

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ДИФРАКЦИОННОЙ ФОКУСИРОВКИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

Э.В. Суворов, В.И. Половинкина

Экспериментально обнаружена дифракционная фокусировка волнового поля в дважды дифрагированном узкоколлимированном рентгеновском пучке. Выявлена тонкая структура дифракционных пучков в П-образном интерферометре.

Показатель преломления любого вещества для рентгеновского диапазона длин волн практически не отличается от единицы. Поэтому в рентгенооптических системах применяются лишь отражательные линзы. В последние годы, однако, начали вырисовываться [1] реальные перспективы построения рентгеновских дифракционных линз. Так в [2] было предсказано явление стягивания рентгеновского волнового поля при двойной дифракции узкоколлимированных пучков на двухкристалльных интерферометрах, которое может найти применение в различных рентгено-оптических системах. Процессы, протекающие при разделении волновых полей на границах раздела и последующей интерференции, представляют большой интерес еще и потому, что они играют определяющую роль в формировании рентгеновского дифракционного изображения дефектов кристаллической решетки [3 – 7].

Падающий на совершенный кристалл в точном брэгговском положении узкий параллельный рентгеновский пучок, в отличие от светового, внутри образца приобретает угловую расходимость. Волновое поле распределяется по всей палатке Бормана с углом при вершине равным  $2\theta$  (здесь  $\theta$  – брэгговский угол). На поверхности выхода поле расщепляется на пучок проходящий –  $E_0$  и отраженный –  $E_1$ , имеющие для случая тонкого кристалла ( $\mu t \leq 1$ ) ширину, равную основанию палатки Бормана

$$\Delta x = 2z \operatorname{tg} \theta + \delta, \quad (1)$$

где  $z$  – толщина кристалла;  $\delta$  – ширина первичного пучка. Внутри палатки волновое поле является суперпозицией волн, прошедших и дифрагированных. Интенсивность на выходе из кристалла распределена внутри  $\Delta x$  в виде системы интерференционных полос. На рис. 1 приведена топограмма дифрагированного пучка  $E_1$ . Как показали эксперименты [8] характер распределения интенсивности хорошо описывается функциями влияния типа

$$g(x, z) = \frac{1}{2} I_0 [(\chi_H/2) \sqrt{z^2 - x^2}] \theta(z) [\theta(x+z) - \theta(x-z)] \quad (2)$$

для краевой задачи, рассмотренной в [9, 10]. Здесь  $I_0(x)$  – функция Бесселя нулевого порядка,  $\chi_H$  – поляризуемость кристалла,  $\theta(z)$  –

ступенчатая функция Хевисайда,  $x, z$  – нормализованные координаты в плоскости рассеяния [ 1].

Если такой пучок подвергнуть дифракции вторично на кристалле, идентичном первому, то, как было предсказано в [ 2], должно произойти стягивание поля до первоначальной ширины  $\delta$  падающего пучка.

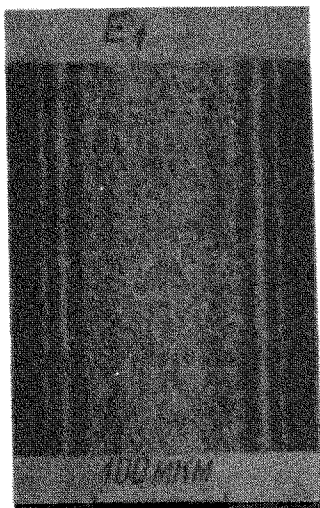


Рис. 1. Распределение интенсивности в дифрагированном пучке (отражение (224),  $z = 452$  мкм,  $\delta = 10$  мкм, излучение  $Mo K_{\alpha}$ )

В настоящей работе впервые экспериментально получена и исследована тонкая структура дифракционных пучков в П-образном интерферометре для случая узкоколлимированного падающего пучка. Кристалл – интерферометр был вырезан из бездислокационного кремния перпендикулярно оси роста  $\{111\}$  и отполирован механически и химически. Размеры кристалла и геометрия показаны на рис. 2,а. Съемка проводилась на камере А-3 на рентгеновском аппарате RU-3НМ фирмы Rigaku Denky на излучении  $Mo K_{\alpha}$ . На рис. 2,б показано распределение интенсивности в пучках  $E_{11}$ ,  $E_{01}$ ,  $E_{10}$ . Пучок  $E_{11}$  – дифрагированный в первом кристалле и прошедший во втором,  $E_{10}$  – наоборот, отраженный в первом и прошедший во втором кристалле; и, наконец, пучок  $E_{01}$  – отраженный в обоих кристаллах. Интенсивность в пучке  $E_{11}$ , осциллируя, возрастает в направлении вектора дифракции  $k_H$ , а в  $E_{10}$  – соответственно убывает. В середине палатки Бормана оба пучка имеют максимум интенсивности шириной около 20 мкм.

Дважды дифрагированный пучок имеет яркий максимум в середине (сфокусированный в плоскости отражения) и слабые (на несколько порядков меньше центрального пика) осцилляции по всему пучку. Центральный максимум шириной около 20 мкм сопровождаются два более слабых пика (на рис.2,б они сливаются с основным).

Общий характер распределений интенсивности в  $E_{11}$ ,  $E_{10}$ ,  $E_{01}$  совпадает с предсказанным в [ 2], однако, экспериментально наблюдаемая картина сложнее. Центральный пик на всех топограммах сопровождаются сателлиты, что приводит к заметному уширению пиков на снимках рис. 2,б, так как для выявления тонкой структуры изображения топограммы сильно переэконтрастены. Появление дополнительных пиков, по-видимому, может быть связано с неоднородностью пластин по тол-

щине (точность изготовления интерферометра ограничена), с неоднородностью распределения примесей по объему кристалла и пр.

На топограммах, и, особенно, на микрофотометрических записях наряду с экстинкционными осцилляциями хорошо заметны биения с большим периодом. Этот эффект может быть связан с биениями интенсивности в пучках  $E_0$ ,  $E_1$  (см. рис. 1), которые обусловлены отсутствием преимущественной поляризации в первичном пучке  $E^0$  [8, 11].

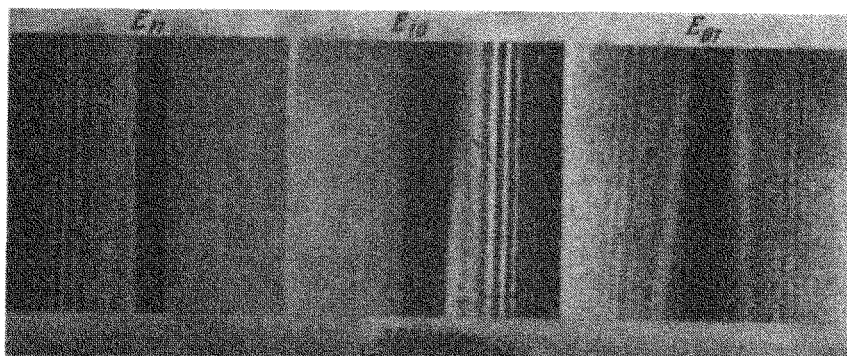
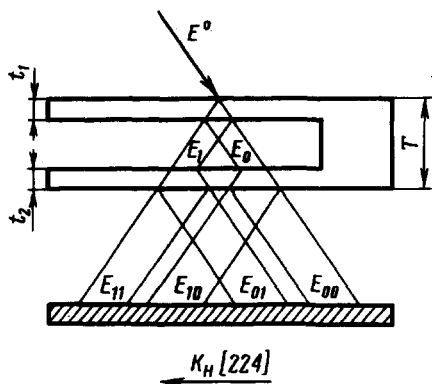


Рис. 2. а – Геометрия интерферометра; б – топограммы пучков  $E_{11}$ ,  $E_{10}$ ,  $E_{01}$  (отражение (224), излучение  $Mo K_{\alpha}$ )

Приведенный эксперимент подтверждает основные результаты, сказанные в работе [2] и, в частности, появление дифракционной фокусировки в дважды дифрагированном пучке. Однако, для понимания ряда деталей тонкой структуры изображений необходимы дальнейшие исследования.

Авторы выражают глубокую благодарность В.Л.Инденбому и В.И. Никитенко за инициирование настоящей работы и полезные обсуждения.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
12 июля 1974 г.

#### Литература

- [1] В.И.Инденбом, Ф.Н.Чуховский. УФН, 107, 229, 1972.  
[2] В.Л.Инденбом, И.Ш.Слободецкий, К.Г.Труни. ЖЭТФ, 66, 1110, 1974.

- [3] A. Authier, D. Simon. *Acta Cryst.*, **A24**, 517, 1968.
- [4] N. Kato, K. Usami, Katagawa *Advances in X-ray analysis*, **10**, 46, 1967.
- [5] В.И. Инденбом, Ф.Н. Чуховский. *Кристаллография*, **19**, 35, 1974.
- [6] В.И. Инденбом, И.Ш. Слободецкий. *Кристаллография*, **19**, 42, 1974.
- [7] Э.В. Суворов, В.И. Половинкина, В.И. Никитенко, В.Л. Инденбом. *Phys. Stat. Sol.* (в печати); Препринт ИФТТ АН СССР, 1974 г.
- [8] Э.В. Суворов, В.И. Половинкина, В.И. Никитенко. *ФТТ*, **13**, 12962, 1971.
- [9] И.Ш. Слободецкий, Ф.Н. Чуховский, В.Л. Инденбом. *Письма в ЖЭТФ*, **8**, 90, 1968.
- [10] И.Ш. Слободецкий, Ф.Н. Чуховский. *Кристаллография*, **15**, 1101, 1970.
- [11] M. Hart, A. D. Milne. *Phys. Stat. Sol.*, **26**, 185, 1968.
-