

ВЛИЯНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ ВНУТРИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
НА ЭЛЕКТРОПОГЛОЩЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

В. С. Виноградов

УДК 537.228 : 535.34

Предлагается объяснение наблюдавшегося в эксперименте явления переворота сигнала электропоглощения при переходе от параллельной внешней электрическому полю поляризации света к перпендикулярной.

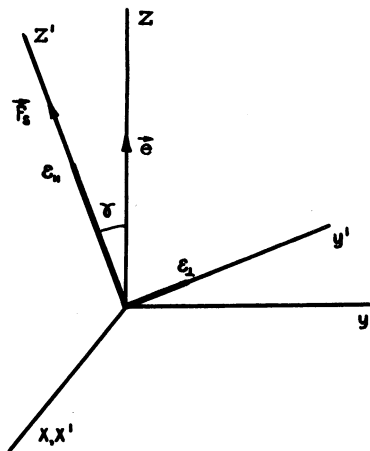
Хаотические электрические поля в кристаллах могут создаваться заряженными примесями, а также возникать при оптических или пьезоэлектрических колебаниях решетки.

Теоретическое рассмотрение их влияния на различные оптические явления (поглощение света ниже порога ионизации, электропоглощение (ЭП)) проводилось в работах /1-4/. В этих работах, однако, предполагалось, что коэффициент поглощения (КП) света не зависит от угла между направлением электрического поля и вектором поляризации света (разрешенные переходы, простая валентная зона). Мы от этого ограничения откажемся и будем считать, что для КП такая зависимость от угла имеет место.

Рассмотрим для простоты изотропную среду. Пусть в каждом малом объеме Δv_1 этой среды на электрон со стороны электрического поля действует сила \vec{F}_S ($\vec{F}_S = e\vec{E}_S$, \vec{E}_S - напряженность электрического поля). Эта сила складывается из двух компонент: \vec{F} - однородного внешнего поля и \vec{F}_1 - хаотически меняющегося в пространстве внутреннего поля; $\vec{F}_S = \vec{F}_1 + \vec{F}$. Будем считать, что \vec{F}_1 меняется в пространстве достаточно медленно, и пренебрежем изменением \vec{F}_1 в малых областях порядка Δv_1 .

Если в каждом объеме Δv_1 ввести свою систему координат x', y', z' с осью z' , параллельной \vec{F}_S , то комплексный тензор диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\alpha'\beta'}$ этого объема приобретет диагональную форму: $\epsilon_{x'x'} = \epsilon_{y'y'} = \epsilon_{\perp}(|\vec{F}_S|)$, $\epsilon_{z'z'} = \epsilon_{\parallel}(|\vec{F}_S|)$.

Чтобы определить поглощение света, поляризованного в направлении z общей для всего кристалла системы координат x, y, z , надо спроектировать тензор $\epsilon_{\alpha\beta}$ на направление z и усреднить получившееся выражение по всем объемам Δv_1 , т.е. усреднить по



Р и с. I.

всем направлениям внутреннего поля \vec{F}_1 и по его абсолютной величине. После этого для мнимой части усредненного тензора получим выражение

$$\overline{\epsilon''_{zz}(\vec{F}_1 + \vec{F})} = \overline{\epsilon''_{11} \cos^2 \gamma} + \overline{\epsilon''_{22} \sin^2 \gamma}. \quad (I)$$

Здесь γ - угол между осями z и z' (см. рис. I), а горизонтальная черта означает усреднение. Другие компоненты тензора $\epsilon_{\alpha\beta}$ нам не понадобятся.

Чтобы произвести в (I) усреднение по направлениям \vec{F}_1 , выразим $\cos^2 \gamma$ и $|\vec{F}_1|$ через углы, определяющие направление \vec{F}_1 в системе координат x, y, z ($\vec{F}_1 = F_1 \{ \sin \theta \cos \varphi, \sin \theta \sin \varphi, \cos \theta \}$) и компоненты вектора \vec{F} . Предполагая, что $F_1 \gg F$, и отбрасывая члены более высокого порядка малости, чем $(F/F_1)^2$, получим:

$$\begin{aligned} \cos^2 \gamma \approx & (1 - f^2) \cos^2 \theta + 2f_z \cos \theta - 2(\vec{e}_1 \vec{f}) \cos^2 \theta + \\ & + f_z^2 + 4(\vec{e}_1 \vec{f}) \cos^2 \theta - 4f_z (\vec{e}_1 \vec{f}) \cos \theta, \end{aligned} \quad (2)$$

$$F_0 = |\bar{F}_0| \approx F_1(1 + \Delta), \quad \Delta = (\bar{\alpha}_1 \bar{F}) + \frac{1}{2} r^2 - \frac{1}{2} (\bar{\alpha}_1 \bar{F})^2, \quad (3)$$

где
$$\bar{F} = \frac{\bar{F}_1}{F_1}, \quad \bar{\alpha}_1 = \frac{\bar{F}_1}{F_1}.$$

Разложим теперь функции $\epsilon''_{||}(|\bar{F}_0|)$, $\epsilon''_{\perp}(|\bar{F}_0|)$ по Δ . Сохраняя в (1) члены до второго порядка по r и производя усреднение по направлениям \bar{F}_1 с помощью (2), (3), получим для величины

$$\Delta \epsilon''_{zz} = \epsilon''_{zz}(\bar{F}_1 + \bar{F}) - \epsilon''_{zz}(\bar{F}_1), \text{ определяющей ЭП света, выражение}$$

$$\begin{aligned} \Delta \epsilon''_{zz} = & \frac{1}{30} \left[-2(a''_{||}{}^{(0)} - a''_{\perp}{}^{(0)}) + 10a''_{\perp}{}^{(1)} + a''_{||}{}^{(2)} + 4a''_{\perp}{}^{(2)} \right] r_1^2 + \\ & + \frac{1}{30} \left[4(a''_{||}{}^{(0)} - a''_{\perp}{}^{(0)}) + 10a''_{||}{}^{(1)} + 3a''_{||}{}^{(2)} + 2a''_{\perp}{}^{(2)} \right] r_{||}^2, \quad (4) \end{aligned}$$

где
$$a''_k{}^{(n)} = F_1^n \frac{\partial^n}{\partial F_1^n} \epsilon''_k(F_1), \quad r_{\perp}^2 = r_x^2 + r_y^2, \quad r_{||} = r_z.$$

Выражение (4) надо еще усреднить по абсолютной величине F_1 . Для простоты мы будем считать, что распределение F_1 достаточно узкое, и полагать в (4) $F_1 \sim \bar{F}_1$.

В случае оптических переходов с примесного уровня в ближайшую к нему простую зону, у порога ионизации $\epsilon''_k \sim F$, $\epsilon''_{||} \approx 60\epsilon''_{\perp}/5$, поэтому $\Delta \epsilon''_{zz} < 0$ при $\bar{F} \perp Z$ и $\Delta \epsilon''_{zz} > 0$ при $\bar{F} \parallel Z$.

Наблюдавшееся в [6-8] изменение знака сигнала ЭП происходит при переходах зона - примесный уровень вблизи другой зоны. КП для таких переходов в случае, когда валентная зона вырождена, не рассчитывался. Однако так же, как и для переходов зона-зона, для переходов зона-примесь в этом случае следует ожидать большой разницы в $\epsilon''_{||}$ и $\epsilon''_{\perp}/9$, поэтому предложенный здесь механизм изменения знака ЭП может действовать и в данном случае.

Одним из способов экспериментальной проверки правильности предложенного здесь объяснения отрицательного знака ЭП является переход к сильным электрическим полям $F > \bar{F}_1$. При увеличении внешнего поля до значений $F \gg \bar{F}_1$ отрицательный знак ЭП должен сменяться на положительный (у порога ионизации), а квадратичная зависимость от внешнего поля (4) - на зависимость, характерную для примесного эффекта Келдыша-Франца.

Поступила в редакцию
2 января 1975 года.

Л и т е р а т у р а

1. D. Redfield. Phys. Rev., 130, 916 (1963).
2. V. L. Bonch-Bruевич. Phys. Status Solidi, 42, 35 (1970).
3. B. Esser. Phys. Status Solidi (b), 51, 735 (1972).
4. J. D. Dow, D. Redfield. Phys. Rev. (B), 5, 594 (1972).
5. В. С. Виноградов. ФТТ, 13, 3266 (1971).
6. В. С. Иванов, В. Б. Стопачинский, В. А. Чапнин. ФТП, 5, 101 (1971).
7. В. С. Вавилов, В. Б. Стопачинский, Фан ба Нян. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 5, 66 (1972).
8. А. А. Гуткин, Д. Н. Наследов, Ф. Э. Фарражов. ФТП, 8, 463 (1974).
9. Л. В. Келдыш, О. В. Константинов, В. И. Перель. ФТП, 3, 1042 (1969).