

СВЧ ИМПЕДАНС КЕРАМИЧЕСКОГО ДИСКА $YBa_2Cu_3O_7$ В ОКРЕСТНОСТИ НУЛЕВОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Д ж о р д ж и ш в и л и Л.И.

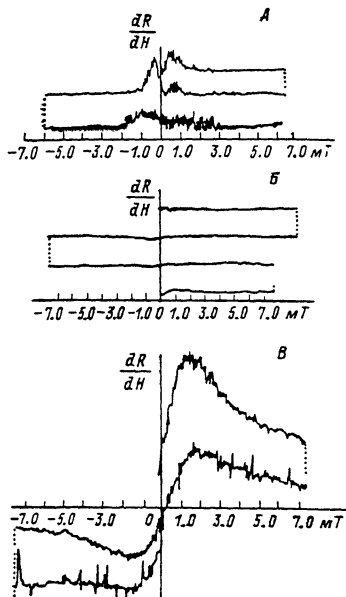
Исследовалось изменение СВЧ поверхностного импеданса образца высокотемпературного сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_7$ в окрестности нулевого значения приложенного магнитного поля.

Образец представлял собой диск $\phi 17.8$ мм и толщиной 1 мм, выпиленный из диска больших размеров; поверхность обрабатывалась на абразивной бумаге до появления блеска. Измерения проводились на спектрометре трех-сантиметрового диапазона с частотно-модулированным клистроном. Образец служил дном полоскового резонатора [1], применение которого обеспечивало прямолинейные СВЧ токи на поверхности образца. Вклад образца в общий импеданс резонатора $\sim 10\%$. Внешнее магнитное поле прикладывалось параллельно поверхности образца и в зависимости от требований эксперимента могло составлять любой угол с направлением СВЧ токов. Во время измерений непосредственно контролировалась величина СВЧ мощности, выходящей из резонатора. СВЧ мощность клистроном ≤ 5 мВт, а в резонаторе — 100 мкВт. Резонатор находился в герметичном кожухе с теплообменным гелием под давлением 10–100 Тор.

Температура сверхпроводящего перехода в образце 91 К. Измерения проводились при температурах 77 и 4.2 К. Наблюдалось резкое изменение поверхностного импеданса dR/dH в окрестности $H=0$. При переходе через нуль изменение импеданса зеркально антисимметрично (это особенно ясно видно при температурах, близких к T_c и большой амплитуде модуляции магнитного поля $= 0.3$ мТ). При малой амплитуде модуляции после первого прохождения магнитного поля, вызывающего большое изменение dR/dH , последующие прохождения с интервалами в несколько минут между прохождениями дают картину "насыщения" сигнала dR/dH , вплоть до его исчезновения в шумах. Изменение поверхностного импеданса при малых амплитудах модуляции магнитного поля, как видно из наших измерений (рис. 1), обладает временем релаксации, имеющим величину порядка 4–10 мин. Следует отметить также общую тенденцию изменения импеданса в окрестности нулевого магнитного поля — СВЧ поглощение при $H=0$ минимально. Этот факт, а также обращение сигнала dR/dH в шум, отмечены и в работе [2].

При 4.2 К и большой модуляции иногда возникает картина, напоминающая осцилляции (рис. 2), наблюдавшиеся в работе [3]. При возникновении осцилляций кривая dR/dH идет к минимуму поглощения, и импеданс осциллирует около этого минимума.

Рис. 1. Изменение активной части поверхностного импеданса в области нулевого внешнего магнитного поля. По оси ординат $-\frac{dR}{dH}$ в произвольных единицах; по оси абсцисс — магнитное поле H ; $J_{свч} \perp H$. А — температура образца 77 К, частота СВЧ поля $f=9.631$ ГГц, двойная амплитуда модуляции $2M=0.046$ мТ; Б — $T=77$ К, $f=9.631$ ГГц, $2M=0.034$ мТ; В — $T=4.2$ К, $f=9.674$ ГГц, $2M=0.08$ мТ.



В случае ВТСП керамик, которые характеризуются крайне слабой кристаллической регулярностью на больших расстояниях, сильным двойникованием и дефектностью решетки, глубина проникновения λ намного больше длины когерентности ξ , а $\lambda = \frac{\lambda}{\xi}$ очень велика. В литературе отмечается малая величина H_{c1} и огромное значение H_{c2} . Из рис. 1 и 2 видно, что H_{c1} крайне неопределенно; любой скачок (даже шумовой) можно принять за H_{c1} . Согласно Абрикосову и др. [4], H_{c1} экспоненциально мало. Для H_{c2} измерения группы Монсо [5] дали значения, превышающие 20 Т. Если учесть также работу [6], можно предположить, что за все особенности ВТСП керамик и изменения их СВЧ импеданса, в частности, должны быть ответственны плоскости двойникования. Исходя из результатов данной работы, можно считать, что $H_{c1} \rightarrow 0$, т.е. пик изменения импеданса в окрестности нулевого магнитного поля появляется из-за возникновения вихрей, которые эффективно взаимодействуют с СВЧ полем, отбирая у него энергию, сразу же после перехода через $H=0$. Так как область между плоскостями двойникования (имеющая размеры 200–2000 Å) является областью, где возникает сверхпроводимость, то вихри должны образовываться там же. Однако плоскости двойникования должны быть довольно регулярны, а вихри в них закреплены слабо. Тогда, исходя из вышесказанного, в плоскостях двойникования первоначально должны возникать ансамбли высокоподвижных вихрей. Следуя результатам эксперимента, можно считать, что так происходит до значений поля 2–5 мТ (при 77 К). С ростом поля появляется связь вихрей через поле между разными плоскостями двойникования. В такой системе вихри закреплены гораздо сильнее; ансамбль вихрей, бывший у поверхности, становится объемным. Авторы [7]

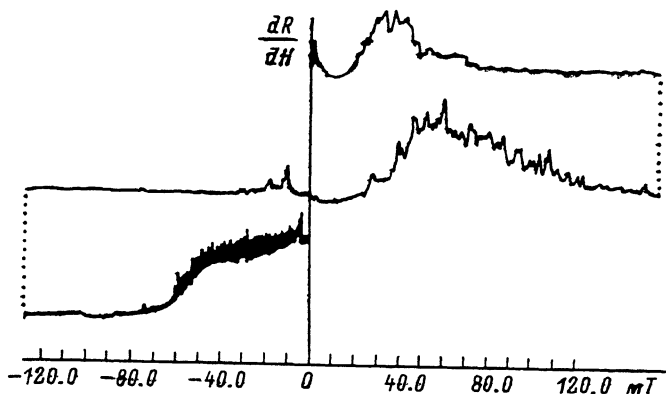


Рис. 2. Изменение активной части поверхностного импеданса в широком диапазоне сканирования внешнего магнитного поля. По оси ординат — dR/dH в произвольных единицах; по оси абсцисс — магнитное поле H . Видны осцилляции поверхностного импеданса. $T=4.2$ К, $f=9.674$ ГГц, $2M=1.76$ мТ, $j_{свч} \perp H$.

установили, что за сигнал dR/dH вблизи нулевого поля поверхность образца ответственна во много раз сильнее, чем его объем. Ряд авторов [8–10] относят особенность импеданса в нулевом поле на счет системы джозефсоновских контактов между соседними плоскостями двойникования. Однако прямые измерения [11] показали, что влияние джозефсоновского туннелирования становится заметным при возбуждающих СВЧ мощностях 20 Вт и выше, причем регистрация проводилась супергетеродинным приемником, имеющим чувствительность 10^{-12} – 10^{-14} Вт.

Таким образом, однозначного, даже качественного объяснения наблюдаемых явлений в настоящее время нет. Однако, учитывая все вышесказанное, можно принять, что в случае ВТСП керамики в окрестности нулевого магнитного поля особенность СВЧ импеданса обусловлена возникновением и почти свободным движением ансамбля поверхностных вихрей, локализованных первоначально на плоскостях двойникования. СВЧ токи на подвижных вихрях рассеиваются особенно эффективно, поэтому изменение dR/dH около нулевого поля самое большое. Поле H_{c1} стремится к нулю.

При осцилляциях поверхностного импеданса вблизи нулевого поля, по-видимому, имеет место коллективное движение ансамбля высокоподвижных вихрей. Как видно из рис. 2, осцилляции возникают не сразу, а после нескольких прохождений через нулевое магнитное поле, которые производят как бы „утряску“ системы вихрей, после чего рассеяние СВЧ токов на них минимально, т.е. получаются осцилляции импеданса на ансамбле почти свободных вихрей.

Вдали от нулевого магнитного поля вихри уже связаны между плоскостями двойникования проникающим магнитным полем, которое может только слабо влиять на закрепленные вихри. СВЧ поглощение здесь гораздо меньше, чем в районе $H=0$. Изменение поверхностного импеданса при увеличении магнитного поля до значений 1.1 Т имеет монотонный, слабо возрастающий характер.

Зависимость вида кривой dR/dH от амплитуды модуляции магнитного поля можно объяснить тем, что при большой амплитуде модуляции велики скорость и величина изменения магнитного поля, что приводит к почти ударному срыву вихрей. По этой же причине не имеют место шумы при регистрации dR/dH .

Косвенным подтверждением того, что в малых магнитных полях взаимодействие СВЧ токов с почти свободно движущимися вихрями эффективнее, чем в больших полях (когда свободных вихрей практически нет) является то, что при многократном сканировании в малых магнитных полях гелий испаряется из криостата почти в 2 раза быстрее, чем при сканировании в больших полях или при работе, например, со сверхпроводящим свинцом в любых полях. Возможно, что в случае ВТСП керамики на поверхности образца появляются перегретые области, из-за которых исчезает сверхпроводимость. После охлаждения она возникает вновь и это приводит к дополнительным шумам при регистрации импеданса. Из-за малой теплопроводности керамического образца рис. 1Б должен характеризовать релаксацию изменения dR/dH как время восстановления теплового равновесия на поверхности образца, где было возможно перегревание отдельных областей поверхности. Не исключена и возможность периодического локального разогрева поверхности и охлаждения ее вновь. Это особый режим и наступает он не всегда сразу, а после „утряски“ ансамбля почти свободных вихрей и проявляется в виде осцилляций поверхностного импеданса.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Хайкин М.С. Докторская диссертация. ИФП, М., 1962.
- [2] Clagum S.H., Marshall J.H., Schneemeyer L.F. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. N 13. P. 7491-7495.
- [3] Shrivastava K.N. // Solid State Commun. 1988. V. 68. N 2. P. 259-262.
- [4] Абрикосов А.А., Буздин А.И., Кулич М.Л. Купцов Д.А. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. № 1. С. 371-373.
- [5] Noel H., Gbugeon P., Radou J., Levet J.C., Potel M., Laborde O., Monceau P. // Solid State Commun. 1987. V. 63. N 10. P. 915-917.
- [6] Гуревич А.Вл., Минц Р.Г. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. В. 4. С. 196-198.

- [7] Portis A.M., Blasey K.W., Müller K.A., Bednorz J.G. // Europhys. Lett. 1988. V. 5. N 5. P. 467-472.
- [8] Blasey K.W., Portis A.M., Bednorz L.G. // Solid State Commun. 1988. V. 65. N 10. P. 1153-1156.
- [9] Богачев С.В., Косогов А.О., Татарченко В.А., Третьяков В.И. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. В. 3. С. 166-168.
- [10] Rakulis E.J., Osada T. // Phys. Rev. B. 1988. V. 37. N 10. P. 5940-5942.
- [11] Абрамов О.В., Левиев Г.И., Погосов В.Г., Трунин М.Р. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. В. 11. С. 433-435.

Институт физики
АН Грузинской ССР,
Тбилиси

Поступило в Редакцию
16 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4

26 февраля 1990 г.

11

© 1990

ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ СУММ НЕЙТРАЛЬНЫХ И ИОННЫХ СОСТОЯНИЙ МНОГОАТОМНЫХ ЧАСТИЦ

Н.М. Блащенко, Г.Я. Лаврентьев

Метод поверхностной ионизации многоатомных частиц в умеренных электрических полях оказался весьма информативным [1]. В данной работе изучалась поверхностная ионизация антрацена и висмута в электрических полях напряженностью от $9 \cdot 10^5$ В/см до $4.5 \cdot 10^6$ В/см. Зависимость плотности ионного тока j с поверхности от напряженности F электрического поля и температуры поверхности T при неактивированной адсорбции дается следующим выражением [2]:

$$j = \frac{e\nu}{1 + \frac{Q^0}{Q^+} \exp \frac{e(V - \varphi - \sqrt{eF})}{kT}}, \quad (1)$$

где ν - плотность потока нейтральных частиц, падающих на поверхность; Q^0 , Q^+ - полные статистические суммы иона и нейтральной частицы соответственно; e - заряд электрона; φ - работа выхода эмиттера; V - потенциал ионизации частиц; k - постоянная Больцмана. Для многоатомных частиц полные статисти-