

Особенности дифракции рентгеновского излучения в геометрии отражения при механическом изгибе кристалла

И.А.Смирнова¹, Э.В.Суворов¹

¹ Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН, 142432 Черноголовка, Россия

С момента появления синхротронного излучения изогнутые кристаллы стали применяться в различных областях. К ним относятся полихроматоры для рентгеновской абсорбционной спектроскопии, монохроматоры с сагитальной фокусировкой и двух-кристалльные системы. В рентгеновских спектрометрах со средним или высоким энергетическим разрешением в качестве кристаллических анализаторов также часто используются изогнутые кристаллы. С помощью таких кристаллов можно фокусировать или коллимировать рентгеновские лучи, а также расширять их спектральную ширину для получения более высокого потока.

Оптическая конструкция изогнутых монохроматоров на основе кристаллов обычно разрабатывается с использованием методов, основанных на приближении геометрической оптики, в которых в основном учитывается распространение лучей внутри кристалла. Динамическая теория Такаги - Топэна часто используется для более точного объяснения оптических характеристик изогнутых кристаллов. Аналитические решения существуют лишь для цилиндрически изогнутого кристалла, которое может быть выражено с использованием сливающихся гипергеометрических функций.

Анализаторы Брэгга на основе кремния или германия, как правило, приклеиваются к подложкам из кварцевого стекла с изогнутой поверхностью, в то время как у анализатора Лауэ нет подложки. Пластины кристалла изгибаются приложением момента сил специальным механизмом изгиба. Кристалл изгибается цилиндрически или сферически с постоянным радиусом изгиба вдоль длины.

В данной работе кристалл закреплен на одном конце и изгибается поперечной силой, приложенной к другому концу. В этом случае, согласно элементарной теории упругости, формулы для кривизны изогнутой оси кристалла имеют такой же вид, что и в случае чистого изгиба: $1/R = M / (EI)$, (R - радиус изгиба, E - модуль Юнга, I - момент инерции). Только в данном случае изгибающий момент M меняется по длине оси кристалла и равен $M = -Pz$, где P - приложенная сила. На рис.1 показана принципиальная геометрия эксперимента. Было сконструировано устройство, которое позволяет изгибать кристаллы длиной 60 мм, шириной до 10 мм. Образец зажимается с одного конца, а свободный конец можно отклонять на известное смещение p . Кристалл кремния толщиной 0,66 мм, был вырезан из пластины 001- типа таким образом, что направления длины (z) и ширины (x) были параллельны кристаллографическим направлениям $[110]$ и $[-110]$.

Как известно, в секционной топографии в геометрии отражения в случае цилиндрически изогнутого кристалла наблюдаются интерференционные "деформационные" полосы или полосы муара. По по-

ложению первого максимума и периоду интерференционных полос можно определить радиус изгиба, период полос увеличивается при увеличении радиуса изгиба [1].

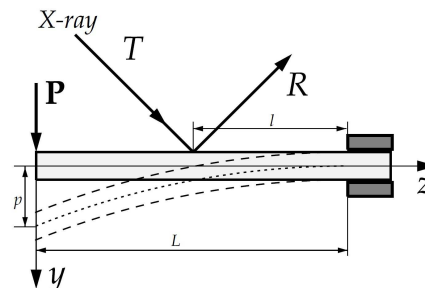


Рис. 1. Геометрия дифракции

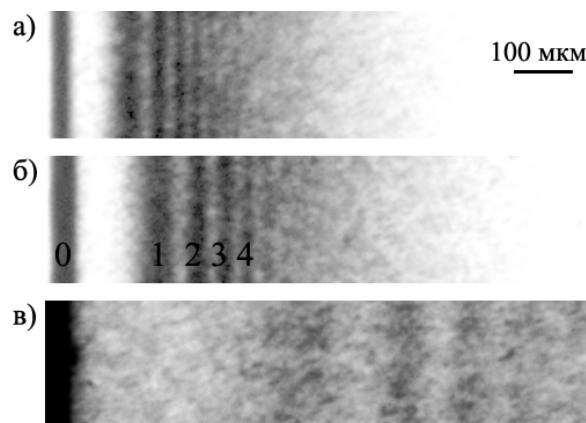


Рис. 2. Фрагменты секционных топограмм, $\text{MoK}_{\alpha 1}$, отражение $\text{Si}(004)$, $p = 465$ мкм, $L = 45$ мм, положение пучка на поверхности кристалла l равно: а) 7.4, б) 25.9, в) 40.7 мм.

На секционных топограммах рисунка 2, видно, что и в случае параболически изогнутого кристалла можно наблюдать интерференционные полосы. Период полос не меняется по всей ширине кристалла, на рисунке представлены только короткие фрагменты топограмм. Для всех трех рисунков нагрузка была постоянна, отличается только положение пучка на кристалле. Период интерференционных полос минимален, когда рентгеновский пучок падает вблизи точки крепления образца. Предварительный анализ изображений с помощью численного моделирования дифракционного эксперимента по уравнениям Такаги - Топэна показал соответствие эксперимента и теории. Таким образом, представленное устройство изгиба позволяет изгибать кристалл с контролируемым переменным радиусом изгиба, что может быть использовано для тестирования анализаторов рентгеновского излучения.

1. Смирнова, Э.В. Суворов, Е.В. Шулаков ФТТ, (2011), 53, 35- 40.