

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ИСТИННОЙ И РЕЛАКСАЦИОННОЙ ЧАСТЕЙ T_c СИСТЕМЫ 1-2-3 ПРИ ЗАМЕЩЕНИЯХ В РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ И ВаО-ПЛОСКОСТЯХ

© В.П.Дьяконов, Л.Гладчук*, Г.Г.Левченко, Г.Шимчак

Донецкий физико-технический институт Академии наук Украины,
340114 Донецк, Украина

* Институт физики Польской академии наук, 02-668 Варшава, Польша
(Поступила в Редакцию 13 июня 1996 г.)

Проведено экспериментальное исследование влияния давления на истинную и релаксационную части температуры сверхпроводящего перехода (T_c) системы 1-2-3 при замещении иттрия редкоземельным ионом и бария стронцием. Показано, что замещение редкоземельного иона слабо влияет на релаксационную часть изменения T_c под давлением и сильно на истинную. Замещение бария стронцием приводит к сильному изменению релаксационной части T_c под давлением. Полученный результат объяснен влиянием замещения редкоземельного иона на комплекс $\text{CuO}_2\text{-RE}$ и стронция на степень упорядочения кислорода в плоскости CuO .

Расхождение различных экспериментальных данных по исследованию влияния давления на температуру сверхпроводящего (СП) перехода (T_c) YBaCu_3O_x [1-4] было объяснено наличием большого времени релаксации при установлении равновесного распределения кислорода после приложения давления к образцу [5]. Это объяснение стало возможным благодаря разделению вкладов в T_c , обусловленных изменением под давлением параметров решетки (истинное влияние давления ΔT_c^i) и изменением распределения кислорода в CuO -плоскости ΔT_c^r [6]. Разделение полного изменения T_c (ΔT_c) на ΔT_c^i и ΔT_c^r может быть, на наш взгляд, также использовано для изучения характера влияния различных замещений на поведение ВТСП-системы 1-2-3. Действительно, если замещение влияет на степень упорядочения кислорода, то под давлением будет наблюдаться большое отличие релаксационной части изменения T_c . Если же влияние замещения сводится к изменению параметров решетки, то под давлением будет наблюдаться сильное отличие истинной части изменения T_c . Такое утверждение исходит из возможности записи зависимости T_c от давления $T_c(P)$ для системы 1-2-3 в следующем виде:

$$T_c(P) = T_c + \frac{T_c}{T_c^{\max}} \Delta T_c^{\max}(P) = T_c^{\max}(P) \beta [2(n^{\text{opt}} - n) - \Delta n(P)] \Delta n(P), \quad (1)$$

где T_c^{\max} — максимальное значение T_c в данном соединении, $n^{\text{opt}} = (n^{\min} + n^{\max})/2$, $\beta = 1/(n^{\text{opt}} - n^{\min})^2$ [7]. Для YBaCuO n^{\min} — мини-

мальное количество дырок на плоскость CuO_2 , при котором исчезает сверхпроводимость, равное 0.06 дырок/ CuO_2 -плоскость, n^{opt} — количество дырок на плоскость CuO_2 , при котором $T_c = T_c^{\text{max}}$, равное приблизительно 0.25 дырок на CuO_2 -плоскость [7].

В этом выражении второе слагаемое отвечает за изменение T_c под давлением, связанное с изменениями параметров решетки, электрон-фононного взаимодействия, связей между слоями CuO_2 и т. д., и равно ΔT_c^i . Третье слагаемое обусловлено изменением дырок под давлением и приближенно равно ΔT_c^r . Поэтому исследование влияния давления на T_c системы 1–2–3, в которой редкоземельный ион или барий замещены стронцием, позволит определить характер влияния такого замещения на T_c . Для этого нами изучено влияние давления на ΔT_c^i и ΔT_c^r $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ и $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CuO}_x$ и проведено сравнение с имеющимися в литературе данными по влиянию давления на ΔT_c^i и ΔT_c^r $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ [6] и $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CuO}_x$ [8]. Это позволило расширить диапазон замещения как по редкой земле, так и по Sr при исследовании давления на температуру СП-перехода системы 1–2–3.

1. Эксперимент

Соединения $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ и $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CuO}_x$ получены обычным методом, описанным в [8,9]. Содержание кислорода в высоконасыщенных кислородом таблетках было определено методом иодометрического титрования с точностью ± 0.03 . Содержание кислорода, оцененное этим методом, было равно $x = 6.95 \pm 0.03$. Плотность таблетки составляла 90% от теоретической, рассчитанной по параметрам решетки. Каждая из таблеток подвергалась своей термообработке, и содержание кислорода в ней определяли по потере веса. Перед измерениями образцы хранились несколько недель при комнатной температуре, чтобы произошло кислородное упорядочение.

Все магнитные измерения под давлением выполнялись на вибрационном магнитометре PAR Model 450 в интервале температур $T = 4.2$ –100 К. Методика измерения намагниченности сверхпроводящих образцов под давлением при использовании миниатюрного (внутренний диаметр канала 1.43 mm) контейнера типа пистон-цилиндр из немагнитной бериллиевой бронзы была описана в [10].

В процессе эксперимента измеряли температурные зависимости намагниченности образцов, находящихся в контейнере при фиксированных давлениях. Давление создавалось при комнатной температуре. Затем контейнер высокого давления помещали в охлажденный до 4.2 К криостат при величине внешнего магнитного поля, равной нулю. При этом время от момента создания давления до охлаждения составляло не более 5–8 min. В течение этого времени релаксация практически отсутствовала и измеряемое изменение T_c равнялось ΔT_c^i . После измерения контейнер с образцом нагревали до комнатной температуры, выдерживали определенное время и охлаждали опять для проведения измерений. Температура СП-перехода при этом увеличивалась. Это увеличение T_c связано с упорядочением кислорода и равно ΔT_c^r [9]. Время выдержки при комнатной температуре доходило до $t \approx 100$ h. При этих временах релаксационный процесс практически прекращался, и сумма ΔT_c^i и ΔT_c^r составляла полное изменение T_c под давлением.

2. Результаты измерений и их анализ

На рис. 1 представлены зависимости $T_c(x)$ для образцов $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ и $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ совместно с данными для $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ [8]. Из этого рисунка видно хорошее совпадение кривых с одинаковым содержанием стронция, что указывает на достаточно точное определение кислорода в обоих случаях и на возможность сравнения результатов измерений под давлением. Точки СП-перехода для $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ лежат ниже точек T_c для соединений $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ и $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$, что совпадает с общим представлением о понижении T_c при увеличении содержания Sr.

На рис. 2, а представлены зависимости $\Delta T_c/\Delta P(x)$ для исследованного нами $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ и взятых из литературы YBaCu_3O_x [6] и $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ [8]. Эти соединения различаются между собой содержанием стронция. На рис. 2, б представлены зависимости $\Delta T_c/\Delta P(x)$ для исследованного нами соединения $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ и $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ [8]. Эти соединения отличаются друг от друга содержанием редкоземельного элемента. Как в первом, так и во втором случаях видно качественное отличие кривых $\Delta T_c/\Delta P(x)$. В первом случае увеличение содержания стронция приводит к уменьшению максимума $\Delta T_c/\Delta P(x)$ вплоть до полного его исчезновения. В случае замены редкоземельного иона максимум остается, но значение $\Delta T_c/\Delta P(x)$ для $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ значительно меньше в точке максимума, чем для $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$.

На рис. 3, а представлены зависимости $\Delta T_c^i/\Delta P$ от содержания кислорода x для исследованных соединений и для соединения $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$, а на рис. 3, б — зависимости $\Delta T_c^r/\Delta P(x)$ для этих

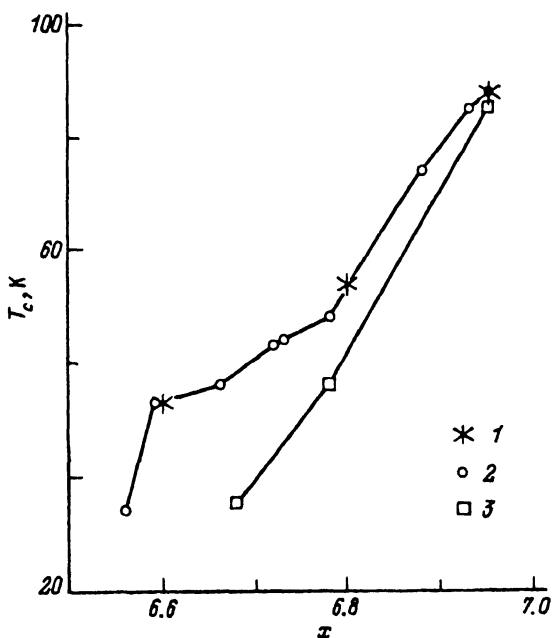


Рис. 1. Зависимость температуры СП-перехода от содержания кислорода в $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ (1), $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ [8] (2) и $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ (3).

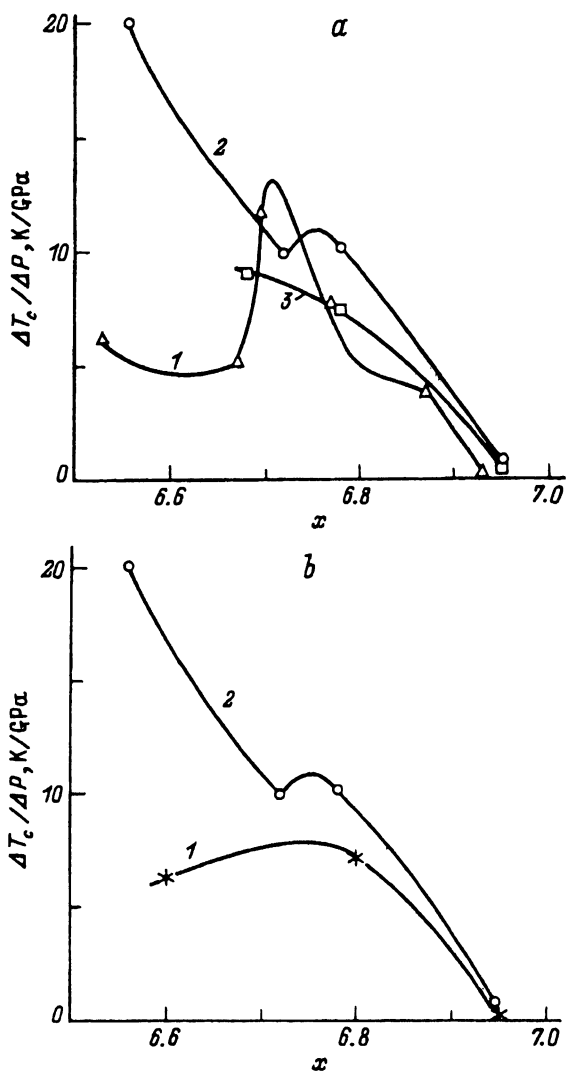


Рис. 2. Зависимость скорости изменения T_c с давлением ($\Delta T_c / \Delta P$) от содержания кислорода.

a) 1 — YBaCu_3O_x [6], 2 — $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ [8], 3 — $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$; б) 1 — $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$, 2 — $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ [8].

же соединений. Несмотря на сильное отличие $T_c(x)$ для соединений $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ и $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$ (рис. 1), наблюдается качественное и практически количественное совпадение $\Delta T_c^i / \Delta P(x)$ для этих соединений (кривые 2 и 3 на рис. 3, а). В то же время замещение иттрия редкоземельным ионом приводит к отличию $\Delta T_c^i / \Delta P(x)$ (кривые 1 и 2 на рис. 3, а) при одинаковой зависимости $T_c(x)$ (рис. 1). Сравнение кривых $\Delta T_c^r / \Delta P(x)$ показывает несколько иную картину (рис. 3, б), а именно лучшее совпадение (наличие максимумов) наблюдается для соединений с различным редкоземельным ионом и одинаковым со-

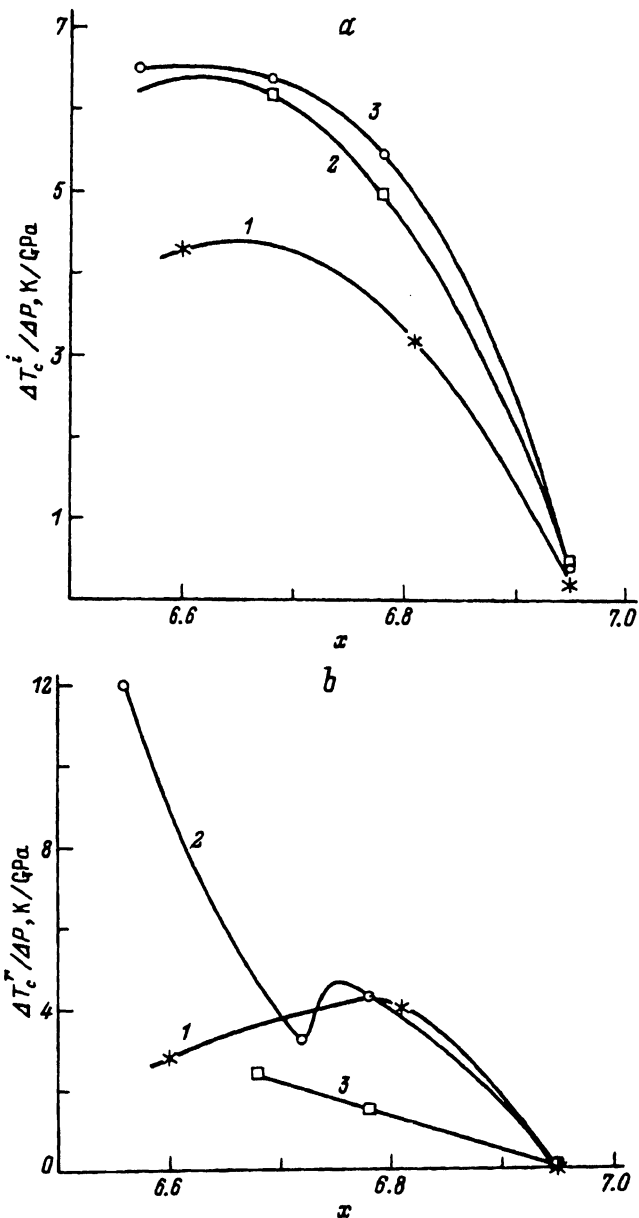


Рис. 3. Зависимости скорости истинного изменения T_c с давлением ($\Delta T_c^i / \Delta P$) (a) и скорости изменения релаксационной части T_c с давлением ($\Delta T_c^r / \Delta P$) (b) от содержания кислорода.
 1 — $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$, 2 — $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$, 3 — $\text{YBaSrCu}_3\text{O}_x$.

держанием стронция (кривые 1 и 2). Изменение содержания стронция приводит к качественному изменению поведения $\Delta T_c^r / \Delta P(x)$ (кривая 3). Учитывая то, что ΔT_c^i определяется изменением связи между CuO_2 -плоскостями, электрон-фононным взаимодействием и т. д., т. е. процессами, не связанными с упорядочением кислорода, отличие кри-

вых $\Delta T_c^i / \Delta P(x)$ для $\text{DyBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$, $\text{YBa}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_3\text{O}_x$ можно объяснить изменением расстояния между CuO_2 -плоскостями при замещении редкоземельного иона. Это приводит к различному характеру зависимости связи между CuO_2 -слоями от давления и отличию кривых 1 и 2 на рис. 3, а. В то же время стронций, располагаясь в BaO -плоскости, не влияет на связь между CuO_2 -плоскостями, и поэтому зависимости $\Delta T_c^i / \Delta P(x)$ для соединений с различным содержанием стронция совпадают (кривые 2 и 3 на рис. 3, а).

Качественное отличие поведения кривых 1 и 2 по сравнению с кривой 3 на рис. 3, б указывает на влияние иона Sr не только на разупорядочение в BaO -плоскости, но и на упорядочение в CuO -плоскости. В то же время совпадение кривых 1 и 2 указывает на отсутствие влияния редкоземельного иона на упорядочение в CuO -плоскости.

Следует также заметить, что использование выражения (1) позволяет рассчитать изменение количества дырок под давлением по изменению ΔT_c^r . Однако, на наш взгляд, это выражение дает возможность только качественного описания изменения T_c и Δn под давлением. Поэтому количественные расчеты с использованием этого выражения мы не проводим.

Таким образом, проведенные исследования влияния давления на ΔT_c^i и ΔT_c^r позволяют сделать следующие выводы: 1) влияние редкоземельного иона на сверхпроводящие характеристики соединения 1-2-3 сводится к изменению связи между CuO_2 -плоскостями и распределению заряда внутри комплекса CuO_2 -редкая земля; 2) замещение в BaO -плоскости (Ba на Sr) оказывает сильное влияние на упорядочение кислорода в CuO -плоскости, чем и обусловлено изменение сверхпроводящих свойств этих соединений.

Авторы глубоко благодарны Н.А. Дорошенко за изготовление образцов, И.М. Фита и В.И. Марковичу за любезно предоставленные неопубликованные результаты; а также М. Баран за помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

- [1] I.V. Medvedeva, Yu.S. Bersenev, B.A. Gizhevsky, N.M. Chebotaev, S.V. Naumov, G.B. Demishev. J. Phys. B: Cond. Matter. **81**, 311 (1990).
- [2] B. Bucher, J. Karpinski, E. Kaldis, P. Wachter. J. Less-Com. Met. **164-165**, 20 (1990).
- [3] C.C. Almasan, S.H. Han, B.W. Lee, L.M. Paulius, M.B. Maple, S.W. Veal, J.W. Downey, A.P. Paulikas, Z. Fisk, J.E. Schriber. Phys. Rev. Lett. **69**, 680 (1992).
- [4] R. Benishke, T. Weber, W.H. Fietz, J. Metzger, K. Grube, T. Wolf, H. Wuhl. Physica **C203**, 293 (1992).
- [5] J. Metzger, T. Weber, W.H. Fietz, K. Grube, U.A. Ludwig, T. Wolf, H. Wuhl. Physica **C214**, 371 (1993).
- [6] W.H. Fietz, J. Metzger, T. Weber, K. Grube, H.A. Ludwig. Proc. Joint AIRAPT/APS (1993).
- [7] R.P. Gupta, M. Gupta. Phys. Rev. **B51**, 17, 11760 (1995).
- [8] М. Баран, Л. Гладчук, В.П. Дьяконов, В.И. Маркович, И.М. Фита, Г. Шимчак. ФТТ **38**, 7, 1998 (1996).
- [9] В.П. Дьяконов, И.М. Фита, Г.Г. Левченко, В.И. Маркович. ФТТ **38**, 3, 827 (1996).
- [10] M. Baran, V.P. Dyakonov, L. Gladchuk, G. Levchenko, S. Piechota, H. Szymchak. Physica **C241**, 383 (1995).