

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ МНОГОКРАТНО ДИФРАГИРОВАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ПУЧКА

М. А. НАВАСАРДЯН, В. К. МИРЗОЯН

Неоднородные материалы, помещенные внутри системы монокристаллических многоблоков, могут сильно уменьшить интенсивность рентгеновского пучка, дифрагированного от такой системы. На основе этого факта предлагается способ измерения единичного декремента показателя преломления δ рентгеновских лучей при использовании в качестве образца одномерной сетки из волокна круглого сечения. Получено соотношение, дающее возможность легко подсчитать декремент δ , исходя из отношения интенсивностей проходящего и падающего на волокна рентгеновских пучков, при заранее измеренной величине угла динамического отражения для данных кристаллических блоков.

В нашей предыдущей работе [1] экспериментально было доказано, в частности, что при помещении исследуемого неоднородного образца внутри рентгенинтерферометра интенсивность дифрагированных пучков сильно уменьшается. Это обусловлено отклонением пучка на границах неоднородностей. В настоящей работе излагаются новые особенности описанного ранее эффекта. Здесь рассматриваются также возможные применения эффекта для измерения абсолютных и относительных показателей преломления вещества, исходя из интенсивностей дифрагированных пучков, испытавших многократную (два и более раза) дифракцию. Далее, опробованы материалы, имеющие в своем составе области с различными комбинациями границ раздела веществ, находящихся в трех агрегатных состояниях: твердое тело—газ, жидкость—газ, твердое тело—жидкость и т. д. Во всех случаях, когда такие вещества располагаются внутри интерферометра на пути пучков, в большей или меньшей мере наблюдается уменьшение интенсивности этих пучков.

Уменьшение интенсивности не наблюдается, когда для блоков кристаллической системы и для данного излучения не выполняется условие аномального прохождения. Так, например, если работа ведется с кремниевым интерферометром, то при использовании молибденового излучения ($\lambda = 0,071$ нм, $\mu t < 1$) уменьшение интенсивности не наблюдается, однако при работе с германиевым интерферометром с тем же излучением ($\lambda = 0,071$ нм, $\mu t > 10$) наблюдается уменьшение интенсивности (здесь μ — линейный коэффициент поглощения материала интерферометра, t — толщина блоков). В обоих случаях толщина блоков составляла $t = 0,5$ мм, а коэффициент поглощения в кристаллах Si и Ge равен соответственно 14 и 350 см^{-1} . Понятно, что причина такого поведения интенсивности

дифрагированного пучка (уменьшение в случае $\mu t > 10$ и неуменьшение при $\mu t < 1$) обусловлена разной величиной произведения μt кристаллов, так как отклонение пучка на границах неоднородностей не изменилось (и излучение, и образец те же самые). Последнее означает, что уменьшение интенсивности обусловлено «увеличением поглощения из-за отклонения» пучков, а такое поведение коэффициента поглощения кристаллов характерно для случая аномального прохождения, т. е. $\mu t \gtrsim 10$.

Измерение показателя преломления веществ, полученных из параллельных волокон

Измерение показателя преломления вещества по «увеличению поглощения из-за отклонения пучка» оказывается довольно легко осуществимой задачей, если из волокон данного материала сделать одномерную сетку. Волокна должны соприкасаться друг с другом (рис. 1) и быть прозрачными для рентгеновских лучей. Этот случай легко поддается также и теоретическому рассмотрению.

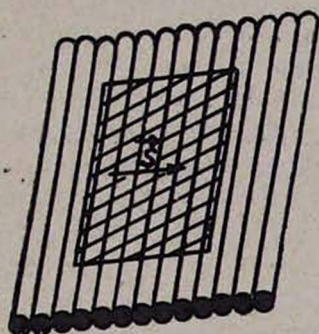


Рис. 1.

Рис. 1. Взаимное расположение одномерной сетки и поперечного сечения рентгеновского пучка (заштрихованный прямоугольник), s — дифракционный вектор отражения, перпендикулярный к длине ниток.

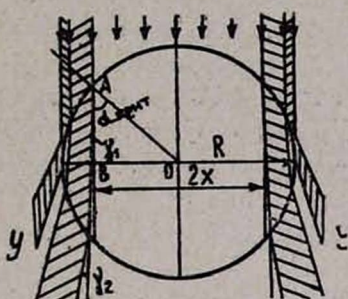


Рис. 2.

Рис. 2. Поперечное сечение нитки, имеющей форму круглого цилиндра, и направления падающего и преломленного пучков. Крайние полосы изображают пучки, испытывающие полное внешнее отражение. На рисунке масштаб не выдержан.

На рис. 2 изображены поперечное сечение одного из волокон, имеющего форму круглого цилиндра, и пучок рентгеновских лучей, направленных на поверхность волокна. Излучение освещает верхнюю половину поверхности цилиндра. На верхней и нижней поверхностях нити лучи испытывают небольшое преломление (не преломляются только лучи, проходящие через центры волокон). Очевидно, что лучи, проходящие вблизи краев цилиндра, будут испытывать большое отклонение, так как там больше и угол падения (угол между лучом и нормалью к поверхности). На самом краю цилиндра, где угол между падающими лучами и нормалью всего на несколько минут меньше 90° , происходит полное внутреннее отражение лучей (см. рис. 2, область Y).

Понятно, что если такая одномерная сетка будет помещена внутри интерферометра на пути дифрагированных лучей, то все те лучи, угол отклонения которых от первоначального направления будет превышать определенное значение, а именно, полуширину угла динамического отражения ($\Delta\varphi$) для данной кристаллической пластинки и данной длины волны, будут полностью поглощаться в следующем блоке кристаллической системы. Угол падения луча, для которого отклонение от первичного направления равно полуширине динамического отражения (угол падения луча, проходящего через точку A на рис. 2), обозначим через $\alpha_{\text{крит}}$. Из рис. 2 видно, что отношение интенсивности J пучка, проходящего через систему блоков, внутри которой помещен образец, к интенсивности J_0 пучка, проходящего через систему блоков при отсутствии образца (в пределах одного волокна), будет равно отношению $2x$ к диаметру цилиндра $D = 2R$ (поглощением цилиндра пренебрегаем), т. е.

$$\frac{J}{J_0} = \frac{x}{R}.$$

Это отношение не зависит от числа и диаметра участвующих в процессе волокон, если волокна полностью перекрывают поперечное сечение пучка. С другой стороны, из треугольника AOB (рис. 2) видно, что отношение x/R есть синус угла падения $\alpha_{\text{крит}}$ (при меньших углах падения $\alpha < \alpha_{\text{крит}}$ пучки будут поглощаться в следующем блоке меньше, т. е. по закону аномального прохождения), так что

$$\sin \alpha_{\text{крит}} = \frac{x}{R} = \frac{J}{J_0}.$$

Таким образом, если известны интенсивность выходящего из кристаллической системы пучка в случае отсутствия внутри системы образца и интенсивность этого же пучка при помещении образца внутри интерферометра, то известен и угол падения $\alpha_{\text{крит}}$. А соответствующий критический угол преломления $\beta_{\text{крит}}$ пучка будет равен сумме угла падения $\alpha_{\text{крит}}$ и угла γ_1 отклонения пучка на верхней границе волокна от первоначального направления (см. рис. 2):

$$\beta_{\text{крит}} = \alpha_{\text{крит}} + \gamma_1.$$

Так как углы отклонения пучка от первоначального направления на верхней (γ_1) и нижней (γ_2) границах волокна очень мало отличаются друг от друга ($\gamma_1 \approx \gamma_2 = \gamma$), то сумма этих углов для критической точки A (рис. 2) будет равна $2\gamma \approx \Delta\varphi/2$, $\gamma \approx \Delta\varphi/4$ и $\beta_{\text{крит}} = \alpha_{\text{крит}} + \Delta\varphi/4$. Отсюда по закону преломления получаем

$$\frac{\sin \alpha_{\text{крит}}}{\sin \beta_{\text{крит}}} = \frac{\sin \alpha_{\text{крит}}}{\sin (\alpha_{\text{крит}} + \Delta\varphi/4)} = n = 1 - \delta,$$

и поэтому

$$\delta = 1 - \frac{J/J_0}{\sin (\arcsin J/J_0 + \Delta\varphi/4)},$$

где δ — единичный декремент показателя преломления исследуемого вещества для данной длины волны.

Из вышесказанного следует, что если измерять интенсивность диффрактированного пучка, покидающего многоблочную систему, при помещении образца на пути лучей внутри рентгенинтерферометра и интенсивность этого же пучка без образца на пути лучей и, кроме того, если заранее измерена угловая ширина динамического отражения $\Delta\varphi$ для данной системы блоков (данной плоскости отражения и данной длины волны), то можно довольно простым способом определить показатель преломления исследуемого вещества для данной длины волны.

Из литературных данных величина δ для целлюлозы равна $4,8 \cdot 10^{-6}$ [2], а при измерении нашим методом — $(5,3 \pm 0,64) \cdot 10^{-6}$, т. е. относительная ошибка составляет 12%. Для увеличения точности измерения можно изготовить систему, состоящую из трех и более блоков, и сетки помещать между блоками многоблочной системы после каждого блока; при этом интенсивность будет уменьшаться еще больше. Это уменьшение будет происходить по закону сложного процента. Разумеется, в этом случае число сеток будет меньше числа блоков на единицу. Когда коэффициент поглощения образца сравнительно большой (для компенсации уменьшения интенсивности из-за обычного поглощения), то в качестве интенсивности падающего пучка (J_0) можно брать интенсивность излучения после прохождения его через образец, расположенный на пути лучей у входа счетчика квантов (вне интерферометра).

Вышеизложенный метод определения показателя преломления рентгеновских лучей имеет некоторые преимущества по сравнению с имеющимися до настоящего времени методами [2, 3]. Он не требует установок больших размеров (метровое расстояние между образцом и детектором), дает возможность измерения показателя преломления волокнистых и порошкообразных материалов, не нуждается в особо коллимированном рентгеновском пучке, так как коллимация осуществляется в объеме самого кристаллического блока, а роль рассеянных квантов в воздухе сводится к минимуму.

Ереванский физический
ИНСТИТУТ

Поступила 2.V.1980

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Навасардян, В. К. Мирзоян, В. В. Арутюнян. Изв. АН АрмССР, Физика, 14, 265 (1979).
2. М. А. Блохин. Физика рентгеновских лучей, М., 1957.
3. А. О. Абоян, Ф. О. Эйрамджян, П. А. Безиргян. Изв. АН АрмССР, Физика, 9, 193 (1974).

ՆՅՈՒԹԻ ՌԵՆՏԻՆՅԱՆ ՀԱՌԱԳԱՅԹՆԵՐԻ ԲԵԿՄԱՆ ՑՈՒՑՉԻ
ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԲԱԶՄԱԿԻ ԴԻՖՐԱԿՅԱԾ ՓՆՋԻ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ
ԶԱՓՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Մ. Ա. ՆԱԿԱՍԱՐԴՅԱՆ, Վ. Ղ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ

Հառվե՛ անդրադարձման վիճակում գտնվող բազմաթիվ եղավոր միաբույրերի համակարգի մեջ տեղագրված նմուշի անհամասնոթությունների սահմանների վրա բեկված ռենտգենյան

Ճառագայթների փնջի ինտենսիվությունը պակասում է, երբ բեկված փնջի անկյունային բացվածքը գերազանցում է միաբյուրեղի դինամիկ ցրման անկյունային բացվածքը, քանի որ տվյալ փնջի համար այլևս չի բավարարվում ունեցողության ճառագայթների անոմալ անցման պայմանը և այն կլանվում է նմուշին հաջորդող թիթեղում: Նկատի ունենալով այս հանգամանքը պարզված է, որ շրջանային զլանի տեսք ունեցող թելի միջով անցնող և նրա մակերևույթին ընկնող փնջերի ինտենսիվությունների հարաբերությունը հավասար է անկման որոշակի կրիտիկական անկյան սինուսին: Օգտագործելով այս հանգամանքը և նախօրոք չափելով տվյալ բյուրեղի դինամիկ ցրման անկյունային բացվածքը, որով պայմանավորված է կրիտիկական անկյան մեծությունը, հնարավոր է դառնում պարզ արտահայտության միջոցով հաշվել տվյալ նյութի բեկման ցուցչի միավոր դեկրեմենտը: Այս նպատակի համար կարելի է օգտագործել երկու կամ ավելի միաբյուրեղային թիթեղներով կազմված համակարգեր, նմուշը տեղադրելով յուրաքանչյուր հարեան երկու թիթեղների միջև:

MEASUREMENT OF THE REFRACTIVE INDEX OF A SUBSTANCE BY INTENSITIES OF MULTIPLE DIFFRACTED X-RAYS

M. A. NAVASARDYAN, V. K. MIRZOYAN

Single crystal systems consisting of several silicon (or germanium) slices according to the *W*-shaped interferometer are used to obtain the multiple diffracted X-rays. A formula is found, which allows to calculate the refractive index of substances when the intensities of the multiple diffracted beam with and without the sample within the system of crystal blocks are measured. It is also necessary for calculations to accurately measure the angular divergence of dynamic reflection of the crystal slices in advance.