

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В КРИСТАЛЛАХ МЕТОДОМ БРЭГГОВСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

М.Ф.Брыжина, С.Х.Есаян, В.В.Леманов

Для исследования акустической активности кристаллов предлагается использовать метод брэгговского рассеяния света на упругих волнах. Возможности метода продемонстрированы на примере кристаллов кварца, в которых проведены измерения акустической активности при частоте упругих волн $1,55$ Гц.

Явление акустической активности связано с пространственной дисперсией упругих модулей [1 – 4]:

$$c_{ijkl}(\omega, \mathbf{q}) = c_{ijkl}(\omega) + i\gamma_{ijklm}(\omega) q_m + \dots \quad (1)$$

Здесь c_{ijkl} — модуль упругости, γ_{ijklm} — тензор акустической гиротропии, ω , \mathbf{q} — частота и волновой вектор упругих волн.

При учете пространственной дисперсии для поперечных упругих волн, распространяющихся вдоль оси z , которая является вырожденной в отсутствие гиротропии, получаются следующие выражения для скорости упругих волн и для соответствующих смещений:

$$v^{\pm} \cong v \left(1 \pm \frac{1}{2} \gamma_{543} \frac{q_z}{c_{44}} \right), \quad (2)$$

$$u_x^{\pm} = \pm i v_y,$$

где $v = \sqrt{c_{44}/\rho}$ — скорость упругих волн в отсутствие гиротропии, ρ — плотность кристалла.

Таким образом акустическая гиротропия снимает вырождение для поперечных упругих волн, распространяющихся вдоль оси z : нормальными модами являются теперь, как следует из (2), упругие волны с левой и правой круговой поляризацией и с разной скоростью распространения.

Расщепление (2) акустических ветвей спектра, с которыми связано явление акустической активности, можно исследовать с помощью нейтронов [5] или с помощью манделштам-бриллюэновского рассеяния света [6]. Непосредственно акустическая активность измеряется в ультразвуковых (гиперзвуковых) экспериментах, и такие измерения проведены в настоящее время только в двух работах [7, 8] для кристаллов кварца. В ультразвуковых экспериментах в кристалл с помощью внешнего пьезопреобразователя вводится поперечная упругая волна с линейной поляризацией. Эта волна в кристалле распадается, согласно (2), на две циркулярно поляризованные компоненты, распространяющиеся с разными скоростями. При сложении этих компонент на выходном пьезопреобразователе вновь получается линейно поляризованная волна, поляризация которой будет повернута относительно исходной на угол ϕ , равный

$$\phi = \frac{1}{2} (q^- - q^+) z = \frac{1}{2} \omega \left(\frac{1}{v^-} - \frac{1}{v^+} \right) z,$$

где z — путь, пройденный упругой волной в кристалле.

Подставляя (2), получаем

$$\phi = \alpha z = \frac{\gamma \omega^2}{2 \rho v^4} z. \quad (3)$$

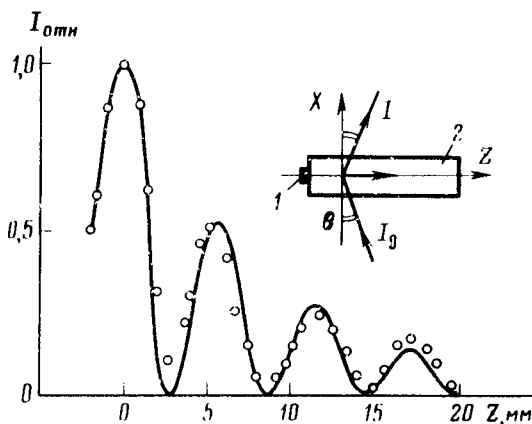
Здесь $\gamma \equiv \gamma_{543}$, а α — удельная вращательная способность.

Измерение угла поворота плоскости поляризации (3) в обычных ультразвуковых экспериментах [7, 8] является достаточно сложной задачей. Для таких измерений требуется менять либо частоту упругих волн, либо длину образцов, либо ориентацию приемного преобразователя. Кроме того, подобные эксперименты дают результаты, усредненные по всей длине кристалла.

В настоящей работе для исследования акустической активности предлагается использовать метод брэгговского рассеяния света на упругих волнах. Этот метод выгодно отличается от обычных ультразвуковых

методов своей простотой и возможностью исследовать эффекты акустической гиротропии в любой точке образца.

Исследования акустической активности проводились на примере кристаллов кварца. Линейно поляризованные поперечные упругие волны с частотой $1,55 \text{ ГГц}$ возбуждались с помощью пьезопреобразователя из ниобата лития x -среза и распространялись вдоль оси z кристалла кварца. Точность ориентации этой оси составляла около 2° (сразу отметим, что при такой точности ориентации и при использованной нами высокой частоте вклад линейного акустического двупреломления, связанный с отклонением волнового вектора упругих волн от оси z , оказывается достаточно малым [7]). Образцы имели форму параллелепипеда с размерами $5 \times 6 \times 40 \text{ мм}^3$ с длинной стороной вдоль оси z . В эксперименте измерялась интенсивность брэгговского рассеяния света с длиной волны 6328 \AA в функции от расстояния z от пьезопреобразователя (рисунок). Свет падал и рассеивался в плоскости xz .



Зависимость относительной интенсивности света, рассеянного на упругих волнах, от расстояния z и схема эксперимента: 1 – пьезопреобразователь, 2 – кристалл. Частота упругих волн $1,55 \text{ ГГц}$. Сплошная кривая – расчет по формуле (5). Значение $z = 0$ соответствует второму максимуму интенсивности считая от начала кристалла

Можно показать, что интенсивность света, рассеянного на упругих волнах, пропорциональна

$$I \sim p_{44}^2 \sin^2\left(\frac{\pi}{2} + \alpha z\right), \quad (4)$$

где p_{44} – фотоупругая постоянная.

При выводе формулы (4) мы пренебрегли брэгговским углом θ , который достаточно мал при использованных частотах и, кроме того, выбрали начало отсчета так, что при $z = 0$ интенсивность рассеянного света максимальна.

Из (4) следует, что при перемещении образца вдоль направления распространения упругих волн, т. е. при изменении z , интенсивность рассеянного света должна осциллировать с периодом $z_0 = \pi/\alpha$, величина которого определяется удельной вращательной способностью кристалла α .

Результаты эксперимента представлены на рисунке, где показана зависимость относительной интенсивности рассеянного света от расстояния z , пройденного упругой волной в кристалле. Из рисунка видно, что зависимость величины сигнала от z действительно имеет осциллирующий характер.

Если учесть затухание упругих волн Γ , то относительная интенсивность рассеянного света в функции от z должна выражаться формулой

$$I_{\text{отн}} = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} + \alpha z\right)e^{-\Gamma z} \quad (5)$$

Используя значение $\Gamma = 1,1 \text{ см}^{-1}$, получаем, что наилучшее совпадение эксперимента с расчетом по формуле (5) имеет место при $\alpha = 312 \text{ град/см}$ или $\alpha = 130 \text{ град/см} \cdot \Gamma \nu^2$. Отсюда получаем $\nu = \nu_{543} = 1,47 \cdot 10^4 \text{ дин/см}$.

Ошибки в определении этих величин, связанные с погрешностями эксперимента, не превышают 10%.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 апреля 1977 г.

Литература

- [1] А.А.Андронов. Изв. высш. уч. зав., сер. Радиофизика, **3**, 645, 1960.
 - [2] G.Kluge. Phys. Stat. Sol., **17**, 109, 1966.
 - [3] D.L.Portigal. E.Burstein. Phys. Rev., **170**, 673, 1968.
 - [4] Ю.И.Сиротин, М.П.Шаскольская. Основы кристаллофизики, М., изд. Наука, 1975, стр. 576.
 - [5] M.M. Elcombe. Proc. Phys. Soc., **91**, 947, 1967.
 - [6] A.S.Pine. J.Acoust. Soc. America, **47**, 73, 1970.
 - [7] A.S.Pine. Phys. Res., **B2**, 2049, 1970.
 - [8] F.Joffrin, A Levelut. Solid State Com., **8**, 1573, 1970.
-