

УДК 548.733

РАСШИФРОВКА РЕНТГЕНОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ МУАРОВЫХ КАРТИН

К.В. АЛУМЯН, Т.С. МНАЦАКАНЯН,
Т.О. ЭЙРАМДЖЯН, Ф.О. ЭЙРАМДЖЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 28 февраля 2005 г.)

Рассмотрены условия, при которых применимы простейшие выражения для вычисления периодов монокристаллического "сэндвича" при расшифровке рентгеноинтерферометрических муаровых картин.

Создание различных вариантов рентгеновских интерферометров и расшифровка полученных интерференционных (муаровых) картин позволили решить целый ряд актуальных научных задач. Из них отметим: а) решение некоторых вопросов динамического рассеяния рентгеновских лучей [1], б) рентгенооптическое определение единичных декрементов показателя преломления веществ [2], в) определение локальных значений модуля упругости монокристалла Si методом рентгеноинтерферометрического муара [3].

Применение метода рентгеноинтерферометрического муара к исследованию структурных дефектов (скопление точечных дефектов, дислокации) в монокристаллах является важным достижением в области рентгеноструктурных исследований. Преимущество этого метода относительно методов рентгеновской топографии заключается в том, что на рентгеновской муаровой картине отображаются не только структурные дефекты, но и их поля напряжений вдали от дефектов.

Во всех интерферометрических исследованиях важными обстоятельствами являются расшифровка муаровых картин (оценка внутрикристаллических деформаций, исходя из вида муара), а также подбор и упрощение выражения для вычисления периодов муаровых картин.

Схематическое изображение рентгеновского интерферометра по Лауэ показано на рис.1. Рентгеновские лучи, падая под углом Брэгга (θ) на первый кристаллический блок (блок-расщепитель S) интерферометра, расщепляются на два когерентных пучка (I,II), которые, отражаясь от зеркального блока М (III,IV), налагаются у входной поверхности блока-анализатора А. Если все облучаемые области интерферометра имеют одни и те же периоды отражающих плоскостей (идеальный монокристалл), то при наложении коге-

рентгеновских пучков III и IV у входной поверхности блока А формируется интерференционное поле с периодом, равным периоду отражающих плоскостей. При прохождении через блок-анализатор А происходит модуляция этого поля атомными плоскостями и в выходящих пучках (V, VI) наблюдаются фазовые распределения, которые называются муаровыми картинками. Период и распределение интенсивностей в муаровых картинках зависят от разброса периодов отражающих плоскостей (дилатационный муар) и относительных поворотов этих плоскостей (ротационный муар), т.е. вид муара зависит от степени совершенства монокристалла, из которого изготовлен интерферометр.

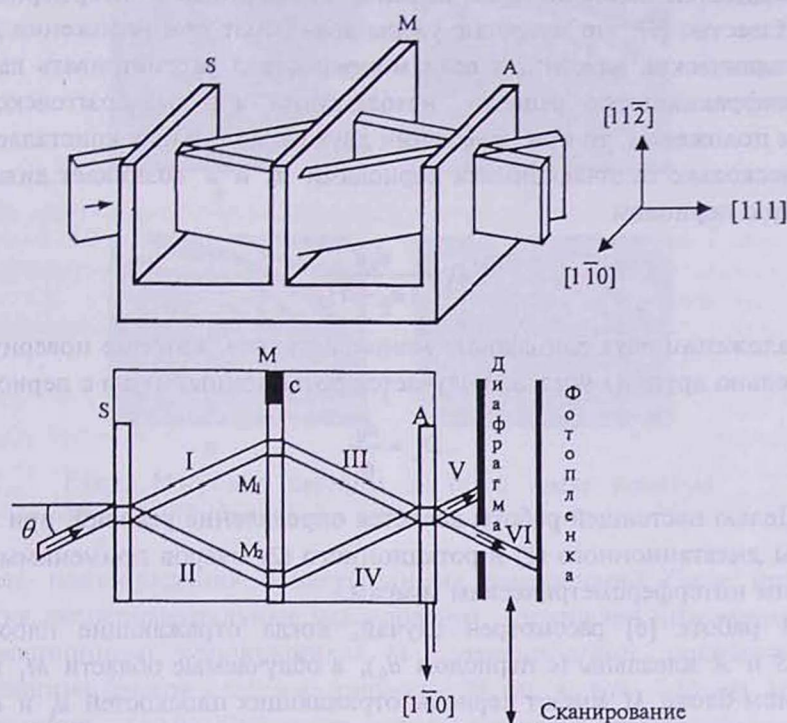


Рис.1. Схематическое изображение рентгеновского интерферометра.

Отметим также, что смешанный муар является сложением дилатационного и ротационного муаров, т.е. измеряя период муара в направлении $[1\bar{1}0]$, можно судить о нарушениях периодичности отражающих плоскостей, а измеряя период того же смешанного муара в направлении $[11\bar{2}]$, — об относительных поворотах отражающих плоскостей вокруг оси $[111]$. Если в кристаллических блоках имеются структурные дефекты (в частности, дислокации), то от интерферометра получается смешанный муар.

Исходя из вышеуказанного, в работе [4] проведены следующие исследования: в зеркальный блок (М) в области С генерированы единичные 60° -ные дислокации, получены муаровые картины до и после генерирования дислокаций и оценены распределения механических напряжений в кристал-

лическом блоке M вдали от дислокаций. С целью расшифровки полученных экспериментальных данных, в приближении линейной теории упругости, получены выражения для вычисления механических напряжений, создаваемых внесенными дислокациями. При этом принималось, что, кроме области M_1 , в остальных облучаемых областях отражающие плоскости имеют одинаковые периоды.

Во всех вышеуказанных исследованиях важной проблемой является установление зависимости периодов и видимости муаровых картин от степени когерентности падающей рентгеновской волны и от структурных неоднородностей монокристалла, из которого изготовлен интерферометр.

Известно [5], что муаровые узоры возникают при наложении двух монокристаллических пластин, и если монокристалл рассматривать как штриховую дифракционную решетку, находящуюся в вульф-брэгговском отражающем положении, то при наложении двух параллельных кристаллов (сэндвич) с несколько отличающимися периодами d_0 и d возникает дилатационный муар с периодом

$$D_{||} = \frac{d_0 d}{|d_0 - d|}, \quad (1)$$

а при наложении двух одинаковых монокристаллов, которые повернуты друг относительно друга на угол φ , получается ротационный муар с периодом

$$D_{\perp} = \frac{d_0}{\varphi}. \quad (2)$$

Целью настоящей работы является определение условий, при которых формулы дилатационного (1) и ротационного (2) муаров применимы к рентгеновским интерферометрическим муарам.

В работе [6] рассмотрен случай, когда отражающие плоскости в блоках S и A идеальны (с периодом d_0), а облучаемые области M_1 и M_2 на зеркальном блоке M имеют периоды отражающих плоскостей d_1 и d_2 и повернуты относительно отражающих плоскостей в блоках S и A на углы φ_1 и φ_2 , соответственно. Методом динамического рассеяния рентгеновских лучей вычислен период полученных смешанных муаров:

$$D_{\perp} = d_0 d_1 d_2 [(d_1 \Delta d_2 + d_2 \Delta d_1)^2 + d_0^2 (\varphi_2 d_1 + \varphi_1 d_2)^2]^{-1/2},$$

где $\Delta d_1 = |d_1 - d_0|$, $\Delta d_2 = |d_2 - d_0|$. Если все отражающие плоскости параллельны ($\varphi_1 = \varphi_2 = 0$), но отличаются периодами решеток ($d_0 \neq d_1 \neq d_2$), то получается чисто параллельный (дилатационный) муар с периодом

$$D_{||} = d_0 d_1 d_2 / (d_1 \Delta d_2 + d_2 \Delta d_1), \quad (3)$$

а для чисто ротационного муара ($\Delta d_1 = \Delta d_2 = 0$) получается

$$D_{\perp} = \frac{d_0}{\varphi_1 + \varphi_2}. \quad (4)$$

Учитывая, что в наших экспериментах рентгеновский пучок II отражается в области зеркального блока вдали от области внесенных дислокаций, и принимая, что $d_2 = d_0$, $\Delta d_2 = 0$, $\varphi_2 = 0$, и что Δd_1 на несколько порядков меньше, чем d_0 , из (3) и (4) получим выражения (1) и (2). Таким образом, выражения (1) и (2) для "сэндвича" можно использовать для вычисления периодов интерферометрического муара, если из четырех облучаемых областей три области идентичны.

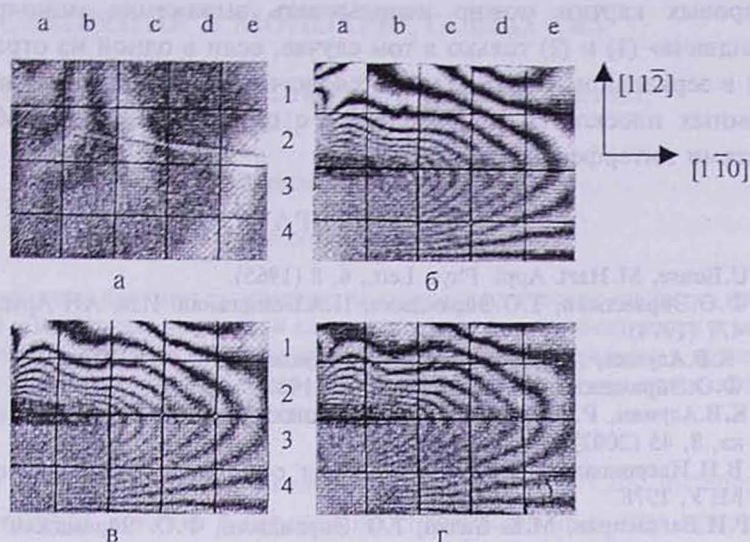


Рис.2. Муаровые картины до (а) и после внесения дислокаций (б, в, г).

Для подтверждения вышеуказанных рассуждений были проведены следующие экспериментальные исследования: изготовлен интерферометр из бездислокационного монокристалла Si с ориентациями, показанными на рис.1. Толщина блоков – 0,5 мм, ширина – 25 мм, высота – 15 мм, межблочные расстояния – 15 мм. Снималась муаровая картина сканированием интерферометра (возвратно-поступательное движение интерферометра с фотопленкой относительно неподвижной щели и падающего рентгеновского пучка). Как видно из исходной муаровой картины (рис.2а), монокристалл Si, из которого изготовлен интерферометр, почти совершенный, т.к. получились всего четыре муаровые линии с большим периодом. Далее, в широком блоке М в области С генерированы единичные 60° -ные дислокации методом, описанным в [7]. Снимались муаровые картины излучениями CuK_α (рис.2б, $\lambda_{\text{Cu}} = 1,54 \text{ \AA}$, $\theta_{\text{Cu}} = 23^\circ 39'$), NiK_α (рис.2в, $\lambda_{\text{Ni}} = 1,66 \text{ \AA}$, $\theta_{\text{Ni}} = 25^\circ 35'$) и CoK_α (рис.2г, $\lambda_{\text{Co}} = 1,79 \text{ \AA}$, $\theta_{\text{Co}} = 27^\circ 46'$). Сравнение этих муаров с исходным муаром показывает, что формирование муаровой картины после внесения дислокаций обусловлено пучком III, который отражается вблизи области скопления дислокаций. С увеличением длины падающей волны и, следовательно, угла Брэгга увеличивается расстояние между областью отражения пучка II и областью скопле-

ния дислокаций. Сравнение периодов муаровых картин (в направлениях $[1\bar{1}0]$ и $[11\bar{2}]$, рис.2) при разных излучениях показывает, что периоды дилатационного и ротационного муаров почти не меняются, а это значит, что по сравнению с областью M_1 как область M_2 , так и области отражений пучков в блоках S и A можно считать совершенными (с периодом отражающих плоскостей d_0).

Таким образом, при расшифровке рентгеноинтерферометрических муаровых картин можно использовать выражения монокристаллического «сэндвича» (1) и (2) только в том случае, если в одной из отражающих областей в зеркальном блоке M имеются значительные нарушения периодичности атомных плоскостей по сравнению с остальными тремя облучаемыми областями интерферометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. U.Bonse, M.Hart. Appl. Phys. Lett., 6, 8 (1965).
2. Ф.О.Эйрамджян, Т.О.Эйрамджян, П.А.Безирганян. Изв. АН Арм. ССР, Физика, 9, 477 (1974).
3. К.В.Алумян, Р.И.Багдасарян, П.А.Безирганян, А.А.Дургарян, Т.С.Мнацаканян, Ф.О.Эйрамджян. Уч. зап. ЕГУ, 3, 87 (1988).
4. К.В.Алумян, Р.И.Багдасарян, Т.С.Мнацаканян, Ф.О.Эйрамджян. Изв. вузов, Физика, 8, 45 (2002).
5. В.И.Иверонова, Г.П.Ревкевич. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М., изд. МГУ, 1978.
6. Р.И.Багдасарян, М.К. Баян, Т.О. Эйрамджян, Ф.О. Эйрамджян. Изв. вузов, физика, 4, 9 (1984).
7. Р.И.Багдасарян, Т.С.Мнацаканян, Т.О.Эйрамджян, А.А.Мартirosян, Ф.О.Эйрамджян. Уч. зап. ЕГУ, 2, 162 (1983).

ԱՆՏՊԵՆԱԻՆՏԵՐՖԵՐՈՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄՈՒԱՐԻ ՊԱՏՎԵՐՆԵՐԻ ՎԵՐԾԱՆՈՒՄԸ

Կ.Վ. ԱԼՈՒՄՅԱՆ, Թ.Ս. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ, Տ.Հ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ, Ֆ.Հ. ԷՅՐԱՄՋՅԱՆ

Ուսումնասիրված են այն պայմանները, որոնց դեպքում միաբյուրեղյա "սենդվիչի" պարբերության հաշվման պարզագույն արտահայտությունները կարելի է օգտագործել ռենտգենախնդիրներով ստացված մուարի վերծանման ժամանակ:

INTERPRETATION OF X-RAY INTERFEROMETRIC MOIRE PATTERNS

K.V. ALOUMYAN, T.S. MNATSAKANYAN, T.H. EYRAMJYAN, F.H. EYRAMJYAN

We consider the conditions, under which the simplest expressions used in calculations of the monocrystal "sandwich" period can be employed to decipher X-ray interferometric moire patterns.