

РАЗМЫТИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ВТСП МАТЕРИАЛЕ

В.М. АЛИЕВ, Г.И. ИСАКОВ, В.И. ЭМИНОВА, С.З. ДАМИРОВА

Институт Физики НАН Азербайджана,

AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида, 131

v_aliev@bk.ru, gudrat.isakov@gmail.com

Исследовано влияние замещения Y на Cd на механизм образования избыточной проводимости в поликристаллах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. С замещением Y на Cd удельное сопротивление ρ образца $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ заметно возрастает, а значение критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние (T_c) уменьшается.

Показано, что сверхпроводящих фазовых переходов (ФП) в них имеет размытый характер. Определены параметры размытия ФП: T_0 , a , $L_0(T)$ и dL_0/dT . Установлено, что в $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ВТСП материала частичное замещение Y на атомы Cd значительно уменьшает область ФП и увеличивает dL_0/dT .

Ключевые слова: сверхпроводимость, фазовый переход, $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, скорость перехода

PACS: 74.25.Fy, 74.20.Mn, 74.72.+h, 74.25.+q, 74.25.Jb

ВВЕДЕНИЕ

Хотя с момента открытия высокотемпературных сверхпроводящих материалов прошло более тридцати лет, их синтез представляет собой не решенную до конца задачу. Основными недостатками традиционных методов получения ВТСП материалов являются низкая скорость, неполное завершение твердофазной реакции, а также сложность направленного формирования реальной структуры конечного материала, определяющей его структурно-чувствительные свойства.

Исследование фазовых переходов (ФП) является одним из актуальных и изученных направлений физики твердого тела. Это обусловлено тесной связью ФП со многими разделами физики твердого тела. Одним из актуальных вопросов является выявление классификации исследуемого ФП, в какой мере он размыт и как можно оказать влияние на степень размытия. Для этого необходимо определение параметров ФП, позволяющее судить о степени его размытия. Анализ температурных зависимостей электрических свойств ВТСП вблизи и в области ФП показывает, что ФП в них носят размытый характер и это вытекает из особенностей сверхпроводников второго рода. Но исследование вопросов размытия вблизи и в области ФП выявляет механизмы, приводящие к размытию, с помощью которого можно судить о качестве исследуемого объекта. Особенно это относится к новым видоизмененным материалам ВТСП. Первые исследования размытия ФП в ВТСП выполнены для висмутовых керамик и поликристаллического образца [1,2]. Результаты интерпретированы в рамках теории размытых ФП [3], поэтому данная работа посвящена определению параметров размытия ФП в $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ВТСП материале.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Синтез $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ в два этапа [4,5]. На первом этапе исходные компоненты

в стехиометрическом соотношении перемешивались и отжигались в воздушной среде при температуре 1120К в течение 25 ч. На втором этапе полученные составы отжигались в среде кислорода ($P = 1,2-1,5$ атм) при температуре 1190К в течение 25 ч и медленно охлаждались до комнатной температуры.

Образцы размерами $8 \times 4 \times 3$ мм вырезали из прессованных таблеток (диаметр 12 мм, толщина 3 мм) синтезированных поликристаллов. Электрическое сопротивление измерялось по стандартной четырехзондовой схеме. Токовые контакты создавались путем нанесения серебряной пасты с последующим подсоединением серебряных проводов диаметром 0,05 мм к торцам поликристалла, чтобы обеспечить равномерное растекание тока по образцу. Также создавались и потенциальные контакты, которые располагались на поверхности образца в его средней части. Затем проводился трехчасовой отжиг при температуре 200°C в атмосфере кислорода. Такая процедура позволяла получить переходное сопротивление контактов менее 1 Ом и проводить резистивные измерения при транспортных токах до 10 мА в ab -плоскости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температурные зависимости удельного сопротивления $\rho(T) = \rho_{ab}(T)$ синтезированных поликристаллов $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (1) и $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ (2) показаны на рис. 1. Зависимости $\rho(T)$ образца $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (рис.1) имеют форму, характерную для оптимально допированных ВТСП. Линейный ход температурной зависимости удельного сопротивления образцов Y1 и Y2 в нормальной фазе хорошо экстраполируется выражением $\rho_{\nu}(\otimes) = (\rho_0 + kT + BT^2)$ (здесь B и k - некоторые постоянные).

Как видно из рис. 1, критические температуры образцов Y1 и Y2 составляет соответственно $T_{c1} = 90,1$ К и $T_{c2} = 88$ К. При этом удельное сопротивление $\rho(T)$ образца Y2 в нормальной фазе при 300 К по

сравнению с $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ увеличивается почти в 2 раза.

Критической температуры образцов Y1 и Y2 составляет соответственно $T_{c1} = 92,58K$ и $T_{c2} = 91,4K$.

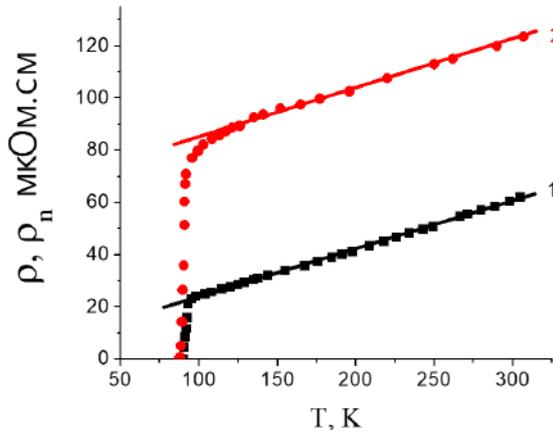


Рис. 1. Температурные зависимости удельного сопротивления образцов: 1- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, 2- $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. 1 представляет $\rho_n(T)$, экстраполированное в области низких температур.

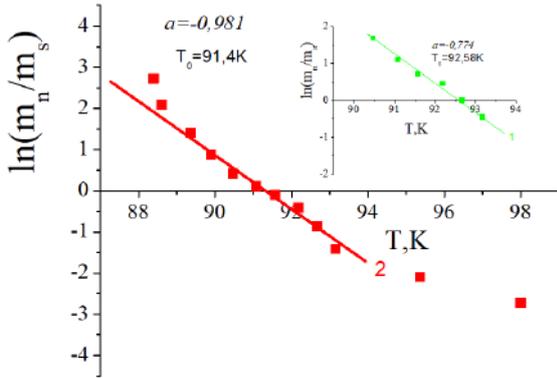


Рис.2. Температурные зависимости $\ln(m_n/m_s)$ для образцов: 1- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, 2- $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$.

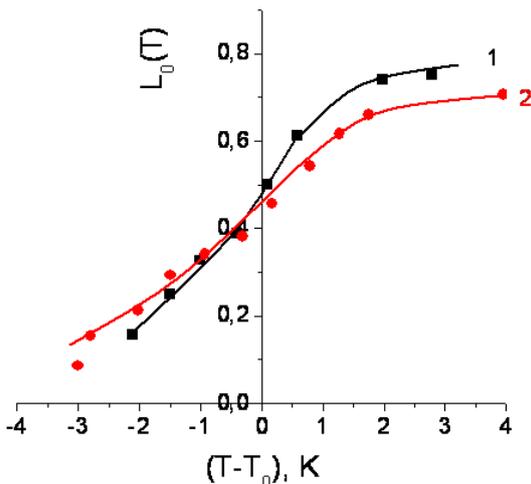


Рис.3. Температурные зависимости функции включения $L(T)$ для образцов: 1- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, 2- $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$.

В работах [6-9] исследованы вопросы размытия ФП в ВТСП. Показано, что определение параметров ФП способствуют выявлению закона перехода нормальной фазы в СП фазу, степень и

область его размытия, влияние на него магнитного поля и различного рода дефектов в керамических образцах. Это становится возможным, если по экспериментальным данным определить точную температуру ФП- T_0 , температурную постоянную ФП- a , функцию распределения фаз- $L_0(T)$ и температурную скорость ФП- dL_0/dT . Методика определения этих параметров основана на теоретической модели РФП [3] и подробно описана и апробирована в работах [1, 2, 6-9].

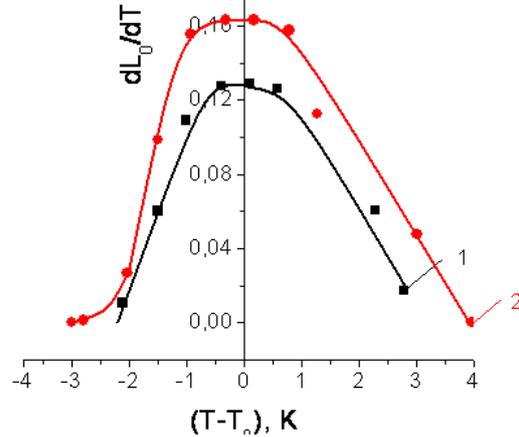


Рис.4 Температурные зависимости производной функции включения dL/dT для образцов: 1- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, 2- $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Теория размытых фазовых переходов (РФП) в конденсированных системах основана на введении функции включения $L(T)$. Предполагается что, если термодинамические потенциалы α и β - фаз обозначить через Φ_α и Φ_β , то общий термодинамический потенциал в области сосуществования фаз $\Phi(T)$ может быть представлен в виде:

$$\Phi(T) = \Phi_\alpha(T) - \Delta\Phi(T) \cdot L(T) \quad (1),$$

где его изменение $\Delta\Phi(T) = \Phi_\alpha(T) - \Phi_\beta(T)$. Когда ФП происходит в интервале $\Delta T = T_2 - T_1$ ($T_2 > T_1$), функция включения L должна удовлетворять условиям

$$L_0(T) = \begin{cases} 0 & T < T_1 \\ 0 < L < 1 & T_1 < T < T_2 \\ 1 & T > T_2 \end{cases} \quad (2)$$

Согласно теории РФП, для $L(T)$ в нулевом приближении получено

$$L_0(T) = \frac{1}{1 + \exp[a_0(T - T_0)]} \quad (3)$$

Учитывая, что $L_0(T)$ характеризует относительную долю фаз в области их сосуществования, ее можно представить в простом виде

$$L_0(T) = \frac{m_\beta(T)}{m_\alpha(T) + m_\beta(T)} = \left[1 + \frac{m_\alpha(T)}{m_\beta(T)} \right]^{-1} \quad (4)$$

где m_α и m_β -массы α и β -фаз. Из совместного решения (3) и (4) получено, что

$$a = (T_0 - T) - I \cdot \ln m_\alpha / m_\beta \quad (5)$$

Поскольку, a постоянная величина, то множитель $\ln(m_\alpha/m_\beta)$ в (5) должен быть линейной функцией температуры. Поэтому из температурной зависимости $\ln(m_\alpha/m_\beta)$ определяется температура ФП= T_0 . Наиболее информативным является производное $L_0(T)$ по температуре, выражающее температурную скорость фазовых превращений каждой фазы:

$$\frac{\partial L}{\partial T} = -\frac{a}{2} \cdot \frac{1}{1 + ch[a_0(T - T_0)]} \quad (6)$$

Для количественной характеристики размытия ФП можно использовать полуширину кривой dL_0/dT , т.е. интервал температуры

$$2\Delta T^* = -3,52/a. \quad (7)$$

В случае сверхпроводников если за одну фазу принять нормальную фазу (н.ф.), а за другую сверхпроводящую (с.п.ф.), то предложенный метод можно применить и для ВТСП. Тогда соответствующие массы примут значение m_n и m_s и их следует определять по изменениям физических характеристик в области СП ФП. В данном случае они определены из данных $\rho(T)$. Из температурной зависимости $\ln(m_n/m_s)$ найдена температура ФП= T_0 (точка пересечения прямых с осью абсцисс), а из наклона $\Delta \ln(m_n/m_s)/\Delta T$ (тангенс угла) температурная постоянная, a (рис.2). Эти параметры позволили по фор-

муле (3) вычислить температурную зависимость $L_0(T)$ (рис.3), а по (6) dL_0/dT (рис.4). Результаты вычислений показал, что при частичном замещении иттрий на кадмий в составе Y-Ba-Cu-O указанные параметры ФП изменяются, т.е. для $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ СП материала $T_0=92,58K$, $a=-0,774$, $L_0(T) = 0,5$ и $dL_0/dT = 0,128$, а для $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ составлял $T_0=91,4K$, $a=-0,981$, $L_0(T) = 0,44$, $dL_0/dT = 0,162$. Отметим, что с замещением Y на Cd, степень размытия (ΔT^*) рассчитанных по уравнению (7) уменьшается и для Y1 и Y2 составляет соответственно 2,27K и 1,79K. При этом скорость фазовых превращений (dL_0/dT) образца Y2 по сравнению Y1 увеличивает в 1,26 раза.

Таким образом, можно заключить, что при частичном замещении атомов Y на атомы Cd качество иттриевых керамик улучшается. Можно полагать, что при этом уменьшается концентрация дефектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и анализы показали, что замещение Y на Cd приводит к незначительному уменьшению критических температур образца $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ по сравнению с $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (соответственно $T_{c1} = 90,1K$ и $T_{c2}=88K$). При этом удельное сопротивление $\rho(T)$ образца Y2 в нормальной фазе при 300 K по сравнению с $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ увеличивается почти в 2 раза.

Показано, что сверхпроводящих фазовых переходов (ФП) в них имеет размытый характер. Определены параметры размытия ФП: T_0 , a , $L_0(T)$ и dL_0/dT . Установлено, что степень размытия (ΔT^*) образца $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ при замещении Y на Cd в системе Y-Ba-Cu-O уменьшается в 1,3 раза.

- | | |
|--|--|
| <p>[1]. С.А. Алиев, С.С.Рагимов, В.М.Алиев. Азерб. МЕНА Хябярляри, физика. техн. вя рий. Елм.сер., 2001, №2,5, сящ.67-71.</p> <p>[2]. S.A. Aliev, S.S. Ragimov, V.M. Aliev. Fizika, 2003, №3-4, s.30-34.</p> <p>[3]. Б.Н. Ролов. «Размытые фазовые переходы», Рига, (1972), 311 с.</p> <p>[4]. S.A. Aliev, S.S. Ragimov, V.M. Aliev. Fizika, 2004, с.10, №4, s. 42-43.</p> | <p>[5]. В. М. Алиев, Р. И. Селим-заде, Дж. А. Рагимов и др. Физика низких температур, 2020, т. 46, № 9, с. 1068–1077.</p> <p>[6]. S.A. Aliyev. Fizika, 2002, vol. VIII, 4, 32-36</p> <p>[7]. В.М. Алиев. Azərb. МЕНА ser., 2010, с.30, №2, 59-63.</p> <p>[8]. В.М. Алиев. Azərb. МЕНА, 2011, Сер., с.31, №2, сящ. 113-117.</p> <p>[9]. С.А. Алиев «Размытие фазовых переходов в полупроводниках и высокотемпературных сверхпроводниках», Баку: Элм, 2007, 286 с.</p> |
|--|--|

V.M.Əliyev, Q.İ.İsakov, V.I.Eminova, S.Z. Dəmirova

$Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ YUXARI TEMPERATURLU İFRATKEÇİRİCİ MATERIALDA YAYILMIŞ FAZA KEÇİDLƏRİ

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ifratkeçirici polikristalda Y elementinin Cd elementi ilə əvəz olunması zamanı əlavə keçiriciliyin əmələ gəlməsi mexanizmini tədqiq edilmişdir.

Y elementinin Cd elementi ilə əvəz olunması $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ifratkeçirici materialın xüsusi müqavimətinin nəzərə çarpacaq dərəcədə artmasına səbəb olur. Eyni zamanda materialın ifratkeçiriciliyə keçid temperaturunun (T_c) qiymətinin azalmasına səbəb olur.

Göstərilmişdir ki, onun faza keçidi (FK) yayılmış xüsusiyyətə malikdir. Bu səbəbdən $Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ifratkeçirici materialın yayılmış faza keçidinin (FK) parametrləri tədqiq edilmişdir: T_0 , a , $L_0(T)$ və dL_0/dT . Müəyyən edilmişdir ki, $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ifratkeçirici polikristalda Y elementinin Cd elementi ilə əvəz olunması

$Y_{0,7}Cd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ifratkeçirici materialın FK sahəsini azaldaraq onun keçidin sürətini (dL_0/dT) artırır.