

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВНУТРИГРАНУЛЬНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ
КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_{2,99}Na_{0,01}O_x$

С.К. НИКОГОСЯН, А.А. СААКЯН, Г.Н. ЕРИЦЯН,
А.Г. САРКИСЯН, В.М. АРУТЮНЯН

Ереванский физический институт
Ереванский государственный университет

(Поступило в редакцию 8 августа 1994 года)

Исследованы внутригранульные сверхпроводящие свойства образцов $YBa_2Cu_{2,99}Na_{0,01}O_x$ до и после их облучения электронами с энергией 8 МэВ. Обнаружено, что магнитно-полевая зависимость температуры внутригранульного гистерезисного пика потерь T_m^g от дозы облучения проявляет немонотонный характер. Экспериментальные результаты обсуждаются в рамках интерпретации по модели Абрикосовских вихрей.

Ранее нами сообщалось об изменениях [1] сверхпроводящих (СП) свойств керамических образцов $YBa_2Cu_{2,99}Na_{0,01}O_x$ при облучении электронами с энергией 8 МэВ в интервале доз 10^{14} – 10^{18} эл/см². При этом была обнаружена стимуляция как межгранульных, так и внутригранульных СП свойств.

В настоящей работе приведены результаты исследований особенностей, наблюдаемых во внутригранульных СП свойствах керамики $YBa_2Cu_{2,99}Na_{0,01}O_x$ после электронного облучения. Они представляют особый интерес, так как могут способствовать выяснению характера сверхпроводимости в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП), поскольку гранулы по своим свойствам близки к монокристаллам.

Измерения проводились путем регистрации температурных зависимостей комплексной магнитной восприимчивости $\chi' - i\chi''$ [2]. Внутригранульные СП свойства контролировались по температуре начала перехода T_{ch} в сверхпроводящее состояние и темпера-

туре гистерезисного пика потерь в гранулах T_m^g . Причем T_{ch} определялась по началу диамагнитного перехода x' , а T_m^g - по появлению высокотемпературного пика на кривой x'' при переменных магнитных полях с амплитудой h_0 , превосходящей значение первого критического поля для гранул H_{c1}^g при $T < T_{ch}$. Величина h_0 менялась от 0,05 до 22,5 Э на частоте 1 кГц.

На рис.1 представлено семейство кривых зависимостей T_m^g (h_0) как до, так и после облучения электронами различных доз. Видно, что эта кривая до облучения имеет монотонно падающий характер с двумя разными наклонами. Падение T_m^g до $h = 8$ Э происходит почти линейным образом со скоростью, заметно превосходящей скорость при $h > 8$ Э. В отличие от наших результа-

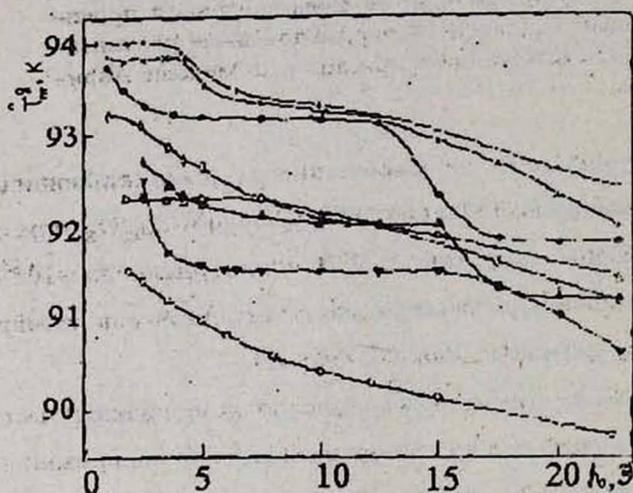


Рис.1. Зависимость температуры пика гистерезисных потерь внутри гранул T_m^g от амплитуды магнитного поля h_0 в керамике $YBa_2Cu_{2.99}Na_{0.01}O_x$ до (o) и после электронного облучения дозами Φ (эл/см²): ∇ - 10^{15} ; \diamond - 10^{16} ; \blacktriangle - $2 \cdot 10^{16}$; \triangle - $5 \cdot 10^{16}$; \bullet - $5 \cdot 10^{17}$; \times - $7 \cdot 10^{17}$; $+$ - 10^{18} .

тов в работе [3] наблюдался линейный спад T_m^g при росте h_0 вплоть до 15 Э. Наличие на кривой $T_m^g(h_0)$ (рис.1) двух наклонов свидетельствует, на наш взгляд, о том, что в гранулах существуют, по крайней мере, два типа центров пиннинга для абрико-

совских вихрей. При увеличении h_0 до 8 Э в процессе гистерезисных магнитных потерь участвуют "слабые" центры пиннинга, тогда как при $h_0 > 8$ Э действуют "сильные" центры. В [4] "слабые" и "сильные" центры приписываются дефектам, соответственно, в межгранульных и внутригранульных пространствах.

О силе центра пиннинга можно судить по наклону кривой $T_m^g(h_0)$, причем чем больше ее крутизна, тем меньше сила пиннинга [5]. В литературе приводятся различные предположения о характере физической природы центров пиннинга. В работах [6,7] показано, что в роли "слабых" связей могут выступать границы двойникования, которые начинают существенно проявляться при температурах $T > 50\text{K}$, а в работах [8-10] в качестве "сильных" центров указываются микротрещины [8] и точечные дефекты на плоскостях CuO_2 [9,10]. Электронномикроскопические исследования [11] показали, что вблизи границ сверхпроводящих гранул имеются различного рода структурные дефекты (примесные включения, атомные сегрегации, субмикротрещины и т. д.) размерами в несколько нм, а также более протяженные дефекты (когерентные домены, дислокационные петли) размером 10-100 нм, которые могут стать центрами пиннинга разного характера. Они представляют собой дефекты, отличающиеся по степени упорядочения кислорода (или вакансии) в плоских слоях CuO_x и пересекающихся цепочках O-Cu-O, сгруппированных в локальных областях [11]. Однако нет однозначной интерпретации характера центров пиннинга, связанного с указанными дефектами. Можно лишь указать на малость параметра когерентности (0,5 - 30 Å) [12] для Y-Ba-Cu-O керамики и способность дефектов такого размера стать эффективными центрами пиннинга для абрикосовских вихрей, что, видимо, и приводит к наличию участка с меньшим наклоном на кривой $T_m^g(h_0)$ до облучения (при $h_0 > 8$ Э, рис.1).

Следует отметить, что СП свойства ВТСП зависят от соотношения между длиной проникновения магнитного поля в гранулы

(10^{-4} - 10^{-5} см) [13], параметром когерентности ξ , расстоянием между центрами пиннинга a , размерами гранул d и размерами дефектов [14], которые могут быть изменены в результате облучения [1]. Поэтому после каждой дозы облучения в образце устанавливается новое соотношение между указанными размерными параметрами, что и определяет вид $T_m^g(h_0)$ (рис.1).

После облучения ВТСП различными дозами кривая $T_m^g(h_0)$ приобретает ступенчатый характер. Причем ширина ступеньки от дозы облучения проявляет немонотонный характер. Присутствие на этих кривых ступенчатых участков и точек перегиба доказывает существование возможных "пиннинговых" структурных дефектов. А наблюдаемое поведение указанной зависимости при фиксированной дозе ($\Phi = 10^{15}$ эл/см²), т.е. уменьшение при росте h_0 до 5 Э и появление ступеньки до 15 Э, затем заметное падение при $h_0 > 15$ Э, на наш взгляд, соответствует в первом случае областям со "слабой" сверхпроводимостью (слабые центры пиннинга), а во втором - с "сильной" сверхпроводимостью. Такое поведение можно объяснить "дроблением" в результате облучения гранул на субрегионы, действующие как гранулы с меньшими размерами [15,16]. Возможно, причиной такого более мелкого деления могут быть преобладающие в гранулах ВТСП и находящиеся друг от друга, в некоторых случаях, ближе, чем 1000 Å, границы двойникования [11]. Здесь же отмечается, что получено доказательство существования в мелкодисперсном Y-Ba-Cu-O образце двойников размером в несколько сотен ангстрем, что, вероятно, создает внутренние границы в гранулах. Размеры двойников, расстояния между ними, а также границы двойникования, повидимому, при облучении меняются, начиная с достаточно низких доз ($\Phi > 10^{15}$ эл/см²), благодаря перераспределению исходных собственных структурных дефектов [1]. В работе [17] указано, что критическая температура T_c в ВТСП образцах в зависимости от размеров сверхпроводящих гранул проявляет немонотонный

характер. В нашем случае, видимо, процесс дефектообразования и перераспределения структурных дефектов от дозы тоже носит немонотонный характер, что и приводит к наблюдаемой картине T_m^g от дозы (рис.1 и 2). Следует заметить, что при дозе $\Phi=10^{18}$ эл/см² T_m^g и T_{ch} ведут себя по-разному: T_m^g увеличивается более, чем на 2,5 К по сравнению с ее исходным значением, тогда как это изменение для T_{ch} составляет 1,5 К. Причина такого поведения нам не ясна.

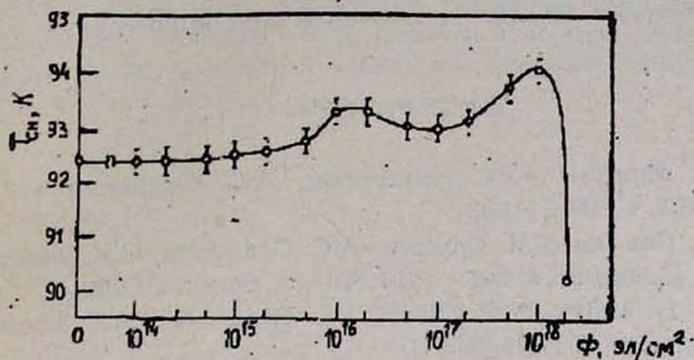


Рис.2. Дозовая зависимость начала температуры перехода T_{ch} ($h_0=0,05$ Э) в СП состоянии в керамике $YBa_2Cu_{2.99}Na_{0.01}O_x$.

На основе изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. В СП гранулах керамики $YBa_2Cu_{2.99}Na_{0.01}O_x$ присутствуют различного рода собственные структурные дефекты, которые обуславливают наличие, по крайней мере, двух видов центров пиннинга для абрикосовских вихрей: "слабых" и "сильных".
2. Облучение гранул приводит к созданию в них радиационных точечных дефектов и преобразованию характера исходных структурных дефектов. При этом часть возникающих радиационных дефектов становится дополнительными центрами пиннинга, а уже имеющиеся - трансформируются.

3. Процесс образования и трансформация центров пиннинга, а также их параметры, в зависимости от дозы облучения носят не-монотонный характер.

4. При дозе $\Phi = 10^{18}$ эл/см² происходит увеличение T_m^g до 2,5 К по отношению к исходному значению, тогда как это изменение для T_{ch} составляет 1,5 К.

Один из соавторов (С.К. Никогосян) благодарен Армянскому (APS of the Bay Area) Профессиональному обществу за частичную поддержку грантами при выполнении данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Н. Ерицян, С.К. Никогосян, А.С. Оганесян и др. СФХТ, 6, 1446 (1993).
2. А.А. Саакян, Г.Н. Ерицян, А.С. Оганесян, С.К. Никогосян. Препринт ЕФИ - 1201 (78)-89, Ереван, 1989.
3. R.V. Goldfarb, A.F. Clark, A.I. Braginski, A.J. Panson. *Cryogenics*, 27, 475 (1987).
4. А.А. Кончиц, И.М. Зарицкий, С.П. Колесник, Б.Д. Шапапа. СФХТ, 4, 2333 (1991).
5. К.Н. Muller. *Physica C*, 159, 717 (1989).
6. G. Deutscher, K.A. Muller. *Phys. Rev. Lett.*, 59, 1745 (1987).
7. В.К. Власко-Власов, М.В. Инденбом, В.И. Никитенко и др. СФХТ, 3, 1199 (1990).
8. T. Matsushita. *Jap. J. Appl. Phys.*, 27, 1712 (1988).
9. T.L. Hylton, M.R. Beasley. *Phys. Rev. B*, 41, 11669 (1990).
10. M. Tahiki and S. Takahashi. *Physica C*, 162, 241 (1989).
11. В.Г. Пушкин, В.В. Сагарадзе, Э.Н. Фризен. СФХТ, 3, 2401 (1990).
12. Д.М. Гинзберг. Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников (под редакцией Гинзберга). Изд. "Мир", Москва, 1989, гл.1, с.24.
13. Я.В. Копелевич, В.В. Леманов, А.Л. Холкин. ФТТ, 31, 302 (1989).
14. Э.В. Сонин. Письма в ЖЭТФ, 47, 415 (1988).
15. H. Kupfer, I. Apfelstedt, R. Flukiger et al. *Cryogenics*, 29, 268 (1989).
16. А.Г. Терекиди, Г.В. Сотников. СФХТ, 5, 50 (1992).

17. M.S. Multani, Guptasarma Prasenjit, V.R. Palkar et al.
Physics Lett., A 142, 293 (1989).

PECULIARITIES OF INTRAGRANULAR PROPERTIES OF ELECTRON
IRRADIATED $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.99}\text{Na}_{0.01}\text{O}_x$ CERAMICS

S.K.NIKOGOSIAN, A.A.SAHAKIAN, G.N.YERITSIAN, A.G.SARKISIAN,
V.M.AROUFTIOUNIAN

The intragranular properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.99}\text{Na}_{0.01}\text{O}_x$ ceramics before and after electron irradiation with energy 8 MeV were investigated by AC susceptibility measurements. It was shown that the curve of intragranular hysteresis losses peak temperature T_m^g versus magnetic field exhibits nonmonotonic character with electron irradiation dose. The possible interpretations of observed effects are discussed within the model of Abrikosov vortices.