

05.4;12

Композиты на основе ВТСП как материалы, обладающие большим магнитосопротивлением в слабых магнитных полях

© Д.А. Балаев, Д.М. Гохфельд, С.И. Попков, К.А. Шайхутдинов,
М.И. Петров

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск
Сибирская Аэрокосмическая академия, Красноярск
Красноярский государственный университет
E-mail: smp@iph.krasnoyarsk.su

Поступило в Редакцию 26 июня 2001 г.

Исследовано магнитосопротивление композитов на основе ВТСП со структурой 1–2–3 + диэлектрик и ВТСП + нормальный металл. Композитные материалы обладают большим эффектом магнитосопротивления в слабых магнитных полях в широком температурном диапазоне. Такое поведение качественно объясняется на основании представлений о линии необратимости в ВТСП и тепловых флуктуациях и в сети слабых связей джозефсоновского типа, реализующейся в ВТСП-композитах. По сравнению с обычными ВТСП-керамиками композиты на основе ВТСП обладают высокой чувствительностью к слабым магнитным полям (до 300 Ое) при температуре жидкого азота, что важно для их практического использования.

Известно, что электросопротивление ρ поликристаллических высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) очень чувствительно к слабым магнитным полям ниже температуры сверхпроводящего перехода T_c [1,2]. Это является следствием того, что резистивное состояние поликристаллических ВТСП определяется влиянием межкристаллитных границ, являющихся слабыми связями джозефсоновского типа [1–3], которые очень чувствительны к внешним магнитным полям [4]. Однако температурный диапазон, где наблюдается большое магнитосопротивление (МС) ВТСП-керамик в слабых магнитных полях, очень мал и составляет всего несколько градусов (85–90 К для иттриевой керамики [1], 90–100 К для висмутовой керамики [2]). Видимо, это явилось

причиной того, что эффект МС в керамических ВТСП мало исследуется в плане возможного практического применения. С другой стороны, в настоящее время активно изучаются такие материалы, как композиты на основе ВТСП (см., например, [5–12]). Они обладают интересными транспортными [5,6,10,12] и магнитными [9] характеристиками. В данной работе приводятся результаты исследования МС в объемных композитах ВТСП + нормальный металл + ВТСП + диэлектрик.

Композиты приготавливались следующим образом. Технология приготовления ВТСП-состава $Y_{3/4}Lu_{1/4}Ba_2Cu_3O_7^*$ (ниже для обозначения будет использована маркировка YBCO) — стандартная. ОСЧ оксид меди CuO был использован в качестве диэлектрика [13]. Металлооксид BaPbO₃, используемый в качестве нормального металла [14], был синтезирован методом твердофазного синтеза из BaO₂ и PbO. Смесь порошкообразных компонентов будущего композита, взятых в нужных пропорциях, тщательно перемешивалась в агатовой ступке и затем прессовалась в таблетки. Далее прессованные таблетки проходили следующую температурную режим отжига: 5 min при 930°C, затем 6 h при 400°C для композитов с BaPbO₃ и 2 min при 910°C, затем 3 h при 350°C для композитов с CuO. Охлаждение от температуры 350–400°C — вместе с печью (подробнее см. [10,11]). Структурные исследования полученных композитов показали только рефлексы соответствующих фаз исходных ингредиентов, что говорит об отсутствии их химического взаимодействия. Электронная микроскопия композитов с металлом показала, что средний размер кристаллитов YBCO в композите составляет величину $\sim 1.5 \mu m$. Транспортные свойства (электросопротивление ниже T_c , критический ток, вольт-амперные характеристики) были подробно исследованы в работах [10–12]. Экспериментальные данные по влиянию магнитного поля на резистивные свойства этих материалов приводятся в этой работе впервые.

Зависимости $\rho(T)$ измерялись стандартным четырехзондовым методом в режиме отогрева образца, магнитное поле H прикладывалось перпендикулярно направлению тока, образцы охлаждались в поле Земли. На рис. 1, 2 приведены зависимости $\rho(T)$ композитов, измеренные для каждого образца при одном значении плотности транспортного тока (указаны в подписи к рисунку) в различных магнитных полях. Скачок ρ

* Была использована иттриевая керамика с лутецием, поскольку в цитированных работах группы [10–12] композиты приготовлены именно на ее основе. Характер полученных экспериментальных данных для композитов на основе $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ никак не изменится.

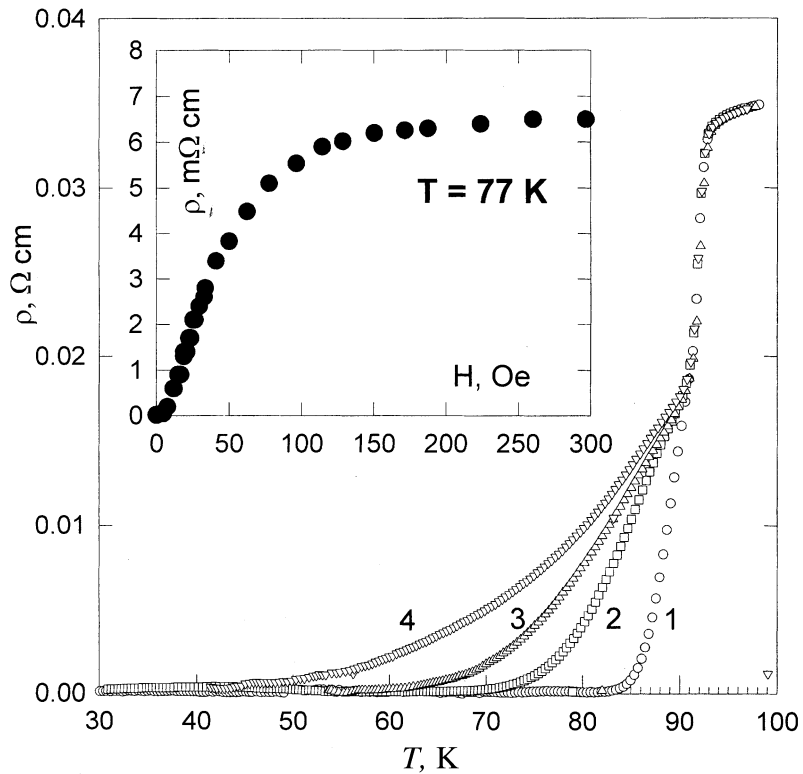


Рис. 1. Температурные зависимости электросопротивления композита 85 vol.% YBCO + 15 vol.% BaPbO₃ при различных значениях магнитного поля H : 1 — 0 Oe, 2 — 38 Oe, 3 — 79 Oe, 4 — 270 Oe. Измерительный ток — 50 mA/cm². На вставке: зависимость электросопротивления от магнитного поля при температуре 77 K.

при $T = 93.5 \text{ K}$ соответствует переходу в сверхпроводящее состояние гранул ВТСП. Эта температура совпадает с T_C композитов и исходного YBCO, определенной из магнитных измерений. Относительная величина резкого скачка электросопротивления не зависит ни от значения транспортного тока, что было предметом исследования в работах [10,11], ни от магнитного поля, что видно из рисунков, а зависит лишь от

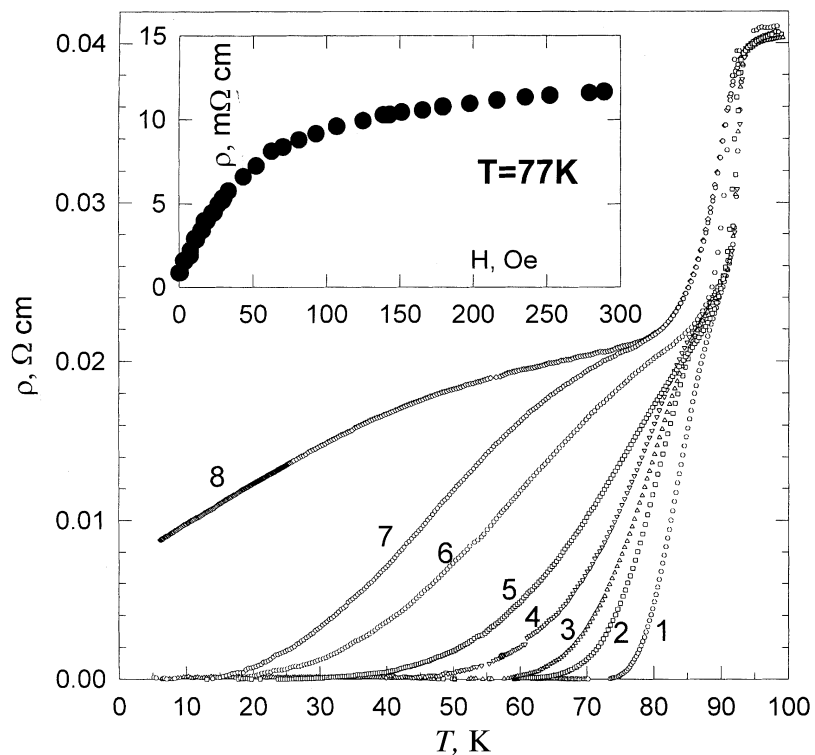


Рис. 2. Температурные зависимости электросопротивления композита 70 vol.% YBCO + 30 vol.% CuO при различных значениях магнитного поля H . Измерительный ток — 50 mA/cm^2 . 1 — 0 Oe, 2 — 38 Oe, 3 — 79 Oe, 4 — 183 Oe, 5 — 1 kOe, 6 — 10 kOe, 7 — 60 kOe, 8 — 60 kOe. Зависимость (8) получена при измерительном токе 0.5 A/cm^2 . На вставке: зависимость электросопротивления от магнитного поля при температуре 77 K.

объемного соотношения ингредиентов. Переход композитного образца в состояние с "нулевым" сопротивлением (регистрирующимся с точностью $\sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$) проявляется в виде затянутой зависимости $\rho(T)$ ("хвоста"). Эта часть $\rho(T)$ определяется влиянием межкристаллитных границ, роль которых в композите выполняет материал несверхпроводящего ингредиента. В этой части $\rho(T)$ композитов наблюдается сильная

зависимость сопротивления от величины транспортного тока [10,11] и от магнитного поля. На вставках к рис. 1,2 приведены зависимости $\rho(H)$ при температуре 77 К. До полей $H \approx 40$ Ое прямой и обратный ходы зависимости $\rho(H)$ совпадают. При $H \geq 40$ Ое обратный ход зависимости $\rho(H)$ идет ниже изначальной кривой, а при уменьшении внешнего поля до значения $H \approx 0$ (поле Земли не экранировалось) сопротивление имеет большее значение, чем до включения поля (на рисунках не показано). Такой ход зависимости $\rho(H)$ обусловлен процессами пиннингования вихрей в ВТСП-кристаллитах. Детальное исследование зависимостей $\rho(H)$ при различных температурах будет предметом отдельной публикации, а в данной работе мы заостряем внимание на сильной чувствительности ρ к относительно слабым магнитным полям (до ~ 300 Ое) не вблизи T_C , а при 77 К. При дальнейшем увеличении H ρ растет слабо, что видно из приведенных на рис. 2 зависимостей $\rho(T)$ при $H = 1, 10, 60$ кОе, для образца 70 vol.% YBCO + 30 vol.% CuO. Отметим, что при полях $H \sim 10 \div 60$ кОе размывается и резистивный переход ВТСП-кристаллитов (рис. 2), а величина этого эффекта ~ 10 К при $H = 60$ кОе сравнима с данными на монокристаллах [15].

В работе [15] на основании представлений о линии необратимости (irreversibility line) в ВТСП и механизма термоактивационного проскальзывания фазы [16] в джозефсоновском переходе получен теоретический результат для ширины резистивного перехода в магнитном поле $\Delta T_C(R = 0) = CH^{2/3}$. Как указано в работе [15], этот результат может быть применим как для монокристаллов ВТСП, так и для сети контактов джозефсоновского типа в поликристаллических ВТСП, с той разницей, что константа C для сети слабых связей будет больше, чем в случае монокристаллов, т.е. значительный эффект МС будет проявляться в слабых магнитных полях. На рис. 3 представлены зависимости $\Delta T_C = T_C(H, R = 0) - T_C(H = 0, R = 0)$ от величины $H^{2/3}$. Видно, что в данных координатах экспериментальные точки до полей $H \sim 300$ Ое хорошо ложатся на прямые. Температуры обнуления сопротивления для полей 1, 10, 60 кОе не подчиняются данной зависимости. Экспериментальные зависимости $R(H)$ и $R(T, H)$ отличаются от расчетных из модели [15]. Это может быть следствием применимости вышеуказанного механизма только в случае низкого удельного сопротивления и малых полей. В наших композитах, вероятно, необходимо учитывать влияние функции распределения по толщине межгранульных границ при расчете данных зависимостей. Отметим, что

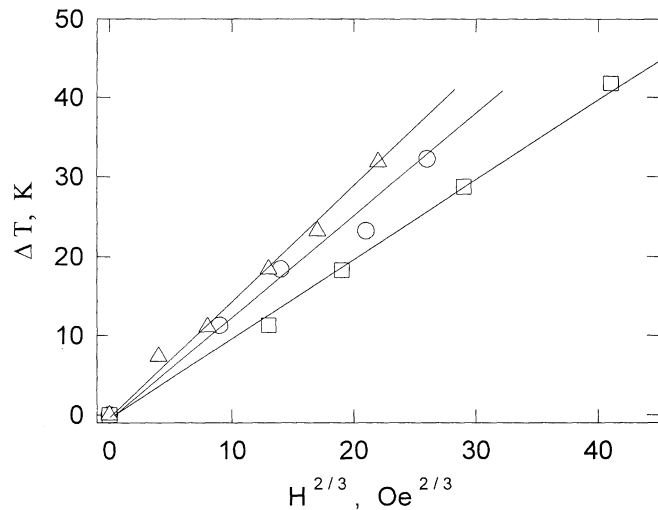


Рис. 3. Зависимость $\Delta T_c = T_c(H, R = 0) - T_c(H = 0, R = 0)$ от величины $H^{2/3}$ для композитов 85 vol.% YBCO + 15 vol.% BaPbO₃ (квадраты), 85 vol.% YBCO + 15 vol.% CuO (треугольники), 70 vol.% YBCO + 30 vol.% CuO (кружки).

для композитов ВТСП + CuO [10] зависимости $\rho(T)$ при различных значениях транспортного тока были успешно описаны в рамках механизма термоактивационного проскальзывания фазы [16] в джозефсоновском переходе. Описанию поведения зависимостей $\rho(T, H)$ в диапазоне как слабых, так и сильных магнитных полей будет посвящена отдельная работа.

Таким образом, исследованные композиты ВТСП + CuO и ВТСП + BaPbO₃ обладают большим эффектом МС в слабых магнитных полях (до 300 Oe) при температуре жидкого азота, что по сравнению с ВТСП-керамиками делает их привлекательными для возможного практического применения.

Работа поддержана грантом по 6-му конкурсу-экспертизе молодежных проектов РАН 1999 г., грант № 55 и частично поддержана Красноярским краевым фондом науки, грант 10F162M.

Список литературы

- [1] *Dubson M.A., Herbet S.T., Calabrese J.J.* et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1988. V. 60. N 11. P. 1061–1064.
- [2] *Wright A.C., Zhang K., Erbil A.* // *Phys. Rev. B.* 1991. V. 44. N 2. P. 863–866.
- [3] *Mannhart J., Chaudhari P., Dimos D.* et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1988. V. 61. N 21. P. 2476–2479.
- [4] *Бароне А., Патерно Дж.* // *Физика и применение эффекта Джозефсона.* М.: Мир, 1984. 639 с.
- [5] *Thomas J.K., Koshi J., Kurian J.* et al. // *J. Appl. Phys.* 1994. V. 76. N 4. P. 2376–2379.
- [6] *Chan-Joong Kim, Ki-Baik Kim, Il-Hyun Kuk, Gye-Won Hong* // *Physica C.* 1995. V. 255. P. 95–104.
- [7] *Kazin P.E., Poltavets V.V., Tretyakov Y.D.* et al. // *Physica C.* 1997. V. 280. P. 253–265.
- [8] *Berling D., Loegel B., Mehdaoui A.* et al. // *Supercond. Sci Technol.* 1998. V. 11. P. 1292–1299.
- [9] *Bruneel E., Hoste S.* // *International Journal of Inorganic Materials.* 1999. V. 1. P. 385–389.
- [10] *Петров М.И., Балаев Д.А., Шайхутдинов К.А., Александров К.С.* // *ФТТ.* 1999. Т. 41. № 6. С. 969–974.
- [11] *Petrov M.I., Balaev D.A., Ospishchev S.V.* et al. // *Phys. Lett.* 1997. V. 237. P. 85–89.
- [12] *Petrov M.I., Balaev D.A., Gohfeld D.M.* et al. // *Physica C.* 1999. V. 314. P. 51–54.
- [13] *Гижевский Б.А., Самохвалов А.А., Чеботаев Н.М.* и др. // *СФХТ.* 1991. Т. 4. № 4. С. 827–830.
- [14] *Мусеев Д.П., Уварова С.К., Феник М.Б.* // *ФТТ.* 1981. Т. 23. № 8. С. 2347–2351.
- [15] *Tinkham M.* // *Phys. Rev. Lett.* 1988. V. 61. N 14. P. 1658–1661.
- [16] *Ambegaokar V., Halperin B.I.* // *Phys. Rev. Lett.* 1969. V. 22. N 25. P. 1364–1366.