УДК 534–27

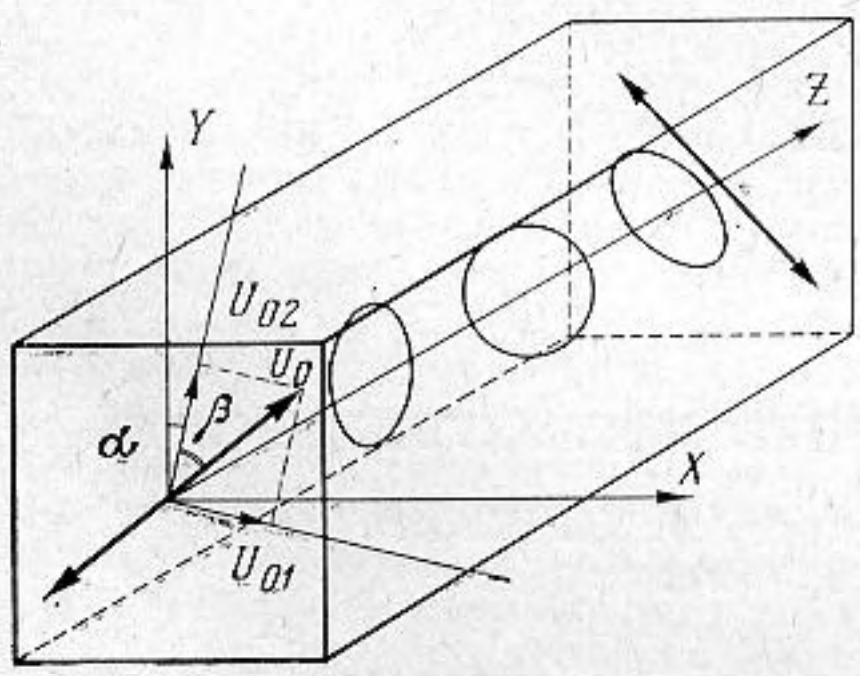
ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ СДВИГОВЫХ ВОЛН И ОШИБКИ ОРИЕНТАЦИИ ГРАНЕЙ ОБРАЗЦОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ОСЯМ КРИСТАЛЛОВ

Г. С. Грачев, К. К. Ермилин, В. Е. Лямов, А. М. Моськин

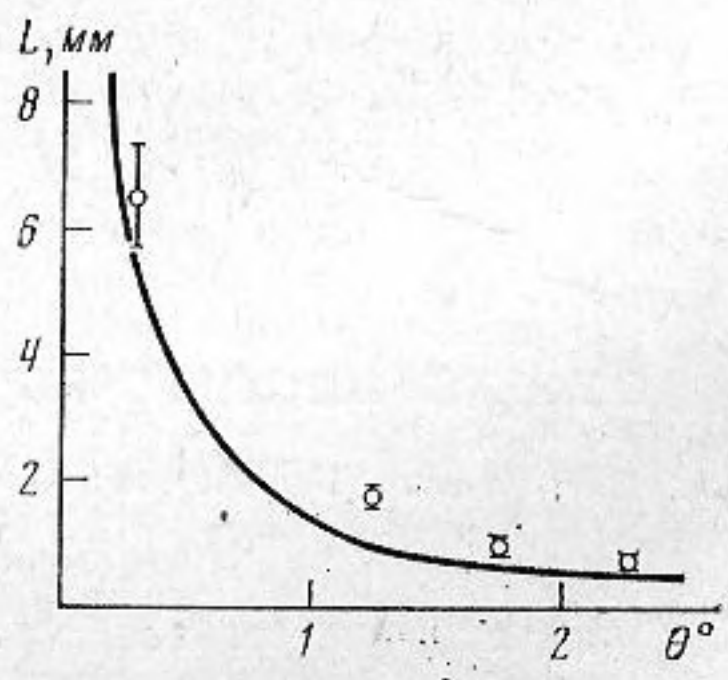
В акустике твердого тела существует несколько методов определения поляризации акустической волны: с помощью пьезоэлектрических пластинок, электродинамического приема [1], с помощью коаксиального резонатора с электродами специальной формы [2]. Однако указанные методы позволяют получать сведения о состоянии поляризации акустической волны только на торце образца. Определить с их помощью поляризацию волны в произвольной точке кристалла невозможно. Но для сдвиговых волн, распространяющихся в оптически прозрачных кристаллах некоторых классов ($3m$, 32, $\bar{3}m$), можно определить поляризацию по рассеянию света на ультразвуке. Анализ свертки, определяющей эффективность этого рассеяния [3], показывает, что интенсивность дифрагированной волны зависит от поляризации акустической волны. Анизотропия упругостных свойств указанных кристаллов такова, что, например, дифракция световой волны (без поворота плоскости поляризации) на сдвиговой волне, распространяющейся вдоль акустической оси, будет происходить только тогда, когда сдвиговая волна имеет Y-составляющую вектора поляризации. Таким образом, по брэгговскому рассеянию света можно исследовать такие поляризационные эффекты, имеющие место в анизотропных средах, как эллиптическая поляризация сдвиговой волны [4], акустическая активность [5] и т. д.

Рассмотрим явление эллиптической поляризации, возникающей при распространении сдвиговой волны вблизи оси Z кристалла класса $3m$, т. е. когда существует некоторое отклонение направления волновой нормали от акустической оси. В этом случае линейно-поляризованная сдвиговая волна уже не может иметь произвольной поляризации, как при распространении вдоль акустической оси; она распадается на две квазисдвиговые волны с ортогональными поляризациями, соответствующие двум собственным волнам для данного направления волновой нормали. Суперпозиция этих волн дает волну, которая при распространении проходит несколько состояний поляризации: линейное, круговое и эллиптическое [6], но эффективность дифракции определяется только Y-компонентой вектора поляризации.

Пусть начальный вектор смещения одной из волн U_{02} направлен под углом α к оси Y (фиг. 1) и величины смещений равны $U_{01}=U_0 \sin\beta$, $U_{02}=U_0 \cos\beta$, где U_0 – амплитуда возбуждаемой волны, β – угол между вектором возбуждаемой волны U_0 и вектором U_{02}. Проекция суммарной амплитуды этих двух волн на ось Y как функция координат будет определяться соотношением $U_y=U_0\left[\cos^2(\alpha-\beta)-\sin 2\alpha \sin 2\beta-\sin^2\frac{\Phi}{2}\right]$, где $\Phi=\frac{2\pi\Delta v}{v}\frac{Z}{\Lambda}$, v – скорость распространения звуковой волны вдоль оптической оси кристалла, Δv – разность скоростей двух квазисдвиго-



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Векторная диаграмма волны, распространяющейся вблизи акустической оси

Фиг. 2. Зависимость периода пространственного изменения интенсивности дифрагированного света от угла ошибки ориентации θ в монокристалле ниобата лития

вых волн, Λ – длина звуковой волны. Пространственное изменение составляющей вектора смещения по оси y приводит к модуляции интенсивности дифрагированного света с пространственным периодом L при зондировании волны деформации вдоль пути ее распространения. Относительное изменение скорости $\delta=\Delta v/v$ определяется полярным θ и азимутальным φ углами ошибки ориентации [7]. Эта зависимость была нами рассчитана для кристаллов ниобата лития с углами θ от 15′ до 3° и φ от 0° до 90° на ЭВМ «МИР-1». Оказалось, что зависимость δ от азимутального угла θ слабая, максимальная ошибка определения δ при пренебрежении зависимостью от азимутального угла не превышает 20% и быстро уменьшается с увеличением угла θ. Последнее обстоятельство позволяет при помощи установки для наблюдения брэгговской дифракции оценить угол между нормалью к торцевой поверхности кристалла и акустической осью третьего порядка (оптической осью) в указанных пределах. Полная ошибка определения угла складывается из ошибки измерения L и ошибки, появляющейся вследствие того, что не учитывается зависимость δ от угла φ. Максимальная погрешность для указанного предела изменения углов ошибки ориентации не превышает 5′.

На фиг. 2 показана зависимость L от θ, рассчитанная и полученная экспериментально с помощью брэгговской дифракции на ультразвуке частоты 470 *Мгц*, распространяющемся вблизи оптической оси монокристаллов ниобата лития с различной величиной ошибки ориентации. Удовлетворительное совпадение экспериментальных и теоретических данных показывает, что небольшую величину ошибки ориентации θ можно с достаточной точностью определять указанным способом. Это имеет практическое значение, так как часто погрешность, с которой выведена оптическая ось кристалла, неизвестна и лежит в указанных пределах. Знать же ее необходимо, поскольку от величины угла ошибки ориентации зависит фазовая скорость акустической волны, ее поляризация и направление потока энергии [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. *И. Г. Михайлов, В. А. Шутилов.* Об абсолютных измерениях ультразвуковых полей в твердых телах. Акуст. ж., 1964, *10*, 1, 98—103.
2. *J. Lamb, J. Richter.* Cavity Resonator for Piezo Electric Surface Exsitation. J. Acoust. Soc. Amer., 1967, *41*, 4, 2, 1043—1051.
3. *Г. П. Мотулевич.* Молекулярное рассеяние света в кристаллах. Тр. ФИАН. М., Изд-во АН СССР, 1950, *5*, 9—62.
4. *Л. Ф. Барышникова, В. Е. Лямов.* Эллиптическая поляризация поперечных упругих волн в кристаллах под действием внешних полей. Рефераты докл. на VIII Всес. акуст. конф. М., 1973, т. 2, ЦУв-6.
5. *A. S. Pine.* Direct Observation of Acoustical Activity in α-Quartz. Phys. Rev., 1970, *B2*, 6, 2049—2054.
6. *Л. Ф. Барышникова, Г. С. Грачев, В. Е. Лямов.* Экспериментальное исследование эллиптической поляризации поперечных упругих волн, возникающей под действием постоянного электрического поля. Матер. Второй Всес. конф. по вопросам методики и техники ультразвуковой спектроскопии. Каунас, Изд-во Политехн. ин-та, 1973, 269—272.
7. *P. C. Waterman, L. J. Teutonico.* Ultrasonics Double Refraction in Single Crystals. J. Appl. Phys., 1957, *28*, 2, 266—270.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Физический факультет, кафедра акустики

Поступила
4 августа 1975 г.

УДК 534.29

О НИЗКОЧАСТОТНОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ИЗЛУЧЕНИИ ЗВУКА

И. Б. Есипов, В. А. Зверев, А. И. Калачев, К. А. Наугольных

При излучении интенсивной, модулированной по амплитуде высокочастотной звуковой волны в результате нелинейного параметрического взаимодействия составляющих сигнала в среде генерируется и независимо распространяется волна с частотой модуляции. Эффект параметрического излучения неоднократно исследовался как теоретически, так и экспериментально в лабораторных условиях в области сравнительно высоких частот [1–3]. Ниже излагаются результаты экспериментального исследования низкочастотного параметрического излучателя.