

УДК 666.798.2

ФОТОРЕЗИСТОР БЛИЖНЕГО УФ-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЁНКИ ZnO

¹Пташник В.В., ¹Замбург Е.Г., ¹Варзарев Ю.Н., ¹Джуплин В.Н., ²Шорников Р.С.

¹ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: tmina@fep.tti.sfedu.ru;

²ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук, Санкт-Петербург, e-mail: Roman6683@rambler.ru

Детектирование и анализ УФ спектра является важной задачей для космической отрасли, в связи с чем интерес к широкозонным материалам растёт. Проведена работа по изготовлению макета фоторезистора ближнего УФ диапазона на основе нанокристаллической плёнки ZnO, методом импульсного лазерного осаждения (ИЛО). В ходе эксперимента измерены темновой и световой токи, рассчитаны тангенсы углов наклона ВАХ темнового и светового токов, рассчитан фототок и интегральная чувствительность фоторезистора. Представлен график токовременной характеристики снятой с фоторезистора под воздействием УФ, выявлена низкая скорость роста тока и длительный период спада тока. Представлен график импульсного режима работы фоторезистора при постоянном воздействии УФ, а также сделан вывод, что данный режим является оптимальным режимом работы для данного фоторезистора.

Ключевые слова: нанотехнологии, фоторезистор, нанокристаллическая плёнка, ZnO, ультрафиолетовое излучение

PHOTORESISTOR NEAR UV RANGE BASED ON ZNO NANOCRYSTALLINE FILMS

¹Ptashnik V.V., ¹Zamburg E.G., ¹Varzarev Y.N., ¹Dzhuplyn V.N., ²Shornikov R.S.

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education

«Southern Federal University», Rostov-on-Don, e-mail: tmina@fep.tti.sfedu.ru;

²Institute of Silicate Chemistry of RAS, Saint-Petersburg, e-mail: Roman6683@rambler.ru

Detection and analysis of the UV spectrum is an important task for the space industry, and therefore the interest in wide-materials increases. Work on making the layout photoresistor near UV range based on nanocrystalline films ZnO, by pulsed laser deposition (PLD). The experiment measured the dark and light currents calculated tangents of angles IV characteristics dark and light currents, calculated current photo and the integral sensitivity of the photoresistor. A graph of the current time characteristic previous photoresistor by UV, revealed slow growth of the current and long-term decline due to the current long lifetime of the charge. A plot of pulse mode at constant photoresistor exposure to UV, as well as the conclusion that this regime is the best mode of operation of the photoresistor.

Keywords: nanotechnology, photoresistor, nanocrystalline film, ZnO, ultraviolet

Детектирование и анализ УФ-спектра является важной задачей для космической отрасли, в связи с чем интерес к широкозонным материалам ($E_g > 3,1$ eV) растёт. Наиболее перспективными являются материалы группы $A^{IV}B^VI$, и в частности ZnO с $E_g = 3,37$ eV [5], это связано с достаточно доступной технологией синтеза нанокристаллических плёнок методом ИЛО (импульсного лазерного осаждения). Целью данной работы является проведение исследований и изготовление макета фоторезистивного датчика УФ-диапазона на основе нанокристаллической плёнки ZnO, полученного методом ИЛО и реализованном в одном из модулей сверхвысоковакуумного многофункционального нанотехнологического комплекса НАНОФАБ НТК-9 [2].

Материалы и методы исследования

В ходе экспериментальных исследований был изготовлен макет фоторезистора УФ-диапазона. Конструкция макета представлена на рис. 1,б; на поверхность ситалла марки СТ-50-1 (соответствует техническим условиям ПГКЖ.431.431.003 ТУ) осаждалась титановые контакты длиной 7 мм, шириной 0,2 мм, расстояние между контактами составляет 1 мм; далее на поверхность контакта осаждалась плёнка ZnO толщиной 50 нм с применением модуля импульсного лазерного осаждения (ИЛО) нанотехнологического комплекса НАНОБАБ НТК-9 (ЗАО «Нанотехнология – МДТ», Россия) [1, 2, 3], камера модуля импульсного лазерного осаждения откачивалась с помощью турбомолекулярного насоса до давления 1×10^{-6} Торр. Для осаждения плёнки реактивным методом в атмосфере кислорода использовалась мишень цинка (Zn) чистотой 99,99%. Режим осаждения плёнки ZnO представлены в таблице.

Параметры ИЛО							
Количество лазерных импульсов	Частота импульсов, Гц	Плотность мощности, Вт/см ²	Энергия луча, мДж	Расстояние мишень-подложка, мм	Атмосфера	Давление, Торр	Температура, °C
50 000	10	1,5	280	40	O ₂	1E-2	800

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Измерения вольт-амперных и вольт-временных характеристик проводились на пикоамперметре Keithley6487; в качестве источника УФ применялась ртутная лампа ДРЛ80 (без люминофора). Пики мощности светимости лампы приходятся на $\lambda = 368$ нм и на $\lambda = 437$ нм, более 80% мощности излучения приходится на УФ-диапазон. Измерения проводились при комнатной температуре $23^\circ\text{C} (\pm 2)$

В ходе анализа вольтамперных характеристик (рис. 1), были установлены значения темнового $I_T = 3,39 \cdot 10^{-5}$ А и светового токов $I_C = 9,25 \cdot 10^{-4}$ А.

Результирующий фототок является важнейшим параметром, определяющим чувствительность фоторезистора, и рассчитывается по формуле

$$I_\Phi = I_C - I_T \quad (1)$$

Исходя из формулы (1) фототок равен $8,91 \cdot 10^{-4}$ А.

Интегральная чувствительность фоторезистора определялась по формуле

$$K_\Phi = \frac{I_\Phi}{\Phi}, \text{ А/лм}, \quad (2)$$

где Φ – световой поток, лм.

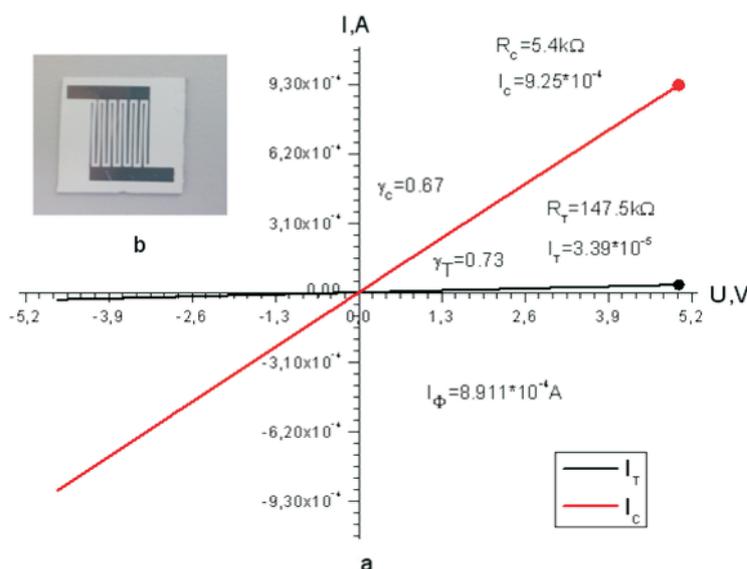


Рис. 1. а – темновая и световая вольтамперные характеристики фоторезистора (I_T, I_C); б – снимок макета ФР

Исходя из формулы (2) интегральная чувствительность фоторезистора оценена нами как $1,782 \cdot 10^{-7}$ А/лм.

Также были установлены тангенсы углов наклона световой характеристики γ в темноте и под УФ, $\gamma_T = 0,73$, $\gamma_C = 0,67$ соответственно. Из вольт-амперных характеристик были рассчитаны темновое R_T и световое R_C сопротивления фоторезистора – 147,5 и 5,4 кОм соответственно.

В ходе анализа токо-временной характеристики (рис. 2), установлены времена нарастания (τ_n) и спада ($\tau_{сп}$) фотосигнала. Время нарастания фототока после включения лампы составило ~ 60 с, время спада фототока после выключения лампы составило ~ 600 с. Инертность реакции может быть обусловлена высоким временем жизни и малой подвижностью носителей тока, а также повышающейся температурой [2] образца при длительном освещении

УФ-лампой ($+ 20^\circ\text{C}$ к исходной температуре). По нашему мнению, нестабильность тока в верхней точке графика, представленного на рис. 2, объясняется свойствами наноструктурированной плёнки ZnO. В плёнке содержится большое количество межзеренных границ, представляющих собой нескомпенсированные ионные связи между Zn и кислородом. При воздействии УФ-излучения нанокристаллическая плёнка теряет часть кислорода по границам зерен и увеличивает металлическую проводимость. Далее начинается движение ионов металла к поверхности и повторное окисление.

Выводы

В ходе работы был изготовлен макет ФР ближнего УФ-излучения на основе нанокристаллической плёнки ZnO, полученной методом ИЛО, и исследованы его характеристики. Время спада сопротив-

ления ФР до минимального значения под действием УФ составляет 60–65 с, интегральная чувствительность составила $1,782 \cdot 10^{-7}$ А/лм, отношение $RT/RC \approx 21$. Оптимальным режимом работы для данного макета является импульсный режим

(см. рис. 3) с отслеживанием тренда токовой составляющей. Результаты данной работы будут использованы для конструирования фоторезистора УФ-излучения с более высокой пороговой и интегральной чувствительностью.

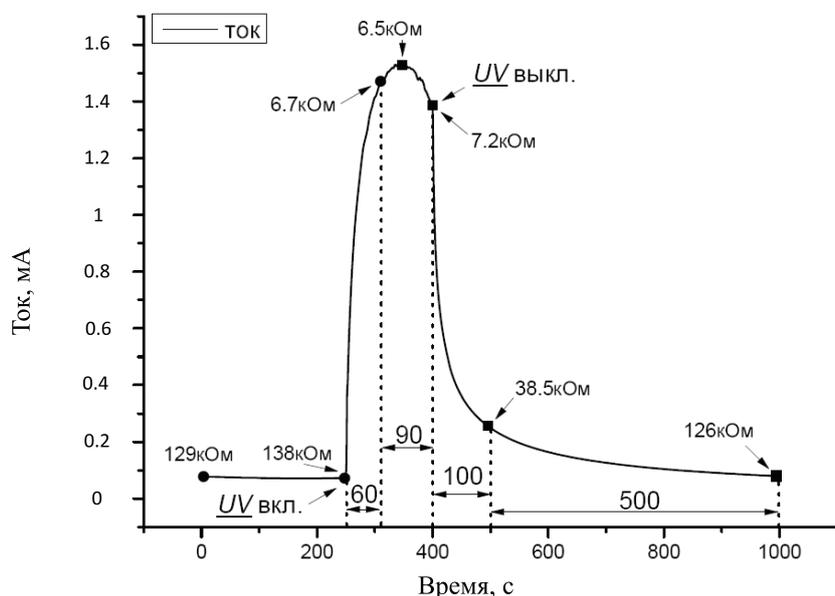


Рис. 2. Токовременная характеристика ФР ($U = 5V$)

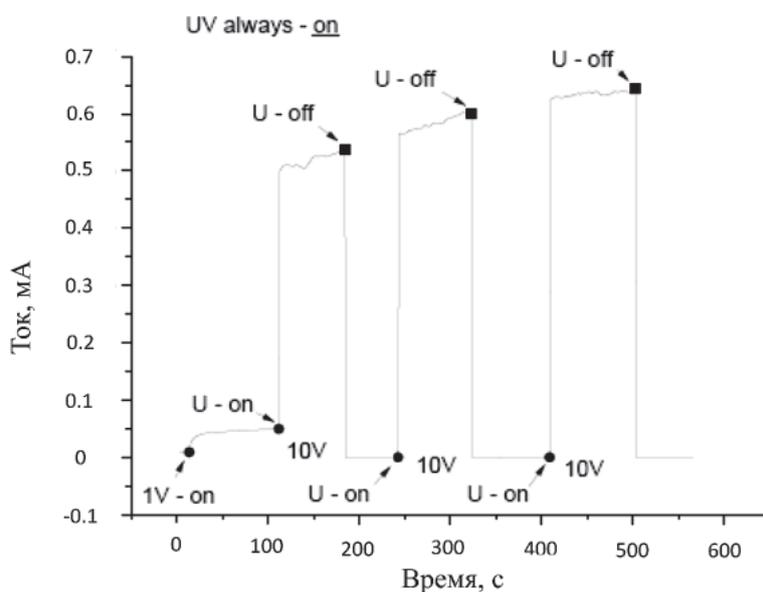


Рис. 3. Импульсный режим опроса ФР ($U = 10V$) при постоянном освещении УФ

Работа выполнена при поддержке государственными соглашениями № 12-08-90045/12, № 14.A18.21.0126, № 14.A18.21.0923, № 14.A18.21.0933, № 14.A18.21.0900, № 14.

A18.21.0887, № 14.A18.21.1206 в рамках проектов РФФИ и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Получение наноразмерных структур на основе нанотехнологического комплекса НАНОФАБ НТК-9 / О.А. Агеев, А.С. Коломийцев, А.В. Михайличенко, В.А. Смирнов, В.В. Пташник, М.С. Солодовник, А.А. Федотов, Е.Г. Замбург, В.С. Климин, О.И. Ильин, А.Л. Громов, А.В. Руккомойкин // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. Т. 114. № 1. С. 109-116.

2. Коноплев Б.Г., Агеев О.А. Элионные и зондовые нанотехнологии для микро- и наносистемной техники // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2008. – Т. 89. – № 12. – С. 165–175.

3. Ageev O.A., Smirnov V.A., Zamburg E.G., Serbu N.I., Tominov R.V. Regularity Investigation Of Nanostructured ZnO Films Memristive Effect By Atomic-Force Microscopy // Proc. of «Nano and Giga Challenges in Electronics, Photonics and Renewable Energy» Symposium and Summer School, Moscow – Zelenograd, Russia, September 12-16, 2011. – P. 170.

4. Ageev O.A., Zamburg, E.G. Mikhailichenko A.V., Ptashnik V.V. Temperature effect on the electrical properties of nanostructured ZnO and VOx films // Proc. of «Nano and Giga Challenges in Electronics, Photonics and Renewable Energy» Symposium and Summer School, Moscow – Zelenograd, Russia, September 12-16, 2011. – P. 202.

5. Safa O. Kasap, Peter Capper (2006). Springer handbook of electronic and photonic materials. Springer. pp. 54,327. ISBN 0-387-26059-5.

References

1. Ageev O.A., Kolomyitsev A.S., Smirnov V.A., Ptashnik V.V., Solodovnik M.S., A.A., et.al. Obtaining nanoscale structures based on nanotechnological facilities NanoFabNTK-9 // Southern Federal University. Engineering. 2011. T. 114. no. 1. pp. 109–116.

2. Konoplev B.G., Ageev O.A. Elion and probe nanotechnology for micro-and nanosystem technology // News Southern Federal University. Engineering. 2008. T. 89. no. 12. pp. 165–175.

3. Ageev O.A., Smirnov V.A., Zamburg E.G., Serbu N.I., Tominov R.V. Regularity Investigation Of Nanostructured ZnO Films Memristive Effect By Atomic-Force Microscopy // Proc. of «Nano and Giga Challenges in Electronics, Photonics and Renewable Energy» Symposium and Summer School, Moscow – Zelenograd, Russia, September 12–16, 2011, pp. 170.

4. Ageev O.A., Zamburg, E.G. Mikhailichenko A.V., Ptashnik V.V. Temperature effect on the electrical properties of nanostructured ZnO and VOx films // Proc. of «Nano and Giga Challenges in Electronics, Photonics and Renewable Energy» Symposium and Summer School, Moscow – Zelenograd, Russia, September 12–16, 2011, p. 202.

5. Safa O. Kasap, Peter Capper (2006). Springer handbook of electronic and photonic materials. Springer. pp. 54,327. ISBN 0-387-26059-5.

Рецензенты:

Рындин Е.А., д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник ЮНЦ РАН;

Жорник А.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической, общей физики и технологии ФГБОУ ВПО ТГПИ;

Антонов А.В., д.т.н., профессор, декан факультета кибернетики, Обнинский институт атомной энергетики Национального исследовательского ядерного университета МИФИ Министерства образования и науки РФ, г. Обнинск.

Работа поступила в редакцию 13.11.2012.