

Sultanov Nomanjon Akramovich
Fargʻona politexnika instituti professori
Yusupov Faxriddin Tojimamat oʻgʻli
Fargʻona politexnika instituti tayanch doktoranti
E-mail: yusupov.fizika@gmail.com

УДК 538.911, 935, 958, 975

**Boʻr qoʻshilgan rux oksidi (ZnO:B) yupqa plenkalarning mikrostruktura
va elektr xususiyatlari**

***Annotatsiya:** Ushbu ishda kirishma kiritish texnikasi yordamida sintez qilingan boʻr qoʻshilgan rux oksidi (ZnO: B) yupqa plyonkalarining mikrostrukturaviy va elektr xususiyatlarini oʻrganildi. Optoelektron qurilmalarda qoʻllanilishini optimallashtirish uchun mikro tuzilma va kirishma darajalarining plyonka ishlashiga taʼsirini tushunishga eʼtibor qaratilgan. Natijalar ZnO:B plyonkalarining elektron xususiyatlarini sozlashda mikrostruktura va kirishma kiritishning muhim rolini koʻrsatadi, bu ularning shaffof oʻtkazuvchan elektrodlar va yupqa plyonkali tranzistorlar kabi ilovalarda potentsial ishlatilishini koʻrsatadi.*

***Kalit soʻzlar:** Mikrotuzilma, rux oksid (ZnO), yupqa plyonkalar, optoelektron xususiyatlar, strukturaviy tahlil, elektr xususiyatlari, fotoluminessensiya (FL).*

Султанов Номанжон Акрамович
Профессор Ферганского политехнического института
Юсупов Фахриддина Тажимаamat угли.
Докторант Ферганского политехнического института

**Микроструктура и электрические свойства тонких плёнок оксида
цинка, легированных бором (ZnO:B).**

***Аннотация.** В данной работе исследуются микроструктурные и электрические свойства тонких пленок оксида цинка, легированных бором (ZnO:B), синтезированных с использованием передовых методов осаждения. Основное внимание уделяется пониманию влияния микроструктуры и уровней легирования на характеристики пленок с целью оптимизации их применения в оптоэлектронных устройствах. Результаты подчеркивают*

важную роль микроструктуры и легирования в настройке электронных свойств пленок ZnO:B, указывая на их потенциальное использование в таких приложениях, как прозрачные проводящие электроды и тонкопленочные транзисторы.

Ключевые слова: микроструктура, оксид цинка (ZnO), тонкие пленки, оптоэлектронные свойства, структурный анализ, электрические свойства

Sultanov Nomanjon Akramovich

Professor of Fergana Polytechnic Institute

Yusupov Fakhriddin Tajimamat ugli

Doctoral student of Fergana Polytechnic Institute

Effect of doping on the characteristics and microstructure of zinc oxide thin films.

Annotation. This work investigates the microstructural and electrical properties of boron-doped zinc oxide (ZnO:B) thin films synthesized using advanced deposition techniques. The focus is on understanding the influence of microstructure and doping levels on film performance in order to optimize their application in optoelectronic devices. The results highlight the important role of microstructure and doping in tuning the electronic properties of ZnO:B films, indicating their potential use in applications such as transparent conductive electrodes and thin film transistors.

Keywords: microstructure, zinc oxide (ZnO), thin films, optoelectronic properties, structural analysis, electrical properties, photoluminescence (PL

Введение. В данной работе мы исследуем влияние легирования бором и контроля микроструктуры на свойства тонких пленок ZnO. Пленки осаждались с использованием трех различных техник: реактивное испарение, испарение из двух источников и мгновенное испарение. Каждый метод обладает уникальными преимуществами в плане контроля стехиометрии и морфологии пленок. Например, реактивное испарение позволяет вводить кислород в процессе роста, в то время как испарение из двух источников обеспечивает независимый контроль скорости испарения Zn и B[2].

Мгновенное испарение, в свою очередь, особенно подходит для осаждения сложных боридных пленок благодаря способности справляться с высокими

Анализ литературы

В последние годы тонкие плёнки оксида цинка (ZnO) привлекают значительное внимание благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, что делает их перспективными для применения в различных оптоэлектронных устройствах. Научные исследования показывают, что микроструктура и процесс легирования играют ключевую роль в определении функциональных характеристик этих материалов. Микроструктурные свойства плёнок ZnO, такие как размер зерен, ориентация кристаллов и наличие дефектов, сильно влияют на их электрические и оптические характеристики. В работах [1,2] отмечено, что улучшение микроструктуры может значительно повысить подвижность носителей заряда, что, в свою очередь, улучшает проводимость материала. Например, кристаллы с высокой степенью кристалличности и минимальным количеством дефектов обеспечивают лучшие условия для переноса заряда и снижения вероятности рекомбинации носителей. Легирование является ещё одним важным фактором, влияющим на свойства плёнок ZnO. В исследованиях [3,4] было показано, что введение примесей, таких как бор (B) и фтор (F), позволяет изменять электронные и оптические свойства плёнок. Таким образом, анализ существующей литературы показывает, что сочетание оптимальной микроструктуры и легирования открывает новые горизонты в разработке высокоэффективных оптоэлектронных материалов на основе оксида цинка.

Экспериментальная методология

В данном исследовании использовались несколько передовых методов для синтеза и анализа легированных бором тонких пленок оксида цинка (ZnO:B). Процесс подготовки был направлен на достижение оптимального состава пленки, кристалличности и электрических свойств с использованием уникальных характеристик включения бора. Исходные материалы включали

оксид цинка (ZnO) и бор (B) высокой чистоты. Технически чистый ZnO и мелкокристаллический или аморфный бор (99,98% чистоты) были тщательно смешаны в заданных пропорциях для обеспечения равномерного легирования[4]. Смесь затем помещали в вольфрамовый тигель, предварительно покрытый оксидом алюминия, чтобы предотвратить загрязнение и реакцию с материалом тигля. Подготовленная смесь подвергалась термическому испарению в высоковакуумной среде (10^{-4} мм рт. ст.) при температурах от 1450°C до 1600°C. Повышенные температуры способствовали формированию пленок ZnO:B толщиной примерно 1 мкм на различных подложках, включая стекло, сапфир, кремний и медь. Для достижения точного контроля над составом и структурой пленок были исследованы три метода осаждения: реактивное испарение, испарение из двух источников и мгновенное испарение. Кристаллографические и микроструктурные свойства осажденных пленок ZnO:B были тщательно проанализированы с использованием высокоразрешающего электронного микроскопа (IEM-100C). Пленки подвергались электронно-дифракционному анализу и Аже-спектроскопии для определения их кристаллической структуры, состава и микроструктурных особенностей. [5].

Результаты и обсуждение.

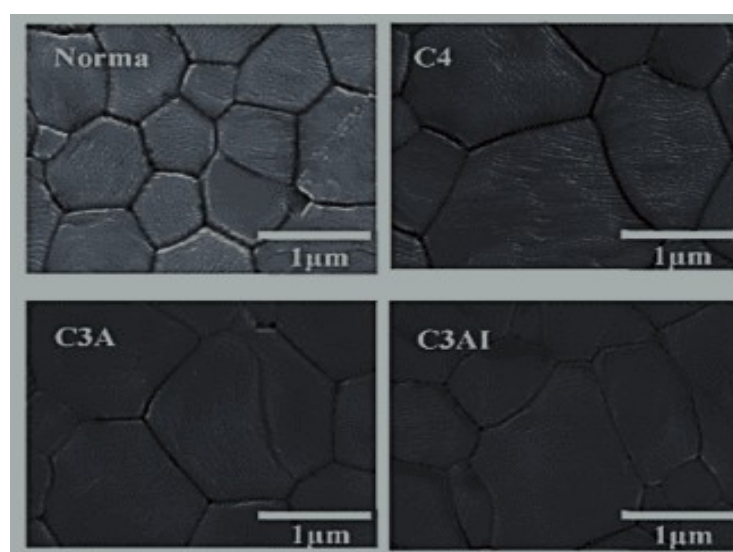
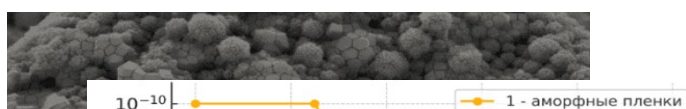


Рисунок 1: Микроструктурный анализ кристаллической пленки ZnO:B

На рисунке 1 представлен подробный микроструктурный анализ пленки оксида цинка, легированной бором (ZnO:B), выполненный с использованием высокоразрешающей электронной микроскопии. Изображение показывает поликристаллическую морфологию с четко выраженными границами зерен, что является важным для понимания структурных и электронных свойств пленки[6]. Наличие хорошо определенных зерен с различными кристаллографическими ориентациями указывает на неоднородную микроструктуру, образовавшуюся в результате процессов легирования и отжига.

Вариации контраста на изображении подчеркивают различия в атомной структуре, размерах зерен и кристаллографических ориентациях. Эти различия важны для оценки степени кристалличности и выявления областей с потенциальными дефектами кристалла, такими как дислокации и вакансии. Наличие этих дефектов может существенно влиять на электрическую проводимость и оптические свойства пленок ZnO:B. Например, границы зерен могут выступать в качестве центров рассеяния, влияя на подвижность носителей заряда и, следовательно, на общую электрическую производительность пленки. Эти результаты подчеркивают важность точного контроля параметров синтеза для достижения желаемых функциональных свойств в тонких пленках на основе ZnO[7]. На рисунке 2 представлены светлопольные изображения кристаллов ZnO:B, полученные с использованием электронной микроскопии. Здесь видны мелкие кристаллы, которые образуют характерный кластерный рисунок. Эти кристаллы, как видно, имеют многоугольные формы, что свидетельствует о высокой степени кристалличности и разнообразии кристаллографических ориентаций. Совокупный анализ рисунков 1 и 2 предоставляет комплексное представление о микроструктурных особенностях и дефектах кристаллов ZnO:B. [6-7].

На рисунке 3 представлена зависимость электрической проводимости σ аморфных пленок ZnO:B от температуры подложки t_s . График показывает,



что с увеличением температуры подложки проводимость пленок заметно снижается, что связано с изменениями в микроструктуре материала и плотности локализованных состояний в зоне подвижности аморфного полупроводника.

При температурах от 300°C до 350°C проводимость остаётся относительно стабильной на уровне порядка $10^{-10} \Omega^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Однако при дальнейшем повышении температуры до 400°C наблюдается резкое уменьшение проводимости на два порядка величины, что ограничивает подвижность носителей заряда. Кроме того, повышение температуры может способствовать структурным изменениям, таким как релаксация напряжений и устранение дефектов, что также влияет на транспортные свойства пленок.

Заключение

В результате проведенного исследования было установлено, что легирование оксида цинка (ZnO) бором (B) и последующее оптимизированное отжигивание приводят к переходу материала из аморфного состояния в кристаллическую фазу с гексагональной решеткой. Этот переход значительно улучшает электрические свойства пленок, делая их подходящими для широкого спектра фотонных и оптоэлектронных приложений[8]. Исследование продемонстрировало эффективность различных методов производства пленок, в частности, реактивного испарения, для достижения желаемых композиционных и структурных характеристик в пленках ZnO:B. Полученные результаты внесли ценный вклад в понимание роли легирования и контроля микроструктуры в улучшении оптоэлектронных характеристик ZnO.

ЛИТЕРАТУРА

1. Султанов Н., Мирзаджонов З. и Юсупов Ф. (2023). Технология изготовления и фотоэлектрические характеристики гетеропереходов AlB 10 на основе кремния. Сеть конференций E3S, 458, 01013.
2. Дэн Ю. и др. (2022). Зеленые и синие светодиоды с квантовыми точками, обработанные на растворе, с исключенной утечкой заряда.

3. Вон Й.Х. и др. (2019). Высокоэффективные и стабильные светодиоды с квантовыми точками InP/ZnSe/ZnS. Природа, 575, 634–638.
4. 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.
5. Конг Б.Х. и др. (2010). Влияние соотношений VI/II на рост тонких пленок ZnO на сапфировых подложках методом низкотемпературной MOCVD. Тонкие твердые пленки, 518(11), 2975-2979.
6. 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.
7. 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.