

УДК 537.311.3, 538.945, 537.9

Каланда Н. А.¹, Ярмолич М. В.¹, Петров А. В.¹, Сонных А. Д.², Голосов Д. А.³,
Завадский С. М.³, Семченко А. В.⁴

**ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ВЕЛИЧИН ТРАНСПОРТНЫХ ТОКОВ НА
ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХФАЗНЫХ КОМПОЗИТОВ
YBa₂Cu₃O_{7-δ} + 0,07 Bi_{0,2}Y_{2,8}Fe₅O_{12-δ} В ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ ПЕРЕХОДА
YBa₂Cu₃O_{7-δ} В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЕ СОСТОЯНИЕ**

¹ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь

⁴Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

В работе приведены исследования по изучению влияния магнитного поля и величин транспортных токов на вольт-амперные характеристики двухфазных композитов YBa₂Cu₃O_{7-δ} + 0,07 Bi_{0,2}Y_{2,8}Fe₅O_{12-δ} в температурной области перехода YBa₂Cu₃O_{7-δ} в сверхпроводящее состояние. Установлено, что в этом интервале композиты проявляют слабую полупроводниковую проводимость и отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Показано, что изменяя величину транспортного тока, можно варьировать силу Джозефсоновской слабой связи, обусловленной диссипацией в межгранульной границе, и контролировать ширину перехода в сверхпроводящее состояние, а также при $J > 1,2$ А/см² ликвидировать непрерывные сверхпроводящие токовые дорожки.

Научные исследования, связанные с эффектами диссипации в сверхпроводящих композитах с диэлектрической фазой, привлекают пристальное внимание ученых. Такие исследования позволяют оптимизировать композитные материалы для применения в электронике и энергетической промышленности. Использование слабосвязанных высокотемпературных сверхпроводников на основе контактов Джозефсона открывает новые возможности для создания и улучшения криоэлектронных устройств, таких как магнитометры, гальванометры, устройства спинтроники, микросхемы логики и памяти с высокой производительностью и др. [1].

Особый интерес исследователей привлекают композиты типа YBa₂Cu₃O_{7-δ} + ферромагнетик из-за их уникальных свойств, таких как немонотонная температурная зависимость критических плотностей тока вблизи температур перехода в сверхпроводящее состояние, гигантское магнитосопротивление, наличие π структур и электрических характеристик контактов в слабосвязанных высокотемпературных сверхпроводниках. Использование магнитных компонентов в таких композитах, приготовленных методом компактирования под высоким давлением, увеличивает чувствительность электротранспортных характеристик к влиянию внешних магнитных полей, особенно в области сверхпроводящего перехода. Наиболее информативные данные о влиянии условий синтеза на электротранспортные характеристики композита получаются из изучения температурных зависимостей электросопротивления в окрестности резистивного перехода при различных величинах внешнего магнитного поля. Поэтому в настоящей работе нами было исследовано влияние магнитного поля и величин транспортных токов на вольт-амперные характеристики (ВАХ) двухфазных композитов YBa₂Cu₃O_{7-δ} + 0,07Bi_{0,2}Y_{2,8}Fe₅O_{12-δ} в температурной области перехода YBa₂Cu₃O_{7-δ} в сверхпроводящее состояние при которых начинается срыв магнитных вихрей с центров пиннинга.

Для синтеза соединений YBa₂Cu₃O_{7-δ} и Bi_{0,2}Y_{2,8}Fe₅O_{12-δ} использовались оксиды Y₂O₃, Bi₂O₃, Fe₂O₃, CuO и карбонат BaCO₃ квалификации "ОСЧ". Электротранспортные характеристики измерялись четырехзондовым методом.

При рассмотрении политермических зависимостей удельного электросопротивления (ρ), при различных значениях плотности измерительного тока, композита YBa₂Cu₃O_{7-δ} + 0,07 Bi_{0,2}Y_{2,8}Fe₅O_{12-δ} обнаружено, что для всех значений J образцы обладают слабой полу-

проводниковой проводимостью в интервале температур $300 - T_c^{\text{нач}}$ К, где $T_c^{\text{нач}}$ - критическая температура начала перехода в сверхпроводящее состояние (рисунок 1).

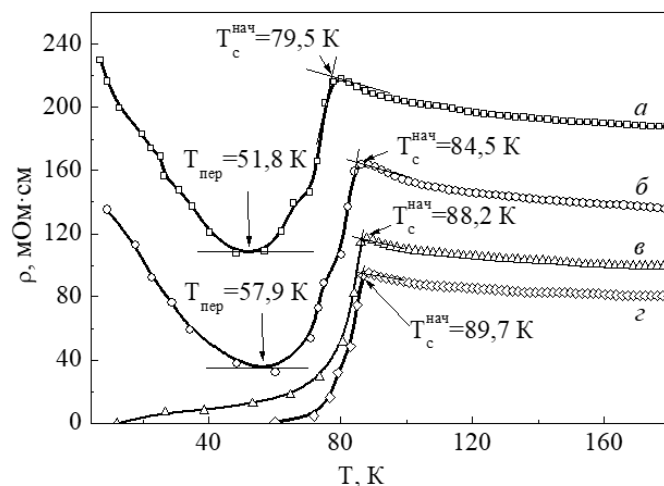


Рисунок 1 – Температурная зависимость удельного электросопротивления композита $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + 0,07\text{Bi}_{0,2}\text{Y}_{2,8}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, измеренная при различных величинах измерительного тока: а) $J = 0,03 \text{ A/cm}^2$, б) $J = 0,5 \text{ A/cm}^2$, в) $J = 1,2 \text{ A/cm}^2$, г) $J = 1,8 \text{ A/cm}^2$.

При анализе температурной зависимости электросопротивления обнаружен отрицательный температурный коэффициент сопротивления (dp/dT) в интервале температур $300 - T_c^{\text{нач}}$ К. Это указывает на наличие непрерывной диэлектрической прослойки с невысокой высотой и шириной энергетического барьера, а также на туннелирование свободных носителей заряда между зернами $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Наибольшее изменение удельного электросопротивления в интервале температур $300 - T_c^{\text{нач}}$ К наблюдается при значениях транспортного тока от $1,2 \text{ A/cm}^2$ до $1,8 \text{ A/cm}^2$. При этом, с увеличением измерительного тока, значение $T_c^{\text{нач}}$ понижается от $89,7 \text{ K}$ до $79,5 \text{ K}$, и точка перегиба смещается в сторону более низких температур ($T_{\text{пер}} = 57,9 \text{ K}$ при $J = 1,2 \text{ A/cm}^2$ и $T_{\text{пер}} = 51,8 \text{ K}$ при $J = 1,8 \text{ A/cm}^2$), при этом режим переноса заряда и ход зависимости температурного коэффициента сопротивления (dp/dT) не меняются. Однако при этих значениях измерительного тока композит не переходит в сверхпроводящее состояние. Вероятно, такое поведение электросопротивления связано с увеличением электронного рассеяния на межзеренных границах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ из-за присутствия на них магнитных включений $\text{Bi}_{0,2}\text{Y}_{2,8}\text{Fe}_5\text{O}_{12-\delta}$, которые представляют собой энергетический барьер для движения свободного носителя заряда по композиту, а также обеднением кислородом приповерхностных областей зерен сверхпроводника, что уменьшает концентрацию куперовских пар в них и формирует композит с ослабленными сверхпроводящими берегами. Таким образом, изменяя величину транспортного тока, можно варьировать силу Джозефсоновской слабой связи, обусловленной диссипацией в межгранульной границе, и контролировать ширину перехода в сверхпроводящее состояние, а также при $J > 1,2 \text{ A/cm}^2$ ликвидировать непрерывные сверхпроводящие токовые дорожки [1].

Для изучения влияния саморазогрева композита при измерении ВАХ проводили термостатирование в температурном интервале $4,2-100 \text{ K}$ и в полях $0-0,1 \text{ Тл}$ (рисунок 2). Установлена полностью воспроизводимость полученных результатов ВАХ при любой скорости нагрева и охлаждения ($0,5-12 \text{ град/мин}$). Согласно данным ВАХ для композита $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + 0,07\text{Bi}_{0,2}\text{Y}_{2,8}\text{Fe}_5\text{O}_{12-\delta}$ величины токов, при которых $E(J)=0$ с увеличением индукции внешнего магнитного поля уменьшаются и при $B > 0,1 \text{ Тл}$ практически отсутствуют сверхпроводящие транспортные токи, что связано с проникновением магнитного поля в слабые связи. В этом случае при $B > 0,1 \text{ Тл}$ происходит нарушение фазовой когерентности между высокотемпературными сверхпроводящими гранулами в композите, приводя к проскальзыванию фазы на 2π с появлением разности потенциалов на слабой связи и наблюдается начало плавления

решетки абрикосовских вихрей, приводя их в движение без пиннингования в межкристаллитных связях.

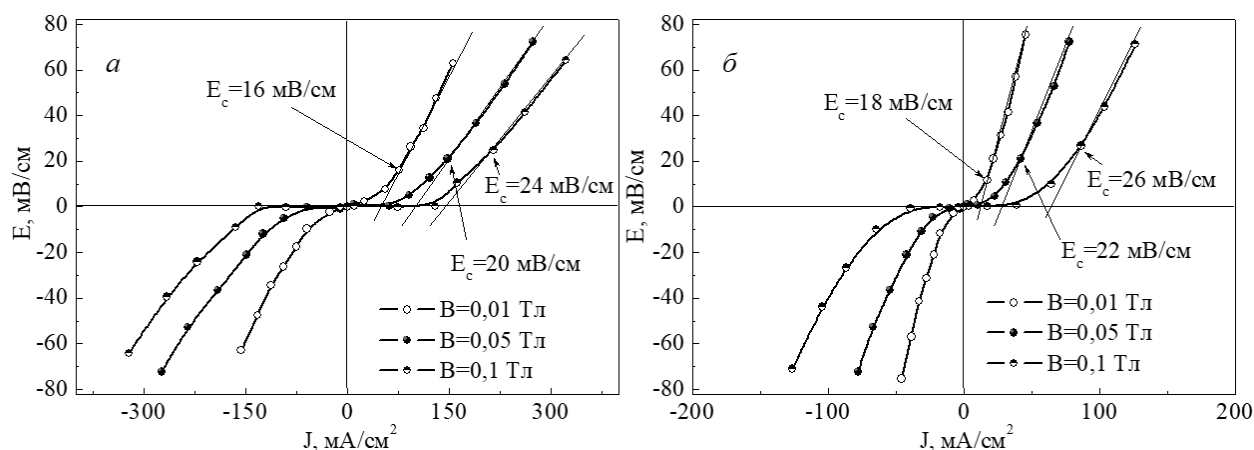


Рисунок 2 – Вольт-амперные характеристики композита $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8} + 0,07\text{Bi}_{0,2}\text{Y}_{2,8}\text{Fe}_5\text{O}_{12.8}$, измеренные при различных величинах внешнего магнитного поля при температурах 4,2 К (а) и 77 К (б).

Сравнивая ВАХ и политермические зависимости электросопротивления композитов, можно предположить, что композит $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8} + 0,07 \text{ Bi}_{0,2}\text{Y}_{2,8}\text{Fe}_5\text{O}_{12.8}$, полученный путем прессования механической смеси, проявляет сверхпроводящую и резистивную проводимость при транспортном токе. Внешнее магнитное поле вызывает появление слабого нелинейного роста напряженности электрического поля до некоторого значения E_c , после чего зависимость $E=f(J)$ становится линейной при дальнейшем увеличении тока J . Это может указывать на то, что транспортный ток проходит как по сверхпроводящим гранулам, так и по магнетик. При дальнейшем увеличении магнитного поля наблюдается рост тока J , проходящего через слабые связи, и снижение сверхпроводящего тока. Если величина тока J становится больше J_c , то напряжение растет линейно, указывая на резистивный характер проводимости.

Таким образом, при исследовании влияния магнитного поля и токов на вольт-амперные характеристики композитов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8} + 0,07\text{Bi}_{0,2}\text{Y}_{2,8}\text{Fe}_5\text{O}_{12.8}$ выявлено, что при всех значениях J образцы проявляют слабую полупроводниковую проводимость в интервале температур $300 - T_c^{\text{нач}}$ К и отрицательный температурный коэффициент сопротивления. С увеличением измерительного тока наблюдается снижение значения $T_c^{\text{нач}}$ от 89,7 К до 79,5 К, и точка перегиба смещается в сторону более низких температур ($T_{\text{пер}} = 57,9 \text{ K}$ при $J = 1,2 \text{ A/cm}^2$ и $T_{\text{пер}} = 51,8 \text{ K}$ при $J = 1,8 \text{ A/cm}^2$), при этом режим переноса заряда остается смешанным, и температурный коэффициент сопротивления не меняется. Изменение величины транспортного тока позволяет варьировать силу Джозефсоновской слабой связи, вызванной диссипацией в межгранульной границе, и контролировать ширину перехода в сверхпроводящее состояние, а также ликвидировать непрерывные сверхпроводящие токовые дорожки при $J > 1,2 \text{ A/cm}^2$. При $B > 0,1 \text{ T}$ нарушается фазовая когерентность между сверхпроводящими гранулами в композите, ведущая к проскальзыванию фазы на 2π и возникновению разности потенциалов на слабой связи. Транспортный ток в композите обладает сверхпроводящим и резистивным характером проводимости. При увеличении магнитного поля наблюдается рост диссипативно проходимых через слабые связи значений тока и существенное снижение сверхпроводящего тока.

Список литературы

1. Chevriaux, D. Theory of a Josephson junction parallel array detector sensitive to very weak signals/ D.Chevriaux, R.Khomeriki, J.Leon // Physical Review B. – 2006. - Vol.73. – P.214516.