Физика низких температур, 1996, т. 22, № 10, с. 1226–1232

Аномалии магнитных, акустических свойств и параметров структуры керамических ВТСП материалов в интервале температур 100–300 К

С. Г. Титова, Т. И. Арбузова, В. Ф. Балакирев, О. М. Федорова

Институт металлургии УрО РАН, Россия, 620219, г. Екатеринбург, ГСП-812, ул. Амундсена, 101

П. П. Паль-Валь, Л. Н. Паль-Валь

Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины, Украина, 310164, г. Харьков, пр. Ленина, 47

Статья поступила в редакцию 4 августа 1995 г., после переработки 19 апреля 1996 г.

В ВТСП керамических образцах систем 2201-, 2212-, 2223-BSCCO и 123-, 124-YBCO в интервале 80–300 К исследованы температурные зависимости параметров элементарной ячейки (ПЭЯ) и *dc*-магнитной восприимчивости, а также акустических свойств в интервале 5–300 К. Обнаруженные особенности температурных зависимостей ПЭЯ для сверхпроводящих образцов в виде перегибов или максимумов при T_1 в интервале 190 К < T_1 < 270 К и минимумов при $T_0 \approx T_c + 15$ К коррелируют с пиками внутреннего трения, наблюдающимися в тех же температурных областях. Отсутствие указанных особенностей на зависимостях ПЭЯ от температуры в образцах, в которых сверхпроводящий переход не имеет места, позволяют сделать предположение об их связи с характеристиками образца, ответственными за явление сверхпроводимости в этих соединениях.

В ВТНП керамічних зразках систем 2201-, 2212-, 2223-BSCCO та 123-, 124-YBCO в інтервалі 80–300 К досліджено температурні залежності параметрів елементарної комірки (ПЕК) і *dc*-магнітної сприйнятливості, а також акустичних властивостей в інтервалі 5–300 К. Знайдені аномалії температурних залежностей ПЕК для надпровідних зразків у вигляді перегинів або максимумів при T_1 в межах 190 К < T_1 < 270 К і мінімумів при $T_0 \approx T_c + 15$ К корелюють з піками внутрішнього тертя, що спостерігаються в цих самих межах температур. Відсутність вказаних особливостей на залежностях ПЕК від температури в зразках, які не мають надпровідного переходу, дозволяють зробити припущення про їх зв'язок з тими характеристиками зразків, що відповідають за явище надпровідності у цих сполуках.

1. Введение

При изучении свойств ВТСП неоднократно предпринимались попытки найти в структуре этих соединений различия между нормальным и сверхпроводящим состояниями. Различными структурночувствительными методами были получены многочисленные и весьма противоречивые данные о наличии аномалий физических свойств ВТСП соединений в непосредственной окрестности или несколько выше температуры сверхпроводящего перехода T_c, а также в области температур 190–270 К (см., например, обзор [1]).

Авторы [2–9], изучая дилатометрическими методами соединение 123-YBCO с различным содержанием кислорода, зарегистрировали сложное поведение коэффициента теплового линейного расширения (КТЛР) в указанных температурных интервалах. В частности, в [3–9] наблюдались аномалии КТЛР в окрестности T_c. В работах разных авторов характер аномалий был существенно различным: провалы, пики или *N*-образное изменение КТЛР. В работах [8,10,11] аналогичные данные были получены для керамик 2212-, 2223-BSCCO и TBCCO. В большинстве случаев величина КТЛР была положительной, но в работах [8,9] вблизи T_c отмечался переход КТЛР в область отрицательных значений. Вместе с тем все авторы, исследовавшие ВТСП соединения в интервале температур выше T_c [2,6,8,9,11], обнаружили аномальное поведение КТЛР при температурах 190–270 К. В этой же температурной области наблюдались аномалии и для соединения CuO [12].

Исследование температурной зависимости параметров элементарной ячейки (ПЭЯ) рентгено-

© С. Г. Титова, Т. И. Арбузова, В. Ф. Балакирев, О. М. Федорова, П. П. Паль-Валь, Л. Н. Паль-Валь, 1996

вскими [13–21] и нейтронографическими [22,23] методами также выявило ряд аномальных эффектов, в основном плохо согласующихся с данными дилатометрических исследований. Основное противоречие между этими данными состоит в том, что на температурных зависимостях ПЭЯ часто наблюдаются протяженные температурные области, где параметры решетки либо практически не зависят от температуры, либо имеет место немонотонное изменение величины ПЭЯ (минимумы), что должно было бы соответствовать нулевым или отрицательным значениям КТЛР при температурах ниже температуры минимумов. Как уже отмечалось, такие значения КТЛР были зарегистрированы лишь в единичных случаях. Следует, однако, отметить, что температурные области, в которых наблюдается аномальное поведение ПЭЯ, как правило, перекрываются с температурами аномалий КТЛР.

Исследование акустических свойств различных ВТСП керамик выявило ряд аномалий на температурных зависимостях поглощения энергии упругих колебаний (декремента, внутреннего трения) и скорости их распространения (упругих модулей). В [24] проведен анализ наиболее характерных и достоверно установленных в акустических экспериментах фактов — пиков поглощения и температурного гистерезиса упругих свойств 123-YBCO. Показано, что пики поглощения в области температур 80–140 K имеют релаксационную природу, их положение на оси температур зависит от частоты колебаний и не связано с температурой перехода в сверхпроводящее состояние (т. е. в зависимости от частоты колебаний одни и те же пики могут наблюдаться и выше, и ниже T_c). Характерной особенностью указанных релаксационных пиков является их чувствительность к содержанию кислорода в образцах (см., например, [25–27]). Физическая природа этой группы пиков до сих пор окончательно не установлена, однако невысокие значения энергий активации соответствующих термоактивированных релаксационных процессов (E = 0,14–0,20 эВ) могут свидетельствовать о кооперативном характере перемещений в подсистеме кислородных атомов или вакансий. Для сравнения эксперименты по индивидуальной (диффузионной) подвижности кислорода в 123-YBCO дают существенно более высокие значения E = 0,5–1,3 эВ [28–30].

Положение пиков поглощения вблизи 230 K слабо зависит от частоты, что может свидетельствовать о наличии здесь фазовых переходов. При сравнительном исследовании частотных зависимостей акустических свойств керамик 123-YBCO и CuO в [31] было показано, что фазовые переходы в окрестности 230 K в обоих соединениях имеют, повидимому, одну и ту же физическую природу и должны быть типа порядок—беспорядок.

Другим экспериментальным свидетельством структурных изменений в 123-YBCO при термоциклировании является наличие широкого температурного гистерезиса упругих модулей, границы которого лежат примерно между 50–60 K и 200–250 K (см., например, [32,33]). Границы и величина гистерезиса в керамиках не зависят от содержания кислорода и определяются, скорее всего, технологическими факторами (текстурой образцов, размером зерен и пористостью). В монокристаллах обнаруживается сильная анизотропия параметров гистерезиса [34]. Гистерезис подобного типа наблюдается также и в керамиках CuO [31].

На структурные изменения в 123-YBCO в области температур ниже комнатной указывают результаты, полученные и другими методами: при измерении магнитной восприимчивости [35], термоэдс [36], в экспериментах по комбинационому рассеянию [37], методами дифференциального термического анализа (ДТА), при измерении удельной теплоемкости [38], теплопроводности [39,40] и др. Однако, как правило, полученные данные относятся к образцам, приготовленным по различным технологиям и из различного сырья, что неизбежно приводит к неоднозначности результатов ввиду сильной чувствительности свойств ВТСП соединений к технологическим факторам. Представляет несомненный интерес проведение цикла исследований различными методами на одних и тех же образцах. В настоящей работе в интервале температур 5–300 K проведено комплексное исследование свойств керамик ВТСП различного состава ультразвуковыми, магнитными и кристаллографическими методами. Изучены фазы 123 и 124 системы YBCO и фазы 2201, 2212, 2223 системы BSCCO. Измерения *dc*-магнитной восприимчивости выполнены в Институте физики металлов УрО РАН, кристаллографические исследования — в Институте металлургии УрО РАН, акустические исследования и измерение *ac*-магнитной восприимчивости проведены в ФТИНТ им. Б. И. Веркина НАН Украины.

2. Методика эксперимента

Приготовление образцов керамики 123-YBCO с различным содержанием кислорода и 124-YBCO описано в [25] и [41] соответственно; фаз 2201, 2212 и 2223 системы BSCCO — в [42–44]. В по-

следнем составе 20 ат. % висмута замещено свинцом ($Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_{1,6}Ca_2Cu_{2,8}O_x$).

Содержание кислорода в образцах 123-YBCO $YBa_2Cu_3O_x$ определяли методом ДТА на дериватографе Q-1500 (точность $\Delta x = 0{,}05$), а также используя зависимости величин ПЭЯ от концентрации кислорода [45,46]. Полученные значения совпадали в пределах точности метода ДТА.

Акустические свойства образцов изучались методом двойного составного вибратора на частотах 50–90 кГц в интервале температур 5–300 К. Методика ультразвуковых измерений описана в [47]. Измерения проводились как при охлаждении, так и при отогреве образцов. Скорость изменения температуры составляла ~ 1 К/мин. Относительная точность поддержания температуры была не хуже 10^{-4} во всем исследованном интервале температур.

Измерения *dc*-магнитной восприимчивости проводили на магнитных весах Фарадея в постоянном поле 0,9 Тл [35], а *ac*-магнитной восприимчивости дифференциальным индукционным методом в переменном магнитном поле частотой 1 кГц и амплитудой 0,11 мТл [48].

Низкотемпературные структурные исследования проводились с использованием криостата на жидком азоте на дифрактометре ДРОН-1УМ в CuK_α-излучении с никелевым фильтром. Параметры решетки определяли по 8–10 рентгеновским рефлексам с интенсивностью большей 30%, точность определения параметра *c* была не менее $2 \cdot 10^{-4}$ нм и соответственно не менее $1 \cdot 10^{-4}$ нм для параметров *a* и *b*. Стандартное отклонение при определении величины ПЭЯ составляло 0,013. Измерения проводили в атмосфере газообразного гелия. Съемку проводили при охлаждении со скоростью 5 К/мин, время выдержки при каждом значении температуры 15–30 мин, шаг 5–10 К. Точность поддержания температуры 2 К в диапазоне 250–300 К и 1 К при более низких температурах.

3. Результаты

Температура перехода в сверхпроводящее состояние определялась путем измерения *ac*-магнитной восприимчивости (см. рис. 1 и таблицу). В образце 2201-BSCCO при измерениях вплоть до 4,2 К переход в сверхпроводящее состояние не обнаружен.

Температурные зависимости параметров элементарных ячеек показаны на рис. 2 и 3 для образцов системы YBCO и BSCCO соответственно. Для ПЭЯ изученных нами ВТСП можно отметить следующие характерные особенности: при понижении температуры от 300 К до некоторого значения T_1, различного для разных образцов (см. таблицу), наблюдается сильное, почти линейное уменьшение ПЭЯ с температурой, затем при T_1 небольшой максимум ПЭЯ, слабая температурная зависимость в интервале $T_0 < T < T_1$, где $T_0 \approx T_c + 15$ К, и небольшой минимум при температуре T_0. Исключение составляют образцы 123-YBCO с содержанием кислорода $x < 6{,}5$ и 2201-BSCCO, который не обнаруживает перехода в сверхпроводящее состояние. Температурные зависимости ПЭЯ этих образцов не имеют описанных выше особенностей в виде максимума и минимума (см., например, рис. 3, кривые *a1*, *c1*); однако излом на температурной зависимости ПЭЯ сохраняется. Другим исключением является образец 124-YBCO, для которого минимум ПЭЯ вблизи $T_0 = 97$ К заметен только для периода *b* (рис. 2, кривая *b2*).

Таблица

Образец	T_c, К	T_0, К	T_1, К	T_{max}, К	Θ, К
123-YBCO	93	110	245	225	−69
124-YBCO	73	98	262	–	–
2201-BSCCO	–	–	222	275	−12
2212-BSCCO	86	106	228, 262	261	−6
2223-BSCCO	112	128	218	–	−80

Следует отметить, что для составов 123-YBCO и 2223-TBCCO аномалия параметров элементарной ячейки вблизи перехода в сверхпроводящее состояние отмечалась в работах [15,18] в виде минимума, в [14] в виде разрыва зависимости $c(T)$ и в [13,20] как скачкообразное уменьшение величин

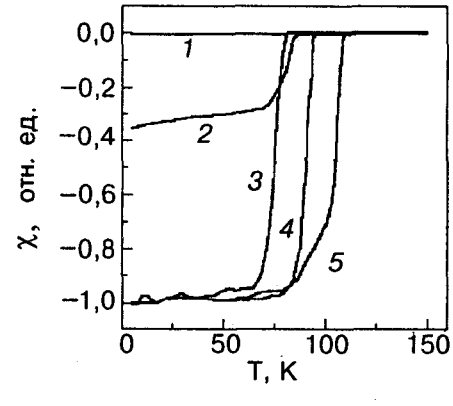

Рис. 1. Температурные зависимости *ac*-магнитной восприимчивости для образцов 2201-BSCCO (*1*); 2212-BSCCO (*2*); 124-YBCO (*3*); 123-YBCO (*4*); 2223-BSCCO (*5*).

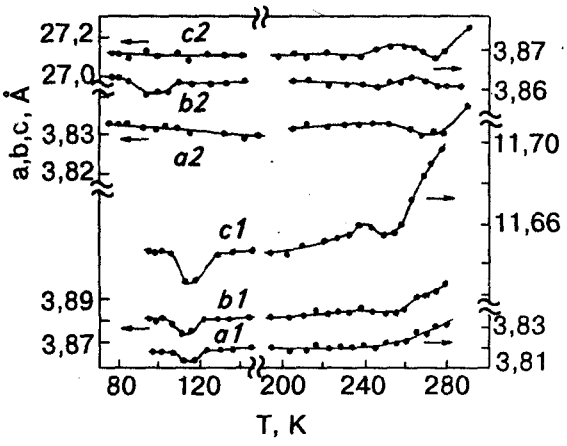

Рис. 2. Температурные зависимости параметров элементарной ячейки для образцов иттриевых керамик: 123-YBCO (*a1*, *b1*, *c1*); 124-YBCO (*a2*, *b2*, *c2*).

параметров. Нами показано, что для всех исследованных ВТСП соединений эта аномалия имеет вид минимума. Вторая, более высокотемпературная аномалия при $T = T_1$ в виде максимума вблизи излома на температурной зависимости параметров элементарной ячейки описана здесь впервые.

Для использованных нами образцов керамики 123-YBCO при первом охлаждении наблюдается поведение величин ПЭЯ, схожее с описанным в [17]. При втором и третьем (с интервалом в несколько суток) циклах измерений характер температурных зависимостей приобретает вид, приведенный на рис. 2 и сходный с другими ВТСП составами (рис. 2 и 3).

Результаты измерений температурных спектров внутреннего трения изученных образцов показаны на рис. 4. Там же для сравнения приведен температурный спектр керамики CuO [31]. Поскольку зависимости, полученные при понижении и повышении температуры, существенно не различались, на рис. 4 приведены лишь кривые, полученные при отогреве образцов. Температурные спектры внутреннего трения сверхпроводящих систем BSCCO, YBCO и керамики CuO имеют общие особенности — пики в области температур 100–200 K и 220–270 K. Спектр сверхпроводящих систем 123-YBCO, в отличие от других соединений, в области 100–140 K содержит два релаксационных пика.

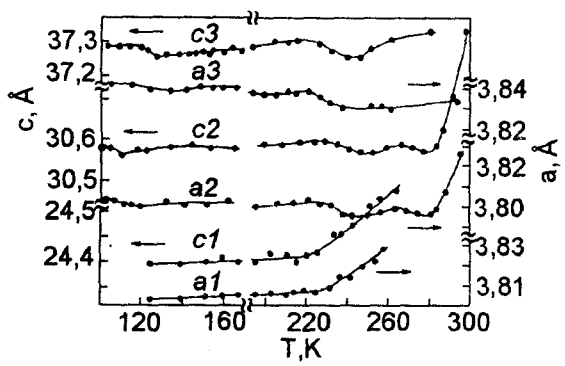

Рис. 3. Температурные зависимости параметров элементарной ячейки для образцов висмутовых керамик: 2201-BSCCO (*a1*, *c1*); 2212-BSCCO (*a2*, *c2*); 2223-BSCCO (*a3*, *c3*).

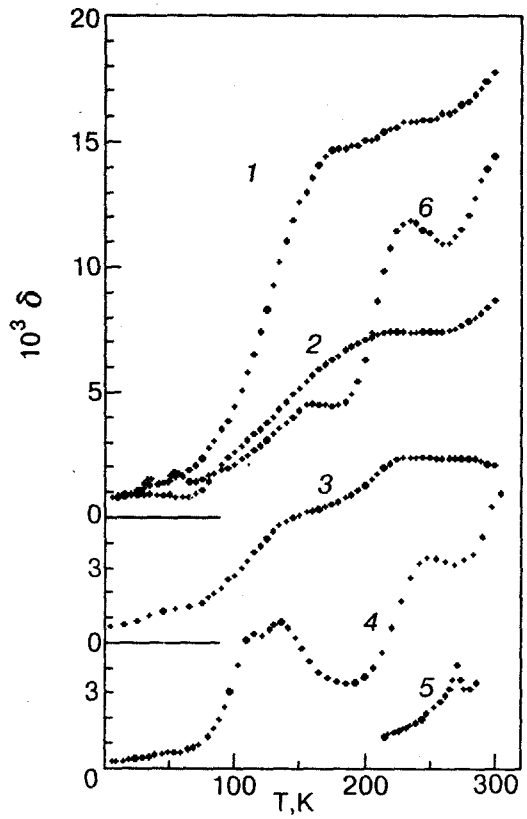

Рис. 4. Температурные зависимости декремента колебаний ультразвука, измеренные при отогреве образцов: 2212-BSCCO (*1*); 2201-BSCCO (*2*); 2223-BSCCO (*3*); 123-YBCO (*4*); 124-YBCO (*5*) [41], CuO [31] (*6*).

На рис. 5 изображены температурные зависимости *dc*-магнитной восприимчивости образцов. Видно, что в области температур выше и ниже T_1 для всех образцов *dc*-магнитная восприимчивость плавно уменьшается с ростом температуры, а вблизи T_1 наблюдается хорошо выраженное ступенчатое изменение величины $\chi(T)$.

4. Обсуждение результатов

Сравнивая рис. 2, 3 и 4, можно сделать вывод, что пики на температурных зависимостях декре-

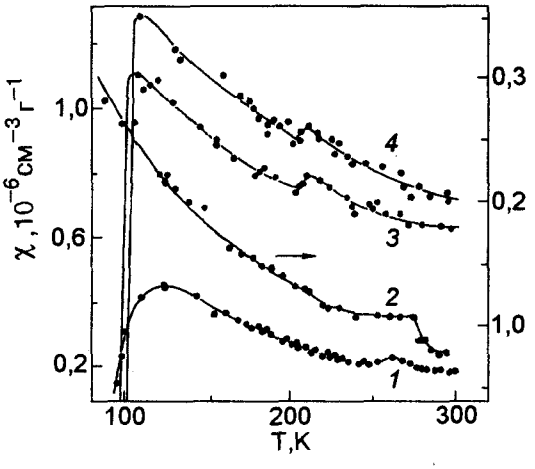

Рис. 5. Температурные зависимости *dc*-магнитной восприимчивости для образцов: 2212-BSCCO (*1*); 2201-BSCCO (*2*); 123-YBCO ($x = 6{,}5$) (*3*); 123-YBCO ($x = 6{,}9$) (*4*).

мента колебаний, наблюдаемые в окрестности T_1, коррелируют с особенностями на температурных зависимостях ПЭЯ. Поскольку пики внутреннего трения при T_1 наблюдаются для всех исследованных образцов, включая несверхпроводящие 123-YBCO с $x < 6{,}5$, 2201-BSCCO и CuO, а особенности ПЭЯ в виде максимумов имеют место только для сверхпроводящих образцов, можно предположить, что пик внутреннего трения связан не с максимумом, а с изломом на температурной зависимости ПЭЯ в точке T_1, наблюдаемым для всех образцов.

Из рис. 5 видно, что *dc*-магнитная восприимчивость $\chi(T)$ для всех образцов плавно уменьшается с ростом температуры, при этом зависимости $\chi^{-1}(T)$ линейны в достаточно широких интервалах температур при $T_c < T < T_1$. Экстраполяция к нулю значений обратной магнитной восприимчивости, полученных в этом интервале температур, для всех образцов дает отрицательные значения характеристической температуры Θ (см. таблицу), что не противоречит предположению о наличии антиферромагнитных взаимодействий в исследованных образцах. В работах [49,50] при измерении ядерного квадрупольного резонанса в CuO, $YBa_2Cu_3O_x$, $YBa_2Cu_4O_y$ и $Tl_2Ba_2CuO_{6+d}$ сделаны выводы о наличии спиновых корреляций антиферромагнитного типа и аналогичном поведении Cu–O-подсистемы в CuO и $YBa_2Cu_4O_y$ вблизи 230 K. В работе [51] с использованием нейтронографии обнаружены четкие антиферромагнитные корреляции, причем для $YBa_2Cu_3O_x$ с различным содержанием кислорода корреляционная длина равна 2,2 Å.

Для всех образцов при температуре T_{max}, близкой к T_1 (а для BSCCO образцов несколько выше T_1), наблюдается небольшой максимум $\chi(T)$ (рис. 5). Наблюдаемое поведение восприимчивости в образцах ВТСП керамики может быть объяснено антиферромагнетизмом двумерной магнитной системы, поскольку системы такого состава могут быть рассмотрены как квазидвумерные [52]. Несколько отличающиеся значения температуры аномалии восприимчивости для различных образцов могут быть обусловлены различной степенью дефектности кислородной подрешетки. Антиферромагнитные взаимодействия между ионами Cu^{2+} в ВТСП соединениях определяются косвенным 180°-ным обменом Cu–O–Cu. Наличие дефектов, а также изменение связи для различных соединений может привести к изменению обменного параметра и смещению температуры максимума восприимчивости.

Таким образом, для исследованных нами образцов в интервале температур $T_c < T < 300$ K мы отмечаем существование двух аномалий при $T_0 \approx T_c + 15$ K и T_1 в интервале 190–270 K. Эти аномалии имеют различную природу и проявляются в виде минимумов и максимумов на температурных зависимостях параметров ячейки при T_0 и T_1. Пики внутреннего трения, наблюдаемые в этих температурных интервалах, также обнаруживают различную природу: пики при T_1, скорее всего, связаны с фазовым превращением, а при более низких температурах обусловлены термоактивированными релаксационными процессами с энергиями активации существенно меньшими энергии активации диффузии кислорода в данных соединениях.

Можно предположить, что нелинейный характер температурной зависимости ПЭЯ (рис. 2, 3) при $T < T_1$ связан с локализацией в системе зарядовых носителей, обусловленной электрон-решеточным взаимодействием. При понижении температуры от 300 K до T_1 уменьшаются ПЭЯ (рис. 2, 3) и соответственно длины Cu–O-связей и расстояния между плоскостями CuO_2. Это должно приводить к усилению антиферромагнитного взаимодействия в Cu–O–Cu подсистеме образцов. Такое взаимодействие может привести к формированию спиновых поляронов [53] и усилить качественные изменения в подвижности и/или концентрации поляронных носителей. Температура T_1 имеет порядок $\Theta_D/2$ (Θ_D — температура Дебая) и может соответствовать температуре частичной локализа-

ции поляронов [54]. Частотная зависимость пика внутреннего трения при $T \approx T_1$ в ВТСП и CuO имеет характер фазового перехода порядок–беспорядок [31], возможного как в системе спинов, так и носителей заряда. Можно предположить, что при дальнейшем понижении температуры до T_0 происходит спаривание поляронов.

Подтверждением связи наблюдаемых аномалий с механизмом сверхпроводимости является отмеченное выше отличие сверхпроводящих образцов, для которых наблюдаются особенности ПЭЯ в виде максимума вблизи T_1 и минимума вблизи T_0 (рис. 2 и 3), от несверхпроводящих образцов, для которых эти особенности отсутствуют. Можно сказать, что эти особенности связаны с теми характеристиками образцов, которые обусловливают в них сверхпроводящий переход.

Таким образом, проведение комплекса кристаллографических, магнитных и акустических исследований различных ВТСП составов позволило нам выявить общие для них особенности температурных зависимостей внутреннего трения, параметров элементарной ячейки и статической магнитной восприимчивости. Наблюдаемые особенности мы связываем с зарядовыми и спиновыми взаимодействиями в Cu–O–Cu структурных фрагментах исследованных образцов, обусловливающими сверхпроводимость ВТСП.

Авторы признательны Дж. Т. С. Ирвину (университет г. Абердина, Шотландия) за предоставленные образцы 2212-BSCCO и С. П. Толочко (ИОНХ АН Беларуси) за образцы 24-YBCO, В. Д. Нацику, В. В. Демирскому и А. Б. Безносову за интерес к работе и критические замечания при обсуждении полученных результатов.

Данная работа выполнена в рамках проектов № 93186 РНТП "Высокотемпературная сверхпроводимость" и № 09. 01. 01/093 Государственного комитета Украины по вопросам науки и технологий.

1. И. Г. Гусаковская, С. И. Пирумова, Л. О. Атовмян, *СФХТ* **3**, 1980 (1990).
2. М. А. Оболенский, В. П. Попов, Х. Б. Чашка, В. А. Стародуб, *ФНТ* **14**, 863 (1988).
3. О. В. Басаргин, Л. А. Рудницкий, В. В. Мощалков, А. Р. Кауль, И. Э. Грабой, Ю. Д. Третьяков, *ФТТ* **30**, 877 (1988).
4. M. Lang, T. Lechner, S. Riegel, F. Steglich, G. Weber, T. J. Kim, B. Luethi, B. Wolf, H. Rietschel, and M. Wilhelm, *Z. Phys.* **B69**, 459 (1988).
5. M. H. Jericho, A. M. Simpson, J. M. Tarascon, L. H. Green, R. McKinnon, and G. Hall, *Solid State Commun.* **65**, 987 (1988).
6. C. Meingast, O. Kraut, T. Wolf, H. Wuehl, A. Erb, and G. Mueller-Vogt, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 1634 (1991).
7. M. Lang, R. Kuersch, A. Grauel, C. Geibel, F. Steglich, H. Rietschel, T. Wolf, Y. Hidaka, K. Kumagai, Y. Maeno, and T. Fujita, *Phys. Rev. Lett.* **69**, 482 (1992).
8. В. П. Соболев, А. Б. Круглов, А. В. Кузнецов, Н. В. Фонин, *ФНТ* **17**, 1578 (1991).
9. M. Kund and K. Andres, *Physica* **C205**, 32 (1993).
10. E. Braun, W. Schnelle, H. Broicher, J. Harnischmacher, D. Wohlleben, C. Allgeier, W. Reith, J. S. Schilling, J. Bock, E. Preisler, and G. J. Vogt, *Z. Phys.* **B84**, 333 (1991).
11. Е. М. Гололобов, Н. А. Прыткова, Ж. М. Томило, Н. М. Шиманская, В. П. Попов, *ФНТ* **17**, 1522 (1991).
12. И. Б. Крынецкий, А. С. Москвин, С. В. Наумов, А. А. Самохвалов, *Письма в ЖЭТФ* **56**, 584 (1992).
13. Y. N. Wang, H. Shen, J. S. Zhu, Z. R. Xu, M. Gu, Z. M. Niu, and Z. F. Zhang, *J. Phys.* **C20**, L665 (1987)
14. R. Srinivasan, R. S. Girirajan, V. Ganesan, V. Radhakrishnan, and G. C. Subba Rao, *Phys. Rev.* **B38**, 889 (1988).
15. Б. Я. Сухаревский, Е. О. Цыбульский, Н. Е. Письменова, А. М. Быков, Ф. А. Бойко, Г. Ю. Бочковая, Г. Е. Шаталова, *ФНТ* **14**, 1108 (1988).
16. И. В. Зубов, А. А. Дитятьев, А. А. Новакова, А. С. Илюшин, Р. Н. Кузьмин, В. В. Мощалков, *ФНТ* **14**, 878 (1988).
17. L. Sun, Y. Wang, H. Shen, and X. Cheng, *Phys. Rev.* **B38**, 5114 (1988).
18. А. И. Акимов, Т. М. Акимова, А. Л. Карпей, Л. П. Получанкина, Е. К. Стрибук, *СФХТ* **2**, 87 (1989).
19. D. Dernbach and K. H. Ehses, *J. Less-Common Metals* **164–165**, 146 (1990).
20. Y. Wang, L. Sun, J. Wu, and M. Gu, *Solid State Commun.* **75**, 495 (1990).
21. Y. Li, G. Cao, R. Ma, and Zh. Zhao, *Solid State Commun.* **79**, 491 (1991).
22. M. Francois, A. Junod, K. Yvon, A. W. Hewat, J. J. Capponi, P. Strobel, M. Merezio, and P. Fisher, *Solid State Commun.* **66**, 1117 (1988).
23. E. Kaldis, P. Fischer, A. W. Hewat, E. A. Hewat, J. Karpinski, and S. Rusiecki, *Physica* **C159**, 668 (1989).
24. V. D. Natsik and P. P. Pal-Val, *ФНТ* **16**, 806 (1990).
25. П. П. Паль-Валь, Л. Н. Паль-Валь, В. В. Демирский, В. Д. Нацик, В. В. Прыткин, *СФХТ* **4**, 1542 (1991).
26. O. Gzowski, I. Davoli, S. Stizza, B. Kusz, R. Barczynski, M. Gazda, and L. Murawski, *Rev. Sol. State Science* **5**, 43 (1991).
27. P. Lemmens, F. Stellmach, J. Wynants, S. Ewert, A. Comberg, H. Passing, and G. Marbach, *J. Less-Common Met.* **151**, 153 (1989).
28. K. N. Tu, N. S. Yeh, S. I. Park, and C. C. Tsuei, *Phys Rev.* **B39**, 304 (1989).
29. S. J. Rothman, J. L. Routbort, and J. E. Baker, *Phys Rev.* **B40**, 8852 (1989).
30. J. L. Tallon and M. P. Staines, *J. Appl. Phys.* **68**, 3998 (1990).
31. Л. Н. Паль-Валь, П. П. Паль-Валь, В. Д. Нацик, В. И. Доценко, *ФНТ* **18**, 126 (1992).
32. Л. Г. Мамсурова, К. С. Пигальский, В. П. Сакун, Л. Г. Щербакова, И. Э. Грабой, А. Р. Кауль, *Письма в ЖЭТФ* **48**, 199 (1988).
33. P. P. Pal-Val, V. D. Natsik, J. Engert, H.-J. Kaufmann, K. Rudolph, and W. Matz, *Cryst. Res. Technol.* **24**, 1151 (1989).
34. T. J. Kim, J. Kowalewski, W. Assmus, and W. Grill, *Z. Phys.* **B78**, 207 (1990).
35. С. Г. Титова, В. А. Фотиев, А. В. Пащенко, А. М. Бурханов, В. В. Гудков, И. В. Жевстовских, А. В. Ткач, В. В. Устинов, *СФХТ* **4**, 1010 (1991).
36. В. Н. Моргун, Н. Н. Чеботаев, А. В. Бондаренко, *ФНТ* **16**, 246 (1990).
37. L. A. Rebane and T. A. Fimberg, in: *11th Int. Conf. on Raman Spectroscopy: Proc.*, Chichester, London (1988), p. 409.
38. Y. He, J. Xiang, X. Wang, A. He, J. Zhang, and F. Chang, *Phys. Rev.* **B40**, 7384 (1989).
39. A. Jezovski, J. Klamut, R. Horyn, and K. Rogacki, *Supercond. Sci. Technol.* **1**, 296 (1989).
40. А. П. Сайко, В. Е. Гусаков, В. С. Кузьмин, *Письма в ЖЭТФ* **57**, 108 (1993).

41. А. М. Бурханов, В. В. Гудков, И. В. Жестовских, А. В. Ткач, В. В. Устинов, В. Ф. Балакирев, С. Г. Титова, И. Ф. Кононюк, С. П. Толочко, *СФХТ* **5**, 1459 (1993).
42. Л. А. Клинкова, Н. В. Барковский, С. Г. Иванова, С. А. Зверьков, *СФХТ* **6**, 167 (1993).
43. D. C. Sinclair, J. T. S. Irvine, and A. R. West, *J. Mater. Chem.* **2**, 579 (1992).
44. А. В. Дубовицкий, Е. Ф. Макаров, М. К. Макова, В. А. Мержанов, В. Н. Топников, *СФХТ* **4**, 1024 (1991).
45. R. J. Cava, A. W. Hewat, E. A. Hewat, B. Batlogg, M. Marezio, K. M. Rabe, J. J. Kraiewski, W. F. Peck, Jr., L. M. Rupp, Jr., *Physica* **C165**, 419 (1990).
46. О. Е. Парфенов, *СФХТ* **5**, 319 (1992).
47. П. П. Паль-Валь, Х. -Й. Кауфманн, *ФНТ* **9**, 325 (1983).
48. В. И. Доценко, И. Ф. Кисляк, П. П. Паль-Валь, Л. Н. Паль-Валь, В. Д. Нацик, *ФНТ* **19**, 49 (1993).
49. Y. Itoh, H. Yasuoka, and Y. Ueda, *J. Phys. Soc. Jpn.* **59**, 3463 (1990).
50. Y. Itoh, H. Yasuoka, Y. Fujiwara, Y. Ueda, T. Machi, I. Tomeno, K. Tai, N. Koshizuka, S. Tanaka, *Physica* **C185-189**, 1223 (1991).
51. J. Rossat-Mignod, L. P. Regnault, C. Vettier, P. Bourges, P. Burlet, J. Bossy, J. Y. Henry, and G. Lapêrtot, *Physica* **C185–189**, 86 (1991).
52. V. V. Moshchalkov, *Solid State Commun.* **86**, 715 (1993).
53. N. F. Mott, *J. Phys.: Condens. Matter* **5**, 3487 (1993).
54. N. F. Mott and E. A. Davis, in: *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*, Oxford Univ. Press, Oxford (1979).

Anomalies of magnetic and acoustic properties and structure parameters of ceramic HTS materials in the temperature range 100–300 K

S. G. Titova, T. I. Arbuzova, V. F. Balakirev, O. M. Fiodorova, P. P. Pal-Val, and L. N. Pal-Val

In HTS ceramic samples of the 2201-, 2212-, 2223-BSCCO and 123-, 124-YBCO systems, the temperature dependences of lattice parameters and *dc*-magnetic susceptibility were measured in the temperature range 80–300 K as well as those of acoustic properties and *ac*-magnetic susceptibility were investigated in the temperature range 5–300 K. The peculiarities in the lattice parameter temperature dependences, such as the maxima or kinks at T_1 in the temperature range 190 K < T_1 < 270 K and the minima at $T_0 \approx T_c + 15$ K, correlate with the internal friction peaks observed in both temperature ranges. The absence of the peculiarities in the non-superconducting samples suggests that they are associate with the characteristics of the sample responsible for the superconductivity in HTS ceramics.