

Рис. 2. Зависимости относительных энергетических величин от параметра сильноточности ν : 1 - η_ϵ , 2 - η_Δ , 3 - η , 4 - η при $\Lambda = 0$.

полученного из (1) в предположениях $|\omega| \ll 1$ и $\mathcal{E} \sim \exp(iy\xi)$, находим, что при $\mathcal{T} = 0$ и $\delta = 0$ неустойчивость развивается лишь в области значений $\nu < 3\sqrt{3}/2\Lambda^{3/2}$.

В противном случае комплексные решения уравнения (4) существуют только для расстройек $\mathcal{S} > 0$, причем $\mathcal{S}_{min} \sim \nu\Lambda$, когда $\nu \gg 1$.

ко для расстройек $\mathcal{S} > 0$, причем $\mathcal{S}_{min} \sim \nu\Lambda$, когда $\nu \gg 1$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Карбушев Н.И. // Кр. сообщ. по физике ФИАН СССР. 1984. № 10. С. 8-12 // Физика плазмы. 1985. Т. 11. № 11. С. 1391-1397.
- [2] Кузелев М.В., Панин В.А., Рухадзе А.А., Филиппычев Д.С. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 4. С. 228-230 // Физика плазмы. 1985. Т. 11. № 1. С. 104-108.

Поступило в Редакцию
11 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 10

26 мая 1989 г.

05.4

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА СВЧ ОТКЛИК В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКЕ Ho-Ba-Cu-O

Г.А. Петраковский, Г.С. Патрин,
Ю.Н. Устюжанин, К.А. Саблина,
Г.Н. Степанов

Особенность ВТСП соединений состоит в том, что сверхпроводящие области на границах раздела связаны между собой слабыми

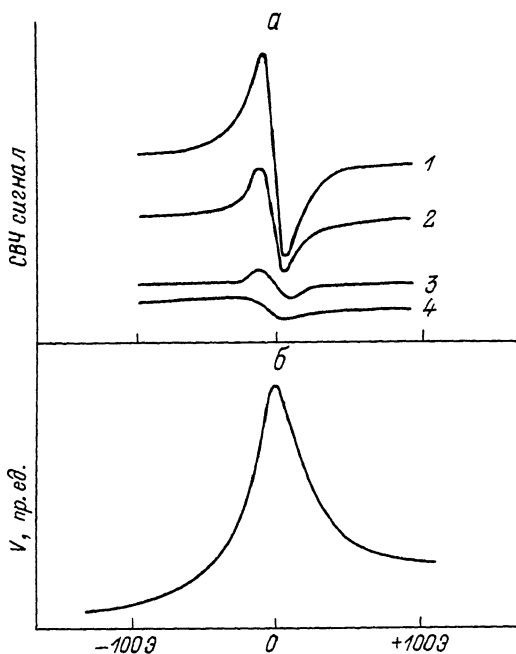
связями (преходами Джозефсона). Волновые функции сверхпроводящего конденсата различных областей зависят друг от друга, и вся система может быть представлена как ансамбль частиц, связанных парными взаимодействиями. Поведение магнитных характеристик [1, 2], СВЧ отклика в малых полях [3] дают основания считать, что ВТСП соединения как в керамическом, так и в монокристаллическом состояниях проявляют в магнитном поле свойства, во многом подобные спин-стекловым. При этом реакция системы на внешнее воздействие зависит как от состояния отдельных слабых звеньев, так и от распределения локальных магнитных полей, индуцированных магнитными моментами „элементарных“ контуров.

В настоящей работе проведено изучение СВЧ отклика в ВТСП соединении при пропускании постоянного электрического тока через образец.

Измерения проводились на керамиках $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$, приготовленных по стандартной технологии. Температура перехода в сверхпроводящее состояние составляла 93 К, а ширина перехода — около 2 К. Размер образца был $2 \times 2 \times 1.5$ мм³. Контакты к образцу приклеивались контактолом. Спектры СВЧ поглощения снимались на спектрометре ЭПП S/EX 2544. Образец помещался в пучность магнитной составляющей СВЧ поля. Направление электрического тока было вдоль оси цилиндрического резонатора (тип волны TE_{01}) и перпендикулярно к направлению магнитного поля. Все измерения проводились при температуре 77 К. Частота СВЧ излучения $f = 8,9$ ГГц.

На рисунке (часть а) приведены записи кривых производной СВЧ отклика при разных значениях постоянного тока, протекающего через образец. Образец охлаждался в нулевом магнитном поле, интервал сканирования магнитного поля составлял ± 100 Э. Максимальная плотность тока $I_{\text{max}} = 100$ А/см², при этом отношение сигнал/шум было чуть больше единицы. Хотя СВЧ отклик еще наблюдался при больших токах, мы ограничились этим значением тока. Видно, что по мере увеличения величины тока, происходит уменьшение интенсивности сигнала. Ранее было обнаружено, что в зависимости от магнитной предистории происходил сдвиг максимума кривой СВЧ отклика. В данном случае при изменении величины тока линия практически не смещается при развертке магнитного поля. При этом ширина линии СВЧ отклика изменяется весьма незначительно. Однако при уменьшении величины тока система не возвращается в исходное состояние тем же путем, а проходит по новому пути. Это проявляется как своеобразный гистерезис по току.

Поскольку токовые эксперименты свидетельствуют в пользу Джозефсоновской природы СВЧ отклика, то естественно возникает вопрос об обратном воздействии СВЧ излучения на токовые состояния образца. Нами был выполнен такой эксперимент. При сканировании магнитного поля во время СВЧ облучения мы измеряли постоянную разность потенциалов на образце. Оказалось, что при малой плотности тока никакого изменения при варьировании магнитного поля не обнаруживается. В нашем случае изменения электрического



а) Производная СВЧ отклика $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ при разных значениях постоянного тока; 1 - $\alpha = 0$; 2 - $\alpha = 0.22$; 3 - $\alpha = 0.67$; 4 - $\alpha = 1$. $\alpha = I/I_{\text{max}}$. б) Вид детектируемого сигнала при развертке магнитного поля по падению напряжения на образце.

сигнала возникали на фоне конечного падения напряжения на образце, чему соответствовала плотность тока 3 A/cm^2 . На рис. (часть б) представлен пример линии, записанной по изменению падения напряжения.

Полученные результаты по изменению СВЧ мощности и по изменению падения напряжения на образце при развертке магнитного поля наводят на мысль, что разные воздействия затрагивают единый механизм, ответственный за формирование состояния системы и ее восприимчивость к облучению.

На основании модельных представлений [4] качественно понятно различие в поведении относительно изменения магнитного поля и постоянного электрического тока. Электрический ток при данном значении магнитного поля, по-видимому, выполняя функции внешней вынуждающей силы, задает преимущественное направление течения тока и при определенной величине начинает „выключать“ часть слабых звеньев. Хотя происходит изменение фазы, а следовательно и размеров контуров, однако суммарный захваченный магнитный поток сохраняет свое значение, и в этом смысле магнитное состояние системы не меняется. В случае изменения магнитного поля происходит как изменение суммарного магнитного потока, так и перерас-

пределение контурных токов, но таким образом, чтобы реализовался минимум энергии системы. Получается, что магнитное состояние непрерывно подстраивается под изменяющиеся условия. Учет индуктивности контура ведет к существованию метастабильных состояний из-за чего могут возникать гистерезисные явления.

Результат эксперимента по обратному воздействию СВЧ излучения на токовые состояния можно объяснить следующим образом. Известно, что при наличии СВЧ излучения частотой ν на переходе возникает напряжение $V = h\nu/2e$, которое в зависимости от разности фаз имеет тот или иной знак. Если фазы переходов распределены случайным образом, то среднее по образцу напряжение будет равно нулю. Пропуская близкий к критическому значению электрический ток в определенном направлении (или чуть больше критического, из-за чего возникает на переходе напряжение), мы как бы упорядочиваем знаки разности фаз, что ведет в результате к сложению падений напряжений на отдельных переходах.

Из соответствия между фазовым множителем $Re\{exp(i\varphi_k)\}$ („квасиспин“) и оператором спина S_k , а также вкладом магнитной части в фазу $Re\{exp(iA_{kl})\}$ и обменной константой J_{kl} [5] следует, что действие тока приводит к изменению величины „квасиспина“, а действие магнитного поля к изменению „обменного взаимодействия“. Поэтому, по отношению к внешним воздействиям сверхпроводящие стекла обладают более богатым набором свойств, чем классические спиновые стекла, где набор спинов и обменных констант задан изначально.

В результате проведенных исследований нами впервые обнаружено влияние постоянного электрического тока на СВЧ отклик в ВТСП керамиках. Детектируемое изменение СВЧ мощности зависит от величины и направления протекающего тока.

Различные способы детектирования возникающих изменений позволили установить сложную взаимосвязь электрических и магнитных свойств в условиях СВЧ облучения. Реакция образца на пропускание постоянного электрического тока при СВЧ облучении, по нашему мнению, свидетельствует о Джозефсоновской природе взаимодействия излучения с веществом. Полученные результаты можно объяснить в рамках модели сверхпроводящего стекла.

В заключении выражаем благодарность Н.И. Киселеву за помощь в подготовке измерений.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Muller K.A., Takashige M., and Bednorz J.G. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. N 11. P. 1143-1146.
- [2] Хавронин В.П., Лузянин И.Д., Гинзбург С.Л. // Препринт № 1370, Институт ядерной физики АН СССР, Ленинград. 1988. 16 с.
- [3] Петраковский Г.А., Патрин Г.С., Петров С.Б., Саблина К.А., Степанов Г.Н.,

Устюжанин Ю.Н., Киселев Н.И. // Препринт № 489Ф, Институт физики СО АН СССР. Красноярск. 1988. 26 с.

- [4] Бароне А., Патерно Дж. Эффект Джозефсона. Физика и применение. М.: Мир, 1984. 639 с.
- [5] Винокур В.М., Иоффе Л.Б., Ларкин А.И., Фейгельман М.В. // ЖЭТФ. 1987. Т. 93. В. 1(7). С. 343-365.

Поступило в Редакцию
10 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 10 26 мая 1989 г.

07; 12

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЕТЕРОГЕННОМ НОСИТЕЛЕ

П.Д. Кухарчик, В.Г. Белкин,
А.С. Скрипко, А.А. Дрык

Для проведения исследований в ряде областей науки и техники, таких как физика плазмы, квантовая электроника, диагностика оптически непрозрачных материалов и изделий, перспективно использование различного рода сред для регистрации инфракрасного излучения. Одним из направлений в области разработки методов регистрации инфракрасного излучения является разработка термографических систем, оптические параметры которых меняются в результате нагрева, вызванного поглощением энергии инфракрасного излучения. В качестве регистрирующей среды для таких систем перспективно использование гетерогенного носителя [1].

Гетерогенный носитель состоит из прозрачной подложки, резервного термопластического слоя, прозрачного для видимого света, и слоя плотно упакованных магнитных частиц. Плотно упакованный слой магнитных частиц обеспечивает непрозрачность гетерогенного носителя. Для записи инфракрасного излучения гетерогенный носитель помещают во внешнее магнитное поле, перпендикулярное его поверхности, термостабилизируют при температуре, близкой к температуре плавления термопластика, и экспонируют излучением записи. Магнитные частицы поглощают регистрируемое излучение и в соответствии с его пространственным распределением нагревают резервный слой термопластика. Под действием внешнего магнитного поля и диполь-дипольного взаимодействия частицы соединяются в нити, параллельно магнитным силовым линиям, в результате чего гетерогенный носитель просветляется. Фиксация полученного изображения регистрируемого излучения осуществляется охлаждением носителя ниже температуры плавления термопластика.