

## Получение сверхпроводящей керамики $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ и исследование ее электрофизических свойств

В.М. Алиев, С.А. Алиев, С.С. Рагимов, Г.Дж. Султанов, Б.А. Таиров

*Институт физики НАН Азербайджана, пр. Г. Джавида, 33, Баку, 1143, Азербайджан*

E-mail: v\_aliev@bk.ru

Статья поступила в редакцию 30 октября 2009 г, после переработки 13 мая 2010 г.

Получен новый сверхпроводящий керамический материал состава  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Установлено, что при полном замещении иттрия на кадмий в системе  $\text{Y-Ba-Cu-O}$  сохраняется сверхпроводящий переход (при 86 К). Методом рентгенофазного анализа установлено, что кристаллическая структура при замене Y на Cd в составе  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  остается неизменной, идентифицированные пики совпадают. На температурной зависимости удельного сопротивления наряду со стабильным СП переходом вблизи 275 К обнаружен фазовый переход, который при повторных циклах измерений смещался в сторону низких температур (252 К), а затем полностью исчезал. Исследование температурной зависимости теплопроводности  $k$  в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  показали, что до СП перехода  $k$  слабо зависит от температуры. Замещение иттрия кадмием в исходном ВТСП материале привело к значительному возрастанию решеточной теплопроводности. В результате измерений термоэдс определено, что термоэдс  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  имеет положительный знак, а термоэдс  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  — отрицательный знак проводимости.

Отримано новий надпровідний керамічний матеріал складу  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Встановлено, що при повному заміщенні іттрія на кадмій у системі  $\text{Y-Ba-Cu-O}$  зберігається надпровідний перехід (при 86 К). Методом рентгенофазового аналізу встановлено, що кристалічна структура при заміні Y на Cd у складі  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  залишається незмінною, ідентифіковані піки співпадають. На температурній залежності питомого опору поряд з стабільним НП переходом поблизу 275 К виявлено фазовий перехід, який при повторних циклах вимірів зміщувався у бік низьких температур (252 К), а потім повністю зникав. Дослідження температурної залежності теплопровідності  $k$  у  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  та  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  показали, що до НП переходу  $k$  слабо залежить від температури. Заміщення ітрія кадмієм у істотному ВТНП матеріалі привело до значного зростання ґраткової теплопровідності. У результаті вимірів термоерс визначено, що термоерс  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  має позитивний знак, а термоерс  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  — негативний знак провідності.

PACS: 74.72.Bk Купраты на основе Y.

Ключевые слова: сверхпроводимость,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , электронная проводимость, термоэдс, теплопроводность.

### Введение

Со времени открытия ВТСП в купратных материалах предпринимались попытки улучшения сверхпроводящих характеристик путем изоморфных замещений одного из компонентов. Отметим, что  $\text{Y-Ba-Cu-O}$ , несмотря на максимальное число возможных изоморфных замещений [1–8], не входит в число систем, где изоморфное гетеровалентное замещение приводит к увеличению температуры перехода  $T_c$ . Несмотря на это, исследование замещения в классической структуре  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  остается актуальной проблемой, поскольку позволяет сделать определенные выводы о механизме сверхпроводимости и вкладе в сверхпрово-

димости Y, Ba, Cu слоев. Наиболее детально исследовано замещение иттрия на редкоземельные элементы: Nd, Tm, Sm, Gd, Er, Yb, La, Dy, Ho и т.д. Иттрий замещается большинством лантанидов, и это не приводит к ухудшению сверхпроводящих свойств (если не используются церий и празеодим).

Несмотря на гетеровалентность иттрия и кадмия, они близки по ионному радиусу, это дало основание для проведения исследований по замещению в  $\text{Y-Ba-Cu-O}$  иттрия на кадмий.

Ранее нами в работах [9,10] было произведено в системе  $\text{Y-Ba-Cu-O}$  частичное замещение иттрия на кадмий. Получение  $\text{Y}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  проводилось в два

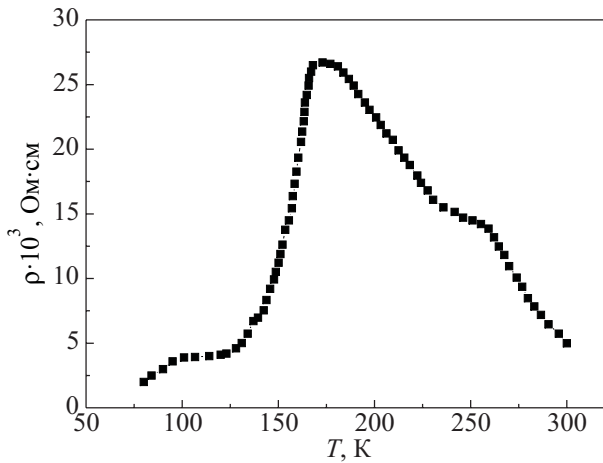


Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления образца  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , полученного по технологии [9,10].

этапа. На первом этапе исходные компоненты в стехиометрическом соотношении перемешивались и отжигались в воздушной среде при температуре 1123 К в течение 25 часов. На втором этапе полученные составы отжигались в среде кислорода ( $P = 1,2-1,5$  атм) при температуре 1193 К в течение 25 часов и медленно охлаждались до комнатной температуры. Было рассмотрено влияние подобного замещения на электрические свойства. Установлено, что при замещении иттрия кадмием в составе  $\text{Y}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  до  $x = 0,8$  сверхпроводящий переход (СП) сохраняется при  $T_c \sim 86-90$  К. При полной замене Y на Cd в составе  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  были получены высокоомные образцы, обладающие СП при более низких температурах (рис. 1). Однако характер кривых предсказывал возможность получения

сверхпроводящего состояния в более низкоомных образцах  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  за счет изменения технологического режима. Отметим, что имелось сообщение о возможности улучшения СП параметров путем поиска оптимального режима синтеза [11].

В данной работе поставлена задача получения сверхпроводящей керамики  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  с помощью изменения технологического режима синтеза, проведения рентгенофазного анализа и исследования влияния полной замены Y на Cd на ее электрофизические свойства.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Исходные компоненты ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ , CdO,  $\text{BaCO}_3$  и CuO) составов  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в стехиометрическом соотношении перемешивались, прессовались и отжигались в платиновом тигле в воздушной среде при 1193 К в течение 22 часов. По завершении нагрева полученный материал заново перетирался, прессовался и выдерживался при этой температуре еще пять часов. Затем температура повышалась до 1273 К, и материал выдерживался при этой температуре в течение одного часа. Далее температура понижалась до прежнего уровня, после двухчасовой выдержки материал медленно охлаждался до комнатной температуры.

С целью определения фазового состава полученных ВТСП материалов образцы  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  были подвергнуты рентгенофазовому анализу. Рентгенофазовый анализ произведен на дифрактометре ДРОН-3,0 с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Результат анализа представлен на рис. 2. Экспериментальные и расчетные величины межплоскостных расстояний в

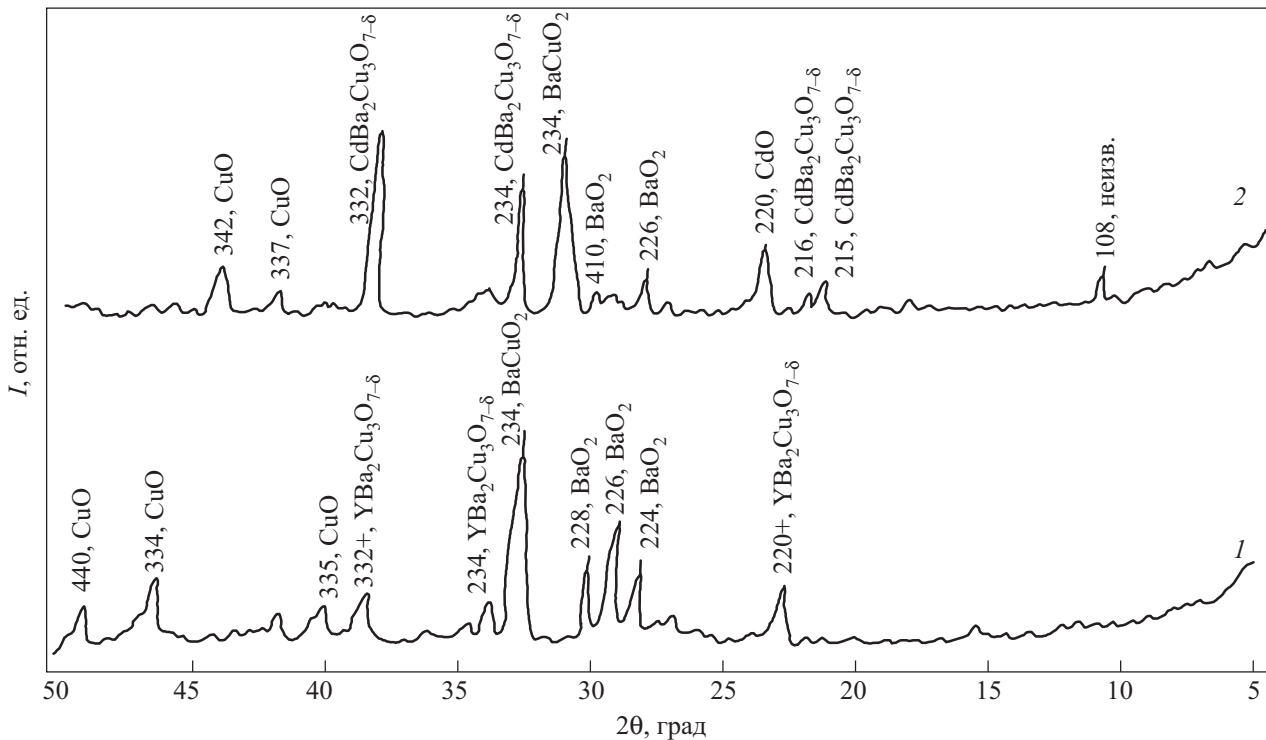


Рис. 2. Рентгенограмма образцов:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (1),  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (2).

них хорошо согласуются. Дифракционные пики на рентгенограмме образцов идентифицируются в орторомбической ячейке с параметрами,  $a = 3,82 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,88 \text{ \AA}$  и  $c = 11,68 \text{ \AA}$ . На основе рентгенограммы выявлено, что при замене Y на Cd все идентифицированные пики совпадают с незначительными смещениями дифракционных углов. Таким образом, нами были получены сверхпроводящие керамики состава  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Электрические измерения проводились четырехзондовым методом на постоянном токе. Измерительный ток составлял 2 мА. Регистрация температуры проводилась с помощью медь-константановых термопар. Термопары приклеивались серебряной пастой на грань образца на расстоянии 8 мм. Для устранения паразитной эдс, вызванной перепадом температуры между их холодными и теплыми концами, перед выходом из ячейки, где монтируется образец, медь-константановые провода наматывались на медный стержень (имеющий контакт с хладагентом) и фиксировались клеем БФ-2. Регистрация сигналов с термопар производилась с помощью компаратора напряжений, что делало возможным практически полностью скомпенсировать паразитные эдс до начала измерений. Температурный шаг измерений зависимости  $\rho(T)$  составлял 0,5–1 К.

Содержание кислорода в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  было определено по методике, описанной в работе [12], индексы по кислороду полученных образцов составляют 6,83 и 6,55 соответственно.

Результаты измерения температурной зависимости удельного сопротивления  $\rho(T)$  образца  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в интервале 77–300 К представлены на рис. 3. Видно, что при 275 К  $\rho(T)$  проходит через глубокий минимум (рис. 3, кривая 1). При повторном измерении (после 72 часов) минимум сместился в сторону низкой температуры (252 К) (рис. 3, кривая 2), а при третьем измерении (еще через 24 часа) минимум исчез полностью

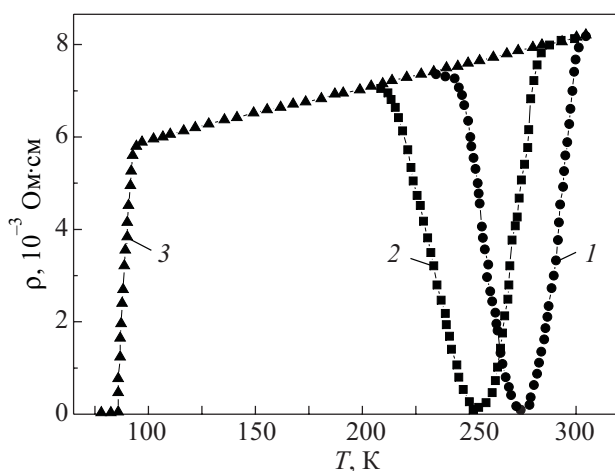


Рис. 3. Температурные зависимости удельного сопротивления образца  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

(рис. 3, кривая 3). На рис. 3 видно, что поведение высокотемпературных минимумов на зависимостях  $\rho(T)$  подобно поведению сверхпроводящих переходов. Для подтверждения существования этих особенностей требуются дополнительные исследования.

В последние годы в литературе появился цикл работ, посвященных псевдощелевым эффектам в ВТСП материалах [13–22]. Как отмечается в этих работах, псевдощель — уникальное явление, обнаруженное только в ВТСП. Оно проявляется при измерениях туннелирования, фотоэмиссии, теплоемкости и других свойств ВТСП. Считается, что при некоторой температуре  $T^* > T_c$  перераспределяется плотность состояний на поверхности Ферми: на части этой поверхности плотность состояний уменьшается. Ниже температуры  $T^*$  соединение находится в состоянии с псевдощелью.

Подобные псевдощелевые явления наблюдались в работах [16–22] как в легированных, так и в замещенных образцах ВТСП материалов. В этих работах обсуждены возможные механизмы образования псевдощелевого состояния в ВТСП материалах.

Считаем, что обнаруженные нами глубокие минимумы на температурной зависимости сопротивления  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , вероятно, связаны с псевдощелевым состоянием образца. Замещение в иттриевых ВТСП иттрия на кадмий, на наш взгляд, приводит к формированию куперовских пар электронов при температурах выше критической  $T^* \gg T_c$  и создаются условия для образования псевдощели [23] с последующим установлением их фазовой когерентности при  $T^* < T_c$ .

Результаты измерений температурной зависимости удельных сопротивлений  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в интервале температур 77–200 К представлены на рис. 4. Как видно, зависимость  $\rho(T)$  в нормальной фазе имеет металлический ход, переходы в СП состояние происходят при 90 и 86 К соответственно. Видно, что удельное сопротивление  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  почти в 5 раз меньше, чем в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , полученном при одинаковых условиях синтеза.

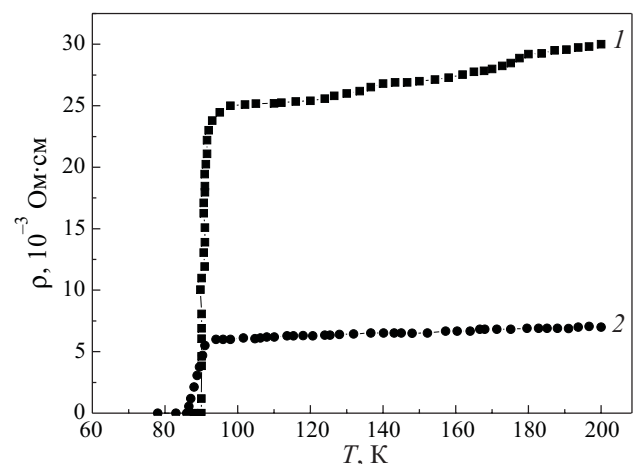


Рис. 4. Температурные зависимости удельного сопротивления образцов:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (1),  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (2).

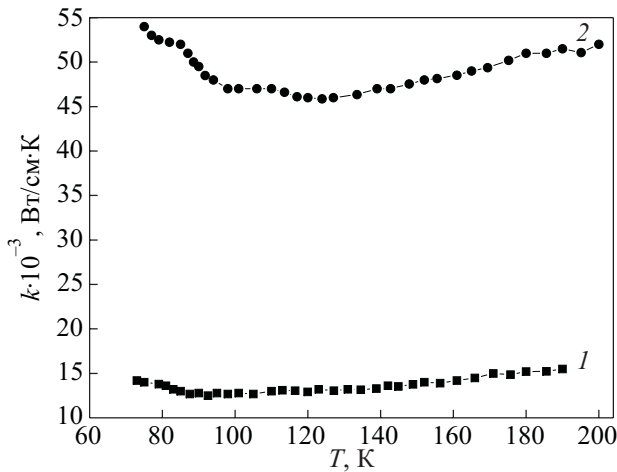


Рис. 5. Температурные зависимости теплопроводности образцов:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (1),  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (2).

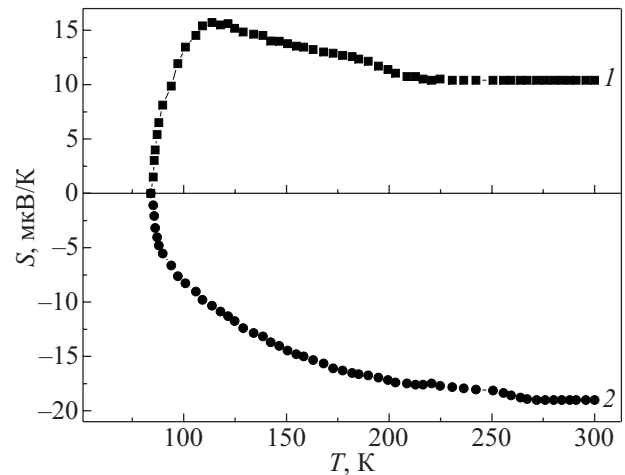


Рис. 6. Температурные зависимости термоэдс:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (1),  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (2).

Исследования теплопроводности высокотемпературных сверхпроводников представляют интерес, поскольку могут дать дополнительную информацию о качестве этого материала. С этой целью была исследована теплопроводность  $k$   $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в интервале температур 70–300 К. На рис. 5 приведены данные о зависимости  $k(T)$ . Электронная доля теплопроводности  $k_e$  была оценена согласно соотношению Видемана–Франца ( $k_e = LT/\rho$ , где  $L$  — число Лоренца) с учетом степени вырождения и механизма рассеяния электронов. Несмотря на то, что в кадмиевом ВТСП  $k_e$  в 4 раза превышает величину  $k_e$  в иттриевых керамиках, их относительные доли  $k_e$  в общей теплопроводности близки (составляют соответственно 1,4 и 1,1%), поскольку полное замещение Y на Cd приводит к возрастанию  $k_{\text{sum}}$  в 3 раза. Поэтому общую теплопроводность  $k_{\text{sum}}(T)$  можно принять за решеточную теплопроводность. Возрастание решеточной теплопроводности дает основание считать, что полное замещение атомов Y на Cd приводит к значительному уменьшению концентрации дефектов в  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , что и улучшает его качество по сравнению с иттриевой ВТСП.

С целью определения влияния замещения Y на Cd в Y-содержащих ВТСП материалах на носители заряда были проведены исследования термоэдс  $S$ . Результаты измерений  $S$  в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  представлены на рис. 6. Видно, что термоэдс  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  имеет положительный знак, а для  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$   $S < 0$ . При понижении температуры термоэдс  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  уменьшается, а термоэдс  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  слегка возрастает. При переходе в СП состояние  $S$  обоих образцов резко падает до нуля. Тот факт, что частичное замещение иттрия редкоземельными элементами несущественно влияет на  $T_c$  в иттриевых ВТСП, свидетельствует о том, что именно подрешетка Cu–O ответственна за

его сверхпроводящие свойства [24]. В [25] экспериментально подтверждено существование в ВТСП фазе ионов меди в состоянии  $\text{Cu}^{1+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{3+}$ , т.е. считается общепринятым, что смешанную валентность обеспечивает движение заряда. Исследования полученных составов методами рентгенофазного и нейтронографического анализа [12] позволили заключить, что плоскость, в которой лежит атом иттрия, вакантна по отношению к кислороду. Замещение иттрия на кадмий, на наш взгляд, исключает этот недостаток в плоскости элементарной ячейки  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Это дает основание считать, что отрицательный знак термоэдс обусловлен насыщением этого состава кислородом. Косвенным подтверждением такого вывода могут служить и результаты работы [12]. В ней экспериментально установлено, что пересыщение иттриевых керамик кислородом ( $\delta < 0$ ) приводит к значениям  $S < 0$ . При этом температурная зависимость  $\rho(T)$  и значение  $T_c$  не изменяются, что подтверждает общую концепцию модели узкой зоны [26].

В конце отметим, что, вероятно, результаты наших исследований могут иметь определенный интерес для теоретического понимания механизма сверхпроводимости.

### Заключение

В результате проведенного исследования получены ВТСП материалы типа  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ; методом рентгенофазного анализа установлено, что при замене в составе  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Y на Cd кристаллическая структура сохраняется. В результате такой замены удельное сопротивление  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  значительно уменьшается по сравнению с базовым составом, а теплопроводность возрастает. Исследования показали, что термоэдс  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  обладает  $n$ -типом проводимости, тогда как в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  —  $p$ -типом.

1. T. Suzuki, T. Yamazaki, and R. Sekine, *J. Mat. Sci. Lett.* **8**, 381 (1989).
2. V.N. Narozhnyi and V.N. Kochetkov, *Phys. Rev.* **B53**, 5856 (1996).
3. M. Murakami, N. Sakai, and T. Higuchi, *Supercond. Sci. Technol.* **12**, 1015 (1996).
4. А.Л. Соловьев, В.М. Дмитриев, *ФНТ* **33**, 32 (2007) [*Low Temp. Phys.* **33**, 23 (2007)].
5. Р.В. Вовк, М.А. Оболенский, А.А. Завгородний, А.В. Бондаренко, М.Г. Ревякин, *ФНТ* **33**, 546 (2007) [*Low Temp. Phys.* **33**, 408 (2007)].
6. Л.П. Козеев, М.Ю. Каменев, А.И. Романенко, О.Б. Аникеева, В.Е. Федоров, *Материалы 6-й международной конференции «Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение»*: Александров, 8–12 сентября 2003, Изд-во ВНИИСИМС.
7. Е.В. Якубович, Н.Н. Олейников, В.А. Кецко, И.В. Архангельский, *Докл. РАН* **386**, 502 (2002).
8. S. Kambe, G. Samukama, K. Yamaguchi, O. Ishu, I. Shime, T. Nomura, S. Ohshima, K. Okuyama, T. Itoh, H. Suematsu, and H. Yamauchi, *Solid State Phys.* **108**, 283 (1998).
9. S.A. Aliev, J.A. Baghiro, S.S. Ragimov, S.A. Huseyrov, V.M. Aliev, I.A. Ismailov, and A.Sh. Mechtiev, *Proc. 2nd Intern. Conf. on Rare Earth Development and Application V*, Beijing, China, May 27–31 (1991).
10. S.A. Aliev, S.S. Ragimov, and V.M. Aliev, *Fizika* **10**, No. 4, 42 (2004).
11. Е.А. Гудилин, А.П. Солошенко, В.В. Ленников, А.В. Кнотько, Д.А. Ветошкин, Н.Н. Олейников, Ю.Д. Третьяков, *Ж. неорганической химии* **45**, 917 (2000).
12. *Высокотемпературные сверхпроводники*, Д. Нелсон, М. Уиттинхем, Т. Джордж (ред.), Наука, Москва (1988).
13. М.В. Садовский, *УФН* **171**, 539 (2001).
14. М.Р. Трунин, *УФН* **175**, 1017 (2005).
15. Е.Б. Амитин, К.Р. Жданов, А.Г. Блинов, М.Ю. Каменева, Ю.А. Ковалевская, Л.П. Козеева, И.Е. Пауков, *ФНТ* **31**, 323 (2005) [*Low Temp. Phys.* **31**, 241 (2005)].
16. Г.Г. Сергеева, *ФНТ* **32**, 761 (2006) [*Low Temp. Phys.* **32**, 502 (2006)].
17. Л.А. Боярский, *ФНТ* **32**, 1078 (2006) [*Low Temp. Phys.* **32**, 819 (2006)].
18. А.Л. Соловьев, В.М. Дмитриев, *ФНТ* **32**, 139 (2006) [*Low Temp. Phys.* **32**, 99 (2006)].
19. А.Л. Соловьев, В.М. Дмитриев, *ФНТ* **32**, 753 (2006) [*Low Temp. Phys.* **32**, 576 (2006)].
20. Г.Г. Сергеева, А.А. Сорока, *ФНТ* **33**, 864 (2007) [*Low Temp. Phys.* **33**, 639 (2007)].
21. А.Л. Соловьев, В.М. Дмитриев, *ФНТ* **35**, 227 (2009) [*Low Temp. Phys.* **35**, 169 (2009)].
22. М.А. Оболенский, Р.В. Вовк, А.В. Бондаренко, *ФНТ* **32**, 1488 (2006) [*Low Temp. Phys.* **32**, 1131 (2006)].
23. А.И. Головашкин, ФИАН им. П.Н. Лебедева, *Препринт* № 10, Москва (2005).
24. E.M. Engler, V.Y. Lee, A.I. Nazzari, R.B. Beyera, G. Lim, S.S. Parkin, P.M. Grant, M.L. Ramirez, J.E. Varquer, and R.J. Savoy, *J. Amer. Chem. Soc.* **109**, 2848 (1987).
25. В.В. Немошкаленко, В.Х. Касияненко, Л.И. Николаев, П.В. Гель, С.К. Топлыго, А.Е. Морозовский, *СФХТ* **3**, № 6, ч. 1, 1051 (1990).
26. С.А. Казьмин, В.И. Кайданов, Г. Лейсинг, *ФТТ* **30**, 2955 (1988).

### Preparation of $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconducting ceramic and investigation of its electrophysical properties

V.M. Aliev, S.A. Aliev, S.S. Ragimov,  
G.J. Sultanov, and B.A. Tahirov

A new superconducting ceramic material  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  is obtained. It is found that a complete substitution Cd for Y the superconducting transition (86 K) in Y–Ba–Cu–O system is retained. The x-ray phase analyses demonstrates that on substitution Cd for Y the crystal structure remains unchanged and the identified peaks are coincident. The temperature dependence of specific resistivity displays, along with the stable SP transition, a phase transition at 275 K which in repeated experimental cycles is shifted towards lower temperatures (252 K), and it vanishes totally. The investigations of thermal conductivity  $k$  for  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  and  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  indicate that prior to the SP transition  $k$  is weakly dependent on temperature. The substitution Cd for Y in the initial HTSP material causes the lattice heat conductivity to increase considerably. The experimental data show that in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  the thermal emf is positive while in  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  it is negative.

PACS: 74.72 Bk Y-based cuprates.

Keywords: superconductivity,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , electron conductivity, thermal power, thermal conductivity.