

О НАБЛЮДЕНИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА
НА ПОЛЯРИТОНАХ В КРИСТАЛЛАХ ПО СХЕМЕ "НА ОТ-
РАЖЕНИЕ"

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

УДК 535.361

Предложена новая методика наблюдения спектров комбинационного рассеяния на поляритонах, позволяющая регистрировать поляритонное рассеяние в отраженном свете. Приведены спектры КР в кристалле фосфида галлия, полученные для такой схемы рассеяния.

Известный метод исследования комбинационного рассеяния (КР) света на поляритонах в кристаллах /1,2/ основан на анализе угловой зависимости спектров КР в направлении, близком к направлению возбуждающего излучения, проходящего сквозь кристалл. При этом, если нормаль к поверхности кристалла близка к направлению возбуждающего излучения, то поляритонный эффект (зависимость частоты и интенсивности КР от угла) проявляется лишь в небольшом диапазоне углов (как правило, в несколько градусов). Недавно был предложен /3/ новый метод, для которого лучи как падающего, так и рассеянного света могут быть довольно далеки от нормали к поверхности кристалла (так называемый метод наклонных пучков). При этом поляритонный эффект наблюдается в гораздо большем интервале углов (вне кристалла). В настоящей работе сообщается о дальнейшей модификации метода наклонных пучков путем перехода к схеме регистрации КР на поляритонах в той же области пространства, в которой находится зеркально отраженный луч лазерного излучения. Такой метод будем называть методом "на отражение", в то время как описанная выше методика соответствует методу "на просвет".

Ход лучей возбуждающего и рассеянного излучения внутри и вне кристалла при использовании метода "на отражение" показан на рис. 1а. При этом предполагается, что кристалл является прозрачным для возбуждающего излучения, а противоположные грани кристалла параллельны друг другу. Лазерное излучение (\vec{k}_0, ω_0) падает на кристалл под углом θ_0 . Возникающее в кристалле рассеянное излучение (\vec{k}_s, ω_s) отражается от задней грани, преломляется и выходит из кристалла под углом θ_s к нормали кристалла.

Применяя закон Снеллиуса-Декарта, можно показать с использованием законов сохранения энергии и квазиимпульса кристалла, что угол между направлением распространения падающего и рассеянного света внутри кристалла (рис. 1а) определяется следующим соотношением:

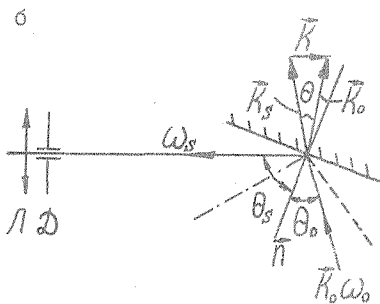
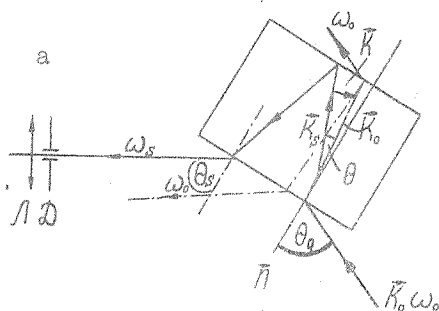
$$\theta = \arcsin(\sin\theta_s/n^*) - \arcsin(\sin\theta_0/n_0), \quad (1)$$

где θ_0 - угол между направлением падающего излучения и нормалью к кристаллу, θ_s - угол между оптической осью прибора (т.е. направлением сбора рассеянного излучения) и нормалью к кристаллу, n_0 и n^* - показатели преломления кристалла на частоте падающего и рассеянного света. При этом волновой вектор K поляритона в соответствии с законом сохранения квазиимпульса (рис. 1а) следующим образом зависит от угла θ в кристалле $/I/$:

$$K(\nu) = 2\pi \left\{ \left[n_0 + \nu_0 \left(\frac{\partial n}{\partial \nu} \right)_0 \right]^2 \nu^2 + 4\nu_0(\nu_0 - \nu)n_0 \left[n_0 - \nu_0 \left(\frac{\partial n}{\partial \nu} \right)_0 \right] \sin^2 \frac{\theta}{2} \right\}^{1/2}. \quad (2)$$

Таким образом, частота рассеянного света $\nu^* = \nu_0 - \nu$ зависит от угла падения θ_0 , угла отражения θ_s и может быть найдена в соответствии с (1) и (2).

В отраженном свете, кроме рассеянного излучения, возникающего внутри кристалла и отраженного от его задней грани, должно присутствовать также дополнительное рассеяние, возникающее в приповерхностной области кристалла (~ 1 мкм). Такой вид ком-

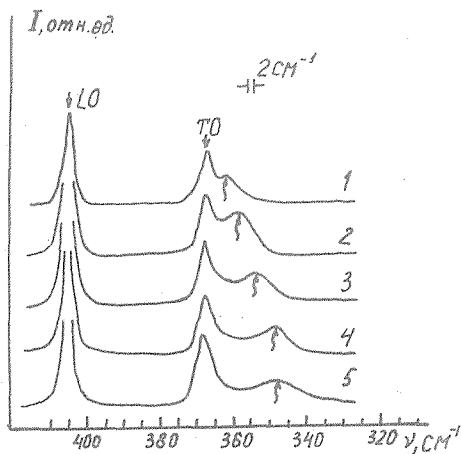


Р и с. 1. а) Ход лучей в кристалле для КР на полиритонах по схеме "на отражение": \vec{K}_0 , \vec{K}_s и \vec{K} — волновые вектора падающего, рассеянного света и полиритона соответственно; Д — дифрактама; Л — собирающая линза. б) Ход лучей для схемы "на отражение" на границе раздела сред

бинационного рассеяния, по существу, можно рассматривать как неупругое или комбинационное отражение света, отличающееся от обычного отражения тем, что частота отраженного света ω не совпадает с частотой падающего излучения ω_0 , а угол отражения θ_s не совпадает с углом зеркального отражения. Значение частоты при фиксированных углах θ_0 и θ_s находится из (1) и (2).

Отметим, что аналогичный процесс для параметрического рассеяния света на границе раздела двух сред, одна из которых является нелинейной, подробно рассматривался в работе [4]. Направ-

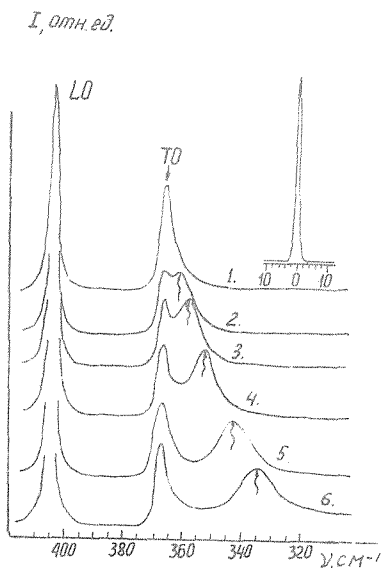
ления распространения квазичастиц, участвующих в обсуждаемом элементарном процессе, показаны на рис. 1б. Легко видеть, что в этом случае соотношение (I) для углов θ_0 , θ_s и θ остается таким же, что и в случае отражения рассеянного излучения от задней грани (рис. 1а), а схема рассеяния может рассматриваться как предельный случай схемы, представленной на рис. 1а, при устремлении толщины кристалла к нулю. Таким образом, для достаточно малых значений угла θ внутри кристалла для обеих схем (рис. 1а, б) в отраженном свете следует ожидать проявления поляритонного эффекта; при этом, как и для схемы наклонных пучков "на просвет", диапазон углов вне кристалла, для которого следует ожидать изменения частоты рассеяния, зависит от значения угла падения θ_0 .



Р и с. 2. Спектры КР на поляритонах, полученные по схеме "на отражение". Волнистой стрелкой показан максимум, соответствующий рассеянию света на поляритоне; 1 - $\theta_0 = 62^\circ$, $\theta_s = 84^\circ$; 2 - $\theta_0 = 66^\circ$, $\theta_s = 80^\circ$; 3 - $\theta_0 = 70^\circ$, $\theta_s = 76^\circ$; 4 - $\theta_0 = 72^\circ$, $\theta_s = 74^\circ$; 5 - $\theta_0 = 74^\circ$, $\theta_s = 72^\circ$.

Отметим, наконец, что в схеме "на отражение" в спектрах КР могут проявляться также процессы, связанные с рассеянием света на поверхностных фононах и поляритонах. В этом случае законы сохранения квазиимпульса выполняются лишь для проекций волновых векторов на поверхность. В настоящей работе экспериментальные исследования проводились только для схемы, соответствующей рис. 1а.

Для исследования спектров КР на поляритонах по схеме "на отражение" в данной работе использовалась линия 5782 Å лазера на парах меди. Объектом исследования был кристалл фосфида галлия, прозрачный для возбуждающего излучения, размером 30x40x5 мм³ с плоскопараллельными поверхностями, одна из которых соответствует плоскости (III).



Р и с. 3. Спектры КР на поляритонах при нормальном падении возбуждающего излучения на кристалл для различных углов φ (схема "на просвет"); 1 - $\varphi = 22,9^\circ$; 2 - $\varphi = 9,1^\circ$; 3 - $\varphi = 7,4^\circ$;
4 - $\varphi = 5,3^\circ$; 5 - $\varphi = 2,5^\circ$; 6 - $\varphi = 1,8^\circ$

Перед линзой, собирающей рассеянное излучение, ставилась диафрагма, позволяющая собирать рассеянное излучение в угле $\Delta\varphi = 0,5^\circ$. На рис. 2 приведены спектры КР на поляритонах, полученные по схеме "на отражение" для образца с плоскопараллельными поверхностями для различных углов падения света на кристалл. На этой спектрограмме присутствуют максимумы, соответствующие ТО и LO фононам и поляритону (показан волнистой стрелкой).

На рис. 3 для сравнения показаны соответствующие спектрограммы, полученные по схеме "на просвет". В этом случае лазерное излучение падает на кристалл нормально к его поверхности, а рассеянное излучение собирается в направлении оптической оси прибора. Здесь φ - угол между направлениями падающего и рассеянного света вне кристалла. На этой спектрограмме видны максимумы, соответствующие частотам продольного (LO) и поперечного (TO) фонона, а также поляритона (показан волнистой стрелкой). В правом верхнем углу приведен контур линии возбуждающего излучения.

Таким образом, предлагаемая методика открывает новые возможности для наблюдения КР на объемных и поверхностных поляритонах в кристаллах, в частности, непрозрачных для возбуждающего излучения.

Поступила в редакцию
21 сентября 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. Ю. Н. Поливанов, УФН, 126, 185 (1978).
2. М. Борн, Х. Кунь, Динамическая теория кристаллических решеток, ИЛ, М., 1958 г., с. 488.
3. В. С. Горелик, В. Б. Дивак, М. М. Сушинский, Препринт ФИАН № 243, М., 1981 г.
4. С. Н. Косолобов, В. И. Соколовский, ЖЭТФ, 26, 816 (1979).