

Влияние малых добавок Ge на сверхпроводящий переход в PbTe:Pt

© С.А. Немов, Р.В. Парфеньев*, М.К. Житинская, Д.В. Шамшур*

Санкт-Петербургский государственный технический университет,
195251 Санкт-Петербург, Россия

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Поступила в Редакцию 8 января 1998 г.)

В PbTe:2 at.% Pt исследовано влияние малых добавок германия (порядка сотых-десятых долей at.%) на параметры сверхпроводящего перехода (критическую температуру T_c , второе критическое магнитное поле H_{c2} и $\left. \frac{dH_{c2}}{dT} \right|_{T_c}$), определенные из зависимости электросопротивления образцов от температуры (0.4–4.2 К) и напряженности магнитного поля (0–1.3 Т). Обнаруженная особенность в экспериментальных данных связывается с появлением структурного фазового перехода при введении Ge.

Известно (см., например [1,2]), что введение изovalентной примеси германия в теллурид свинца вызывает структурный фазовый переход. Температура фазового перехода T_{pt} существенно зависит от содержания германия (x) в твердом растворе $Pb_{1-x}Ge_xTe$. Экстраполяция экспериментальной зависимости $T_{pt}(x)$ в область малых количеств Ge (x — десятых долей at.%) дает для фазового перехода температуры гелиевого диапазона.

В этом же температурном интервале (вблизи 1 К) в керамических образцах PbTe, легированного таллием, наблюдается объемная сверхпроводимость [3], индуцированная заполнением примесных резонансных состояний Pt [4,5].

В связи с изложенным представляет интерес изучение влияния структурного фазового перехода на параметры сверхпроводящего перехода в $Pb_{1-x}Ge_xTe:Pt$.

Отметим, что влияние добавок германия на свойства образцов PbTe:Pt изучалось в работах [6,7]. Было установлено, что введение небольших добавок германия оказывает сильное влияние на сверхпроводящие свойства материала. В частности, в [5] указывалось, что при добавках германия (\sim долей at.%) к PbTe:Pt сверхпроводимость при температурах $T \geq 1$ К не наблюдается. В [6] было показано, что действительно добавки Ge в количестве порядка десятых долей at.% снижают критическую температуру T_c до 1 К и ниже. Однако установить влияние структурного фазового перехода, связанного с введением нецентральной примеси Ge, на сверхпроводящий переход в $Pb_{1-x}Ge_xTe:Pt$ не удалось.

В настоящей работе выполнено исследование влияния малых добавок Ge на параметры сверхпроводящего перехода в PbTe:Pt. Наличие сверхпроводящего перехода определялось по измерениям температурной зависимости сопротивления образцов $\rho(T, H)$ в нулевом и постоянном магнитном поле H до 1.3 Т. Параметры сверхпроводящего перехода (критическая температура T_c и второе магнитное поле H_{c2}) определялись на уровне $0.5\rho_N$ (ρ_N — удельное сопротивление образца в нормальном состоянии). Исследования проводились на металлокерамических образцах, технология приготовления которых подобна использованной в [3–7].

Рассмотрим полученные экспериментальные данные. Как видно из рис. 1 и 2, для исследованных образцов характерна немонотонная зависимость параметров сверхпроводящего перехода от содержания германия в шихте образцов. Особенность на кривых зависимостей T_c и $\left. \frac{dH_{c2}}{dT} \right|_{T_c}$ от состава лежит в районе содержания германия 0.05 at.%. Причем эта немонотонность наблюдается на фоне малого разброса концентрации дырок $p = (7-12) \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (концентрация дырок p определялась из данных по эффекту Холла при 77 К с помощью соотношения $p = (eR_{77})^{-1}$, где R_{77} — коэффициент Холла). Положение уровня Ферми в исследованных образцах и энергетическое положение примесных состояний Pt при введении Ge до 0.3 at.% при этом остаются практически неизменными.

Наблюдаемый провал на зависимостях величин T_c и $\left. \frac{dH_{c2}}{dT} \right|_{T_c}$ от состава при содержании германия ~ 0.05 at.% можно связать с наличием щели в спектре резонансных состояний таллия. О ее возможном существовании в PbTe:Pt упоминалось в ряде работ [4,5,8], в которых из-

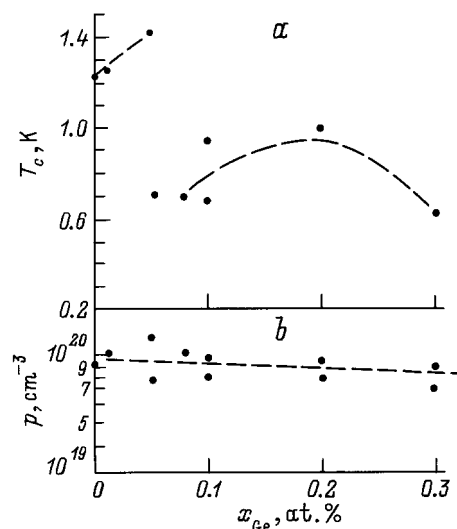


Рис. 1. Зависимость критической температуры T_c (a) и концентрации дырок p при 77 К (b) от содержания германия x_{Ge} в образцах твердого раствора $(Pb_{1-x}Ge_x)_{0.98}Pt_{0.02}Te$.

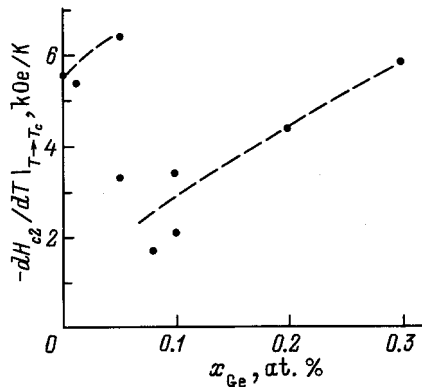


Рис. 2. Зависимость производной $\left| \frac{dH_{c2}}{dT} \right|_{T \rightarrow T_c}$ от содержания германия x_{Ge} в образцах твердого раствора $(Pb_{1-x}Ge_x)_{0.98}Ti_{0.02}Te$.

учалось влияние заполнения примесных резонансных состояний Ti электронами на параметры сверхпроводящего перехода, а также свидетельствуют туннельные спектры, полученные на высококачественных слоях PbTe:Ti на BaF_2 [9]. При легировании образцов PbTe таллием и дополнительным акцептором (Na или Li) вблизи состава, соответствующего приблизительно половинному заполнению электронами примесных состояний Ti, обычно наблюдаются более низкие значения критической температуры и магнитного поля по сравнению с их значениями для образцов, имеющих близкие составы и немного отличающихся по степени заполнения примесных состояний Ti электронами [4,5,8].

Предположение о наличии щели в спектре резонансных состояний Ti объясняет резкое уменьшение параметров сверхпроводящего перехода. Однако при этом не поддается объяснению возрастание значений критической температуры и производной от магнитного поля по температуре в $Pb_{1-x}Ge_xTe:Ti$ после их резкого провала при 0.05 at.% Ge.

Нам представляется более вероятным, что наблюдаемая особенность экспериментальных данных по T_c и $\left| \frac{dH_{c2}}{dT} \right|_{T \rightarrow T_c}$ представляет собой скачок, связанный с возникновением структурного фазового перехода в $Pb_{1-x}Ge_xTe:Ti$. Дело в том, что параметры сверхпроводящего перехода в полупроводниках $A^{IV}B^{VI}$ с резонансными уровнями Ti определяются плотностью состояний на уровне Ферми [4], которая в свою очередь зависит от взаимного расположения примесной полосы Ti и краев вырожденных L- и Σ -зон. Вследствие структурного фазового перехода из кубической в ромбическую фазу при понижении температуры ниже T_{pt} плотность состояний может иметь особенности при снятии вырождения в L- и Σ -точках зоны Бриллюэна. Таким образом, критическая температура T_c и второе магнитное поле H_{c2} образцов $Pb_{1-x}Ge_xTe:Ti$ с содержанием Ge до 0.05 at.% соответствуют кубической фазе, а при $x_{Ge} > 0.05$ at.% — ромбоэдрической фазе.

Настоящая работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы "Интеграция", проект № 75 (1997 г.).

Список литературы

- [1] G. Bauer. Lect. Not. Phys. **117**, 259 (1983).
- [2] D.K. Hohnke, H. Holloway, S. Kaiser. J. Phys. Chem. Sol. **33**, 2053 (1972).
- [3] И.А. Черник, С.Н. Лыков. Письма в ЖТФ **7**, 94 (1981).
- [4] В.И. Кайданов, С.А. Немов, Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур. Письма в ЖЭТФ **35**, 517 (1982).
- [5] И.А. Черник, С.Н. Лыков, Н.И. Гречко. ФТТ **24**, 10, 2931 (1982).
- [6] Н.А. Ерасова, С.Н. Лыков, И.А. Черник. ФТТ **25**, 1, 269 (1983).
- [7] М.К. Житинская, В.И. Кайданов, С.А. Немов, Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур. ФТТ **31**, 4, 268 (1989).
- [8] В.И. Кайданов, С.А. Немов, Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур. ФТТ **29**, 6, 1886 (1987).
- [9] H. Murakami, W. Hattori, Y. Mizomata, R. Aoki. Proc. 21 Int. Conf. on Low Temperature Physics. Prague, Czech Republic (1996). Pt S2. P. 765.