

## Экспериментальные и теоретические исследования дифракционного контраста в кристалле кремния с применением метода рентгеновской топо-томографии

*Д.А. Елфимов<sup>1,2</sup>, Д.А. Золотов<sup>1</sup>, В.Е. Асадчиков<sup>1</sup>, А.В. Бузмаков<sup>1</sup>, Ф.Н. Чуховский<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, elfimow.den2011@yandex.ru

На современном этапе развития микро/нанoeлектроники, создание новых высокоэффективных полупроводниковых и микроэлектронных устройств на основе кремния предъявляет определенные требования к методам диагностики дефектов в исходных кристаллических материалах. Одним из неразрушающих методов диагностики как ростовых, так и технологически внесенных в кристалл дефектов является метод рентгеновской топо-томографии [1, 2]. В этом методе выбирается ось вращения кристалла, параллельная вектору обратной решетки одной из кристаллографических плоскостей исследуемого образца. С помощью SSD камеры регистрируется целый набор дифракционных изображений вращающегося кристалла, соответствующих рентгенотопографическим 2D изображениям образца. Для восстановления трехмерного расположения дефектов в образце можно, в принципе воспользоваться математическими алгоритмами, применяемыми в классической рентгеновской микротомографии [2].

В настоящей работе на лабораторной установке методом рентгеновской топо-томографии получены экспериментальные топограммы с пространственным разрешением порядка 10 мкм и проведено восстановление пространственного расположения введенной в кристаллическую пластину кремния дислокационной полупетли [3]. Глубина залегания центрального участка дислокации не превышает 150 мкм, а его длина ~ 700 мкм. На основе решения динамических уравнений Такаги-Топена проведено компьютерное моделирование дифракционного контраста единичной дислокационной полупетли [4].

Показано, что результаты расчетов и данные эксперимента находятся в хорошем согласии друг с другом.

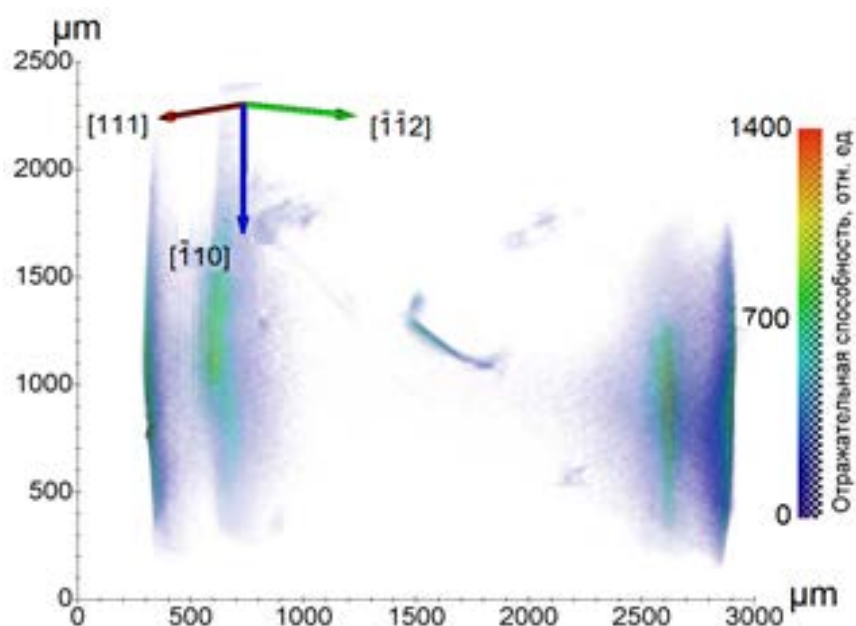


Рис.1. Результат восстановления отражательной способности кристалла кремния, содержащего единичную дислокационную полупетлю. Показана плоскость скольжения дислокации типа  $\{111\}$ .

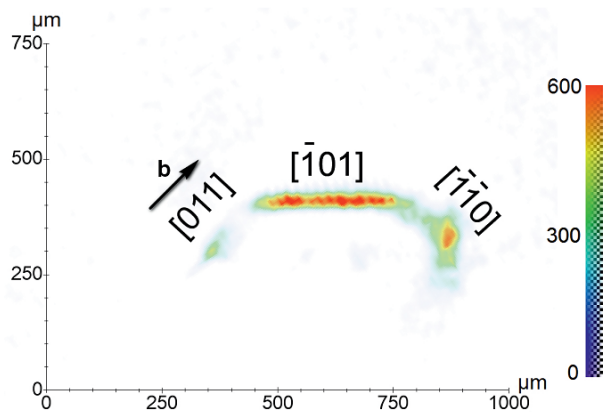


Рис. 2. Сечение плоскости скольжения, в которой расположен дефект. В квадратных скобках показаны направления линий дислокации. Стрелкой указано направление вектора Бюргерса. Пространственное разрешение на уровне 10 мкм.

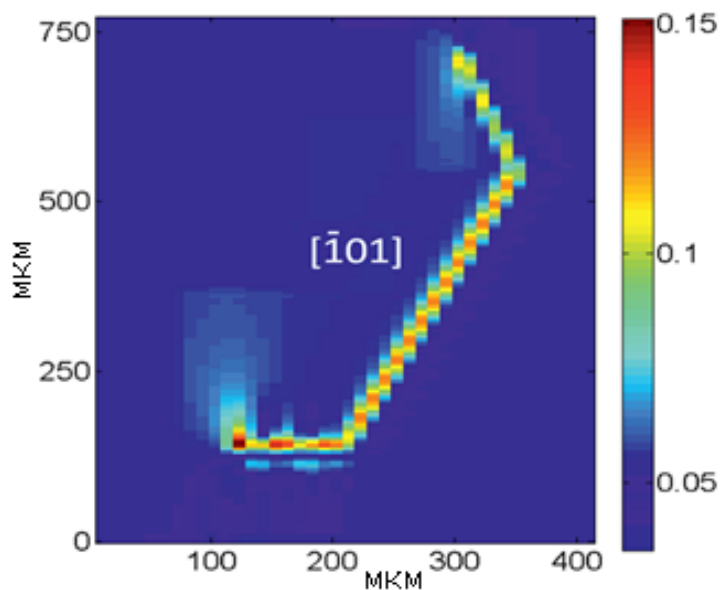


Рис. 3. Результат компьютерного моделирования контраста от заданной дислокационной полупетли. В квадратных скобках указано направление линии дислокации для ее центрального участка.

## Литература

1. Ludwig W., Cloetens P., Härtwig J. et al. "Three-dimensional imaging of crystal defects by topo-tomography". J. Appl. Cryst., 34, pp. 602-607, 2001.
2. Zolotov D.A., Buzmakov A.V., Asadchikov V.E. et al. "Study of the internal structure of lithium fluoride single crystal by laboratory X-ray topo-tomography". Cryst. Rep., 56, pp. 393-396, 2011.
3. Золотов Д. А., Бузмаков А. В., Елфимов Д. А., Асадчиков В. Е., Чуховский Ф. Н.. Возможность выявления пространственного расположения одиночных дислокаций методом топо-томографии на лабораторных установках. // Кристаллография, 2017, том 62, № 1, с. 24–28.
4. Беседин И.С., Чуховский Ф.Н., Асадчиков В.Е. Исследование дифракционного контраста дислокаций в рентгеновской топо-томографии. Компьютерное моделирование и анализ изображений. // Кристаллография, 2014, том 59, № 3, с. 365-373.