

- [4] Руденко Э. М., Невирковец И. П. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 5. С. 1421—1423.
 [5] Елесин В. Ф., Копаев Ю. Ф. // УФН. 1981. Т. 133. № 3, С. 254—310.
 [6] Аронов А. Г., Спивак Б. З. // ФТТ. 1976. Т. 18. № 2. С. 541—553.

Институт металлофизики
 АН УССР
 Киев

Поступило в Редакцию
 13 сентября 1988 г.

УДК 538.248 : 537.312.62

Физика твердого тела, том 31, в. 3, 1989
 Solid State Physics, vol. 31, № 3, 1989

ДИНАМИЧЕСКАЯ МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($R=\text{Y, Gd, Eu}$) В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ СОСТОЯНИИ

Е. И. Головенчу, В. А. Санина, Л. М. Сапожникова,
 П. П. Сырников

Изучена динамическая магнитная восприимчивость монокристаллов $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($R=\text{Y, Gd, Eu}$) в диапазоне частот 0.1—20 кГц, в интервале температур 4.2—100 К. Исследован ряд кристаллов с разными R -ионами, оказавшихся в результате синтеза и отжига в различном состоянии. Сравнивались температура T_c и ширина ΔT перехода в сверхпроводящее состояние. Отметим, что исследование не обнаружило явной зависимости этих параметров от сорта редкоземельного иона.

Нами использовался индукционный метод измерения восприимчивости. Две встречно-включенные, скомпенсированные измерительные катушки, в одной из которых располагался образец и эталон, помещались в соленоид, создающий переменное магнитное поле амплитудой $h \sim 0.1 \div 10$ Э. Измерялись температурные изменения эдс индукции, пропорциональные восприимчивости образца. Сигнал раскомпенсации, возникающий за счет восприимчивости образца, сравнивался с сигналом от эталона. В качестве эталона использовалась пластинка ниобия толщиной 20 мкм и площадью, близкой к площади образца. Отсчет величины эффекта Мейсснера (доля мейсснеровского состояния (МС), в %) производился исходя из соотношения амплитуд сигналов эталона и образца. Доля МС для эталона принималась 100 %.

Монокристаллы выращивались по технологии, подобной [1]. Отжиг при 550 °С, выдержка в течение 70 ч с последующим медленным остыванием в потоке кислорода. Экспериментальные результаты качественно отличались для двух типов состояний кристаллов, возникающих при воздействии на них одних и тех же условий отжига. Хорошо отожженными (ХО) будем называть такие кристаллы, которые обладают резким по температуре ($\Delta T \sim 1 \div 2$ К) переходом в сверхпроводящее состояние, причем значение T_c может быть как 90 К, так и 60 К. Плохо отожженными (ПО) будем называть кристаллы, обладающие размытыми по температуре переходами с $T_c < 60$ К и характеризующиеся меньшей величиной эффекта Мейсснера. Заметим, что хорошо отжигались лишь достаточно тонкие (< 100 мкм) кристаллы. Удлинение времени отжига на более толстых кристаллах эффекта не давало. В настоящее время установлено, что факторами, определяющими T_c и ΔT , являются содержание кислорода δ в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ и степень упорядочения кислорода в цепочках и плоскостях $\text{Cu}-\text{O}$ [2-4].

Возникает вопрос об определении T_c по данным динамической магнитной восприимчивости $\chi(T)$. Нами были проведены измерения $\chi(T)$ и температурной зависимости электропроводности ρ на одном и том же ХО кри-

сталле. Сравнение показало, что ρ обращается в нуль при температуре, соответствующей самому начальному участку роста МС, когда последнее составляет величину $\sim 5\%$. В работе принято, что $T_c = T$, при которой МС $\approx 5\%$. Основные экспериментальные результаты следующие.

1. Для ХО кристаллов (рис. 1) вблизи T_c , в области температур наиболее резкого изменения МС, в исследованной области частот нет частотной зависимости T_c и ΔT . Нет также зависимости этих величин от амплитуды магнитного поля h при изменении h от минимальных значений (~ 0.1 Э) до некоторого значения h^* , начиная с которого наблюдается сдвиг кривой нарастания МС в сторону более низких температур. Величина $h^* \approx 3 \div 5$ Э для кристаллов разного размера.

2. Для ПО кристаллов (рис. 2) при измерениях на фиксированной амплитуде h наблюдается низкочастотная дисперсия сдвига кривой на-

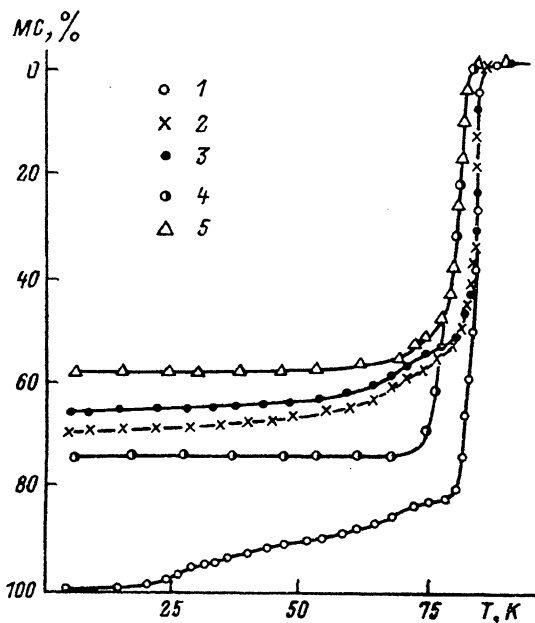


Рис. 1. Температурная зависимость эффекта Мейсснера (МС, в %) для $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (толщина 30 мкм).

h , Э: 1—3 — 0.9; 4, 5 — 5.3, 1, 4 — 117 Гц; 2 — 1.17; 3, 5 — 11.7 кГц. $h \parallel c$.

растания МС. Чем ниже частота, тем выше T_c . Исследования на фиксированной частоте от амплитуды поля h показали, что для этих кристаллов смещение T_c в область более низких температур по мере роста h начинается с самых малых значений h (~ 0.1 Э) — рис. 3.

3. В обоих типах кристаллов при низких температурах в области квазинасыщения МС имеется зависимость величины МС от h и частоты. Возможно, что для ХО кристаллов эта зависимость в области квазинасыщения МС может быть обусловлена включением имеющихся и в ХО образцах плохо отожженных областей с низкими T_c .

Перейдем к анализу наблюдаемых экспериментальных данных.

Смещение кривой нарастания МС в область более низких температур с ростом h указывает на увеличение плотности вихрей, что приводит к снижению T_c . Тот факт, что в ПО кристаллах захват магнитного потока начинается с минимальных значений h и происходит на временах $\tau < 10^{-4}$ с, свидетельствует о наличии в таких кристаллах слабых связей, по которым легко и быстро захватывается магнитный поток. В ХО кристаллах такие слабые связи практически отсутствуют и плотность вихрей не изменяется с ростом h вплоть до значений h^* . Сдвиг T_c в более низкие температуры при $h \geq h^*$ для ХО кристаллов можно связать с разрушением пиннинга вихрей при возбуждении тока порядка критического I_c . Оценка крити-

ческой плотности тока, соответствующей h^* , дает величину $I_C \sim 10^4 \div 10^5 \text{ A/cm}^2$ (при глубине проникновения поля, как для Nb, $\sim 10^{-5} \text{ см}$). В ПО кристаллах величина I_C существенно (в 50—100 раз) меньше. Заметим, что в работе [5] дается объяснение малости первого критического поля в среде со слабыми сверхпроводящими связями, обусловленными гранулированностью керамики либо двойникованием в монокристаллах. Воз-

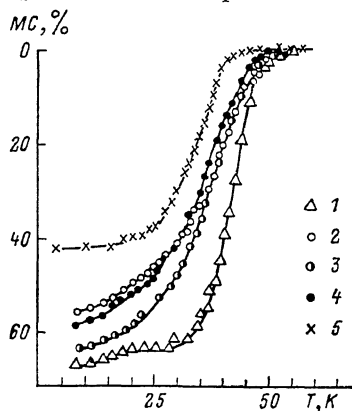


Рис. 2. Температурная зависимость эффекта Мейсснера для $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (толщина 160 мкм). Амплитуда поля $h=0.9 \text{ Э}$. 1 — 117, 2 — 377, 3 — 670 Гц, 4 — 1.17, 5 — 11.7 кГц. $h \parallel c$.

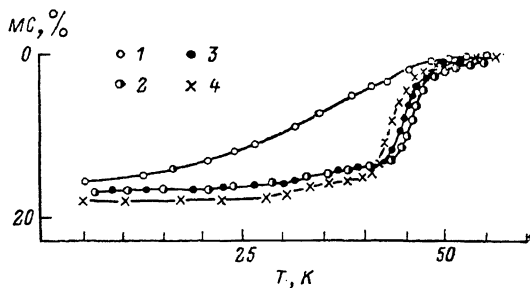


Рис. 3. Температурная зависимость эффекта Мейсснера для $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (толщина 300 мкм). Частота 1.17 кГц. 1 — до отжига, 2—4 — после отжига. 1 — $h=0.2$, 2 — 0.18, 3 — 0.44, 4 — 1.3 Э. $h \parallel c$.

можно, что наличие слабых связей (и двойникования) в ПО кристаллах связано с разупорядочением кислородных вакансий.

Низкочастотная дисперсия T_C для ПО кристаллов говорит о распределении времен захвата магнитного потока и величин барьеров для вихрей. Это распределение таково, что вихри вносят наименьший вклад при $\omega \rightarrow 0$ — переход самый низкотемпературный и резкий (рис. 2). Имеются и вихри с короткими ($\tau \sim 10^{-3} \div 10^{-4} \text{ с}$) временами захвата, приводящие к относительно большему вкладу их в магнитную восприимчивость на частотах, при которых $\omega\tau \sim 1$.

Таким образом, в плохо отожженных кристаллах наблюдаются низкочастотная дисперсия T_C и зависимость T_C от амплитуды магнитного поля. Для хорошо отожженных кристаллов подобных явлений не наблюдается.

Л и т е р а т у р а

- [1] Schneemeyer L. F., Waszczak I. V., Seigrist T. et al. // Nature. 1987. V. 328. N 6131. P. 601—603.
- [2] Cava R. J., Batlogg B., Chen C. H. et al. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 10. P. 5719—5722.
- [3] Sanchez J. M., Mejia-Lira F., Moran-Lopez J. L. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. N 7. P. 3678—3680.
- [4] de Fontaine D., Wille L. T., Moss S. C. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36, N 10. P. 5709—5712.
- [5] Сонин Э. Б. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 8. С. 415—418.

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

Поступило в Редакцию
14 сентября 1988 г.