

Таким образом, наличие резких границ у прямоугольного звукового столба приводит к тому, что при отличной от нуля расстройке волновые векторы звука, падающего и дифрагированного света, вообще говоря, не лежат в одной плоскости. Это остается справедливым даже при $\tau = b/a$. И только при $\tau = b/a = 1$, когда столб создается квадратным преобразователем и направление проекции волнового вектора падающего света на поверхность преобразователя коллинеарно его диагонали, условие компланарности векторов k_0 , k_1 , K выполняется. Характерно, что в центральной области S направление вектора расстройки всегда совпадает с нормалью к границе звукового столба.

Для дальнего поля дифракции, когда $\beta x (\Delta k_y)^2 \gg 1$, к вычислению интеграла в (12) можно применить метод стационарной фазы [3]. Получим

$$E_1^{(1)}(r) |_{x \rightarrow \infty} \rightarrow i q \frac{ab}{\sqrt{\pi \beta x}} \operatorname{sinc} \frac{\psi b}{\pi} \operatorname{sinc} \left(\frac{\eta - \tau \psi}{\pi} a \right) e^{iK(k_0 + k_*) r} \times \\ \times e^{i \left[\eta x + \frac{1}{4\beta x} (y - \tau x)^2 - \frac{\pi}{4} \right]}, \quad (16)$$

где $\psi = (y - \tau x)/2\beta x$ — точка стационарной фазы. Формула (16) описывает цилиндрическую дифрагированную волну. Направление распространения этой волны в некоторых пределах зависит от звуковой частоты (от η). При этом возможно некоторое сканирование дифрагированной волны в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции.

В заключение отметим, что предлагаемый в данной статье метод позволяет решить в аналитической форме и более сложные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Балакший В. И., Парыгин В. Н., Чирков Л. Е. Физические основы акустооптики. М., 1985. С. 61, 63. [2] Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М., 1978. С. 462, 795. [3] Эрдейи А. Асимптотические разложения. М., 1962. С. 64.

Поступила в редакцию
05.08.87

УДК 539.04:535.375

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В α -КВАРЦЕ, ОБЛУЧЕННОМ МАЛЫМИ ДОЗАМИ РЕАКТОРНОГО И γ -ИЗЛУЧЕНИЯ

Л. П. Авакянц, Д. Ф. Киселев, М. М. Фирсова

(кафедра общей физики для физического факультета)

Использование новейших методик при исследовании комбинационного рассеяния света (КРС) в α -кварце, облученном малыми реакторными дозами, позволило разделить влияние нейтронной и γ -компоненты на его спектр и обнаружить небольшой сдвиг частот линий КРС.

При исследовании влияния реакторного облучения на динамику кристаллической решетки α -кварца возникают две задачи, решение которых невозможно найти в рамках традиционных методов КРС [1, 2] и рентгеноструктурного анализа [3]. Первая из них заключается в изучении воздействия на решетку малых реакторных потоков $\sim 10^{18}$ нейтрон/см², когда повреждения в ней еще малы и образование

кластеров отсутствует. Поскольку при таких дозах уже надежно фиксируются изменения плотности и упругости [4], то непонятно отмеченное в [1] отсутствие сдвигов частот линий КРС при наблюдавшемся значительном изменении их ширины и особенно интенсивностей. Второй задачей является разделение действия на решетку кварца отдельных компонент реакторного излучения (нейтронов различной энергии и сопровождающих β - и γ -излучений [5]) по результативности воздействия каждой из них [6].

Для решения поставленных задач нами была использована автоматизированная установка на основе спектрометра ДФС-12, сопряженного с вычислительным комплексом ДВК-2 в стандарте КАМАК. Мощность Ar лазера ($\lambda=488$ нм) задавалась не более 100 мВт во избежание нагрева и отжига облученных образцов. При обработке спектры аппроксимировались суммой лоренцианов на экспоненциальном фоне, учитывающем люминесценцию облученных образцов. Для измерения малых частотных сдвигов и уширений линий КРС в облученных образцах по отношению к контрольному использовался также метод разностной спектроскопии КРС (РСКРС) [7], позволяющий регистрировать частотные сдвиги с точностью до 0,01 ширины полосы для наиболее интенсивных линий КРС.

В настоящей работе исследовались три образца высококачественного бразильского кварца (примесный состав которого хорошо известен [8]), вырезанные из одного блока в виде кубиков с ребрами ~ 15 мм и ориентированные по главным кристаллографическим осям. Первый из них — контрольный — не подвергался облучению, второй был облучен реакторным потоком $\sim 5 \cdot 10^{18}$ н/см², а третий облучался от источника γ ⁶⁰Со дозой $3 \cdot 10^{10}$ Р, которая близка к дозе сопровождающей γ -компоненты для указанного реакторного потока [5].

Результаты измерений частот ν и ширины Γ линий КР и их изменения в результате облучения представлены в таблице. Частоты и ширины линий контрольного образца с точностью до погрешностей эксперимента совпали с данными [9]. Как видно из таблицы, при реакторном облучении наиболее очевидные изменения претерпевают ширины линий кварца, что уже было отмечено в [1], но в отличие от [1] нам удалось зарегистрировать также и малые сдвиги частот. Наиболее чувствительным к облучению оказалось самое низкочастотное полносимметричное колебание решетки — мода 207 см⁻¹ (рисунок), вектор смещения в которой близок к направлению перемещения атомов как при температурном, так и при радиационном фазовом α — β -переходе в этом кристалле [3, 10]. Каких-либо изменений ν и Γ для образца, облученного γ ⁶⁰Со, в пределах погрешностей эксперимента не обнаружено.

Эти результаты хорошо коррелируют со специально проведенными измерениями радиационных изменений как плотности (методом гидростатического взвешивания), так и скоростей упругих волн (методом Шефера—Бергмана). Для образца, облученного в реакторе, плотность уменьшилась на 0,15%, а скорости звуковых волн изменились на 0,1—0,5%, в то время как в γ -облученном образце никаких изменений обнаружено не было.

При измерениях относительных интенсивностей линий КРС необходимо учитывать, что кварц при облучении приобретает дымчатую окраску ввиду трансформации под действием облучения генетических дефектных комплексов, образующихся при изоморфном замещении Si⁴⁺ на Al³⁺. При этом в спектре поглощения появляются полосы 470 и 620 нм, т. е. как раз в области излучения лазера и стоксовых компо-

Частоты ν , ширины Γ и интегральные интенсивности $I_{н.о}$ линий КРС необлученного природного и синтетического кварца, изменения этих характеристик $\Delta\nu$, $\Delta\Gamma$ и наблюдаемые интенсивности $I_{обл}^{рабл}$ ** после облучения в реакторе]

Тип колебаний	Необлученный					Облученный в реакторе						
	$\nu, \text{см}^{-1}$	$\Gamma, \text{см}^{-1}$	$I_{н.о}$		$\Delta\nu, \text{см}^{-1}$	$\Delta\Gamma, \text{см}^{-1}$	$\Delta\nu/\nu, \%$	$\Delta\Gamma/\Gamma, \%$	природный		синтетический	
			природный	синтетический					$I_{обл}$	$I_{рабл}/I_{н.о}$	$I_{обл}$	$I_{рабл}/I_{н.о}$
A (полносимметричное)	207,0*	23,8	265,0	248,0	-1,3	1,7	0,63	7	148,0	0,99	192,0	1,01
	355,2	2,3*	10,6	10,0	-0,5	0,8	0,14	35	6,9	0,85	7,8	1,00
	464,7*	6,6*	290,0	263,0	-0,5	1,0	0,11	15	161,0	0,99	208,0	0,99
	1080,3	5,7	7,4	6,9	+0,5	1,1	0,05	19	3,8	1,07	5,5	0,98
E (вырожденное)	129,2*	3,4*	24,1	22,5	-0,3	1,0	0,26	29	13,8	0,96	17,3	1,01
	265,3	3,7*	9,6	8,7	-0,4	0,7	0,15	19	5,0	1,06	6,7	1,01
	695,5	7,4	1,1	1,06	-0,6	2,1	0,09	28	0,57	1,06	0,79	1,02
	1161,0	8,5	1,5	1,4	+0,4	1,8	0,16	21	0,87	0,95	1,15	0,95
E (TO — LO-расщепление)	394,0*	2,0*			-0,4	1,0	0,10	50				
	403,0*	2,6*			-0,2	0,6	0,05	23				
	450,5	2,3*			-1,0	1,1	0,22	48				
	508,0	2,0*			-0,7	1,4	0,14	70				
	793,0	7,5			+0,1	1,3	0,01	17				
	806,0	6,3			-0,7	0,7	0,09	11				
	1064,0	6,9			+1,0	1,2	0,09	17				
	1231,0	13,6			+1,0	3,4	0,08	25				

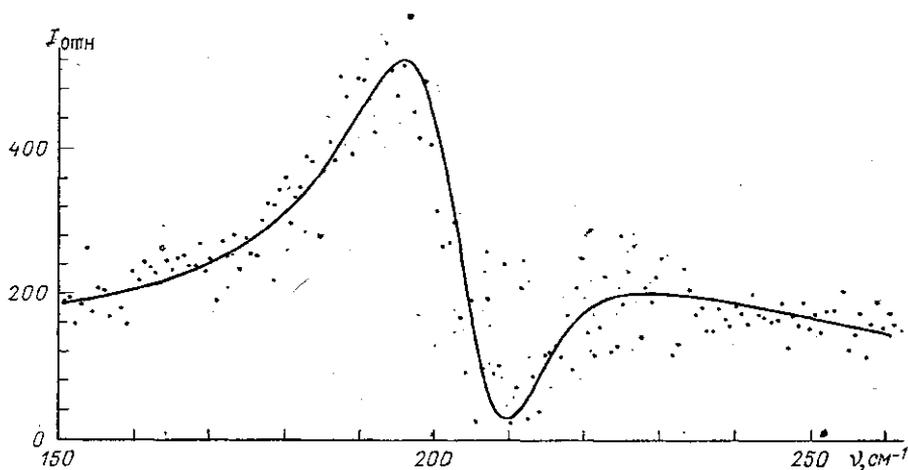
* Погрешности отмеченных частот и ширины не превышают 0,1 см^{-1} (для остальных ν и Γ погрешности не превышают 0,3 см^{-1}).

** Истинная интенсивность линий КР облученных образцов кварца $I_{обл}^{рабл} = I_{обл}^{рабл}/K$, где $K = \int_0^{\infty} e^{-ax} dx$. Для природного образца $a_{пр} = 1,3 \text{ см}^{-1}$, $K_{пр} = 0,55$, для синтетического — $a_{син} = 0,5 \text{ см}^{-1}$, $K_{син} = 0,78$.

нент КРС. Для учета поглощения в образце в отличие от [1] мы использовали сфокусированный лазерный луч диаметром меньше 0,1 мм, который пропусклся вдоль выходной грани образца на расстоянии от нее 0,5 мм, что позволило практически не иметь потерь в рассеянном свете. Эффективная интенсивность падающего пучка рассчитывалась

путем интегрирования по всей длине l образца: $I_{эфф} = I_0 \int_0^l e^{-\alpha x} dx = I_0 K$,

где I_0 — интенсивность падающего пучка, а α — коэффициент поглощения. При этом наблюдаемая интенсивность линий КРС



Разностный спектр КРС для линии 207 см^{-1} контрольного и облученного в реакторе кварца. Сплошная кривая — результат вычитания полученных при обработке спектров лоренцианов

$I_{обл}^{набл} = K \cdot I_{обл}^{ист}$, где $I_{обл}^{ист}$ — истинная интенсивность для облученных образцов. Полученные результаты измерений интенсивностей в относительных единицах для образцов природного кварца, исходных и облученных ($\alpha_{пр} = 1,3 \pm 0,1 \text{ см}^{-1}$, $K_{пр} = 0,55$), также представлены в таблице. Как видим, в пределах точности эксперимента (5—10%) интегральная интенсивность основных линий КРС при реакторном облучении бразильского кварца указанной выше дозой практически не изменилась, поскольку $I_{обл}^{ист}/I_{н.о} \cong 1$.

Аналогичный результат (см. таблицу) был получен нами для облученного той же дозой синтетического кварца, выращенного практически без примеси Al и имеющего в результате этого существенно меньшие значения коэффициента поглощения $\alpha_{син} = 0,5 \pm 0,1 \text{ см}^{-1}$.

Эти результаты принципиально отличаются от результатов работы [1], где наблюдалось значительное уменьшение интегральной интенсивности линий КРС в аналогичном природном кварце, облученном реакторным потоком, идентичным использованному нами. Это уменьшение авторы [1] объясняли ростом электрооптического ангармонизма при образовании центров окраски. По-видимому, указанное в [1] уменьшение интегральной интенсивности возникало вследствие недостаточно точного учета поглощения в возбуждающем и рассеянном пучках света в облученных образцах.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. При облучении кварца реакторными потоками $\sim 5 \cdot 10^{18}$ н/см² имеет место изменение не только ширины, но и частот линий КРС, однако их интегральные интенсивности практически сохраняются.

2. Указанные изменения практически полностью обусловлены нейтронной компонентой излучения, поскольку доза $3 \cdot 10^{10}$ Р, совпадающая с дозой сопровождающего ионизирующего излучения в реакторе, ощутимых результатов не произвела.

3. Методы КРС и РСКРС являются более чувствительными к радиационным воздействиям, чем метод рентгеноструктурного анализа, позволяющий регистрировать изменения кристаллической решетки кварца лишь с доз $1-1,5 \cdot 10^{19}$ н/см² [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Зубов В. Г., Осипова Л. П. // Кристаллография. 1970. 15, № 2. С. 313.
[2] Зубов В. Г., Осипова Л. П. // Кристаллография. 1977. 22, № 1. С. 110.
[3] Колонцова Е. В. // УФН. 1987. 151, № 1. С. 149. [4] Жданов Г. С., Зубов В. Г., Иванов А. Т., Фирсова М. М. // Кристаллография. 1958. 3, № 6. С. 720. [5] Зубов В. Г., Штыркова А. П., Фирсова М. М., Глушкова Т. М. // Кристаллография. 1983. 28, № 5. С. 937. [6] Брикман Б. А. Компоненты поглощенной энергии реакторного излучения. М., 1976. [7] Авакянц Л. П., Китов И. А., Червяков А. В. // Приб. и техн. эксперимента. 1988. № 2. С. 145.
[8] Kats A. // Philips Res. Reports. 1962. 17, N 3. P. 201. [9] She C. Y., Masso Jon D., Edwards D. F. // J. Phys. Chem. Sol. 1971. 32, N 8. P. 1887. [10] Миргородский А. П., Лазарев А. Н., Макаренко И. П. // Опт. и спектр. 1970. 29, № 2. С. 539.

Поступила в редакцию
05.08.87

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1988. Т. 29, № 6

УДК 535.417

ЗЕРКАЛА ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ СО 180°-й РАЗНОСТЬЮ ФАЗ

Н. В. Гришина, А. В. Тихонравов, Н. Е. Шапкина

(кафедра математики)

Рассматривается синтез отражающих покрытий со 180°-й разностью фаз между *s*- и *p*-компонентами отраженного поля при угле падения 45° в диапазоне длин волны $\Delta\lambda/\lambda = \pm 5\%$. Приведены примеры синтезированных систем.

Одной из задач, возникших в связи с развитием лазерной физики, является синтез многослойных покрытий с заданными амплитудно-фазовыми спектральными характеристиками. Важный класс задач — создание высокоотражающих зеркал при наклонном падении света с постоянной разностью фаз между *s*- и *p*-компонентами (*TE*- и *TM*-волнами) отраженного поля в некотором спектральном интервале. В работе [1] рассматривался синтез при угле падения $\theta_0 = 45^\circ$ покрытия на серебре с 90°-м фазовым сдвигом между *s*- и *p*-компонентами. Для 20-слойного покрытия в диапазоне длин волн $\Delta\lambda/\lambda_0 = \pm 5\%$ ошибка разности фаз не превосходила 1°, а коэффициенты отражения обеих компонент были более 99,8%.

В настоящей работе рассматривается синтез покрытий на диэлектрической и алюминиевой подложках с разностью фаз 180° при угле падения $\theta_0 = 45^\circ$. Используется метод синтеза, основанный на вариационной постановке задачи. Оценочный функционал при синтезе по-