

2p-типа. Последнее может быть одним из обстоятельств, облегчающих автолокализацию экситонов в BeO , возможные механизмы которой обсуждались ранее в [2].

Список литературы

- [1] Лазарев В. Б., Соболев В. В., Шаплыгин И. С. // Химические и физические свойства простых оксидов металлов. М., 1983. 240 с.
- [2] Лобач В. А., Рубин И. Р., Крузалов А. В., Шульгин Б. В., Иванов В. Ю. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 9. С. 2610—2615.
- [3] Васильев А. Н., Топорнин К. Б., Эварестов Р. А. // Опт. и спектр. 1980. Т. 48. № 2. С. 277—282.
- [4] Кулябин Б. Е., Лобач В. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 5. С. 315—317.
- [5] Китык И. В., Колобанов В. Н., Михайтин В. В. // Вестник МГУ. Сер. 3. 1987. Т. 28. № 4. С. 67—72.
- [6] Лобач В. А., Кулябин Б. Е., Медведева Н. И., Жуков В. П., Левашов М. В. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 7. С. 2238—2240.
- [7] Roessler D. M., Walker W. C., Loh E. // J. Phys. Chem. Sol. 1969. V. 30. N 1. P. 157—167.
- [8] Perdew J. P., Levy M. // Phys. Rev. Lett. 1983. V. 51. N 20. P. 1884—1887.
- [9] Лобач В. А., Шульгин Б. В., Крузалов А. В. и др. // Точечные дефекты и люминесценция в кристаллах оксидов. Рига, 1981. С. 23—46.
- [10] Кузнецов А. И., Куусман И. Л. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1985. Т. 49. № 10. С. 2026—2031.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова
Свердловск

Поступило в Редакцию
26 апреля 1990 г.
В окончательной редакции
4 июля 1990 г.

© Физика твердого тела, том 32, № 12, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 12, 1990

АКУСТОКОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

О. А. Коротченко, И. В. Островский

Сообщается о первом наблюдении взаимодействия в твердом теле между светом и оптическими фононами в присутствии акустической волны. Одним из новых направлений в физике твердого тела, формирующихся в последние годы, является акустомодуляционная спектроскопия твердых тел. Так, ведутся работы по исследованию влияния ультразвука (УЗ) на спектры фотолюминесценции [1], оптические спектры пропускания и отражения [1, 2]; обнаружены и исследуются эффекты акустофотопроводимости [3, 4] и ультразвуковых химических реакций [5-7]. Данная работа преследует цель обнаружения акустокомбинационного рассеяния света, ранее не исследовавшегося, и установления основных закономерностей воздействия УЗ на явление комбинационного рассеяния света. В качестве объекта исследования выбраны монокристаллы CaF_2 и ZnSe , представляющие научный и практический интерес. Физической основой искомого взаимодействия могут быть вынужденное колебательное движение дислокаций в поле УЗ, а также возможная генерация собственных дефектов структуры акустической волной (при некоторой сверхпороговой интенсивности УЗ). Поскольку речь идет о локальном нарушении периодичности решетки твердого тела, то могут наблюдаться эффекты изменения в фоновой подсистеме, а именно изменение частот фононов и изменение спектральной плотности фононов на некоторых частотах.

Исследования проводились на неориентированных монокристаллах CaF_2 и ZnSe при комнатной температуре. Ультразвуковая волна с частотой 2 МГц и интенсивностью от 0 до 10 Вт/см² вводилась в кристаллы с помощью

приклеенных к образцам пьезокерамических преобразователей (вставка к рис. 1). Возбуждение КР осуществлялось аргоновым и гелий-неоновым лазерами, рассеянный свет регистрировался под прямым углом к падающему с помощью спектрометра ДФС-24. Интенсивность света внутри кристалла была неизменной при возбуждении УЗ, что контролировалось по интенсивности несмещенной компоненты рассеяния. В образцах ZnSe наблюдались линии КР с частотными сдвигами $\Delta\nu=202$ и 250 см^{-1} относительно возбуждающей линии 1 (рис. 1), соответствующие решеточным колебаниям (фонамам) кристалла [8, 9]. Воздействие УЗ приводит к некоторому низкочастотному смещению и уменьшению линий КР 2, 3 (рис. 1).

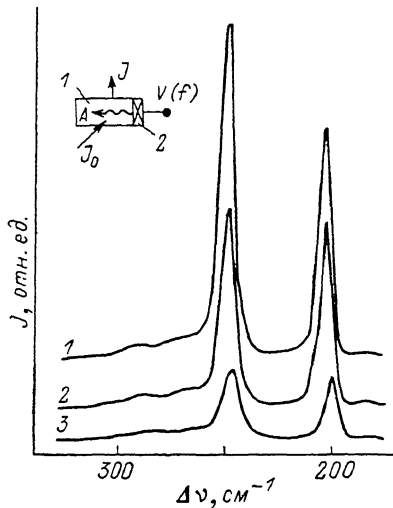


Рис. 1. Спектры КР ZnSe при различных амплитудах УЗ. $A/A_n=0$ (1), 1 (2), 1.6 (3).

На вставке — схема опыта. 1 — образец; 2 — пьезопреобразователь, возбуждающий УЗ с амплитудой A . J_0 , J — возбуждающий и рассеянный пучки света.

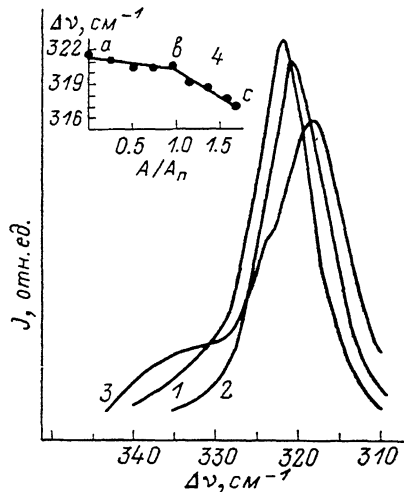


Рис. 2. Спектры КР CaF_2 (1—3) и положение максимума спектра (4) при различных амплитудах (A) УЗ. $A/A_n=0$ (1), 1 (2), 1.7 (3).

Максимальное смещение частоты линии составляло 0.7 % от исходного ее положения. В образцах CaF_2 исследовалась линия КР с $\Delta\nu=321.6 \text{ см}^{-1}$, соответствующая колебаниям ионов фтора. Спектры КР CaF_2 представлены на рис. 2. Введение ультразвука также приводит к низкочастотному сдвигу линии КР и некоторому уменьшению ее интенсивности (спектры 1, 2 на рис. 2). Максимальное смещение частоты линии составляло 1.4 % от исходного значения. Дальнейшее повышение амплитуды УЗ «проявляет» структуру этой полосы (рис. 2, 3), соответствующую ее триплетному расщеплению [10, 11].

Физическая природа ультразвукового сдвига в полосах КР может быть связана с изменением межатомного взаимодействия и, как следствие, с изменением упругих модулей 2-го порядка c_{ijkl} в присутствии УЗ. Отметим, что эффект носит пороговый характер. Зависимость $\Delta\nu$ от амплитуды УЗ характеризуется двумя участками ab и bc с разным наклоном (рис. 2, 4 в случае CaF_2). На участке bc наблюдается также указанное выше расщепление линии КР. При этом пороговая амплитуда A_n соответствует интенсивности УЗ $W \approx 4 \text{ Вт/см}^2$. При подобных интенсивностях УЗ, как показано на ряде кристаллов [1-6], наблюдаются открепление дислокаций от ступоров и их интенсивное колебательное движение. При этом увеличивается количество точечных дефектов типа вакансий и междоузельных атомов. Все это и приводит к уменьшению упругих модулей c_{ijkl} [12]. Иначе говоря, при увеличении интенсивности УЗ-колебаний наблюдается самовоздействие УЗ, состоящее в уменьшении его скорости. В случае эмиссионных явлений, т. е. эмиссии рассеянного света, подобное воздействие проявляется как

сдвиг полос КР в сторону меньших частот, поскольку частоты фононов тем меньше, чем меньше упругая постоянная. Оценки деформационных характеристик низкочастотного сдвига линии КР CaF_2 при УЗ-деформации дают $\partial(\Delta\nu)/\partial p \sim 85 \text{ см}^{-1}/\text{кбар}$ на участке ab и $325 \text{ см}^{-1}/\text{кбар}$ на участке bc зависимости $\Delta\nu(A/A_0)$. При этом развиваемое в УЗ-волне давление p оценивалось из интенсивности УЗ $p = \sqrt{2W\rho v_l}$ (ρ — плотность кристалла, v_l — скорость УЗ). Аналогичные оценки в случае статической деформации CaF_2 [10] дают максимальное значение всего лишь $\partial(\Delta\nu)/\partial p \sim 1 \text{ см}^{-1}/\text{кбар}$. Видим, что эффективность воздействия УЗ существенно выше, чем в случае простого сжатия. Последнее обстоятельство является одним из преимуществ акустомодуляционной методики перед пьезоспектроскопией твердых тел.

Необходимо отметить, что при используемых интенсивностях УЗ давление в волне p относительно невелико, порядка $20 \text{ кг}/\text{см}^2$ при $W \sim 10 \text{ Вт}/\text{см}^2$. Однако при воздействии УЗ на дислокации основным параметром является деформация в УЗ-волне $\epsilon \sim \partial A/\partial x$, которая при $W = 10 \text{ Вт}/\text{см}^2$ равна 1.4×10^{-5} . При таких деформациях дислокации уже колеблются с относительно большой амплитудой, нарушая периодичность решетки в заметном объеме. Интенсивность КР в кубическом кристалле пропорциональна объему взаимодействия света с фононами V [13, 14]

$$J(\Delta\nu) \sim V [(\nu_r^2 - \Delta\nu^2)^2 + (\epsilon_0 - \epsilon_\infty) \nu_r^2 / \epsilon_\infty]^{-1} \delta(\nu_r - \nu_p - \Delta\nu), \quad (1)$$

где ν_r — частота фонона; ν_r , ν_p — частоты падающего и рассеянного света; ϵ_0 , ϵ_∞ , δ — общепринятые обозначения. Максимум J находится на частоте ν_r . Сдвиг максимума J на рис. 1, 2 означает, таким образом, что УЗ действительно уменьшает ν_r . Уменьшение же интенсивности J приводит к предположению, что УЗ уменьшает общее число взаимодействующих со светом фононов, что практически означает уменьшение V . По-видимому, в заметаемом колеблющейся дислокацией объеме подход идеального кристалла с фононной модой ν_r неприменим; следовательно, чем больше амплитуда УЗ, тем меньше V и J .

Список литературы

- [1] Островский И. В. // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 34. № 8. С. 467—471.
- [2] Островский И. В., Коротченко О. А. // УФЖ. 1985. Т. 30. № 3. С. 356—362.
- [3] Островский И. В., Коротченко О. А. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 1. С. 259—261.
- [4] Островский И. В., Коротченко О. А. // ЖПС. 1986. Т. 45. № 6. С. 1014—1016.
- [5] Островский И. В., Рожко А. Х., Лысенко В. Н. // ФТТ. 1981. Т. 23. № 5. С. 1548—1550.
- [6] Островский И. В., Рожко А. Х. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 12. С. 3718—3720.
- [7] Здебский А. П., Миронюк Н. В., Остапенко С. С., Савчук А. У., Шейнкман М. К. // ФТП. 1986. Т. 20. № 10. С. 1861—1867.
- [8] Физика и химия соединений A_2B_6 / Под ред. С. А. Медведева. М.: Мир, 1970. 624 с.
- [9] Физика соединений A_2B_6 / Под ред. А. Н. Георгобидани, М. К. Шейнкмана. М.: Наука, 1986. 320 с.
- [10] Venugopalan S., Ramdas A. K. // Phys. Rev. B. 1973. V. 8. N 2. P. 717—734.
- [11] Каширский А. А., Малкин Б. З., Негодуйко В. К. // ФТТ. 1973. Т. 15. № 3. С. 817—823.
- [12] Тягунина Н. А., Белозерова Э. П. // УФН. 1988. Т. 156. № 4. С. 683—717.
- [13] Агранович В. М., Гинзбург В. Л. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теории экситонов. М.: Наука, 1979. 432 с.
- [14] Рассеяние света в твердых телах / Под ред. М. Кардоны. М.: Мир, 1979. 392 с.

Киевский государственный университет
им. Т. Г. Шевченко

Поступило в Редакцию
11 марта 1990 г.
В окончательной редакции
10 июля 1990 г.