

# Физика конденсированных состояний



## ТЕЗИСЫ

**III Международной конференции  
«Физика конденсированных состояний» ФКС-2023,  
посвященной 60-летию ИФТТ РАН**

**Черноголовка, 29 мая – 2 июня 2023 г.**

## РЕНТГЕНОВСКАЯ КОГЕРЕНТНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОЧТИ СОВЕРШЕННЫХ КРИСТАЛЛОВ

В. Г. Кон<sup>1</sup>, Т. С. Аргунова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, г. С.-Петербург, Россия, [argunova@mail.ioffe.ru](mailto:argunova@mail.ioffe.ru)

Рентгеновские методы визуализации, использующие яркость синхротронного излучения (СИ) источников третьего поколения с малым эмиттансом, интенсивно развиваются отечественными и зарубежными учеными. Эти методы позволяют проникать в микро- и наноструктуру твердых тел, в том числе почти совершенных кристаллов, благодаря высокой поперечной когерентности СИ. Ранее было показано, что нанофокусировка с помощью планарной составной преломляющей линзы (СПЛ) создает вторичный источник СИ с малым поперечным размером на небольшом расстоянии от объекта [1]. В работе [2] метод рентгеновской микроскопии с использованием нанофокусировки [1] был применен для расчета изображений двумерного фотонного кристалла с периодом 0.5 мкм. В данной работе продемонстрировано возможное применение идентичной идеи – нанофокусировка в сочетании с фазовым контрастом – для изображения микропор в кристаллах в ближнем поле.

Известно, что условие ближнего поля реализуется только на небольшом расстоянии  $z$  от образца. Реальный размер  $D$  микропоры в монокристалле коррелирует с размером изображения при выполнении условия:  $2r_1 \ll D$ , где  $r_1 = (\lambda z)^{1/2}$  – радиус первой зоны Френеля для длины волны  $\lambda$ . На самом деле, поперечный размер микротрубки ( $D \approx 2$  мкм) равен расстоянию между первыми минимумами интерференционной картины для критического расстояния  $z_c \approx z/10$  [3]. При этом размер экспериментального изображения очень мал, заметно меньше предела разрешения ПЗС детекторов.

Однако есть другая возможность реализовать режим ближнего поля. В безлинзовом методе фазово-контрастного изображения на просвет (ФКИ) [4] расстояние от образца до детектора  $z$  всегда меньше расстояния от источника СИ до образца:  $z \ll Z$ . При обратном соотношении  $z \gg Z$  изображение соответствует условию ближнего поля. В то же время увеличивается размер проекции источника, в результате чего мелкие микропоры не разрешаются методом ФКИ. Для реализации схемы, обладающей высоким разрешением, требуется вторичный источник СИ, который можно создать с помощью СПЛ. В этом случае, свойства изображения практически не зависят от расстояния до детектора  $z$  и определяются расстоянием между вторичным источником и объектом. Кроме того, размер изображения намного больше объекта; и ПЗС детектор среднего разрешения вполне подходит для работы в режиме ближнего поля.

Компьютерный эксперимент был выполнен с помощью программы XRWP2 (X-ray Wave Propagation 2D) [5], основанной на теории фазово-контрастного изображения трехмерных объектов. В качестве последних рассмотрены сферические поры в почти совершенных кристаллах сапфира и микротрубки в карбиде кремния.

[1] V.G. Kohn, T.S. Argunova. Phys. Status Solidi B **259** 2100651 (2022)

[2] В.Г. Кон. Кристаллография **67** 892 (2022)

[3] T.S. Argunova, V.G. Kohn. Materials **15** 856 (2022)

[4] Т.С. Аргунова, В.Г. Кон. УФН **189** 643 (2019)

[5] V.G. Kohn. Available online: <http://xray-optics.ucoz.ru/XR/xrwp.htm>