

[nikolskaya@nifti.unn.ru](mailto:nikolskaya@nifti.unn.ru)

А.А. Никольская, Д.С. Королев, Т.Д. Муллагалиев, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, А.В. Нежданов, В.Н. Трушин, Ю.И. Чигиринский, Д.Е. Николичев, М. Kumar, R. Giulian, Д.И. Тетельбаум

## 1 Аннотация

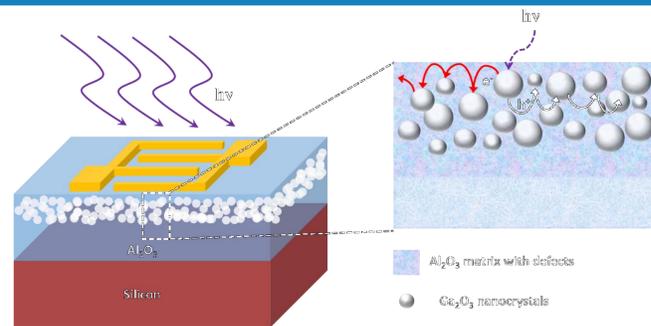
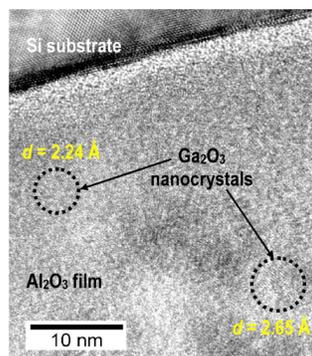
Оксид галлия  $Ga_2O_3$  (широкозонный полупроводник) является одним из наиболее перспективных материалов для электронной техники нового поколения.  $Ga_2O_3$  может обладать различной кристаллической структурой, наиболее стабильными и перспективными считаются  $\alpha$ - и  $\beta$ - фазы  $Ga_2O_3$ . В настоящей работе рассматриваются структуры  $Ga_2O_3$  трех типов: 1 – нанокристаллы  $Ga_2O_3$ , синтезированные в матрице  $Al_2O_3$  на кремнии методом ионной имплантации, 2 – магнетронные плёнки  $Ga_2O_3$  на сапфире, 3 – эпитаксиальные плёнки  $\alpha$ - $Ga_2O_3$ . Рассмотрены структурные особенности данных образцов, а также изучено влияние ионной имплантации и постимплантационного отжига на формирование той или иной фазы  $Ga_2O_3$ .

## 2 Синтез наноструктур $Ga_2O_3$ в матрице $Al_2O_3$ на кремнии [1]

Ионы  $Ga^+$  (80 кэВ,  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ )  
и  $N^+$  (40 кэВ,  $2.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ )

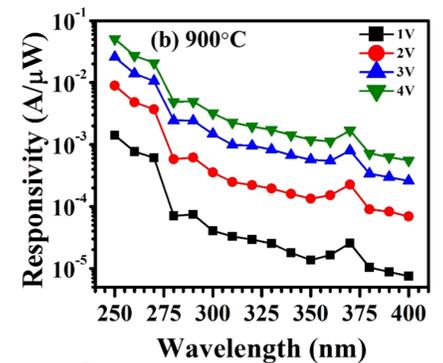


Снимок ПЭМ высокого разрешения структуры  $Al_2O_3/Si$ , подвергнутой имплантации и отжигу. Внутри плёнки наблюдаются нанокристаллы с периодом атомных плоскостей, соответствующим  $Ga_2O_3$ .



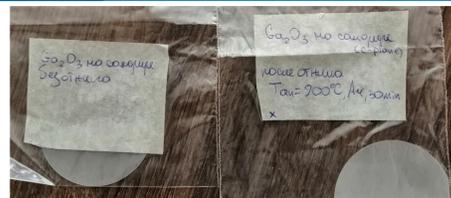
Схематическое изображение фотодетектора на основе плёнки  $Al_2O_3$  с ионно-синтезированными нанокристаллами  $Ga_2O_3$ .

Оценка характеристик фотодетектора показала, что он эффективно отсекает солнечное излучение и обладает фотооткликом в УФ-области спектра при длинах волн 250-270 нм. Фотодетектор имеет высокую чувствительностью (50 мА/мкВт). Темновой ток фотодетектора достаточно низкий и составляет 0,168 мА.



Спектральные зависимости чувствительности фотодетектора.

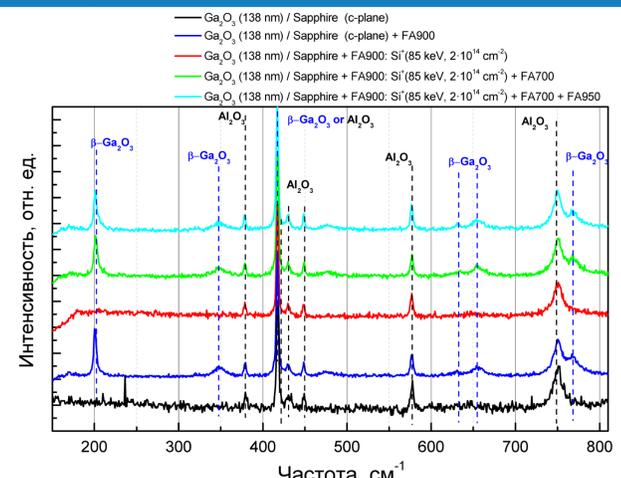
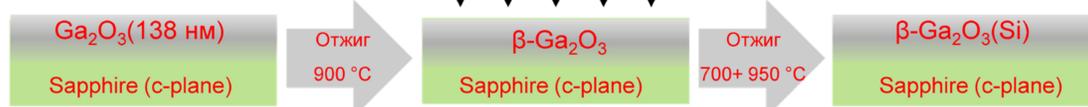
## 3 Влияние облучения и отжига на структуру магнетронных плёнок $Ga_2O_3$



Магнетронные плёнки  $Ga_2O_3$  были сформированы методом ВЧ-магнетронного распыления мишени оксида галлия в кислородно-аргоновой плазме на установке Edwards Auto-500.

Исходя из данных, полученных методом комбинационного рассеяния света (КРС), после нанесения магнетронных плёнок на сапфировые подложки, они получают аморфными, после высокотемпературного отжига при 900 °C они переходят в поликристаллическое состояние  $\beta$ - $Ga_2O_3$ . Легирование плёнок кремнием с помощью ионной имплантации приводит к возникновению дефектов и разрушению фазы. При последующих термических отжигах происходит восстановление структуры  $\beta$ - $Ga_2O_3$ .

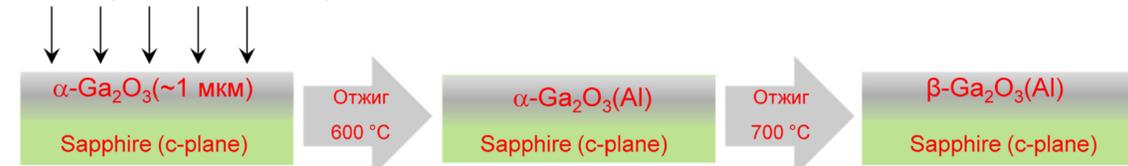
Ионы  $Si^+$  (85 кэВ,  $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ )



Спектры комбинационного рассеяния света для магнетронных плёнок  $Ga_2O_3$  на сапфире.

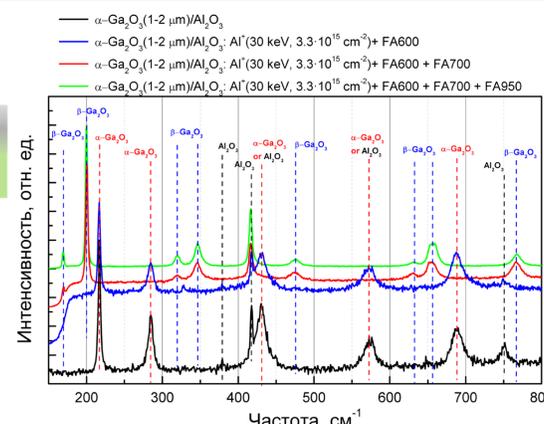
## 4 Фазовые превращения $Ga_2O_3$ при имплантации и отжиге

Ионы  $Al^+$  (30 кэВ,  $3.3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ )



Эпитаксиальная плёнка  $\alpha$ - $Ga_2O_3$  на сапфире

$\alpha$ -модификация  $Ga_2O_3$  является термически нестабильной при высоких температурах. Изучалась возможность повышения ее стабильности при легировании плёнок Al. На спектрах КРС видно, что после облучения и отжига при 600 °C  $\alpha$ -фаза сохраняется, но с ростом температуры отжига до 700 °C она переходит в  $\beta$ -фазу. Возможным решением данной проблемы будет вариация параметров имплантации. Для проверки данной гипотезы необходимы дополнительные исследования.



Спектры комбинационного рассеяния света для эпитаксиальных плёнок  $\alpha$ - $Ga_2O_3$  на сапфире.

## 5 Выводы

На основе структур с ионно-синтезированными нанокристаллами  $Ga_2O_3$  в плёнке  $Al_2O_3$  на кремнии разработан ультрафиолетовый детектор, нечувствительный к солнцу и изучены его основные характеристики.

Показано, что аморфные плёнки  $Ga_2O_3$ , полученные магнетронным осаждением, переходят в поликристаллическую фазу  $\beta$ - $Ga_2O_3$  при высокотемпературном отжиге. Имплантация ионов Si приводит к разрушению фазы с дальнейшим восстановлением при отжиге. Для образцов  $\alpha$ - $Ga_2O_3$  на сапфире показан переход в фазу  $\beta$ - $Ga_2O_3$  при температуре отжига 700 °C, в том числе для легированных Al образцов.

## 6 Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-57-80011).