

05.4;09

©1994

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ВИХРЕВОЙ РЕШЕТКИ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОМПОЗИТЕ НА ОСНОВЕ ВТСП

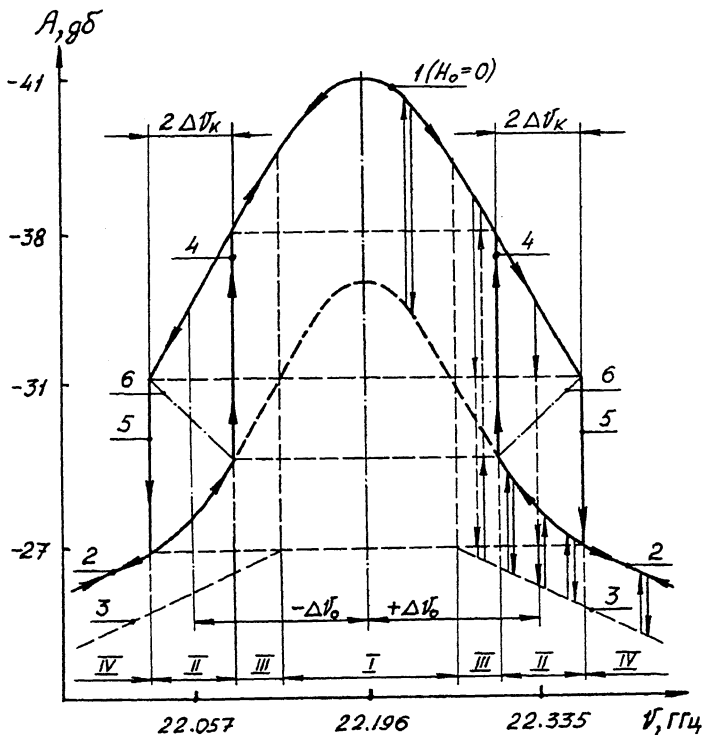
В.А.Шаповалов, В.П.Дьяконов, Н.И.Мезин

Микроволновой резонанс в диэлектрическом композите на основе ВТСП $YBaCuO$ (ДК ВТСП), рассмотренный в работе [1], может быть объяснен с помощью вихревой решетки (ВР), возникающей в гранулах ВТСП при $T < T_c$ [2]. При температуре ниже T_c гранулы $YBaCuO$ переходят в сверхпроводящее состояние. Магнитное поле проходит в гранулу на глубину проникновения λ и является причиной существования в ней вихря. Исследуемый образец ДК ВТСП представляет собой однородное вещество, состоящее из диэлектрической матрицы с равномерно распределенными в ней гранулами $YBaCuO$ субмикронного размера, которые при $T < T_c$ представляют собой одноквантовые вихри. Такие вихри способны образовывать упорядоченные структуры в виде правильных решеток.

В работе рассматриваются результаты исследований ДК ВТСП с плотностью гранул, распределенных в диэлектрической матрице, $\rho_v = 0.7$. Такая плотность является довольно высокой, поэтому магнитные поля вихрей перекрываются, взаимодействуя друг с другом. При определенных экспериментальных условиях такое взаимодействие между вихрями выстраивает их в правильную решетку, образуя ее упорядоченное состояние.

В работе [1] показано, что на широкой резонансной кривой ниже температуры сверхпроводящего перехода $T < T_c$ появляется узкая линия электромагнитного поглощения, которая весьма чувствительна к магнитному полю, частоте и температуре, что может быть использовано для создания соответствующих датчиков. Изучение ее поведения дает уникальную информацию о зарождении и существовании решетки вихрей РВ.

Исследования проведены на стандартном измерителе КСВН-66 в диапазоне частот 17 – 27 ГГц при $T = 77$ К. Микроволновая линия использовалась в режиме измерения коэффициента стоячих волн по напряжению (КСВН). Образец выполнен в виде пластины толщиной 3.0 мм, перекрывающей волновод и расположенной в конце волноводной системы.



Частотная зависимость амплитуды электромагнитной волны, поглощаемой образцом ДК ВТСП при $T = 77$ К.

1 — для решетки вихрей, 2 — для одиночных вихрей, 3 — базисная кривая, 4, 5 — фазовые переходы структуры вихрей, 6 — средняя линия метастабильной области.

На рисунке приведена изучаемая узкая линия электромагнитного поглощения, полученная на широкой резонансной линии [1], и представляющая собой резонансную кривую резонатора, образованного сверхпроводящей фазой исследуемого композита. Изучение резонансной кривой показывает, что с изменением частоты происходит преобразование системы одиночных вихрей в решетку вихрей, степень упорядочения которой максимальна при резонансной частоте $\nu_0 = 22.196$ ГГц и уменьшается при отклонении частоты от резонансной. На частотах, соответствующих линиям 4 и 5, происходит фазовый переход РВ в неупорядоченную структуру одиночных вихрей, слабо взаимодействующих друг с другом. Приведенная на рисунке частотная зависимость амплитуды электромагнитной волны, поглощаемой образцом, имеет несколько характерных областей: I — стабильная область существования РВ, II — метастабильная область РВ, III — промежуточная область, IV — область

одиночных вихрей. Кривые 1, 2, 4 и 5 изображены толстой сплошной линией и получены при величине магнитного поля $H_0 = 0$. Стрелки на этих кривых показывают ход их записи на самописце при увеличении частоты (*стрелки вправо*), либо при уменьшении частоты (*стрелки влево*).

Стабильная область I ограничена с обеих сторон метастабильными областями. Метастабильная область II возникает благодаря затягиванию частоты резонатором и представляет собой петлю (ее средняя линия δ показана штрих-пунктиром), ширина которой $2\Delta\nu_k$ зависит от внешних воздействий, влияющих на образование РВ. В случае уменьшения метастабильной области до нуля средняя частота петли $\nu_k = \nu_0 \pm \Delta\nu_0$ является частотой фазового перехода, при котором происходит зарождение и коллапс РВ. При наличии метастабильной области $\Pi\nu_k$ размывается на величину $\pm\Delta\nu_k$. Плавное отклонение частоты генератора от ν_k на величину $\pm\Delta\nu_k$ приводит к скачкообразному изменению амплитуды микроволнового поглощения.

Внешнее магнитное поле уменьшает долю сверхпроводящей фазы, что приводит к уменьшению величины микроволнового поглощения МП. В области I, сверху ограниченной кривой 1, снизу — пунктирной частью кривой 2, магнитное поле вызывает плавное изменение МП. При увеличении магнитного поля от 0 до 400 Э МП уменьшается (*стрелка вниз*), при уменьшении — МП возрастает (*стрелка вверх*). Величина стрелки пропорциональна величине магнитного поля. Кривая 1 соответствует упорядоченному состоянию РВ при $H_0 = 0$. При МП, соответствующем кривой 2, дальнейший рост H_0 не приводит к уменьшению МП в связи с отсутствием сверхпроводящей фазы. Здесь, по-видимому, сверхпроводимость подавлена не только постоянным H_0 , но и микроволновым магнитным полем.

В области II увеличение магнитного поля приводит вначале к плавному уменьшению МП до -31 дБ. Затем происходит скачок МП до величины -27 дБ, что показано на рисунке стрелкой с пунктирной линией. Затем вновь плавное уменьшение МП до величины, описываемой базисной кривой 3. Здесь сверхпроводящая фаза отсутствует, она разрушена постоянным магнитным полем величиной $H_0 \geq 400$ Э. Уменьшение H_0 до 0 возвращает величину МП до линии 2. Решетка вихрей при этом не возникает, для ее создания необходимо изменение частоты генератора до фазового перехода одиночных вихрей в РВ.

В области III увеличение магнитного поля вызывает изменение МП, аналогичное его изменению в области II. А при уменьшении H_0 от максимума до нуля МП возрастает до максимального значения, что показано на рисунке стрел-

ками: вначале изменение МП происходит плавно, затем — скачкообразно до 38 дБ и снова — плавно до кривой 1.

В области IV одиночные вихри проявляют весьма слабую чувствительность ДК ВТСП к магнитному полю. На рисунке это показано стрелками. При изменении частоты, приводящем к переходу из области IV в область II, такая слабая чувствительность МП к магнитному полю сохраняется вплоть до перехода в область III.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. В области частот, находящихся за пределами резонанса Фабри–Перро, диссипация энергии вихрями в магнитном поле мала, что показано на рисунке стрелками между кривыми 2 и 3, так как сверхпроводящие волновые функции в гранулах остаются нефазированными. После фазового перехода в вихревую решетку, происходящем на граничных резонансных частотах, по всему образцу устанавливается единое когерентное состояние. Концентрация сверхпроводящих гранул для этого в образце достаточна. Диссипация энергии вихревой решеткой при этом существенно возрастает. Для последовательного анализа полученных результатов необходимо дальнейшее экспериментальное изучение условий зарождения, коллапса и существования решеток вихрей.

Список литературы

- [1] Гришин А.М., Дьяконов В.П., Мезин Н.И., Шаповалов В.А., Старостюк Н.Ю., Ярош Г.С. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 19. С.39–43.
- [2] Тилли Д.Р., Тилли Дж. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. М.: Мир, 1977. 287 с.

Донецкий физико-технический
институт АН Украины

Поступило в Редакцию
7 ноября 1993 г.
