

- [1] L i n d a u I., C h u e P.W., G a r n e r C.M. et al. - J. Vac. Sci. Technol., 1978, 15(4), p. 1332.
- [2] S t a i r K.A., C h u n g V. - J. Appl. Surf. Sci., 1986, 26, p. 381.
- [3] С а з о н о в С.Г., Л е в и н Д.М. - Письма в ЖТФ, 1985, т. II, с. 1208.
- [4] L u s o w s k y G. - J. Vac. Sci. Technol., 1981, 19(3), p. 456.

Поступило в Редакцию

3 июля 1988 г.

В окончательной редакции

28 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 21 12 ноября 1988 г.

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВЧ ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КЕРАМИКИ

$Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

О.Г. Вендик, М.М. Гайдук,
И.Э. Грабой, А. Карпюк, А.Р. Кауль,
Л. Ковалевич, А.Б. Козырев,
С.Г. Колесов

Для керамики $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ с $\rho \approx 10^2$ мкОм·см проведены измерения поверхностного сопротивления R_{Π} на частотах 37 МГц и 60 ГГц. Получены зависимости R_{Π} от постоянного магнитного поля. Предполагается, что механизм ВЧ потерь определяется джозефсоновскими свойствами межгранульных контактов.

Несмотря на большое количество публикаций по ВТСП практически отсутствуют сведения о поверхностном сопротивлении R_{Π} ВТСП в ВЧ-СВЧ диапазонах в присутствии внешнего постоянного магнитного поля. В настоящей работе в интервале $T = \{4,2-300\}$ К получены зависимости $R_{\Pi}(T)$ на частотах 37 МГц и 60 ГГц для объемных керамик $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ с $\rho = 10^2$ мкОм·см.

На частотах 37 МГц и 60 ГГц при $T = 4,2$ К получены зависимости R_{Π} от величины плотности магнитного потока B_3 , захваченного керамикой в процессе охлаждения во внешнем постоянном магнитном поле B_0 . На частоте 37 МГц при $T = 4,2$ К получены также зависимости R_{Π} от амплитуды ВЧ магнитного поля B_{\sim} при различных значениях B_3 . Образцы керамики были приготовлены методом совместного осаждения из растворов нитратов [1] и обладали $T_c \sim 94$ К, $\Delta T_c \sim 1,5$ К, $R_{300}/R_{100} \sim 2,5$.

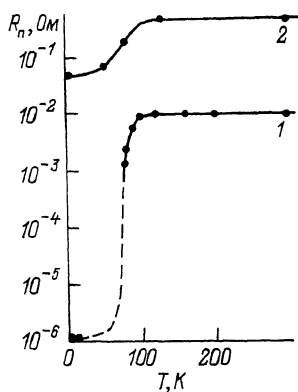


Рис. 1. Температурная зависимость поверхностного сопротивления керамики $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ на частоте 37 МГц (1) и 60 ГГц (2).

Величина R_n рассчитывалась по измерению собственной добротности ВЧ-СВЧ резонаторов с исследуемой керамикой. При гелиевом уровне температур использовались сверхпроводниковые резонаторы из ниобия, в остальном температурном диапазоне из меди. При измерениях на частотах ~ 37 МГц образцы керамики

(диски диаметром (12–15) мм, толщиной (1.5–2) мм) размещались внутри спирального экранированного резонатора. На 60 ГГц измерения R_n проводились в цилиндрическом резонаторе с колебаниями типа H_{011} [2]. На рис. 1 приведены полученные зависимости $R_n(T)$. Поверхностное сопротивление керамики на 37 МГц в интервале температур (8–70) К (пунктир на рис. 1) было меньше, чем R_n меди измерительного резонатора, что не позволило с удовлетворительной точностью проводить измерения в указанном интервале T .

Из рис. 1 следует, что для керамики с $\rho \sim 10^2$ мкОм·см в нормальном состоянии экспериментальные значения R_n хорошо соответствуют расчетным по соотношению $R_n = (\omega \mu \rho / 2)^{1/2}$ для нормального скин-эффекта. Заметим, что для керамик с $\rho \geq 3 \cdot 10^3$ мкОм·см такого соответствия авторы не получали.

Исследование в ВЧ-СВЧ диапазоне влияния R_n постоянных магнитных полей затруднено в связи с возможной экранировкой и (или) захватом внешнего постоянного поля сверхпроводниковым измерительным резонатором. Поэтому исследование проводилось методом предварительного „замораживания“ магнитного поля в ВТСП. Сверхпроводящие резонаторы с исследуемыми образцами в виде керамических дисков размещались внутри соленоида постоянного тока, создающего магнитное поле B_0 перпендикулярное плоскости диска керамики. При включенном поле B_0 резонатор с образцом керамики охлаждался от $T=300$ К до 20 К, затем постоянное поле отключалось и система охлаждалась до 4.2 К. При $T=4.2$ К включалось переменное поле и проводилось измерение R_n . Отключение поля B_0 проводилось при $T=20$ К $> T_c$ ниобия, чтобы избежать влияния захвата потока в стенках измерительного резонатора. Плотность захваченного керамикой потока B_3 определялась датчиком Холла ($InSb$), расположенным на поверхности в центра диска исследуемой керамики. Величина захваченного потока B_3 составляла $\sim 90\%$ B_0 при величинах B_0 от 0 до 50 Гс.

На рис. 2 приведены зависимости поверхностного сопротивления от плотности захваченного магнитного потока при $B_{\sim} = 10^{-3}$ Гс, а на рис. 3 – зависимости R_n от уровня переменного ВЧ магнит-

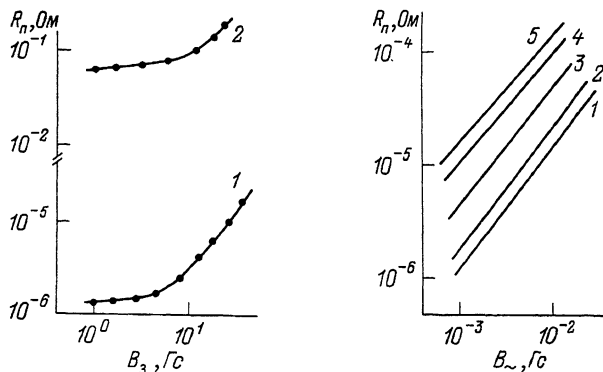


Рис. 2. Зависимость поверхностного сопротивления керамики от плотности захваченного магнитного потока при $B_{\sim} = 10^{-3}$ Гс на частоте 37 МГц (1) и 60 ГГц (2). Температура измерений 4.2 К.

Рис. 3. Зависимость поверхностного сопротивления керамики от уровня переменного ВЧ магнитного поля, B_z , Гс: 1 - 0, 2 - 4.5, 3 - 12.6, 4 - 25.2, 5 - 37.8. Температура измерений 4.2 К, частота - 37 МГц.

ного поля (частота 37 МГц) при различных значениях плотности захваченного магнитного потока.

Наличие зависимости $R_n(B_{\sim})$ при малых уровнях ВЧ сигнала вплоть до $B_{\sim} \sim 10^{-3}$ Гс соответствует результатам [3]. Однако необходимо отметить, что влияние постоянного магнитного поля при $B_z \geq 10$ Гс приводит к значительному росту R_n , которое нельзя объяснить ВЧ потерями в нормальных областях, образующихся в керамике при захвате магнитного потока. Оценим возможную величину R_n керамики в предположении существования захваченного потока в виде квантованных вихрей ($2 \cdot 10^{-15}$ Вб) с размером нормального ядра $\sim \xi \sim 20 \text{ \AA}$ [4]. Оценивая площадь образца, занятого нормальной фазой, обусловленной сердцевинами таких вихрей при $B_z = 34$ Гс, и считая потери в них по соотношению для нормального скин-эффекта, получим $R_n \sim 10^{-7}$ Ом. Экспериментальные результаты на два порядка превышают приведенные оценочные значения R_n . Логичнее предположить, что основными являются потери в межгранульных контактах, обладающих джозефсоновскими свойствами. Эквивалентное представление таких контактов обычно соответствует параллельному соединению сопротивления R_N и джозефсоновской индуктивности L_J . С увеличением B_z , т. е. экранирующих токов I через межгранульные контакты, L_J увеличивается, что приводит к росту потерь в R_N . Теоретические оценки расчета зависимости $R_n(B_z)$ по такой модели соответствуют экспериментальным результатам и будут опубликованы.

- [1] Мошалаков В.В., Брандт Н.Б. и др. Проблемы ВТСП. Инф. материалы, ч. 1. Свердловск: УрО АН СССР, 1987, с. 8.
- [2] Бельски М., Вендик О.Г. и др. - ФТТ, 1987, т. 29, с. 2953.
- [3] H a g e n M., H e i n M. et al. - J of Mag. and Magnetic Material, 1987, v. 68, 1, p. L1-L5.
- [4] F a r r e l l D.E. et al. - Phys. Rev. B, 1987, v. 35, p. 8797.
- [5] Лихарев К.А. Введение в динамику Джозефсоновских переходов. М.: Наука, 1985, с. 319.

Ленинградский электротехнический
институт им. В.И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
1 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 21 12 ноября 1988 г.

ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ: КОНТРОЛЬ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ЛАЗЕРНОЙ ДЕСОРБЦИИ

С.А. Комолов, Т.О. Артамонова,
И.В. Барышев, Э.Ф. Лазнева,
И.Н. Федоров

Приведены результаты параллельных исследований процесса лазерной очистки поверхности кремния от окисной пленки методами низкоэнергетической электронной спектроскопии полного тока [1], Оже-электронной спектроскопии и масс-спектроскопического анализа компонент лазерной десорбции [2]. Спектроскопия полного тока, дающая информацию об энергетическом распределении плотности электронных состояний в приповерхностной области, применялась для контроля за электронной структурой поверхности. Элементный состав поверхности контролировался методом Оже-спектроскопии. Характеристики десорбируемых частиц регистрировались время-пролетным методом энерго- и масс-анализа лазерной десорбции.

В качестве образцов использовались пластинки кремния р-типа (КДБ 7.5) с ориентацией грани (100), на которой выращивался защитный слой искусственного окисла. Очистка поверхности от окисла осуществлялась излучением неодимового лазера с длиной волны 1.0 мкм, длительностью импульса 15 нс и энергией кванта 1.17 эВ, диапазон используемых плотностей энергии 2-5 Дж/см². Лазерный луч фокусировался на участок поверхности площадью порядка