

05.4;08

Определение смешанного состояния в сверхпроводнике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ методом акустической эмиссии

© E. Dul'kin

School of Applied Science, The Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem 91904, Israel
E-mail: dulkin@pob.huji.ac.il

Поступило в Редакцию 18 августа 2003 г.

Методом акустической эмиссии определено формирование смешанного состояния в сверхпроводнике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ при возрастании транспортного тока, т.е. под действием собственного магнитного поля при $T = 77$ К. Сигналы акустической эмиссии зарегистрированы при токах $I = 0.5$ А и $I = 2.7$ А. Сигналы акустической эмиссии при первом токе соответствуют нижнему критическому магнитному полю H_{C1} , как было установлено ранее в [4]. Показано, что сигналы акустической эмиссии при втором токе соответствуют формированию смешанного состояния. Обсуждается применение метода акустической эмиссии для регистрации перегрузок в силовых сверхпроводящих сетях.

Одной из основных черт высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) II рода является проникновение в материал магнитного поля в виде вихрей и формирование смешанного состояния. Проникновение поля в материал связано с преодолением поверхностного барьера, обусловленного эффектом Мейснера, и происходит при достижении внешнего (или собственного, вызванного транспортным током) поля величины нижнего критического поля H_{C1} . В процессе возрастания напряженности поля вихри проникают в глубь материала и встречаются в центре образца, формируя треугольную решетку при величине поля смешанного состояния H_S [1]. Возникновение смешанного состояния приводит к существенному уменьшению критического тока I_C , что делает практически невозможным эксплуатацию ВТСП проводов.

Величина поля H_S определялась в керамике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ по измеренной зависимости уменьшения величины I_C по мере возрастания внешнего поля H [2]. Однако кривая I_C данной зависимости

несколько размыта, что не позволяет определить величину H_S более или менее точно. В работе [3] величины полей H_C и H_S в керамике $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ сечением 2×2 mm определялись методом внутреннего трения, чувствительного к пиннингу вихрей на дефектах материала. Величина $H_{C1} = 90$ Oe определялась по началу возрастания кривой внутреннего трения, входящей в насыщение в процессе возрастания напряженности внешнего поля. Ввиду насыщения авторы указали только нижнюю границу напряженности поля ~ 350 Oe, выше которой начинает формироваться смешанное состояние.

В последнее время для исследования ВТСП успешно применяется метод акустической эмиссии (АЭ). Механизмом, обуславливающим возможность применения АЭ, является пиннинг вихрей (или их взаимодействие) на дефектах материала, приводящий к излучению упругих акустических волн. В работе [4] величина H_{C1} определялась в керамике $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ сечением 5×5 mm по сигналам АЭ при возрастании транспортного тока в собственном поле. Четкий максимум активности \dot{N} АЭ был зарегистрирован при $I = 0.5$ А, что соответствует $H_{C1} = 104$ Oe. В работе [5] исследовалась АЭ в керамике $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ сечением 5×5 mm под действием внешнего магнитного поля. Было зарегистрировано два максимума АЭ: при $H_{C1} = 100$ Oe и $H_S = 2500$ Oe. Величины H_{C1} работ [3–5] удовлетворительно совпадают, в то время как величины H_S этих работ значительно отличаются. Совпадение величин H_{C1} очевидно, поскольку величина нижнего критического поля практически не зависит от геометрических размеров образцов. В свою очередь, отличие величин H_S обусловлено как различным сечением исследованных образцов, так и влиянием на величину H_S индивидуальных параметров образцов: формы и размеров зерен, наличия сопутствующих фаз, микротрещин.

В настоящей работе проведены исследования активности \dot{N} АЭ керамических образцов $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ под действием транспортного тока (в собственном поле) с целью определения момента формирования смешанного состояния.

Исследовались керамические образцы $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ размером $5 \times 5 \times 20$ mm, имеющие $T_C = 92$ К, $\Delta T_C = 0.2$ К, $\rho \sim 4.7$ g/cm³, $I_C = 2.5$ А измерялся на постоянном токе четырехзондовым методом по величине падения напряжения $1 \mu V/cm$. Исследования проводились по следующей методике [4]. Образец приклеивался к торцу цилиндрического акустического волновода из кварцевого стекла посредством

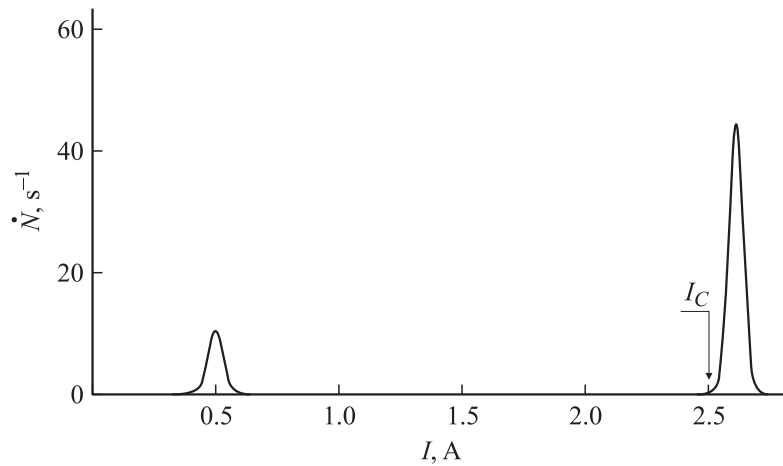


График зависимости активности \dot{N} акустической эмиссии АЭ от величины возрастающего транспортного тока в керамических образцах сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при 77 К.

суперклея, к противоположному торцу волновода приклеивался датчик АЭ из пьезокерамики ЦТС-19 посредством эпоксидной смолы. К противоположным торцам образца приклеивались электроды при помощи серебряной пасты. Волновод с образцом погружался в дьюар с жидким азотом и через образец пропускался постоянный ток со скоростью возрастания 0.5 A/s. Активность \dot{N} АЭ в функции от величины тока измерялась в реальном масштабе времени посредством аналого-цифрового преобразователя DT-302(01), подключенного к персональному компьютеру. Чтобы избежать ошибки измерений, связанной с захватом магнитного потока, каждое последующее измерение проводилось на новом образце.

Результаты измерений представлены на рисунке. В процессе возрастания тока были зарегистрированы два максимума \dot{N} АЭ аналогично исследованию во внешнем магнитном поле [5]. Первый максимум АЭ имеет место при $I = 0.5$ А, что подтверждает результат [4], полученный в аналогичных экспериментальных условиях. Второй максимум АЭ имеет место при токе, несколько большем I_C , $I = 2.7$ А $\approx 1.1I_C$. Величина \dot{N} второго максимума АЭ более чем в 4 раза больше,

чем величина \dot{N} первого максимума. Различие в величинах \dot{N} АЭ обусловлено соответствующим различием в количестве взаимодействующих вихрей в каждом случае. В случае преодоления поверхностного барьера вихри пинингуются в приповерхностной области образца, в то время как в процессе формирования смешанного состояния вихри взаимодействуют во всем объеме образца. Поэтому мощный максимум \dot{N} АЭ позволяет достаточно точно определить момент формирования смешанного состояния в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ образцах.

Необходимо отметить, что при изучении потерь в сверхпроводящих $(\text{Bi}, \text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ лентах и проводах было установлено, что величина потерь резко возрастает при транспортных токах, в 1.1–1.3 раза больших I_C [6–8]. Этот результат коррелирует с данными настоящей работы, в которой четкий максимум АЭ зарегистрирован именно при $I \approx 1.1I_C$.

Таким образом, полученные в настоящей работе экспериментальные результаты и проведенное обсуждение предполагают применение метода акустической эмиссии как для определения формирования смешанного состояния, так и для регистрации перегрузок в силовых сверхпроводящих сетях.

Список литературы

- [1] Гинзберг Д.М. Физические основы высокотемпературных сверхпроводников. М., 1990. 543 с.
- [2] Altshuler E., Garcia S., Barrosso J. // Physica C. 1991. V. 177. N 1. 1–3. P. 61–66.
- [3] Аржавитин В.М., Ефимова Н.Н., Устименкова М.Б. и др. // ФТТ. 2000. Т. 42. В. 8. С. 1361–1364.
- [4] Dul'kin E., Beilin V., Yashchin E. et al. // Supercond. Sci. Technol. 2002. V. 15. N 7. P. 1081–1082.
- [5] Dul'kin E., Roth M. // Supercond. Sci. Technol. 2003. V. 16. N 3. P. 361–363.
- [6] Savvides N., Herrmann J., Reilly D. et al. // Physica C. 1998. V. 306. N 1–2. P. 129–135.
- [7] Fleshler S., Cronis L.T., Conway G.E. et al. // Appl. Phys. Lett. 1995. V. 67. N 21. P. 3189–3191.
- [8] Fukunaga T., Abe T., Oota A. // Appl. Phys. Lett. 1995. V. 66. N 16. P. 2128–2130.