

05.4
©1993

КРИТИЧЕСКИЕ ТОЧКИ В ОРИЕНТИРОВАННЫХ СТРУКТУРАХ СИСТЕМЫ BSCCO

*Ю.Н.Лизанин, А.О.Комаров, О.Г.Замолодчиков,
С.А.Воронков, Е.А.Королев*

Возможности достижения высоких значений транспортного тока в ВТСП материалах, как уже установлено, определяются отсутствием слабых связей между кристаллитами, созданием сильной текстуры, ростом силы пиннинга. К числу наиболее перспективных технологий получения токонесущих структур относятся приемы формирования изделий с использованием жидкофазных (подплавных) методов. Преимуществами данных методов является возможность демпфирования слабых связей между отдельными кристаллитами, управление их размерами, создание заданной текстуры материала. Для реализации этих целей использован метод формирования сверхпроводящих структур из метастабильного состояния в градиентных температурных полях [1].

Исследуемые образцы представляли собой участки длинномерных стержней ($d = 2 - 2.5$ мм, $l = 40 - 60$ см), прошедших зонную термообработку с полным или частичным расплавлением и имели форму цилиндра высотой ~ 10 мм. После дополнительной термообработки при $820^\circ\text{C} \times 20-50$ час. Образцы имели однофазную 2212 структуру с $T_k = 90-93$ К. Микроструктура варьировалась изменением скорости перемещения стержня через градиентную температурную зону и представляла собой совокупность ламелей с плоскостью (ab) параллельной оси образца. Размеры кристаллитов составляли от $3 \times 15 \times 50$ до $6 \times 30 \times 100$ мкм.

Ниже представлены результаты анализа кривых намагничивания и релаксации магнитного момента при изменении температуры. Измерения выполнены на вибромагнитометре VSM-9500 (LDJ Electronics, США) с чувствительностью $2 \cdot 10^{-5}$ едн. Интервал магнитных полей составлял 0–5 Тл, диапазон температур 4.4–50 К. Направление внешнего магнитного поля совпадало с осью образца.

Вид кривых намагничивания и характер их изменения с увеличением температуры были идентичны для всей серии образцов (рис. 1). Отличительной их особенностью являлось "схлопывание" петель гистерезиса начиная с $T = 35$ К

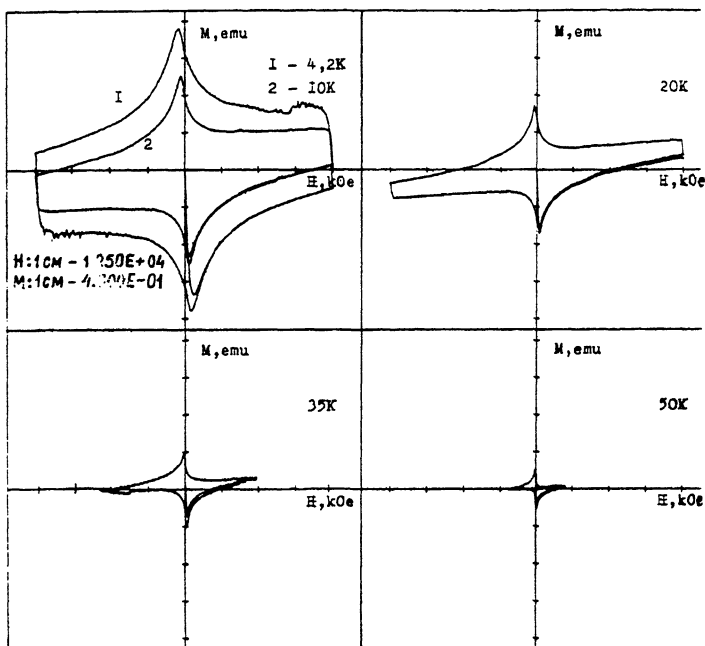


Рис. 1. Типичные кривые намагничивания для различных температур образцов системы BSCCO со структурой 2212; $H \parallel (ab)$.

в исследуемом интервале магнитных полей, что отражает практически полную деградацию пиннинга. При $T = 35$ К такой процесс наблюдается в магнитных полях свыше ~ 2 Тл, а при $T = 50$ К — свыше ~ 0.5 Тл.

Критическая плотность тока рассчитывалась согласно модели критического состояния Бина [2] по формуле

$$j_k = 15 \frac{M^+ - M^-}{VR}, \quad (1)$$

где M^+ , M^- — значения магнитного момента в одинаковом по величине возрастающем и убывающем магнитном поле (emu), V — объем образца (см^3), R — его радиус (см), т.е. полагалось, что джозефсоновские контакты между ламелями отсутствуют и сверхток циркулирует по всему объему образца. Означенной корреляции рассчитанных таким образом значений j_k с размером ламелей при данной ориентации образцов не обнаружено. По-видимому, это связано со значительным размером самих ламелей, в связи с чем изменение их размеров в указанных выше пределах не оказывает заметного влияния на величину j_k .

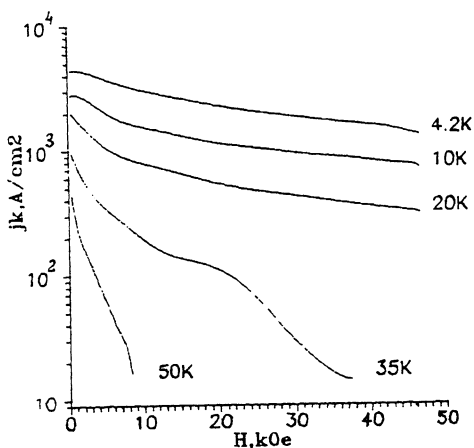


Рис. 2. Изменение полевых зависимостей межзеренной критической плотности тока с температурой образцов системы BSCCO; $H \parallel (ab)$.

На рис. 2 представлены полевые зависимости критической плотности тока одного из образцов для различных температур. Для остальных образцов абсолютные значения j_k и их изменение с изменением температуры и магнитного поля мало отличались от представленных. Как следует из приведенных зависимостей, резкое изменение хода кривых наблюдается в районе 20–35 К. Если до 20 К включительно кривые имеют пологий характер и незначительное падение j_k , то начиная с 35 К падение j_k с увеличением магнитного поля приобретает катастрофический характер. В принципе резкое падение критической плотности тока с увеличением температуры и поля может быть обусловлено либо течением магнитного потока (flux flow), либо плавлением вихревой решетки (flux melt). Учитывая значения температур (35–50 К) и магнитных полей (0.5–2 Тл), а также фазовую (H–T) диаграмму, предложенную в [3], наблюдаемую деградацию пиннинга следует отнести на счет плавления вихревой решетки.

Анализируя абсолютные значения j_k ($\sim 10^3$ А/см² при гелиевых температурах) следует отметить два момента. Во-первых, размещение образцов соответствовало ориентации плоскости (ab) параллельно магнитному полю, т.е. циркуляция сверхтока происходила в самом неблагоприятном для ВТСП материалов направлении. Учитывая анизотропию критических токов и предварительные данные, можно утверждать, что критическая плотность тока для исследованных образцов в плоскости (ab) будет на 1–2 порядка вы-

ше. Во-вторых, рассчитанные значения j_k являются межзеренной плотностью тока, поскольку в (1) за R принимался радиус образца, что справедливо в случае отсутствия слабых связей между ламелями. Однако подтверждающих это прямых экспериментов, например отсутствие малых петель гистерезиса, на данном этапе нами не проведено. Пересчет экспериментальных данных на внутризеренную плотность тока, принимая во внимание размер ламелей в плоскости перпендикулярной направлению магнитного поля (в среднем 4×20 мкм), дает величину $\sim 10^6$ А/см² для гелиевых температур.

Измерение релаксации магнитного момента, проведенное в отсутствие внешнего магнитного поля, дало возможность в рамках теории крипа магнитного потока [4,5] определить энергию активации U_0 , используя соотношение

$$\frac{1}{M_0} \frac{dM}{d(\ln t)} = -\frac{k_B T}{U_0}, \quad (2)$$

где M_0 — величина магнитного момента в момент времени t_0 . В экспериментах t_0 полагали равным 30 с после сброса внешнего магнитного поля. Такой временной интервал был достаточен, чтобы выйти на линейный участок зависимости $M = f(\ln t)$, отражающий термоактивированный крип магнитного потока. Для всех исследованных образцов значения U_0 при 4.2 К лежали в пределах 20–30 мэВ.

Таким образом, для ориентированных 2212 структур определены нижний предел критической плотности тока, а также характер его изменения с температурой и магнитным полем.

Работа поддерживается Научным советом по проблеме ВТСП и выполнена в рамках проекта 92010 “Прима” Государственной программы “Высокотемпературная сверхпроводимость”.

Список литературы

- [1] Воронков С.А., Козловская Н.А., Комаров А.О., Круглов В.С., Мелехин В.Ф., Нигматулин А.С., Пегов В.С. // Высокотемпературная сверхпроводимость. 1991. В. 2. С. 36–49.
- [2] Bean C.P. // Rev. Mod. Phys. 1964. V. 36. P. 31–39.
- [3] Soulen R.J., Wolf S.A. // Physica C. 1990. V. 166. P. 95–99.
- [4] Anderson P.W. // Phys. Rev. Lett. 1962. V. 9. P. 309–311.
- [5] Beasley M.R., Labusch R., Webb W.W. // Phys. Rev. 1969. V. 181. P. 682–700.

Поступило в Редакцию
29 мая 1993 г.