

## НАБЛЮДЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИФFUЗНОМ РАССЕЙНИИ НЕЙТРОНОВ МЕТОДОМ ТРЕХКРИСТАЛЬНОГО СПЕКТРОМЕТРА

*Ю.Г.Абов, А.О.Эйдлин, Д.С.Денисов, Н.О.Елютин, С.К.Матвеев.*

*Московский инженерно-физический институт  
115409 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 3 января 1996 г.

Для малодислокационных кристаллов Ge обнаружены аномальные угловые зависимости интенсивности упругого диффузного рассеяния нейтронов, свидетельствующие о динамическом характере рассеяния в окрестности узла обратной решетки.

PACS 61.12.Gz

Дифракция тепловых нейтронов на идеальных кристаллах, как правило, хорошо описывается двухволновым приближением динамической теории [1], согласно которому излучение, падающее на кристалл вблизи от угла Брэгга, возбуждает в объеме кристалла единое самосогласованное поле, являющееся суперпозицией четырех сильных брэгговских волн. Две волны (со слегка отличными по величине и направлению волновыми векторами) распространяются в направлении нулевого узла обратной решетки, а две другие (также со слегка отличающимися волновыми векторами) – в направлении узла обратной решетки, соответствующего условиям дифракции. Интерференция этих волн является причиной известных динамических дифракционных явлений, таких как эффекты маятниковых полос, интерференционного поглощения и др. Наличие дефектов структуры усложняет картину волнового поля в кристалле: наряду с брэгговскими волнами возникает четыре диффузные волны [2]. Интерференция брэгговских и диффузных волн обуславливает динамические эффекты в диффузном рассеянии (ДР), которые не могут быть объяснены в рамках кинематической теории рассеяния [3].

В [4] исследовалась дифракция тепловых нейтронов на малодислокационных кристаллах Ge, для которых наблюдалось подавление упругого ДР при выполнении условий Брэгга для падающего излучения. Кроме того, методом брэгговской секционной типографии был обнаружен такой яркий динамический эффект, как осцилляционная зависимость пространственного распределения интенсивности ДР. Этому распределению должна соответствовать интерференционная картина в пространстве векторов передачи импульса. Целью настоящей работы являлось обнаружение этих динамических (когерентных) особенностей в импульсном распределении интенсивности ДР вблизи от узла обратной решетки.

Измерения проводились на дифрактометре [5] методом трехкристального спектрометра (ТКС) [6] (см. рис.1а), позволяющем измерять зависимость интенсивности ДР от проекции на плоскость дифракции вектора  $q = k_s - k_0 - G$ , где  $k_0$  и  $k_s$  – соответственно волновые векторы падающей и рассеянной диффузным образом волн,  $G$  – вектор обратной решетки. Использовались те же, что и в [4], образцы Ge с плотностью дислокаций  $\sim 900 \text{ см}^{-2}$ , применялось

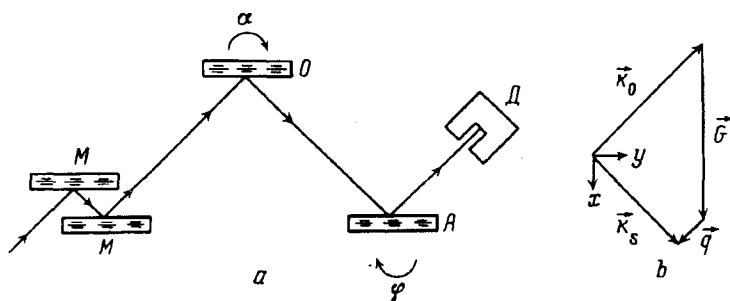


Рис.1. а - Схема трехкристального спектрометра: М - кристаллы-монокроматоры, О - образец, D - детектор; принимается, что знаки угловых смещений образца ( $\alpha$ ) и анализатора ( $\varphi$ ) положительны при вращении кристаллов по часовой стрелке; б - импульсная диаграмма диффузного рассеяния;  $\vec{k}_0$  и  $\vec{k}_s$  - волновые векторы падающего и рассеянного излучений,  $\vec{G}$  - вектор обратной решетки

симметричное отражение (1, 1, 1) по Брэггу. Длина волны нейтронов  $\lambda$  составляла 1,67 Å. Измеряемые с помощью ТКС распределения представляют из себя сумму инструментальной кривой прибора и зависимости интенсивности ДР  $I_{dif}(q_x, q_y)$ , где

$$(q_x, q_y) = \frac{2\pi}{\lambda} [\varphi \cos \theta_B, (2\alpha - \varphi) \sin \theta_B], \quad (1)$$

$\alpha, \varphi$  - соответственно угловые смещения образца и анализатора относительно угла Брэгга  $\theta_B$ , их знаки приняты положительными при вращении кристаллов по часовой стрелке, направления осей координат для векторов  $\vec{q}$  выбраны, как указано на рис.1б. При фиксированной установке образца и вращении анализатора инструментальная кривая состоит из двух пиков: главного - с максимумом при  $\varphi = 2\alpha$ , дополнительного - при  $\varphi = \alpha$ . Мощный дополнительный пик частично маскирует ДР, что не позволило в более ранних работах (например, в [7]) наблюдать динамические эффекты в угловом распределении интенсивности ДР.

В настоящей работе для подавления дополнительного пика применялось двухкратное отражение нейтронного пучка от двух совершенных кристалломонокроматоров. Аналогичный прием, основанный на применении кристалломонокроматора с пропилом, применяется в рентгеновской технике [8]. За счет двухкратного отражения в значительной мере подавляются "хвосты" углового распределения интенсивности пучка, падающего на образец, что приводит к подавлению дополнительного пика. Это видно из результатов, приведенных на рис.2а, где в измеренном распределении присутствуют только диффузный и главный пики.

На рис.2 представлены угловые распределения интенсивности, измеренные с помощью ТКС при фиксированной установке образца и вращении анализатора. Как видно из (1), в этом случае измеряемая кривая представляет из себя сечение поверхности  $I_{dif}(q_x, q_y)$  плоскостью, перпендикулярной плоскости дифракции и составляющей угол  $\theta_B$  с вектором обратной решетки  $\vec{G}$ . При  $\alpha > 0$  (согласно (1), в области  $q_x > 0$ ) измеряемое распределение  $I_{dif}(q_x, q_y)$  имеет обычный вид, то есть представлено диффузным пиком, уширенным по сравнению с когерентным главным пиком (рис.2а). При  $\alpha < 0$  распределе-

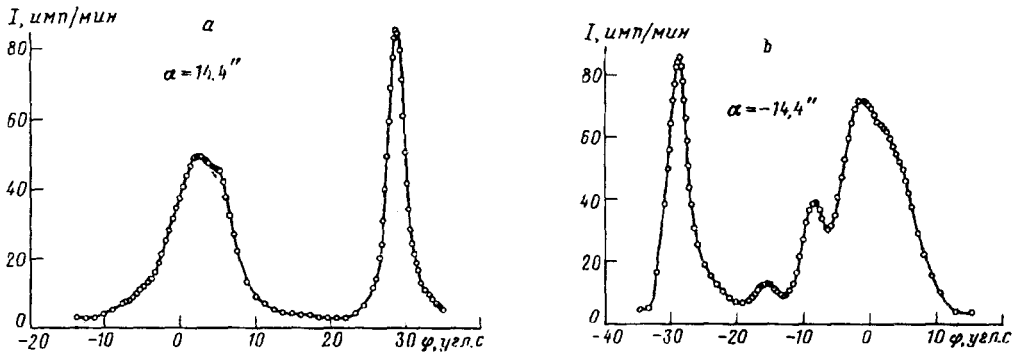


Рис.2. Угловые распределения, измеренные при фиксированной установке образца и вращении анализатора: а)  $\alpha = 14.4^\circ$ ; б)  $\alpha = -14.4^\circ$

ние интенсивности ДР имеет явно выраженный осцилляционный характер в области  $q_x < 0$ ,  $q_y < 0$  (рис.2б).

При измерениях также применялась техника ( $\theta - 2\theta$ -сканирования, когда для двух соседних измеряемых точек  $I(\alpha_i, \varphi_i)$  и  $I(\alpha_{i+1}, \varphi_{i+1})$  выполняется условие  $\varphi_{i+1} - \varphi_i = 2(\alpha_{i+1} - \alpha_i)$ , где  $i$  - номер экспериментальной точки. В этом случае, согласно (1), измеряемая кривая представляет собой сечение поверхности  $I_{dif}(q_x, q_y)$  плоскостью, перпендикулярной плоскости дифракции и параллельной вектору обратной решетки  $\mathbf{G}$  (остается постоянной проекция  $q_y = (2\pi \sin \theta_B (2\alpha - \varphi)) / \lambda$ ). При ( $\theta - 2\theta$ -съемке и использовании однократного отражения от монохроматора инструментальная линия ТКС состоит из двух пиков с максимумами при  $\alpha = 0$  (образец параллелен монохроматору) и  $\alpha = \varphi$  (образец параллелен анализатору). При условии применения двукратного отражения от монохроматоров второй из этих пиков подавляется. На рис.3 приведено угловое распределение, измеренное при  $q_y = -8.4 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}^{-1}$ . Как и в случае кривой, изображенной на рис.2б, в зависимости  $I_{dif}(q_x, q_y)$  присутствуют осцилляции в области  $q_x < 0$ ,  $q_y < 0$ .

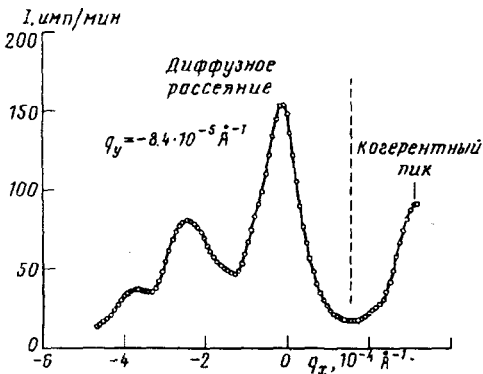


Рис.3. Распределение интенсивности диффузного рассеяния в импульсном пространстве, измеренное способом ( $\theta - 2\theta$ -сканирования при  $q_y = -8.4 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}^{-1}$  ( $2\alpha - \varphi = -18^\circ$ ))

Методом рентгеновского ТКС были проведены измерения, аналогичные описанным, при использовании излучения  $\text{CuK}_{\alpha_1}$  и рефлекса (3, 3, 3). Однако из-за

сильного поглощения рентгеновских квантов в Ge интенсивность ДР оказалась слишком малой для проведения анализа ее углового распределения.

В совокупности с результатами, полученными в [4], можно утверждать, что наблюдаемые аномалии в импульсном распределении ДР соответствуют осцилляторной зависимости интенсивности ДР, наблюдаемой в прямом пространстве, а оба эти эффекта обусловлены наличием динамического взаимодействия сильных брэгговских и диффузных волн в кристалле. Асимметрия распределений, представленных на рис.2 и 3, возможно, обусловлена преобладанием в образце дефектов вакансионного типа.

Авторы благодарны В.Т.Бублику и К.Д.Щербачеву за рентгеновские измерения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93-02-14680).

- 
1. H.Rauch and D.Petrascheck, *Dynamical Neutron Diffraction (in Topics in Current Physics)*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1979, p. 303-351.
  2. В.Б.Молодкин, *Металлофизика* **3**, 27 (1981).
  3. М.А.Кривоглаз, *Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах*, Киев: Наук. Думка, 1983.
  4. Ю.Г.Абов, А.О.Эйдлин, Д.С.Денисов и др., *ЖЭТФ* **104**, 4072 (1993).
  5. Ю.Г.Абов, Н.О.Елютин, Д.С.Денисов и др., *ПТЭ* **6**, 67 (1994).
  6. V.C.Larson and W.Schmatz, *Phys. Rev.* **B10**, 2307 (1974).
  7. Ф.Г.Кулиджанов, А.О.Эйдлин, Н.О.Елютин, *Письма в ЖТФ* **12**, 1003 (1986).
  8. В.В.Ратников, Л.М.Сорокин, *ФТТ* **26**, 3445 (1984).