

# Влияние плотности каскадов на накопление радиационных повреждений в $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$

А.И. Титов<sup>1)</sup>, К.В. Карабешкин<sup>1)</sup>, А.И. Стручков<sup>\*1)</sup>, П.А. Карасев<sup>1)</sup>, А.Ю. Азаров<sup>2)</sup>, Д.С. Гогова<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2)</sup>Университет Осло, Осло, Норвегия

<sup>3)</sup>Болгарская академия наук, София, Болгария

\*andrei.struchckov@yandex.ru

Проведено исследование накопления радиационных повреждений в эпитаксиальных слоях оксида галлия альфа фазы ( $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ) при облучении атомарными ионами P 40 кэВ и молекулярными ионами PF<sub>4</sub> 140 кэВ до различных доз и при различных плотностях тока. Показано, что результирующее разупорядочение существенно изменяется как при переходе от атомарных ионов к молекулярным, так и при изменении плотности тока.

## Введение и детали эксперимента

Оксид галлия является весьма многообещающим полупроводником для использования в приборах высокой мощности и оптоэлектронике. Хорошо известно, что имплантация ионов всегда сопровождается образованием в мишени радиационных дефектов, причем эффективность их накопления может в большой мере зависеть от плотности каскадов столкновений [1].

Эпитаксиальные слои  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  облучались пучками ионов P и PF<sub>4</sub> до различных доз и при различной плотности тока. Имплантация осуществлялась при комнатной температуре имплантером 500 kV NVEE под углом 7° от направления [0001] для минимизации эффектов каналирования. Энергия ионов – 1.3 кэВ/а.е.м. (40 и 140 кэВ для P и PF<sub>4</sub>, соответственно). Дозы приведены в DPA – среднем числе смещений на атом на глубине максимума упругих потерь энергии. Величины DPA вычислены кодом TRIM [2]. Разупорядочение измерялось методом RBS/C. Используемые плотности тока указаны в таблице 1.

| Ион             | Плотность тока, 10 <sup>-3</sup> ДПА/с | Плотность тока, мкА/см <sup>2</sup> |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| P               | 0.0793                                 | 0.00796                             |
| P               | 2.41                                   | 0.242                               |
| P               | 4.38                                   | 0.44                                |
| PF <sub>4</sub> | 0.0793                                 | 0.0025                              |
| PF <sub>4</sub> | 2.41                                   | 0.076                               |
| PF <sub>4</sub> | 4.38                                   | 0.138                               |

Таблица 1. Ионы и соответствующие их пучкам плотности тока, использованные в эксперименте.

## Результаты и обсуждение

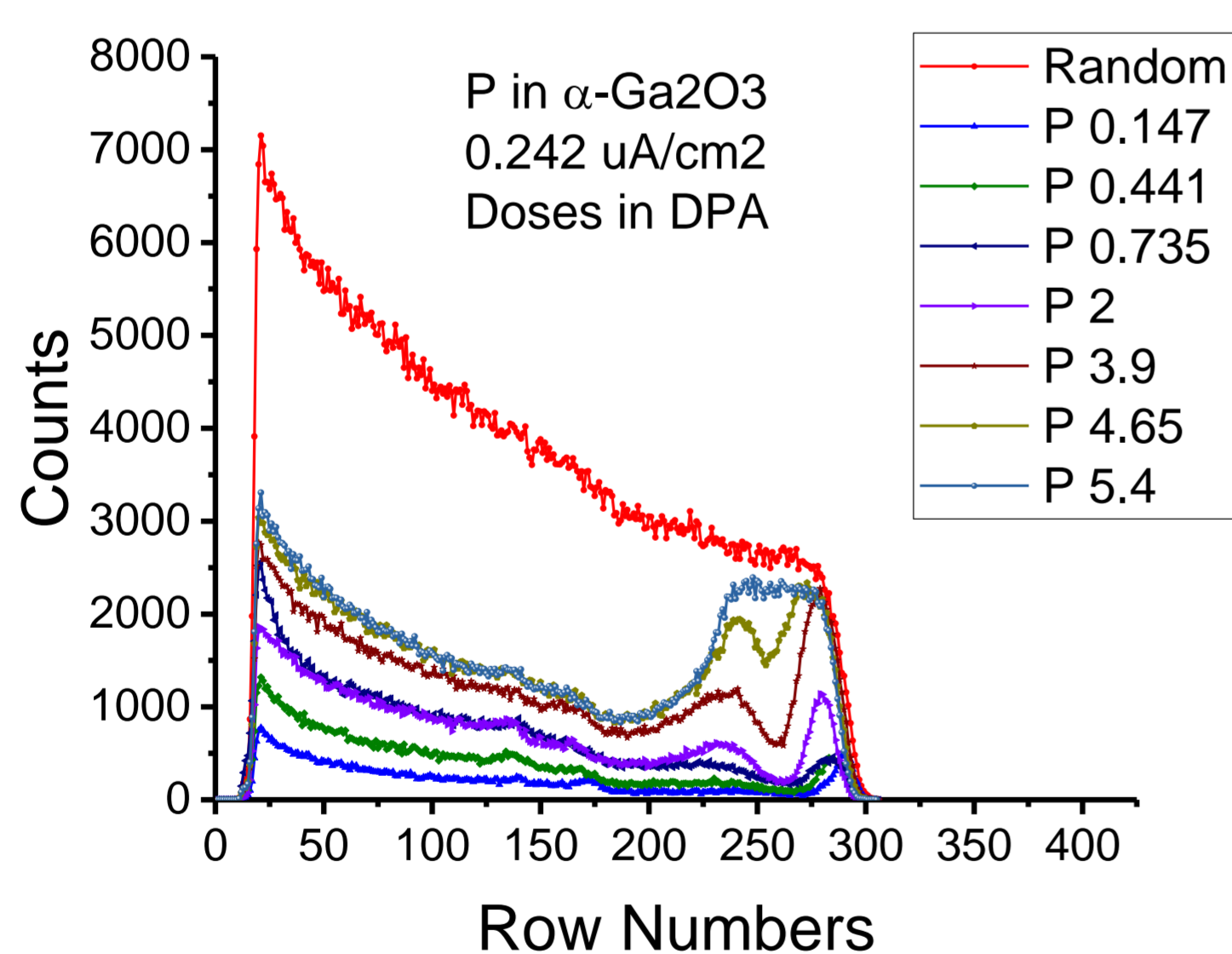


Рис. 1. Спектры RBS/C после облучения  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  ионами P 40 кэВ с плотностью тока 0.242 мкА/см<sup>2</sup> до указанных в легенде доз.

Можно отметить, что распределение дефектов является бимодальным, с максимумами на поверхности и в объеме.

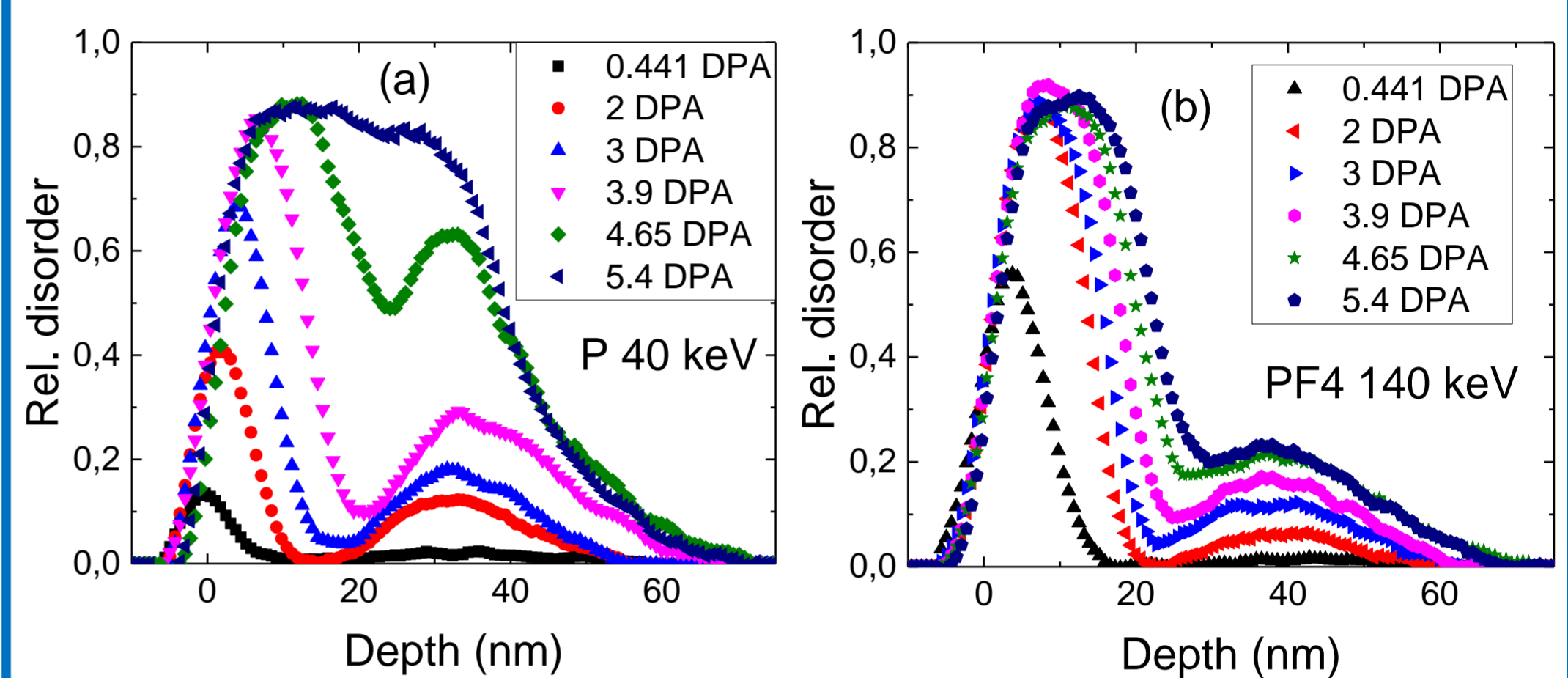


Рис. 2. Профили относительного разупорядочения  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  после облучения ионами (a) P 40 кэВ (b) PF<sub>4</sub> 140 кэВ до указанных доз.

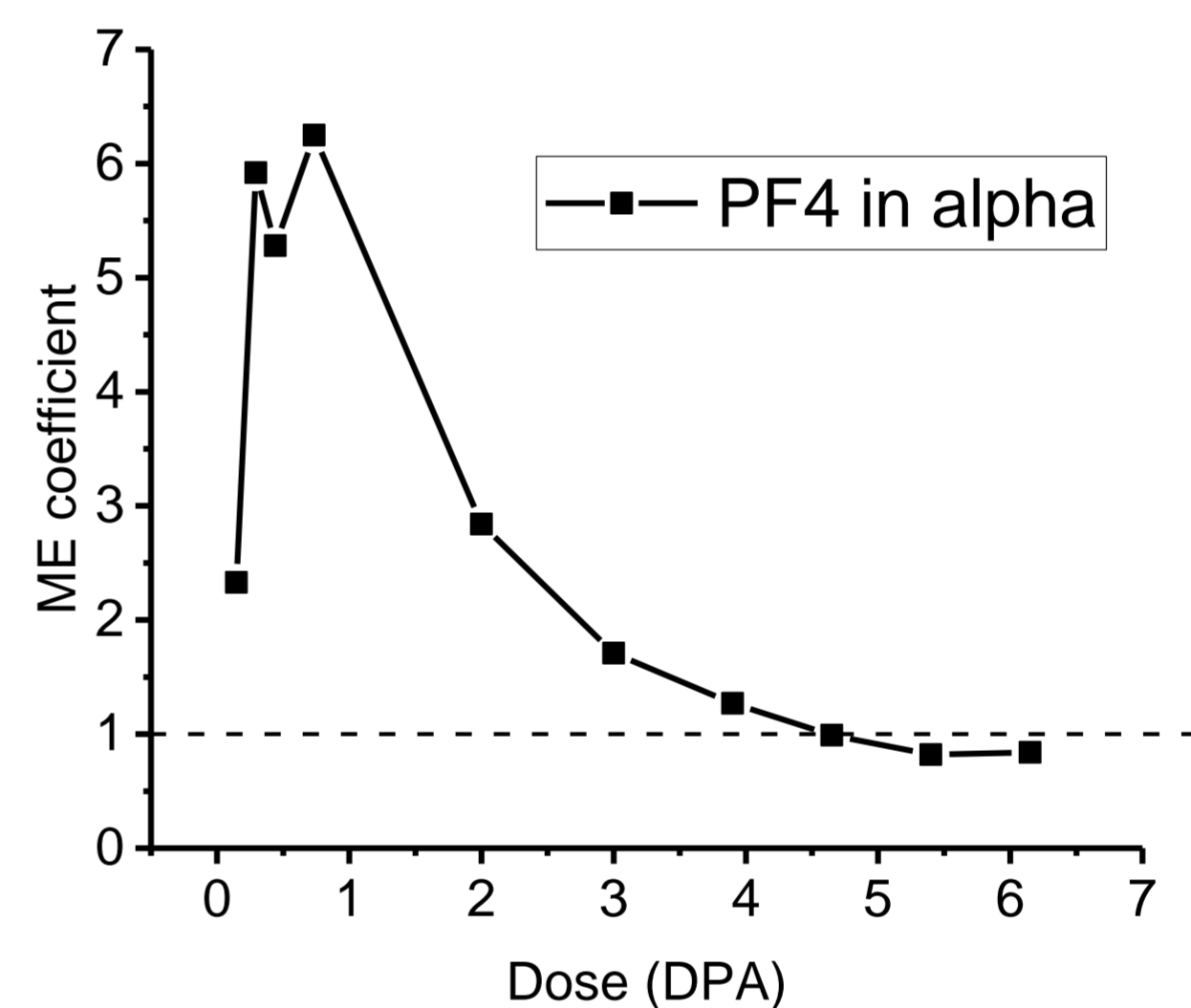


Рис. 3. Зависимость коэффициента молекулярного эффекта от дозы облучения, полученная исходя из толщин разупорядоченных слоев на рис. 2.

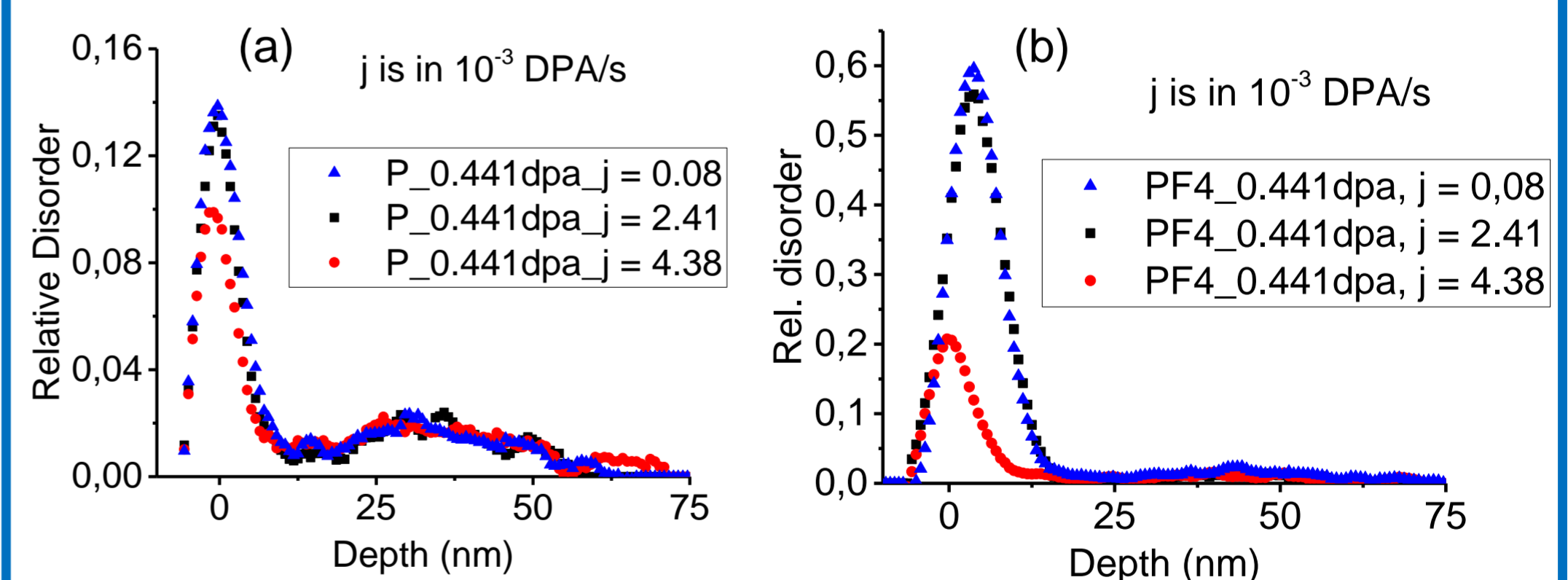


Рис. 4. Профили относительного разупорядочения  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  после облучения ионами (a) P 40 кэВ (b) PF<sub>4</sub> 140 кэВ до дозы 0.441 ДПА при указанных плотностях тока (в 10<sup>-3</sup> ДПА/с).

## Заключение

- Характер радиационных повреждений в  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  носит бимодальный характер – с образованием поверхностного и объемного пиков повреждений. Последний растет вплоть до уровня насыщения и смещен вглубь по сравнению с максимумом генерации первичных дефектов. Такой характер дефектообразования сравним с таковым в GaN.
- Обнаружен молекулярный эффект, проявляющийся в усиленном образовании поверхностного разупорядоченного слоя при облучении  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  молекулярными ионами по сравнению с атомарными.
- Показано, что накопление повреждений в  $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$  зависит от плотности тока, причем в рамках рассмотренных плотностей эта зависимость обратная – при большей плотности обнаружены меньшие повреждения.

1. S.O. Kucheyev, et al. // J. Phys. D, 2009, **42**, 085309.

2. Ziegler J.F., SRIM-2013 software package, available online at <http://www.srim.org>.