



Национальный  
исследовательский

**Томский  
государственный  
университет**



Радиофизический  
факультет



8-я Международная научно-практическая конференция  
**Актуальные проблемы радиофизики  
АПР 2019**

**Сборник трудов конференции**



РОССИЙСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-4 октября 2019 года  
г. Томск

## Солнечно-слепые детекторы УФ-излучения на основе пленок оксида галлия<sup>1</sup>

*Петрова Юлианна Сергеевна*

*Гилев Андрей Сергеевич, Калыгина Вера Михайловна*

*Национальный исследовательский Томский Государственный Университет*

*E-mail: petrovays@mail.ru*

Фотоприемники глубокого ультрафиолетового (УФ) излучения имеют широкий спектр применения, включая датчики контроля пламени; радиационный контроль солнечного излучения через озоновые дыры; используются в биологии для отслеживания физико-химических процессов в живых организмах; в военной технике – с целью обнаружения вспышек боевых установок различного назначения и т.д. Оксид галлия в  $\beta$ -фазе ( $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) имеет ширину запрещенной зоны 4,9 эВ и является перспективным материалом для фотоприемников УФ-излучения, если длина волны не превышает 280 нм [1-4]. Такие фотоприемники известны как солнечно-слепые. В данной работе приведены результаты исследований влияния УФ-излучения на структуры резистивного типа с пленками оксида галлия, полученными ВЧ-магнетронным напылением.

Пленки Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> толщиной 150–200 нм наносили ВЧ-магнетронным распылением мишени Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.9999%) на ненагретые сапфировые подложки. Перед нанесением оксидной пленки сапфировые подложки подвергались химической очистке с последующим формированием с помощью фотолитографии платиновых электродов для проведения измерений вольт-амперных характеристик (ВАХ) полученных образцов. Пленки Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> фиксированной площади формировали, используя взрывную фотолитографию. Сапфировую подложку с пленкой оксида галлия делили на две части. Одну часть оставляли без обработки, другую – отжигали в аргоне при температуре 900 °С в течение 30 минут. Затем подложку с полученными образцами разрезали на отдельные чипы размером 1,15 × 1,15 мм<sup>2</sup>, распаивали на кристаллодержатель и помещали в корпус.

Темновые вольт-амперные характеристики (ВАХ) и фотоэлектрические характеристики измеряли при комнатной температуре с помощью источника измерителя Keithley 2611. В качестве источника УФ-излучения использовали эксимерную KrCl лампу с длиной волны  $\lambda = 222$  нм, работающую в импульсном режиме. Для проверки влияния видимого излучения использовали светодиод с  $\lambda = 400$  нм.

Темновые ВАХ структур описываются линейной зависимостью тока ( $I_D$ ) от напряжения. На рисунке 1а приведены вольт-амперные характеристики без ( $I_D$ ) и во время воздействия излучения с  $\lambda = 222$  нм ( $I_L$ ) при максимальной оптической мощности  $P = 6,9 \cdot 10^{-6}$  Вт для образца без отжига.

Ток при освещении линейно возрастает с повышением напряжения на структуре (рис. 1а). После снятия возбуждения возвращение к  $I_D$  происходит практически мгновенно.

Фототок структуры ( $I_f$ ) при воздействии света определяли как разность между током при освещении и темновым (рис. 1б). Для образцов без отжига  $I_f$  не превышает нескольких десятков нано ампер.

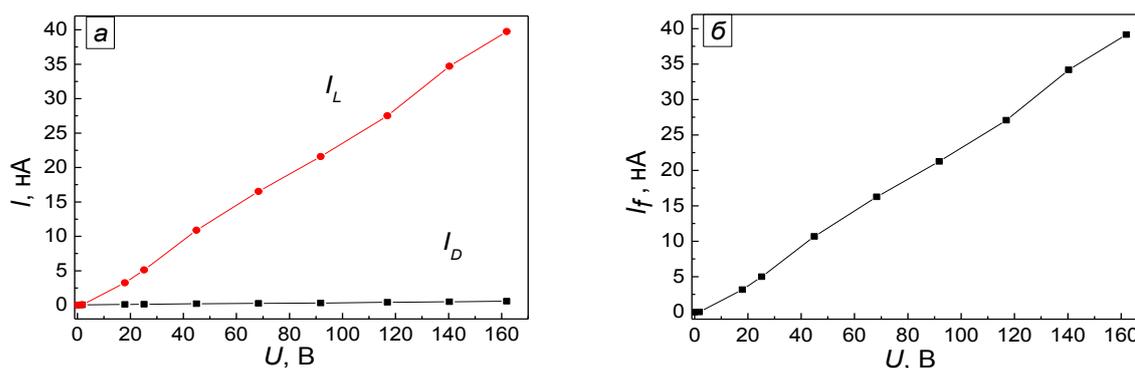


Рис.1. Пленки Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> без отжига: (а) – вольт-амперные характеристики структуры без освещения ( $I_D$ ) и при освещении с  $\lambda = 222$  нм ( $I_L$ ); (б) – зависимость фототока от напряжения

После отжига при 900 °С резко возрастает чувствительность структур к воздействию УФ-излучения. На рисунке 2 показаны темновые вольт-амперные характеристики ( $I_D$ ) для двух образцов и ВАХ при воздействии УФ-излучения ( $I_L$ ). Значения тока при освещении  $I_L$  на три порядка и более превосходят значения темновых токов  $I_D$ . Значения фототоков образцов, прошедших термический отжиг ( $I_f^{от}$ ), возросли в десятки раз по сравнению с  $I_f$  образцов без термического отжига (рис. 3). Причем максимальные различия  $I_f^{от}$  и  $I_f$  наблюдаются при низких напряжениях на образцах (рис. 3, вставка).

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России №3.9661.2017/8.9

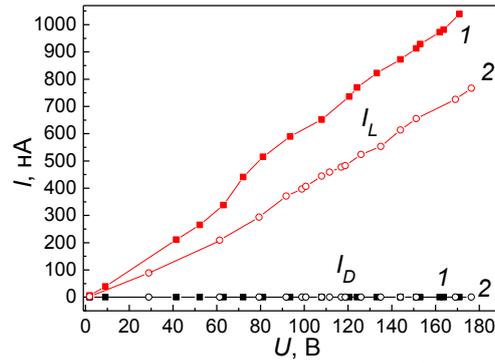


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики образцов 1 и 2 с плёнками  $Ga_2O_3$  после отжига: без освещения ( $I_D$ ) и при освещении с  $\lambda = 222$  нм ( $I_L$ )

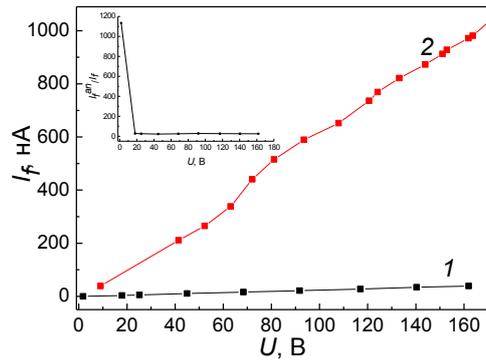


Рис. 3. Зависимости фототока от напряжения структур с плёнками  $Ga_2O_3$  без отжига (кривая 1) и после отжига (кривая 2);  $\lambda = 222$  нм

Исследованные структуры, как без отжига, так и после отжига не обнаруживают отклик при воздействии излучения с  $\lambda = 400$  нм. На рисунке 4 приведены темновые и световые ВАХ в интервале 120–180 В, при освещении с  $\lambda = 400$  нм и значениях оптической мощности 0,12 и 0,73 мВт. На вставке показана полная линейная зависимость токов исследуемых структур как темновых, так и при освещении.

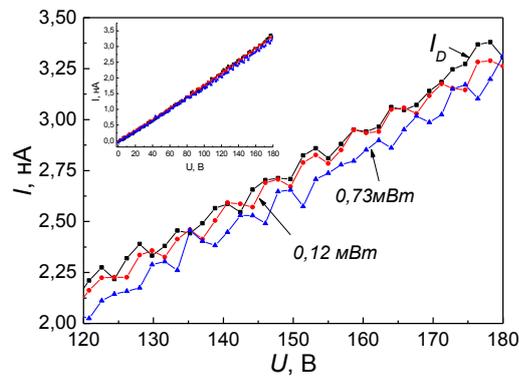


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики структуры с пленкой  $Ga_2O_3$  при нескольких значениях оптической мощности; с  $\lambda = 400$  нм

Спектральные зависимости фототока образца с пленкой  $Ga_2O_3$  описываются кривой с максимумом при  $\lambda = 230$  нм (рис. 5). В видимом и в ближнем УФ диапазоне при напряжениях 10 и 100 В фототок мал и не зависит от длины волны. При  $\lambda \leq 270$  нм ток растет и достигает максимума при  $\lambda = 230$  нм.

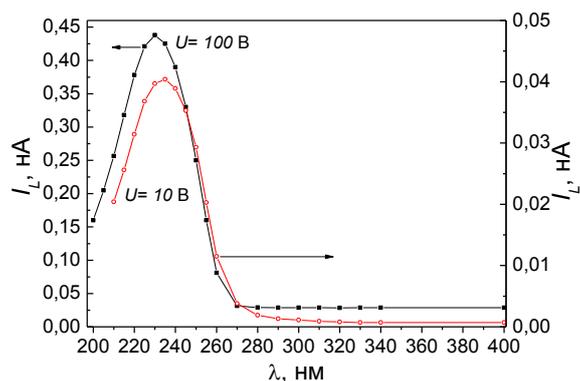


Рис. 5. Спектральная зависимость фототока структуры с пленкой  $Ga_2O_3$  при напряжениях 10 и 100 В

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Плёнки  $\beta$ - $Ga_2O_3$  обнаруживают чувствительность к глубокому УФ-излучению ( $\lambda=222$  нм).
2. Установлено влияние отжига при  $900$  °С в аргоне на чувствительность сенсоров к УФ-излучению.

После отжига фототоки возросли в десятки раз по сравнению с  $I_f$  образцов без термического отжига

3. Отсутствие чувствительности плёнок  $Ga_2O_3$  к излучению с  $\lambda = 400$  нм доказывает, что полученные детекторы являются солнечно слепыми.

Список публикаций:

- [1] Suzuki R // *Appl. Phys. Lett.* – 2009. – V. 94. – Iss. 22.  
 [2] Stepanov S.I., Nikolaev V.I., Bougrov V.E., Romanov A.E. // *Rev. Adv. Mater. Sci.* – 2016. – V. 44. – P.63-86  
 [3] Nakagomi S., Momo T., Takahashi S., Kokubun Y. // *Appl. Phys. Lett.* – 2013 – V. 103– 072105  
 [4] Oh S., Jung Y., Mastro M.A., Hite J.K., Kim J. // *Opt. Soc. Amer.* – 2015 – V. 23 – Iss. 22 – P. 28300-28305