

$$J_{max} = 2 \left(\frac{E_{гис} \cdot E}{E_a \cdot E_b} \right)^{1/2} \frac{m_a + m_b}{\left| m_b \frac{\partial \theta_a}{\partial \rho_a} + m_a \frac{\partial \theta_b}{\partial \rho_b} \right|}, \quad (13)$$

а вероятность этого процесса вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{J_{max}}{\pi}.$$

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Парипис Э.С., Кишиневский Л.М. и др. // Атомные столкновения в газах и на поверхности твердого тела. Ташкент, Фан, 1988. С. 58-59.
- [2] Битенский И.С., Парипис Э.С. // Труды УП Всесоюзной конф. по взаимодействию атомных частиц с твердым телом. Минск, 1984. С. 3-4.

Поступило в Редакцию
15 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 23

12 декабря 1990 г.

07; 12

© 1990

ДИНАМИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В СЛУЧАЕ СТУПЕНЧАТОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА

В.В. А р и с т о в, А.В. К у ю м ч я н,
А.А. С н и г и р е в

Область рентгеновской оптики как для мягкого, так и жесткого диапазона волн быстро развивается в последние годы. Аналитическое решение этих задач в коротковолновом диапазоне сложнее, потому что надо учитывать, динамические эффекты. В этой области появился ряд работ [1-5], которые, с одной стороны, открывают новые возможности для решения диагностических задач, с другой стороны, позволяют создавать новые рентгенооптические элементы, с помощью которых можно коллимировать, фокусировать, модулировать, а также управлять модулированным излучением.

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты исследования динамической дифракции рентгеновских лучей в случае периодического ступенчатого рельефа на поверхности кристалла Si.

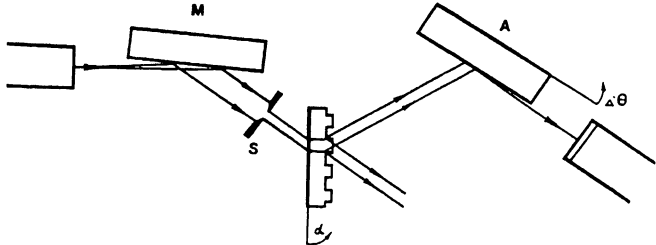


Рис. 1. Схема эксперимента ТРД, $Si(220)$, CuK_2 - излучение.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные измерения проводились на трехкристальном спектрометре методом трехкристальной развертки. Разрушающую способность метода трехкристальной рентгеновской дифрактометрии (ТРД) можно повысить, если использовать асимметричный монохроматор и анализатор. К основным работам метода ТРД относятся случаи БББ (Брэгг-Брэгг-Брэгг) [1-5], но, как показано в работах [6-8], для исследования некоторых эффектов более эффективным будет использование БЛБ (Брэгг-Лауэ-Брэгг) схемы. Схема эксперимента показана на рис. 1. Рентгеновский пучок с излучением CuK_α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) отражается от асимметричного монохроматора $Si(220)$ с фактором асимметрии $b_1 = 40$, далее коллимируется щелью шириной $S = 400 \text{ мкм}$ и высотой 2 мм и падает на исследуемый кристалл. После второго кристалла пучок отражается от асимметричного кристалла анализатора $Si(220)$ с фактором асимметрии $b_2 = 50$.

В эксперименте в качестве дифракционной решетки использовался бездислокационный кристалл кремния толщиной $t = 440 \text{ мкм}$, на поверхности которого сделан ступенчатый рельеф с высотой 7 мкм и периодом 4 мкм.

На рис. 2, а приведен спектр ТРД, где исследуемый образец находится в точном брэгговском положении ($\alpha = 0^\circ$), а угловая сканировка приводится с помощью кристалла анализатора ($-25^\circ \leq \Delta\theta \leq 25^\circ$). Хорошо видны дополнительные пики, соответствующие дифракционным максимумам до третьего порядка. Угловое положение сателлитов соответствует кинематическому выражению

$$\delta_n = n\lambda / 2d_0 \cos \theta, \quad n = 1, 2, \dots,$$

где δ_n - угловое расстояние между сателлитами.

Появление дифракционных максимумов можно объяснить следующим образом: плоская волна, отражаясь по Лауэ от исследуемого образца, получает некую разность фаз, так как выходная поверхность образца имеет ступенчатую форму. Теперь, поскольку таких ступенек много (порядка 10^2), отраженные волны от дифракционно-фазной решетки, распространяясь в вакууме (до анализатора), интерпретируют между собой, и в результате на спектрах ТРД появляются максимумы и минимумы. Исследуемый кристалл отклоняется от Брэгговского положения для получения дополнительной информации

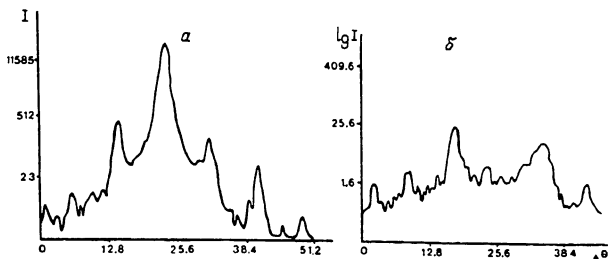


Рис. 2. Экспериментальные дифракционные спектры ТРД. а - $\alpha = 0''$, б - $\alpha = -10''$.

о совершенстве образца. При этом, кроме главного пика появляется псевдопик (рис. 2, б). Угол отклонения второго кристалла от точного Брэгговского положения $\alpha = -10''$.

Угловое положение псевдопика и главного пика соответственно определяются из следующих равенств:

$$\Delta\theta_r = \alpha, \quad \Delta\theta_n = \alpha(1 - \gamma_{02}/\gamma_{0h}) \quad [8],$$

$$\text{где } \gamma_{02} = \vec{n}_{02} \vec{S}_{02}, \quad \gamma_{0h} = \vec{n}_{02} \vec{S}_{0h},$$

так как отражающие плоскости перпендикулярны к поверхности исследуемого кристалла ($\Delta\theta_n = 0''$). Когда рельеф находится на входной поверхности, дополнительные максимумы на спектрах ТРД не возникают. Так как кристалл толстый ($t = 440$ мкм), интерферирующие волны поглощаются внутри кристалла.

Результаты эксперимента показывают: если кристалл совершенный и достаточно толстый ($t \approx 300$ мкм излучение $\text{CuK}\alpha$), то при отклонении исследуемого кристалла от точного Брэгговского положения главный пик исчезает, и появляется псевдопик. На первый взгляд это явление кажется странным, но так как интенсивность главного пика представляет из себя произведение „хвоста“ КДО второго кристалла на максимум первого, становится ясно: в эксперименте исследуемый кристалл толстый (имеет место почти Борман прохождение), интенсивность „хвостов“ КДО поглощается, в результате интенсивность главного пика стремится к нулю.

При слабых деформациях совершенного кристалла ($\alpha \neq 0''$, $\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \sim 10^{-5}$) опять получается главный пик. Появление главного пика объясняется тем, что КДО исследуемого кристалла становится шире, т.е. интенсивность „хвоста“ отличается от нуля. Результаты эксперимента показывают: если исследуемый кристалл совершенный плоскопараллельный и тонкий ($t = 150$ мкм, излучение $\text{CuK}\alpha$) опять появляются главный и псевдопики. Этот результат очевиден, так как КДО становится шире при уменьшении толщины исследуемого образца ($t = 60$ мкм) на спектрах ТРД получается только один широкий пик.

Как уже отмечалось, если исследуемый кристалл совершенный, плоскопараллельный, недеформированный и толстый ($t = 440$ мкм, излучение $CuK\alpha$) появляется только псевдо пик, но как показано на рис. 2, б на спектрах ТРД появляется как псевдо, так и главный пики. Это явление можно объяснить тем, что периодически ступенчатый рельеф, сделанный на выходной поверхности исследуемого образца, расширяет КДО исследуемого образца.

Полученные результаты дают возможность исследовать степень совершенства кристалла как в объеме, так и в приповерхностной области. Они открывают возможность создания новых рентгенооптических элементов (многоблочный интерферометр [9]).

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] A r i s t o v V.V., E r k o A.I., N i k u l i n A.Yu., S n i g i r e v A.A. // Opt. Commun. 1986. V. 58. N 5. P. 300-302.
- [2] A r i s t o v V.V., N i k u l i n A.Yu., S n i g i r e v A.A., Z a u m s e i l P. // Phys. Stat. Sol. 1986 V.(a). 95. P. 81-84.
- [3] A r i s t o v V.V., S n i g i r e v A.A., B a s o v Yu.A., M i k u l i n A.Yu. // AIP Conf. Proc. 1986. V. 147. P. 253-256.
- [4] А р и с т о в В.В., К у з н е ц о в С.М., Н и к у л и н А.Ю., С н и г и р е в А.А. // Поверхность. 1988. № 6. С. 41-45.
- [5] А р и с т о в В.В., К у ю м ч я н А.В., С н и г и р е в А.А. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 17. С. 1545-1548.
- [6] К а з и м и р о в А.Б., К о в а л ь ч у к М.В., К о н В.Г. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 16. С. 982-985.
- [7] А р и с т о в В.В., К у ю м ч я н А.В., С н и г и р е в А.А., С у в о р о в А.Ю. // 1У Всесоюзное совещание по когерентному взаимодействию излучения с веществом. Юрмала, 1988. 380 с.
- [8] Z a u m s e i l P., W i n t e r U. // Phys. Stat. Sol. 1982. V.(a)73. P. 455-466.
- [9] H a r t M. // Rep. Prog. Phys. 1971. V. 34. P. 435-490.

Поступило в Редакцию
15 октября 1990 г.