

ЦИКЛОТРОН — КОМБИНАЦИОННО-ФОНОННЫЙ РЕЗОНАНС

В InSb

В. И. Иванов-Ожский, Б. Т. Коломиец, Е. М. Шеремий

Наблюдался новый тип циклотронно-фононного резонанса — циклотронный резонанс с участием двух фононов в антимониде индия при $4,2^\circ\text{K}$.

Циклотрон-фононный резонанс или не прямые переходы между уровнями Ландау с участием продольных оптических фононов предсказаны Бассом и Левинсоном [1] и наблюдались рядом авторов [2, 3]. Если двухчастичное взаимодействие электрона с продольными оптическими фононами в настоящее время в полупроводниках достаточно хорошо изучено, то многочастичное взаимодействие исследовалось мало.

В настоящем сообщении приводятся результаты наблюдения новой линии поглощения антимонида индия в магнитном поле при $4,2^\circ\text{K}$, которая может быть интерпретирована как циклотронный резонанс с участием двух фононов. Измерялось пропускание неполяризованного излучения кристаллом антимонида индия n -типа ($n = 1,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\mu = 1,5 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$) толщиной $2,4 \text{ мм}$, помещенного в сверхпроводящий соленоид в геометрии Фарадея. Измерения проводились в интервале длин волн $15 - 25 \text{ мкм}$ с помощью монохроматора ИКС-21 с призмой KBr, обеспечивавшим спектральное разрешение $\sim 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ эв}$ при разумной величине сигнала. Излучение регистрировалось приемником из германия легированного цинком.

На рис. 1 представлены экспериментальные записи пропускания в зависимости от магнитного поля при двух длинах волн. Видны пики поглощения, относящиеся к основной, первой и второй гармоникам циклотрон-фононного резонанса (ЦФР) с участием продольных оптических фононов. Между основной и первой гармониками отчетливо наблюдается минимум пропускания, сдвигающийся в сторону больших магнитных

полей при уменьшении длины волны. По интенсивности поглощения эта линия примерно на порядок слабее основной гармонике ЦФР и сравнима с интенсивностью первой гармонике.

На рис. 2 кружками показаны экспериментальные энергии наблюдаемых линий в функции магнитного поля.

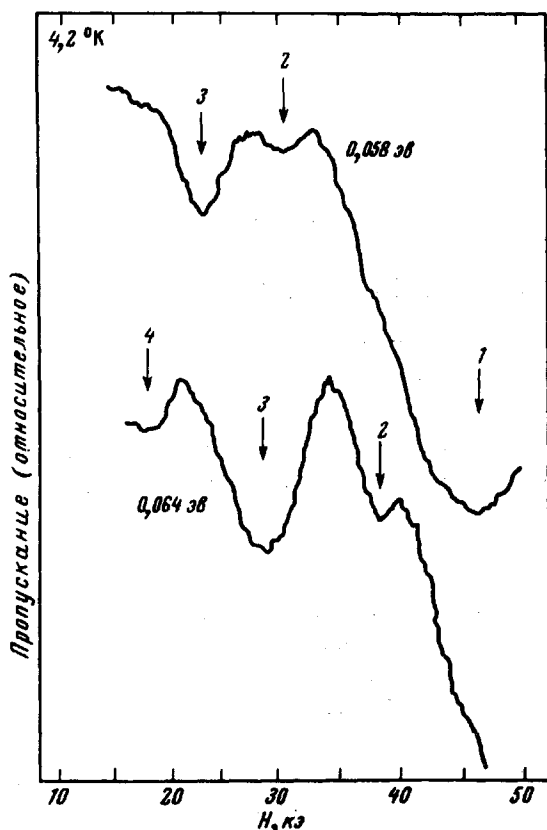


Рис. 1. Экспериментальные записи пропускания InSb в функции магнитного поля. Стрелками указаны переходы: 1 — $\hbar\omega_c + \hbar\omega_{LO}$; 2 — $\hbar\omega_c + \hbar\omega_{TO} + \hbar\omega_{LA}$; 3 — $2\hbar\omega_c + \hbar\omega_{LO}$; 4 — $3\hbar\omega_c + \hbar\omega_{LO}$.

Экстраполяция экспериментальных данных на нулевое магнитное поле позволяет выявить различие в природе наблюдаемых линий поглощения. Энергии пиков поглощения, идентифицированных нами, как основная и первая гармоника ЦФР, имеют тенденцию к пересечению оси ординат при $\hbar\omega_{LO} = 2,4 \cdot 10^{-2}$ эв в хорошем согласии с предыдущими работами [2, 3]. Сплошными линиями показаны зависимости от магнитного поля энергий переходов между основным ($n = 0$) и соответственно первым ($n = 1$) и вторым ($n = 2$) уровнями Ландау, рассчитанные на основании работы [3]. Наблюдается хорошее согласие теории ЦФР с экспериментальными данными.

Вторая группа пиков поглощения совпадает с теоретической энергией перехода между основным и первым уровнем Ландау плюс энергия комбинации $TO(L) + LA(L)$ фононов ($0,037 \text{ эВ}$), которая хорошо наблюдается в инфракрасных спектрах поглощения антимида индия [4].

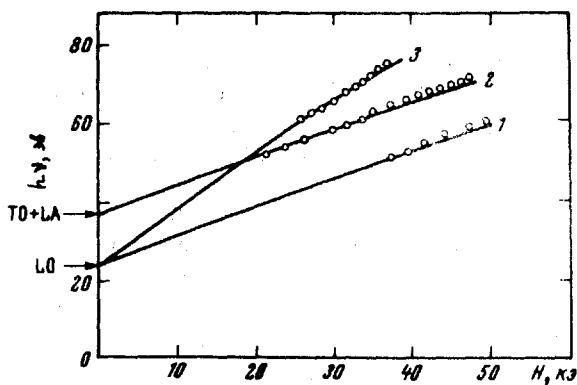


Рис. 2. Энергия резонансов в функции магнитного поля. Нумерация кривых соответствует номерам пиков на рис. 1.

Сказанное дает основание интерпретировать обнаруженные нами новые пики циклотронного поглощения, как циклотронный резонанс с участием двух фононов. Комбинационно-фононный резонанс может быть обусловлен нелинейным электрон-фононным взаимодействием, рассмотренным в работе [5].

Авторы благодарны А.А.Мальковой за ценные советы и В.В.Галанову за предоставленные кристаллы антимида индия.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 июля 1973 г.
После доработки
13 августа 1973 г.

Литература

- [1] Ф.Г.Басс, И.В.Левинсон. ЖЭТФ, 49, 914, 1965.
- [2] R.C.Enck, A.S.Saleh, H.Y.Fan. Phys. Rev., 188, 790, 1969.
- [3] E.J.Johnson, B.H.Dickey. Phys. Rev., B1, 6, 1970.
- [4] S.J.Fray, F.A.Johnson, R.H.Jones. Proc. Phys. Soc., 76, 930, 1960.
- [5] И.В.Левинсон, Э.И.Рашба. ЖЭТФ, 62, 1502, 1972.