

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА НА ПОВЕРХНОСТНЫХ  
ФОНОНАХ В ПОРОШКЕ ФОСФИДА ГАЛЛИЯ

В. С. Горелик, В. Б. Дивак, М. М. Суцдинский

УДК 535.361

Впервые обнаружено проявление поверхностных фононов в спектре комбинационного рассеяния (КР) света кристаллических порошков. Исследована зависимость спектров КР на поверхностных оптических фононах от температуры и типа жидкости, в которой находится порошок.

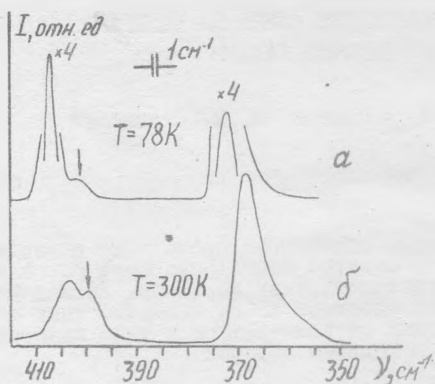
В ряде теоретических работ [1-3] обсуждалась возможность наблюдения поверхностных оптических фононов при рассеянии света в кристалле небольшого размера ( $\sim 1$  мкм) различной формы. В этих работах был проведен расчет вида спектров комбинационного рассеяния (КР) в зависимости от размера частиц, их формы и диэлектрической проницаемости.

К настоящему времени проявление поверхностных фононов и поляритонов в спектрах КР удалось обнаружить лишь для небольшого числа объектов [4-8].

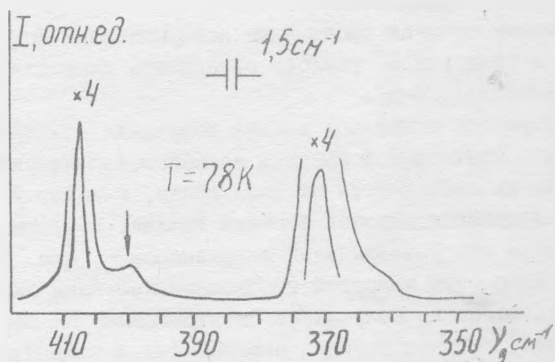
В данной работе ставилась задача получения спектров КР на поверхностных оптических фононах в мелкокристаллическом порошке и изучения их зависимости от типа среды, в которой находится порошок. Исследовался порошок фосфида галлия, полученный из кристалла путем его размельчения до размеров  $\sim 1$  мкм. Порошок помещался в кварцевую кювету с плоскопараллельными окнами.

На рис. 1 показаны полученные спектрограммы КР порошка фосфида галлия, соответствующие азотной (а) и комнатной (б) температурам. В первом случае порошок находился в жидком азоте, во втором - на воздухе. Как видно из рис. 1, кроме линий КР, соответствующих объемным ТО- и LO-фононам, на обоих спектро-

Грамммах появляется дополнительный пик, прилегающий к LO-фону со стороны низких частот (показан стрелкой).



Р и с. 1. Спектры КР порошка фосфида галлия (возбуждающая линия -  $\lambda = 5105 \text{ \AA}$ ): а) в жидком азоте, б) на воздухе. Стрелкой показан максимум интенсивности, соответствующий частоте поверхностного фонона



Р и с. 2. Спектр КР порошка фосфида галлия, помещенного в четыреххлористый углерод. Стрелкой показан максимум интенсивности, соответствующий частоте поверхностного фонона

На рис. 2 показана спектрограмма для порошка фосфида галлия, помещенного в четыреххлористый углерод. На приведенной спектрограмме, кроме максимумов интенсивности, соответствующих LO- и TO-фононам, имеется дополнительный пик, прилегающий к LO-фонону со стороны низких частот (показан стрелкой).

Положение этого пика смещено на  $3 \text{ см}^{-1}$  в сторону TO-фонона по сравнению с его положением на рис. 1а для  $T = 78 \text{ К}$ .

Аналогичные исследования были выполнены с порошком фосфида галлия, помещенным в глицерин. Значения соответствующих частот для всех обсуждаемых случаев приведены в табл. I.

Таблица I.

Частоты  $\Omega$  ( $\text{см}^{-1}$ ) поверхностных оптических фононов фосфида галлия.

Условия эксперимента	Сферическая форма частиц	Цилиндрическая форма частиц	$\epsilon_1^*$	Экспериментальное значение
Воздух, $T = 300 \text{ К}$	397	400	1	399
Жидкий азот, $T = 78 \text{ К}$	398	402	1,445	402
Четыреххлористый углерод, $T = 78 \text{ К}$	394	399	2,23	399
Глицерин, $T = 300 \text{ К}$	370	373	42,4	394
Глицерин, $T = 78 \text{ К}$	373	376	42,4	397

Перейдем к обсуждению полученных результатов.

Диэлектрическая проницаемость для кубических кристаллов (без учета затухания) имеет вид:

$$\epsilon(\Omega) = \epsilon_\infty + (\epsilon_0 - \epsilon_\infty) \frac{\Omega_{\text{TO}}^2}{(\Omega_{\text{TO}}^2 - \Omega^2)}, \quad (1)$$

\* Значения  $\epsilon_1$  для различных сред взяты из справочника /10/ для температуры  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

где  $\epsilon_0'$  и  $\epsilon_\infty$  - статическая и высокочастотная диэлектрические постоянные, а  $\Omega_{TO}$  - частота поперечного оптического фонона для больших волновых чисел. Как показано в работах /1-3/, для цилиндрической или плоской формы частиц поверхностная волна характеризуется частотой  $\Omega_s$ , удовлетворяющей соотношению:

$$\epsilon(\Omega_s) = -\epsilon_1, \quad (2)$$

где  $\epsilon_1$  - диэлектрическая проницаемость среды, с которой контактирует исследуемый образец. Для  $\Omega = \Omega_s$  из (1) с учетом (2) следует:

$$\Omega_s = \Omega_{TO} \left( \frac{\epsilon_0 + \epsilon_1}{\epsilon_\infty + \epsilon_1} \right)^{1/2}. \quad (3)$$

Для сферической формы частиц, согласно /1-3/, поверхностная волна характеризуется частотой  $\Omega_s$ , такой, что:

$$\epsilon(\Omega_s) = -2\epsilon_1. \quad (4)$$

При этом

$$\Omega_s = \Omega_{TO} \left( \frac{\epsilon_0 + 2\epsilon_1}{\epsilon_\infty + 2\epsilon_1} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Для фосфида галлия при комнатной температуре  $\epsilon_0 = 11,02$  и  $\epsilon_\infty = 9,075$  /9/. Частоты продольного и поперечного фонона равны:  $\Omega_{LO} = 403 \text{ см}^{-1}$ ,  $\Omega_{TO} = 366 \text{ см}^{-1}$  (при этой же температуре). При температуре жидкого азота для фосфида галлия  $\epsilon_0 = 10,88$ ,  $\epsilon_\infty = 8,963$  /9/,  $\Omega_{TO} = 369 \text{ см}^{-1}$  и  $\Omega_{LO} = 406 \text{ см}^{-1}$ .

Расчетные и полученные значения частот поверхностных оптических фононов, полученные по формулам (3) и (5) для различной формы частиц фосфида галлия, а также для различных сред, в которые помещался порошок, представлены в табл. I.

Таким образом, в настоящей работе установлено, что в спектрах КР мелких кристаллических порошков проявляются поверхностные состояния оптических фононов, частота которых зависит от типа среды, в которую помещается исследуемый порошок.

Поступила в редакцию  
30 декабря 1982 г.

### Л и т е р а т у р а

1. R. Ruppin and R. Englmann, paper B-9, Intern. Conf. on Light Scattering Spectra of Solids, New-York University (1968); in Light Scattering Spectra of Solids, ed. G. B. Wright (Springer, Berlin, 1969) p. 157.
2. В. В. Брыксин, Ю. А. Фирсов, Д. Н. Мирлин, УФН, 113, 29 (1974).
3. R. Ruppin, J. Phys. C: Solid State Phys., 8, 1969 (1975).
4. D. J. Evans, S. Ushioda, J. D. McMullen, Phys. Rev. Lett., 31, 369 (1973).
5. J. Y. Prieur, S. Ushioda, Phys. Rev. Lett., 34, 1012 (1975).
6. J. B. Valdez, S. Ushioda, Phys. Rev. Lett., 18, 1098 (1977).
7. В. С. Горалик, В. Б. Дивак, М. М. Сущинский, Краткие сообщения по физике ФИАН № 4, 17 (1982).
8. J. E. Scott and T. C. Damen, Opt. Commun., 5, 410 (1972).
9. А. Н. Пиктин, В. Г. Прокопенко, А. Д. Яськов, ФТП, 10, 2953 (1976).
10. Таблицы физических величин, справочник. Под ред. акад. И. К. Кикоина, Атомиздат, М., 1976 г., с. 326.