

НОВЫЕ ВАРИАНТЫ РЕНТГЕНОВСКИХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ И РЕЗОНАТОРОВ

М. А. НАВАСАРДЯН

В работе предложен новый метод изготовления рентгеновских резонаторов и интерферометров. Так как брэгговские углы для атомных плоскостей с малыми индексами Мюллера имеют близкие друг к другу значения, то разницу этих значений углов можно дополнить с помощью полного внешнего отражения рентгеновских пучков на пластинах, изготовленных из твердого материала. В случае интерферометров такое отражение необходимо для удовлетворения условия Брэгга для блока анализатора (сделанного из другого материала) на III-образном интерферометре. В резонаторах отражающие пластины применяются с целью поправки углов для образования закрытого цикла рентгеновского пучка. Предлагается также метод ввода и вывода пучка из резонатора.

Интерферометрическое исследование несовершенств кристаллов — достаточно сложная задача. Сложность обусловлена, главным образом, трудностью установления блоков в точное отражающее положение, и поэтому блоки интерферометра вырезаются из одного и того же кристалла на общей основе. Однако это очень затрудняет исследование степени несовершенства кристаллов различных веществ. Фактически для исследования деформации в совершенных кристаллах необходимо изготовить интерферометр из этого же кристалла; поэтому до сих пор осуществлены только интерферометры, блоки которых изготовлены из одного и того же кристаллического материала [1—3].

В излагаемой работе предлагается метод, с помощью которого можно изготовить интерферометр с блоками из различных материалов, что дает возможность исследовать кристаллические пластины практически из любого высокосовершенного монокристалла. Для этого в данной работе используется явление полного внешнего отражения рентгеновских лучей. В работе предлагается также метод построения рентгеновского резонатора с использованием этого явления.

§1. Полное внешнее отражение рентгеновских лучей

Как известно, показатель преломления рентгеновских лучей для материальной среды меньше единицы. Это означает, в частности, что для рентгеновских лучей вместо полного внутреннего отражения, наблюдаемого для видимого света (когда свет переходит из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления), имеет место полное внешнее отражение, т. е. падающий на границу вакуум-среда рентгеновский луч полностью отражается снова в вакуум.

Из-за малости декремента показателя преломления, определяемого выражением

$$\delta = 1 - n = 2,72 \cdot 10^{10} \frac{Z}{A} \rho \lambda^2,$$

где Z —атомный номер вещества, A —атомный вес, ρ —плотность вещества, λ —длина волны отраженного излучения, максимальный угол скольжения $\varphi_{\max} = \sqrt{2\delta}$ полного отражения также является малой величиной. Действительно, если подставить вместо параметров Z , A , ρ и λ их численные значения, то для δ получим величину порядка $10^{-5} - 10^{-6}$, а для угла скольжения φ —значение, равное $10^{-2} - 10^{-3}$ радиан.

§2. Интерферометр с использованием пластин, отражающих рентгеновские лучи в области полного внешнего отражения

Как уже отмечалось выше, в данной работе предлагается метод, с помощью которого можно изготовить интерферометр, блоками которого могут служить различные монокристаллические пластины.

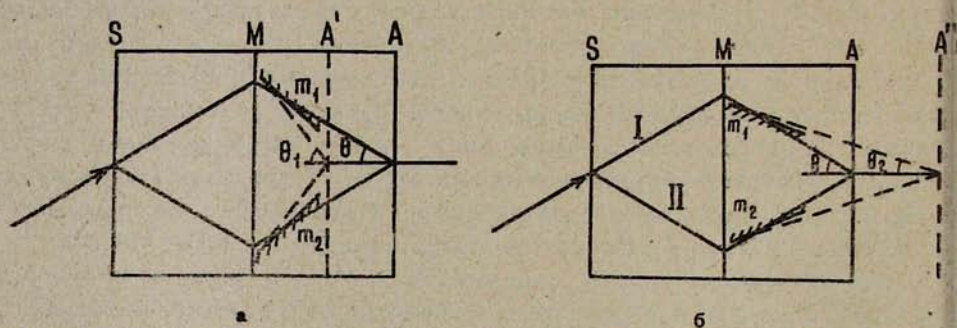


Рис. 1. Схема интерферометра, третьим блоком которого может служить другой монокристалл; а) в случае, когда $\theta < \theta_1$, б) в случае, когда $\theta > \theta_2$. На всех схемах масштаб углов не выдержан.

Схема такого интерферометра представлена на рис. 1, где S , M и A являются блоками обычного Ш-образного интерферометра, m_1 и m_2 —отражающие пластины, на которых происходит полное внешнее отражение рентгеновских лучей, A' и A'' —предполагаемые монокристаллические пластины из другого материала.

Нормали всех блоков и пластин (S , M , A' , m_1 , m_2 и A'') лежат в горизонтальной плоскости (в плоскости чертежа), так что поворотом пластин m_1 и m_2 вокруг вертикальной оси можно установить их в отражающие положения. Как видно из рис. 1, рентгеновские пучки, отражаясь от пластин (m_1 и m_2), будут составлять с атомными плоскостями угол, отличный от θ , где θ —угол Вульфа—Брэгга для U -об-

разного блока (основной кристалл с S и M блоками) при данном (hkl) отражении. Этот угол будет или $\theta_1 = \theta + 2\varphi$ (см. рис. 1а), или $\theta_2 = \theta - 2\varphi$ (см. рис. 1б).

Если другой кристалл (кристалл из другого материала), будучи установленным где-то между A и A' или между A и A'' (точное место определяется исходя из величины брэгговского угла кристалла анализатора), имеет такое семейство плоскостей, для которых угол Брэгга меньше угла θ_1 или больше, чем θ_2 , то от этих плоскостей можно получить одновременное отражение для двух пучков I и II и, следовательно, наблюдать интерференцию на этом кристалле.

Таким образом, можно выбрать хороший кристалл для изготовления U -образного блока, а в качестве третьего кристалла может служить монокристаллическая пластина из другого материала.

Так как $\varphi_{\max}$, вообще говоря, есть малая величина ($\varphi_{\max} \sim 20^\circ$), то межплоскостное расстояние d для выбранных семейств отражающих плоскостей третьего блока должно мало отличаться от d для U -образного кристалла. Это обстоятельство накладывает некоторые ограничения на универсальность такого построения. Чтобы обойти эту

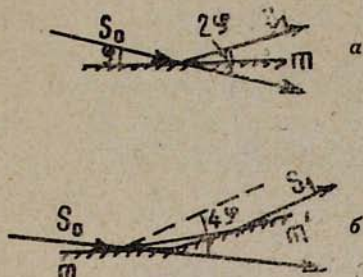


Рис. 2. Взаимное расположение падающих и отраженных пучков относительно отражающей поверхности;

- а) однократное отражение,
- б) двукратное отражение.

трудность, предлагается использовать двукратное отражение. При каждом отражении отклонение пучка от первичного направления составит угол 2φ (см. рис. 2а), где S_0 —первичный пучок, S_1 —отраженный пучок.

Имея в виду то обстоятельство, что межплоскостные расстояния для семейств плоскостей с большими отражательными способностями (обычно плоскости с малыми индексами (hkl)) у различных кристаллов отличаются незначительно, можно ограничиться двукратным отражением. В таблице представлены углы Брэгга для некоторых отражений от различных кристаллов для излучения $\text{CuK}\alpha$.

Построенный таким образом интерферометр дает следующие возможности.

1. Он позволяет исследовать семейство интерферирующих пучков для любого кристалл-анализатора (если имеются высокосовершенные образцы из этого кристалла).

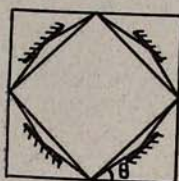
2. Если U -образный блок изготавливать из кристаллов Ge , то после прохождения пучка через этот блок останется только монохро-

матическое излучение (если суммарная толщина двух блоков составляет примерно 0,8 мм и применен медный антикатод), так как коэффициент поглощения Ge для излучения CuK_α равен $\mu=350\text{ см}^{-1}$, и длина волны этого излучения ($\lambda=1,54\text{ \AA}$) больше и близка к K -краю поглощения Ge ($1,114\text{ \AA}$).

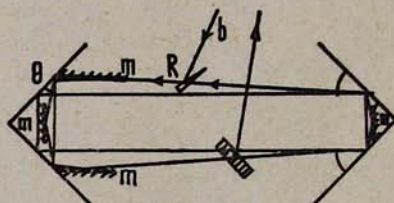
Германий имеет почти такой же коэффициент поглощения для излучения MoK_α ($\lambda=0,71\text{ \AA}$) и поэтому соответствующим подбором толщины монокристалла, имеющего меньший коэффициент поглощения, можно охватить большую область изменения произведения μt для кристалл-анализатора (при умеренных толщинах t последних), т. е. толщину анализатора можно подобрать так, чтобы исследовать явление интерференции в аномальной и неаномальной областях.

§3. Применение пластин в рентгеновских резонаторах

Явление полного внешнего отражения рентгеновских лучей можно использовать также и в рентгеновских резонаторах. Такое отражение на пластинах можно использовать в том случае, когда для кристалла найдены некоторые атомные плоскости (предполагается, что внутрен-



а



б

Рис. 3. Возможная схема резонатора, когда ось зоны совпадает с осью четвертого порядка кристалла: а) обычная схема, б) схема с разверткой.

няя часть кристалла вырезана и удалена параллельно этим плоскостям) и для получения закрытого цикла отраженного от этих плоскостей рентгеновского пучка не хватает некоторого малого угла. Нехватка углов возникает после каждого отражения, и поэтому поправка в направлении требуется после каждого отражения. Следовательно, изменяющие направления отраженных пучков пластины устанавливаются после каждого отражения, и по этой причине применяется столько пластин, сколько в системе имеется поверхностей с отражающими атомными плоскостями.

Для получения закрытого цикла рентгеновского пучка такие комбинации отражающих пластин и атомных плоскостей можно использовать в следующих важных случаях.

1. Когда линия пересечения интересующих нас атомных плоскостей в кристалле (ось зоны) совпадает с осью четвертого порядка кристалла и угол Брэгга для этих плоскостей близок к 45° . В этом

случае плоскости, разумеется, должны иметь одинаковое межплоскостное расстояние d .

В качестве примера можно указать кристалл кремния с отражающими плоскостями (400), (040), ($\bar{4}00$) и ($0\bar{4}0$). Для этих плоскостей угол Брэгга для излучения железа равен $\theta = 45^\circ 51'$. На рис. 3а представлено обычное построение, на рис. 3б — построение с разверткой.

Таблица

Вещество	(hkl)	θ для CuK_α
Ge	(220)	$22^\circ 26'$
Si	(220)	$23^\circ 55'$
CaCo_3	(202)	$23^\circ 47'$
CaCo_3	(002)	$21^\circ 40'$
SiO_2	(20 $\bar{2}$ 0)	$21^\circ 19'$
LiF	(200)	$22^\circ 40'$

2. Ось зоны, образуемая при пересечении интересующих нас плоскостей, совпадает с осью шестого (третьего) порядка гексагонального (тригонального) кристалла, или же с осью третьего порядка кубического кристалла, и угол Брэгга для этих плоскостей близок к 30° (см. рис. 4а).

В качестве примера можно указать отражения от следующих семейств плоскостей кристалла кремния: (220), ($\bar{2}20$), (022), ($0\bar{2}2$), ($\bar{2}02$) и ($20\bar{2}$), для которых угол Брэгга для излучения железа (FeK_α) равен $\theta = 30^\circ 37'$.

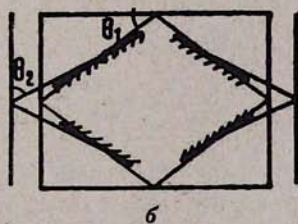
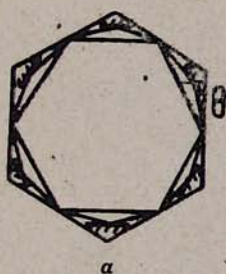


Рис. 4. Ось зоны совпадает (а) с осью 6-го (3-го) порядка кристалла, (б) с осью 2-го порядка кристалла.

3. Ось зоны интересующих нас плоскостей совпадает с осью второго порядка кристалла и сумма углов Брэгга для этих двух семейств плоскостей близка к 90° (см. рис. 4б).

При использовании отражающих пластин вопрос ввода и вывода пучка из резонатора решается следующим образом. Ввод пучка можно осуществить, если в точке R (рис. 3б) поместить клинообразный отражающий предмет (полное внешнее отражение), сделанный из легкого материала, скажем из плексигласа или из бериллия. Материал должен

быть клинообразным, чтобы для пучка резонатора не выполнялось условие полного внешнего отражения.

Для вывода из резонатора пучка можно пользоваться дополнительным блоком, сделанным на общей основе вместе с блоками резонатора. Отражающие плоскости будут те же самые, что и отражающие плоскости блоков резонатора (см. рис. 36).

Горисский физико-технический центр

Поступила 5.V.1972

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. U. Bonse. Z. für Physik, 177, 385 (1964).
2. U. Bonse, E. te Kaat. Z. für Physik, 214, 16 (1968).
3. Ф. О. Эйраджян, П. А. Безириджян. Изв. АН АрмССР, Физика, 5, 453 (1970).

ՌԵՏԳԵՆՅԱՆ ԻՆՏԵՐՖԵՐՈՄԵՏՐԻ ԵՎ ՌԵԶՈՆԱՏՈՐԻ ՆՈՐ ՍԽԵՄԱՆԵՐ

Մ. Ա. ՆԱՎԱՍԱՐԴՅԱՆ

Աշխատանքում առաջարկվում են ռենտգենյան ինտերֆերոմետրի և ռեզոնատորի պատրաստման նոր սխեմաներ, որտեղ օգտագործվում է ռենտգենյան ճառագայթների լրիվ արտաքին անդրադարձման երևույթը: Այս երևույթի օգտագործումը թույլ է տալիս ինտերֆերոմետրիկ ուսումնասիրություն կատարել ցանկացած բյուրեղ-անալիզատորի վրա: Ռեզոնատորների անդրադարձնող թիթեղները կարելի է օգտագործել այն ժամանակ, երբ ցիկլ առաջացնելու համար պահանջվում է որոշակի անկյունային լրացում կատարել: Առաջարկված է նաև ռեզոնատորից փնջի դուրս բերման և ներմուծման մեթոդ:

SOME NEW VERSIONS OF X-RAY INTERFEROMETERS AND RESONATORS

M. A. NAVASSARDIAN

New schemes for X-ray interferometers and resonators are proposed in which a phenomenon of total external reflection of X-rays on the plates of hard material has been used. The reflecting plates may be used in resonators when it is necessary to change the direction of X-ray beam to satisfy the Bragg condition for chosen atomic planes. The utilization of reflecting plates allows to make an interferometer with an analyzer consisting of another single crystal as a third block. A method of injection and extraction of X-ray beam from the resonator is also proposed.