

ДВОЙНОЕ СВЧ—ВЧ ПОГЛОЩЕНИЕ В ВТСП

С. С. Ищенко, А. Б. Брик, С. М. Окулов, А. А. Климов

Известно, что в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) в слабых магнитных полях $H_0 \approx 0 \div 10$ мТл имеют место нерезонансные электромагнитные потери, резко зависящие от величины H_0 (см., например, [1–4]). Указанный сигнал, получивший название низкополевого поглощения (НПП), интересен в первую очередь тем, что он характерен только для сверхпроводящей фазы и, таким образом, непосредственно связан

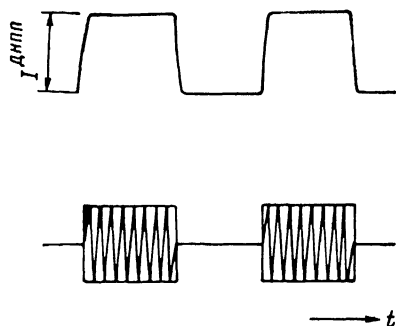


Рис. 1. Сигнал двойного низкополевого поглощения $I_{\text{ДНПП}}$, возникающий при подаче на образец импульсов ВЧ поля (схематически показаны в нижней части рисунка).

По оси абсцисс отложено время. Затягивание фронтов сигнала ДНПП обусловлено релаксационными процессами. $\nu_1 = 5$ МГц, $H_0 = 1$ мТл.

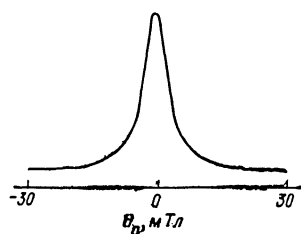


Рис. 2. Зависимость сигнала ДНПП от величины постоянного магнитного поля.

с процессами, протекающими в ВТСП при $T < T_c$. НПП наблюдается в широком интервале частот переменных полей — от МГц до ГГц. Наиболее детально оно изучено в области сверхвысоких частот (СВЧ) [1, 2] благодаря использованию ЭПР спектрометров. Вместе с тем имеются измерения НПП и в высокочастотном (ВЧ) диапазоне [3, 4]. Нами для исследования НПП применена техника двойного электронно-ядерного резонанса (ДЭЯР) [5], позволяющая облучать образец одновременно СВЧ и ВЧ полями и изучать взаимосвязь поглощения в разных диапазонах частот. В результате проведения таких опытов в ВТСП обнаружен качественно новый эффект — двойное СВЧ—ВЧ поглощение.

Основные эксперименты выполнены с системами сверхпроводящих металлооксидов керамик типа V—Ba—Cu—O и Bi—Sr(Ca)—Cu—O. Иттиевые образцы имели температуру фазового перехода $T_0 = 92 \div 95$ К, а висмутовые 110—120 К. Проводились также опыты с монокристаллами указанных систем, однако сигналы от них пока не обнаружены. Для измерений использован супергетеродинный спектрометр ДЭЯР с рабочей частотой в СВЧ диапазоне $\nu_1 = 9.4$ ГГц (поле H_1) и частотами ВЧ подсветки $\nu_2 = 1 \div 30$ МГц (поле H_2). Для прохождения через точку $H_0 = 0$ спектрометр был оборудован дополнительными катушками, создающими постоянное магнитное поле, направленное противоположно основному. ВЧ поле подавалось на образец в виде импульсов с частотой следования $\Omega \approx 1$ кГц и скважностью, равной 2. Сигналы наблюдались на экране осциллографа после детектора промежуточной частоты или регистрировались на ленте самописца. В последнем случае производилось усиление и синхронное детектирование сигналов на частоте Ω . В экспериментах использовалась ориентация $H_2 \perp H_0$, что исключало модуляцию H_0 полем H_2 . Температура образцов изменялась в интервале 4.2—300 К.

Опыты проводились следующим образом. Образец ВТСП помещался в СВЧ резонатор, и при некотором значении H_0 спектрометр настраивался на регистрацию СВЧ поглощения. Затем включалось ВЧ поле и производилось наблюдение за уровнем СВЧ поглощения. Это делалось как при фиксированном H_0 , так и при его развертке.

Обнаружено, что в керамических образцах ВТСП приложение к ним ВЧ поля приводит к изменению интенсивности низкополевого СВЧ поглощения. Этот сигнал, возникающий в результате совместного воздействия СВЧ и ВЧ полей, по аналогии с ДЭЯР будем называть двойным СВЧ—ВЧ поглощением или двойным низкополевым поглощением (ДНПП). Рис. 1 иллюстрирует сигнал ДНПП от иттриевой керамики, который наблюдался на экране осциллографа при 77 К. Изменение амплитуды этого сигнала при варьировании поля H_0 было записано на ленте самописца (соответствующая кривая представлена на рис. 2). Вышеуказанные эксперименты проведены при $H_1 = 5 \cdot 10^{-6}$ и $H_2 = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл. Увеличение напряженностей H_1 и H_2 приводило к линейному росту сигналов ДНПП. От ориентации H_1 наблюдаемые сигналы не зависели. При нагревании образцов до температур, больших T_c , все сигналы исчезали. Эффект ДНПП, зарегистрированный в висмутовой керамике, качественно подобен эффекту в иттриевых образцах, однако при одинаковых условиях опыта он был примерно в два раза слабее, а кривая, отражающая его зависимость от H_0 , — уже. Заметим, что форма кривой (рис. 2) несколько изменялась при варьировании скорости, диапазона и направления развертки поля H_0 , а также от того, в каком по величине магнитном поле производилось охлаждение образца.

Сравнение кривой на рис. 2 с зависимостью СВЧ поглощения от H_0 показало, что их формы близки. Вместе с тем в целом свойства сигналов ДНПП и НПП не совпадают. Так, например, при понижении температуры вблизи 4.2 К интенсивность СВЧ поглощения падает, в то время как амплитуда ДНПП возрастает. Имеются также отличия от сигналов низкополевого ВЧ поглощения. В частности, в ДНПП отсутствуют частотные эффекты, зарегистрированные в [4] при наблюдении ВЧ НПП. В наших опытах в пределах диапазона частот ВЧ подсветки сигнал ДНПП от частоты поля H_2 не зависел. Следует отметить также, что в проведенных экспериментах производилось воздействие на образец магнитными компонентами СВЧ и ВЧ полей. При помещении образца в пучность электрической компоненты СВЧ поля сигналы НПП и ДНПП отсутствовали.

Однозначная теория СВЧ и ВЧ поглощений в ВТСП не разработана. Это в значительной мере усложняет интерпретацию эффекта ДНПП. Несомненно одно — в его основе лежит связь между СВЧ и ВЧ поглощениями. По всей видимости, механизм этой связи состоит в коррелированном взаимодействии магнитных моментов, наведенных в ВТСП полями H_0 и H_2 , с СВЧ полем H_1 . Отсутствие (или скорее всего резкое уменьшение) эффекта в монокристаллах говорит о существенной роли джозефсоновской среды, возникающей в керамиках из-за их зернистой структуры.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Maniwa Y., Grupp A., Hentsch F., Mehring M. // Physica C. 1988. V. 156. N 4—8. P. 755—760.
- [2] Хейфец А. С., Вейнгер А. И., Забродский А. Г., Казаков С. В., Тимофеев М. П. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 1. С. 294—297.
- [3] Вендик О. Г., Гайдуков М. М., Грабой И. Э., Карпюк А., Кауль А. Р., Ковалевич Л., Козырев А. Б., Колесов С. Г. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 14. № 21. С. 2001—2004.
- [4] Адаркян В. А., Васнева Г. А., Демидов В. В., Соболев А. Т. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 3. С. 277—280.
- [5] Пул Ч. Техника ЭПР спектроскопии. М.: Мир, 1970. С. 341.