

УДК 548.732

МОДУЛЯЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТРАЖЕННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЕЕ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ОБЪЕМНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Т.Р. МУРАДЯН¹, Р.В. АМИРАГЯН¹, С.Г. ХЛОПУЗЯН¹,
А.Р. ВАГНЕР², В.Р. КОЧАРЯН^{1,2*}

¹Институт прикладных проблем физики НАН РА, Ереван, Армения

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, Россия

*e-mail: vahan2@yandex.ru

(Поступила в редакцию 2 марта 2015 г.)

Экспериментально исследована дифракция рентгеновского излучения от отражающих атомных плоскостей (10 $\bar{1}1$) монокристалла кварца с АТ-срезом в геометрии Лауэ при наличии объемных акустических волн. Рассмотрены некоторые вопросы получения пространственной модуляции интенсивности отраженного пучка и управления ее параметрами при наличии акустических волн.

1. Введение

Известно, что наличие внешних воздействий (температурный градиент, акустические колебания) приводит к увеличению интенсивности отраженного рентгеновского излучения в процессе рассеяния рентгеновских лучей от монокристаллов, находящихся в условии Брэгга по геометрии Лауэ. При определенных параметрах внешних воздействий для отражающих атомных плоскостей (10 $\bar{1}1$) кварца происходит полная переброска рентгеновского излучения из направления прохождения в направление дифракции [1]. Поскольку зависимость интенсивности отраженного рентгеновского излучения от параметров внешнего воздействия дала возможность получить управляемые рентгеновские пучки во времени и в пространстве, в дальнейшем были проведены многочисленные работы по исследованию разных характеристик (угловая расходимость, пространственное распределение, энергетическая дисперсия) отраженного рентгеновского излучения [2-4]. В работах [5,6] экспериментально и теоретически показано, что в геометрии Лауэ с помощью акустического поля и температурного градиента можно контролировать местоположение фокуса отраженного рентгеновского излучения, а также преобразовывать сферическую волну в плоскую. Синусоидальная модуляция кристаллической решетки с коротковолновой поверхностной акустической волной при дифракции рентгеновского

излучения в геометрии Брэгга приводит к появлению на кривой качания дифракционных сателлитов, угловое положение и интенсивность которых зависят от амплитуды и длины волны ультразвуковой сверхрешетки, от энергии падающего рентгеновского излучения и порядка рефлекса [7]. В работах [8,9] экспериментально исследована дифракция рентгеновского излучения на разных отражающих атомных плоскостях монокристалла кварца с АТ-срезом в геометрии Лауэ, когда в кристалле возбуждены объемные акустические волны. Показано, что объемные акустические волны приводят к пространственной модуляции дифрагированных пучков, то есть во фронтальном сечении перпендикулярно дифракционному вектору возникают полосы, количество которых зависит от порядка гармоники возбужденного акустического поля. Интенсивность возникающих полос зависит от амплитуды переменного напряжения, приложенного к кристаллу. В приведенных выше работах эффект фокусировки и управления параметрами возникающих полос не обсуждается.

В данной работе экспериментально рассмотрены пространственно-временные характеристики возникающих полос отраженного рентгеновского излучения от отражающих атомных плоскостей монокристалла кварца с АТ-срезом в геометрии Лауэ при наличии объемных акустических волн.

2. Эксперимент

Экспериментальное исследование проводилось на рентгеновской установке ДРОН-3 с анодом из молибдена. Для получения пространственной модуляции интенсивности отраженного пучка при наличии акустических волн использовалась энергия рентгеновского излучения 17.48 кэВ (MoK_{α_1}), монохроматизированного монохроматором Брэгга. Схема эксперимента приведена на рис.1.

На расстоянии 10 см от источника рентгеновского излучения (размер фокусного пятна источника $0.2 \times 10 \text{ мм}^2$) установлена щель шириной 0.5 мм. На расстоянии 5 см поставлен кварцевый монохроматор Брэгга с отражающими

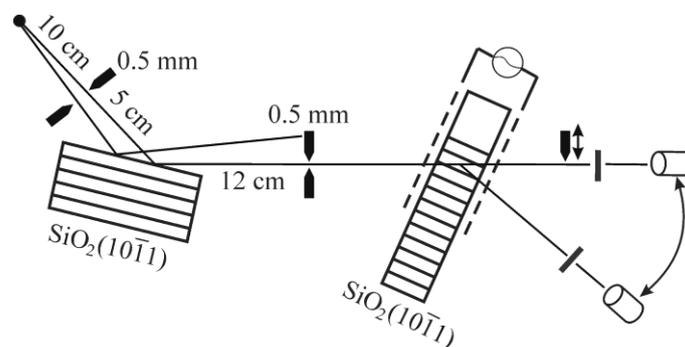


Рис.1. Схема эксперимента.

атомными плоскостями $(10\bar{1}1)$. При такой геометрии из монохроматора отражается только монохроматизированный пучок MoK_{α_1} . После монохроматора на расстоянии 12 см размещена щель шириной 0.5 мм, которая пропускает приблизительно половину ширины монохроматизированного пучка. Излучение, проходя через щель, попадает на образец, который находится на расстоянии 20 см от монохроматора. Образец представляет собой шайбообразную пластинку толщиной 1.9 мм из монокристалла кварца с АТ-срезом, поверхности которого покрыты контактами из алюминия с толщиной слоя меньше 10 мкм. Рассматривалось несимметричное отражение по Лауэ от отражающих атомных плоскостей $(10\bar{1}1)$ (угол асимметрии составлял 2° , а угол Брэгга – $6^\circ 6'$). Возбуждение объемных акустических волн в кристалле осуществлялось с помощью генератора электромагнитных волн, который был подключен к контактам кристалла. При возбуждении исследуемого образца разными порядками резонансной частоты наблюдается увеличение интенсивности отраженного пучка в зависимости от величины амплитуды переменного электрического напряжения. В поперечном сечении появляются вертикальные полосы, количество которых зависит от порядка резонансной частоты, что и наблюдалось в работах [8,9]. Измерены коэффициенты усиления интегральной интенсивности отраженного пучка при разных величинах амплитуд акустических колебаниях и разных порядках резонансной частоты (см. табл.1). Интенсивность проходящего пучка во всех случаях была равна 84000 имп/сек при перпендикулярном облучении исследуемого образца, а интенсивность отраженного пучка без возбуждения составляла 12000 имп/сек.

Табл.1.

Порядок резонансной частоты	I	III	V	VII	IX
Частота порядков, МГц	1.07	2.94	4.89	6.88	8.83
Амплитуда напряжения, В	Коэффициент усиления				
10	1.20	3.15	2.91	1.05	1.03
20	1.41	3.20	3.32	1.18	1.07
30	1.60	3.28	3.36	1.39	1.14

Так как интенсивность отраженного пучка максимально увеличивается при частоте возбуждения 4.89 МГц ($5 \times \lambda/2$, где λ – длина акустических волн в кварце, распространяющихся в перпендикулярном направлении АТ-среза), то в дальнейшем считаем целесообразным приводить результаты при указанной частоте. Отметим, что при возбуждении других порядков резонансной частоты наблюдаемые эффекты слабее и зависят от коэффициента усиления интенсивности.

На рис.2 приведена зависимость интегральных интенсивностей диффра-

гированного проходящего и дифрагированного отраженного излучений от значений переменного напряжения, подаваемого на кристалл кварца при частоте возбуждения 4.89 МГц. Для исключения доли проходящего недифрагированного пучка при регистрации интегральной интенсивности дифрагированного проходящего пучка использовался поглотитель. Сначала, вне условия Брэгга, поглотитель устанавливался перед детектором так, чтобы он закрывал почти весь пучок (пропускал ~1% проходящего пучка, как показано на рис.1).

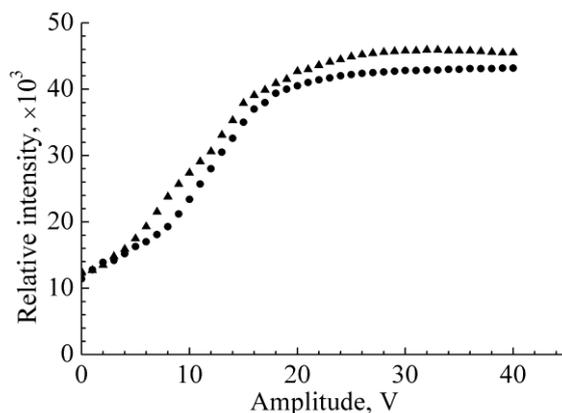


Рис.2. Зависимость интегральной интенсивности дифрагированного проходящего (отмечено точками) и дифрагированного отраженного (отмечено треугольниками) излучения от значения переменного напряжения, подаваемого на кристалл кварца при частоте возбуждения 4.89 МГц.

На рис.3а,б,с в приведены поперечные сечения отражающихся и проходящих дифракционных пучков, полученные на расстоянии 5 см от образца для трех значений амплитуды акустических колебаний, соответствующих значениям

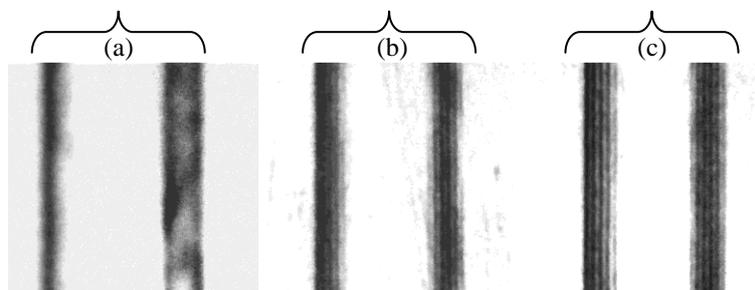


Рис.3. Поперечные сечения отражающихся (правый) и проходящих (левый) пучков при частоте возбуждения 4.89 МГц, для трех значений амплитуды акустических колебаний, соответствующих значениям переменного напряжения, подаваемого на кристалл кварца: (а) 0 В, (б) 10 В и (с) 20 В. Увеличение в 10 раз.

ям переменного напряжения 0, 10 и 20 В, подаваемого на кристалл кварца при частоте возбуждения 4.89 МГц. В дальнейшем, с целью рассмотрения в пространстве поведения вертикальных полос в отраженном пучке, регистрировались поперечные сечения отраженного пучка на разных расстояниях от образца (20 см, 45 см и 70 см) без и под воздействием акустических колебаний (рис. 4).

3. Обсуждение результатов

Из рис.2 видно, что от падающего рентгеновского излучения, которое монохроматизировано по Брэггу и проходит через щель, участвует в процессе дифракции ~25% без возбуждения образца. После возбуждения образца и параллельно с увеличением амплитуды значения интегральных интенсивностей отраженного и проходящего дифрагированных пучков увеличиваются до 100% участия в процессе дифракции проходящего недифрагированного пучка. Далее с увеличением амплитуды возбуждения акустических колебаний значения интегральных интенсивностей отраженных и проходящих дифрагированных пучков насыщаются.

Из рис.3 следует, что акустические колебания приводят к пространственной модуляции интенсивности дифрагированных пучков. В поперечном сечении возникают полосы, которые с увеличением амплитуды акустических колебаний становятся более контрастными и интенсивными. Из рис.3с следует, что проходящий недифрагированный пучок отсутствует в поперечном сечении проходящего пучка, причем оба, отраженный и проходящий пучки, становятся идентичными.

Из рис.4 видно, что пространственная модуляция интенсивности отраженного пучка на разных расстояниях формируется при разных значениях амплитуды акустического колебания. На расстоянии 20 см модуляция интен-

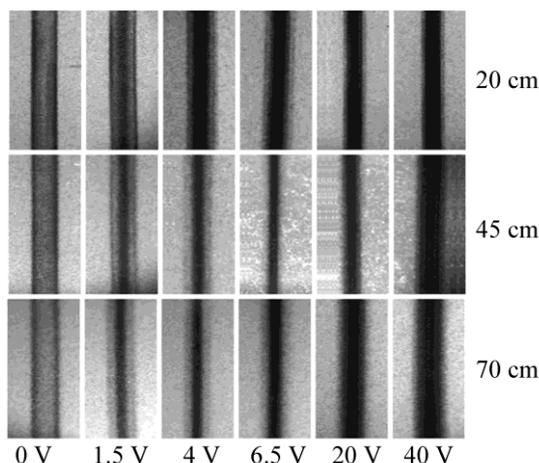


Рис.4. Поперечные сечения отражающих пучков при частоте возбуждения 4.89 МГц, на разных расстояниях от образца, без и под воздействием акустических колебаний. Увеличение в 10 раз.

сивности отраженного пучка четко видна при возбуждения акустических колебаний, соответствующих значениям переменного напряжения 4–5 В, на расстоянии 45 см модуляция пучка четко видна при напряжении 40 В, а на расстоянии 70 см модуляция пучка при напряжении 40 В видна слабым контрастом. Одновременно из поперечных сечений видно, что отраженный пучок фокусируется на разных расстояниях от монокристалла кварца при разных амплитудах акустического колебания, причем с увеличением амплитуды фокус приближается к кристаллу.

4. Заключение

Таким образом показано, что в монокристалле кварца с АТ-срезом при отражении от отражающих атомных плоскостей ($10\bar{1}1$) в геометрии Лауэ наличие объемных акустических волн приводит к пространственной модуляции интенсивности отраженных и проходящих дифрагированных пучков и одновременному увеличению их интенсивностей до 100% участия в процессе дифракции падающего монохроматизированного по Брэггу пучка. Причем оба, отраженный и проходящий пучки, становятся идентичными определенным значениям амплитуды возбуждения акустических колебаний. Показано, что с удалением от монокристалла кварца пространственная модуляция интенсивности отраженного пучка формируется при больших амплитудах акустического колебания, а отраженный пучок фокусируется и фокус приближается к кристаллу с увеличением амплитуды акустического колебания.

Работа частично выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Р. Мкртчян, М.А. Навасардян, В.К. Мирзоян. Письма в ЖТФ, **8**, 677 (1982).
2. А.Р. Мкртчян, Р.Г. Габриелян, А.А. Асланян и др. Изв. НАН Арм. ССР, Физика, **21**, 297 (1986).
3. А.Р. Мкртчян, А.Г. Мкртчян, В.Р. Кочарян, А.Е. Мовсисян, С.Б. Дабагов, А.П. Потылицын. Изв. НАН Армении, Физика, **48**, 212 (2013).
4. В.Р. Кочарян, Р.Ш. Алексанян, К.Г. Труни. Изв. НАН Армении, Физика, **45** 290 (2010).
5. А.Р. Мкртчян, М.А. Навасардян, Р.Г. Габриелян. Письма в ЖТФ, **11**, 1354 (1985)
6. A.R. Mkrtychyan, M.A. Navasardian, R.G. Gabrielyan, L.A. Kocharian, R.N. Kuzmin. Solid State Communications. **59**, 147 (1986).
7. Д.В. Иржак, Д.В. Рощупкин, Р. Тукулу, О. Матон. Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтр. исслед., **1**, 10, (2002).
8. В.К. Мирзоян, А.А. Егиазарян, В.Н. Агабекян, П.В. Мирзоян. Изв. НАН Армении, Физика, **43**, 104 (2008).
9. В.К. Мирзоян, А.А. Егиазарян, Э.Г. Багдасарян, П.В. Мирзоян. Изв. НАН Армении, Физика, **42**, 355 (2007).

ԱՆԴՐԱԴԱՐՁԱԾ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ
ՄՈՂՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՆՐԱ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄԸ
ԾԱՎԱԼԱՅԻՆ ԱԿՈՒՍՏԻԿ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅՄԲ

Տ.Ռ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ, Ռ.Վ. ԱՄԻՐԱԳՅԱՆ, Ս.Հ. ԽԼՈՊՈՒԶՅԱՆ, Ա.Ռ. ՎԱԳՆԵՐ, Վ.Ռ. ՔՈՉԱՐՅԱՆ

Փորձնականորեն ուսումնասիրված է ծավալային ակուստիկ ալիքների առկայությամբ ռենտգենյան ճառագայթման դիֆրակցիան AT կտրվածքով կվարցի միաբյուրեղի ($10\bar{1}1$) անդրադարձնող ատոմական հարթությունների ընտանիքից Լատեյի երկրաչափության պայմաններում: Դիտարկված են որոշ հարցեր անդրադարձած փնջի ինտենսիվության տարածական մոդուլման ստացման և նրա պարամետրերի կառավարման վերաբերյալ ակուստիկ ալիքների առկայությամբ:

MODULATION OF THE INTENSITY OF REFLECTED X-RAYS
AND CONTROL OF ITS PARAMETERS IN THE PRESENCE OF
VOLUME ACOUSTIC WAVES

T.R. MURADYAN, R.V. AMIRAGHYAN, S.H. KHLOPUZYAN,
A.R. VANGER, V.R. KOCHARYAN

We have investigated experimentally X-ray diffraction from reflecting atomic planes ($10\bar{1}1$) of a single quartz crystal with the AT-cut in the geometry of Laue in the presence of volume acoustic waves. It was discussed some questions for obtaining dimensional modulation of reflected beam intensity and control of its parameters in the presence of acoustic waves.