

трагий не позволяет достичь удовлетворительного согласования полученных скоростей релаксации для изотоп-обогащенных пленок ЖИГ со скоростями поперечной релаксации в массивных образцах с естественным содержанием ^{57}Fe . Различие в крутизне наклона концентрационных зависимостей T_2^{-1} для различных спектральных линий также не может быть объяснено в рамках частотной зависимости второго момента и связано с анизотропией ядерно-ядерных взаимодействий в октаэдрических позициях.

Наблюдающееся при 300 К увеличение скоростей релаксации и исчезновение концентрационной зависимости T_1^{-1} и T_2^{-1} для всех трех линий (при этом $T_2 < 2T_1$) свидетельствуют о том, что при высоких температурах в скорости поперечной релаксации доминирует вклад, связанный с продольными флуктуациями сверхтонкого поля.

Концентрационная зависимость T_1^{-1} при 77 К неясна, так как затухание продольной компоненты намагниченности не связано с ядерно-ядерными взаимодействиями и механизмы, определяющие T_1 , не должны зависеть от концентрации магнитных ядер [1].

Авторы благодарят И. А. Жмурову и С. М. Гусева за приготовление образцов и С. Г. Бугаевскую за магнитооптический контроль пленок.

Список литературы

- [1] Туров Е. А., Петров М. П. Ядерный магнитный резонанс в ферро- и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1969. 260 с.
- [2] Suhl H. // Phys. Rev. 1958. V. 109. P. 606.
- [3] Петров М. П., Паугурт А. П. // ФТТ. 1970. Т. 12. № 10. С. 2829—2834.

Симферопольский государственный университет им. М. В. Фрунзе
Симферополь

Поступило в Редакцию
15 декабря 1988 г.

УДК 539.67

Физика твердого тела, том 31, в. 8, 1989
Solid State Physics, vol. 31, N 8, 1989

ОСОБЕННОСТИ АМПЛИТУДНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В СИСТЕМЕ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x} + x\text{ZrO}_2$

В. Г. Барьяхтар, В. Н. Варюхин, С. Б. Стронгин

1. В настоящее время акустические методы исследования сверхпроводящих металлооксидов получили достаточно широкое распространение [1-10]. В основном исследования выполнены при температурах ниже комнатной в килогерцевом и мегагерцевом диапазонах частот. Область высоких температур исследовалась менее интенсивно [11, 12]. Это связано с экспериментальными трудностями проведения измерений при высоких температурах в области высоких частот из-за высокого уровня затухания ультразвука. Более целесообразно такие измерения проводить в области низких частот упругих колебаний [12]. Однако повышенная хрупкость высокотемпературных сверхпроводящих металлооксидов системы YBaCuO при комнатной температуре затрудняет получение однородных, тонких, протяженных образцов для проведения корректных исследований в герцевом диапазоне частот. В работах [13, 14] содержатся сведения, позволяющие предполагать, что введение в систему YBaCuO оксида циркония может положительно сказаться на механических характеристиках полу-

чаемых образцов. Однако особенности структурных изменений и физических свойств таких систем практически не изучены.

Целью настоящей работы является получение образцов системы $YBa_2Cu_3O_{7-x} + xZrO_2$ и проведение исследований температурных, амплитудных и временных зависимостей низкочастотного внутреннего трения в интервале температур 77—1100 К.

2. Образцы для исследований готовились по следующей технологии. К смеси компонентов Y_2O_3 , $BaCO_3$ и CuO , взятых в соотношении $Y : Ba : Cu = 1 : 2 : 3$, вводились добавки ZrO_2 в количестве 0.1—30 вес.%. После тщательного перемешивания с использованием воздействия ультразвуковых колебаний частотой 15—25 кГц изготавливались плоские пластины размером $1 \times 15 \times 110$ мм. Для их изготовления использовались специальные

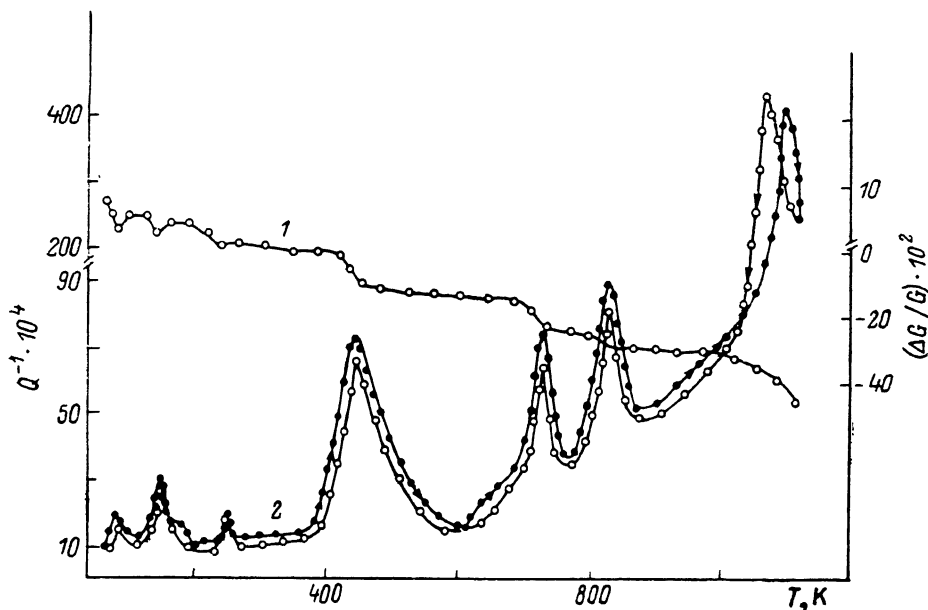


Рис. 1. Температурные спектры динамического модуля сдвига (1) и внутреннего трения (2) системы $YBa_2Cu_3O_{7-x} + xZrO_2$ ($x=5$ вес.%).

формы и гидростатические давления величиной 1.2—1.5 ГПа. Синтез проводился при температурах 1220—1250 К в течение 12 ч. При охлаждении до комнатных температур скорость поддерживалась постоянной и составляла 1 К/мин. Для уменьшения пористости процедура измельчения, компактирования и спекания повторялась по описанному выше режиму, только в атмосфере кислорода. Изучение неупругих свойств проводилось на образцах, имеющих форму параллелепипеда с размерами $1 \times 1 \times 110$ мм. Исследование температурных спектров, амплитудных и временных зависимостей производилось на полуавтоматической установке с автоматической регистрацией амплитуды и периода упругих колебаний. Частота колебаний составляла 0.8 Гц, амплитуда варьировалась в пределах 1×10^{-5} — $1 \cdot 10^{-4}$. Скорость нагрева и охлаждения составляла 2 К/мин. Временные зависимости внутреннего трения изучались после 5-минутного воздействия упругих колебаний при амплитудах, соответствующих области амплитудно-зависимого внутреннего трения. Измерение сверхпроводящих характеристик образцов системы $YBaCuO + xZrO_2$ проводилось путем измерения температурной зависимости электросопротивления. Исследования показали, что введение добавок ZrO_2 до 15 вес.% незначительно уменьшает температуру сверхпроводящего перехода (с 92 до 88 К). Ширина перехода зависит от концентрации ZrO_2 и находится в интервале 1—3 К. Введение добавок ZrO_2 в количестве, превышающем 20 вес.%, приводило к получению системы, не имеющей сверхпроводящего пере-

хода. Механические характеристики получаемых образцов при комнатной температуре значительно улучшились. Для лучших составов ($x=15$ вес. %) увеличение модуля сдвига и твердости по сравнению с системой $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ составляло 50 %.

3. Результаты исследований температурного спектра внутреннего трения в системе $\text{YBaCuO}+x\text{ZrO}_2$ приведены на рис. 1. Они показывают, что температурный спектр достаточно сложен и имеет ряд максимумов. В сверхпроводящем состоянии вблизи температуры перехода наблюдается максимум, которому соответствует особенность на температурной зависимости модуля сдвига. Появление максимумов при температурах 150 и 250 К хорошо коррелирует с такими же аномалиями, имеющими место в системе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ [5]. Имеются данные [15], что при этих температурах

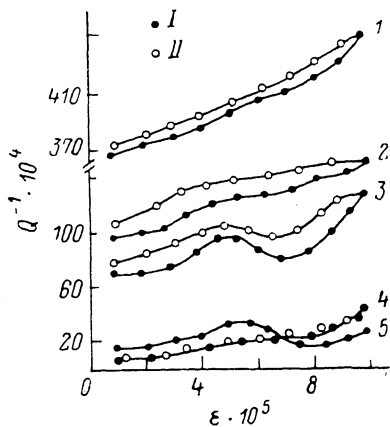


Рис. 2. Амплитудные зависимости внутреннего трения образцов системы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}+x\text{ZrO}_2$ ($x=5$ вес. %) при $T=1190$ (1), 1100 (2), 500 (3), 293 (4) и 450 К (5).

I — увеличение, II — уменьшение деформации.

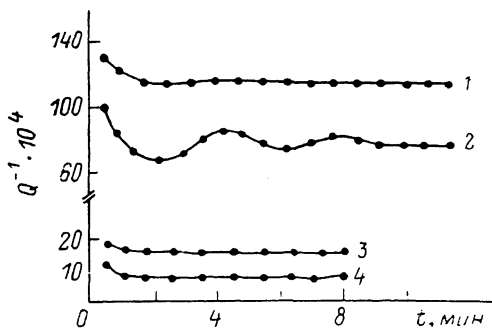


Рис. 3. Временные зависимости внутреннего трения в системе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}+x\text{ZrO}_2$ ($x=5$ вес. %) при $T=823$ (1), 473 (2), 373 (3), 293 К (4).

возможны фазовые превращения. Особый интерес представляет максимум при температуре 450 К. Вблизи температуры максимума наблюдается резкое ($\Delta G/G=10\%$) уменьшение модуля сдвига. Ниже будет показано, что данный температурный интервал характеризуется также необычным характером амплитудных и временных зависимостей внутреннего трения. Аномальное изменение внутреннего трения и модуля сдвига при температурах 700—720 К связано с эффектами потери кислорода [16]. Максимум при 820 К отсутствует в системе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ [12] и появляется лишь при введении оксида циркония. Максимум при 1100 К обусловлен переходом системы из орторомбической фазы в тетрагональную [12]. Видно, что введение оксида циркония приводит к смещению температуры перехода в область более высоких температур по сравнению с системой $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.

Исследование амплитудных зависимостей внутреннего трения при различных температурах показало, что их вид подобен таким же зависимостям, связанным с наличием дислокационной структуры в металлах [17]. При комнатной температуре наблюдается обратимый характер амплитудных зависимостей (рис. 2). С повышением температуры нагрева начало амплитудных зависимостей сдвигается в сторону меньших амплитуд деформации. В температурном интервале 420—520 К наблюдается немонотонное изменение внутреннего трения с ростом амплитуды деформации и возникает гистерезис при уменьшении деформирующего напряжения. Остаточный эффект исчезает после 8—12 мин, прошедших после окончания колебаний. При более высоких температурах наблюдается линейный характер амплитудных зависимостей.

В отмеченном выше температурном интервале обнаружен необычный характер временных зависимостей внутреннего трения. Возврат системы в исходное равновесное состояние происходит осциллирующим образом (рис. 3). Максимальное время возврата соответствует температуре максимума внутреннего трения. Величина осцилляций, их длительность и количество (одна или две) зависят от концентрации оксида циркония и амплитуды колебаний, при которой проводился вывод системы из состояния равновесия. При температурах, лежащих вне отмеченного интервала, наблюдался обычный вид временных зависимостей внутреннего трения. Полученные результаты свидетельствуют о значительной нестабильности решетки при данных температурах. Увеличение времени релаксации при приближении к температуре, соответствующей вершине максимума, значительное изменение упругих свойств позволяют высказать предположение о возможности фазового превращения в исследуемом температурном интервале. Такой переход может быть связан с упорядочением атомов кислорода по всем возможным кислородным позициям элементарной ячейки данной системы.

Список литературы

- [1] Варюхин В. Н., Резников А. В., Григуть О. В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. Приложение. С. 158—160.
- [2] Ewert S., Guo S., Lemmens P. et al. // Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 8. P. 221—224.
- [3] Almond D. P., Lambson E., Saunders G. A. et al. // J. Phys. F: Met. Phys. 1987. V. 17. N 9. P. L221—L224.
- [4] He Yusheng, Zhang Baiwen, Lin Sihan et al. // J. Phys. F: Met. Phys. 1987. V. 17. N 10. P. L243—L248.
- [5] Барьяхтар В. Г., Варюхин В. Н., Дацко О. И. и др. // ФНТ. 1988. Т. 14. № 9. С. 984—987.
- [6] Horie Y., Terashi Y., Fukuda H. et al. // Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 4. P. 501—504.
- [7] Головашкин А. И., Данилов В. А., Иваненко О. М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 7. С. 273—275.
- [8] Аншукова Н. В., Воробьев Г. П., Головашкин А. И. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 9. С. 373—375.
- [9] Макаров В. И., Заварицкий Н. В., Ключко В. С. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. № 6. С. 326—329.
- [10] Буренков Ю. А., Иванов В. И., Лебедев А. Б. и др. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 10. С. 3188—3192.
- [11] Дудников В. А., Иванова Н. Б., Исаева Т. Н. и др. // Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Ч. II. Свердловск, УрО АН СССР, 1987. С. 201—202.
- [12] Барьяхтар В. Г., Варюхин В. Н., Дацко О. И. и др. // Преприят ИМФ АН УССР. 1988. № 13. С. 38—39.
- [13] Батрак А. Г., Бенько В. Ю., Нечипоренко И. Н. и др. // ФНТ. 1988. Т. 14. № 4. С. 435—436.
- [14] Regnier R., Gupta R. P., Truchot P. // J. Phys. C: Sol. St. Phys. 1988. V. 21. N 14. P. L463—L468.
- [15] Bhattacharya S., Higgins M. J., Jonston P. S. et al. // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 60. N 12. P. 1181—1184.
- [16] Kishan P., Nadraul L. K., Chaterjec S. N. // Sol. St. Comm. 1988. V. 65. N 10. P. 1117—1125.
- [17] Постников В. С. Внутреннее трение в металлах. М.: Металлургия, 1974. 308 с.

Институт металлофизики АН УССР
Киев

Поступило в Редакцию
12 января 1989 г.