

Физика

Р. Ц. ГАБРИЕЛЯН, Ф. О. ЭЙРАМДЖЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ  
МНОВОВОЛНОВОГО РАССЕЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

Для исследования некоторых вопросов многоволнового рассеяния рентгеновских лучей в работе предложена двухблочная система, которая имеет существенное преимущество по сравнению с обычной кристаллической пластинкой.

После исследования Бормана и Хартвига [1] появились работы [3—11], посвященные изучению многоволновой дифракции рентгеновских лучей от разных кристаллографических конфигураций. Основная трудность теоретического изучения многоволновой дифракции заключается в том, что уравнения дисперсионных поверхностей для общего случая многоволновой дифракции не имеют аналитического решения. Поэтому обычно исследуются отдельные конфигурации с широким применением электронно-вычислительной техники или случаи, когда рефлексы, входящие в данную конфигурацию, удовлетворяют определенным математическим условиям. В настоящее время почти все теоретические работы, посвященные многоволновой дифракции рентгеновских лучей, в основном носят вышеупомянутый характер.

Для экспериментального изучения формы дисперсионных поверхностей (ДП), а также распределения интерференционных коэффициентов поглощения (ИКП) вдоль нее принципиальное значение имеет применение узкого монохроматического пучка рентгеновских лучей, угловая расходимость которого меньше по сравнению с размерами области многоволновой дифракции. Однако применение такого пучка приводит к большим затруднениям, связанным с юстировкой кристалла. Требуются также большие расстояния для увеличения разрешения интерференционного поля и, следовательно, применение вакуумной техники и т. д. Поэтому обычно применяется расходящийся пучок, который облегчает юстировку кристалла. Но полученная с применением расходящегося пучка информация носит усредненный по ДП и качественный характер и, естественно, недостаточна для изучения форм ДП и величин ИКП. Причиной этого является тот факт, что даже при больших толщинах кристалла (0,15—0,20 см) волны с ИКП большим, чем минимальный коэффициент поглощения в многоволновом случае ( $\mu_{\min}^{(n)}$ ), дают существенный вклад в интерференционную картину; даже при таких толщинах кристалла волны с минимальными ИКП еще не являются доминирующими [3].

Цель настоящей работы показать, что все эти трудности можно преодолеть с применением кристалла в виде двухблочной системы, первый блок которой служит расщепителем-монохроматором.

Для применения двухблочной системы необходимо первый блок установить так, чтобы первичный пучок имел направление одного из отраженных лучей, т. е. кристаллическая система должна находиться в положении, необходимом для возникновения многоволновой дифракции.

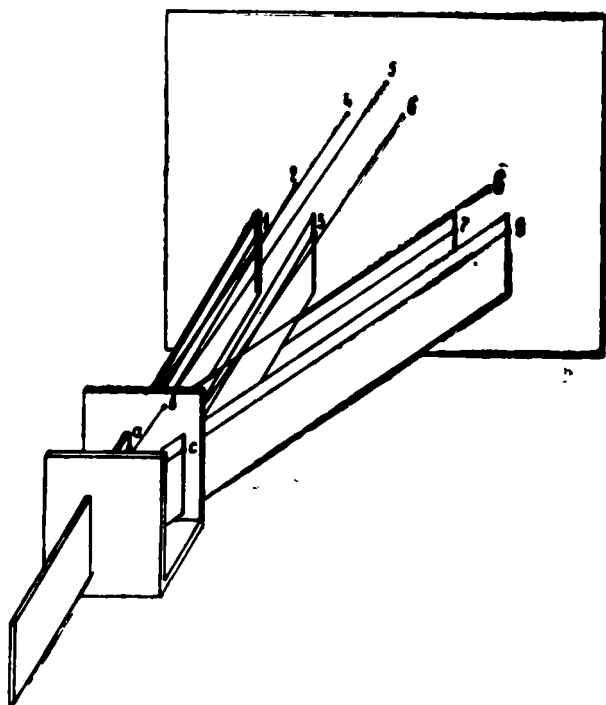


Рис. 1 Двухблочная система и ход рентгеновских лучей в ней.

ции. Тогда нетрудно заметить, что во второй блок попадут следующие лучи (см. рис. 1): «а» — в направлении падающего луча, «с» — в направлении отраженного луча, «в» — так называемый «окольно» возбужденный луч.

Отметим, что «окольно» возбужденный луч возникает только в том случае, когда индексы плоскостей  $(h_1 k_1 l_1)$  и  $(h_2 k_2 l_2)$ , дающие многоволновую дифракцию, таковы, что отражение  $(h_3 k_3 l_3)$ , где  $h_3 = h_1 - h_2$ ,  $k_3 = k_1 - k_2$ ,  $l_3 = l_1 - l_2$ , запрещено. После второго блока на рентгеновской пленке можно зарегистрировать 9 рефлексов, 5 из которых — в виде отдельных точек, соответствующих отражениям только из многоволновых областей.

Следует отметить, что при избавлении от двухволнового фона применение двухблочной системы имеет значительное преимущество по сравнению с простым увеличением толщины кристалла. Действительно, отраженный луч «с» от первого блока, который имеет двухволновой фон и на нем трехволновую усиленную точку, а для второго блока — такое направление, как если бы второй блок находился точно в положении многоволновой дифракции. В этом случае в противоположность методу «большой толщины» двухволновой фон уже не находится в положении брегговского отражения, т. е. в положении с малым ИКП, и сильно поглощается. Слабо поглощается только трехволновая область (усиленная точка), и она фактически выделяется из общего рефлекса.

Второе и более важное достоинство применения двухблочной системы заключается в том, что «окольно» возбужденный луч, который очень узок и монохроматичен, так как запрещенность является следствием симметрии кристалла [2], автоматически попадает в положение многоволновой дифракции на втором блоке. С помощью этого луча можно определить ИКП с большой точностью при разных толщинах кристалла.

Третий компонент «окольного» луча (после отражения во втором блоке), имеющий направление падающего луча, является дважды «окольным». Исследование его интенсивности, монохроматичности и расходимости представляет большой интерес. Этот «окольный» луч позволяет провести измерение ИКП на одной толщине, не прибегая к использованию двух толщин, которые дают лишь приблизительное значение ИКП из-за усреднения толщины:  $t = \frac{1}{2} (t_1 + t_2)$ .

Сравнение интенсивностей, а также относительных размеров и форм рефлексов, полученных на пленке, дает значительную информацию о характере многоволновой дифракции для данной конфигурации.

Следует отметить, что точность обычного метода измерения ИКП в многоволновом случае с применением расходящегося пучка особенно ухудшается при малых толщинах кристалла. Причиной этого является то, что расходящийся пучок возбуждает фактически целую область дисперсионной поверхности и измеренный ИКП имеет значение, значительно превышающее  $\mu_{\min}^{(n)}$ . Измеренный в работе Бормана и Хартвига [1] ИКП имеет именно такой характер и значение  $45 \text{ см}^{-1}$  для конфигурации (111) и ( $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ ) существенно отличается от значения  $\mu_{\min}^{(3)}(\text{III}, \bar{\text{III}})$ .

Следовательно, с уменьшением толщины кристалла сильно увеличивается расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями ИКП, т. к. волны с большим ИКП при малых толщинах кристалла не успевают сильно поглотиться, что хорошо подтверждается результатами, полученными в [3]. Поэтому предложенная нами методика для определения ИКП может быть особенно эффективной для малых толщин кристалла, т. к. мы фактически возбуждаем только отдельные «точки» ДП.

Для экспериментальной проверки методики мы подбирали известную конфигурацию (111) и ( $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ ) с применением излучения  $\text{CuK}\alpha$ . Образцы изготовлялись из почти бездислокационного монокристалла германия.

Регистрация аномально прошедших пучков проводилась фотографическим методом. Образец был установлен на дифракционной камере КРС. Эксперимент проводился на установке УРС-60 с трубкой БСВ-7 в режиме 34 кв, 2,5 ма, время экспозиции—15 часов.

Образец вырезался из массивного монокристалла германия. Механической шлифовкой толщина каждого из блоков была доведена до 0,5 мм. В течение всего процесса обработки положение кристаллографических плоскостей в образце контролировалось при помощи брегговского отражения рентгеновских лучей на дифрактометре ДРОН-1. Затем образец подвергался химической полировке. Окончательная толщина каждого блока была равна 0,4 мм, расстояние между блоками составляло 5 мм, расстояние от фокуса до кристалла—30 см, от кристалла до пленки—4 см. Использовался коллиматор со щелью

1,5 мм и высотой 20 мм. Образец юстировался так, что падающий пучок охватывал один из рефлексов: (III) или ( $\bar{I}III$ ). Для этого расходимость падающего пучка была сделана больше угловой расходимости, соответствующей отраженной области на кристалле.

Для облегчения юстировки кристалл был вырезан так, чтобы он в состоянии многоволновой дифракции имел вертикальное положение. Это приводит к тому, что для окончательной юстировки образца достаточно только его вращение вокруг вертикальной оси. При этом большой поверхностью двухблочной системы служила плоскость (не кристаллографическая), составляющая некоторый угол  $\beta$  с плоскостью (011). Угол  $\beta$  определяется по формуле

$$\sin\beta = \frac{\sin\theta}{\sin\alpha/2},$$

где  $\alpha$ —угол между дифрагирующими плоскостями,  $\theta$ —угол Брегга. В нашем случае  $\beta=17^\circ$ . На рентгенограмме четко видны все вышеуказанные девять рефлексов (см. рис. 2). Из качественного сравнения можно заключить, что самым слабым является рефлекс «2», соответствующий «двойному окольному» лучу. Самым сильным является рефлекс «9», имеющий двухволновой фон, который соответствует отраженному пучку от первого блока и прошедшему пучку через второй блок.

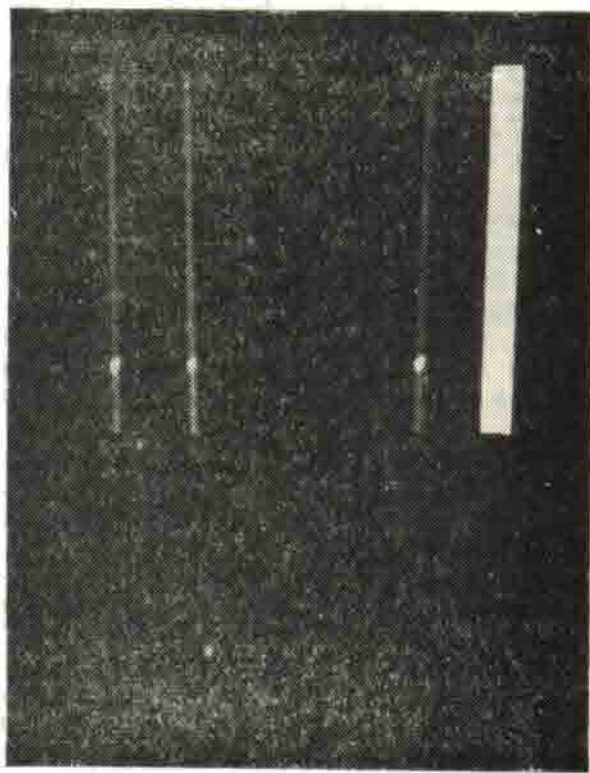


Рис. 2. Рентгенограмма, полученная от двухблочной системы для конфигураций (111); ( $\bar{I}11$ ).

В следе первичного пучка слабо виден и рефлекс «1», сопровождаемый своим двухволновым фоном. Об интенсивности этого рефлекса нельзя сделать какое-либо заключение, так как короткие волны, проходящие через двухблочную систему, вызывают вокруг него сильное

почернение. Из точечных (без двухблочного фона) рефлексов самым сильным является рефлекс «6», полученный последовательным отражением от первого блока в направлении «с» и от второго блока в направлении «в».

На рис. 2 хорошо видно, что рефлекс «5» уже лишен двухволнового фона. Это связано с тем, что для последнего семейство плоскостей ( $h_2 k_2 l_2$ ) во втором блоке не находится в отражающем положении.

«Окольно» возбужденные рефлексы «4» и «5» имеют почти одинаковые интенсивности. Этот факт очевиден, ибо оба рефлекса испытывают поглощение одного и того же типа, но в разной очередности, вначале в первом, потом во втором блоке. Интересно отметить, что интенсивность рефлекса «8», полученного отражением «окольного» луча на втором блоке, несколько превышает интенсивность рефлексов «4» и «5», особенно в центральной части их.

Отметим, что, как и в других работах с применением одной кристаллической пластинки, в нашем случае также наблюдается расширение многоволновых областей рефлексов относительно соответствующих им двухволновых фонов, что, по-видимому, связано с особенностями дисперсионной поверхности [4]. Но форма многоволновых рефлексов, вследствие прохождения через второй блок, несколько деформирована по сравнению с рефлексами, полученными с использованием только одной кристаллической пластинки.

Очевидно, что дальнейшие количественные оценки, основанные на предложенном нами методе, несомненно, позволят выявить более тонкие особенности характера многоволнового рассеяния рентгеновских лучей от различных кристаллографических конфигураций.

*Ереванский физический институт,  
Ереванский государственный университет*

*Поступила 10.11.1975*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Borrmann G., Hartwig W., Z. Krist., 121, 401, 1965.
2. Kottwitz D. A., Acta Cryst., A24, 117, 1968.
3. Uebach W., Z. Naturforsch., 28a, 1214—1223, 1973.
4. Бородина Т. И., Иверонова В. И., Кацнельсон А. А., Кристалл, 19, 1140, 1974.
5. Hildebrandt G., Phys. state, sol, 24, 245, 1967.
6. Uebach W., Hildebrandt G., Z. Krist., 129, 1, 1969.
7. Balter S., Feldman R., Post B., Phys. Rev. Lett., 27, 307, 1971.
8. Feldman R., Post B., Phys. st. sol(a), 12, 273, 1972.
9. Кацнельсон А. А., Кисин В. И., Полякова Н. А., Кристалл, 14, 965, 1969.
10. Huang T. G., Tellingier M., Post B., Z. Natur, 28a, 600, 1973.
11. Михайлюк И. П., Кшевский С. А., Мат. выездной сессии научн. сов. АН СССР по пробл. «Образование и структура кристаллов», 63, Ереван, 1975.

Ռ. Յ. ԳԱՐԻԵԼՅԱՆ, Յ. Հ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻԳՅԱՆՅԱՆ

**ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՆԵՐԻ ԲԱԶՄԱԼԻՔԱՅԻՆ ՑՐՄԱՆ ՄԻ ՔԱՆԻ  
ՀԱՐՑԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՆՈՐ ՄԵԹՈԴ**

**Ա մ փ ո փ ու մ**

Դիսպերսիոն մակերևութների ձևի և նրանց վրա ինտերֆերենցիոն կլանման գործակիցների բաշխման փորձարարական ուսումնասիրության համար առաջարկված է նոր մեթոդ:

Ցույց է տրված, որ երկբյուրեղանի միաձույլ համակարգը (որի առաջին բաղադրիչը ծառայում է որպես պառակտիչ մոնոքրոմատոր) ունի էական առավելություններ մինչև այժմ գոյություն ունեցողների նկատմամբ (դիֆրակցիան մեկ բյուրեղից):