АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXXI 1985 Вып. 1

УДК 534.222.2

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ФОТОАКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

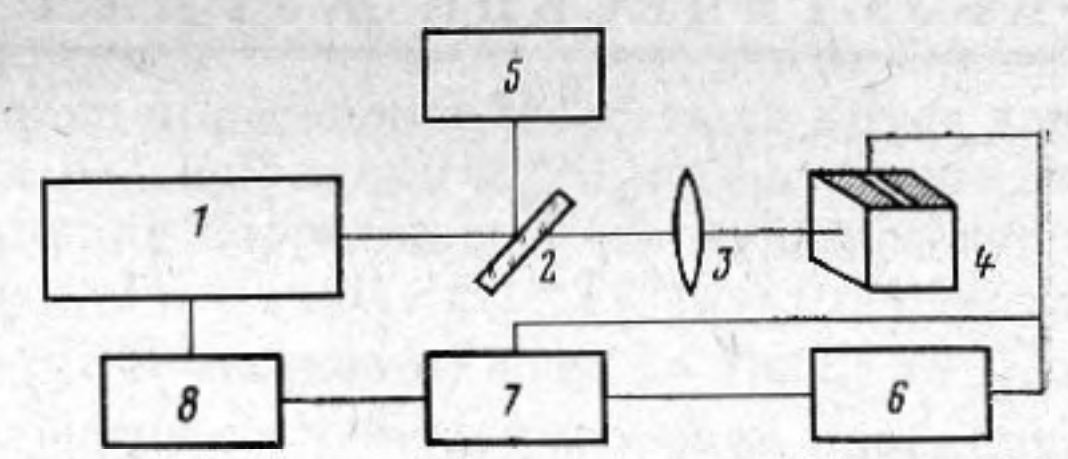
Владимирцев Ю. В., Глебова Н. Н., Голенищев-Кутузов В. А., Мигачев С. А.

Исследован процесс возбуждения акустических колебаний в пьезоэлектрических кристаллах под действием импульсного лазерного излучения. Обнаружено возбуждение нормальных типов колебаний, определены характеристические времена затухания для отдельных мод.

В связи с применением ряда кристаллов, особенно пьезо- и сегнетоэлектриков, в акустике и нелинейной оптике возникла необходимость получения разносторонних сведений об их физических свойствах. Это особенно относится к поверхности кристаллов, свойства и состояние которой во многом определяют параметры устройств на поверхностных акустических волнах — акустических преобразователей и т. д. Рассмотрим возможность использования для таких исследований фотоакустического эффекта, заключающегося в генерации акустических колебаний в среде под действием импульсного или амплитудно-модулированного лазерного излучения. В настоящее время фотоакустическому эффекту и его применениям посвящено значительное количество публикаций (см., например, [1—3]) и нет необходимости подробно описывать его физическую сущность. Достаточно отметить, что основной причиной возникновения этого эффекта является нагревание среды за счет поглощения энергии оптического импульса, создающее при расширении нагретого объема волну давления. Для пьезоэлектриков возможен и другой электрострикционный механизм возникновения фотоакустического эффекта.

В настоящей работе была исследована серия пьезоэлектриков: иодат, ниобат и танталат лития. Образцы вырезались в виде прямоугольных параллелепипедов с ориентацией граней вдоль кристаллографических осей. Обработка поверхностей образцов соответствовала стандартным требованиям к обработке оптических элементов. Возбуждение звука производилось посредством воздействия на поверхность или часть объема образца излучения второй гармоники (λ=532 нм) неодимового лазера в виде импульсов длительностью 90 нс, с периодом повторения до 40 кГц и плотностью световой энергии до 10,0 МВт·см$^{-2}$. Детектирование возбуждаемого звука осуществлялось посредством системы электродов щелевого типа, присоединенных к одной из поверхностей образца (фиг. 1); причем была предусмотрена возможность перемещения электродов вдоль поверхности. С помощью супергетеродинного приемника в диапазоне частот 0,15—30 МГц (ширина полосы 10 кГц) можно было наблюдать амплитудно-временные и амплитудно-частотные характеристики акустического отклика.

В результате исследований было установлено, что во всех образцах после каждого лазерного импульса на электродах возникает отклик в виде серии затухающих импульсов. Эти импульсы действительно имеют акустическую природу, поскольку расстояния между ними соответствуют скоростям продольных или поперечных акустических волн вдоль определенных направлений в кристаллах. По времени прихода импульсов можно считать, что фотоакустический эффект при облучении образца несфокусированным лазерным пучком возникает на его поверхности. Если образец имеет обработанные с оптической точностью поверхности и малое ($\sim 10^{-5}$—10^{-6} см$^{-1}$) поглощение света, то эффект имеет место и по всему цилиндри-



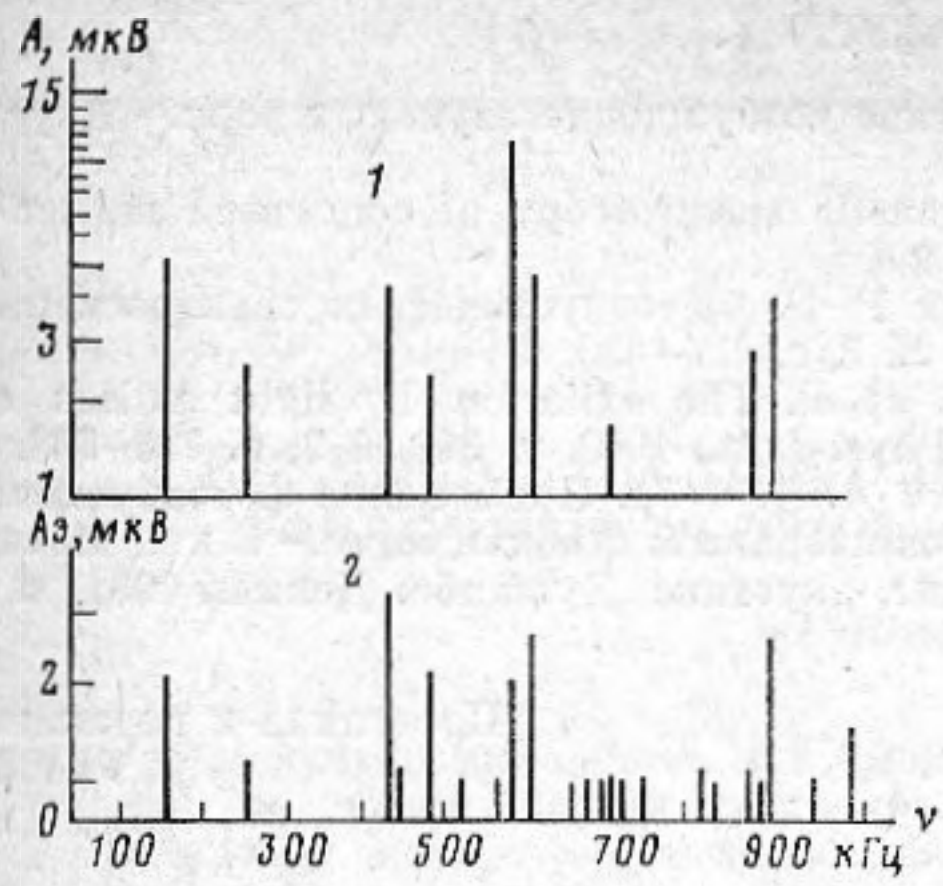
Фиг. 1. Блок-схема установки. *1* – неодимовый лазер; *2* – полупрозрачное зеркало; *3* – фокусирующая линза; *4* – образец с электродами; *5* – измеритель лазерной мощности; *6* – анализатор спектра; *7* – импульсный осциллограф: *8* – запускающий импульсный генератор

ческому объему образца, ограниченному апертурой пучка, и только при использовании короткофокусных объективов (фокусное расстояние 10—30 мм) возможно получение отклика от любой внутренней области однородного образца в точке, где находился центр сфокусированного излучения, причем мощность лазерного излучения, необходимая для возбуждения одного и того же значения отклика, при объемном возбуждении в несколько раз выше, чем при возбуждении с поверхности. Возникновение акустического отклика вызывается тепловой деформацией в области облучения, поскольку его интенсивность возрастает с увеличением поглощения световой энергии, например: при ухудшении качества обработки поверхности, при наличии дефектов структуры и особенно при нанесении на поверхность малопрозрачной пленки.

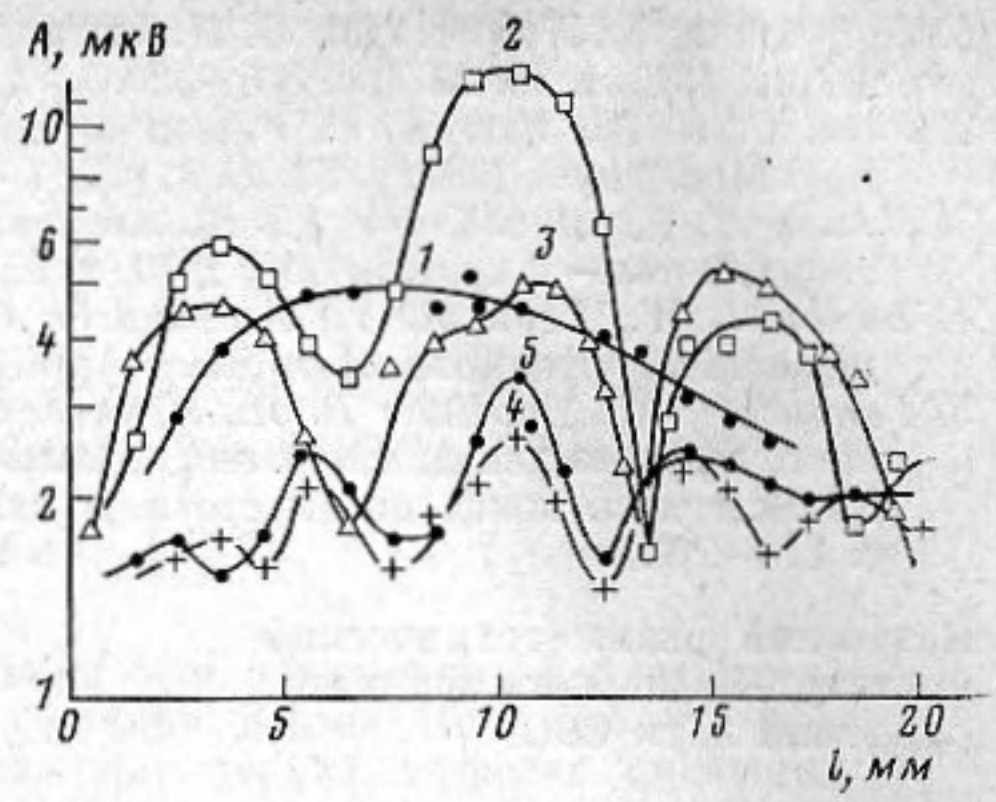
Анализируя время прихода акустических импульсов к приемным пластинам, можно было считать, что фронт волны деформации в первый момент после воздействия лазерного импульса имеет сферическую форму с центром в области возбуждения. Достигая границ образца, он испытывает многократные отражения и модовые превращения. В исследованных образцах длительность откликов на пороге обнаружения составляла от 2 до 5 мс. Можно было предположить, что при этом в образце должна возникать система квазистоячих волн, частоты которых совпадали бы с собственными частотами колебаний образца и их обертонами [4, 5]. Действительно, исследование спектрального состава акустических откликов показало, что независмио от частоты подачи лазерных импульсов их спектр состоит из набора частот, соответствующих нормальным колебаниям образцов. На фиг. 2 показаны такие спектры – A для образцов ниобата лития при распространении лазерных импульсов вдоль оси [001] с частотой повторения 800 Гц. Там же приведены практически адекватные им спектры $A_э$, полученные при подаче на щелевые электроды переменного электрического поля. Оптически возбужденные спектры собственных колебаний наблюдались при любом расположении щелевых электродов на гранях (100), (010) и (001) для ($z=L$) при лазерном воздействии на плоскость $z=0$ вдоль оси [001], точно так же, как и при распространении луча вдоль других направлений. Соответствующее распределение интенсивностей продольных и поперечных собственных волн A, полученное при сканировании приемного датчика вдоль оси z ниобата лития, приведено на фиг. 3. Оно соответствует модам от нулевого до пятого порядка при волноводном характере распределения колебаний. Сходная картина наблюдалась и для образцов иодата и танталата лития. Путем использования анализатора

Постоянные затухания ультразвука для различных нормальных мод образцов из ниобата лития

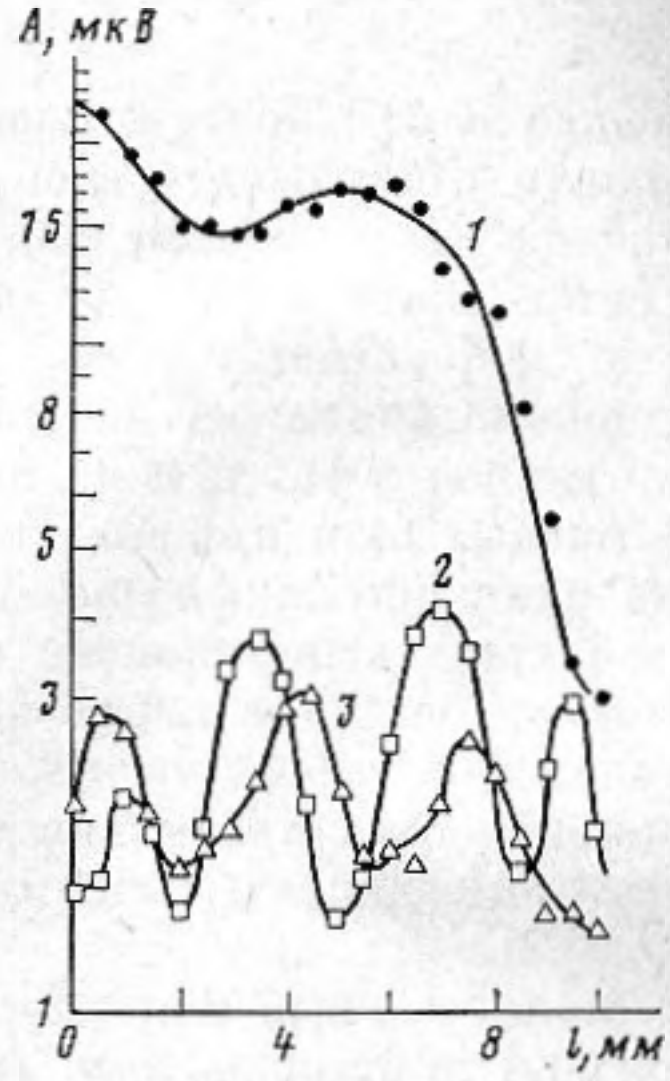
ν, кГц	160,0	193,6	254,0	300,0	346,9	455,9	481,6	510,0	610,0
τ, мкс	450	300	240	140	160	150	130	50	95



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Фиг. 2. Спектры акустических колебаний при оптическом – *1* и электрическом – *2* возбуждении образцов ниобата лития при положении электродов со щелью в точке $z=L/2$

Фиг. 3. Зависимость акустического отклика от положения приемника. *1* – $\nu_{ак}=165{,}0$ кГц; *2* – 585,2; *3* – 614; *4* – 883,6; *5* – 900,1 кГц

Фиг. 4. Зависимость акустического отклика от положения приемника для дефектного образца. *1* – $\nu_{ак}=160{,}0$ кГц; *2* – 416,8; *3* – 610,2 кГц

спектра с малой постоянной времени были измерены характеристические времена затухания отдельных мод. Как и следовало ожидать, затухание возрастает с номером моды (таблица). Вследствие того, что любой дефект структуры кристалла, вызывающий дополнительное поглощение лазерной энергии, приводит к увеличению интенсивности возбуждаемых акустических импульсов, по интенсивности последних возможно обнаружение таких дефектов. Точно так же дефекты структуры обнаруживаются и по искажению амплитудной и частотной характеристик акустического отклика при перемещении щелевого электрода вдоль поверхностей образца. В образцах, содержащих поверхностные или субповерхностные дефекты, создающие дополнительное более сильное, чем основное, поглощение света, наблюдалось и возникновение запредельных низкочастотных колебаний, которые быстро затухали по мере удаления от области возбуждения. Увеличение интенсивности A акустического отклика вблизи передней поверхности образца, содержащей оптические дефекты, показано на фиг. 4. При увеличении частоты эти нерезонансные моды сравнительно быстро затухают.

Таким образом, исследование спектральных характеристик акустического отклика при перемещении приемного датчика вдоль граней образца позволяет исследовать спектр собственных колебаний, их затухание и степень акустического совершенства образца.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бункин Ф. В., Комиссаров В. М.* Оптическое возбуждение звуковых волн.– Акуст. журн., 1973, т. 19, № 3, с. 305–320.
2. *Patel C. K. N., Tam A. C.* Pulsed optoacoustic spectroscopy of condensed matter.– Rev. Mod. Phys., 1981, v. 53, № 3, p. 517–550.
3. *Лямов В. Е., Мадвалиев У., Шихлинская Р. Э.* Фотоакустическая спектроскопия твердых тел.– Акуст. журн., 1979, т. 25, № 3, с. 427–433.
4. *Hodby J. W., Levis A. V., Alexandrov C. et al.* The exitation by light pulses of mechanical vibrations of solids.– Appl. Phys. Lett., 1980, v. 36, № 9, p. 736–738.
5. *Гапонов С. С., Дарынов В. И., Ленчевский А. А. и др.* Применение фотоакустического эффекта для диагностики элементов кварцевой стабилизации.– В кн.: Матер. XI Всесоюзн. конф. по акустоэл. и квант. акустике. Душанбе: Дониш, 1981, ч. I, с. 218–219.

Казанский физико-технический
институт Казанского филиала
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
14.VI.1983