

КВАЗИРЕЗОНАНСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КЕРАМИКИ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Г. Г. Лазарев, К. В. Мицен, А. И. Смирнов, Я. С. Лебедев

Мы изучили влияние магнитного поля в окрестности нулевого значения на поглощение СВЧ мощности в сверхпроводящих керамиках типа $XBa_2Cu_3O_7$, где $X=Y, Eu, Yb$. При исследовании ЭПР на локализованных моментах в сверхпроводниках ранее отмечали зависимость фонового сигнала от магнитного поля [1]. Недавно были обнаружены скачки уровня сигнала в зависимости от направления сканирования магнитного поля в диапазоне 0.05—0.4 Тл [2] и сообщалось о резком изменении сигнала при дальнейшем снижении напряженности поля [3].

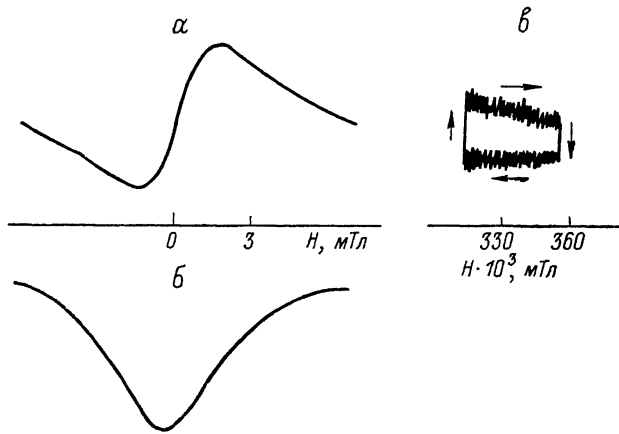


Рис. 1. Квазирезонансный сигнал в нулевом поле при регистрации модуляционным методом (а), его первый интеграл (б) и сигнал, полученный при изменении направления сканирования магнитного поля (в). Образец $YBa_2Cu_3O_7$.

В данной работе осуществлены эксперименты при различных уровнях СВЧ мощности с более тщательным изучением поведения сигнала в окрестности нулевого значения магнитного поля. Обнаружено, что при этом можно регистрировать интенсивный узкий «обратный» сигнал поглощения (рис. 1), фрагменты которого, по-видимому, наблюдали ранее [2, 3]. Для регистрации использовали спектрометр ЭПР-221 с приставкой для ЭПР-томографии [4]. Сигналы регистрировали в образцах размером примерно $2 \times 1 \times 1$ мм³, помещенных в кварцевом дюбаре с жидким азотом в центр СВЧ резонатора типа H_{011} с амплитудой модуляции 0.5 мТл на частоте 100 кГц.

Фаза сигнала при синхронном детектировании сдвинута на 180° относительно нормальных сигналов ЭПР, т. е. центр линии при $H=0$ соответствует минимуму поглощения (рис. 1, б). Полуширина линии примерно соответствует значениям первого критического поля H_{C1} ($1/2 \Delta H = 1.5 \pm 0.2$ мТл, $H_{C1} = 3.0 \pm 1.5$ мТл, по данным [6]). При повышении температуры ширина линии падает (это согласуется с [3]), при $T \approx T_{кр} = 93$ К линия не регистрируется. При прямом и обратном сканировании внешнего поля наблюдается относительно небольшой гистерезис (центр линии сдвигается примерно на 0.5 мТл). Интересно, что при повышении уровня СВЧ мощности (максимальная мощность соответствует амплитуде магнитной компоненты СВЧ $H_1 \approx 0.01$ мТл) линия также сужается и исчезает (рис. 2).

Зависимость реакции СВЧ резонатора со сверхпроводящим образцом от напряженности магнитного поля качественно объясняют «электромагнитным эффектом» [3], связанным с изменением макроскопических свойств образца. Наблюдавшийся нами разогрев образца под действием СВЧ излучения свидетельствует о том, что при этом происходит реальное поглощение СВЧ энергии, которое резко возрастает при увеличении напряженности магнитного поля в области $H \approx H_{C1}$ и продолжает возрастать в сильных полях, но с существенно меньшей крутизной. Положение максимума на кривой насыщения (рис. 2) зависит от теплового кон-

такта между образцом и охлаждающей средой, что подтверждает тепловое происхождение эффекта, а сужение квазирезонансной линии логично объяснить уменьшением H_{c1} с ростом температуры.

Однако наиболее важной нам представляется экспериментальная возможность регистрации узкого интенсивного сигнала (рис. 1, а), на 2—4 порядка величины превосходящего на амплитуде сигналы, наблюдаемые по методу [2].

Нетрудно оценить, что формально чувствительность по квазирезонансной линии соответствует возможности наблюдать отклик от 10^{-8} — 10^{-6} г сверхпроводящей фазы. Небольшая ширина сигнала позволяет применить регистрацию в неоднородном магнитном поле для неразрушающего исследования распределения сверхпроводящей фазы по объему образца [4]. При записи сигнала в неоднородном магнитном поле с $dH/dx \approx 50$ мТл/см уширение сигнала соответствовало примерно линейному размеру образца вдоль направления градиента.

Более тщательный анализ формы линии в однородных и неоднородных магнитных полях может дать ценную информацию о пространственном распределении их свойств (по крайней мере значений H_{c1}) в существенно неоднородных материалах, каковыми являются высокотемпературные сверхпроводящие керамики.

Литература

- [1] Алексеевский Н. Е., Гарифуллин П. А., Кочелав Б. И., Харахашьян Э. Г. // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 18. Вып. 5. С. 323—326.
- [2] Папин А. И. // ДАН СССР. 1987. Т. 295. № 5. С. 1112—1113.
- [3] Мастеров В. Ф., Егоров А. И., Герасимов Н. П. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. Вып. 7. С. 289—292.
- [4] Якимченко О. Е., Лебедев Я. С. Химическая физика. // 1983. Т. 2. Вып. 4. С. 441—456.
- [5] Анушкова Н. В., Головашкин А. И., Звездин А. К. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. Приложение. С. 228—231.

Институт химической физики
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
3 января 1988 г.
В окончательной редакции
11 июля 1988 г.

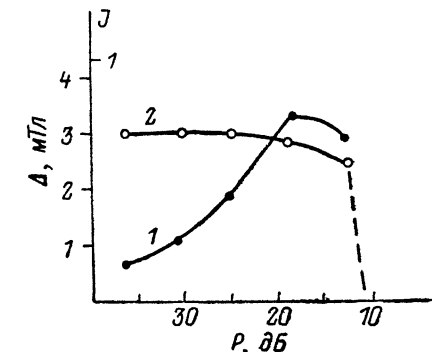


Рис. 2. Зависимость амплитуды J (1) и ширины линии в точках максимального наклона Δ (2), квазирезонансного сигнала от мощности СВЧ.