

## НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Г. Г. АВЕТИСЯН

## МЕТОД ПОЛЯРИЗАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В рентгенографических исследованиях для увеличения их разрешения и однозначной интерпретации полученных интерференционных картин часто возникает необходимость применять первичный поляризованный пучок, поэтому разработка новых, более эффективных методов поляризации рентгеновского излучения, применяемых в исследованиях, является актуальной задачей, имеющей важное научное и практическое значение.

Как известно, при рассеянии неполяризованного рентгеновского излучения фактор поляризации для  $\sigma$  компоненты равен единице, а для  $\pi$  компоненты —  $\cos 2\theta$ , где  $2\theta$  — угол рассеяния. Следовательно,  $\pi$  компонента исчезает при  $2\theta = \pi/2$  и получается полная поляризация [1]. Однако этот способ поляризации при вульф-брэгговском отражении от атомных плоскостей неудобен тем, что угол Вульфа-Брэгга должен равняться  $45^\circ$ , а это достаточно сложно. Действительно, при  $\theta = 45^\circ$  трудно подобрать семейство отражающих плоскостей (межплоскостное расстояние  $d$ ) и рентгеновское излучение (длину волны  $\lambda$ ) для удовлетворения условию Вульфа-Брэгга  $2d \sin \theta = n\lambda$ . А если это условие каким-то образом удовлетворено, этот угол рассеяния ( $2\theta = 90^\circ$ ) очень большой и под этим углом рассеяния атомный фактор  $f(2\theta)$  сильно падает, в связи с чем интенсивность отражения ничтожная.

Согласно эффекту Бормана, при котором интерференционное поглощение  $\pi$  компоненты гораздо больше, чем для  $\sigma$  компоненты, при отражении рентгеновских лучей по Лауэ от достаточно толстого кристалла  $\pi$  компонента исчезает и остается только  $\sigma$  компонента [2]. Легко можно убедиться в том, что светосила этого метода поляризации также мала. При прохождении  $\text{Cu } K\alpha$  излучения через кристалл  $\text{Ge}$  толщиной 1 мм поглощение без дифракции дает затухание в  $\exp(-38)$  раз [3]. При отражении по Лауэ (220) поглощение для четырех полей соответственно равно:

- $\sigma$  поляризация, второе поле:  $\exp(-1,9)$ .
- $\pi$  поляризация, второе поле:  $\exp(-12,5)$ ;
- $\sigma$  поляризация, первое поле:  $\exp\{-7,4\}$ ;
- $\pi$  поляризация, первое поле:  $\exp(-63,5)$ .

С помощью метода, описанного в данной статье, можно получить интенсивный пучок поляризованного рентгеновского излучения.

Это достигается следующим образом: рентгеновское излучение из точечного источника или кристалл-монохроматора падает на кристалл под углом Вульфа-Брэгга. Вращением монохроматора в пределах угловой области отражения в случае плоской волны или с помощью щелей (3—5 мкм) в случае сферической волны отражение ограничивают только в тех углах полного отражения  $\sigma$  поляризации, которые расположены вне угловой области полного отражения  $\pi$  поляризации. Пользуясь тем, что угловая ширина полного брэгговского отражения для излучения  $\sigma$  поляризации больше, чем для  $\pi$  поляризации (рис. 1), можно естественное характеристическое излучение поляризовать.

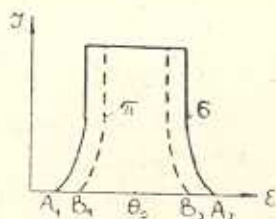


Рис. 1. Схемы угловых областей полных брэгговских отражений  $\sigma$  и  $\pi$  поляризаций.

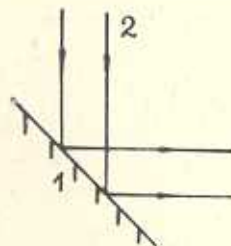


Рис. 2. Получение поляризованного рентгеновского излучения при плоской падающей волне.

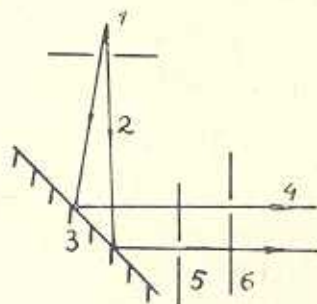


Рис. 3. Получение поляризованного рентгеновского излучения при сферической падающей волне.

На рис. 2 показан случай поляризации, когда на поляризатор 1 падает плоская волна 2. В рассматриваемом случае кристалл-поляризатор качается и со смещением отражения от точного угла Вульфа-Брэгга в пределах угловой области отражения край полного отражения перемещается или в области  $A, B$ , или в область  $B, A$ , (рис. 1). На рис. 3 показан случай поляризации, когда на поляризатор 3 с асимметричным отражением падает сферическая волна 2. С помощью одной из щелей 5 или 6, имеющих ширину 3—5 мкм, пропускают только одну из поляризованных частей широкого пучка, соответствующих угловым областям  $A, B$ , или  $B, A_2$ .

Как видно из рис. 1, в угловых областях  $A, B$ , и  $B, A_2$  полное отражение получается только для излучения  $\sigma$  поляризации — области от-

ражения линейно поляризованного излучения, а в области  $B_1 B_2$  получается полное отражение как для  $\sigma$  поляризации, так и для  $\pi$  поляризации — область неполяризованного излучения.

Между угловыми ширинами полных отражений  $\sigma$  и  $\pi$  поляризаций существует следующее соотношение

$$B_1 B_2 = A_1 A_2 \cos 2\theta. \quad (1)$$

Как видно из (1), даже при средних углах Вульфа-Брэгга  $\theta$  области отражения поляризованного излучения  $A_1 B_1$  и  $B_2 A_2$  могут иметь заметные ширины и экспериментально можно реализовать получение линейно поляризованного излучения. При симметричных отражениях удовлетворяется соотношение

$$A_1 B_1 = B_1 B_2 \sin^2 \theta, \quad (2)$$

которое легко можно получить из (1). Из (2) видно, что угловые области отражения линейно поляризованного излучения тем больше, чем больше угловая ширина полного отражения и чем больше угол  $\theta$ .

Экспериментальное исследование получения линейно поляризованного рентгеновского излучения большой интенсивности проведено для обоих случаев. В первом случае на вращающийся в пределах угловой области отражения кристалл падает плоская волна, а во втором случае на неподвижный кристалл-поляризатор падает сферическая волна и с помощью узких щелей ограничиваем поляризованное излучение отраженного от кристалла пучка. Чтобы проверить степень поляризации рентгеновского излучения, вышедшего из областей  $A_1 B_1$  и  $B_2 A_2$ , по ходу его распространения располагали рассеивающее вещество и с помощью счетчиков-регистраторов определяли интенсивность рассеянного излучения в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Степень поляризации линейно поляризованного излучения определяем по формуле [4]

$$R = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}} \cdot 100\%,$$

где  $I_{\perp}$  и  $I_{\parallel}$  — интенсивности рассеянных волн. При  $I_{\parallel} = 0$  получается полная поляризация ( $R = 100\%$ ). В условиях данного эксперимента степень поляризации достигала около 95%.

Этот метод, основанный на эффекте полного отражения, дает возможность получить достаточно интенсивное линейно поляризованное рентгеновское излучение в лабораторных условиях.

ЕрПИ им. К. Маркса

10. IV. 1984

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Джеймс Р. В. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей.— М.: Иноиздат, 1950.— 572 с.
2. Пинскер Э. Г. Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальном кристалле.— М.: Наука, 1974.— 368 с.
3. Каули Дж. Физика дифракции.— М.: Мир, 1979.— 431 с.
4. X-Ray Diffraction/L. V. Azaroff, R. K. Kaplow, N. Kato and oth.— New York: Mc Graw-Hill, Inc., 1974.— 664p.