

05.4; 09; 12

© 1992

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛЕНОК $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕМ.М. Г а й д у к о в, В.Л. К л и м е н к о,
А.Б. К о з ы р е в, О.И. С о л д а т е н к о в

В настоящей работе получены зависимости поверхностного сопротивления R пленок $\gamma\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ различной толщины t от постоянного магнитного поля H (до 1.3 кЭ) на частотах 37 МГц и 60 ГГц при $T=4.2$ К. Пленки были получены методом магнетронного распыления [2, 3] с параметрами: $T_c \sim 80-85$ К, $\gamma \sim 1.5-2$, $\rho \sim 500-1000$ мкОм·см. Величина R рассчитывалась по измерению собственной добротности ВЧ-СВЧ ниобиевых и медных резонаторов с исследуемым образцом (цилиндрический резонатор H_{011} типа колебаний на частоте 60 ГГц и спиральный на частоте 37 МГц) [1, 4]. При измерениях в постоянных магнитных полях использовалась как методика замораживания магнитного потока в сверхпроводящих стенках резонаторов, так и непосредственное приложение постоянного магнитного поля в случае медного СВЧ резонатора. Напряженность магнитного поля в области размещения пленки определялась в предварительных калибровочных измерениях с использованием датчиков Холла.

На рис. 1 приведены экспериментальные зависимости R пленок от их толщины. Зависимости $R(t)$ на обеих частотах имеют немонотонный характер с минимумом в области толщин 0.3-0.5 мкм. Такой вид зависимости неплохо соответствует электродинамическому отклику пленки двухслойной структуры [3]. Действительно, структурные исследования [2, 3] подтвердили, что образцы с толщиной до ~ 0.4 мкм имеют высокоориентированную структуру с осью c , параллельной поверхности, дальнейшее увеличение толщины приводит к образованию на поверхности слоя гранулированной структуры.

Экспериментальные данные по зависимостям R от H высокоориентированных пленок толщиной 0.1 и 0.2 мкм и пленок толщиной 0.6 и 1.0 мкм с гранулированным слоем приведены на рис. 2. На частоте 37 МГц в магнитных полях примерно до 100-300 Э поверхностное сопротивление всех пленок слабо зависит от H . При больших уровнях H -поля у пленок толщиной 0.1 и 0.2 мкм зависимость $R(H)$ имеет линейный характер, а для более толстых пленок зависимость близка к квадратичной. На частоте 60 ГГц зависимости $R(H)$ значительно отличаются от предыдущих. Поверхностное сопротивление самой тонкой пленки (0.1 мкм) до значений $H \cong 800$ Э от поля не зависит и при $H > 800$ Э имеет квадратич-

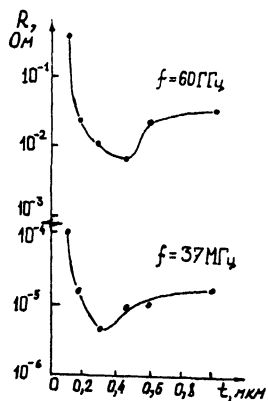


Рис. 1. Поверхностное сопротивление пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ различной толщины в ВЧ и СВЧ диапазонах при $T=4.2 \text{ К}$.

ный вид. Для пленки 0.2 мкм $R(H < 400 \text{ Э}) \cong \text{const}$, в полях $400 < H < 900 \text{ Э}$ $R \sim H^2$ и при $H > 900 \text{ Э}$ $R \sim \exp(H)$. У пленок с толщинами 0.6 и 1 мкм , начиная с полей $H \approx 300-400 \text{ Э}$, зависимость $R(H)$ имеет экспоненциальную форму.

Полученные результаты можно интерпретировать в рамках соотношения:

$$R_S = R(\omega) + k_1(\omega)H + k_2(\omega)H^2 + k_3(\omega)H \cdot \exp(H/H^*),$$

где $R(\omega)$ характеризует потери в сверхпроводнике в отсутствие магнитного поля (потери в монокристаллическом материале и потери на слабых связях (границах блоков, гранул) и других дефектах), $k_1(\omega)H$ — потери, обусловленные вихрями Абрикосова с частотнонезависимым коэффициентом k_1 для частот выше частот деппиннга (ω_p) и $k_1 \sim \omega^2$ для $\omega \ll \omega_p$ [5]; $k_2(\omega)H^2$ — потери на слабых связях с учетом „фраунгоферовой“ зависимости критического тока контакта от H [6]. Такой вид зависимости справедлив для огибающей дифракционной зависимости для тонких пленок с джозефсоновскими контактами при $H \gg H_0$, где H_0 — период дифракции контакта. $k_3(\omega)H \cdot \exp(H/H^*)$ определяет потери в джозефсоновские, так и абрикосовские вихри [7, 8], где H^* — параметр модели, зависящий от геометрии перехода.

Полученные в эксперименте результаты в целом соответствуют указанным механизмам. Для высокоориентированных пленок (кривые 1 и 3, рис. 2) на 37 МГц ($\omega \ll \omega_p$) наблюдается линейная зависимость $R(H)$, свидетельствующая о выполнении неравенства $k_1(\omega)H > R(\omega)$ при $H > 300 \text{ Э}$. Подобная зависимость для этих же пленок на 60 ГГц ($\omega \gg \omega_p$) в силу значительно больших значений $R(\omega)$ может проявляться лишь в полях выше нескольких килоэрстед [2], что превышает возможные значения H в наших

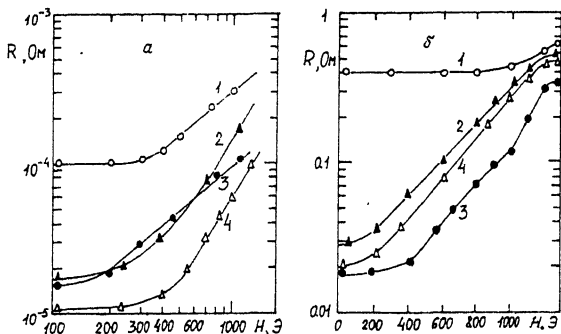


Рис. 2. Влияние постоянного магнитного поля на поверхностное сопротивление пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на 37 МГц (а) и 60 ГГц (б) при $T=4.2$ К для образцов с толщинами 0.1 мкм (кривая 1); 0.2 мкм (3); 0.6 мкм (4); 1 мкм (2).

экспериментах. Появление на СВЧ в пленках 1 и 3 квадратичных, а при больших H экспоненциальных зависимостей свидетельствует о наличии двух типов джозефсоновских связей. Их природа, как показали электронно-микроскопические и структурные исследования, может быть связана с наличием границ макроблоков (размером 20–50 мкм) и микроблоков (размером 1–2 мкм). Однако, эти «слабые» связи значительно «сильнее» чем в гранулированной структуре для толстых ($t > 0.4$ мкм; рис. 2, кривые 2 и 4) двухслойных пленок. Об этом свидетельствует близкая к квадратичной зависимость $R(H)$ на 37 МГц для толстых пленок уже в полях выше 100–300 Э. Вероятно, на этой частоте для толстых пленок механизм потерь на межгранульных связях играет доминирующую роль. Проявление для толстых пленок на СВЧ только экспоненциального механизма, по-видимому, связано с частотной зависимостью κ_2 и κ_3 и различными значениями $R(H)$ в ВЧ и СВЧ диапазонах. Количественное соответствие экспериментальных и теоретических данных в целом подтверждает вышеприведенное качественное рассмотрение и будет опубликовано в дальнейшем.

Авторы благодарны О.Г. Вендику за поддержку работы и обсуждение ее результатов. Работа выполнена в рамках проекта № 90476 „Гран“ по программе „Высокотемпературная сверхпроводимость“.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Вендик О.Г., Гайдук М.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. С. 2001.
- [2] V e n d i k O.G., K o z y r e v A.B. et al. // Sol. St. Com. 1992 (to be published).

- [3] V e n d i k O.G., L i k h o l e t o v Yu.V. et al. // Physica C. 1991. V. 179. P. 91.
- [4] Б е л ь с к и М., В е н д и к О.Г. и др. // ФТТ. 1987. Т. 29. С. 2953.
- [5] G i t t l e m a n J.I., R o s e n b l u m B. // J. Appl. Phys. 1968. V. 39. P. 2617.
- [6] Б а р о н е А., П а т е р н о Дж. Эффект Джозефсона. М.: Мир. 1984.
- [7] Ф и с т у л ь М.В. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. С. 95.
- [8] Г у б а н к о в В.Н., Л и с и ц к и й М.П. и др. // ЖЭТФ. 1991. Т. 100. С. 1326.

С.-Петербургский государственный
электротехнический университет

Поступило в Редакцию
21 октября 1992 г.