

СПОНТАННЫЙ ФРАНК – КЕЛДЫШ ЭФФЕКТ В CdTe

Ю.Н. Берозашвили, А.В. Дундуа, Д.Ш. Лорджианидзе

Изучение поглощения света вблизи края фундаментальной полосы полупроводников и, в частности, изучение вопроса происхождения хвостов поглощения в запрещенной зоне представляет большой прикладной и научный интерес. Модель, объясняющая их происхождение наличием примесных состояний, в настоящее время общепринята [1 – 4]. Некоторая температурная зависимость поглощения указывает на участие в образовании хвостов также и фононов [5].

Позднее была развита точка зрения, согласно которой роль примесей может быть двойкой: с одной стороны, примеси создают некоторую плотность состояний, а с другой – своим электрическим полем могут сдвигать край полосы поглощения, т. е. должен иметь место спонтанный Франк – Келдыш эффект [6, 7].

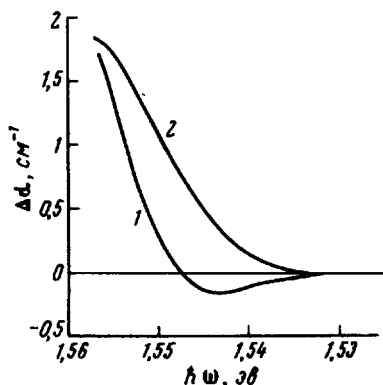


Рис. 1. Зависимость изменения коэффициента поглощения $\Delta\alpha$ от энергии квантов света $\hbar\omega$ на двух гармониках при $E_1 = 10^4$ в/см: 1 – $\Delta\alpha_1$ с частотой 400 $\mu\text{ц}$; 2 – $\Delta\alpha_2$ с частотой 800 $\mu\text{ц}$

В настоящей работе исследование электропоглощения теллурида кадмия вблизи края фундаментальной полосы позволило обнаружить наличие внутренних микрополей. Используемый нами дифференциальный метод позволил отличить поглощение, обусловленное ориентированной частью микрополей, от остального поглощения.

Измерения проводились при температуре жидкого азота на установке, описанной ранее [8]. К исследуемому образцу прикладывалось синусоидальное электрическое поле с частотой $\Omega = 400$ $\mu\text{ц}$, которое модулировало проходящий монохроматический свет.

Изменение коэффициента поглощения света в переменном электрическом поле должно содержать только четные гармоники от частоты поля, если в образце направление вдоль и против внешнего поля эквивалентны.

Однако в нашем случае, кроме четных гармоник, наблюдались также и нечетные. На рис. 1 приведены зависимости изменения коэффициента поглощения от энергии квантов света $\hbar\omega$ для I (частотой 400 $\mu\text{ц}$) $\Delta\alpha_1$ и II (частотой 800 $\mu\text{ц}$) $\Delta\alpha_2$ гармоник. Наблюдались также III и IV гармоники.

Как известно, обычно для получения нечетных гармоник модуляции проходящего света к образцу, кроме модулирующего переменного $E_1 \cos \Omega t$ прикладывается внешнее постоянное напряжение E_0 [9]. При этом $\Delta \alpha_n$ имеет следующий вид:

$$\Delta \alpha_n = \int_0^\pi f(|E_0 + E_1 \cos \Omega t|) \cos n \Omega t d\Omega t. \quad (1)$$

Как видно из (1), при $E_0 = 0$ $\Delta \alpha$ должно содержать только четные гармоники.

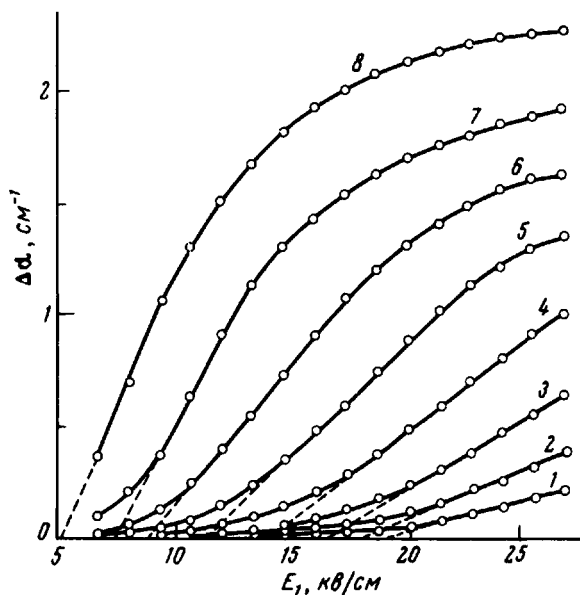


Рис. 2. Зависимость $\Delta \alpha_1$ от E_1 при различных значениях $\hbar \omega$:
 1 - $\hbar \omega = 1,519$ эв; 2 - $\hbar \omega = 1,524$ эв;
 3 - $\hbar \omega = 1,529$ эв; 4 - $\hbar \omega = 1,534$ эв;
 5 - $\hbar \omega = 1,539$ эв; 6 - $\hbar \omega = 1,544$ эв;
 7 - $\hbar \omega = 1,549$ эв; 8 - $\hbar \omega = 1,554$ эв

Так как в проведенном эксперименте внешнее смещение отсутствовало, то наличие нечетных гармоник можно было бы объяснить, если предположить, что оптические переходы происходят в областях кристалла, где имеются внутренние поля. Однако одного факта наличия внутреннего микрополя еще недостаточно для объяснения возникновения нечетных гармоник. На самом деле, если $\Delta \alpha_n$ переписать в виде

$$\Delta \alpha_n = \frac{1}{V} \sum_E \Delta V_E \int_0^\pi f(|E + E_1 \cos \Omega t|) \cos n \Omega t d\Omega t, \quad (2)$$

где ΔV_E - та часть объема V , в котором внутреннее поле E изменяется в промежутке (E, dE) , то для $\Delta \alpha_{2k+1} \neq 0$ необходимо

$\Delta V_E \neq \Delta V_{-E}$, т. е. вклады в поглощение областью микрополя со значением напряженности E и $-E$ должны быть различны.

Если это так и существует некоторая асимметрия внутреннего поля, то вклад I гармоника в поглощение должен зависеть от ориентации E_1 относительно оси этой асимметричности.

Для выяснения этого факта к образцу теллурида кадмия в плоскости (110) внешнее электрическое поле прикладывалось в различных направлениях, при этом поглощение измерялось в одной и той же точке. В результате измерений оказалось, что соотношения между Δa_1 и Δa_2 могут быть как $\Delta a_1 \ll \Delta a_2$, так и $\Delta a_1 > \Delta a_2$, т. е. величина I гармоника по разным направлениям кристалла неодинакова.

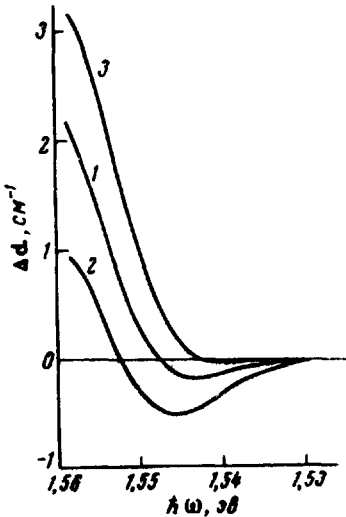


Рис. 3. Зависимости Δa_1 от $\hbar \omega$.
 1 - при $E_0 = 0$; 2 - при $E_0 = -10^3$ в/см;
 3 - при $E_0 = 10^3$ в/см

Из выражения (2) следует, что если $E_1 \ll E$ (E можно оценить по дефициту $\Delta \hbar \omega$ [10]), то Δa_1 должна линейно зависеть от E_1 , причем область линейной зависимости должна существовать для тем больших E_1 , чем больше $\Delta \hbar \omega$. На рис. 2 приведены зависимости Δa_1 от E_1 при различных значениях $\hbar \omega$. Как видно из рисунка, имеются линейные участки, однако они не экстраполируются в точку $E_1 = 0$. Величины, отсекаемые экстраполяцией при $\Delta a_1 = 0$, по мере увеличения значений $\Delta \hbar \omega$ увеличиваются. Это можно понять, если учесть тот факт, что наблюдаемые нами сигналы происходят из тех областей микрополей, в которые проникает переменное поле E_1 . Область проникновения E_1 ограничивается наличием экранировки этих полей носителями зарядов, так что отсекаемые участки должны соответствовать тем критическим значениям E_1 , в которых эта экранировка снимается.

Если в кристалле действительно существуют ориентированные микрополя, то, приложив к образцу дополнительное постоянное поле E_0 , можно будет изменить вклад I гармоника в поглощение. На рис. 3 приведены зависимости Δa от $\hbar \omega$ в отсутствие E_0 и при двух противоположных направлениях E_0 , параллельных E_1 . Как видно из рисунка, знак изменения Δa_1 зависит от направления E_0 . Аналогичные изменения величины Δa_2 имеют противоположный знак. Это мож-

но объяснить, если учесть, что компенсация ориентированной части микрополя должна привести к увеличению симметрии внутренних полей вместе с одновременным увеличением интенсивности этих полей за счет объема, занятого внешним постоянным полем. В противоположном направлении объем, занятый внешним полем, не даст вклада во II гармонику, само же поле уменьшит область микрополя E .

Надо отметить, что поляризационные характеры электропоглощения света на I и II гармониках аналогичны. Поэтому поляризационные свойства кристаллов [11] могут изучаться на любой из них.

Таким образом, можно утверждать, что эксперимент позволяет получить определенные сведения о существовании ориентированных микрополей в кристалле. По всей видимости, наличие таких полей можно ожидать в кристаллах без центра инверсии (ситуация, близкая вышеописанной, наблюдалась нами также в GaAs).

Если придерживаться излагаемой нами модели, то компенсация I гармоники слабым внешним полем, в принципе, должна позволить построение потенциальной кривой микрополя.

В заключение авторы выражают благодарность Р.М.Акопяну за полезные обсуждения результатов работы и ценные замечания.

Институт кибернетики
Академии наук Грузинской ССР

Поступила в редакцию
13 декабря 1971 г.

Литература

- [1] В.Л.Бонч-Бруевич. ФТТ, 4, 2660, 1962; 5, 1853, 1963.
- [2] Е.О. Кане. Phys. Rev., 131, 79, 1963.
- [3] Л.В.Келдыш, Г.П.Прошко. ФТТ, 5, 3378, 1963.
- [4] И.М.Лифшиц, ЖЭТФ, 44, 1723, 1963; 53, 743, 1967.
- [5] W.J.Turner, W.E.Reese. J. Appl. Phys., 35, 350, 1964.
- [6] D.Redfield, M.A.Afromovitz, Appl. Phys., Lett., 11, 138, 1967.
- [7] Б.И.Шкловский, А.Л.Эфрос. ЖЭТФ, 59, 1343, 1970.
- [8] Ю.Н.Берозашвили, А.В.Дундуа, Д.Ш.Лордкипанидзе. ФТТ, 13 3172, 1971.
- [9] В.К.Субашиев, Г.А.Чаликян. ФТТ, 11, 2495, 1969.
- [10] Р.М.Акопян, Ю.Н.Берозашвили, А.В. Дундуа, Д.Ш.Лордкипанидзе .
В печати.
- [11] В.С.Багаев, Ю.Н.Берозашвили, Л.В.Келдыш .Письма в ЖЭТФ, 9,
185, 1969.