

УДК 548.732

ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КРИСТАЛЛЕ KDP ПРИ НАЛИЧИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА

В.К. МИРЗОЯН, К.М. ГЕВОРКЯН, П.А. ГРИГОРЯН, Т.Г. ДОВЛАТЯН

Институт прикладных проблем физики НАН Армении, Ереван

(Поступила в редакцию 20 января 2010 г.)

Исследовано влияние температурного градиента на интенсивность рентгеновского излучения, отраженного от разных атомных плоскостей кристалла KDP, в зависимости от толщины кристалла. Изучено явление переброски интенсивности рентгеновского пучка для X- и Z-срезов кристалла KDP при наличии и отсутствии температурного градиента. Показано, что интенсивности отраженных излучений не насыщаются по той причине, что в условиях эксперимента дальнейшее увеличение температурного градиента приводит к разрушению образца. Выявлено, что в некоторых случаях при малых величинах температурного градиента интенсивность отраженного излучения сначала уменьшается более чем на 10%, а затем монотонно увеличивается с повышением величины температурного градиента.

1. Введение

Дигидрофосфат калия KH_2PO_4 (KDP) при комнатной температуре кристаллизуется в тетрагональной фазе и принадлежит к точечной группе $I42m$ (и, следовательно, обладает пьезоэлектрическими свойствами) и имеет постоянные решетки $a = b = 7.453 \text{ \AA}$, $c = 6.959 \text{ \AA}$.

При подробном исследовании этого кристалла были обнаружены многие специфичные эффекты, представляющие интерес не только в кристаллографии, кристаллохимии, термодинамике, теории диэлектриков, но и для практических применений в области электротехники и радиотехники. Исторически так сложилось, что впервые кристаллы KDP начали применяться для управления лазерным излучением, что и вызвало обширный интерес к этому материалу.

Особый интерес представляет также применение этого кристалла для исследования влияния внешних воздействий на интенсивность рентгеновского излучения, отраженного от разных атомных плоскостей. Изучение влияния различных внешних воздействий на интенсивность отраженного рентгеновского пучка для тонких кристаллов было начато в тридцатых годах прошлого столетия [1-3]. В отличие от некоторых других кристаллов, для KDP значение интенсивности отраженного излучения, после отключения нагрева (теплового градиента), быстро возвращается к исходной величине [4]. Количественные исследования отношения интенсивностей проходящего и

отраженного пучков были выполнены в работе [5], где получен эффект полной перекачки интенсивности проходящего пучка от направления прохождения в направление отражения для тонких кристаллов, у которых $\mu t \sim 1$ (μ – линейный коэффициент поглощения, а t – толщина кристалла). Целью настоящей работы было исследование влияния температурного градиента на интенсивность рентгеновского излучения, отраженного от тонкой пластинки кристалла KDP.

2. Методика эксперимента

Исследования проводились на рентгеновской установке ДРОН-3. Были изготовлены сканирующие головки для обнаружения областей с максимальной отражающей способностью на исследуемом кристалле. Головки были установлены на гониометре ГУР-8 и были определены срезы X и Z массивного монокристалла KDP. Параллельно этим срезам были вырезаны пластинки разных толщин. Исследуемые образцы имели форму прямоугольного параллелепипеда, большие поверхности которых совпадали со срезами X и Z, а боковые грани – с отражающими атомными плоскостями. Эти пластинки полировались хлопчатобумажным материалом, смоченным в растворе этилового спирта для сглаживания шероховатостей, неровностей и напряжений, возникших при вырезке.

Для проведения исследований с помощью температурного градиента был изготовлен и отградуирован нагреватель. Нагреватель и исследуемая пластинка были прикреплены к гониометрической головке ГП-14 таким образом, чтобы нагревание кристалла происходило бесконтактным методом, т.е. чтобы передача тепла происходила посредством теплового излучения печки и конвекции воздуха.

3. Экспериментальные результаты

На рис.1 приведены срезы X и Z и перпендикулярные этим срезам атомные плоскости и углы между отражающими атомными плоскостями и плоскостями (002) и (020), для которых структурный фактор не равен нулю. Для этих отражающих плоскостей вычислены брэгговские углы (табл.1).

Нами использовались рентгеновские трубки типа БСВ-29 с анодами Mo и Ag. Рентгеновское излучение, падающее на образец, имело поперечное сечение $0.1 \times 10 \text{ мм}^2$. На рис.2 приведена схема эксперимента.

На выходе монохроматора из кварца была установлена передвижная щель для отделения излучения $K_{\alpha 1}$ от $K_{\alpha 2}$. Регистрация проходящего и дифрагированного рентгеновского излучения проводилась как с помощью сцинтилляционного счетчика, так и фотографированием фронтального сечения на рентгеновской пленке.

Экспериментально было изучено явление перекачки интенсивности проходящего рентгеновского излучения от направления прохождения в направление отражения для разных атомных плоскостей кристалла KDP X- и Z-срезов, в зависимости от толщины кристалла и величины температурного

градиента. Коэффициенты линейного поглощения кристалла KDP для AgK_α и MoK_α равны 7.6632 см^{-1} и 15.471 см^{-1} , соответственно. Результаты эксперимента приведены в табл.2 и 3.

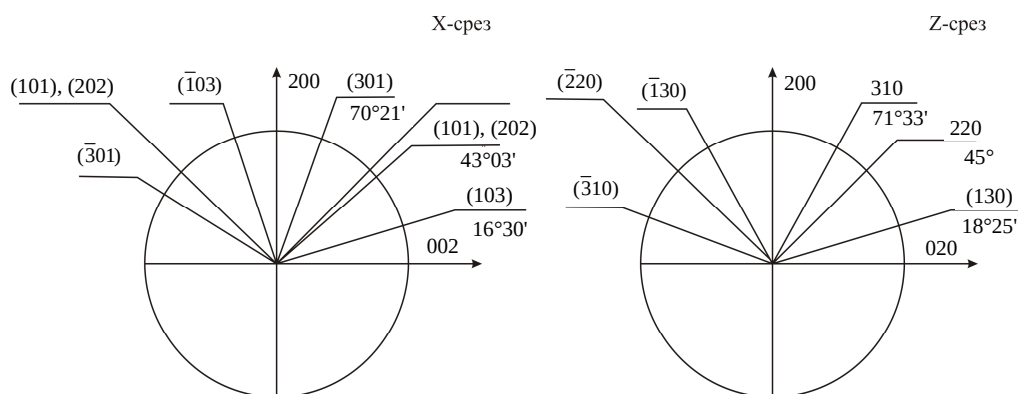


Рис.1. Взаимные ориентации плоскостей, перпендикулярных X- и Z-срезам.

Табл.1. Углы Брэгга атомных плоскостей (hkl) для характеристической линии $\text{K}_{\alpha 1}$ анодов Ag, Mo, Cu для кристалла $\text{KDP}(\text{KH}_2\text{PO}_4)$, относительные интенсивности и межплоскостные расстояния.

(hkl)	Межпл. расст. $d, \text{Å}$	Отн. интенс.	Ag $\text{K}_{\alpha 1} 0.559 \text{ Å}$	Mo $\text{K}_{\alpha 1} 0.709 \text{ Å}$	Cu $\text{K}_{\alpha 1} 1.54 \text{ Å}$
101	5.0864	23	$3^\circ 09'$	$3^\circ 59'$	$8^\circ 42'$
200	3.7265	100	$4^\circ 18'$	$5^\circ 27'$	$11^\circ 54'$
121	3.006	12	$5^\circ 19'$	$6^\circ 46'$	$14^\circ 50'$
112	2.9037	75	$5^\circ 30'$	$7^\circ 00'$	$15^\circ 19'$
220	2.635	23	$6^\circ 04'$	$7^\circ 43'$	$16^\circ 59'$
202	2.5462	10	$6^\circ 16'$	$8^\circ 00'$	$17^\circ 32'$
130	2.3568	3	$6^\circ 48'$	$8^\circ 39'$	$19^\circ 03'$
301	2.3397	10	$6^\circ 51'$	$8^\circ 42'$	$19^\circ 12'$
103	2.21488	5	$7^\circ 15'$	$9^\circ 12'$	$20^\circ 20'$
231	1.9815	9	$8^\circ 04'$	$10^\circ 18'$	$22^\circ 51'$
132	1.9513	37	$8^\circ 13'$	$10^\circ 27'$	$23^\circ 14'$
002	3.4795		$4^\circ 36'$	$5^\circ 50'$	$12^\circ 46'$

В таблицах 2 и 3 приведены значения интенсивностей и соответствующие коэффициенты усиления отраженного рентгеновского излучения в зависимости от толщины кристалла и величины температурного градиента. Как видно из табл.2 и 3, явление переброски, то есть перекачки интенсивности проходящего рентгеновского излучения от направления прохождения в направление отражения для атомных плоскостей кристалла KDP

X- и Z-срезов различны. С помощью этих данных вычислен коэффициент усиления K .

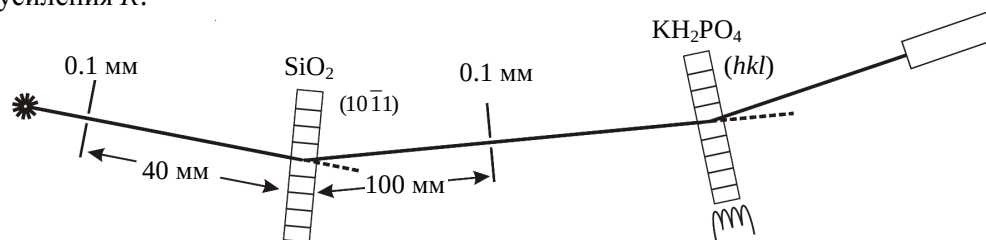


Рис. 2. Схема эксперимента.

Из исследованных нами образцов, кристалл толщиной 0.5мм имеет наибольший коэффициент усиления при отражении от плоскостей (220) Z-среза и (101) X-среза. Коэффициент усиления имеет наименьшее значение при отражении от плоскости (301) X-среза и при толщине кристалла 1.62мм. Интересно отметить, что для этой толщины значение коэффициента усиления, при отражении от плоскости (220) Z-среза, также имеет малое значение. Кристалл, толщиной 1.3 мм, имеет почти одинаковые коэффициенты усиления для X- и Z-срезов.

Табл.2. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения, отраженного от атомных плоскостей (hkl) кристалла KDP Z-среза, от толщины кристалла и от величины приложенного температурного градиента и соответствующие коэффициенты усиления K .

hkl	(200)				(220)						
$t, \text{ мм}$	3.0	2.03	1.62	1.3	3.0	2.5	1.62	1.3	1.0	0.8	0.5
$\Delta T/\Delta X, \text{ град/см}$											
0	26000	15000	14000	18000	14000	5000	18000	8300	45000	43000	12000
2	40000	25000	10000	25000	20000	8000	12000	5100	44000	40000	28000
4	64000	45000	15000	36000	30000	15000	21000	7600	55000	50000	47000
6	70000	71700	36000	52000	70000	26000	52000	13600	70000	60000	76000
8	86000	101000	73000		90000	40000		18500	83000	74000	88000
10	112000	120000	94000	108000	12000	54000	86000		102000	110000	130000
12	164000	153000	124000		16000	60000		18000	134000		165000
14		171000	132000	124000	28000	64000		20900	165000	168000	184000
16	179000	202000			37000		138000	28000	188000	219000	202000
18		214000			44000	67000		52000	226000		212000
20					49000	68000	142000	62000	250000		
22								70000	280000	254000	
24								80000	300000		
26								92000	293000	291000	
28								100000			
K	7	14	9	7	4	14	8	12	7	7	18

Табл.3. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения, отраженного от атомных плоскостей (hkl) кристалла KDP X-среза, от толщины кристалла и от величины приложенного температурного градиента и соответствующие коэффициенты усиления K .

(hkl)	(101)	(301)		
t , мм $\Delta T/\Delta X$, град/см	1.3	1.62	1.0	0.8
0	3000	1400	1400	3000
6		800	1300	
8	3000		1100	7300
10	4300		1800	9300
12	5000		2000	11400
14	6800		2200	13000
16	7800	1300	3000	14000
18	9200	1400	4000	
20	10000	1600	5000	15000
22			6000	16000
24		1800		18000
26			6500	19000
28			7000	19000
30	18000	1900	7500	
40	19000	2100	7800	
50	24000	2300		
60	28000	2500		
65	29500			
70		2500		
75		2600		
K	10	2	6	6

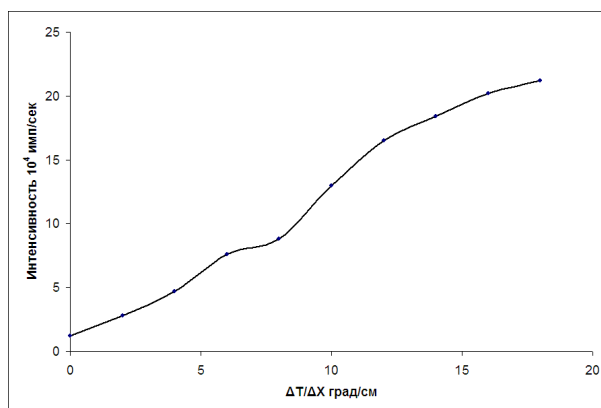


Рис.3. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения от величины температурного градиента для плоскости (220) кристалла KDP толщиной 0.5 мм.

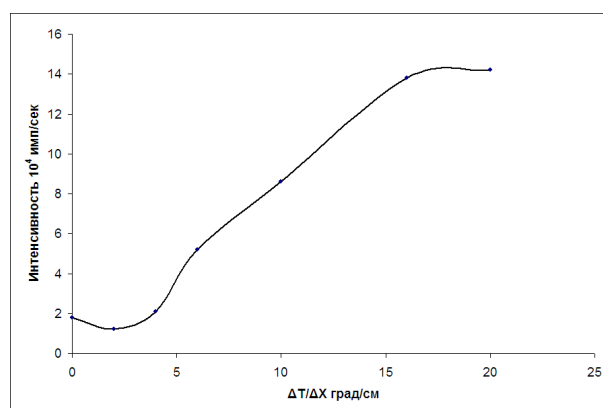


Рис.4. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения от величины температурного градиента для плоскости (220) кристалла KDP толщиной 1.62 мм.

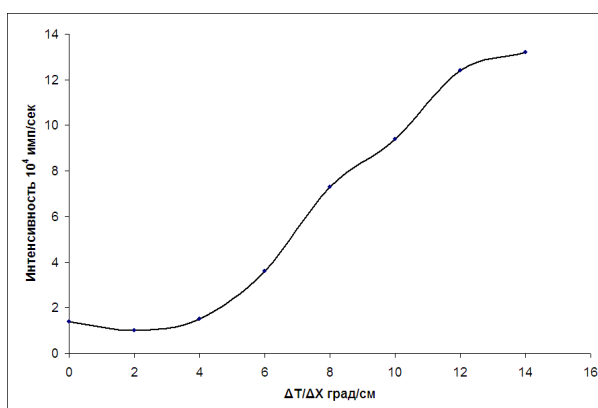


Рис.5. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения от величины температурного градиента для плоскости (200) кристалла KDP толщиной 1.62 мм.

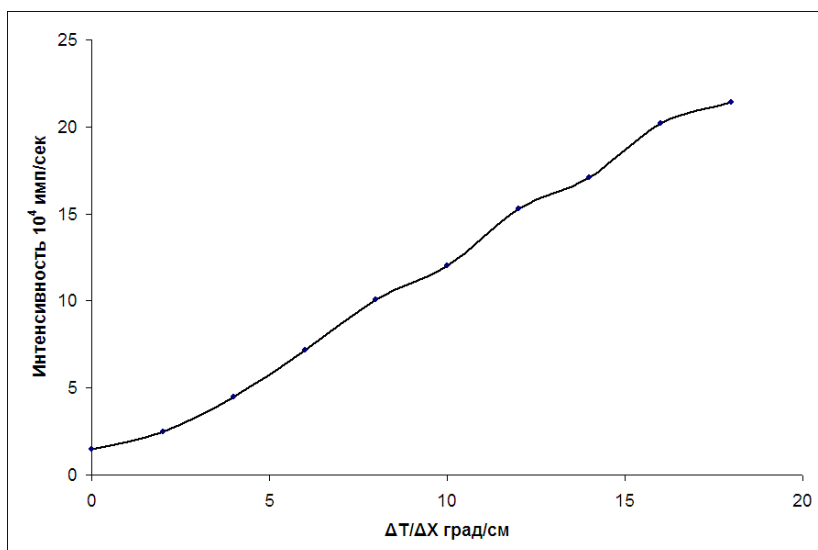


Рис.6. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения от величины температурного градиента для плоскости (200) кристалла KDP толщины 2.03 мм.

На основе экспериментальных данных построены графики зависимости интенсивности отраженного излучения от величины температурного градиента (рис.3–6).

Из полученных данных можно сделать вывод, что интенсивность отраженного излучения не насыщается, но дальнейшее увеличение температурного градиента невозможно, поскольку оно приводит к разрушению кристалла.

4. Заключение

Таким образом, в данной работе получены экспериментальные данные о влиянии температурного градиента на интенсивность отраженного от кристалла KDP рентгеновского излучения. Нами обнаружено, что для кристаллов Z-среза толщиной 1.62 мм, 1.3 мм, 0.8 мм для отражения (220) и толщиной 1.62 мм для отражения (200) при малых величинах температурного градиента интенсивность отраженного излучения сначала уменьшается более чем на 10%, а затем монотонно увеличивается с повышением величины температурного градиента.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.W.Fox, P.H.Carr. Phys. Rev., **37**, 1622 (1931).
2. S.Nishikava, I.Sakisaka, I.Sumoto. Phys. Rev., **38**, 1078 (1931).
3. I.Kakuchi. Phys. Rev., **54**, 772 (1938).
4. Т.Г.Довлатян, В.К.Мирзоян, А.А.Егизарян. Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтр. исслед., №11, 41 (2007).
5. А.Р.Мкртчян, М.А.Навасардян, В.К.Мирзоян. Письма в ЖТФ, **8**, 677 (1982).

KDP ԲՅՈՒՐՆԵՂՈՒՄ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԴԻՖՐԱԿՑԻԱՆ
ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԳՐԱԴԻԵՆՏԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՄԲ

Վ.Ղ. ՄԻՐԶՈՅԱՆ, Կ.Մ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Պ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Տ.Գ. ԴՈՎԼԱԹՅԱՆ

Հետազոտված է ջերմային գրադիենտի ազդեցությունը KDP բյուրեղի տարբեր ատոմական հարթություններից անդրադարձած ռենտգենյան փնջի ինտենսիվության վրա, կախված բյուրեղի հաստությունից: Հաշվարկված են անդրադարձած ճառագայթման ինտենսիվության ուժեղացման գործակիցները: Փորձի շրջանակներում չի դիտվել ինտենսիվության հազեցում, քանի որ ջերմային գրադիենտի հետագա բարձրացումը բերում է նմուշի բյուրեղային կառուցվածքի խախտմանը: Ցույց է տրված, որ ջերմային գրադիենտի փոքր արժեքների դեպքում անդրադարձած ճառագայթման ինտենսիվությունը ընկնում է ավելի քան 10%-ով, այնուհետև աճում է ջերմային գրադիենտի աճին զուգընթաց:

X-RAY DIFFRACTION IN KDP CRYSTAL
IN THE PRESENCE OF TEMPERATURE GRADIENT

V.Gh. MIRZOYAN, K.M. GEVORGYAN, P.A. GRIGORYAN, T.G. DOVLATYAN

We investigated the effect of temperature gradient on the intensity of X-rays reflected from different atomic planes of KDP crystal, depending on the crystal thickness. The phenomenon of transfer is studied for the X- and Z-cuts of the KDP crystal. The amplification coefficients (the ratio of the intensities of the reflected beam in the presence and absence of the temperature gradient) are determined. It is shown that the intensity of the reflected radiation does not saturate, because in experimental conditions a further increase in the temperature gradient leads to the destruction of the sample.