsentratsiyasi 0% bo'lganda taxminan 80 $k\Omega$ ni tashkil etdi. Bor konsentratsiyasi oshgani sari qarshilik keskin kamaydi va 3% konsentratsiyada minimal qiymatga, ya'ni 2.5 $k\Omega$ ga tushdi. Bu bosqichda plyonkalardagi zaryad tashuvchilar harakatchanligi va o'tkazuvchanligi maksimal darajada ta'minlanganini ko'rsatadi. Biroq, bor konsentratsiyasi 3% dan oshgach, qarshilik yana oshib, 5% konsentratsiyada 12 $k\Omega$ ga yetdi. Bu ortiqcha legirlash natijasida donalar orasidagi rekombinatsiya jarayonlarining kuchayganini ko'rsatadi. Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi ham bor konsentratsiyasi bilan bog'liq holda o'zgardi. Dastlab, bor konsentratsiyasi 0% bo'lganda, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi $0.5 \times 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ ni tashkil etdi. Bor konsentratsiyasi oshgani sari zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi sezilarli ravishda oshib, 3% konsentratsiyada maksimal qiymatga yetdi: $20 \times 10^{18} \text{ sm}^{-3}$. Ammo bor konsentratsiyasi 3% dan oshgach, konsentratsiya kamayib, 5% da $7.5 \times 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ ni tashkil etdi. Bu ortiqcha legirlash natijasida struktura nuqsonlari va

rekombinatsiya jarayonlari kuchayganini anglatadi. Tahlil natijalariga asoslanib, bor konsentratsiyasining 2-3% oralig'ida bo'lishi ZnO plyonkalarining optimal elektr xususiyatlarini ta'minlaydi. Ushbu konsentratsiya plyonkalarining minimal qarshilikka ega bo'lishini va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining maksimal darajada saqlanishini ta'minlaydi. Bor konsentratsiyasining oshishi esa elektr xususiyatlarining pasayishiga olib keladi, bu esa plyonkalar samaradorligini kamaytiradi [7].

2-rasmdagi grafikda tashqi kuchlanish (U) ning zaryad tashuvchilar harakatchanligi va zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga ($Z.T.Harakatchanlik$) va sirt zaryad tashuvchilar konsentratsiyasiga ($Z.T.Konsentratsiyasi$) ga ta'siri tasvirlangan. Tahlildan ko'rinib turibdiki, kuchlanish ortishi bilan harakatchanlik va konsentratsiya dastlab ortib, so'ngra ma'lum bir chegaradan keyin pasayishni boshlaydi. Dastlab, $U=0$ dan $U=2$ gacha zaryad tashuvchilar harakatchanligi va konsentratsiyasi sezilarli darajada oshadi. Maksimal qiymatlar $U=2$ da kuzatiladi: harakatchanlik $12 \text{ sm}^2/V \cdot s$ ni, konsentratsiya esa $6 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-2}$ ni tashkil qiladi. Ushbu cho'qqi kuchlanishning zaryad tashuvchilar harakatini kuchaytirishi va

ularning ko‘proq konsentratsiyasini shakllantirishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Biroq, $U=2$ dan keyingi kuchlanish ortishi bilan harakatchanlik va konsentratsiya pasayadi. $U=2$ da harakatchanlik $8 \text{ sm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ gacha, konsentratsiya esa $4,5 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-2}$ gacha kamayadi. Bu pasayish zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi, to‘qnashuv orqali energiya yo‘qotish yoki materialdagi to‘siqlar tufayli harakat qobiliyatining susayishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Umuman olganda, grafikdan zaryad tashuvchilarning harakatchanligi va konsentratsiyasi tashqi kuchlanishga bog‘liq holda o‘zgarishi aniqlangan. $U=2$ kuchlanish materiali uchun optimal ishlash sharoitlarini ta‘minlashi mumkin. Ushbu tahlil materialning elektr xususiyatlarini chuqurroq o‘rganishda muhim ahamiyat kasb etadi va uning transport xususiyatlarini yaxshilash bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar olib borish zarurligini ko‘rsatadi.

Xulosa

2-rasm. Tashqi kuchlanishning zaryad tashuvchilar harakatchanligi va konsentratsiyasiga ta‘sirini ko‘rsatdi. Bor konsentratsiyasi 2–3% oralig‘ida bo‘lganda plyonkalar optimal elektr o‘tkazuvchanlik va minimal qarshilikka ega

bo'lib, zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi maksimal darajaga yetdi. Shu bilan birga, tashqi kuchlanishning harakatchanlik va konsentratsiyaga ta'siri o'rganildi. Maksimal qiymatlar $U=2$ da kuzatilib, bu kuchlanish materiali uchun optimal ishlash sharoitlarini ta'minlaydi. Ushbu tadqiqot ZnO:B plyonkalarining optoelektron qurilmalarda qo'llanilishi uchun yangi imkoniyatlar ochadi va materiallarning elektr xususiyatlarini yaxshilash bo'yicha istiqbolli yo'nalishlarni belgilaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Вон Й.Х. и др. (2019). Высокоэффективные и стабильные светодиоды с квантовыми точками InP/ZnSe/ZnS. Природа, 575, 634–638.
2. Ёе Дж.Д. и др. (2005). Зависимость легирования галлием монокристалла ZnO n-типа, выращенного методом металлоорганического химического осаждения из газовой фазы. Журнал роста кристаллов, 283 (3–4), 279–285.
3. Kong, Kok Hong & Kek, Reeson & Tou, Teck Yong & Yap, Seong Shan. (2019). Effects of the resistivity of AZO film on the IV and CV characteristics of AZO/p-Si heterojunction. Microelectronic Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2019.04.011>.
4. Петрушка Р. и др. (2016). Повышенная эффективность фотоэлектрических элементов на основе n-ZnO/p-Si за счет технологии смещения полосы. Материалы для солнечной энергии и солнечные элементы, 147, 164–170.
5. Волкова М., Сондорс Р., Буговецка Л., Конс А., Авотина Л. и Андзане Дж. (2023). Улучшенные термоэлектрические свойства самоорганизующихся сетей нанопроволок ZnO, инкапсулированных в непроводящие полимеры. Научные отчеты, 13(1), 21061.
6. Султанов Н., Мирзаджонов З. и Юсупов Ф. (2023). Технология изготовления и фотоэлектрические характеристики гетеропереходов AlB 10 на основе кремния. Сеть конференций E3S, 458, 01013.
7. Mirzajonov, Z. X., Sulaymonov, K. A., Rakhmonov, T. I., Yusupov, F. T, Khidirov, D. SH., & Rakhimjonov. J. S. (2024). Advancements in Zinc Oxide (ZnO) thin films for photonic and optoelectronic applications: a focus on doping and annealing processes. E3S Web of Conferences, 549, 03013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20245490301>