

## Анализ дефектной структуры монокристаллов карбида кремния с помощью обработки изображений поверхности кристаллов методом нейронных сетей

*А.В. Брагин<sup>1</sup>, М.В. Логунов<sup>1,2</sup>, Д.В. Пьянзин<sup>1</sup>, Р.И. Сидоров<sup>1</sup>, Д.А. Скворцов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>НИУ «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

<sup>2</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва

Для надежной работы полупроводниковых приборов на основе карбида кремния необходимо обеспечить выполнение высоких требований к качеству монокристаллов карбида кремния и изготавливаемых из них подложек. Наличие дефектов в подложках и эпитаксиальных слоях является одним из основных факторов, ограничивающих быстрое развитие приборов на основе карбида кремния [1,2]. Для получения информации о дефектах кристаллов и разработки технологических приёмов снижения их плотности необходимо проводить детальный анализ площади поверхности монокристаллов и подложек, особенно на этапе подготовки к эпитаксии. Наряду с использованием технически сложных рентгеновских и фотоэмиссионных методов [3], карту распределения дефектов по поверхности кристаллов можно получить с помощью анализа микрофотографий протравленной поверхности образцов [4]. В то же время анализ множества микрофотографий весьма трудоёмок.

В данной работе предлагается методика анализа дефектной структуры подложек карбида кремния на основе сочетания методов оптической микроскопии и цифровой обработки изображений поверхности кристаллов на базе метода нейронных сетей [5]. Методика включает в себя:

- проведение селективного травления карбида кремния в расплаве щелочи [4];
- сканирование и регистрация мозаичным методом с помощью оптического микроскопа изображений поверхности исследуемого образца;
- цифровая обработка и объединение полученных изображений;
- распознавание и классификация дефектов карбида кремния (пронизывающие винтовые и краевые дислокации – TSD, TED, дислокации базисной плоскости – BPD) на цифровых изображениях с помощью метода нейронной сети [5]. Распознавание проводится на базе разработанной нейронной сети и включает стадию обучения сети с учетом информативных признаков дефектов, расчета кросс-энтропии, подстройки весов сети с использованием метода шкалированных связанных градиентов.

Полученная информация о распределении дефектов на поверхности исследуемых образцов, полученных при различных условиях роста, используется для классификации дефектов и выяснения причин их возникновения в монокристаллах карбида кремния.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках госзадания, проект № 2980 «Синтез и обработка монокристаллов карбида кремния для создания приборов силовой электроники на его основе».

### Литература

1. *Фадеев А.Ю., Лебедев А.О., Таиров Ю.М.* О росте монокристаллов карбида кремния политипа 4H на затравках с плоскостью (1122) // Физика и техника полупроводников. 2012. Т. 46. С. 1368.
2. *Logunov M., Neverov V., Mamin B., Skvortsov D., Sidorov R.* Study of Nanoscale Inhomogeneities in Silicon Carbide Crystals via Small-Angle X-Ray Scattering // Materials Science Forum. 2016. V. 858. P. 349.
3. Официальные сайты компаний – производителей оборудования для исследования структуры монокристаллов: RIGAKU, URL: <http://www.rigaku.com>; KLA-Tencor, URL: <http://www.kla-tencor.com>.
4. *Sakwe S.A., Muller R., Wellmann P.J.* Optimization of KOH etching parameters for quantitative defect recognition in n- and p-type doped SiC // J. Crystal Growth. 2006. V. 289. P. 520.
5. *Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А. и др.* Новейшие методы обработки изображений // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.