

ГИГАНТСКОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВТСП В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ЖИДКОГО АЗОТА.

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

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 следствие 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 объёмных композитах ВТСП + нормальный металл и ВТСП + диэлектрик.

Композиты приготавливались следующим образом. Технология приготовления ВТСП состава $Y_{3/4}Lu_{1/4}Ba_2Cu_3O_7$ (была использована иттриевая керамика с лютецием, поскольку в цитированных работах группы [10-12] композиты были приготовлены именно на её основе, характер полученных экспериментальных данных для композитов на основе $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ никак не изменится; ниже для обозначения будет использована маркировка YBCO) – стандартная. ОСЧ оксид меди CuO был использован в качестве диэлектрика [13]. Металлооксид BaPbO₃, в качестве нормального металла [14], был синтезирован методом твёрдофазного синтеза из BaO₂ и PbO. Смесь порошкообразных компонентов будущего композита, взятых в нужных пропорциях тщательно перемешивали в агатовой ступке и затем прессовали в таблетки. Далее прессованные таблетки проходили следующий температурный 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 ~ 1.5 μ 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 приведены в этой работе впервые.

Зависимости $\rho(T)$ измеряли стандартным четырёхзондовым методом в режиме отогрева образца, магнитное поле H прикладывали перпендикулярно направлению тока, образцы охлаждали 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 рис. 1) в различных магнитных полях. Скачок ρ при $T=93.5$ К соответствует переходу в сверхпроводящее состояние гранул ВТСП. Эта температура совпадает с T_c композитов и исходного YBCO, определённой 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 на рис. 1,2, а зависит лишь от объёмного соотношения ингредиентов. Переход композитного образца в состояние с “нулевым” сопротивлением (регистрирующимся с точностью ~ 10^{-6} Ом \times см) 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 ход зависимости $\rho(H)$ совпадают. При $H \geq 40$ Ое обратный ход зависимости $\rho(H)$ идёт ниже изначальной кривой, а

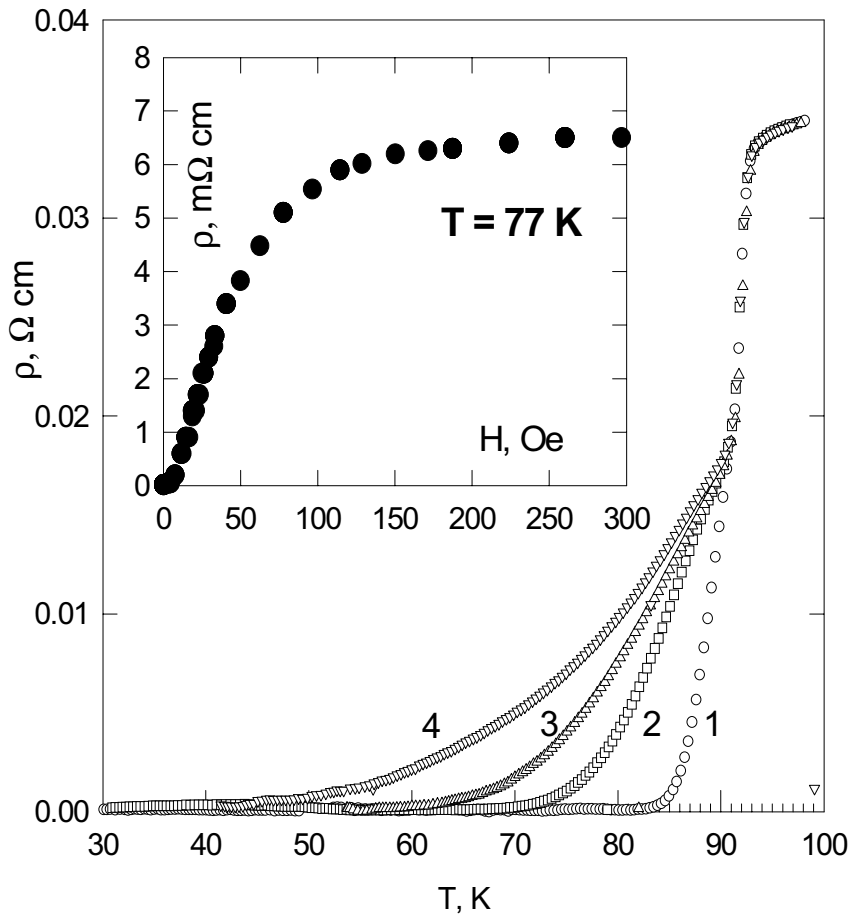


Рис. 1. Температурные зависимости электросопротивления композита 85 Vol.% YBCO + 15 Vol.% BaPbO₃ при различных значениях магнитного поля H . (1) – 0 Oe, (2) – 38 Oe, (3) – 79 Oe, (4) – 270 Oe. Измерительный ток – 50 mA/cm^2 .
На вставке: зависимость электросопротивления от магнитного поля при температуре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

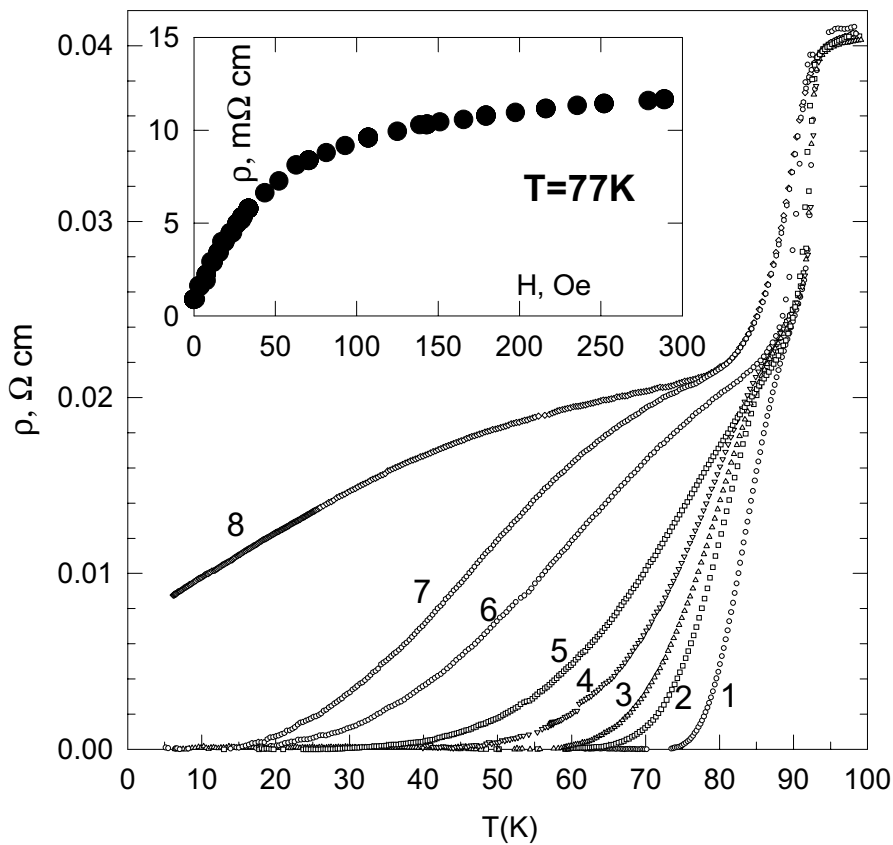


Рис. 2. Температурные зависимости электросопротивления композита 70 Vol.% YBCO + 30 Vol.% CuO при различных значениях магнитного поля H . Измерительный ток – 50 mA/cm^2 . (1) – 0 Oe, (2) – 38 Oe, (3) – 79 Oe, (4) – 183 Oe, (5) – 1 kOe, (6) – 10 kOe, (7) – 60 kOe, (8) – 60 kOe. Зависимость (8) получена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

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 высокой чувствительности ρ к относительно слабым магнитным полям (до ~ 300 Ое) не вблизи T_c , а при 77 К. При дальнейшем увеличении H ρ растёт слабо, что видно из приведённых на рис. 2 зависимостей $\rho(T)$ при $H = 1, 10, 60$ кОе, для образца 70 Vol.% YBCO + 30 Vol.% CuO. Отметим, что при полях $H \sim 10-60$ кОе размывается и резистивный переход ВТСП кристаллитов (см. 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 $\Delta T_c (R=0) = C H^{2/3}$. Как указано в работе [15], этот результат может быть применен 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 $\Delta T_c = T_c(H, R=0) - T_c(H=0, R=0)$ в зависимости 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 кЭ 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

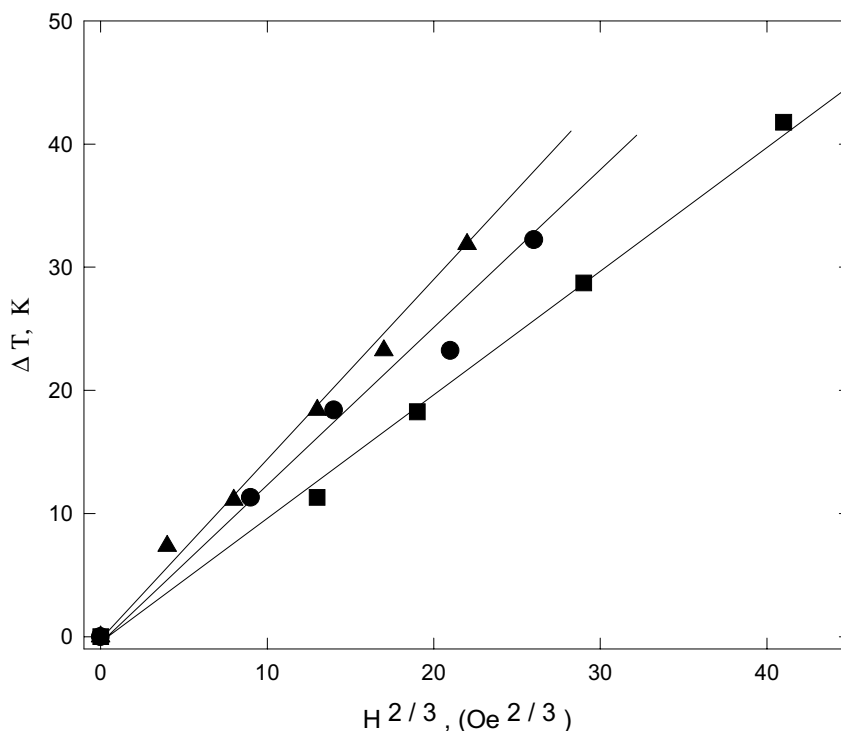


Рис. 3. Зависимость $\Delta T_c = T_c(H, R=0) - T_c(H=0, R=0)$ от величины $H^{2/3}$ для композитов 85 Vol.% YBCO + 15 Vol.% ВаРbО₃ (квадраты), 85 Vol.% YBCO + 15 Vol.% CuO (треугольники), 70 Vol.% YBCO + 30 Vol.% CuO (кружки)

зависимостей. Отметим, что для композитов ВТСП + CuO [10] зависимости $\rho(T)$ при различных значениях транспортногo 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 + ВаРbО₃ обладают большим эффектом МС в слабых магнитных полях (до 300 Ое) при температуре жидкого азота, что по сравнению с ВТСП керамиками, делает их привлекательным для возможного практического применения.

Работа поддержана грантом по 6-му конкурсу - экспертизе молодёжных 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., Harris D.C., Patton B.R., Garland J.C. Non-Ohmic dissipative regime in the superconducting transition of polycrystalline $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ // Phys. Rev. Lett. - 1988. - V.60(N11). - P. 1061-1064.
2. Wright A.C., Zhang K., Erbil A. Dissipation mechanism in a high- T_c granular superconductor: Applicability of a phase – slip model // Phys. Rev. B. - 1991. - V.44(N2). - P. 863-866.
3. Mannhart J., Chaudhary P., Dimos D., Tsuei C.C., McGuire T.R. Critical currents in [001] grains and across their tilt boundaries in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ films // Phys. Rev. Lett. - 1988. - V.61(N21). - 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., Yadava Y.P., Damodaran A.D. Electrical transport and superconductivity in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 - \text{YBa}_2\text{HfO}_{5.5}$ // J. Appl. Phys. - 1994. - V.76(N4). - P. 2376-2379.
6. Chan-Joong Kim, Ki-Baik Kim, Il-Hyun Kuk, Gye-Won Hong Microstructure of the domain boundary and the effect of excess CuO in the melt-textured Y-Ba-Cu-O oxides // Physica C - 1995. - V.255. - P. 95-104.
7. Kazin P.E., Poltavets V.V., Tretyakov Y.D., Jansen M., Freitag B., Mader W. Study on the superconducting composite material formation in the system $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}/\text{Al}$ -containing phases // Physica C - 1997. - V.280. - P. 253-265.
8. Berling D., Loegel B., Mehdaoui A., Regnier S., Caranoni C., Marfaing J. Investigation of intra- and intergranular coupling of ferroelectric - superconducting composites $\text{Pb}_2\text{ScTaO}_6\text{-YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ // Supercond. Sci. Technol. - 1998. - V.11. - P. 1292-1299.
9. Bruneel E., Hoste S. Magnetic properties of a HTSC-composites // International Journal of Inorganic Materials - 1999. - V.1. - P. 385-389.
10. Петров М.И., Балаев Д.А., Шайхутдинов К.А., Александров К.С. Влияние транспортного тока и тепловых флуктуаций на транспортные свойства композитов ВТСП+CuO // ФТТ. - 1999. - Т.41(N6). - С. 969-974.
11. Petrov M.I., Balaev D.A., Ospishchev S.V., Shaihtudinov K.A., Khrustalev B.P., Aleksandrov K.S. Critical currents in bulk $\text{Y}_{3/4}\text{Lu}_{1/4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 + \text{BaPbO}_3$ composites // Phys. Lett. A. - 1997. - Vol.237. - P. 85-89.
12. Petrov M.I., Balaev D.A., Gohfeld D.M., Ospishchev S.V., Shaihtudinov K.A., Aleksandrov K.S. Applicability of the theory based on Andreev reflection to the description of experimental current-voltage characteristics of polycrystalline HTSC+ normal metal composites // Physica C. - 1999. - Vol. 314. - P. 51-54.
13. Гижевский Б.А., Самохвалов А.А., Чеботаев Н.М., Наумов С.В., Показаньева Г.К. Электросопротивление и термо-ЭДС CuO // СФХТ. - 1991. - Т.4(N4). - С. 827-830.
14. Моисеев Д.П., Уварова С.К., Феник М.Б. ЭДС Холла и проводимость в сверхпроводящей оксидной системе $\text{BaPbO}_3\text{-BaBiO}_3$ // ФТТ. - 1981. - Т.23(N8). - С.2347-2351.
15. Tinkham M. Resistive transition of high-temperature superconductors // Phys. Rev. Lett. - 1988. - V. 61(N14). - P. 1658-1661.
16. Ambegaokar V., Halperin B.J. Voltage due to thermal noise in the d. c. Josephson effect // Phys. Rev. Lett. - 1969. - V.22(N25). - P. 1364-1366.