

# Влияние магнитных центров рассеяния в диэлектрической компоненте композита ВТСП + $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ на его резистивные свойства

© М.И. Петров, Д.А. Балаев, К.А. Шайхутдинов, С.Г. Овчинников

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

(Поступила в Редакцию 2 февраля 1998 г.)

Приведены результаты экспериментального исследования влияния магнитных центров рассеяния (никель) в диэлектрической компоненте (оксид меди) композита ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  на его транспортные свойства. Обнаружено подавление сверхпроводящих свойств данной системы по мере увеличения содержания никеля. Полученные результаты проанализированы в рамках модели сильных электронных корреляций.

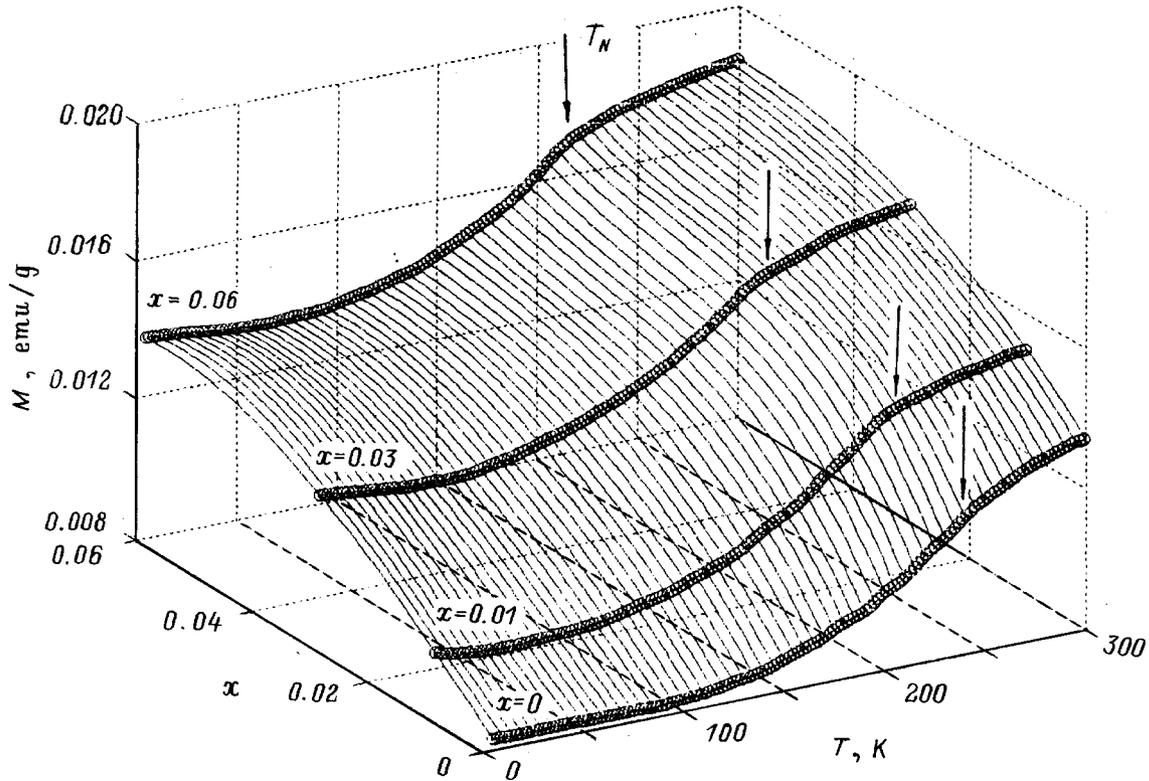
Слабые связи в материалах на основе ВТСП в настоящее время изучаются достаточно интенсивно как теоретически, так и экспериментально, поскольку в них наиболее ярко проявляются особенности спаривания носителей [1]. Изучение транспортных свойств двухкомпонентных композитных образцов, одним из компонентов которых является ВТСП, а другим либо диэлектрик ( $I$ ), либо полупроводник ( $Sm$ ), либо нормальный металл ( $N$ ), является адекватным изучению транспортных свойств искусственно созданной сети слабых связей заданного типа ( $S-I-S$ ,  $S-Sm-S$ ,  $S-N-S$ , где  $S$  — сверхпроводник) [2–8]. Несмотря на то что в таких композитах слабые связи распределены случайно по своим геометрическим размерам, транспортные характеристики (зависимости критического тока  $J_c(T)$  и электросопротивления от температуры  $R(T)$ , вольт-амперные характеристики (ВАХ)) отражают основные особенности протекания сверхтока по некоему эффективному контакту соответствующего типа. Нами были получены композиты на основе классического ВТСП  $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  и  $\text{CuO}$  [8,9]. Было показано, что такая система — пример сети слабых связей  $S-I-S$ -типа. Для нее характерны ВАХ квазитуннельного типа и термоактивационное проскальзывание фазы (Thermally activated phase slippage — TAPS) ниже  $T_c$  [10]. В случае когда  $\text{CuO}$  путем легирования его литием был трансформирован в полупроводник, композиты на его основе проявили характеристики сети слабых  $S-Sm-S$ -связей, а именно трансформацию ВАХ от квазитуннельной к металлической и появление плато на  $J_c(T)$  в области низких температур по мере увеличения концентрации носителей в полупроводниковых ингредиентах [7,11]. Изучение композитов ВТСП +  $\text{BaPbO}_3$  с парамагнитными примесями, внедренными в нормальный металл  $\text{BaPbO}_3$  [12], побудило нас изучить влияние магнитных центров рассеяния, внедренных в диэлектрическую компоненту композита ВТСП +  $\text{CuO}$ . Выбор  $\text{CuO}$  основан на экспериментальном факте отсутствия химического взаимодействия между ВТСП со структурой 1–2–3 и оксидом меди, что было показано электронной микроскопией [13] и рентгеноструктурными исследованиями [8,13]. Хотя  $\text{CuO}$  является полупроводником, при температурах ниже 100 К его удельное сопротивление ( $\rho$ ) больше на 15 порядков  $\rho$  ВТСП [14]; по этой причине  $\text{CuO}$

в данном случае можно считать диэлектриком. Легирование  $\text{CuO}$  изовалентным никелем не должно, по нашему мнению, приводить к индукции валентности и появлению примесных носителей в противоположность неизовалентному легированию  $\text{CuO}:\text{Li}$ , которое обуславливает существенный рост электропроводности и даже изменение его характера при увеличении концентрации примесных носителей [7,15]. В работах [16–18] теоретически было показано, что магнитные примеси, внедренные в диэлектрический барьер, дополнительно подавляют джозефсоновский сверхток. В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования влияния примесей никеля в матрице  $\text{CuO}$  на резистивные свойства композитов ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ .

## 1. Эксперимент

Композитные образцы ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  приготавливались следующим образом. Вначале синтезировались исходные компоненты будущего композита:  $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  и  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ . Технология синтеза  $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  стандартная керамическая.  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  был получен по керамической технологии из  $\text{CuO}$  и  $\text{NiO}$  при температуре 950°С. Время синтеза составляло ~ 40 h с несколькими промежуточными помолами.

Дебаграмма образца с наибольшим  $x$  —  $\text{Cu}_{0.94}\text{Ni}_{0.06}\text{O}$  (образцы с  $x < 0.06$  не исследовались, так как стандартная рентгеновская методика не дает в этом случае надежных результатов) — показала наличие двух кристаллографических фаз, в которых может существовать твердый раствор в системе  $(\text{CuO})_{1-x}(\text{NiO})_x$ . Эти результаты полностью согласуются с выводами работы [19]. На компонентах композита  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  с  $x = 0, 0.01, 0.03, 0.06$  были проведены магнитные измерения с помощью вибрационного магнетометра [20]. На рис. 1 представлены зависимости намагниченности от температуры образцов в интервале 4.2–300 К, измеренные в поле  $H = 5$  кОе. Видно монотонное увеличение абсолютного значения намагниченности при увеличении содержания никеля в образцах, а также уменьшение температуры Нееля с увеличением  $x$  (для  $\text{CuO}$   $T_N$  составляет ~ 250 К, что качественно согласуется с данными [14,21]). Хотя это значение несколько больше измеренного другими



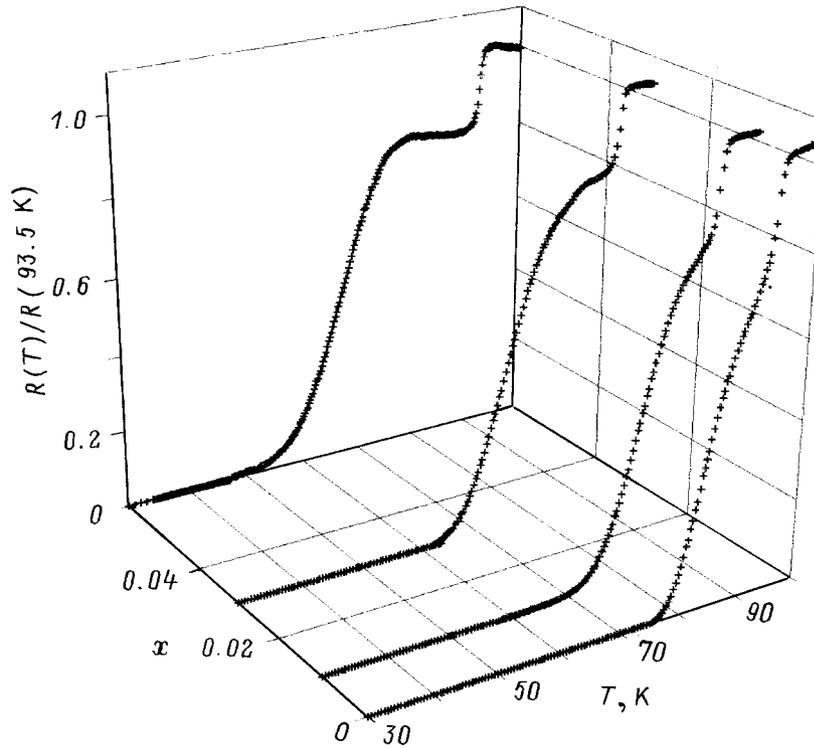
**Рис. 1.** Температурные зависимости намагниченности  $M$   $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  в зависимости от  $x$ .  $x = 0, 0.01, 0.03, 0.06$ . Изотермы проведены через 5 К. Стрелками указаны температуры Нееля.

авторами и, вероятно, связано с примесями и возможной нестехиометрией по кислороду, в данном случае важнее относительное изменение температуры Нееля при допировании  $\text{CuO}$  никелем. Измерения намагниченности  $M(H)$  компонентов композита проводились в полях до 60 кОе при температуре  $T = 4.2$  К. Все зависимости оказались линейными, их наклон монотонно увеличивался с ростом  $x$ . Анализ этих измерений показал, что намагниченность аддитивна по концентрации никеля. На основании магнитных и рентгеноструктурных измерений можно отметить, что система  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  представляет собой антиферромагнитную матрицу  $\text{CuO}$ , в которой атомы меди статистически замещены никелем. Эти атомы могут выступать как дополнительные магнитные центры рассеяния для носителей сверхпроводящего тока в сети слабых  $S-I-S$ -связей с барьером, сформированным из такого материала.

Смесь порошкообразных компонентов будущего композита, взятых в нужной пропорции (85 vol.% ВТСП и 15 vol.%  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ ), прессовалась в таблетки, которые затем вносились в рабочую зону печи, разогретую до  $910^\circ\text{C}$ . Таблетки выдерживались при этой температуре 2 min и помещались в другую печь с температурой  $350^\circ\text{C}$ , где выдерживались в течение 3 h, а затем охлаждались вместе с печью. Все образцы, исследованные в данной работе, были изготовлены из единой серии исходных ингредиентов во избежании случай-

ного отклонения их физических свойств, связанных с возможными примесями, стехиометрией и технологией приготовления.

На рис. 2 представлены зависимости электросопротивления композитных образцов ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  от температуры и состава, нормированные к значению  $\rho(93.5 \text{ K})$  для  $x = 0, 0.01, 0.03, 0.06$ . Абсолютные значения  $\rho(93.5 \text{ K})$  композитов составляют для  $x = 0 - 0.055 \Omega \cdot \text{cm}$ , для  $x = 0.01 - 0.069 \Omega \cdot \text{cm}$ , для  $x = 0.03 - 0.061 \Omega \cdot \text{cm}$ , для  $x = 0.06 - 0.059 \Omega \cdot \text{cm}$ , т.е. в пределах точности измерения значения удельного электросопротивления  $\rho(93.5 \text{ K})$  для всех композитных образцов ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  можно считать одинаковыми. Отсюда следует важный вывод, что никель не является дополнительным центром рассеяния для обычных носителей тока при их туннелировании через диэлектрическую прослойку. Вид зависимостей  $\rho(T)$  является таким же, как для композитных образцов ВТСП +  $\text{CuO}$  [8]: квазиполупроводниковый характер кривых до температуры начала перехода в сверхпроводящее состояние гранул ВТСП ( $93.5 \text{ K}$ ) (на рис. 2 не показано), далее резкое уменьшение сопротивления, соответствующее переходу в сверхпроводящее состояние гранул ВТСП (неизменность этой температуры для всех  $x$  и равенство ее  $T_c$  исходного ВТСП указывают на отсутствие диффузии никеля в ВТСП), и плавный "хвост", отражающий переход в сверхпроводящее состояние слабых связей. Эта



**Рис. 2.** Температурные зависимости нормированного электросопротивления  $R(T)/R(93.5 \text{ K})$  в зависимости от  $x$  композитных образцов  $85 \text{ vol.}\% \text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + 15 \text{ vol.}\% \text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ .  $x = 0, 0.01, 0.03, 0.06$ .

часть зависимости для  $x = 0$  была описана тепловыми флуктуациями (TAPS) [10] в сети джозефсоновских переходов [8].

Из рис. 2 явно видно, что температура перехода в состояние с нулевым сопротивлением понижается с увеличением содержания никеля в диэлектрической компоненте композита. Поскольку объемное содержание  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  во всех композитных образцах одинаково (15 vol.%), так же как и технология их приготовления, уменьшение температуры, при которой  $R = 0$ , можно объяснить только дополнительным (помимо TAPS) магнитным рассеянием носителей сверхтока в диэлектрической прослойке.

## 2. Обсуждение результатов

Согласно фазовой диаграмме системы  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  [19], при  $x < 0.05$  существует твердый раствор с моноклинной структурой  $\text{CuO}$ , т.е. можно рассматривать замещение  $\text{Cu} \rightarrow \text{Ni}$  как изоструктурное. Изменение электронной структуры и магнитных свойств при таком замещении для системы  $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  рассмотрено в [22] с помощью точной диагонализации многоэлектронного гамильтониана  $p-d$ -модели для кластеров  $\text{CuO}_4$  и  $\text{CuO}_6$ . Поскольку в  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  ближайшее окружение меди и никеля почти такое же, результаты расчетов [22] могут быть применены и для этой системы.

Согласно [22], при замещении  $\text{Cu} \rightarrow \text{Ni}$  в оксидах не образуется двухвалентной конфигурации  $\text{Ni}^{2+}(d^8)$  со спином  $s = 1$ , которая энергетически невыгодна из-за сильных внутриатомных электронных корреляций  $3d$ -электронов. Двум дыркам (относительно заполненной оболочки  $3d^{10}$ ) выгодней не локализоваться в состоянии  $3d^8$ , а быть частично "размазанными" по ближайшим соседям — ионам кислорода, так что волновая функция двухдырочного состояния может быть записана в виде суперпозиции  $3d^9L$ - и  $3d^{10}L^2$ -конфигураций

$$|2\rangle = u_0|p^5d^{10}p^5\rangle - v_0(|p^6d^9p^5\rangle + |p^5d^9p^6\rangle)/\sqrt{2}, \quad (1)$$

где коэффициенты  $u_0, v_0$  определяются такими параметрами гамильтониана  $p-d$ -модели, как энергия переноса заряда, кулоновское взаимодействие медь-кислород, энергии  $p$ - и  $d$ -уровней в кристаллическом поле. Таким образом, за счет эффектов ковалентности ион никеля находится в диамагнитном состоянии  $d^{10}$  с вероятностью  $u_0^2$  и в состоянии  $d^9$  со спином  $s = 1/2$  с вероятностью  $v_0^2$ . Вес конфигурации  $d^8$  со спином  $s = 1$  мал ( $\sim 1\%$ ), поэтому ею можно пренебречь. Все эти выводы справедливы только при малой концентрации атомов замещения, т.е. при  $x \ll 1$ .

Применим эти представления для анализа магнитных и электрических свойств композитов, описанных выше. В антиферромагнитной матрице  $\text{CuO}$ , согласно (1), с вероятностью  $v_0^2$  замещение  $\text{Cu} \rightarrow \text{Ni}$  сохраняет  $s = 1/2$ ,

а с вероятностью  $u_0^2$  приводит к диамагнитному разбавлению. Можно объяснить подавление антиферромагнетизма диамагнитным разбавлением, при котором падение  $T_N$  пропорционально концентрации диамагнитных центров,  $dT_N/dx \sim u_0^2 x$ . По данным рис. 1 для  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  величина  $dT_N/dx \cong -5 \text{ K/at.}\%$ , что довольно близко к значению  $dT_N/dx = -5.5 \text{ K/at.}\%$  в системе  $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  [23].

Электрические свойства системы  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  определяются тем, что при появлении двухдырочных состояний (1) в одноэлектронном спектре формируются глубокие примесные уровни [24], которые ввиду их большой глубины залегания ( $\sim 1 \text{ eV}$ ) не влияют на концентрацию носителей (при комнатной температуре и ниже), определяемую собственными дефектами в  $\text{CuO}$ . Поэтому величина сопротивления при  $T > T_c$  ВТСП, т. е. для обычных носителей в композите ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ , не зависит от введения никеля. Также не зависит от содержания Ni и точка начала перехода  $T_c$ , определяемая сверхпроводящим переходом внутри гранул ВТСП, поскольку из-за малого времени отжига композита вероятность диффузии никеля в объем ВТСП-зерен крайне мала. Что касается подавления температуры установления нулевого сопротивления в образце, необходимо рассмотреть процесс туннелирования в композите с антиферромагнитными диэлектрическими прослойками.

Поскольку даже в оптимально допированных ВТСП существуют антиферромагнитные корреляции на масштабах  $\xi_A$ , больших, чем длина когерентности куперовской пары  $\xi_S$ , движение пары происходит как бы на фоне антиферромагнитного порядка. Поэтому при туннелировании в системе ВТСП +  $\text{CuO}$  наличие антиферромагнитного порядка в  $\text{CuO}$  вряд ли будет приводить к дополнительному разрушению куперовских пар. Иная ситуация возникает в случае  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ , когда антиферромагнитная структура содержит диамагнитные центры  $d^{10}L^2$ .

Известно, что в антиферромагнетике с диамагнитным замещением из-за неэквивалентности одной из подрешеток появляется нескомпенсированный момент в окрестности диамагнитной примеси. Такие моменты были обнаружены измерениями статической магнитной восприимчивости в  $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{A}_x\text{O}_4$ ,  $\text{A} = \text{Zn, Ga, Al}$  [23,25] и по данным ЯМР в  $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x)_3\text{O}_7$  [26]. Рассеяние на таких примесных магнитных моментах подавляет сверхпроводимость обычным для теории БКШ образом. На рис. 3 представлена зависимость антиферромагнитной корреляционной длины  $\xi_A$  в  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ , вычисленной согласно  $\xi_A = q_0/\sqrt{x}$  [27] при  $a_0 = 3.08 \text{ \AA}$ ,  $a_0$  — ближайшие расстояния  $\text{Cu}-\text{Cu}$  в  $\text{CuO}$  (правая шкала). На рис. 3 также приведены зависимости температуры, при которой сопротивление композитов ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  становится равным нулю, в зависимости от  $x$  (левая шкала). Очевидна корреляция между этими зависимостями.

Дополнительный излом на кривых  $R(T)$ , проявляющийся ниже  $T_c$  с ростом  $x$  на рис. 2, может быть сопоставлен с аналогичным изломом  $R(T)$  в сэндвичах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{Pr}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{Ag}$  и

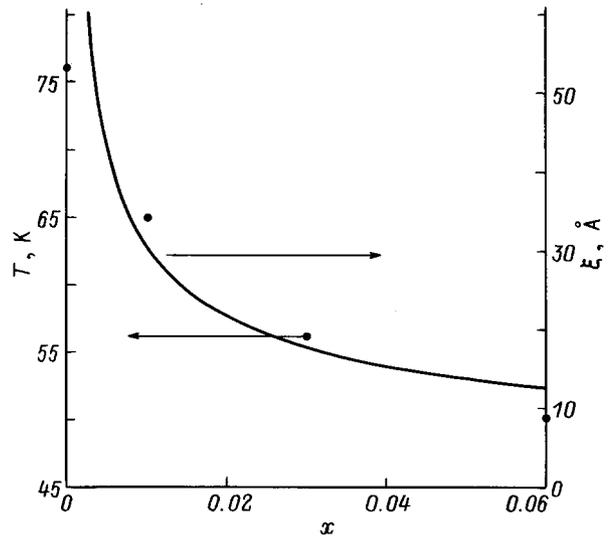


Рис. 3. Концентрационные зависимости антиферромагнитной корреляционной длины  $\xi_A$  для  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  (сплошная линия) и температуры, при которой сопротивление композитов ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  становится равным нулю (темные кружки).

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7/\text{Pr}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  с ферромагнитной прослойкой [28]. По-видимому, рассеяние на магнитных моментах в магнитоупорядоченной прослойке ответственно за указанные изломы.

В высокотемпературных сверхпроводниках нередко наблюдается фазовое расслоение [29], причем непроводящие и сверхпроводящие фазы могут образовывать упорядоченные одномерные сверхструктуры [30,31]. Изучаемые нами композитные системы ВТСП +  $\text{CuO}$  могут рассматриваться как искусственно созданные системы с фазовым расслоением, причем в отличие от естественного расслоения мы имеем возможность целенаправленно поместить магнитные примеси в непроводящие слои и изучать их влияние на процессы туннелирования куперовских пар.

В системе  $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + \text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  нами обнаружены три основных экспериментальных факта: независимость  $T_c$  и сопротивления выше  $T_c$  от введения Ni, понижение температуры обращения сопротивления в нуль с ростом концентрации Ni и появление особенности на кривых  $R(T)$  ниже  $T_c$ . Все они качественно объясняются особенностями электронной структуры  $\text{CuO}$  и ее изменениями при замещении меди никелем. Появление магнитных моментов в диэлектрической прослойке обусловлено не состояниями  $\text{Ni}^{2+}(3d^8)$  со спином  $s = 1$ , которые имеют очень высокую энергию за счет эффектов сильных электронных корреляций, а диамагнитными конфигурациями  $d^{10}L^2$ . Нескомпенсированность антиферромагнитных подрешеток  $\text{CuO}$  в окрестности диамагнитной спиновой дырки и дает магнитный момент с эффективным спином  $< 1/2$  на атом примеси. Редуцирование сверхпроводящих свойств композитов ВТСП +  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$  при увеличении  $x$  коррелирует с

уменьшением длины антиферромагнитной корреляции в  $\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}$ , выполняющем роль туннельной прослойки в сети слабых  $S-I-S$ -связей этих композитов.

Авторы благодарят А.Д. Балаева за помощь в проведении магнитных измерений, А.Д. Васильева за рентгеноструктурные исследования образцов и К.С. Александрова за полезные дискуссии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта молодых ученых СО РАН.

## Список литературы

- [1] D.J. Van Harlingen. *Rev. Mod. Phys.* **67**, 2, 515 (1995).
- [2] J.J. Calabrese, M.A. Dubson, J.C. Garland. *J. Appl. Phys.* **72**, 7, 2958 (1992).
- [3] J. Jung, I. Isaacs, M.A.-K. Mohamed. *Phys. Rev.* **B48**, 10, 7256 (1993).
- [4] В.Ю. Таренков, А.И. Дьяченко, А.В. Василенко. *ФТТ* **36**, 8, 2196 (1994).
- [5] Б.И. Смирнов, Т.С. Орлова. *ФТТ* **36**, 12, 3542 (1994).
- [6] М.И. Петров, Д.А. Балаев, Б.П. Хрусталева, К.С. Александров. *СФХТ* **8**, 1, 53 (1995).
- [7] М.И. Петров, Д.А. Балаев, К.А. Шайхутдинов, Б.П. Хрусталева, К.С. Александров. *ФТТ* **39**, 5, 829 (1997).
- [8] М.И. Петров, Д.А. Балаев, К.А. Шайхутдинов, Б.П. Хрусталева. *ФТТ* **39**, 11, 1956 (1997).
- [9] M.I. Petrov, D.A. Balaev, K.A. Shaihutdinov, B.P. Khrustalev, K.S. Aleksandrov. *Physica C* **282-287**, 2453 (1997).
- [10] V. Ambegaokar, B.I. Halperin. *Phys. Rev. Lett.* **22**, 1364 (1969).
- [11] М.И. Петров, Д.А. Балаев, К.А. Шайхутдинов, Б.П. Хрусталева, К.С. Александров. *ДАН* **346**, 5, 616 (1996).
- [12] M.I. Petrov, D.A. Balaev, S.V. Ospishchev, B.P. Khrustalev, K.S. Aleksandrov. *Physica C* **282-287**, 2447 (1997).
- [13] Chan-Joong Kim, Ki-Baik Kim, Il-Hyun Kuk, Gue-Won Hong. *Physica C* **255**, 95 (1995).
- [14] Б.А. Гижевский, А.А. Самохвалов, Н.М. Чеботарев, С.В. Наумов. Г.К. Показаньева. *СФХТ* **4**, 4, 827 (1991).
- [15] R. Feduzi, F. Lanza, V. Dallacasa. *Mod. Phys. Lett.* **7**, 3, 163 (1993).
- [16] И.О. Кулик. *ЖЭТФ* **49**, 4, 1211 (1965).
- [17] L.N. Bulaevskii, V.V. Kuzii, A.A. Sobyanin. *Solid State Commun.* **25**, 12, 1053 (1978).
- [18] С.В. Куплевахский, И.И. Фалько. *ФНТ* **10**, 7, 691 (1984).
- [19] R. Zilber, E.F. Bertaut, P. Burlet. *Solid State Commun.* **8**, 12, 935 (1970).
- [20] А.Д. Балаев, Ю.В. Бояршинов, М.М. Карпенко, Б.П. Хрусталева. *ПТЭ*, 3, 167 (1985).
- [21] В.Х. Yang, J.M. Tranquada, G. Shirane. *Phys. Rev.* **B38**, 1, 174 (1988).
- [22] С.Г. Овчинников. *ФТТ* **37**, 12, 3645 (1995).
- [23] S.T. Ting, P. Pernambuco-Wise, J.E. Crow, E. Manousakis. *Phys. Rev.* **B46**, 11 772 (1992).
- [24] С.Г. Овчинников. *ЖЭТФ* **103**, 4, 1404 (1993).
- [25] G. Xiao, M.Z. Cieplak, J.Q. Xiao, C.L. Chien. *Phys. Rev.* **B 42**, 13, 8752 (1990).
- [26] H. Alloul, A. Mahajan, P. Mendels, T. Riseman, Y. Yoshinari, G. Collin, J.F. Marucco. *Workshop on High-Temperature Superconductivity. Miami* (1995). P. 7.
- [27] W. Brenig. *Phys. Rep.* **251**, 153 (1995).
- [28] G.C. Xiong, G.J. Lian, J.F. Kang, Y.F. Hu, Y. Zhang, Z.Z. Gan. *Physica* **282-287**, 693 (1997).
- [29] Э.Н. Нараев. *УФН* **165**, 5, 529 (1995).
- [30] A. Biankoni, M. Misori. *J. Phys. I. France* **4**, 361 (1994).
- [31] О.Н. Бахарев, М.В. Еремин, М.А. Теплов. *Письма в ЖЭТФ* **61**, 5-6, 499 (1995).