

05.4; 09; 12

© 1993

АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ
ВНУТРЕННИХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ В СВЧ-ПОЛЕ
В СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛАХ Bi -ВТСП

В.Ф. М а с т е р о в

Одним из интересных вопросов физики гранулированных сверхпроводников является проявление в них микроскопических квантовых эффектов и, в частности, физика работы „bulk“-сквида (см., например, [1]) или ступеньки Шапиро на ВАХ длинных мостиков на основе керамических ВТСП (см., например, [2]). Как нам представляется, эта проблема связана с явлением поглощения микроволновой мощности в слабых магнитных полях, обусловленной наличием внутренних джозефсоновских переходов как в керамических (см., например, [3]), так и монокристаллических [4] сверхпроводниках.

Модельным объектом, представляющим собой цепочку последовательно включенных джозефсоновских контактов, могут служить монокристаллы Bi -системы (2212), содержащие эпитаксиальные проросты других фаз, например, (2223) или (и) (2201) [5].

В настоящем письме приводятся предварительные результаты исследований аномального поведения слоистых монокристаллов Bi -системы в поле стоячей электромагнитной волны ($\lambda \approx 3$ см) в СВЧ-резонаторе во внешнем постоянном магнитном поле $H_{ext} = 0-5$ Э и в интервале температур от 4 К до T_c .

Исследования проводились на спектрометре ER-220D фирмы „Bruker“ на частоте 9.5 ГГц с криогенной системой „Oxford Instruments“. Остаточное поле электромагнита спектрометра компенсировалось дополнительными катушками. Использовались кристаллы Bi (2212) с эпитаксиальными проростами либо фазы Bi (2201), либо - Bi (2223). Соответственно, описанные ниже эффекты наблюдались либо при температурах $T \leq 25$ К, либо при $T \leq 84$ К, что свидетельствует о типе джозефсоновских контактов $S-n-S$ в исследованных образцах.

При помещении образца в максимум магнитной компоненты СВЧ-резонатора и при развертке внешнего магнитного поля H при $T < T_c$ наблюдалась стандартная линия микроволнового поглощения. При установке кристалла выше центра полости резонатора на несколько миллиметров при $H = 0$ и $T \leq 4$ К на ряде образцов наблюдалось периодическое изменение добротности резонатора во времени (рис. 1, а), с частотой 1-5 Гц в зависимости от образца, условий охлаждения и уровня СВЧ-мощности в резонаторе. При этом частота колебаний не зависит от размера образца. Как видно из рис. 1, амплитуда и частота сигнала практически не зависит от температуры (при ее повышении) вплоть до области температур,

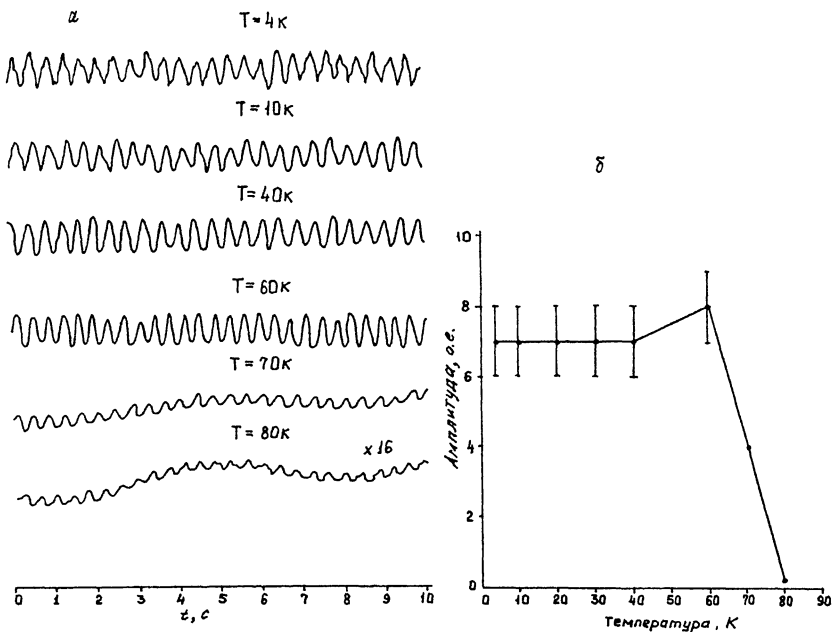


Рис. 1. Зависимость периодического изменения добротности резонатора от температуры: а – общий вид, в – температурная зависимость амплитуды колебаний.

близких к температуре фазового сверхпроводящего перехода. С другой стороны наблюдается ярко выраженный порог возникновения периодических изменений добротности резонатора по уровню СВЧ-мощности в резонаторе; устойчивые колебания возникают при уровне мощности 27 дБ ($P_0 = 190\text{ мВт}$). Однако, будучи возбуждены, колебания сохраняются как при уменьшении мощности, так и при перемещении образца в центр резонатора. Кроме того, колебания срываются (становятся гармоническими) при охлаждении образца в магнитном поле $H \geq 4\text{ Э}$ (при $P_{\text{СВЧ}} = 20\text{ дБ}$).

Увеличение мощности СВЧ резонаторе приводит к необратимому увеличению частоты колебаний в 2 раза (рис. 2). Зависимость амплитуды колебаний от уровня мощности в резонаторе имеет явно нелинейный характер (рис. 3). На рис. 3 сплошная кривая соответствует экспоненциальной аппроксимации, а точки – экспериментальные данные.

Как нам представляется, полученные результаты, а именно, наличие порога возникновения колебаний добротности резонатора по мощности, нелинейный характер зависимости амплитуды колебаний от СВЧ-мощности и зависимость эффекта от условий охлаждения образца во внешнем магнитном поле, свидетельствуют о про-

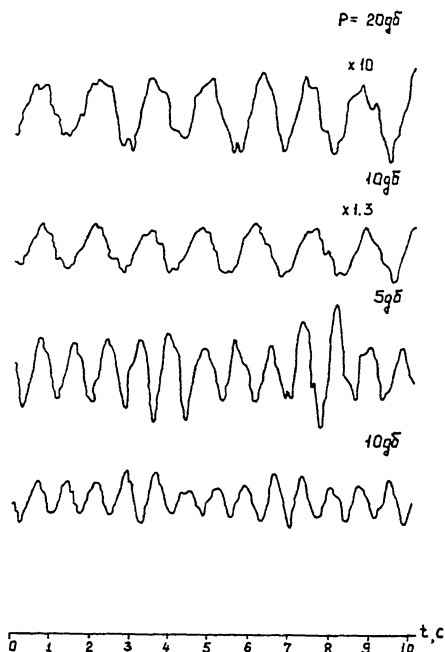


Рис. 2. Необратимое изменение частоты периодического изменения добротности резонатора при изменении СВЧ-мощности. Последовательность изменений 1 \rightarrow 4.

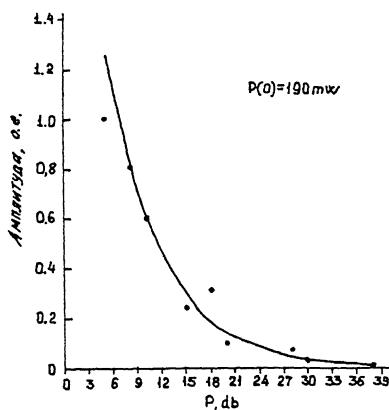


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний от уровня СВЧ-мощности в резонаторе.

цессах самоорганизации (когерентного взаимодействия) внутренних джозефсоновских переходов в поле СВЧ-волны. Действительно, слоистый кристалл ВТСП, имеющий эпитаксиальные проросты другой фазы по всей поверхности, можно представить как цепочку последовательно включенных $S-i-S'$ джозефсоновских переходов. Отдельный джозефсоновский контакт можно представить как простую двухуровневую систему, два состояния которой являются сверхпроводящее и нормальное. Под действием электрической компоненты СВЧ-поля возможны переходы между этими двумя состояниями. При этом, если параметры отдельных джозефсоновских контактов близки друг к другу, возможно когерентное взаимодействие между ними через поле электромагнитной волны. Периодическая модуляция этого взаимодействия, по-видимому, обусловлена расстройкой излучения отдельных контактов по фазе.

Мы говорим об электрической компоненте, несмотря на то что образец в соответствии с геометрией ЭПР помещается в максимум магнитной компоненты СВЧ-поля. Однако надо иметь в виду, что, во-первых, образец имеет конечные размеры и его основная часть находится и в слабом электрическом поле. Во-вторых, генерация колебаний возникает, как правило, при смещении кристалла из центра резонатора (где электрическое поле равно нулю). В-третьих, наиболее четкие гармонические колебания возникают при ориентации магнитной компоненты СВЧ-поля в резонаторе перпендикулярно плоскости джозефсоновского перехода, т.е. когда затруднен захват магнитного потока джозефсоновской петлей.

Однако нельзя исключать и возможность переходов между двумя состояниями джозефсоновского контакта под действием магнитной компоненты СВЧ-поля, если при этом контакт оказывается включенным в сверхпроводящую петлю. Этот вопрос требует дальнейших исследований условий возникновения колебаний добротности СВЧ-резонатора с кристаллом ВТСП в поле СВЧ-волны.

В заключении отметим, что если наше предположение о самоорганизации джозефсоновских контактов в ВТСП верно, то это позволит объяснить работу „bulk“-сквидов на основе керамических образцов и появление ступенек Шапиро в длинных мостиках также на основе керамических ВТСП.

Автор выражает искреннюю признательность Н.М. Шибановой и В.В. Потапову за предоставление образцов, а также И.Л. Лихоли-ту за помощь в проведении эксперимента.

Работа поддержана Научным Советом по проблеме „Высокотемпературная сверхпроводимость“ в рамках проекта № 91139 „Резонанс“.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] З а в а р и ц к и й Н.В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. С. 469.
- [2] Г е р а с и м о в Н.П. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 14. С. 1683.

- [3] М а с т е р о в В.Ф. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46.
С. 289.
- [4] В л а з е у R.W. et al. // Phys. C. 1988. V. 153-
155. P. 56.
- [5] Д е м ь я н е ц Л.Н. // УФН. 1991. Т. 161. С. 71.

Государственный университет,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
25 февраля 1993 г.