

УДК 537.312.62 : 539.5

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА
В ВТСП СИСТЕМЕ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$
НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ СПЕКТР СКОРОСТЕЙ
НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В. В. Шнейзман, Н. Н. Песчанская, Б. И. Смирнов, Ю. П. Степанов

На образцах с $x=0.05, 0.3$ и 0.8 получены температурные спектры скоростей неупругой деформации при напряжениях 10 и 30 МПа. Во всех спектрах имеется пик при температуре $T \approx 90$ К, близкой к T_c для сверхпроводящей керамики с $x=0.05$. Для сверхпроводящей керамики высота этого пика растет с увеличением напряжений, а для остальных падает. Считается, что наблюдаемый пик связан с деформацией областей керамики с малым x . При $x=0.3$ и 0.8 такие участки возникают вследствие локального упорядочения неоднородно распределенных кислородных вакансий.

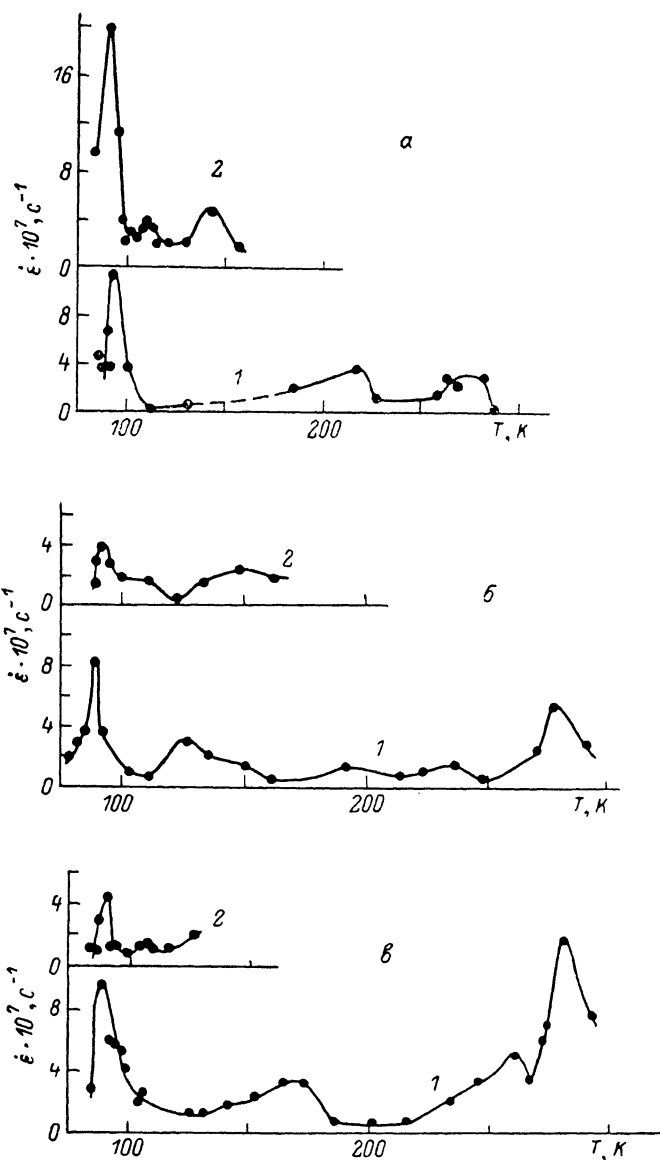
В [1] нами было показано, что на температурной зависимости скорости неупругой деформации $\dot{\epsilon}(T)$, нагруженной сжатием керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, наблюдается ряд пиков, один из которых находится вблизи температуры сверхпроводящего перехода T_c . С учетом данных [2] о влиянии сверхпроводящего перехода на скорость деформации в [1] было высказано предположение о связи этого пика с изменением электронного состояния при переходе. Если это так, то естественной представляется необходимость проследить за изменением температурных спектров скоростей деформации $\dot{\epsilon}(T)$ при переводе керамики в несверхпроводящее состояние за счет уменьшения содержания кислорода до $x \geq 0.3$.

Ранее подобная задача ставилась в ряде работ при исследовании в системе $Y-Ba-Cu-O$ внутреннего трения δ (например, [3-11]), на температурной зависимости которого также нередко наблюдается максимум вблизи T_c , однако полученные результаты оказались весьма разнородными. В экспериментах наблюдались три из возможных четырех варианта кривых внутреннего трения вблизи T_c : первый — есть максимум внутреннего трения у сверхпроводящего и несверхпроводящего соединения [3], второй — есть максимум у сверхпроводящего материала вблизи T_c и нет его у несверхпроводящего материала при этих температурах [4-7]; наконец, третий вариант — монотонная кривая внутреннего трения в обсуждаемой области температур для того и другого материалов [8-11]. Такое расхождение результатов акустических исследований делало тем более интересным получение температурных зависимостей скоростей неупругой деформации керамик с разным содержанием кислорода, поскольку, с одной стороны, зависимости $\dot{\epsilon}(T)$ и $\delta(T)$ близки [12], а с другой стороны, трактовка $\dot{\epsilon}(T)$ более определена, так как она должна быть основана только на учете особенностей деформационного механизма.

Для исследования нами были приготовлены образцы с содержанием кислорода 6.95, 6.7 и 6.2 ($x=0.05, 0.3$ и 0.8).

Однофазные образцы с заданной стехиометрией по кислороду получали керамическим методом синтеза из порошков Y_2O_3 , $BaCO_3$ и CuO . Перетертая смесь в количестве, соответствующем составу 1—2—3, спрессовывалась при комнатной температуре в таблетки размером $8 \times 8 \times 4$ мм. После трехкратного нагрева до $950^\circ C$ и выдержки при этой температуре

по 6 ч для обжига и спекания керамики с промежуточными размалыванием и прессованием, последующего медленного охлаждения со скоростью 2°/мин до 350 °С и отжига в атмосфере кислорода при 350 °С в течение 4 ч была получена керамика с $x=0.05$. Далее таблетки разрезались пополам вдоль одного из больших размеров; одна половина составляла контрольные образцы, вторая отжигалась в течение 6 ч при следующих



Температурные зависимости скорости неупругой деформации керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ с $x=0.05$ (а), 0.3 (б) и 0.8 (в) при напряжениях 10 (1) и 30 МПа (2).

условиях: температура 600 °С и давление кислорода 10^{-2} Тор, или 500 °С и 5 Тор. В результате такой обработки были получены образцы с $x=0.8$ и 0.3 соответственно. Размер зерна в образцах составлял около 40 мкм, а плотность была примерно 5.6 г/см³.

Механическое нагружение образцов производилось путем сжатия вдоль максимального размера. Температурная зависимость сопротивления измерялась четырехзондовым методом. Индиевые контакты наносились на боковую грань образца и на его торцы [2].

Для керамики с $x=0.05$ величина $T_c=93$ К, ширина перехода $\Delta T_c=1.2$ К, для других керамик сверхпроводящий переход не наблюдался вплоть до 77 К.

На полученных образцах с помощью лазерного интерферометра [13] были сняты спектры скоростей неупругой деформации при сжимающих напряжениях 10 МПа в интервале температур 77—300 К и при 30 МПа в интервале 77—160 К. Полученные результаты представлены на рисунке.

Видно, что зависимости $\dot{\epsilon}(T)$ для разных материалов качественно похожи друг на друга и на приведенные в [1]. При этом независимо от того, есть или нет в данной керамике сверхпроводящий переход, в спектре всегда имеется пик, расположенный вблизи T_c керамики с $x=0.05$. Различной, однако, оказывается для разных керамик реакция на увеличение нагрузки. В сверхпроводящей керамике при переходе от 10 к 30 МПа высота пика вблизи T_c возрастает, а несверхпроводящих падает. Можно также отметить и увеличение высоты пика при $T \approx 280$ К по мере уменьшения содержания кислорода.

Таким образом, эксперимент показывает наличие пика на всех зависимостях $\dot{\epsilon}(T)$ вблизи температуры, соответствующей T_c . Это, по-видимому, свидетельствует о том, что в рассматриваемом температурном интервале для всех керамик проявляется эффект облегчения неупругой (микрoпластической) деформации с понижением температуры, аналогичный эффекту $N \rightarrow S$ перехода [2]. Как же тогда объяснить появление пика в несверхпроводящих керамиках? Предположим, что в керамиках с малым содержанием кислорода основной вклад в деформационный пик при $T \approx 90$ К дают отдельные участки, в которых содержание кислорода близко к O_7 . Наличие таких участков обусловлено неравномерным распределением кислорода, о чем свидетельствуют многие экспериментальные результаты [14—16]. Так, в [14] показано, что в достаточно большом интервале изменения x между 0 и 1 не существует двух фаз — тетрагональной и орторомбической, — но в пределах одной фазы находятся области с различным содержанием кислородных вакансий. Эти вакансии упорядочены, что приводит к различному содержанию кислорода в разных частях керамического образца (или монокристалла). Естественно, что чем больше x , тем меньше обогащенных кислородом областей в керамике. С различием их доли в общем объеме керамики $Y-Ba-Cu-O$ можно объяснить разное поведение пика, соответствующего T_c , при увеличении нагрузки. Если рассматривать малые неупругие деформации, возникающие при напряжениях, значительно меньших предела текучести (или разрушающих напряжений), то для однородной структуры увеличение амплитуды пика с ростом напряжений связано с вовлечением в деформацию новых очагов, деформация в которых была затруднена при меньших напряжениях. Это возможно в случае, если таких потенциальных очагов деформации с изменением скорости при T_c много. Если же их мало, то вся деформация этих областей уже выбирается при малых напряжениях, так что с ростом напряжений их вклад в общую деформацию становится все менее заметным, что и приводит к уменьшению амплитуды деформационного пика.

В заключение заметим, что на распределение кислорода оказывают влияние не только его среднее содержание, но и условия приготовления образцов. В [17] показано, что при среднем одинаковом количестве кислорода образцы, отожженные на воздухе или в атмосфере кислорода, имеют разные T_c . Авторы [17] связывают этот эффект с различием надструктуры, образуемой кислородными вакансиями. Возможно, этим объясняется расхождение в корреляционных соотношениях между x , T_c , удельным сопротивлением и другими параметрами сверхпроводников, приводимое в различных работах. Можно полагать, что по той же причине разнятся и результаты исследований внутреннего трения, упомянутые выше, и спектры скоростей неупругих деформаций образцов, изготовленных из раз-

ных партий керамики одного состава [1]. Конечно, в настоящее время механизмы деформации исследуемых объектов далеко не ясны; данная работа показывает, что ее связь со сверхпроводящим переходом является сложной: не только сам переход непосредственно влияет на деформацию [1], но и, возможно, наличие локализованных областей со структурой, близкой к структуре сверхпроводящего состава.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Песчанская Н. Н., Смирнов Б. И., Степанов Ю. П., Шпейзман В. В., Якушев П. Н. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 4. С. 271—273.
- [2] Песчанская Н. Н., Смирнов Б. И., Шпейзман В. В., Якушев П. Н. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 11. С. 3503—3505.
- [3] Cheng Xiaohua, Sun Linhai, Wang Yening, Shen Huimin, Yu Zheng // Mod. Phys. Lett. B. 1988. V. 2. N. 5. P. 737—742.
- [4] Cannelli G., Cantelli R., Cordero F. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38. N 10. P. 7200—7202.
- [5] Staines M. P., Tallon J. L., Robinson W. H., Flower N. E. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 16. P. 1560—1562.
- [6] Kuss V., Murawski L. // Sol. St. Comm. 1988. V. 67. N 4. P. 435—437.
- [7] Барьяхтар В. Г., Варюхин В. Н., Дацко О. И., Резников А. В., Стронгин С. Б. // ФНТ. 1988. Т. 14. № 9. С. 984—987.
- [8] Цымбал Л. Т., Иванов А. Г., Волкова Л. П., Черкасов А. Н., Ревенко Ю. Ф., Осыко Е. И. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1989. Т. 2. № 2. С. 9—12.
- [9] Макаров В. И., Заварицкий Н. В., Ключко В. С., Воронов А. П., Ткаченко В. Ф. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. № 6. С. 326—329.
- [10] Saint-Paul M., Tholence J. L., Monceau P., Noel H., Levet J. C., Potel M., Gougeon P., Carponi J. J. // Sol. St. Comm. 1988. V. 66. N 6. P. 641—643.
- [11] Воробьев Г. П., Кадомцев А. М., Казей З. А., Крынецкий И. Б., Левитиев Р. Э., Никитин С. Б., Снегирев В. В., Соколов В. И. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1989. Т. 2. № 2. С. 47—52.
- [12] Буренков Ю. А., Иванов В. И., Кардашев Б. К., Лебедев А. Б., Никаноров С. П., Песчанская Н. Н., Смирнов Б. И., Шпейзман В. В., Якушев П. Н. // Тез. докл. Всес. школы по физике и химии соединений на основе РЗЭ. Красноярск, 1989. С. 100.
- [13] Песчанская Н. Н., Пугачев Г. С., Якушев П. Н. // Механика полимеров. 1977. № 2. С. 357—358.
- [14] Marusso J.-F., Garoche P., Collini G. // Rev. Int. Hautes Temper. Refract. Fr. 1987—1988. V. 24. P. 231—237.
- [15] Александров И. В., Быков А. Б., Зибров И. П., Макаренко И. Н., Мельников О. К., Молчанов В. Н., Мурадян Л. А., Никифоров Д. В., Свистов Л. Е., Симонов В. И., Чигишов С. М., Шапиро А. Я., Стишов С. М. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 14. № 10. С. 449—452.
- [16] Aligia A. A., Rojo A. G., Alascio B. R. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38. N 10. P. 6604—6608.
- [17] Hariharan Y., Janawadkar M. P., Sankarasastri V. Radhakrishnan T. S. // Pramana. J. Phys. 1988. V. 31. N 1. P. L59—L65.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
29 июня 1989 г.