

Электрофизические свойства PbSnTe:In на границе перехода сверхпроводник-диэлектрик.

Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур, Д.В. Шакура

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021 Санкт-Петербург, Россия

С.А. Немов

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

В [1] была обнаружена сверхпроводимость (СП) в полупроводниковом соединении SnTe:In с критическими температурами $\sim 2\text{K}$. В работе [2] было показано существование СП состояния в соединениях $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te:In}$, максимальное значение T_c для которых равно 4.2K , и была отмечена существенная роль экстремумов в Σ и/или Δ точках зоны тяжелых дырок. В указанных работах СП регистрировалась по скачку сопротивления, что ставило под сомнение объемный характер явления. Недавно [3] были проведены измерения магнитной восприимчивости на образцах $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te:In}$ с разным содержанием In , которые подтвердили предположения об объемном характере СП по наличию эффекта Мейсснера.

Примесь In , являясь глубоким центром, формирует состояния в SnTe:In глубоко в валентной зоне, которые размываются в примесную полосу с большим уширением, пиннирующую уровень Ферми, и расположенную на фоне зоны тяжелых дырок. За СП ответственны дырки, находящиеся в смешанных примесно-зонных состояниях. Добавление свинца к SnTe:In изменяет характеристики примесного центра, чувствительные к локальному окружению. Примесные уровни сдвигаются вверх по энергии к запрещенной зоне, выходя из зоны тяжелых дырок, уменьшается степень гибридизации зонных и примесных состояний, возникает эффективный барьер между различными зарядовыми состояниями центра, и СП исчезает. При дальнейшем увеличении количества свинца реализуется диэлектрическое состояние, когда примесные состояния находятся в запрещенной зоне. При большом содержании индия в сплавах диэлектрическое состояние может реализоваться и в случае, когда примесные состояния будут находиться около запрещенной зоны. В этой ситуации оно обусловлено эффектом слабой локализации зонных носителей [4], обнаруженным по характерным зависимостям магнитосопротивления.

Существуют две основные модели, объясняющие сверхпроводимость в этих материалах. В основе одной лежат представления о примесном центре, как о центре с отрицательной корреляционной энергией [5]. В основе другой – представления о системах со смешанной валентностью [6]. Но вопрос о том, какой модели отдать предпочтение, пока открыт.

В нашей работе для лучшего понимания происходящих при низких температурах явлений мы исследовали образцы, составы которых соответст-

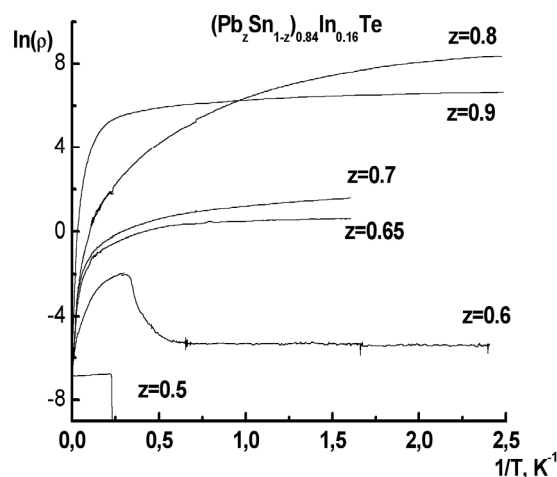


Рис. 1-а.

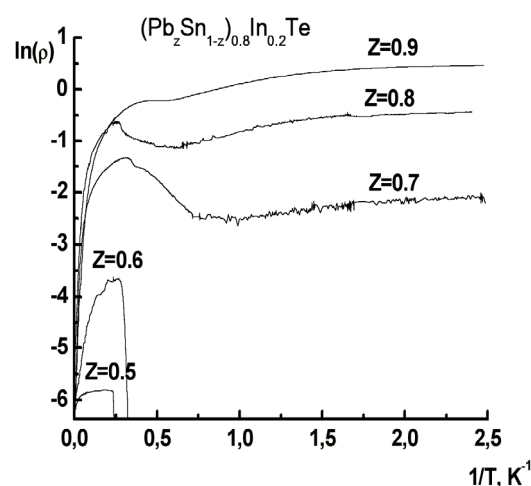


Рис. 1-б.

ют переходу сверхпроводник-диэлектрик (С-Д) при больших содержаниях индия. В системах $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te:In}$ с содержанием In 16 ат. % переход С-Д осуществляется при количестве свинца более 60% ($z > 0.6$) (рис. 1-а). Вольтамперная характеристика переходного образца с $z=0.6$ при $T < T_c$ носит нелинейный характер, а магнитное поле до 1T лишь частично разрушает низкоомное состояние. Подобное поведение объясняется существованием в материале локальных СП областей, связанных друг с другом посредством слабых связей.

На диэлектрической стороне перехода в образцах $z = 0.65 - 0.9$ наблюдается эффект слабой локализации, проявляющийся в виде отрицательных и положительных компонент магнитосопротивления [4], для объяснения которого также важно наличие флуктуаций состава.

При концентрации In в $Pb_zSn_{1-z}Te$ в 20 ат.% переход С-Д имеет вид, показанный на рис. 1-б. Существование характерного спада сопротивления зависит от величины измерительного тока (рис. 2, аналогичные зависимости имеют место и в случаях $z = 0.7$ и $z = 0.9$) и имеет, по всей видимости, СП природу даже в образцах с содержанием свинца $z > 0.6$. При увеличении тока, когда $T < T_c$, происходит переход

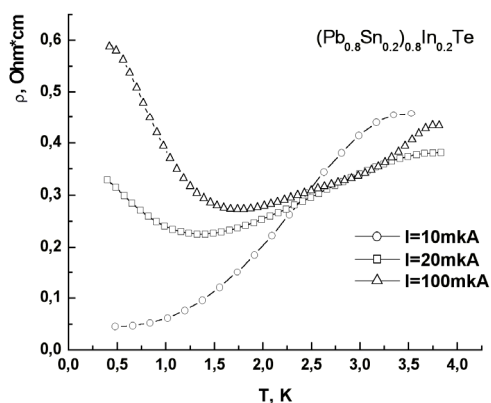


Рис. 2.

от слабой СП к слабой локализации, наблюдаемый в изменениях кривых магнитосопротивления в зависимости от тока. При больших токах рвутся слабые связи, и распространение носителей осуществляется по несверхпроводящему кластеру с рассеянием на СП областях. С понижением температуры растет величина СП щели и вместе с этим уменьшается рассеяние на ней, что, видимо, и приводит к наблюдаемому росту сопротивления.

При больших содержаниях In в материалах $Pb_zSn_{1-z}Te$ для понимания процессов переноса при низких температурах существенную роль играет наличие крупномасштабных флуктуаций состава. Одной из причин возникновения таких флуктуаций может служить спинодальный распад твердого раствора $Pb_zSn_{1-z}Te:In$. Области, в которых происходит свободный обмен носителей между примесными и зонными состояниями, являются сверхпроводящими, а для областей, где возникает эффективный барьер, препятствующий обмену, характерно интерференционное явление слабой локализации зонных носителей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 02-02-17685, 04-02-16638) и гранта НШ 2200.2003.

1 Nakajima T., Jsino M., Miyauchi H., Kanda E., J.Phys.Soc., v.34, p.282 (1973).

2 Бушмарина Г.С., Драбкин И.А., Компаниец В.В., Парфеньев Р.В., Шамшур Д.В., Шахов М.А. ФТТ, т.28, с. 1094 (1986); Парфеньев Р.В., Шамшур Д.В., Немов С.А., ФТТ, т.43, в.10 (2001).

3 M. Z. Tahar, Немов С.А., Попов Д.И., Шамшур Д.В. ФТТ, т.45, в.6 (2003).

4 Парфеньев Р.В., Шамшур Д.В., Шакура Д.В., Черняев А.В., VI Российская конференция по физике полупроводников 2003, с.104.

5 Драбкин И.А., Мойжес Б.Я. ФТП, т. 15, н. 4 (1981).

6 Shelankov A.L. Sol. Stat. Comm., v. 62, n. 5 (1987).