

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Pb_{1-x}Ge_xTe(Ga, Yb)$

© Ю.К.Выграненко, Е.И.Слынько

Черновицкое отделение Института проблем материаловедения  
Национальной академии наук Украины,  
274001 Черновцы, Украина  
(Получена 1 декабря 1995 г. Принята к печати 26 декабря 1995 г.)

В твердом растворе  $Pb_{1-x}Ge_xTe$  ( $x = 0.06$ ), легированном одновременно примесями Ga (0.3 ат%) и Yb (0.5 ÷ 1 ат%), обнаружены диэлектрическое состояние и остаточная фотопроводимость. Экспериментально исследованы кинетические свойства и спектральные характеристики фотопроводимости монокристаллов. Результаты объясняются на основе модели, описывающей престройку глубокого центра в конфигурационном пространстве.

В кристаллах  $Pb_{1-x}Ge_xTe(Ga)$  температурная зависимость удельного сопротивления  $\rho(T)$  в интервале 4.2 ÷ 300 К немонотонна [1] и имеет три участка — высокотемпературный с активационным характером, переходный с резким спадом и участок стабилизации  $\rho$ . С увеличением содержания GeTe температура максимума  $\rho(T)$  увеличивается и при  $x = 0.06$  становится близкой к  $T_c = 80$  К, ниже которой наблюдается задержанная фотопроводимость.

В настоящей работе проведено одновременное легирование примесями Ga и Yb, что позволило устранить описанную выше аномалию и реализовать диэлектрическое состояние при низких температурах.

Исследуемые монокристаллы  $Pb_{1-x}Ge_xTe$  ( $x = 0.06$ ) с концентрацией легирующих примесей галлия  $N_{Ga} = 0.3$  и иттербия  $N_{Yb} = 0.5 \div 1$  ат% были синтезированы методом Бриджмена. Измерения температурных зависимостей удельного сопротивления проводились в криостате, обеспечивающей полную экранировку образца от фонового излучения. На рис. 1 приведены для сравнения температурные зависимости удельного сопротивления образцов с галлием, иттербием и обеими этими примесями. Кристаллы, легированные Yb имеют дырочный тип проводимости, а активационный характер зависимости свидетельствует о существовании глубокого уровня вблизи вершины валентной зоны [2]. При одновременном легировании Ga и Yb были получены кристаллы  $n$ -типа проводимости с энергией активации примесной проводимости  $\sim 100$  мэВ в области азотных температур (кривая 3). При гелиевых

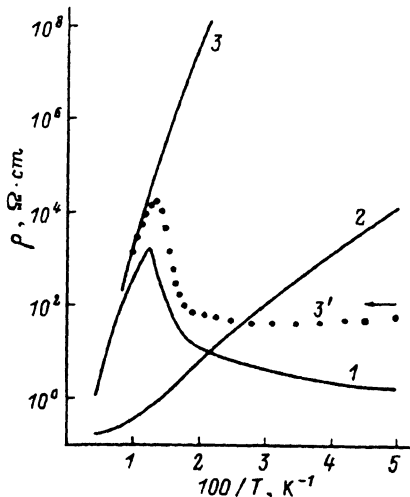


Рис. 1. Температурные зависимости удельного сопротивления образцов  $\text{Pb}_{0.94}\text{Ge}_{0.06}\text{Te}$ , легированных различными примесями: 1 — Ga; 2 — Yb; 3, 3' — Ga и Yb. 3' — после кратковременного освещения тепловым источником.

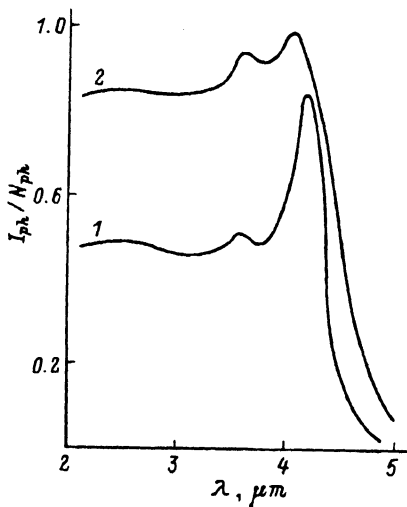


Рис. 2. Спектры фотопроводимости  $I_{ph}/N_{ph}$  ( $I_{ph}$  — фототок,  $N_{ph}$  — число фотонов) твердого раствора  $\text{Pb}_{0.94}\text{Ge}_{0.06}\text{Te}(\text{Ga}, \text{Yb})$  при температурах 80 (1) и 104 (2) К.

температурах образцы имели экстремально высокое удельное сопротивление  $\rho > 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  и наблюдалась задержанная фотопроводимость. Кратковременной подсветкой ( $\sim 1 \text{ с}$ ) от теплового источника излучения удавалось перевести образец в низкоомное состояние с временем жизни фотовозбужденных электронов  $\sim 10^5 \text{ с}$ . Зависимость 3' на рис. 1, соответствующая этому случаю, измерена при скорости нагрева образца  $\sim 2 \text{ К/мин}$ .

При импульсном фотовозбуждении от GaAs-излучателя фототок имел две составляющие — «быструю» и «медленную». Для наиболее высокоомных образцов при  $T = 77 \text{ К}$  их постоянные времена были порядка  $10^{-4}$  и  $2 \cdot 10^{-2} \text{ с}$  соответственно.

Спектральные характеристики фотопроводимости при  $T > 77 \text{ К}$  измерялись с использованием обычной модуляционной методики на частоте 18 Гц. Фоновый поток ограничивался охлажденной диафрагмой криостата. В спектрах фотопроводимости при  $T < 100 \text{ К}$  наблюдается резкий пик вблизи края фундаментального поглощения (спектр 1 на рис. 2). Такая особенность спектра характерна также для  $\text{PbTe}(\text{Ga})$  [3]. Максимальная фоточувствительность достигается при  $T = 104 \text{ К}$  (спектр 2). Фотоответ в коротковолновой части спектра зависит от способа обработки поверхности образца, и наилучший результат получен на сколах.

Полученные результаты качественно объясняются в модели двух-электронных перестраиваемых центров [4]. Такие центры могут находиться в состояниях  $E_n$  (где  $n = 0, 1, 2$  — число локализованных электронов), которые разделены барьерами в конфигурационном пространстве. Зависимость фотоответа в коротковолновой части спектра от скорости поверхностной рекомбинации, возможно, обусловлена захва-

том фотовозбужденных дырок центрами  $E_2$ . Образующиеся при этом метастабильные состояния  $E_1$  путем термоактивации или под действием длинноволнового излучения переходят в состояния  $E_0$  с генерацией неравновесных электронов. Быстрой составляющей спада фотопроводимости соответствуют переходы  $E_0 \rightarrow E_1$ , медленной —  $E_1 \rightarrow E_2$ . Пик в спектре фотопроводимости соответствует переходам электронов из валентной зоны в метастабильные состояния  $E_1$  с последующим переходом электронов с данного уровня в зону проводимости [3].

Природа аномалий электрических свойств  $\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}(\text{Ga})$  остается не до конца понятой. Согласно [1], напряжения, возникающие в кристаллической решетке вследствие сегнетоэлектрического фазового перехода, способны индуцировать неоднородные по объему состояния, связанные с изменением легирующего действия Ga. Можно предположить, что примесь Yb не только стабилизирует проводимость в таких областях, но и устраняет каналы протекания, вызывающие падение  $\rho$ .

Таким образом, одновременное легирование твердого раствора  $\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}$  примесями Ga и Yb позволяет получить кристаллы, в которых наблюдается не только задержанная фотопроводимость, но и активационный ход проводимости во всем диапазоне температур.

В заключение выражаем благодарность профессору Б.А.Акимову за обсуждение полученных результатов.

#### Список литературы

- [1] Б.А. Акимов, А.В. Албул, И.И. Иванчик, Л.И. Рябова, Е.И. Слынько, Д.Р. Хохлов. ФТП, **27**, 351 (1993).
- [2] Ю.К. Выграненко, В.Е. Слынько, Е.И. Слынько. Изв. РАН. Неорг. матер., **31**, 1338 (1995).
- [3] Б.А. Акимов, А.В. Албул, В.Ю. Ильин, М.Ю. Некрасов, Л.И. Рябова. ФТП, **29**, 2015 (1995).
- [4] А.И. Белогорохов, Е.И. Слынько, Д.Р. Хохлов. Письма ЖТФ, **18**, 30 (1992).

Редактор Л.В. Шаронова

### Photoelectrical properties of $\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}(\text{Ga})$ solid solutions

*Yu. K. Vygranenko, E. I. Slynko*

Chernovtsy Section, Institute of Material Sciences Problems,  
Ukrainian National Academy of Sciences,  
274001 Chernovtsy, the Ukraine

Dielectrical states and persistent photoconductivity have been found in  $\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}$  ( $x = 0.06$ ) doped simultaneously with impurities Ga (0.3 at%) and Yb (0.5 ÷ 1 at%). Kinetic properties and spectral photoelectric characteristics of the monocrystals have been investigated. The results are explained on the basis of the model, which describes the reconstruction of the deep center in the configuration space.