

СПЕКТРЫ И КИНЕТИКА ПРИМЕСНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ ИНДИЕМ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Pb_{1-x}Ge_xTe$

Х.А.Абдуллин, А.И.Лебедев

Исследованы спектры и кинетика примесной фотопроводимости (ФП) в $Pb_{1-x}Ge_xTe$:
: In ($x = 0,08 - 0,12$). При $T < 16$ К обнаружена отрицательная ФП при $\hbar\omega \lesssim 0,1$ эВ.
Определены энергии оптической ионизации уровней и проведено их сравнение с данными электрических измерений.

Изучению необычных фотоэлектрических явлений в твердых растворах на основе $PbTe$, легированных индием, посвящено большое число экспериментальных и теоретических работ¹⁻⁸. Несмотря на отмеченную в^{1,2} высокую фоточувствительность легированных образцов, спектры ФП в них до сих пор не исследованы. В настоящей работе проведены прямые исследования спектров и кинетики примесной ФП высокоомных образцов $Pb_{1-x}Ge_xTe$, легированных In.

Монокристаллы $Pb_{1-x}Ge_xTe$ ($x = 0,08 - 0,12$) выращивались методом сублимации и легировались индием (1 мол.% InTe) в процессе роста. Спектры ФП исследовались на спектрометре с призмами из NaCl и KBr при подсветке образца фоном с температурой 300 К.

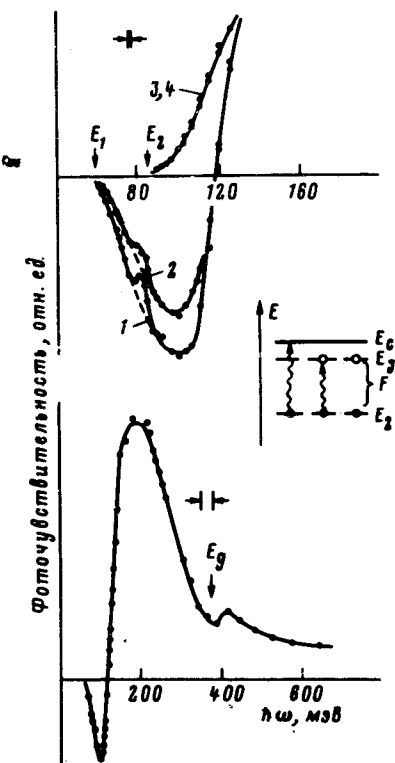


Рис.1. Внизу — спектр ФП образца $\text{Pb}_{0,88}\text{Ge}_{0,12}\text{Te}:\text{In}$ при 5 К. Ширина запрещенной зоны E_g определена из спектра фотоэффекта. Вверху — длинноволновые части спектров ФП того же образца при температурах: 1 — 5, 2 — 12, 3 — 23, 4 — 29 К

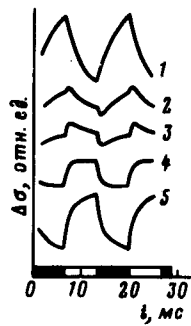


Рис.2. Кинетика сигнала ФП при возбуждении образца $\text{Pb}_{0,88}\text{Ge}_{0,12}\text{Te}:\text{In}$ примесным светом с энергией: 1 — 110,5; 2 — 117,5; 3 — 119; 4 — 121; 5 — 123 мэВ. $T = 5$ К

Удельное сопротивление образцов в темноте экспоненциально зависело от температуры с энергией активации 23 — 60 мэВ; в условиях фоновой подсветки при понижении температуры сопротивление возрастало, проходило через максимум при $T \cong 30$ К и затем снова снижалось вследствие ФП, вызванной подсветкой. На рис.1 представлен спектр ФП $\text{Pb}_{0,88}\text{Ge}_{0,12}\text{Te}:\text{In}$ при 5 К и более подробно — длинноволновые части спектров при различных температурах. При энергиях кванта, меньших E_g , наблюдается сильная примесная ФП, простирающаяся до энергий 60 — 85 мэВ. Поскольку образцы сильно легированы индием, естественно связать примесную ФП с появлением локальных уровней In. При $T = 5$ К в спектрах ФП всех образцов при $\hbar\omega < \hbar\omega_0$ наблюдается изменение знака сигнала ФП („отрицательная“ ФП — ОФП), связанное с гашением ФП, обусловленной примесной фоновой подсветкой. (Спектры ФП совпадали в случаях, когда излучение и фон попадали на образец через охлаждаемые до 5 К окна из Ge и InSb; в последнем случае граница пропускания лежит при $\sim 0,23$ эВ $< E_g(\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}) = 0,32 - 0,38$ эВ). Величина $\hbar\omega_0$ слабо зависела от x и изменялась от 106 до 118 мэВ при увеличении уровня подсветки и уменьшении толщины образца. При $T > 16$ К ОФП исчезает и наблюдается только положительная ФП. Красная граница в спектре ОФП слабо зависит от x , изменяясь от $E_1 = 69$ мэВ ($x = 0,08$) до 59 мэВ ($x = 0,12$). Положение края положительной ФП не зависит от x и составляет $E_2 = 85$ мэВ; увеличение x приводит лишь к „сглаживанию“ длинноволнового края спектра. Заметное различие красных границ E_1 и E_2 в спектрах ФП указывает на наличие двух типов оптических переходов в системе.

Последнее также подтверждается исследованиями спектральной кинетики ФП (рис.2). При возбуждении образцов светом с $\hbar\omega < 100$ мэВ наблюдается медленная „отрицательная“ неэкспоненциальная релаксация сигнала ФП. В интервале $\hbar\omega = 110 - 123$ мэВ происходит резкое изменение формы сигнала ФП, а при $\hbar\omega > 123$ мэВ нарастание и спад сигнала положительной ФП происходит с не зависящим от $\hbar\omega$ характерным временем ~ 3 мс (5 К), уменьшающимся при возрастании температуры или интенсивности подсветки.

Примесная ФП с красной границей около 85 мэВ, приводящая к возрастанию концентрации электронов, по-видимому связана с фотоионизацией уровня I_n . Появление длинноволновой ОФП означает наличие, кроме основного уровня, еще одного локального уровня. Возможно несколько объяснений ОФП, из которых наиболее вероятным нам кажутся оптические переходы между двумя локальными состояниями примеси I_n , при которых степень заполнения нижнего (рекомбинационного) уровня падает и возбужденные фоновой подсветкой электроны начинают быстрее рекомбинировать (вставка на рис.1). Для наблюдения ОФП необходимо, чтобы верхний уровень достаточно долго удерживал возбужденный носитель. Другой вариант объяснения ОФП — появление акцепторного уровня на расстоянии $\approx E_1$ от края валентной зоны — кажется нам менее вероятным. Подтверждением этого варианта могло быть появление ФЭМ-эффекта, который не был обнаружен, по-видимому, из-за малого времени жизни дырок.

Довольно резкая форма края спектров ФП, в особенности E_1 указывает на небольшую роль электрон-фононного взаимодействия в формировании спектра; поэтому можно считать, что энергии оптической и термической ионизации близки. Если следовать схеме электронных переходов, показанных на рис.1, то нижний уровень I_n лежит на ~ 85 мэВ ниже края зоны проводимости, второй уровень — на расстоянии $E_3 = E_2 - E_1 \sim 15 - 25$ мэВ от края зоны, а уровень Ферми находится между ними. Отсутствие ФП с граничной энергией, совпадающей с положением уровня Ферми, казалось бы, свидетельствует в пользу модели, однако сильное движение уровня Ферми с составом x при практически неизменных E_2 и E_3 создает трудности при интерпретации в рамках этой модели.

В заключение авторы хотели бы поблагодарить И.А.Курову за предоставленную возможность проведения измерений и обсуждение, В.П.Зломанова и О.И.Тананаеву за помощь и ценные консультации при изготовлении образцов.

Литература

1. Вул Б.М., Воронова И.Д., Калюжная Г.А., Мамедов Т.С., Рагимова Т.Ш. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 21.
2. Акимов Б.А., Брандт Н.Б., Рябова Л.И., Хохлов Д.Р. Письма в ЖТФ, 1980, 6, 1273.
3. Лыков С.Н., Черник И.А. ФТП, 1980, 14, 1232.
4. Penchina C.M., Klein A., Weiser K. J. Phys. Soc. Jap., 1980, 49, (Suppl. A), 783.
5. Засавицкий И.И., Матвеев А.В., Мацонашвили Б.Н., Трофимов В.Т. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 456.
6. Волков Б.А., Панкратов О.А. ДАН СССР, 1980, 255, 93.
7. Каган Ю., Кикоин К.А. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 367.
8. Дрabbкин И.А., Мойжес Б.Я. ФТП, 1981, 15, 625.