

РАССЕЯНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФАЗЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Pb_{1-x}Ge_xTe$

А. И. Копыл, С. Д. Летюченко, В. И. Литвинов, Е. И. Слынько

При исследовании сегнетоэлектрического фазового перехода (СФП) в твердых растворах $Pb_{1-x}Ge_xTe$ основное внимание было уделено измерениям сопротивления при температуре перехода T_c [1, 2]. Наблюдаемое уменьшение подвижности в области T_c связано с рассеянием носителей заряда на крупномасштабных флуктуациях поляризации, замороженных в области дефектов — примесных ионов Ge^{2+} . В пленках n -типа, однако, наблюдалось увеличение подвижности, обусловленное эффективным экранированием заряженных примесей из-за роста при $T=T_c$ диэлектрической постоянной [3].

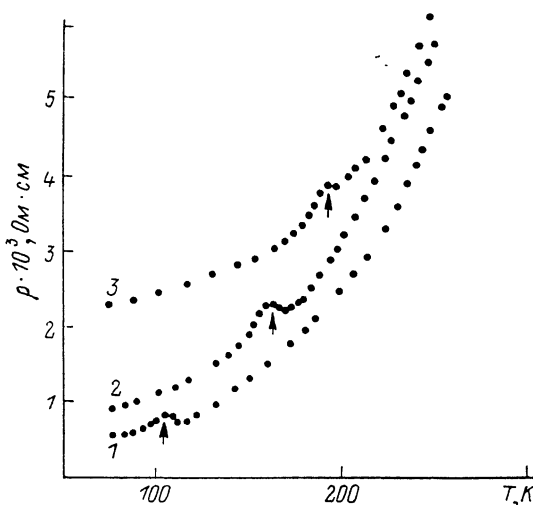


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления от температуры в образцах $Pb_{1-x}Ge_xTe$. 1 — $x=0.03$, 2 — 0.06 , 3 — 0.08 . Стрелками у кривых указаны T_c .

Представляет интерес выяснение механизмов рассеяния носителей заряда в сегнетоэлектрической фазе и сравнение их с таковыми в области $T > T_c$. Для этого в настоящей работе выполнены измерения коэффициента Холла, сопротивления и определены температурные зависимости холловской подвижности в широком интервале температур 77—300 К, охватывающем температуры ниже и выше T_c . На некоторых образцах определены значения подвижности при $T=4.2$ К. Измерения проведены на монокристаллических образцах $Pb_{1-x}Ge_xTe$ трех составов ($x=0.03, 0.06, 0.08$) n - и p -типов проводимости с различными концентрациями в диапазоне $1 \cdot 10^{17} - 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Исходные монокристаллы твердых растворов $Pb_{1-x}Ge_xTe$ выращены из паровой фазы по механизму пар—кристалл с применением методики, описанной в [4]. При составах шихты $x=0.03, 0.06, 0.08$ получены монокристаллы диаметром до 30 мм, длиной до 40 мм, которые имели ростовую поверхность с огранкой кристаллографическими плоскостями (100) и (111). Структурное совершенство монокристаллов оценивалось по результатам металлографических и рентгенотопографических исследований. Малоугловые границы зерен отсутствовали, а плотность дислокаций, оцененная по ямкам избирательного травления, составляла $(1 \div 3) \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$.

Молярный состав x и однородность монокристаллов $Pb_{1-x}Ge_xTe$ определялись тремя независимыми методами: с помощью рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализатора Superprobe 733 фирмы JEOL, рентгенографическим методом по зависимости параметра элементарной ячейки от состава по закону Vegарда [5], а также по температуре T_c , для которой установлена однозначная зависимость от содержания германия в твердом растворе [1]. Температура фазового перехода определялась как температура максимума особенности на температурных зависимостях удельного сопротивления. Совместное использование независимых методов определения состава твердых растворов, результаты которых хорошо согласуются, позволило получить достоверные сведения о составе исследуемых образцов.

Измерения коэффициента Холла и электропроводности выполнены на

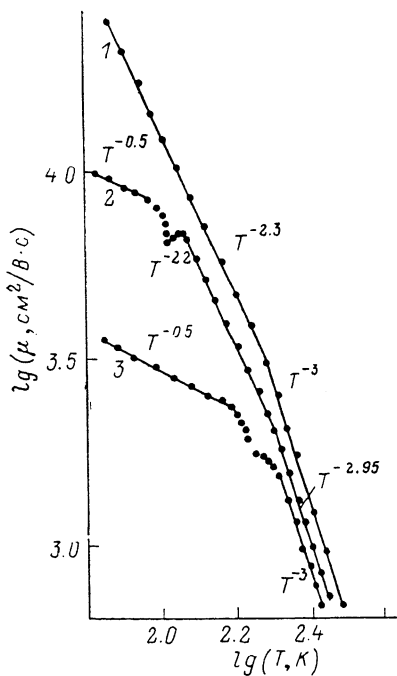


Рис. 2. Температурные зависимости холловской подвижности в образцах p -типа.

1 — $PbTe$; 2, 3 — $Pb_{1-x}Ge_xTe$ с $x=0.03$ и 0.08 соответственно.

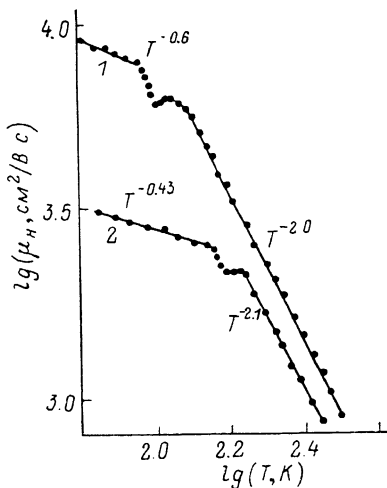


Рис. 3. Температурные зависимости холловской подвижности в образцах n -типа.

1 — $x=0.03$, 2 — 0.06 .

постоянном токе в постоянном магнитном поле в диапазоне температур 77—300 К. Контакты к образцам припаивались с помощью припоя — эвтектического сплава 95 % $In+4$ % $Ag+1$ % Au . Перед припайкой образцы электрополировались по методике, описанной в [6].

Коэффициент Холла практически не зависит от температуры для образцов с концентрациями носителей заряда $n, p=1 \cdot 10^{17} \div 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и не имеет особенностей при $T=T_c$. В наших измерениях температура T_c , определенная по положению максимума на кривых $\rho(T)$ (рис. 1), зависит от x и не зависит от типа и концентрации носителей заряда. Зависимость $T_c(x)$, определенная на наших образцах, хорошо согласуется с результатами работы [1].

По результатам измерений коэффициента Холла и электропроводности построены температурные зависимости холловской подвижности μ_H , которые изображены в логарифмическом масштабе на рис. 2 (p -тип) и рис. 3 (n -тип). На рис. 2 для сравнения приведена зависимость $\mu_H(T)$ для образца p - $PbTe$, который является параэлектриком вплоть до $T=0$ К. В теллуриде свинца при $T > 77$ К доминирует рассеяние на фононах и справедлива зависимость $\mu_H \sim T^{-\alpha}$, где $\alpha=2 \div 3$ [7]. В исследованных нами образцах $Pb_{1-x}Ge_xTe$ зависимость $\mu_H(T)$ при $T > T_c$ аналогична наблюдаемой в $PbTe$, причем $\alpha=2.5 \div 3$ для образцов p -типа (рис. 2) и $\alpha=2$ для n -типа (рис. 3). В области $T \approx 200$ К на зависимости

$\lg \mu_H (\lg T)$ в образцах p - $Pb_{1-x}Ge_xTe$ с $T_c < 200$ К ($x=0.03$) имеется излом. В образцах n -типа подобный высокотемпературный излом отсутствует. Более резкая зависимость $\mu_H(T)$ в образцах p -типа при $T > > 200$ К обусловлена заполнением второго экстремума валентной зоны с большей эффективной массой дырок и наблюдается как в p - $PbTe$, так и в p - $Pb_{1-x}Ge_xTe$ (рис. 2). Наличие второго экстремума валентной зоны в твердых растворах $Pb_{1-x}Ge_xTe$ ($x=0.02, 0.07$) подтверждается результатами электрических и оптических исследований, приведенных в работе [8]. Для кристалла с $x=0.08$ излом отсутствует, так как в неполярной фазе ($T > 190$ К) сразу проявляется вклад второго экстремума.

На температурных зависимостях $\mu_H(T)$ (рис. 2, 3) имеются явно выраженный минимум подвижности при СФП и резкое изменение α в полярной фазе, что свидетельствует о смене основного механизма рассеяния при $T < T_c$. В p - $Pb_{1-x}Ge_xTe$ в низкосимметричной фазе $\alpha=0.5$, что свидетельствует о преобладании пьезоэлектрического рассеяния носителей заряда на акустических фононах — РА-рассеяния, — отсутствовавшего в высокотемпературной centrosymmetric фазе. При дальнейшем понижении температуры (ниже 77 К) наблюдается насыщение зависимости $\mu_H(T)$ [9], которое обусловлено рассеянием на примесях и доменных стенках.

Кристаллы n -типа получены путем компенсации исходного материала p -типа в процессе изотермического отжига в парах шихты, обогащенной металлической компонентой. По этой причине образцы n -типа, по-видимому, более неоднородны, чем кристаллы p -типа. Таким образом, полученные результаты на образцах n - $Pb_{1-x}Ge_xTe$ (рис. 3; $\alpha=0.43 \div 0.60$ при $T < T_c$) свидетельствуют о вкладе рассеяния на неоднородностях на фоне основного РА-рассеяния. Отметим, что величина α практически не зависит от концентрации носителей заряда в диапазоне $n, p = 1 \cdot 10^{17} \div 3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$ как в высокотемпературной, так и в низкотемпературной фазах.

Появление дополнительных механизмов рассеяния при переходе $Pb_{1-x}Ge_xTe$ в сегнетоэлектрическую фазу (РА-рассеяние, рассеяние на доменных стенках) приводит к сильному уменьшению подвижности при низких температурах. В исследуемых образцах $Pb_{1-x}Ge_xTe$ подвижность при $T=4.2$ К достигает значений $\simeq (1.0 \div 1.2) \cdot 10^4$ см $^2 \cdot V^{-1} \cdot c^{-1}$, а для образцов $PbTe$, не испытывающих СФП вплоть до $T \rightarrow 0$ К, она равна $\sim 10^6$ см $^2 \cdot V^{-1} \cdot c^{-1}$. Отметим, что при высоких температурах ($T > T_c$ для $Pb_{1-x}Ge_xTe$) подвижности носителей заряда в $PbTe$ и $Pb_{1-x}Ge_xTe$ практически не отличаются.

Итак, наблюдаемая в настоящей работе смена механизмов рассеяния носителей заряда при $T=T_c$ может быть объяснена появлением пьезоэлектрического рассеяния на акустических фононах в низкосимметричной сегнетоэлектрической фазе полупроводниковых твердых растворов $Pb_{1-x}Ge_xTe$.

Л и т е р а т у р а

- [1] *Takaoka S., Murase K.* Phys. Rev. B, 1979, vol. 20, N 7, p. 2823—2833.
- [2] *Абдуллин Х. А., Лебедев А. И.* ФТТ, 1983, т. 25, № 12, с. 3571—3576.
- [3] *Гришечкина С. П., Максимов М. Х., Селиванов Ю. Г., Шотов А. П.* Препринт ФИАН, 1983, № 157. 27 с.
- [4] *Tamari N., Shtrikman H.* J. Electron. Mater., 1979, vol. 8, N 3, p. 269—288.
- [5] *Hohnke O. K., Holloway H., Kaiser S.* J. Phys. Chem. Solids, 1972, vol. 33, N 11, p. 2053—2062.
- [6] *Norr M. K. J.* Electrochemical Soc., 1962, vol. 109, N 5, p. 433—434.
- [7] *Равич Ю. И., Ефимова Б. А., Смирнов И. А.* Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца $PbTe, PbSe, PbS$. М.: Наука, 1968. 383 с.
- [8] *Massimo M., Cadoff J. B.* J. Electron. Mater., 1976, vol. 5, N 6, p. 601—620.
- [9] *Kumashiro Y., Tsuji K., Taksno S.* J. Phys. Soc. Jap., 1984, vol. 53, N 8, p. 2651—2658.

Институт проблем материаловедения АН УССР
Черновицкое отделение
Черновцы

Поступило в Редакцию
5 марта 1988 г.
В окончательной редакции
8 июня 1988 г.