

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Huang, Q. Electrodeposition of rhenium with suppressed hydrogen evolution from water-in-salt electrolyte / Q. Huang, T.W. Lyons // *Electrochemistry Communications*. – 2018. – Vol. 93. – P. 53–56.
2. Wang, J. Black rhenium coating prepared on graphite substrate by electrodeposition in NaCl-KCl-CsCl-K₂ReCl₆ molten salts / J. Wang [et al.] // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2017. – Vol. 68. – P. 54–59.
3. Chernyshev, A. Formation of Thin Rhenium Films on Nickel Plate by its Chloride Electrolysis / A. Chernyshev [et al.] // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2019. – Vol. 14. – P. 11456-11464.
4. Huang, Q. Electrodeposition of Superconducting Rhenium with Water-in-Salt Electrolyte / Q. Huang, Y. Hu // *Journal of the Electrochemical Society*. – 2018. – Vol. 165. – P. 796-801.
5. Zhulikov, V.V. Electrodeposition of rhenium and its alloys / V.V. Zhulikov, Y.D. Gamburg // *Russian Journal of Electrochemistry*. – 2016. – Vol. 52. – P. 951–962

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЛЕГИРОВАННОГО НИКЕЛЕМ ОКСИДА ЦИНКА

И. А. Греков, Е. Б. Чубенко, В. П. Бондаренко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки 6, 220013 Минск, Беларусь, e-mail: igrekovscience@gmail.com*

Комбинированием методов atomic layer deposition и гидротермального осаждения на кремниевых подложках были получены тонкопленочные покрытия из ZnO с примесью Ni. Исследования структуры и состава пленок методами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии показали, что они состоят из частиц ZnO, легированных примесным атомами никеля, с гексагональной кристаллической решеткой. На основе полученных пленок изготовлены фотоприемники резистивного типа. Показано, что при облучении светом УФ-диапазона с длиной волны 400 нм, время отклика пленок составило 0,1–0,2 мс.

Ключевые слова: фотодетектор; УФ-излучение; оксид цинка.

PHOTOELECTRIC CHARACTERISTICS OF ULTRAVIOLET RADIATION DETECTORS BASED ON NICKEL-DOPED ZINC OXIDE

I. A. Grekov, E. B. Chubenko, V. P. Bondarenko

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Brovki Str. 6, 220013, Minsk, Belarus
Corresponding author: I. A. Grekov (igrekovscience@gmail.com)*

Thin-film coatings of ZnO with Ni impurity were obtained by combining the methods of atomic layer deposition and hydrothermal deposition on silicon substrates. Studies of the structure and composition of films using energy-dispersive X-ray spectroscopy and X-ray diffractometry showed that they consist of ZnO particles doped with impurity nickel atoms with a hexagonal crystal lattice. Resistive-type photodetectors were manufactured based on

the obtained films. It was shown that when irradiated with UV light with a wavelength of 400 nm, the response time of the films was 0.1–0.2 ms.

Key words: photodetector; UV-light; zinc oxide.

ВВЕДЕНИЕ

Детекторы ультрафиолетового (УФ) излучения (УФ-фотодетекторы) находят широкое применение в различных областях, включая экологический мониторинг, биомедицину, астрономию и системы безопасности. Традиционные материалы для УФ-фотодетекторов, такие как кремний и арсенид галлия, имеют ограничения, связанные с их чувствительностью и стабильностью в жестких условиях. В последние годы оксид цинка (ZnO) привлек значительное внимание как перспективный материал для создания УФ-фотодетекторов благодаря своим уникальным свойствам, таким как большая ширина запрещенной зоны (~3,37 эВ), высокая химическая и термическая стабильность, а также низкая стоимость и экологическая безопасность [1, 2].

Легирование оксида цинка различными элементами позволяет существенно улучшить его оптические и электрические свойства. В частности, легирование никелем (Ni) представляет особый интерес, так как оно может привести к улучшению чувствительности и быстродействия фотодетекторов. Никель, будучи переходным металлом, способен создавать дополнительные энергетические уровни в запрещенной зоне ZnO, что способствует увеличению поглощения УФ-излучения и улучшению характеристик фотопроводимости [2].

В данной работе были изготовлены УФ-фотодетекторы на основе пленок ZnO, легированных никелем, полученных комбинацией методов послойного атомного осаждения (atomic layer deposition – ALD) и гидротермального осаждения. ALD метод позволил сформировать затравочный тонкий слой нелегированного оксида цинка для последующего формирования более толстой структуры из легированного никелем оксида цинка гидротермальным методом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процесс получения пленок ZnO, легированных никелем, осуществлялся в два этапа. На первом этапе на подложку монокристаллического кремния марки КДБ-12 (100), покрытую тонким изолирующим слоем оксида кремния толщиной около 100 нм, методом ALD был нанесён затравочный слой оксида цинка толщиной 30 нм.

На втором этапе на поверхности затравочного слоя гидротермальным методом формировалась пленка ZnO, легированная никелем. Для этого использовался автоклав, заполненный водным эквимолярным 0,025 М раствором дигидрата ацетата цинка и уротропина с добавлением 0,0025 М нитрата никеля, нагретым до 100 °С. Процесс гидротермального осаждения проводился при заданной температуре в течение 6 часов. После извлечения образца из раствора, он промывался дистиллированной водой и сушился на воздухе.

Для измерения фотоэлектрических характеристик полученных УФ-фотодетекторов на основе легированного ZnO на поверхность полупроводниковой пленки через контактную маску наносились алюминиевые контакты толщиной 0,1 мкм.

Электрические характеристики фотодетекторов измерялись с помощью источника-измерителя Keithley 2450 по двухпроводной схеме. Источником УФ-излучения выступал широкополосный фотодиод, максимум излучения которого находился на длине волны 400 нм, излучение которого охватывало диапазон энергий, превышаю-

щих ширину запрещенной зоны ZnO (то есть, $> 3,37$ эВ). Все измерения проводились при комнатной температуре

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлена фотография полученного образца структуры, с нанесенными на ее поверхность алюминиевыми контактами. По данным энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии сформированная на поверхности подложки пленка является поликристаллической и состоит из частиц ZnO с гексагональной кристаллической решеткой.

На рис. 2 представлена схема измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) полученного фотодетектора резистивного типа на основе легированного никелем ZnO, а также его темновая вольтамперная характеристика, полученная без доступа света к образцу. Полученные результаты показывают, что ВАХ структуры симметричная и нелинейная. В качестве рабочих точек, в которых проводились измерения чувствительности структуры к воздействию УФ-излучения, выбраны значения напряжения 1, 5 и 10 В.

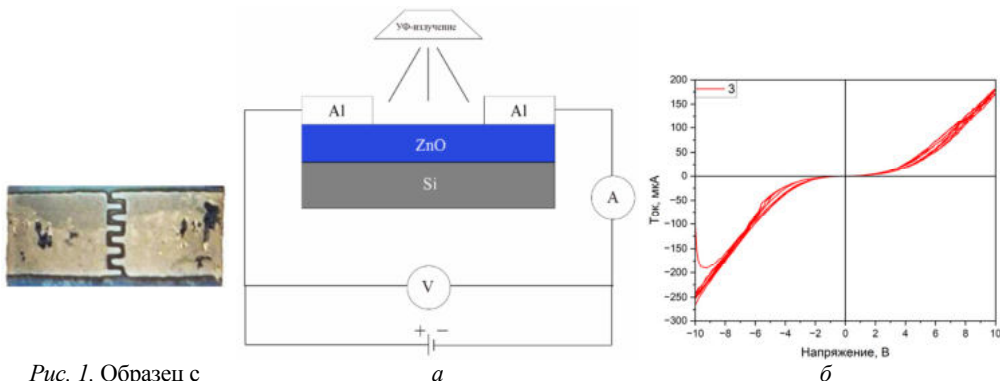


Рис. 1. Образец с пленкой оксида цинка и алюминиевыми контактами

Рис. 2. Схема измерения фотоэлектрических характеристик (а) и темновая ВАХ (б) полученного фотодетектора на основе оксида цинка, легированного никелем

На рисунке 3 представлены характеристики изменения тока во времени, протекающего при заданном напряжении через фотодетектор, при воздействии импульса УФ-излучения.

Полученные временные зависимости показывают, что с увеличением напряжения наблюдается уменьшение соотношения значений тока при воздействии УФ-излучения и темнового тока. Время отклика образцов при подаче и выключении оптического сигнала составило 0,1–0,2 мс. Эта величина меньше, чем полученная другими исследователями в схожих структурах [3].

Небольшие значения времени нарастания и спада фототока указывают на то, что в полученных структурах процессы десорбции и адсорбции ионов кислорода на поверхности пленки, обычно определяющие большую продолжительность переходных процессов (до десятков секунд) при воздействии излучения на пленку оксида цинка [4], играют небольшую роль.

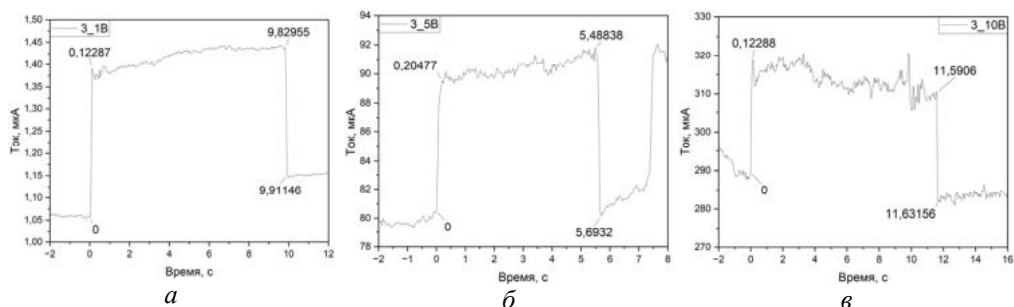


Рис. 3. Изменение тока во времени при воздействии импульса УФ-излучения на полученный фотодетектор на основе оксида цинка, легированного никелем, при различной величине напряжения, приложенного к структуре: *a* – 1 В; *б* – 5 В; *в* – 10 В

Уменьшение сопротивления структуры при воздействии УФ-излучения в данном случае обусловлено фотогенерацией носителей заряда в полупроводнике, которые не захватываются кислородными ловушками, остаются свободными и эффективно участвуют в процессе токопереноса, обеспечивая высокие характеристики быстродействия полученных структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пленки ZnO, легированные никелем, были получены комбинированием двух методов – ALD и гидротермального осаждения. Исследование фотодетектора на основе данных пленок показало, что время отклика образцов составило 0,1–0,2 мс. Фотопроводимость данных структур определяется адсорбцией и десорбцией атомов кислорода из воздуха на поверхности

Результаты показывают, что легированные никелем пленки ZnO, полученные с помощью комбинирования ALD метода и гидротермального осаждения, могут применяться для создания датчиков УФ-излучения.

Данная работа выполнена в рамках задания 3.8 ГПНИ Республики Беларусь «Фоника и электроника для инноваций».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Preparation of intrinsic and Al-doped ZnO thin layers by Spray pyrolysis / M. Sahal [et al.] // International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Morocco, November 14-17, 2016 / University Ibn-Zohr. – Morocco. – P. 252–256.
2. Optoelectronic characteristics of UV photodetector based on ZnO nanowire thin films / K. J. Chen [et al.] // J. of Alloys and Compounds. – 2009. – Vol. 479. – P. 674–677.
3. Abbasi, F. Fabricating and investigating high photoresponse UV photodetector based on Ni-doped ZnO nanostructures / F. Abbasi, F. Zahedi and M.h. Yousef // Optics Communications. – 2020. – P. 126565.
4. Hassan, Z. Comparative study of ultraviolet detectors based on ZnO nanostructures grown on different substrates / Z. Hassan, N. M. Ahmed, F. K. Yam // Journal of Applied Physics. – 2012. – Vol. 112(7). – P. 074510.