

Особенности протекания тока в композитах из ВТСП и низкотемпературного сверхпроводящего металлооксида $\text{Ba}(\text{PbVi})\text{O}_3$

© М.И. Петров, Д.А. Балаев, С.В. Осипцев, К.А. Шайхутдинов, Б.П. Хрусталеv, К.С. Александров

Институт физики им. Л.В.Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, 660036 Красноярск, Россия

(Поступила в Редакцию 21 июня 1996 г.)

Приготовлены композиты из ВТСП со структурой 1–2–3 и низкотемпературного металлооксида $\text{BaPb}_{3/4}\text{Vi}_{1/4}\text{O}_3$ с различными объемными концентрациями ВТСП и низкотемпературного сверхпроводника. Измерены температурные зависимости электросопротивления и критического тока композитов. Экспериментально показано, что данные композиты представляют собой искусственно созданную сеть слабых связей (с заданной степенью связи) джозефсоновского типа.

Процессы протекания тока по слабой связи в джозефсоновских структурах на основе ВТСП, на наш взгляд, недостаточно изучены экспериментально. Это связано в основном с технологическими трудностями приготовления одиночных переходов джозефсоновского типа. Малая длина когерентности в ВТСП налагает требование малости на геометрические размеры слабой связи. С другой стороны, высокая химическая активность ВТСП-соединений не способствует получению атомарно-резкой границы с материалом слабой связи. Таким образом, формирование слабой связи между ВТСП-берегами протяженностью несколько десятков ангстрем — достаточно сложная технологическая задача.

В работах [1–5] экспериментально изучались транспортные свойства двухкомпонентных поликристаллических композитов на основе ВТСП, где вторым компонентом (помимо ВТСП) является Ag [1–4] или металлоксид BaPbO_3 — достаточно "чистый" (для носителей тока) проводник [6]. Такие композиты представляют собой искусственно созданную сеть слабых связей между сверхпроводящими кристаллитами, где роль слабой связи выполняет несверхпроводящий ингредиент композита.

Логическим продолжением этих исследований будет изучение резистивного состояния в композитах, в которых материалом слабой связи является "грязный" (в смысле проводимости) металл. В настоящей работе в качестве такого металла, разделяющего кристаллиты ВТСП, использовался металлоксид $\text{BaPb}_{1-x}\text{Vi}_x\text{O}_3$. Известно, что замещение свинца висмутом в этой системе ведет к уменьшению длины свободного пробега носителей; кроме того, при $0.05 < x < 0.035$ данное соединение является сверхпроводником n -типа с максимальной температурой перехода T_c , равной ≈ 11 К при $x \approx 0.25$ [7]. Это позволяет экспериментально изучить влияние как толщины, так и степени "грязности" межгранульных границ на транспортные свойства композитов в особенно интересном случае, когда материал слабой связи сам является сверхпроводником с низкой T_c .

Пожалуй, единственным недостатком композитов является то, что в них межгранульные границы характеризуются некоей функцией распределения по геометрическим размерам. Но необходимо учитывать то, что транспортный ток течет по наилучшим (в смысле прозрачности) границам. Таким образом, транспортные свойства композита определяются в основном этой "лучшей" частью функции распределения слабых связей, а влияние на транспортные свойства очень протяженных (толстых) и малопрозрачных для носителей границ незначительно.

В настоящей работе исследовались композиты на основе $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и $\text{BaPb}_{3/4}\text{Vi}_{1/4}\text{O}_3$ с различной объемной концентрацией исходных компонентов, а также изучались их транспортные свойства.

1. Эксперимент

Композитные образцы ВТСП + $\text{BaPb}_{3/4}\text{Vi}_{1/4}\text{O}_3$, на которых были проведены измерения, изготавливались следующим образом. Вначале были синтезированы исходные компоненты композитов $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и $\text{BaPb}_{3/4}\text{Vi}_{1/4}\text{O}_3$. Технология синтеза $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ стандартная. $\text{BaPb}_{3/4}\text{Vi}_{1/4}\text{O}_3$ был синтезирован из BaO_3 , PbO и Vi_2O_3 . Первичный отжиг тщательно перемешанных и спрессованных окислов был проведен при температуре 650°C в течение 18 ч. Полученный промежуточный продукт перемальвался в агатовой ступке, прессовался в таблетки и отжигался в течение 12 ч при температуре 700°C .

Смесь порошкообразных компонентов будущего композита, взятых в нужной пропорции, тщательно перемешивалась и перетиралась в агатовой ступке, а затем прессовалась в таблетки. Эти таблетки помещались на предварительно нагретые лодочки и вносились в рабочую зону печи, разогретую до 950°C . Таблетки выдерживались при этой температуре 2 мин и помещались в другую печь с температурой 400°C , где выдерживались в течение 3 ч, а затем охлаждались вместе с печью.

Отметим, что авторами была сделана попытка приготовить композиты $S + S'$ на основе YBaCuO и LaSrCuO . Однако при технологии, подобной описанной выше, полученные образцы имели полупроводниковый характер электросопротивления $\rho(T)$ вплоть до гелиевых температур. При температурах перехода исходных компонентов (93.5 и 36 К) наблюдались скачкообразные уменьшения ρ на 20–30% от абсолютной величины. Видимо, схожесть кристаллохимических свойств иттриевой и лантановой керамик способствует взаимодиффузии элементов. При этом на контактах зерен YBaCuO и LaSrCuO образуется слой, обладающий полупроводниковыми свойствами.

Далее для композитов будем использовать маркировку $S + XYS'$, где XY — объемные проценты компонента $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$. Например, в образце $S + 45S'$ 55 vol.% $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и 45 vol.% $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$. Образец $S + 0S'$ — исходный ВТСП, прошедший вышеописанный технологический режим, по которому были приготовлены композиты $S + XYS'$.

Измерения $\rho(T)$ и вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводились по стандартной четырехзондовой методике. Критический ток образца при данной температуре определялся из ВАХ по критерию $1 \mu\text{V}/\text{cm}$. Во время измерения образец находился в теплообменной гелиевой атмосфере. Низкие плотности критического тока в композитах позволили избежать разогрева образца во время измерения без принятия дополнительных мер.

Магнитные измерения в постоянном поле проводились на автоматизированном вибрационном магнетометре [8].

Магнитная восприимчивость образцов на частоте 1 kHz измерялась индуктивным методом.

2. Результаты и обсуждение

На образцах $S + 22.5S'$ и $S + 77.5S'$ были проведены рентгеноструктурные измерения. На дебаеграмме композита $S + 22.5S'$ наблюдаются только рефлекс от ВТСП со структурой 1–2–3 и от $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ со структурой перовскита. Отношение интенсивностей рефлексов с учетом "отражательной способности" компонент соответствует их относительному содержанию. Дебаеграмма композита $S + 77.5S'$ в целом повторяет этот результат, но при значениях 2θ , равных 17.9, 28.4 и 35.7°, наблюдались три неидентифицированных рефлекса с интенсивностями, составляющими соответственно 3.8, 2.5 и 1.9% от интенсивности рефлекса, соответствующего структуре $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ при $2\theta = 42.3^\circ$.

На рис. 1 приведены температурные зависимости намагниченности образцов $M(T)$, измеренные в поле 200 Ое. Композиты имеют одинаковую критическую температуру перехода T_c , равную 93.5 К, что совпадает

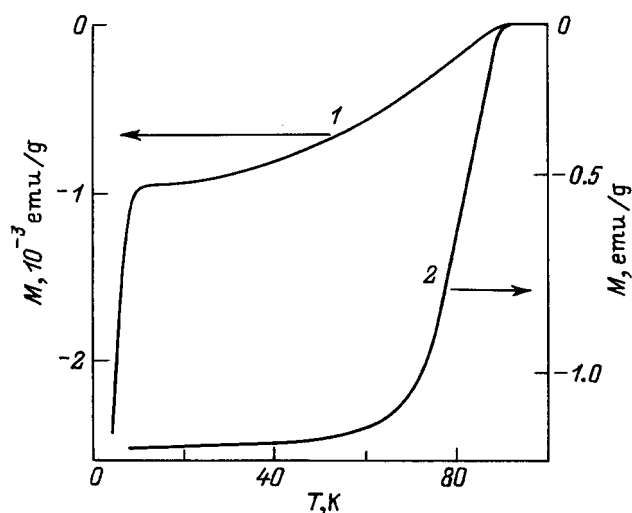


Рис. 1. Типичные температурные зависимости намагниченности композитов, измеренные в поле 200 Ое. 1 — $S + 92.5S'$, 2 — $S + 7.5S'$.

с T_c исходного ВТСП. На $M(T)$ образцов $S + 70S'$, $S + 77.5S'$, $S + 85S'$, $S + 92.5S'$ виден отклик как ВТСП, так и низкотемпературного сверхпроводника $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$. Изменения температуры перехода (11.3 К) компонента $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ замечено не было. Исходя из данных результатов, можно предположить, что полученные композиты состоят из двух фаз (в пределах точности рентгеноструктурного анализа) со структурами 1–2–3 и перовскита соответственно и с неизменными по сравнению с исходными компонентами температурами перехода, равными 93.5 и 11.3 К соответственно.

На рис. 2,а приведена концентрационная зависимость (x — объемная концентрация $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$) удельного электросопротивления композитов при комнатной температуре $\rho(300 \text{ K})$. Видно, что композиты обладают худшей проводимостью, чем исходные компоненты. Разумно предположить, что при равных объемах компонентов композита площадь их контакта будет наибольшей. При этом физические свойства, определяемые интерфейсом двух фаз, будут иметь экстремум. Концентрационная зависимость $\rho(300 \text{ K})$ на рис. 2 имеет максимум при $x = 45$. На рис. 2,б приведена концентрационная зависимость плотности критического тока композитов при 5 К. По мере увеличения концентрации одного из компонентов в композите значение $J_c(5 \text{ K})$ резко уменьшается. $J_c(5 \text{ K})$ образца $S + 45S'$ равно нулю, т.е. ВАХ этого образца начинается из начала координат $J = 0$, и $U = 0$.

На рис. 3 представлены зависимости $\rho(T)$ композитов и исходных ингредиентов. Видна следующая тенденция: при увеличении концентрации $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ в композитах до 45 vol.%, т.е. при увеличении площади соприкосновения S - и S' -фаз, зависимость $\rho(T)$ композитов приобретает полупро-

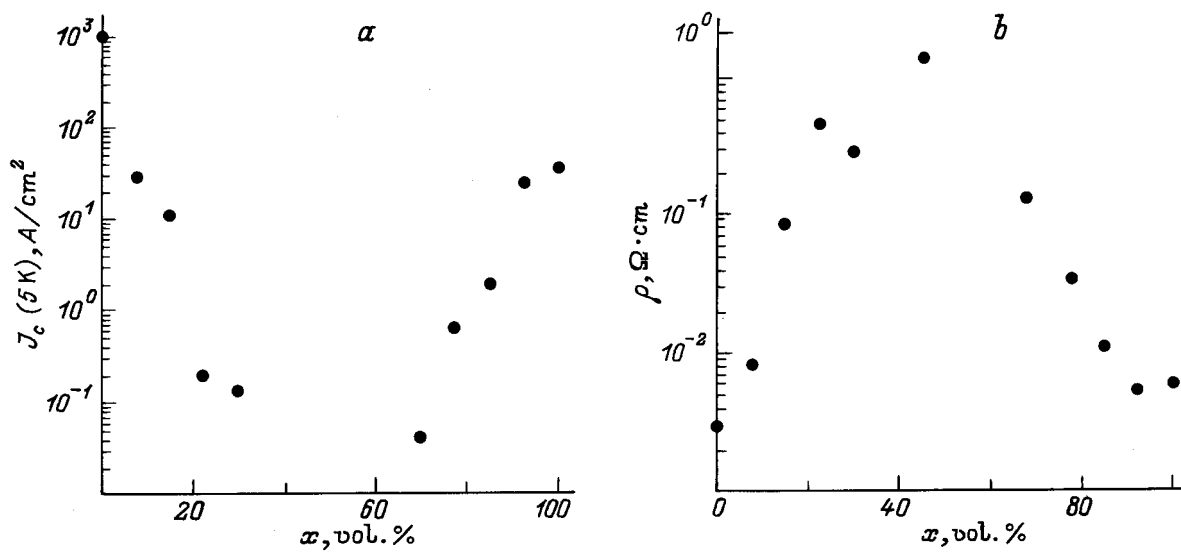


Рис. 2. Концентрационные зависимости удельного электросопротивления $\rho(300\text{ K})$ (a) и плотности критического тока $J_c(5\text{ K})$ (b) композитов $(Y_{3/4}Lu_{1/4}Ba_2Cu_3O_7)_{1-x} + (BaPb_{3/4}Bi_{1/4}O_3)_x$.

водникового характер. Начало резистивного перехода исходного ВТСП и композитов $S + 7.5S'$, $S + 15S'$, $S + 22.5S'$, $S + 30S'$ (и скачок ρ для образца $S + 45S'$) одно и то же (93.5 K) и соответствует T_c , определенной из магнитных измерений (рис. 1). Вид $\rho(T)$ и значение $\rho(300\text{ K})$ для исходного $BaPb_{3/4}Bi_{1/4}O_3$ находятся в согласии с опубликованными экспериментальными результатами [6].

На зависимостях $\rho(T)$ образца $S + 70S'$ (рис. 3), а также композитов $S + 77.5S'$, $S + 85S'$, $S + 92.5S'$ (при плотности измерительных токов $\approx 0.1\text{ A/cm}^2$) не наблюдается сколько-нибудь заметного скачка электросопротивления при $T = 93.5\text{ K}$. Таким образом, с учетом того, что фаза ВТСП есть в этих композитах (что доказывают магнитные измерения, см. рис. 1) при таких плотностях тока, в композитах $S + 70S'$, ..., $S + 92.5S'$ ток практически не течет по гранулам ВТСП.

Совокупность вышеуказанных фактов позволяет предположить, что в композитах $S + XY S'$ на границах раздела ВТСП и $BaPb_{3/4}Bi_{1/4}O_3$ образуется тонкий (не различимый рентгеноструктурным анализом) слой, обладающий полупроводниковыми свойствами типа барьера Шоттки [9]. При этом свойства ингредиентов S и S' внутри гранул остаются неизменными (рис. 1), а SS' -границы обладают малой прозрачностью для носителей тока и определяют ход $\rho(T)$ композитов (рис. 3). Малая прозрачность SS' -интерфейса может быть следствием резкого перехода от ВТСП к материалу с очень малой длиной свободного пробега [10]. Другой причиной малой прозрачности интерфейса $Y_{3/4}Lu_{1/4}Ba_2Cu_3O_7 - BaPb_{3/4}Bi_{1/4}O_3$, может быть диффузия висмута (достаточно лабильного иона) в ВТСП. Этим можно объяснить то, что значения $J_c(4.2\text{ K})$ композитов $S + XY S'$ значительно ниже

(более чем на порядок) таковых при тех же объемных процентах перовскита в композитах ВТСП + $BaPbO_3$ (в которых отсутствует Bi) [5], приготовленных по подобной технологии и из того же ВТСП.

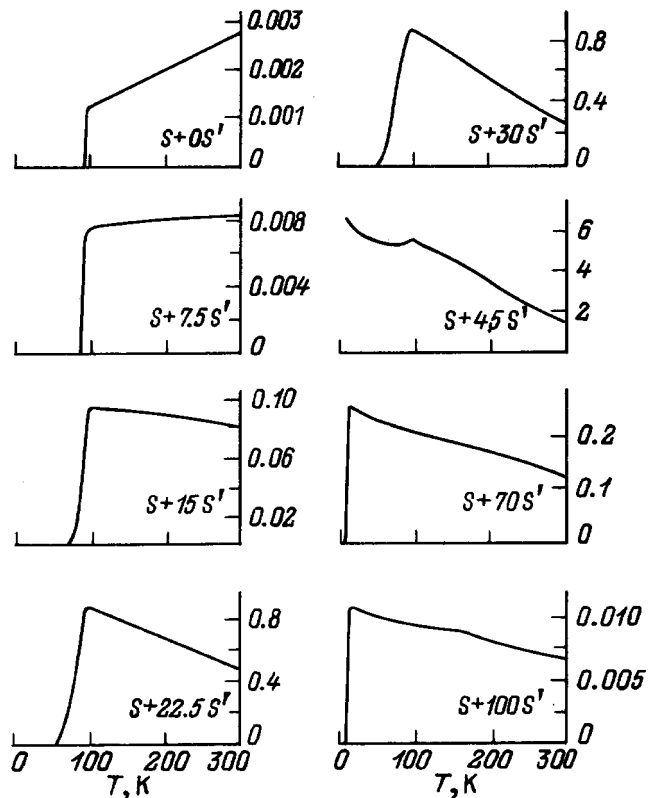


Рис. 3. Температурные зависимости удельного электросопротивления $\rho(T)$ композитов. Абсолютные значения ρ указаны $\Omega \cdot cm$.

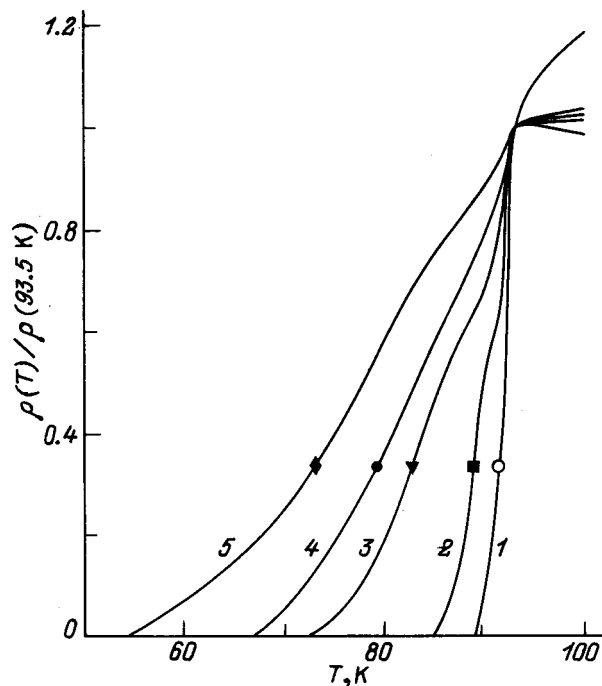


Рис. 4. Температурные зависимости электросопротивления $\rho(T)$ композитов, нормированные к значению $\rho(93.5\text{ K})$, в области температур 50–100 К. 1 — $S + 0S'$, 2 — $S + 7.5S'$, 3 — $S + 15S'$, 4 — $S + 22.5S'$, 5 — $S + 30S'$.

Отметим, что, несмотря на вид $\rho(T)$, характерный для полупроводника (рис. 3), ВАХ композитов $S + 7.5S', \dots, S + 45S'$ характеризуется избыточным током, что указывает на нетуннельный характер проводимости [11] в этих образцах.

На рис. 4 приведены зависимости $\rho(T)$ композитов, нормированные к значению $\rho(93.5\text{ K})$, в области температур 50–100 К. Ранее аналогичное поведение $\rho(T)$ наблюдалось для композитов ВТСП + BaPbO_3 [5]. Оно характеризуется появлением "хвоста" ниже температуры перехода ВТСП-гранул. Как показано далее, значение $T_c(R = 0)$ существенно зависит от плотности измерительного тока. Зависимости $\rho(T)$ на рис. 4 измерены при плотностях тока $\approx 0.5\%$ от значения $J_c(4.2\text{ K})$ для данного образца. Из рис. 4 видно, что $T_c(R = 0)$ композитов монотонно понижается с увеличением в них концентрации $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ от $\approx 85\text{ K}$ для $S + 7.5S'$ до $\approx 55\text{ K}$ для $S + 30S'$.

На рис. 5 приведены температурные зависимости электросопротивления исходного ВТСП $S + 0S'$ и композита $S + 15S'$, полученные при различных плотностях измерительного тока $J - \rho(T, J)$. Очевидно, что резкий скачок ρ при $T = 93.5\text{ K}$ соответствует переходу в ВТСП-гранулах. Участок $\rho(T, J)$, на котором ρ зависит и от плотности тока J , определяется влиянием слабых связей между кристаллитами ВТСП. Вид этой части $\rho(T, J)$ аналогичен $\rho(T)$, характерной для термоактивационного проскальзыва-

ния фазы в слабой связи джозефсоновского типа [12]. На рис. 5, кроме того, показана температурная зависимость критического тока, которая практически лежит в плоскости $J - T$, а фактически отстоит от нее на величину $\rho(T) \cdot J_c(T) = +1\ \mu\text{V}/\text{cm}$. Из рис. 5 видно, насколько существенно значение $T_c(R = 0)$ для композитного образца зависит от плотности измерительного тока. Зависимости $\rho(T, J)$ для исходного ВТСП и композита $S + 15S'$, приведенные на рис. 5, являются иллюстрацией влияния искусственных слабых связей на резистивные свойства поликристаллических композитов на основе ВТСП.

На рис. 6 представлены температурные зависимости магнитной восприимчивости χ исходного ВТСП-компонента и композитного образца $S + 15S'$ в интервале температур 77–100 К. Измерения проводились на частоте 1 кГц в магнитных полях до 16 Ое. Данные представлены в относительных единицах. Образцы охлаждались в поле Земли. Из зависимости $\chi(T, H)$ для исходного ВТСП (рис. 6, a) видно, что при увеличении внешнего магнитного поля наблюдается ослабление диамагнитного сигнала. Величина сигнала образца $S + 15S'$ не зависит от внешнего поля. Такое отличие в поведении исходного ВТСП и композита можно интерпретировать следующим образом. В исходном ВТСП постоянное внешнее магнитное поле разрушает ("выключает") естественные слабые связи между кристаллитами. При этом уменьшается вклад в χ от межгранульных мейснеровских токов. В композите связи между кристаллитами ВТСП дополнительно искусственно ослаблены. И как следует из эксперимента (рис. 6, b), в композите $S + 15S'$ в магнитном поле Земли эти слабые связи уже "выключены", и по ним не текут экранирующие токи. Естественно, что в этом случае внешнее магнитное поле ослабляет диамагнитный отклик образца уже не будет. Результаты, приведенные на рис. 5, 6, являются дополнительным экспериментальным подтверждением того, что данные композиты представляют собой искусственно созданную сеть слабых связей.

В композитах $S + 92.5S', S + 85S', \dots, S + 70S'$ по мере увеличения в них объемной концентрации ВТСП обнаружено уширение резистивного перехода (уменьшение значений $T_c(R = 0)$). На рис. 7 приведены зависимости $\rho(T)$ исходного $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ и композитов, нормированные к значению $\rho(11.3\text{ K})$. Эти зависимости были измерены при плотностях транспортного тока $\approx 0.004 - 0.005\ \text{A}/\text{cm}^2$. Начало резистивного перехода композитов происходит при 11.3 К и соответствует таковому для исходного $S + 100S'$. Существует качественное отличие в поведении "хвостов" зависимостей $\rho(T)$ композитов $S + 92.5S', \dots, S + 70S'$ (рис. 7) и композитов $S + 7.5S', \dots, S + 30S'$ (рис. 4). На $\rho(T)$ образцов $S + 92.5S', \dots, S + 70S'$ при $T = 11.3\text{ K}$ не наблюдается скачка, соответствующего переходу в сверхпроводящее состояние гранул $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$, столь харак-

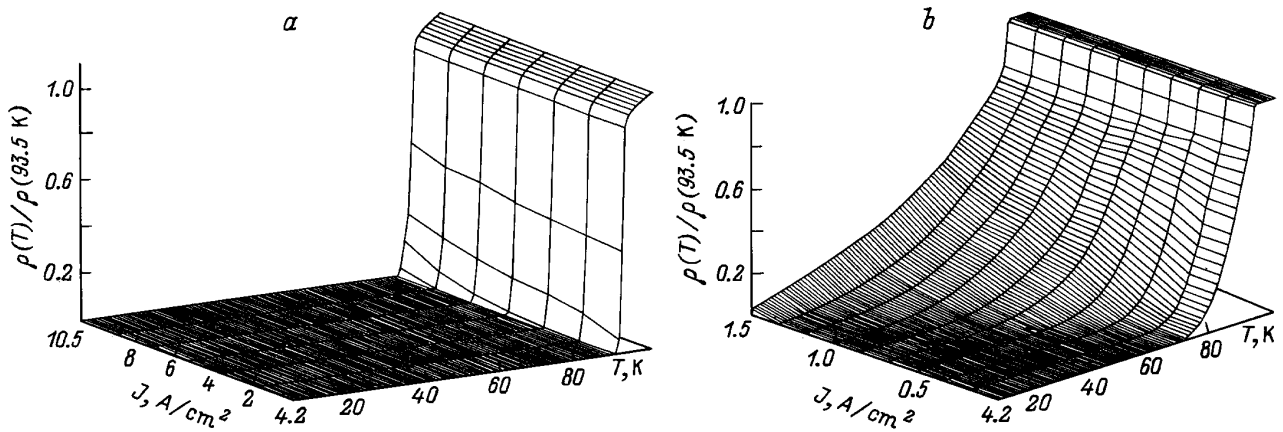


Рис. 5. Влияние транспортного тока на температурную зависимость электросопротивления $\rho(T)$ исходного ВТСП ($S + 0S'$) (a) и композита $S + 15S'$ (b).

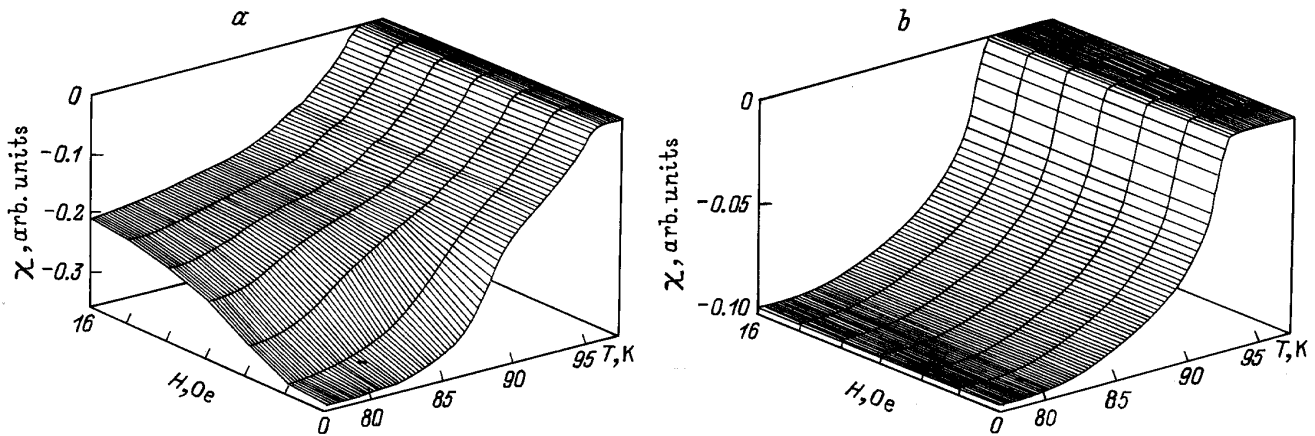


Рис. 6. Влияние магнитного поля на температурную зависимость магнитной восприимчивости χ для исходного ВТСП ($S + 0S'$) (a) и для композита $S + 15S'$ (b). Данные представлены в относительных единицах.

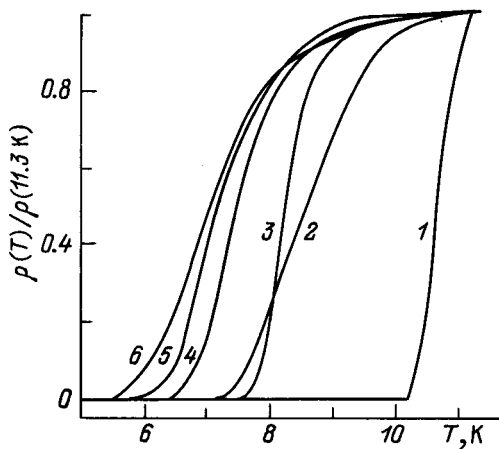


Рис. 7. Температурные зависимости электросопротивления $\rho(T)$ композитов, нормированные к значению $\rho(11.3\text{ K})$, в области температур 5–11.5 К. 1 — $S + 100S'$, 2 — $\text{Pr} + 92.5S'$, 3 — $S + 92.5S'$, 4 — $S + 85S'$, 5 — $S + 77.5S'$, 6 — $S + 70S'$.

терного для композитов $S + 7.5S', \dots, S + 30S'$ (рис. 4). Ожидалось, что за счет эффекта близости сверхпроводящие свойства низкотемпературного компонента будут либо лучше, либо не изменятся, но никак не станут хуже. Но, как ни удивительно, добавление ВТСП к $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ ведет к ухудшению сверхпроводящих свойств композитов. С целью проверки того, является ли наблюдаемое уширение перехода (рис. 7) особенностью взаимодействия Бозе-конденсатов p - и n -типов ВТСП и низкотемпературного сверхпроводника $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$, нами был синтезирован по той же технологии, что и исследуемые образцы $S + XY S'$, композит $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3 + \text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Как известно, $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, имеющий ту же кристаллическую структуру, что и $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, при любых технологических условиях приготовления не проявляет сверхпроводящих свойств [13]. Зависимость $\rho(T)$ этого композита с 92.5 vol.% $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ и 7.5 vol.% $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (обозначим его $\text{Pr} + 92.5S'$) также приведена на рис. 7. Видно, что поведение $\rho(T)$ образца $\text{Pr} + 92.5S'$ аналогично поведению $\rho(T)$ образ-

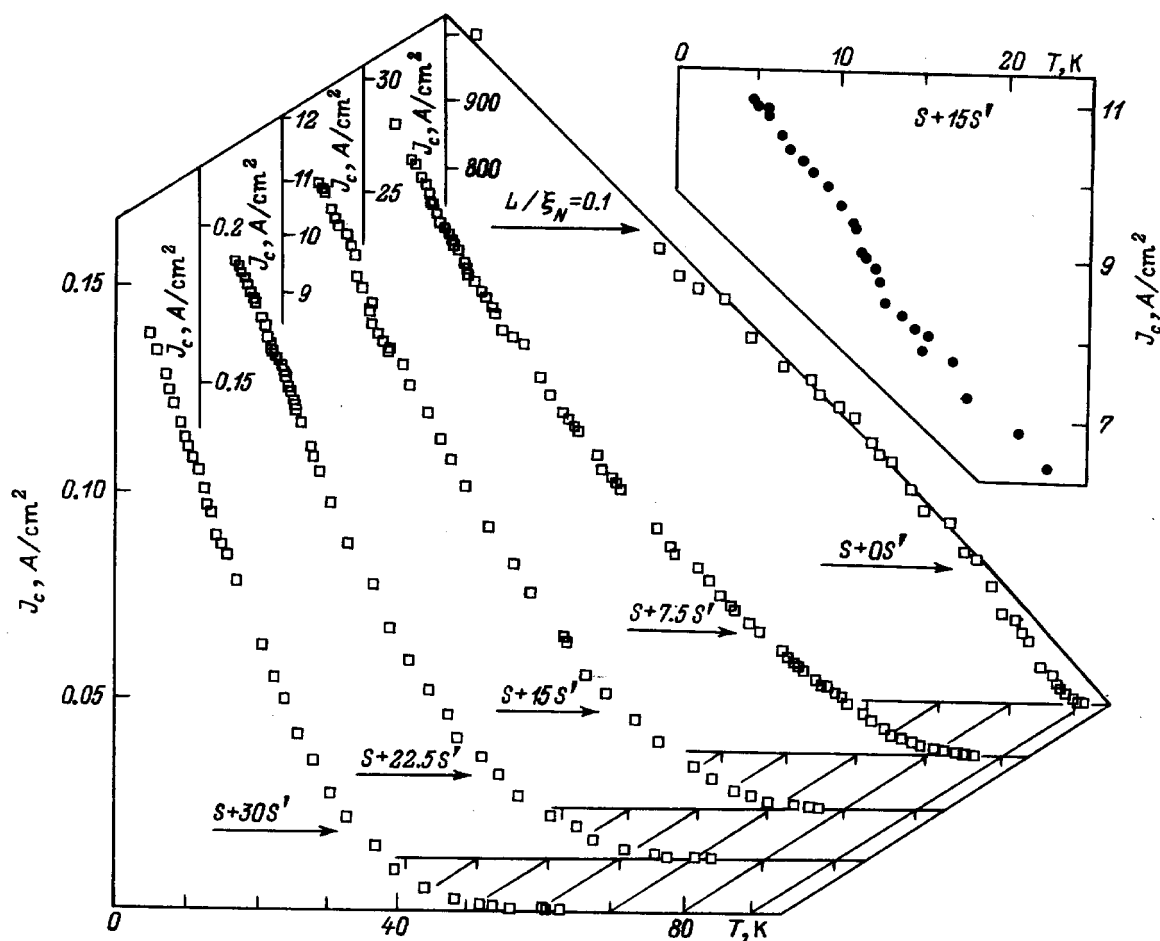


Рис. 8. Экспериментальные температурные зависимости плотности критического тока $J_c(T)$ композитов (точки). Сплошная линия — теоретическая кривая из [14] для "чистой" $S-N-S$ -структуры с протяженностью $L/\xi_N = 0.1$ при $J_c(0\text{K}) = 1025\text{ A/cm}^2$ и $T_c = 93.5\text{ K}$. На вставке — $J_c(T)$ образца $S + 15S'$ в области температур 0–25 К.

цов $S + 92.5S', \dots, S + 70S'$. Это может быть связано с большей, чем у ВТСП, длиной когерентности в $\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ либо с доминирующим влиянием малопрозрачного интерфейса SS' - и $S\text{-PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ на транспортные свойства композитов. Вопрос о взаимодействии Бозе конденсатов n - и p -типов остается, к сожалению, открытым из-за возможного влияния SS' -границ малой прозрачности, хотя на одном из композитов ($S + 15S'$) наблюдалась особенность на зависимости $J_c(T)$ при 11.3 К (см. далее).

На рис. 8 приведены экспериментальные зависимости $J_c(T)$ композитов $S + 7.5S', S + 15S', S + 22.5S', S + 30S'$ и исходного $S + 0S'$. Зависимость $J_c(T)$ образца $S + 0S'$ удовлетворительно описывается теоретической кривой для "чистой" $S-N-S$ -структуры с протяженностью $L = 0.1\xi_N$ (ξ_N — длина когерентности в металлической прослойке) из [14] (сплошная кривая на рис. 8). Это позволяет оценить среднюю протяженность межгранульной границы в образцах $S + 0S'$ величиной 5 \AA (при $\xi_N = 50\text{ \AA}$ [15]). Зависимости $J_c(T)$ композитов (рис. 8) качественно отлича-

ются от $J_c(T)$ исходного ВТСП. Отметим некоторые особенности зависимостей $J_c(T)$ композитов. Скачкообразное изменение критического тока в районе T_c второго компонента ($\text{BaPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$) $\sim 11\text{ K}$ было обнаружено только на образцах композита $S + 15S'$ (см. вставку на рис. 8), хотя ожидалось, что переход в сверхпроводящее состояние низкотемпературного сверхпроводника будет заметен на температурных зависимостях $J_c(T)$ композитов и других составов. Объяснить, почему этот скачок J_c (неоднократно наблюдаемый) характерен только для образцов композита $S + 15S'$, затруднительно. Зависимости $J_c(T)$ композитов имеют отрицательную кривизну и не меняют ее знака при низких (вплоть до 4.2 К) температурах. Как видно из рисунка, критическая температура сети слабых связей в композитах заметно понижается по сравнению с T_c "берегов" (см. также рис. 4).

Экспериментальные зависимости $J_c(T)$ композитов $S + XY S'$ были проанализированы в рамках теоретических работ, рассматривающих эффект Джо-

зефсона в $S-S'-S$ -структурах [16,17], а также в "грязных" $S-N-S$ -структурах с различной прозрачностью $S-N$ -границ [10,18]. Как показано в нашей работе [19], удовлетворительного согласия эксперимента с теориями достигнуто не было. На наш взгляд, процессы протекания тока в $S-S'-S$ -переходах еще недостаточно изучены как экспериментально, так и теоретически. Авторы надеются на то, что настоящая работа стимулирует исследования в данной области.

Таким образом, в настоящей работе получены следующие основные результаты.

1) Приготовлены композиты ВТСП $(1-2-3)+\text{ВаPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$ с различными объемными концентрациями ВТСП и низкотемпературного сверхпроводника. Экспериментально показано, что эти композиты представляют собой искусственно созданную сеть слабых связей (с заданной степенью связи) джозефсоновского типа.

2) На концентрационной зависимости электросопротивления композитов наблюдается максимум при $x = 45 \text{ vol.}\%$. При этой же концентрации плотность критического тока композита при 4.2 К исчезающе мала. Авторы связывают это с малопрозрачным для носителей тока интерфейсом гранул ВТСП и $\text{ВаPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$.

3) У композитов с большим (выше 70 vol.%) содержанием низкотемпературного сверхпроводника наблюдается уширение резистивного перехода, что можно связать с большой по сравнению с ВТСП длиной когерентности в $\text{ВаPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$.

4) Измерены температурные зависимости критического тока композитов. На зависимости $J_c(T)$ образцов только одного состава ($S+15S'$) в районе $T \simeq 11 \text{ К}$ воспроизводимо наблюдается скачкообразная особенность, которая, по мнению авторов, связана с переходом в сверхпроводящее состояние $\text{ВаPb}_{3/4}\text{Bi}_{1/4}\text{O}_3$.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А.Д. Васильеву за рентгеноструктурный анализ образцов.

Список литературы

- [1] J. Junq, M.A.-K. Mohamed, I. Isaak. L. Friedrich. Phys. Rev. **В 49**, 17, 12188 (1994).
- [2] J. Junq, I. Isaak, M.A.-K. Mohamed. Phys. Rev. **В 48**, 10, 7526 (1993).
- [3] В.Ю. Таренков, А.И. Дьяченко, А.В. Василенко. ФТТ **36**, 8, 2196 (1994).
- [4] В.И. Смирнов, Т.С. Орлова. ФТТ **36**, 12, 3542 (1994).
- [5] М.И. Петров, Д.А. Балаев, Б.П. Хрусталеv, К.С. Александров. СФХТ **8**, 53 (1995).
- [6] T.D. Thanh, A. Koma, S. Tanaka. Appl. Phys. **22**, 205 (1980).
- [7] A.W. Sleight, J.L. Gilson, P.E. Bierstedt. Solid State Commun. **17**, 1, 27 (1975).
- [8] А.Д. Балаев, Ю.В. Бояршинов, М.М. Карпенко, Б.П. Хрусталеv. ПТЭ **3**, 167 (1985).
- [9] Л.Г. Асламазов, М.В. Фистуль. ЖЭТФ **81**, 1(7), 382 (1981); **83**, 3(9), 1170 (1982); **86**, 4, 1516 (1984).
- [10] М.Ю. Куприянов, К.К. Лихарев. УФН **160**, 5, 49 (1990).
- [11] А. Бароне, Дж. Патерно. Физика и применение эффекта Джозефсона. Мир, М. (1984).
- [12] R. Gross, P. Chaudhari, D. Dimos, A. Gupta, G. Koren. Phys. Rev. Lett. **164**, 228 (1990).
- [13] A.P. Goncalves, J.C. Santos, E.B. Lopes, R.T. Henriques, M. Almeida, M.O. Figueiredo. Phys. Rev. **В 37**, 13, 7476 (1988).
- [14] М.Ю. Куприянов. ФНТ **7**, 6, 700 (1981).
- [15] J.M.C. de Vries, G.M. Stollman, M.A. Gijss. Physica **С 157**, 2, 406 (1989).
- [16] М.Ю. Куприянов, К.К. Лихарев, В.Ф. Лукичев. ЖЭТФ **83**, 1(7), 431 (1982).
- [17] М.Ю. Куприянов, В.Ф. Лукичев. ЖЭТФ **94**, 6, 139 (1988).
- [18] А.А. Голубов, М.Ю. Куприянов. ЖЭТФ **105**, 5, 1442 (1994).
- [19] М.И. Петров, Д.А. Балаев, С.В. Оспищев, К.А. Шайхутдинов, **Б.П. Хрусталеv**, К.С. Александров. Препринт Института физики им. Л.В.Киренского СО РАН № 767Ф. Красноярск (1996). 42 с.