

Zaynabidinov Sirajiddin Zaynobiddinovich
Andijon davlat universiteti akademigi, f-m.f-d.
e-mail: s.z.zaynabidinov@gmail.com.

Boboyev Akromjon Yo'ldashboyevich
O'zbekiston milliy universiteti qoshidagi yarimo'tkazgichlar
fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti doktoranti
e-mail: aboboevscp@gmail.com.

Rasulova Marxabxon Botirjon qizi
Andijon mashinasozlik instituti tayanch doktoranti
e-mail: marxabo.rasulova.91@mail.ru
+99899-928-91-51

Mahmudov Xushro'ybek Abdulazizovich
Andijon davlat universiteti PhD
e-mail: xushroy.mahmudov90@mail.ru

n-ZnO-p-NiO GETEROTUZILMASINING BA'ZI ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARINI O'RGANISH.

Annotatsiya: Ushbu maqolada n-ZnO va p-NiO ning yupqa qatlamlar geterotuzilmasining ayrim elektrofizik tadqiqot natijalari keltirilgan. n-ZnO-p-NiO tuzilmalarining elektr xususiyatlarini tahlil qilishning muhim jihati omik kontaktlarning sifati bo'lib, ularning tarkibi va cho'kish sharoitlarini aniqlashga olib keldi. 0 lyuks va 1000 lyuks yorug'likdagi n-ZnO-p-NiO tuzilmalarining volt-ampere xarakteristikalari (VAX) o'rganildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, ushbu tuzilmalarda tok oqimi tunnel-rekombinatsiya mexanizmi bilan belgilanadi.

Kalit so'zlar: sprej piroliz, struktura, metall-oksid plyonka, kristall panjara, subkristallit, tok o'tkazuvchanligi, geterotuzilma.

Зайнабидинов Сиражиддин Зайнобиддинович
Академик Андижанского государственного университета
e-mail: s.z.zaynabidinov@gmail.com.
Бобоев Акромжон лдашбоевич
Полупроводники в Национальном университете Узбекистана
Докторант НИИ физики и микроэлектроники
e-mail: aboboevscp@gmail.com.
Расулова Мархабохан Батировна.
Докторант Андижанского машиностроительного института
e-mail: marxabo.rasulova.91@mail.ru
Махмудов Хушройбек Абдулазизович
Андижанский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ n-ZnO-p-NiO

Аннотация. В данной статье представлены результаты электрофизических исследований гетероперехода между тонкими слоями n-ZnO и p-NiO. Важным аспектом анализа электрофизических свойств структур n-ZnO-p-NiO является качество омических контактов, что обусловило тщательный выбор их состава и условий нанесения. Проведены исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур n-ZnO-p-NiO при освещенности 0 Лк и 1000 Лк. Результаты показали, что токопрохождение в этих структурах определяется туннельно-рекомбинационным механизмом.

Ключевые слова: спрей-пиролиз, структура, металл-оксидная пленка, кристаллическая решетка, субкристаллит, ток проводимости, гетеропереход.

Zaynabidinov Sirajiddin Zaynobiddinovich
Academician of Andijan State University, Ph.D.

e-mail: s.z.zaynabidinov@gmail.com.

Boboyev Akromjon Yoldashboyevich

Semiconductors at the National University of Uzbekistan

Doctoral student of Physics and Microelectronics Research Institute

e-mail: aboboevscp@gmail.com.

Rasulova is the daughter of Markhabokhan Batirjon

Doctoral student of Andijan Mechanical Engineering Institute

e-mail: marhabo.rasulova.91@mail.ru

Mahmudov Khushroybek Abdulazizovich

Andijan State University PhD

STUDY OF CERTAIN ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE n-ZnO-p-NiO HETEROSTRUCTURE

Abstract. In this article we present electrophysical studies of thin n-ZnO/p-NiO heterojunction. Considering that the quality of ohmic contacts plays a special role in studying the electrophysical properties of n-ZnO-p-NiO structures, their composition and deposition conditions were carefully selected. The current-voltage characteristics of the n-ZnO-p-NiO structure obtained under illumination $E=0$ lx and $E=1000$ lx were studied. It was shown that in n-ZnO-p-NiO structures, current flow is determined by the tunnel-recombination mechanism.

Keywords: spray pyrolysis, structure, metal-oxide film, crystal lattice, subcrystallite, current conductivity, heterojunction.

Введение

В последнее время тонкие металлооксидные пленки вызвали значительный интерес благодаря их разнообразным применениям в таких областях, как оптоэлектроника и катализ[1]. Оксид цинка (ZnO) и оксид никеля (NiO) стали особенно примечательными из-за их различных структурных, электрических и оптических свойств[2,3]. Изучая их кристаллографическую структуру, поведение оптического поглощения, электропроводность и потенциальные области применения, это исследование направлено на раскрытие механизмов, которые управляют их функциональностью, а также синергетических эффектов, наблюдаемых в их составных формах[4,5]. В данной работе мы проводим электрофизический анализ ZnO, NiO и гетероперехода тонких пленок n-ZnO/p-NiO. Мы сосредоточены на исследовании электрофизических свойств гетероперехода n-ZnO/p-NiO. Важно отметить, что качество омических контактов играет ключевую роль в анализе электрофизических характеристик структур n-ZnO/p-NiO, поэтому мы тщательно подбирали состав и условия их нанесения. Это подразумевает, что на контакте не должно происходить инжекции носителей, а также должна сохраняться линейная зависимость тока от напряжения в обеих полярностях, что указывает на строго омический характер контакта. В нашем исследовании это достигается созданием области интенсивного легирования полупроводника между металлом и полупроводником. Для формирования омических контактов в полупроводниковых структурах n-ZnO/p-NiO мы использовали такие материалы, как Au и Ag. Качество омичности полученных контактов предварительно оценивалось с помощью характеристического графика, а затем проверялось путем измерения падения напряжения и определения их сопротивлений.

Обзор литературы

На сегодняшний день большинство исследований (например, [1,2]) сосредоточено на анализе электрофизических характеристик двухслойных

структур, состоящих из слоев оксидов металлов *n*-типа и *p*-типа, которые последовательно наносятся на проводящую подложку. В то же время площадь контакта между оксидами металлов в смесях нановолокон значительно увеличивается, что, в свою очередь, способствует увеличению эффективной площади гетеропереходов *p-n*. В работе [5.6] рассматривается проводимость композитов ZnO/NiO, состоящих из смесей нановолокон оксида цинка *n*-типа и оксида никеля *p*-типа, полученных методом электропрядения.

Методика эксперимента

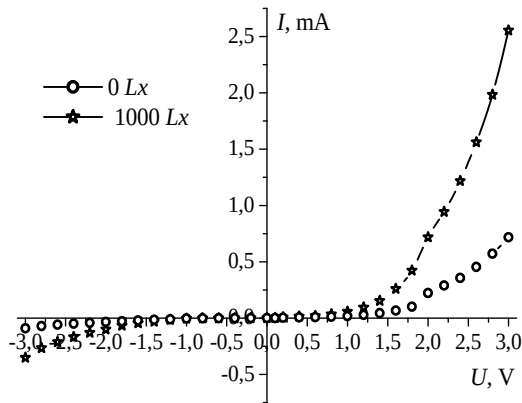
Для дырочного типа проводимости металлооксидных пленок *p*-NiO контакты с наименьшим удельным сопротивлением и с хорошей линейностью получены при вакуумном напылении Au и Ag на поверхность слоев с последующим отжигом при температуре 150 °С. Электрофизические свойства изготовленных структур *n*-ZnO-*p*-NiO изучены методом Ван-дер-Пау при комнатной температуре, а тип проводимости твердых растворов определялся термозондом, а также по знаку постоянной Холла. Металлооксидные слои преимущественно оказывались дырочного типа проводимости и для исследований в основном использовались также образцы, то есть слои с дырочным типом проводимости.

Результаты и обсуждения

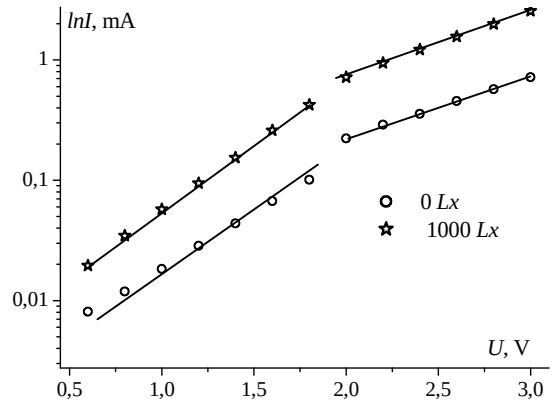
Полученные результаты показывают улучшение электрических свойств пленок *n*-ZnO и *p*-NiO, которые равны: удельное сопротивление $\rho = 16,2$ Ом·см, концентрация $N = 1,83 \cdot 10^{18}$ см⁻³ и подвижность $\mu = 0,31$ см²/В·с основных носителей

Поскольку, приборные характеристики гетеродиодов в основном определяются механизмами токопрохождения, то изучение вольтамперной и вольт-емкостной характеристик гетеропереходных структур и влияния на них различных внешних факторов являются одной из актуальных задач. Поэтому в данном разделе приводятся результаты исследований вольтамперной и вольт-емкостной характеристик структур *n*-ZnO-*p*-NiO.

Измерение вольт-амперной характеристики осуществлялось стандартным методом с использованием зондовой установки при комнатной температуре. Использовался стабилизированный источник напряжения DC Power Supply 3005, цифрового мультиметра MASTECH M3900 в режиме амперметра и вольтметра.



A



B

Рис. 1. Вольт-амперная характеристика структуры $n\text{-ZnO-p-NiO}$ (a) и её преобразование в логарифмическом масштабе (b) при освещенности $E=0$ Лк и $E=1000$ Лк

Для проведения экспериментов по изучению вольт-амперной характеристики (ВАХ) выбраны структуры $n\text{-ZnO-p-NiO}$. ВАХ структуры $n\text{-ZnO-p-NiO}$ содержали участки, для которых, как и в работе [4], преобладает туннельно-рекомбинационный механизм прохождения тока через гетеропереход (рис. 1-a), то есть в зависимостях тока от напряжения наблюдаются два последовательных экспоненциальных участка, по форме не зависящих от освещенности (рис. 1-b). Такую зависимость ВАХ можно аппроксимировать следующей формулой:

$$I = I_{01} \exp(\alpha_1 V) + I_{02} \exp(\alpha_2 V) \quad (1)$$

где $\alpha_1 = 2,5$ и $\alpha_2 = 1,5$, соответственно. Выпрямляющий коэффициент данной структуры в зависимости от технологических условий изменялся в интервале $10 \div 300$. Обратную ветвь ВАХ данных гетеропереходов можно описать следующим выражением:

$$I_{обр} = AV_{обр}^m \quad (2)$$

где m – для напряжения до 1 В, составляло 8, а для больших напряжений 10.

Образование высокоомной прослойки, вероятно, связано с интенсивным испарением никеля из золя, находящегося при относительно высокой температуре и диффузионным внедрением его на поверхность n -ZnO, которая перед началом нанесения располагалась в непосредственной близости от золя. При этом есть вероятность компенсации донорных примесей слои внедренными атомами никеля. В пользу этого предположения свидетельствует и тот экспериментальный факт, что увеличение времени выдержки слоя в указанном положении приводило к увеличению толщины высокоомной прослойки. Следовательно, изготовленные образцы фактически представляют собой n -ZnO- p -NiO.

Измерения вольт-емкостных характеристик структуры n -ZnO- p -NiO приводились при температуре 300 К, на частоте 1 МГц на установке ЕС-12. Исследовались ВФХ структуры n -ZnO- p -NiO при освещенности $E=0$ Лк и $E=1000$ Лк (рис.2). Максимум емкости приходится на область отрицательных напряжений, что соответствует p -типу проводимости пленок NiO. Под влиянием освещенности $E=1000$ Лк емкость гетероструктуры при отрицательных напряжениях увеличивается, при положительных напряжениях емкость гетероструктуры практически остается постоянной и минимальной (~ 110 пФ). На ВФХ гетероструктуры наблюдаются полочки и пики вдоль оси напряжения U . Данное поведение высокочастотных ВФХ говорит о наличии моноэнергетического уровня быстрых поверхностных состояний на гетерогранице.

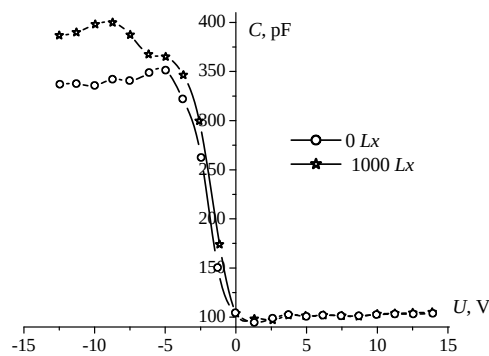


Рис. 2. Вольт- ёмкостная характеристика структуры $n\text{-ZnO-p-NiO}$ при освещенности $E=0$ Лк и $E=1000$ Лк

В результате проведенного исследования были проанализированы вольт-амперные характеристики (ВАХ) гетероструктур $n\text{-ZnO-p-NiO}$, полученных при освещенности 0 Лк и 1000 Лк. Установлено, что токопрохождение в этих структурах осуществляется через туннельно-рекомбинационный механизм. Анализ вольт-фарадных характеристик $n\text{-ZnO-p-NiO}$ показал, что в гетероструктурах формируются области с повышенными удельными сопротивлениями.

Заключение

Была исследована вольт-ампер характеристика (ВАХ) гетероперехода, чтобы продемонстрировать, что ZnO и NiO действительно образует гетеропереход. Анализировались ВАХ для структур $n\text{-ZnO-p-NiO}$ при освещенности $E=0$ Лк и $E=1000$ Лк. Результаты показали, что токопрохождение в этих структурах обусловлено туннельно-рекомбинационным механизмом. Кроме того, исследование вольт-фарадных характеристик структуры $n\text{-ZnO-p-NiO}$ выявило наличие областей с повышенными удельными сопротивлениями на гетероструктурах.

Список литературы:

1. M.Jlassi, I.Sta, M.Hajji, et al. Effect of annealing atmosphere on the electrical properties of nickel oxide/zinc oxide p–n junction grown by sol–gel technique Materials. Science in Semiconductor Processing 26 (2014) 395–403.

2. Рембеза Е.С., Йулчиев Ш.Х., Расулова М.Б. Структура, свойства и применения металлооксидных пленок ZnO. Scientific Bulletin Physical and Mathematical Research. 2022;2(4): 5-11.
3. Sukanta Nandi, Sumana Kumar and Abha Misra. Zinc oxide heterostructures: advances in devices from self-powered photodetectors to self-charging supercapacitors. Mater. Adv., 2021, 2, 67-68
4. Зайнабидинов С.З., Бобоев А.Й., Махмудов Х.А. Синтез, структура и фотоэлектрические свойства тонких пленок ZnO. Доклады Академии наук Республики Узбекистан. 2021;3: 15-18.
5. Laya Dejam, Shahram Solaymani, Slawomir Kulesza et al. Study of crystalline structures, surface statistical metrics, and optical properties. Microsc Res Tech. 2022 Nov;85(11):3674-3693.
6. М.Н. Мартышов, В.В. Смирнова и др. Особенности проводимости композитов нановолокон ZnO и NiO. Письма в ЖТФ, 2023, том 49, вып. 4