

Рис. 2. Температурная зависимость удельной теплоемкости монокристалла  $\text{TiGaS}_2$ , легированного  $\text{Nd}_2\text{S}_3$  в интервале 60–260 К.

последовательности ФП в чистом  $\text{TiGaS}_2$  в отличие от кристалла, легированного  $\text{Nd}_2\text{S}_3$ , позволяет предположить, что фазовые переходы при  $T_2$ – $T_6$  обусловлены дефектностью кристалла, в частности одномерным беспорядком в направлении, перпендикулярном плоскости слоев. Природа ФП при  $T_1$ , по-видимому, иная.

#### Список литературы

- [1] Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1983. Т. 37. № 11. С. 517–520.
- [2] Вахрушев С. Б., Жданова В. В., Квятковский Б. Е. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 39. № 6. С. 245–247.
- [3] Isaacs T. J., Hofkins R. H. // J. Crystal Growth. 1975. V. 29. N 1. P. 121–122.
- [4] Бахман Р., Дисалво Ф. Дж., Джеболл Т. Х. и др. // Приборы для научных исследований. 1972. № 2. С. 21–31.
- [5] Джафарова С. З., Рагимова Н. А., Абуталыбов Г. И. // Письма в ЖЭТФ. Т. 52. № 1. С. 691–693.
- [6] Dzhafarova S. Z., Ragimova N. A., Abutalybov G. J. // Phys. Stat. Sol. (a). 1991. V. 126. N 2. P. 501–509.

Институт физики АН Азербайджана  
Баку

Поступило в Редакцию  
11 июля 1991 г.  
В окончательной редакции  
5 ноября 1991 г.

© Физика твердого тела, том 34, № 9, 1992  
Solid State Physics, vol. 34, N 9, 1992

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРОВ ИК-ОТРАЖЕНИЯ $\text{PbTe}(\text{Ga})$

А. И. Белогорохов, С. А. Белоконь, И. И. Иванчик, Д. Р. Хохлов

В последнее время достигнут значительный прогресс в понимании природы задержанной фотопроводимости, наблюдающейся в сплавах  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}(\text{In})$  при температурах  $T < T_c \approx 25 \text{ K}$  [1]. В работе [2] высказано предположение, что данный эффект связан с возникновением барьера в конфигурационном пространстве между метастабильными и основными примесными состояниями. В результате в спектрах отражения материала при  $T < T_c$  появляются особенности, обусловленные переходами между локальными основными и метастабильными

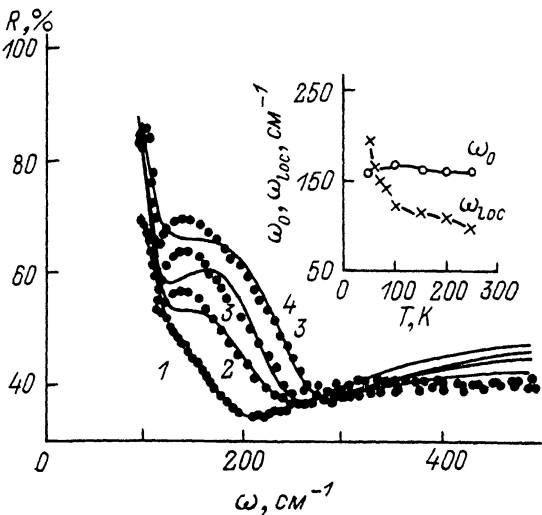


Рис. 1. Спектры ИК-отражения PbTe + 0.4 ат. % Ga, снятые при различных температурах.

Точки — экспериментальные данные; сплошные кривые — спектры, вычисленные согласно уравнениям (1) и (2).  $T = 300$  (1), 150 (2), 70 (3), 50 К (4). На вставке — температурная зависимость силы и частоты дополнительного осциллятора.

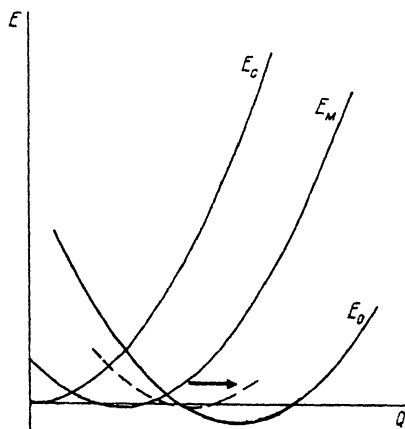


Рис. 2. Конфигурационная диаграмма PbTe(Ga).

$E_0$  соответствует основному локальному состоянию,  $E_M$  — метастабильному локальному состоянию,  $E_C$  — состоянию с делокализованным электроном на дне зоны проводимости. Стрелкой указан сдвиг состояния  $E_M$  при повышении температуры до  $T_C$ .

состояниями. Проведение аналогичных измерений в PbTe(Ga) представляется весьма важным для понимания происхождения эффекта задержанной фотопроводимости в теллуридах свинца и олова, легированных различными примесями III группы — индием и галлием.

В работе в качестве объекта исследования использовался сплав PbTe + 0.4 ат. % Ga, в котором уровень Ферми стабилизирован в запрещенной зоне на расстоянии  $\sim 70$  мэВ ниже дна зоны проводимости. Концентрация свободных носителей заряда при  $80 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$  не превышает  $10^{14} \text{ см}^{-3}$ . При температуре  $T < 80 \text{ K}$  в сплаве наблюдается задержанная фотопроводимость, поэтому инфракрасная подсветка образца при измерениях спектров отражения приводит к резкому возрастанию концентрации свободных носителей заряда [3].

Измерения проводились с использованием Фурье-спектрометра Bruker IFS-113v в диапазоне волновых чисел  $50\text{--}400 \text{ см}^{-1}$  при температурах образца  $10\text{--}300 \text{ K}$ .

Как правило, для описания спектров отражения сплавов на основе теллурида свинца используется дисперсионное соотношение вида

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty \left[ 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\tau^{-1})} + \frac{\omega_{l0}^2 - \omega_{t0}^2}{\omega_{l0}^2 - \omega^2 - i\gamma_{l0}\omega} \right], \quad (1)$$

где  $\omega_{l0}$ ,  $\omega_{t0}$  — частоты поперечного и продольного оптического фононов соответственно;  $\omega_p$  — плазменная частота;  $\tau$  — время релаксации свободных носителей заряда;  $\gamma_{l0}$  — обратное решеточное время релаксации;  $\epsilon_\infty$  — высокочастотная диэлектрическая проницаемость [4]. Первый член в уравнении (1) описывает дисперсию на свободных носителях заряда, а второй — на кристаллической решетке.

Вид спектров ИК-отражения сплава при различных температурах представлен на рис. 1. При  $T > 45 \text{ K}$  в спектрах присутствует дополнительная особенность, не описываемая моделью (1). В области  $T < 45 \text{ K}$  плазмон-фононный минимум

сдвигается в область более высоких волновых чисел благодаря увеличению концентрации свободных носителей и особенность не наблюдается.

Для описания вида спектров отражения аналогично способу, использованному в [2] для  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ , в дисперсионное соотношение был введен дополнительный осциллятор

$$\omega_{loc}^2 / (\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega G), \quad (2)$$

где  $\omega_0$  — характерная частота,  $G$  — фактор ослабления,  $\omega_{loc}^2$  — сила осциллятора. Спектры, соответствующие температурам выше 45 К, обработаны с учетом изменения дисперсионного соотношения.

Как видно из рис. 1, при  $T > 100$  К используемая модель позволяет достаточно точно подогнать вычисленный спектр отражения к экспериментально измеренному. В то же время по мере понижения температуры степень соответствия вычисленных и измеренных кривых ухудшается. Математическая модель (1) — (2) не позволяет описать острый минимум отражения, наблюдающийся при  $\omega = 110$  см<sup>-1</sup>.

Температурная зависимость частоты и силы дополнительного осциллятора приведена на вставке к рис. 1. Видно, что по мере понижения температуры величина  $\omega_{loc}$  начинает резко возрастать при  $T < T_c$ . В то же время в отличие от  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$  [2] особенность не исчезает и при  $T > T_c$ .

Таким образом, характер спектров отражения  $PbTe(Ga)$  и  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$  во многом аналогичен. Поэтому естественно предположить, что и процессы, оказывающие влияние на их формирование, сходны и особенность в спектрах отражения  $PbTe(Ga)$  обусловлена переходами между локальными основными  $E_0$  и метастабильными  $E_M$  состояниями (рис. 2). В таком случае резкое изменение силы осциллятора в окрестности  $T_c$  связано со смещением минимума, соответствующего метастабильному примесному состоянию, в конфигурационном пространстве приводящем к исчезновению барьера между состояниями  $E_0$  и  $E_M$  при  $T = T_c$  (рис. 2). В то же время в отличие от случая  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$  дополнительный осциллятор существует и при  $T > T_c$ , что указывает на значительную дисперсию параметров одноэлектронного состояния в  $PbTe(Ga)$ . Это же обстоятельство, по всей вероятности, в значительной мере определяет гораздо худшее, чем в случае  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ , соответствие измеренного и вычисленного спектров отражения.

Итак, результаты, описанные в настоящей работе, дают основания полагать, что эффект задержанной фотопроводимости в теллуридах свинца и олова, легированных элементами III группы — индием и галлием, — имеет общую природу и связан с формированием в спектре материалов барьера между локальными метастабильными и основными состояниями. Вместе с тем для удовлетворительного количественного описания спектров отражения в  $PbTe(Ga)$  в ИК-диапазоне следует использовать более сложную модель, чем была предложена для  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$  [2].

#### Список литературы

- [1] Кайданов В. И., Равич Ю. И. // УФН. 1985. Т. 145. № 1. С. 51—86.
- [2] Romchevich N., Popovich Z. V., Khokhlov D., Nikorich A. V., Konig W. // Phys. Rev. B. 1991. V. 43. N 8. P. 6712—6716.
- [3] Акимов Б. А., Брандт Н. Б., Гаськов А. М., Зломанов В. П., Рябова Л. И., Хохлов Д. Р. // ФТП. 1983. Т. 17. № 1. С. 87—92.
- [4] Tennant W. E., Cape J. A. // Phys. Rev. B. 1976. V. 13. N 6. P. 2540—2547.