

выхода из фокуса звуковой импульс обратной волны отражался от цилиндрической поверхности звукопровода и падал параллельным пучком на исходную грань нормально к ней. После отражения от исходной грани обратная волна снова отражалась от цилиндрической поверхности и проходила через фокус F . Момент вторичного прохождения через фокус показан на рис. 2, ж. Побочное звуковое поле r , наблюдаемое на рис. 2, з, является следствием многократного отражения в звукопроводе прямой волны.

Сравнение рис. 2, а и е, б и д, в и з, соответственно, показывает, что обратная волна повторяет все стадии распространения прямой волны, и, в частности: сходящемуся пучку в прямой волне соответствует расходящийся пучок в обратной волне, и, наоборот: область фокусировки прямой волны совпадает с областью фокусировки обратной волны (что видно по относительному расположению изображений звукового поля и неподвижных пятен световой интерференции).

Отметим, что обратная волна, выходящая в звукопровод из образца (рис. 2, з, д, е) содержит составляющие, не наблюдавшиеся у падающей волны и не сходящиеся в фокус. Происхождение этих компонент поля может объясняться попаданием в звукопровод прямой волны, усиленной параметрической накачкой и отразившейся от торца в образце феррита. Эти составляющие в дальнейшем отражались в звукопроводе и видны на рис. 2, ж как боковой расходящийся пучок p . Второе прохождение обратного сигнала через фокус давало «очищенное» распределение поля с практически совпадающее с полем падающего звука (сравни рис. 2, б и ж), но существенно большей интенсивности.

Таким образом прямые наблюдения показывают, что регенеративный режим формирования гигантского эхо-отклика в феррите является режимом обращения волнового фронта ультразвуковых пучков с широким спектром волновых векторов.

Авторы выражают благодарность Власову Е. Д. и Рыжову Н. Н. за помощь в проведении экспериментов и Андреевой И. Н. за предоставленные образцы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брысев А. П., Бункин Ф. В., Власов Д. В., Кравцов Ю. А. ПОФУЗ — параметрический обращающий фазу усилитель звука. Исследования по гидрофизике // Тр. ФИАН. Т. 156. М.: Наука, 1984, С. 19—30.
2. Красильников В. А., Маматова Т. А., Прокошев В. Г. Параметрическое усиление при обращении волнового фронта магнитоупругой волны в гематите // ФТТ. 1986. Т. 28. В. 2. С. 615—617.
3. Брысев А. П., Бункин Ф. В., Власов Д. В., Крутянский Л. М., Преображенский В. Л., Стаховский А. Д. Регенеративный режим усиления звуковых волн с обращением волнового фронта в феррите // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 6. С. 986—990.
4. Брысев А. П., Бункин Ф. В., Власов Д. В., Крутянский Л. М., Преображенский В. Л., Стаховский А. Д. Параметрическое обращение фронта ультразвуковой волны в феррите // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 6. С. 1120—1122.
5. Thompson R. B., Quate S. F. Nonlinear interaction of microwave electric fields and sound in LiNbO₃ // J. Appl. Phys. 1971. V. 42. P. 907—919.
6. Грегуси П. Звуковидение. М.: Мир, 1982.

Институт общей физики
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
08.06.89

Московский институт радиотехники,
электроники и автоматики

УДК 534.28

© 1990 г.

Р. П. Варданетян, А. А. Дургарян, А. С. Мелконян

АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОСВЕТЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ CdS В ПОЛЕ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Дислокационное поглощение ультразвука (ДПУ) в кристаллах определяется взаимодействием колеблющихся дислокаций с центрами закрепления [1]. Освещением кристаллов светом подходящей длины волны можно изменить электронное состояние дефекта, что в свою очередь может сказаться на ДПУ. Влияние освещения видимым светом на ДПУ широко исследовано в щелочно-галогенидных кристаллах [2—5], в которых облучением рентгеновскими лучами создавались центры окрашивания. При этом наблюдалось как уменьшение ДПУ при освещении (закрепление дислокаций), так и увеличение (открепление дислокаций).

Исследование влияния освещения на поглощение ультразвука в кристалле CdS показало [6, 7], что в одних образцах (образцы А) освещение приводило к сравнитель-

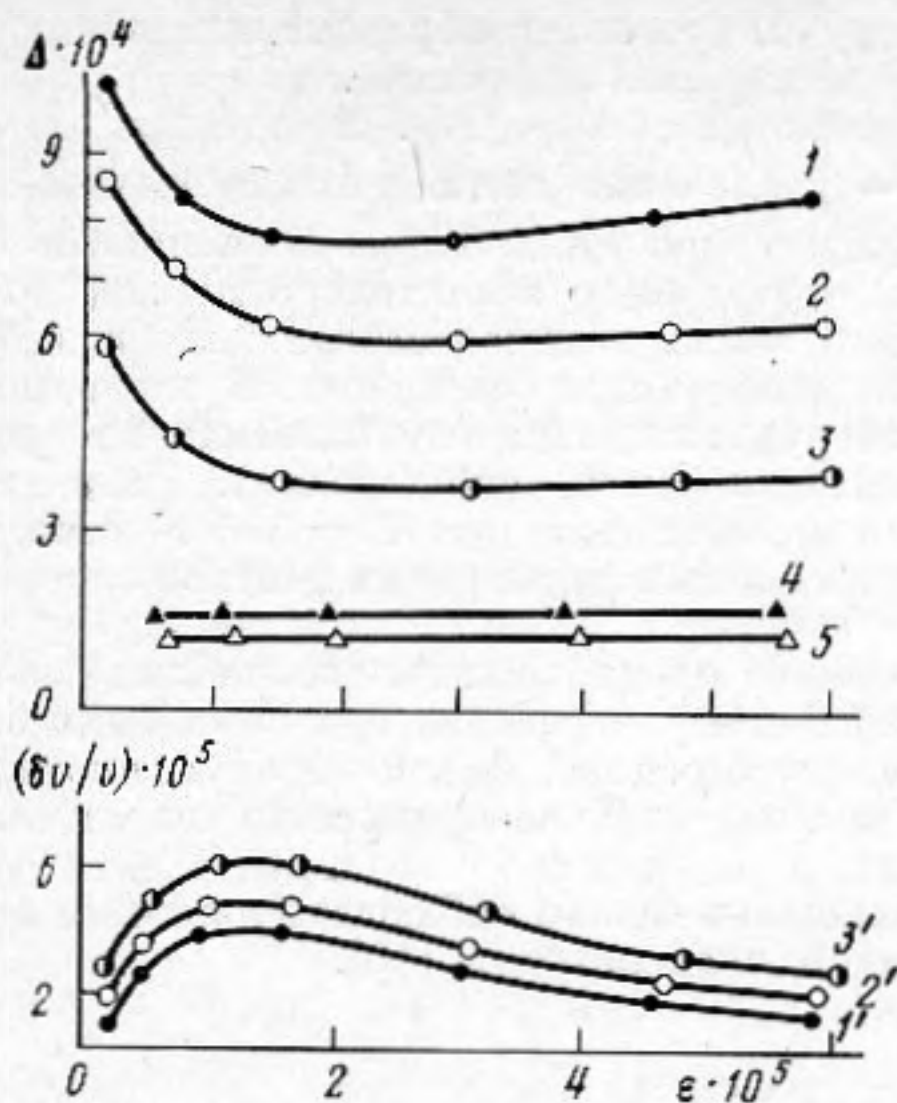


Рис. 1

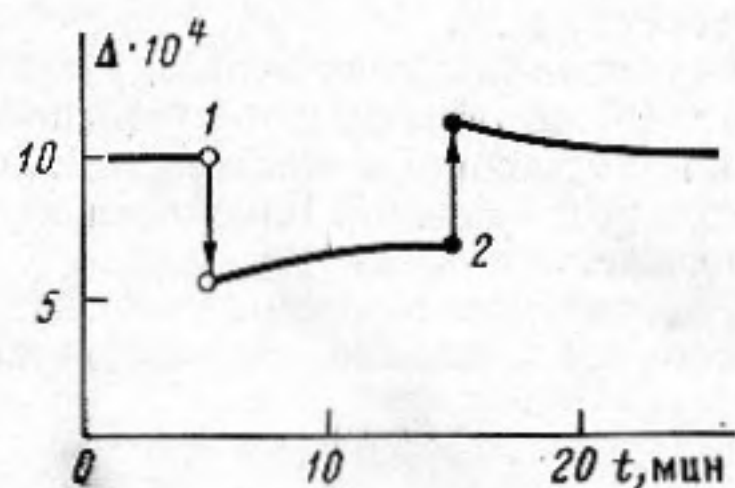


Рис. 2

Рис. 1. Зависимость логарифмического декремента затухания ультразвука Δ и относительного изменения скорости $\delta v/v$ от амплитуды деформации ϵ : 1, 1' — в темноте, $T = 370$ К; 2, 2' — при освещенности 35 лк, $T = 370$ К; 3, 3' — при освещенности 400 лк, $T = 370$ К; 4 — в темноте, $T = 300$ К; 5 — при освещенности 35 лк, $T = 300$ К. Освещенность изменялась варьированием расстояния между источником и кристаллом. Темновая удельная проводимость кристалла при комнатной температуре равнялась $2,3 \cdot 10^{-13}$ См/см

Рис. 2. Временная зависимость поглощения ультразвука: 1 — включение света, 2 — выключение

но небольшому уменьшению поглощения, в то время как в других образцах (образцы В) наблюдалось существенное увеличение поглощения при освещении. Эффект образца В, объясненный Хатсоном и Уайтом [7] на основе предположения о сильном взаимодействии между электронами проводимости и ультразвуком, распространяющимся в пьезоактивных направлениях, положил начало новому направлению в физике полупроводников — акустоэлектронике. Напротив, эффект в образцах А не нашел достаточного объяснения ни у авторов работы [6], ни у последующих исследователей.

Взаимодействием подвижных дислокаций с точечными дефектами определяется не только ДПУ в кристаллах, но и пластичность. В CdS пластичность чувствительна к освещению [8], причем в зависимости от температуры и типа взаимодействующих с центрами закрепления дислокаций (базисные или призматические) наблюдается как упрочнение, так и разупрочнение. Исходя из этого можно ожидать, что в этих кристаллах и ДПУ должно быть фоточувствительным, причем должно наблюдаться как уменьшение поглощения при освещении, так и увеличение. В тех случаях, когда электронное поглощение мало, уменьшение ДПУ при освещении может привести к общему уменьшению поглощения и вызвать акустическое просветление кристалла. В настоящей работе сообщается о наблюдении подобного эффекта.

Эксперимент проводился на выращенных из расплава нелегированных фоточувствительных монокристаллах CdS. Плотность дислокаций, определяемая по ямкам травления, оказалась равной $N_{\text{п}} \approx 2,2 \cdot 10^4$ см⁻² в призматических плоскостях и $N_{\text{б}} \approx 2,1 \cdot 10^5$ см⁻² в базисной плоскости. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами $5 \times 5 \times 21$ мм³. Длина образцов совпадала с осью C_6 кристалла. Коэффициент поглощения Δ и относительное изменение скорости ультразвука $\delta v/v$ определялись методом резонанса-антирезонанса с помощью составного вибратора, колеблющегося по длине на частоте $f = 104$ кГц. Как хорошо известно [7], на столь низких частотах поглощение на электронах проводимости незначительно. Точность измерения Δ была $\approx 3\%$, а $\delta v/v \approx 0,01\%$. Освещение проводилось галогеновой лампой накаливания КГМ мощностью 80 Вт. Инфракрасная часть спектра вырезалась водяным фильтром.

На рис. 1 показаны зависимости Δ и $\delta v/v$ от амплитуды ультразвуковой деформации ϵ . При высоких температурах в области малых амплитуд деформации до $\epsilon \approx 2 \cdot 10^{-5}$ поглощение ультразвука уменьшается, а скорость увеличивается. Это явление обусловлено, по-видимому, перераспределением центров закрепления вдоль дислокационной линии или диффузией междоузельных атомов CdS к дислокации под действием ультразвука [9]. При включении освещения поглощение уменьшается, а скорость увеличивается, при этом вид зависимостей Δ и $\delta v/v$ от ϵ не изменяется. С понижением температуры влияние освещения убывает. На рис. 2 показана временная зависимость поглощения при $T = 370$ К и $\epsilon \approx 2 \cdot 10^{-5}$. При включении света поглощение скачкообразно уменьшается, затем в течение примерно 10 мин незначительно растет и достигает насыщения. При выключении света происходит скачкообразный рост поглощения

и его дальнейшее медленное убывание. Очевидно, что скачкообразные изменения поглощения вызваны светом, а медленные — тепловыми эффектами.

Эти результаты были получены в кристаллах с $N_{II} < N_{II}$. В кристаллах CdS с $N_{II} > N_{II}$ наблюдался обратный эффект — увеличение поглощения и уменьшение скорости ультразвука при освещении с существенно иным ходом зависимости Δ и $\delta v/v$ от ϵ . Электронное поглощение и в этом случае было значительно меньше ДПУ.

Ясно, что в основе наблюдаемых явлений лежит взаимодействие колеблющихся дислокаций с заряженными центрами, возникающими при освещении. В зависимости от типа дислокаций эти центры могут как затруднять движение (базисная плоскость скольжения), так и облегчать (призматическая плоскость скольжения). Расчеты по теории Гранато—Люкке [1] показывают, что наблюдаемое при $T = 370$ К уменьшение поглощения на $\approx 5,5$ дБ соответствует увеличению концентрации центров закрепления на $\approx 17\%$.

На основании полученных результатов можно предположить, что наблюдавшееся в работе [6] на образцах А уменьшение поглощения ультразвука при освещении было вызвано закреплением дислокаций. Эти образцы, вероятно, имели высокую плотность дислокаций в базисной плоскости и ДПУ в них значительно превышало электронное поглощение.

В заключение заметим, что в CdS при освещении можно наблюдать и ложное акустическое просветление, связанное с методикой эксперимента [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранато А., Люкке К. Струнная модель дислокаций и дислокационное поглощение звука. Физическая акустика. Т. IV. Ч. А. Гл. 6 / Под ред. Мэзона У. М.: Мир, 1969.
2. Гордон Р. Влияние освещения на механические свойства щелочногалогидных кристаллов. Физическая акустика. Т. 3. Ч. Б. Гл. 3 / Под ред. Мэзона У. М.: Мир, 1968.
3. Голосовский И. А., Сойфер Я. М. Исследование природы фототорможения дислокаций в NaCl с F-центрами // ЖЭТФ. 1981. Т. 80 № 5. С. 2068—2077.
4. Голосовский М. А., Сойфер Я. М. Фотодемпфирование дислокаций в кристаллах KCl // ФТТ. 1982. Т. 24. № 11. С. 3327—3332.
5. Голосовский М. А., Сойфер Я. М. Влияние света на дислокационное внутреннее трение и дислокационный заряд в кристаллах NaCl с F-центрами // Внутреннее трение в металлах и неорганических материалах. М.: Наука, 1982. С. 180—184.
6. Nipe H. D., Truell R. Photosensitive — Ultrasonic Properties of Cadmium Sulfide // Phys. Rev. 1961. V. 123. № 3. P. 799—803.
7. Мак-Фи Дж. Распространение и усиление звуковых волн в пьезоэлектрических полупроводниках // Физическая акустика. Т. 4. Ч. А. Гл. 1 / Под ред. Мэзона У. М.: Мир, 1969.
8. Варданян Р. А., Кравченко В. Я., Осипьян Ю. А. К вопросу о механизме фотопластического эффекта // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 40. № 6. С. 248—250.
9. Здебский А. П., Шейнкман М. К., Аннаниязов А. Н., Гарягдыев Г. Влияние ультразвукового нагружения на акустические и электрические характеристики CdS // ФТТ. 1987. Т. 29. № 4. С. 1135—1140.
10. Варданян Р. П. К методике измерения фоточувствительного затухания ультразвука в пьезополупроводниках // Изв. АН АрмССР. Физика. 1985. Т. 20. № 1. С. 18—22.

Ереванский государственный университет

Поступило в редакцию
07.02.89

УДК 534.23

© 1990 г.

С. П. Драган, И. В. Лебедева

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ В ШИРОКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Амплитудно-частотные характеристики датчиков термоанемометра, используемых в акустических измерениях, изучались в работах [1, 2]. Они были получены в интерферометре в поле стоячей и бегущей волн. При этом была обнаружена существенная зависимость показаний термоанемометра от частоты. Однако использованные методы позволили произвести градуировку в ограниченном динамическом диапазоне. Это ограничение касается в первую очередь низких частот, представляющих в настоящее время большой интерес для практики.

Возможность расширения динамического и частотного диапазонов появилась в связи с развитием модифицированного метода двух микрофонов, предложенного в работе