

05.4

## Проявление эффекта "отрицательного захвата" на магнитолевых зависимостях поглощения в ВТСП

© Г.В. Голубничая, А.Я. Кириченко, Н.Т. Черпак

Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Харьков

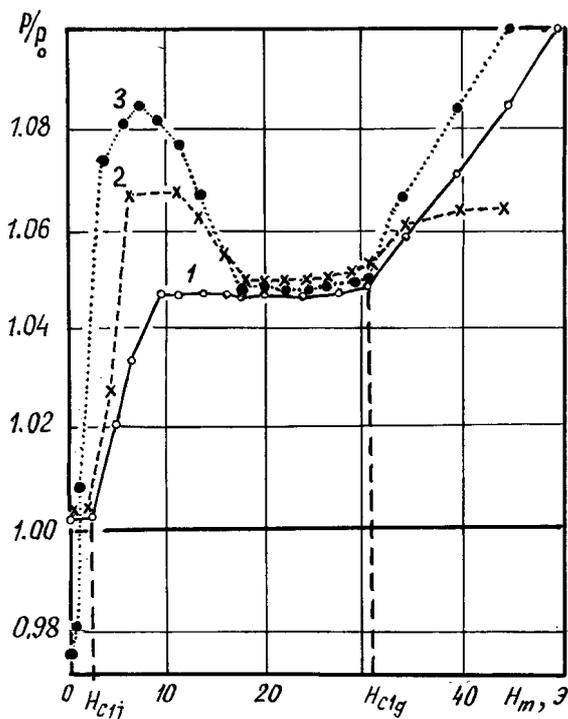
Поступило в Редакцию 21 ноября 1996 г.

В работе впервые изучены особенности высокочастотного поглощения электромагнитного поля в ВТСП образцах  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  в области магнитных полей, соответствующих проявлению эффекта "отрицательного захвата". Показано, как влияет на проявление эффекта дополнительный отжиг и деградация образцов. Для объяснения наблюдаемых особенностей произведена модификация модели динамики взаимодействия сверхпроводящих контуров.

В [1] описан обнаруженный авторами эффект "отрицательного захвата" магнитного поля в образцах керамики типа  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , проявляющийся в нарушении монотонности полевой зависимости захваченного магнитного потока. Он наблюдается в области полей намагничивания  $H_m$ , не превышающих значения нижнего критического магнитного поля  $H_{c1g}$  для гранул. Учитывая высокую чувствительность высокочастотного (ВЧ) поглощения в керамике YBCO к внешнему магнитному полю, представляет интерес выяснение влияния эффекта "отрицательного захвата" на характер ВЧ поглощения.

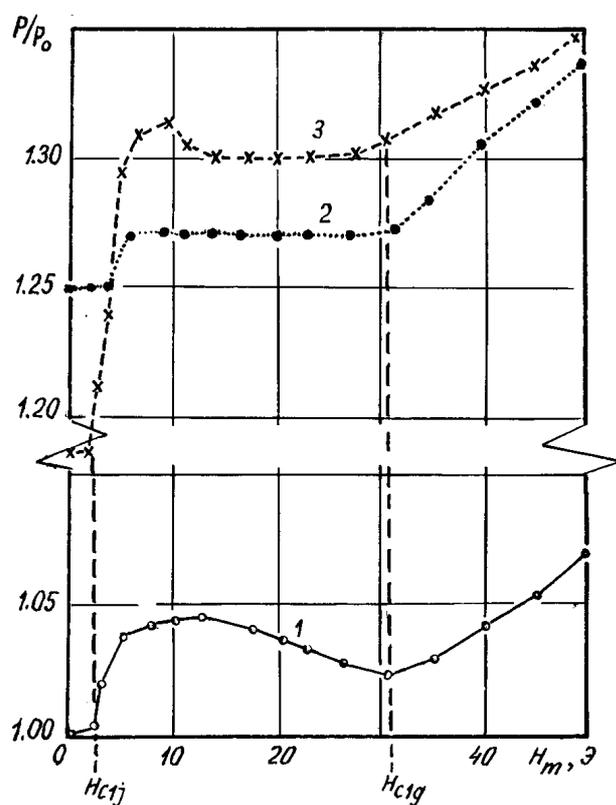
Известно, что качественный характер магнитолевой зависимости ВЧ поглощения  $P(H_m)$  в образцах с захваченным магнитным потоком [2,3] полностью коррелирует с полевой зависимостью захваченного магнитного потока  $H_{tr}(H_m)$  [4,5]. Существующие плато на кривых зависимостей  $P(H_m)$  разделяются участками роста поглощения, а на кривых  $H_{tr}(H_m)$  — участками роста  $H_{tr}$ . При этом значения  $H_m$ , соответствующие границам плато на обеих зависимостях, совпадают и соответствуют критическим полям образца.

Типичная кривая магнитолевой зависимости ВЧ поглощения, полученная индукционным методом [3] на частоте 2.5 МГц при температуре кипения азота  $T = 77$  К, изображена на рис. 1 (кривая 1). По



**Рис. 1.** Зависимость относительной величины поглощения  $P/P_0$  от поля намагничивания  $H_m$  при проведении дополнительного отжига образца: 1 — образец в исходном состоянии; 2 — после дополнительного отжига в течение 6 ч; 3 — после дополнительного отжига в течение 26 ч.

оси ординат отложена величина мощности  $P$ , поглощенной в образце, отнесенная к мощности  $P_0$ , поглощенной в образце в отсутствие магнитного поля. Зависимость получена для образца керамики, изготовленного из высококачественных порошков, содержащих не менее 95–97% фазы  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , по стандартной технологии горячего прессования при  $T = 580^\circ\text{C}$  с отжигом в воздухе при температуре  $T = 930^\circ\text{C}$  в течение 5–6 ч. Плотность образца  $\rho = 4.6\text{ г/см}^3$ , плотность критического тока  $J_c = 120\text{ А/см}^2$  при  $T = 77\text{ К}$ .



**Рис. 2.** Зависимость относительной величины поглощения  $P/P_0$  от поля намагничивания  $H_m$  для образца: 1 — в исходном состоянии; 2 — после деградации в результате контакта с водой; 3 — после восстановительного отжига.

Для обнаружения эффекта "отрицательного захвата" в [1] использовалась специальная технология. В нашем случае при обычной технологии, но при повышении давления прессования или длительности отжига, магнитополевая зависимость ВЧ поглощения  $P(H_m)$  также теряла монотонность на участке полей намагничивания  $H_{clj} \leq H_m \leq H_{clg}$  ( $H_{clj}$  — значение нижнего критического поля для межгранулярной среды). Так,

для примера на рис. 2 (кривая 1) приведена зависимость  $P(H_m)$  для образца с более высокой плотностью  $\rho = 5.4 \text{ г/см}^3$ . Для обоих образцов значение поля намагничивания, при котором абрикосовские вихри начинают проникать в гранулы, одно и тоже  $H_{clg} = 31 \text{ Э}$ . Однако на кривой 1 (рис. 2) наблюдается четкий максимум поглощения в области  $H_{clj} \leq H_m \leq H_{clg}$  с растянутой областью снижения потерь в образце от 12 до 30 Э.

Проведение операции дополнительного отжига при  $T = 930^\circ\text{C}$  образца ВТСП с исходной плотностью  $\rho = 4.6 \text{ г/см}^3$  в течение сначала 6 ч (рис. 1, кривая 2), а затем еще 26 ч (кривая 3) привело к потере монотонности магнитополевой зависимости. Весьма примечательным на этих зависимостях является наличие широкого плато, следующего за максимумом поглощения при росте  $H_m$ , величина ВЧ потерь на котором практически совпадает с поглощением на плато в образце до проведения дополнительного отжига.

Так как при контакте с водой или с ее парами деградирует в первую очередь межгранулярная среда [6], важно было проследить за влиянием деградации ВТСП керамики на характеристики ВЧ поглощения  $P(H_m)$ . При контакте с водой образца с начальной плотностью  $\rho = 5.4 \text{ г/см}^3$  ВЧ поглощение возрастало во всем диапазоне магнитных полей. При этом немонотонность зависимости  $P(H_m)$  в интервале  $H_{clj} \leq H_m \leq H_{clg}$  сглаживалась. Для примера на рис. 2 (кривая 2) приведен результат измерения ВЧ поглощения после контакта образца с водой в течение 185 ч. Видно, что кривая 2 качественно подобна кривой 1 на рис. 1. Однако при проведении восстановительного отжига этого образца при  $T = 930^\circ\text{C}$  в течение 6 ч монотонность этой зависимости снова нарушается (см. кривую 3 рис. 2). Обращает на себя внимание то, что указанные технологические операции оказывают сильное влияние на значение  $H_{clj}$ , в то время как  $H_{clg}$  при этом практически не изменяется.

Таким образом, участок зависимости  $P(H_m)$ , соответствующий проявлению эффекта "отрицательного захвата" магнитного поля, находясь в пределах полей намагничивания  $H_{clj} \leq H_m \leq H_{clg}$ , при изменении свойств межгранулярной среды перемещается по плато от  $H_{clj}$  до  $H_{clg}$ , при этом может сохраняться участок плато. Проведенными исследованиями по управлению межзеренными связями путем дополнительного отжига или за счет деградации подтверждаются элементы модели эффекта "отрицательного захвата", предполагающие существование в системе

как более слабых джозефсоновских контактов, принадлежащих большим кольцам, так и более сильных контактов, присущих контурам меньших размеров. Однако проявление эффекта, на наш взгляд, в отличие от [1] необходимо связывать не с подавлением сверхпроводимости в больших цепях полями колец меньшего размера, а просто с разрушением колец большого размера за счет воздействия на их слабые джозефсоновские контакты полей, захватываемых в более устойчивых мелких кольцах при повышении  $H_m$ . То есть при захвате гипервихрей в межгранульной среде с ростом поля намагничивания происходят два процесса: а) постепенный захват магнитного потока контурами все меньшего размера и б) разрушение контуров большего размера как внешним полем, так и полями, захватываемыми в образце. В работе [1] четко показано, что напряженности поля захваченного магнитного потока в области максимума захвата достигают 3–4 Э, т. е. могут превышать значение  $H_{cjj} \approx 3 \text{ Э}$ , характерное для исследуемых образцов.

На наш взгляд, следует предполагать, что дополнительный отжиг приводит к образованию добавочных джозефсоновских контактов между гранулами, которые, однако, слабее, чем связи между гранулами, возникающие при синтезе образца. Повышение поля намагничивания на участке "отрицательного захвата" приводит к росту захваченного поля, способного разрушить замкнутые цепи больших размеров, что может снижать общую величину пиннинга магнитного потока. Однако после этого в образце фиксируется лишь захваченный магнитный поток в замкнутых цепях, сформированных в стандартном технологическом процессе до проведения дополнительных отжигов. В связи с этим величина ВЧ поглощения  $P$  непосредственно перед  $H_m = H_{clg}$  может достигать одного и того же уровня, что подтверждается кривыми рис. 1.

При деградации керамических образцов в первую очередь разрушаются более слабые связи. При этом эффект "отрицательного захвата" может исчезать.

## Список литературы

- [1] Ростами Х.Р., Суханов А.А., Манторов В.В. // ФНТ. 1996. Т. 22. В. 1. С. 58–61.
- [2] Кириченко А.Я., Черпак Н.Т. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 12. С. 85–88.

- [3] Голубничая Г.В., Кириченко А.Я., Черпак Н.Т., Загоскин В.Т., Литвиненко Ю.Г., Лобас С.В., Розенберг Г.Х. // СФХТ. 1992. Т. 5. В. 3. С. 486–494.
- [4] Cao Xiaowen, Han Guchang, Zhang Tingyu // Mod. Phys. Lett. 1988. V. B1. N 9–10. P. 383–388.
- [5] Zhukov A.A., Komarkov D.A., Karapetrov G., Gordeev S.N., Antonov R.I. // Supercond. Sci. Technol. 1992. V. 5. P. 338–345.
- [6] Голубничая Г.В., Кириченко А.Я., Ницевич В.И., Черпак Н.Т., Загоскин В.Т., Литвиненко Ю.Г., Мураховский В.А., Полторацкий Ю.Б. // СФХТ. 1992. Т. 5. В. 2. С. 348–355.