

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР И ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$

Акимов Б. А., Белоконь С. А., Дашевский З. М.,
Егоров К. Н., Лакеев В. М., Никорич А. В., Рябова Л. П.

Синтезированы высокоомные монокристаллические образцы $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ ($x \leq 0.05$). Исследование температурных зависимостей удельного сопротивления ρ показало, что не только ширина запрещенной зоны ϵ_g , но и энергия активации примесной проводимости ϵ_A в $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ возрастают с ростом x и в кристаллах с $C_{Mn} \approx 2.5$ ат%, достигают $\epsilon_A = 250$ и $\epsilon_g \approx 370$ мэВ. При этом максимум в спектрах фотопроводимости (ФП) сдвигается в область более коротких волн. Задержанная ФП наблюдается в области температур $T \lesssim 70$ К. С ростом содержания Mn в кристаллах процессы релаксации к равновесному состоянию после выключения непрерывной подсветки при низких температурах ускоряются.

В ряде свойств, обусловленных формированием локальных и квазилокальных примесных уровней при легировании теллурида свинца и некоторых твердых растворов на его основе, одним из наиболее важных является остаточная (задержанная) фотопроводимость (ОФП). Область температур $T \leq T_c$, в которой наблюдается эффект ОФП, в основном определяется видом легирующей добавки. Так, при введении In в PbTe, $Pb_{1-x}Sn_xTe$, $Pb_{1-x}Mn_xTe$ $T_c \approx 20$ К [1, 2], при введении Ga в PbTe $T_c \approx 80$ К [3]. Высокое значение T_c в PbTe(Ga) делает это соединение интересным в плане создания на его основе твердых растворов, энергетический спектр которых можно было бы варьировать изменением состава. В настоящей работе исследованы энергетический спектр и ФП в твердых растворах $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$.

Исследованные образцы

Монокристаллы PbTe(Ga) и $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ выращивались методом направленной кристаллизации расплава. Ga в количестве ~ 0.3 ат% вводился в ростовую шихту. Содержание Mn в шихте варьировалось от 1 до 2.5 ат%. Образцы размером $0.7 \times 0.7 \times 5$ мм вырезались с помощью электроэрозии и подвергались химической полировке в растворе $HBr + Br_2$. Контакты наносились подпайкой сплавом In+4% Ag+1% Au. Все кристаллы имели проводимость n -типа. При охлаждении сопротивление образцов R возрастало и при температуре 4.2 К превышало 10^7 Ом.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Температурные зависимости удельного сопротивления ρ исследованных образцов показаны на рис. 1. На всех кривых $\lg \rho (1/T)$ отчетливо прослеживаются два линейных участка. Высокотемпературные участки соответствуют собственной проводимости, низкотемпературные — активации примесной проводимости. Значения ширины запрещенной зоны ϵ_g и энергии активации примесной проводимости ϵ_A , рассчитанные по формуле $\rho \sim \exp(\epsilon_A/2kT)$, приведены в таблице. Из полученных результатов следует, что увеличение содержания Mn в твердом растворе приводит к значительному возрастанию ϵ_A наряду с ϵ_g .

№ образца	С Mn, ат% (в шихте)	ϵ_g , мэВ	ϵ_A , мэВ	ϵ_λ , мэВ
1	0	180	130	240
2	1.0	240	180	270
3	2.0	320	230	320
4	2.5	370	250	410

На рис. 2 показаны зависимости $R(T)$, снятые в условиях подсветки светодиодом АЛ107Б ($\lambda=1$ мкм), работающим в непрерывном режиме при токе

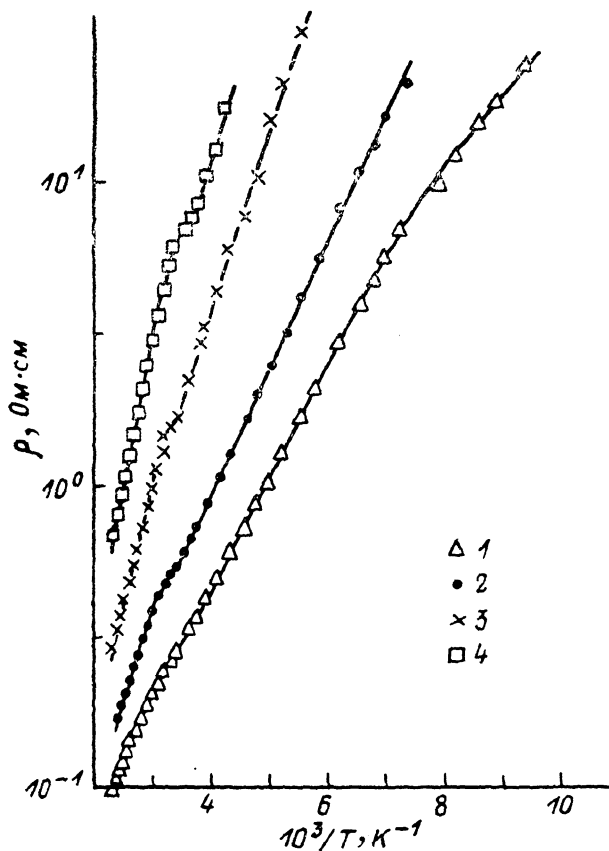


Рис. 1. Вид температурных зависимостей удельного сопротивления ρ ($1/T$) образцов $\text{PbTe}(\text{Ga})$ (1) и $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}(\text{Ga})$ (2—4), снятых в условиях экранирования.

$I=20$ мА. В идентичных условиях эксперимента эффект ФП наиболее выражен в $\text{PbTe}(\text{Ga})$ и образце 2 с минимальным содержанием Mn. Спад сигнала ФП после выключения источника подсветки для этих образцов при $T=4.2$ К показан на вставке к рис. 2. В образцах 3, 4 по сути дела остаточная ФП не наблюдается, так как после выключения источника подсветки темновое сопротивление полностью восстанавливается за несколько миллисекунд. Максимумы на зависимостях $R(1/T)$ для образцов 1, 2, 4 наблюдаются при одной и той же температуре $T=T_c \approx 70$ К и лишь для образца 3 — при $T_c \approx 100$ К.

На рис. 3 представлены спектры ФП исследованных кристаллов. Спектры получены на однолучевом спектрометре ИКС-21. Измерения проводились в оптическом криостате с окном из BaF_2 . Области контактов не засвечивались. Относительная величина сигнала ФП $(\sigma_{\text{max}} - \sigma_0)/\sigma_0$ (σ_0 — темновая проводимость) для каждого из исследованных образцов нормирована к единице, поэтому спектры, представленные на рис. 3, не характеризуют абсолютных значений

сигналов ФП, а лишь показывают характер смещения максимума на зависимостях $(\sigma_{\max} - \sigma_0)/\sigma_0(\lambda)$ при изменении состава сплавов. Для $\text{PbTe}(\text{Ga})$ максимум ФП наблюдается при $\lambda = \lambda_{\max} = 5.6$ мкм, т. е. совпадает с параметрами собственной ФП в нелегированном PbTe . Смещение λ_{\max} в коротковолновую область

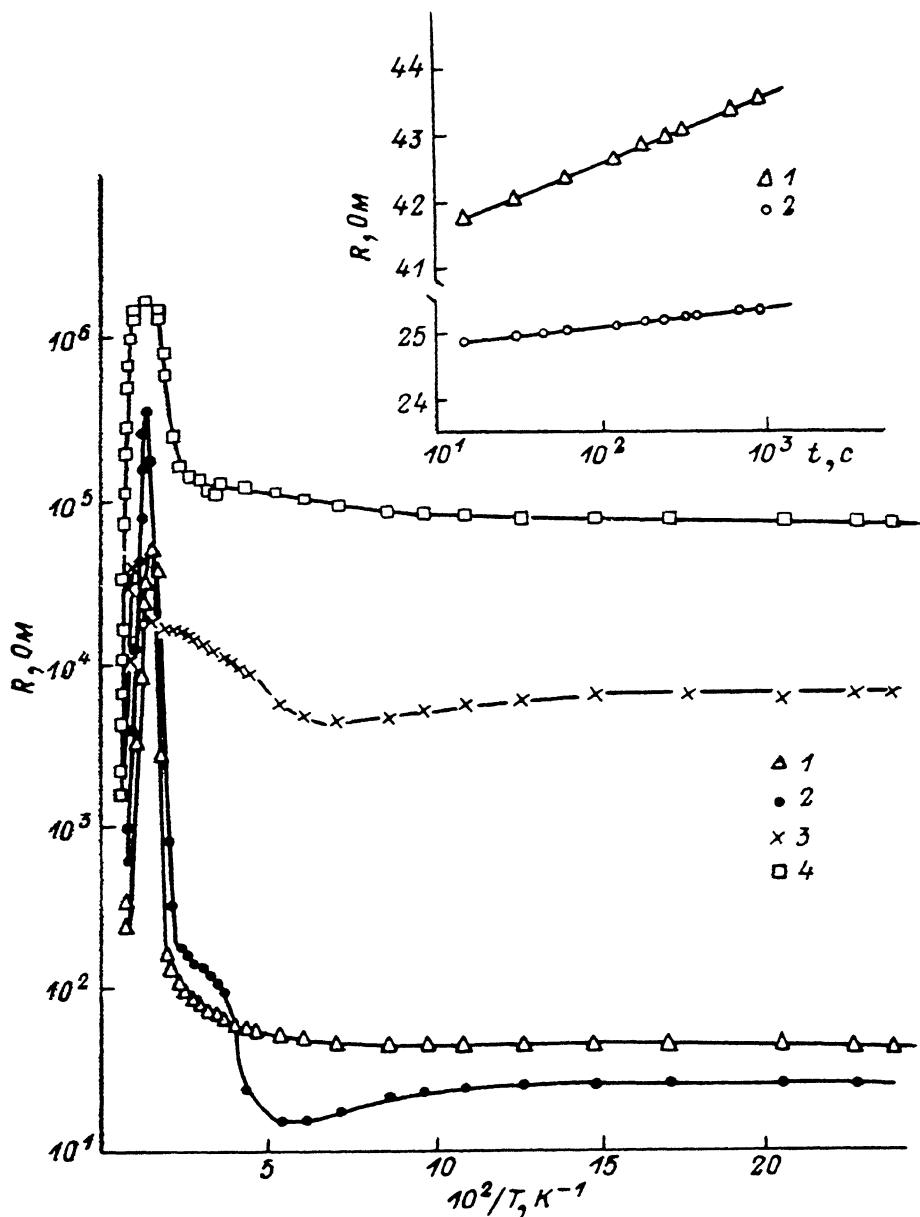


Рис. 2. Вид температурных зависимостей сопротивления R ($1/T$) образцов $\text{PbTe}(\text{Ga})$ (1) и $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}(\text{Ga})$ (2—4) в условиях подсветки светодионом с рабочей длиной волны $\lambda = 1$ мкм. На вставке показана релаксация сопротивления образцов 1, 2 после выключения подсветки в момент времени $t = 0$.

связано с увеличением ϵ_g в сплавах $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$. Энергии ϵ_λ , отвечающие значениям λ_{\max} , представлены в таблице. Из сравнения ϵ_g и ϵ_λ следует, что коэффициент $\partial \epsilon_g / \partial T$ уменьшается с увеличением содержания Mn в кристалле, что качественно согласуется с данными работы [4].

Плавное изменение энергетических зазоров по мере введения Mn в $\text{PbTe}(\text{Ga})$ позволяет предположить, что и процесс ФП в $\text{Pb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}(\text{Ga})$ в основном, видимо, сохраняет ту же природу, что и в $\text{PbTe}(\text{Ga})$, т. е. во многом определя-

ется наличием рекомбинационных барьеров [3, 5]. Как было обнаружено в работе [3], релаксация неравновесных электронов после выключения непрерывной подсветки в высокоомных кристаллах $PbTe(Ga)$ складывается как минимум из двух различных процессов — первоначального сравнительно быстрого (порядка миллисекунд) спада сигнала и последующей практически полностью замороженной ОФП. (Кинетика последнего процесса для образцов 1, 2 показана на вставке к рис. 2). С увеличением C_{Mn} в кристаллах происходит подавление накапливать неравновесные электроны в зоне проводимости, ослабление эффекта при увеличении C_{Mn} приводит к падению сигнала ФП по абсолютной величине на несколько порядков (рис. 2). Характеристики быстрого релаксационного процесса, по-видимому, не претерпевают существенных изменений

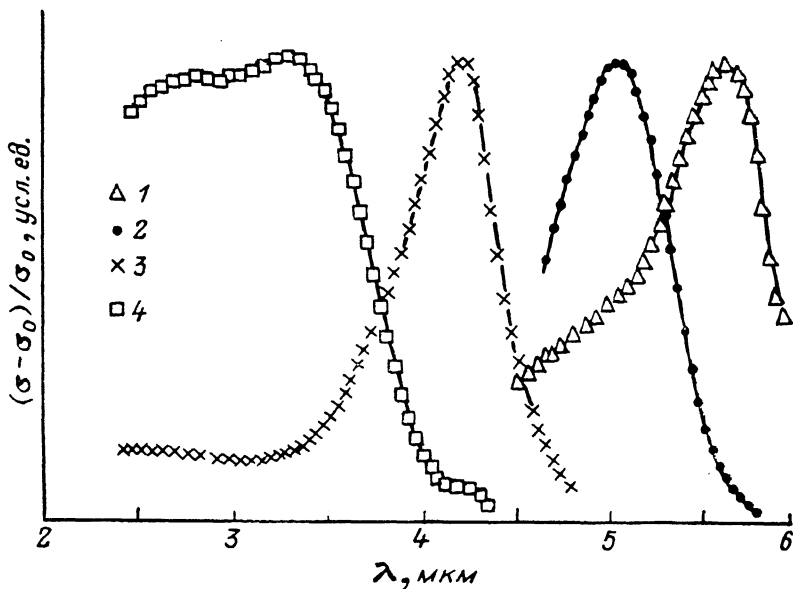


Рис. 3. Вид спектров фотопроводимости для образцов $PbTe(Ga)$ (1) и $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ (2—4), снятых при температурах 90 (1—3) и 130 К (4).

с ростом C_{Mn} , о чем свидетельствуют близкие значения T_c в кристаллах 1, 2, 4. Более определенную информацию о неравновесных процессах можно получить при исследовании ФП образцов в режиме импульсной подсветки источниками с варьируемыми длиной волны и шириной светового импульса. Следует отметить, что ускорение рекомбинационного процесса было обнаружено ранее и в сплавах $Pb_{1-x}Mn_xTe(In)$ [2] при увеличении x . Причиной этого явления может быть понижение рекомбинационного барьера, связанное с перестройкой энергетического спектра $Pb_{1-x}Mn_xTe(In)$, $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ при изменении состава твердых растворов — увеличении ϵ_g и ϵ_d с ростом x . Нельзя исключить и возможность влияния неоднородного распределения Mn по объему кристалла, следствием которого может быть наличие контрвариантной модуляции зонного рельефа.

Нерешенных проблем остается еще много, они требуют дополнительных исследований. Основным результатом настоящей работы является вывод о том, что в $Pb_{1-x}Mn_xTe(Ga)$ удается получить диэлектрическое состояние, кристаллы обладают высокой фоточувствительностью, спектральные характеристики которой варьируются посредством изменения x .

Список литературы

- [1] Кайданов В. И., Равич Ю. И. // УФН. 1985. Т. 145. В. 1. С. 51—86.
 [2] Акимов Б. А., Никорич А. В., Рябова Л. И., Широкова Н. А. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 6. С. 1019—1024.

- {3] Акимов Б. А., Брандт Н. Б., Гаськов А. М., Зломанов В. П., Рябова Л. И., Хохлов Д. Р. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 1. С. 87—92.
- {4] Niewodniczanska-Zawadska J., Szczerbakow A. // Sol. St. Commun. 1980. V. 34. P. 887—889.
- {5] Троян Ю. Г., Сизов Ф. Ф., Лакеевко В. М. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 10. С. 1776—1780.

Московский
государственный университет им. М. В. Ломоносова

Получена 9.07.1990
Принята к печати 9.10.1990
