

УДК 548.732

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ИСКУССТВЕННАЯ АНИЗОТРОПИЯ КРИСТАЛЛОВ В ОБЛАСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЧАСТОТ

Л.Г. ГАСПАРЯН, В.П. МКРТЧЯН, М.К. БАЛЯН, А.Г. ГРИГОРЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 17 января 2006 г.)

Впервые экспериментально обнаружено явление температурной искусственной анизотропии кристаллов в области рентгеновских частот и сделана попытка теоретически объяснить проявление этого явления при брэгг-лауэвской дифракции. Установлено, что изотропный кристалл становится в оптическом отношении искусственно анизотропным, подобным одноосному кристаллу с оптической осью вдоль направления приложенного внешнего воздействия, являющегося осью симметрии, что и приводит к двойному лучепреломлению.

Динамическая теория дифракции рентгеновских лучей показывает, что вблизи полного отражения на совершенном кристалле часть энергии проникает внутрь кристалла и распространяется по вполне определенной траектории, являющейся функцией угла падения [1,2]. В работе [3] экспериментально доказано существование этого явления. Найдены выражения для интенсивностей пучков, выходящих из торцевой поверхности кристалла для поглощающего и непоглощающего кристаллов, соответственно [4,5]. В работе [6] рассмотрено явление дифракции в конечных кристаллах для симметричной и асимметричной геометрии дифракции, а в [7-10] исследовано влияние ультразвука и температурного градиента на дифракцию и модуляцию рентгеновских волн.

В настоящей работе исследовано влияние внешнего воздействия (температурный градиент) на поток энергии, дифрагированной по Брэггу. Исследования подобного рода важны, поскольку аномально проходящий пучок в случае Брэгга можно использовать для исследования межатомных решеточных дефектов, для измерения решеточных параметров таких кристаллов, которые подвергнуты ионной имплантации или поверхность которых имеет разные решеточные параметры. В этом случае решеточные параметры поверхности, подвергнутой внешним воздействиям, можно определить, измеряя смещение между максимумами отражения пучков, дифрагированных от поверхности кристалла и от торцевой части.

В связи с тем, что полупроводниковые приборы часто работают в условиях внешних воздействий, представляет интерес также исследование влияния ультразвуковых колебаний и температурного градиента на брэгг-лауэвское (БЛ) отражение рентгеновских лучей, т.е. исс-

ледование пучков, выходящих из торцевой поверхности монокристалла в зависимости от внешних воздействий.

Для исследования влияния температурного градиента на БЛ отражение рентгеновских лучей опыты проводились следующим образом. Образец, который был вырезан из бездислокационного кристалла кремния, имел вид пластинки, большая поверхность которой $(1\bar{1}0)$. Этот образец большой стороной прикреплялся к специально изготовленному металлическому резервуару, через который подавалась вода для охлаждения прикрепленной стороны. Образец с подставкой устанавливался на второй головке двухкристальной камеры. Температурный градиент создавался за счет того, что один конец образца охлаждался проточной водой, а другой конец нагревался с помощью нагревателя (см. рис.1). Таким образом, на краях образца поддерживалась постоянная разность температур. Температура измерялась с помощью медьконстантановой термопары. Один конец термопары постоянно держался при температуре 0°C , а другой конец поочередно прижимался к краям образца.

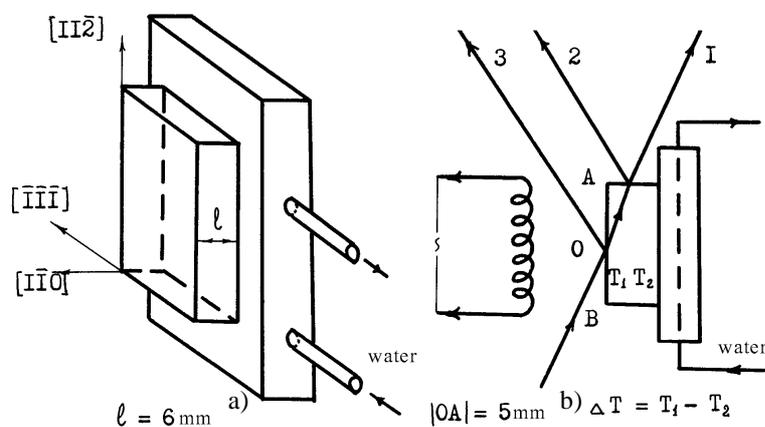


Рис.1. а) Образец с подставкой, б) схема эксперимента.

После отражения от асимметричного монохроматора лентообразный параллельный пучок рентгеновских лучей падал на поверхность образца АВ, и после симметричной дифракции в образце снимались кривые качания пучков 1,2 и 3. Измерения проводились для разных значений температурного градиента, результаты приведены в таблице 1.

Как показали опыты, с увеличением температурного градиента максимальные значения кривых качаний пучков 1,2 и 3 уменьшаются, полуширина кривых качаний увеличивается, а угловое смещение между брэгговским и лауэвскими отражениями уменьшается. Например, при отсутствии градиента ($\Delta T = 0 \text{ K}$) смещение указанных пучков составляло $2,5''$. При $\Delta T = 9 \text{ K}$ смещение было равно $1''$, а при $\Delta T = 29 \text{ K}$ $0,5''$. При дальнейшем увеличении температурного градиента (например, при $T = 49 \text{ K}$) наблюдалось расщепление кривой качания пучка 3, т.е. появление дублета (двух максимумов одинаковой

интенсивности) на этой кривой (см. рис.2).

Табл.1. $\delta_{1,2}$ и δ_3 – полуширины кривых качания лауэвских и брэгговских отражений, соответственно; Δ – смещение между максимумами кривых качания брэгговского и лауэвского отражений.

ΔT (К)	$\delta_{1,2}$ (сек.)	δ_3 (сек.)	Δ (сек)	$I_{1,2\max}$ (имп./сек)	I_{\max} (имп./сек)	I_{\min} (имп./сек)
0	2,0	3,0	2,5	$6 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^3$	–
6	2,0	3,0	2,0	$6 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^3$	–
9	2,0	3,0	1,0	$6 \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^3$	–
19	2,2	3,4	0,7	$5,6 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^3$	–
29	2,4	4,0	0,5	$5,3 \cdot 10^2$	$4,5 \cdot 10^3$	–
41	2,6	5,0	0	$4,6 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$
49	3,0	6,0	0	$4 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$

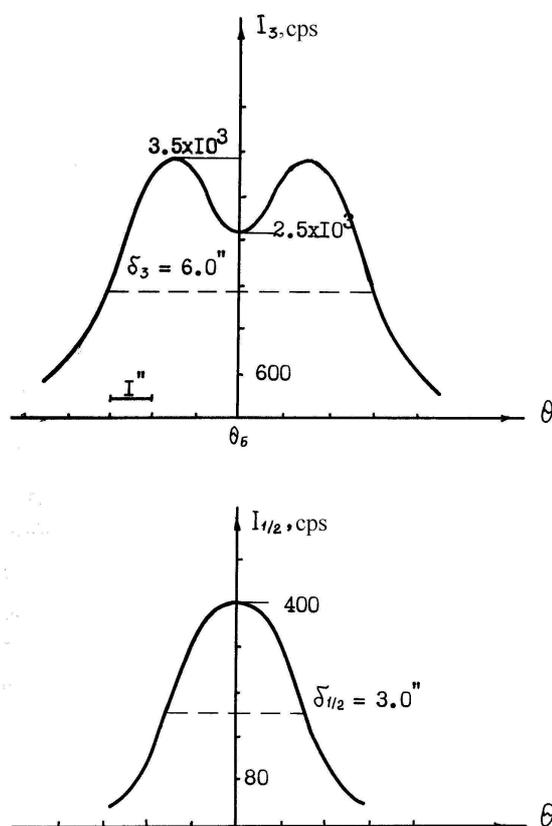


Рис.2. Кривые качания пучков 1,2 и 3 при $\Delta T = 49$ К.

При этом происходило совпадение максимума кривой качания пучка 1 с минимумом кривой качания пучка 3. Отметим также, что кривая качания 3 симметрична относительно точки минимума в области расщепления, а расстояние между максимумами увеличивается с увеличением ΔT . Таким образом, при больших значениях температурного градиента угловое смещение между брэгговским и лауэвскими отражениями исчезает.

Результаты проведенных экспериментов объяснить в пределах динамической теории оказалось невозможным. Было сделано предположение, что под действием внешнего воздействия (температурный градиент) изотропный кристалл становится в оптическом отношении искусственно анизотропным (явление, хорошо известное в оптике), подобным одноосному кристаллу с оптической осью вдоль направления приложенного внешнего воздействия, являющегося осью симметрии. На основании этого предположения попытаемся объяснить поведение качаний пучков 1,2 и 3. Согласно динамической теории, угол Брэгга брэгговски-отраженного пучка 3 отклонен от кинематического угла Брэгга на $\chi_0/2\sin 2\theta$, где χ_0 – общая нулевая Фурье-компонента поляризуемости для волн σ - и π -поляризации. При наличии анизотропии имеем $\chi_{0\sigma}/2\sin 2\theta$ и $\chi_{0\pi}/2\sin 2\theta$ для σ - и π -поляризаций, соответственно. Пока чувствительность опыта не позволяет различить эти максимумы, явление проявляется расширением кривых качаний, а начиная с определенных значений температуры (см. рис.2) максимумы кривых качаний разделяются, давая для каждой поляризации соответствующее положение максимума. На рис.3 приведена экспериментально полученная зависимость ширины кривой качания от температурного градиента.

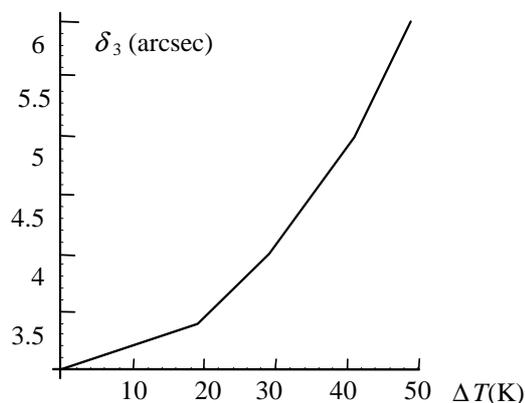


Рис.3. Зависимость ширины кривой качания брэгговски отраженного пучка 3 от температурного градиента.

Как и в оптике при воздействии электрического поля (эффект Кэрра), эта зависимость приблизительно представляется параболой. Что касается пучков, выходящих из торцевой поверхности кристалла, то в результате полного поглощения π -поляризации они будут только σ -поляризованы и их кривые качания вследствие искусственной анизотропии будут смещаться в сторону максимума кривой качания σ -поляризации брэгговски отраженного пуч-

ка 3. Отсюда можно сделать вывод, что левая компонента расщепленной кривой качания брэгговски отраженного пучка 3 (рис.2), в сторону которой смещаются максимумы кривых качаний пучков, выходящих из торцевой поверхности 1 и 2, соответствует σ -поляризации.

Обобщая вышеприведенные результаты, приходим к следующим выводам.

1. При сочетаниях брэгг-лауэвских геометрий отражений, когда на кристалл падает плоская волна, качание кристалла приводит к возникновению трех пучков.

2. Между максимумами кривых качаний этих компонент существует угловое отклонение $\approx 2,5^\circ$. Лауэвские компоненты возникают вследствие малости дифракционного коэффициента поглощения в окрестности точки $p = +1$ и только σ -поляризованы.

3. При наличии температурного градиента в кристалле, угловое смещение между брэгговским и лауэвскими отражениями уменьшается с увеличением величины температурного градиента.

4. Начиная с некоторых больших значений температурного градиента, наблюдается расщепление кривой качания брэгговского отражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **H.Wagner.** Z. Physik, **146**, 127 (1956).
2. **M. von Laue.** Rontgenstrahlinterferenzen. Frankfurt/M., 1960.
3. **G.Borrmann, G.Hildebrandt, H.Wagner.** Z. Physik, **142**, 406 (1955).
4. **A.Authier.** Le Journal de Physique et le Radium, **23**, 961 (1962).
5. **G.J.Wach.** Phys. Lett. A, **121**, 45 (1987).
6. **G.Thorkidsen, H.B.Larsen.** Acta Cryst., A **54**, 416 (1998); *ibid*, A **55**, 1 (1999).
7. **E.Zolotoyabko, B.Sander.** Acta Cryst., A **51**, 897 (1995).
8. **E.M.Iolin.** Acta Cryst., A **51**, 897 (1995).
9. **K.D.Liss, A.Magerl, A.Rehof, R.Hock.** Acta Cryst., A **53**, 181 (1997).
10. **M.Hecker, W.Pitschke, D.Tietjen, C.M.Schneider.** Thin Solid Films, 411, 234 (2002).

ARTIFICIAL TEMPERATURE ANISOTROPY OF CRYSTALS IN THE RANGE OF X-RAY FREQUENCIES

L.G. GASPARYAN, V.P. MKRTCHYAN, M.K. BALYAN, A.H. GRIGORYAN

For the first time the phenomenon of artificial temperature anisotropy is revealed in the range of X-ray frequencies and an attempt is made to give a theoretical explanation of this phenomenon in the case of the Bragg-Laue diffraction. It is established that an isotropic crystal optically becomes artificially anisotropic like an uniaxial crystal with the optical axis along the direction of an applied external excitation as a symmetry axis, which leads to the birefringence.