

05.4

© 1990

## ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В ОСТАТОЧНОМ ПОЛЕ НАМАГНИЧИВАНИЯ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

А.Я. К и р и ч е н к о, Н.Т. Ч е р п а к

Изучение электромагнитного поглощения в сверхпроводниках с высокой  $T_c$  (ВТСП) позволяет исследовать особенности проникновения магнитного потока и его захват в образце после снижения внешнего магнитного поля до нуля [1-4]. В связи со сложной гранулированной структурой сверхпроводников  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  особенно продуктивными могут быть исследования высокочастотного (ВЧ) поглощения в слабых полях  $H$  намагничивания, т.е. меньших или несколько превышающих первое критическое поле  $H_{c1}$  для гранул. Однако в [2] минимальные значения поля  $H$  не могли быть ниже 15 Э (в связи с чем авторы пришли к заключению о линейной зависимости остаточных потерь от  $H$ ), а в [3] не уделено внимания анализу ряда особенностей поглощения ВЧ поля.

Целью настоящей работы является изучение особенностей ВЧ поглощения в поликристаллах  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , установление различия в гранулах ВТСП, а также обсуждение на этой основе возможности измерения первого критического поля  $H_{c1}$  для гранул и его температурной зависимости.

Измерения производились на частоте 2.5 МГц, что обеспечивало, в отличие от [2, 5], достаточно большую глубину проникновения ВЧ поля непосредственно в гранулы сверхпроводника. Использовалась методика, позволяющая по добротности  $Q$  ВЧ контура, возмущаемого поликристаллическим образцом, судить о величине ВЧ потерь в последнем. Внешнее постоянное поле  $H$ , изменяемое от 0 до 160Э, прикладывалось параллельно магнитной составляющей ВЧ поля. Температура изменялась от 78 К до 300 К. В условиях гистерезисного характера полевой зависимости  $Q(H)$  [4] модуляция поля не дает производной поглощения и поэтому аналогично [2-5] не использовалась.

Как известно [3], величина остаточного магнитного момента  $M_{ост}$  для  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  зависит от режима охлаждения, с внешним полем  $H$  (FC), или без него (ZFC). Зависимость ВЧ потерь в остаточном поле намагничивания также определяется режимом охлаждения. Больше информации содержит указанная зависимость в режиме ZFC.

На рис. 1 приведены зависимости добротности  $Q$  от поля намагничивания  $H$ , полученные при  $T=78$  К (сплошная кривая) и при  $T=83.1$  К (пунктирная кривая) для образца с плотностью  $4.56$  г/см<sup>3</sup> и началом перехода  $T_c=91.5$  К.  $Q$  измерялась в остаточном поле намагничивания, т.е. внешнее поле при измерениях

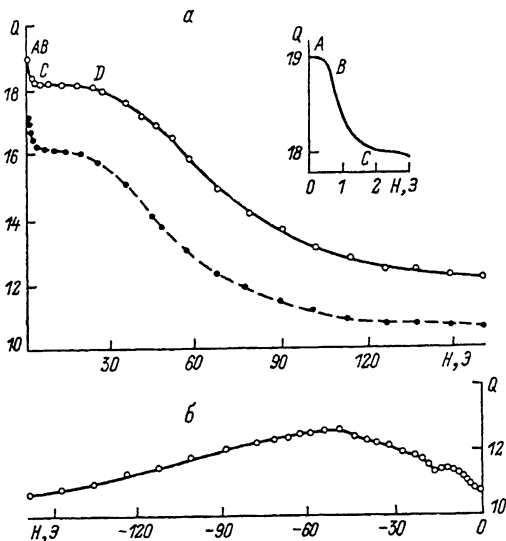


Рис. 1. Зависимость  $Q(H)$  в остаточном поле намагничивания:  
 а – при начальном повышении  $H$  в положительном направлении,  
 б – при переходе через  $H=0$  в отрицательном направлении.

отключалось ( $H=0$ ). Кривые при двух разных  $T$  отличаются только количественными значениями  $Q$  при сохранении качественного хода зависимости. Ограничимся подробным анализом кривой, полученной при  $T=78$  К.

При намагничивании в поле  $H \sim 0.5$  Э (см. вставку на рис. 1) потери на участке  $AB$  не меняются,  $Q$  сохраняет величину, соответствующую нулевому полю намагничивания. На отрезке  $BC$  в интервале  $H=1-1.5$  Э,  $Q$  резко снижается, а затем сохраняет свою величину на отрезке  $CD$ . В точке  $D$  существует излом кривой, после которого при повышении поля намагничивания  $Q$  снижается сначала с большей, а затем с меньшей скоростью.

Кривая  $Q(H)$  полученная при более высокой  $T$  (рис. 1, а, пунктирная линия), сохраняет указанные особенности. Обращает внимание лишь некоторое расширение участка  $BC$  и сужение участка  $CD$ . Участок  $AB$ , по-видимому, соответствует наличию мейснеровской фазы для межгранульной среды, а участок  $BC$  указывает на изменение захваченного потока в межгранульных связях, что соответствует модели гранулированной среды, построенной на основе изучения намагничивания образца в слабых полях [6, 7]. На участке  $CD$  потери практически не меняются, что может соответ-

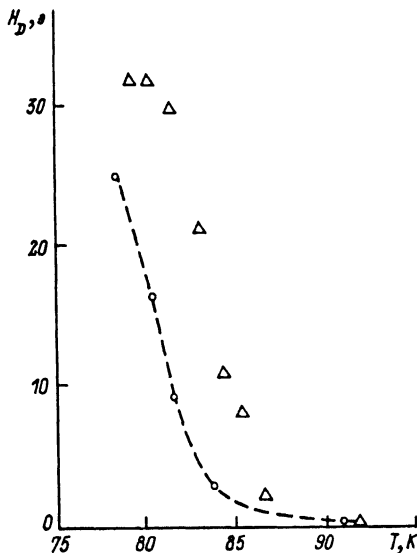


Рис. 2. Температурная зависимость  $H_D$  вблизи  $T_C$  для двух образцов поликристалла.

ствовать мейснеровской фазе для материала гранул. В точке  $D$  начинается непосредственное проникновение магнитного потока внутрь гранул через вихри Абрикосова, наступает шубниковская фаза.

Исходя из этого, измерение поля намагничивания  $H_D$  в точке  $D$  может позволить определить значение поля  $H_{c1}$ , что не всегда удобно производить традиционным способом по кривым  $B(H)$  из-за гранулярной структуры образца. Точка  $B$ , по-видимому, соответствует первому критическому полю для межгранулярных связей.

Следует отметить, что при деградации образца ширина области  $CD$  сужается за счет снижения поля намагничивания в точке  $D$ . При этом  $T_C$  начала перехода сохраняется. Введение в образец парафина (до 1-2%) увеличивает изменение  $Q$  на участке  $BC$  в 1.5-2 раза. При  $T=78$  К для различных образцов  $H_D=30-60$  Э.

При изменении направления поля в точке  $H=0$  можно наблюдать снижение ВЧ потерь с двумя отчетливыми максимумами на кривой  $Q(H)$  (рис. 1, б). Более высокий максимум отмечен в работе [3] и интерпретируется как усражденное намагничивание  $M_{ост}$  образца при наличии в нем магнитных моментов противоположных

знаков. Меньший максимум, наблюдаемый при более низких полях, отмечается впервые и, по-видимому, соответствует экстремальной особенности на гистерезисной кривой полевой зависимости ВЧ поглощения при  $H \neq 0$  [4].

Исходя из предположения, что поле намагничивания в точке  $D$  определяет  $H_{cl}$ , на рис. 2 приведена зависимость  $H_D$  от  $T$ . Треугольниками приведена зависимость  $H_D(T)$  для образца, зависимость  $H_D(T)$  для которого анализировалась выше. Пунктирной кривой приведена зависимость для образца с плотностью  $5,16 \text{ г/см}^3$  и  $T_c = 91 \text{ К}$ . Обращает на себя внимание тот факт, что  $H_D$  перед переходом образца в нормальное состояние сначала резко, а затем медленно снижается до 0 в точке  $T = T_c$ . Представляется, что такая зависимость  $H_D(T)$  вблизи  $T_c$  заслуживает специального исследования не только в поликристаллах, но и в монокристаллах ВТСП.

Если учесть фактор намагничивания образца  $N = 1 - \pi a / 2 d$ , где  $a$  - толщина, а  $d$  - его диаметр, то значение  $H_{cl}$  при  $T = 78 \text{ К}$  оказывается равным 68 и 93 Э, что согласуется с ранее полученными данными (например, [7]).

Таким образом, изучение ВЧ потерь в образце с захваченным магнитным потоком позволяет разделить области захвата поля в межгранульном пространстве и непосредственно в гранулах, а точка излома  $Q(H)$  в поле намагничивания  $H_D$ , определяющая конец мейснеровской фазы для гранул, позволяет определить  $H_{cl}$ .

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Blazey K.W., Müller K.A., Bednorz J.G. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 11. P. 7241-7243.
- [2] Maniwa Y., Crupp A., Hentsch M., Mehring M. // Physica C. 1988. V. 156. N 85. P. 755-760.
- [3] Блинов Е.В., Семенченко М.Г., Флейшер В.Г. и др. // Письма в ЖЭТФ, 1988. Т. 48. № 3. С. 147-151.
- [4] Аронов И.Е., Кириченко А.Я., Крохин А.А., Черпак Н.Т. В сб.: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Киев: Наукова думка, 1989. С. 95-99.
- [5] Pakulis E.J., Osada T. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. N 10. P. 5940-5942.
- [6] Zhag H., Yan S.S., Ma H. et al. // Solid State Commun. 1988. V. 65. N 10. P. 1125-1129.
- [7] Xu Y., Guan W., Zeibig K. // Solid State Commun. 1988. V. 68. N 1, P. 47-50.