ՀՀ ԳԱԱ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Շիրինյան Հովսեփ Գրիգորի

ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՀՈՍՔԻ ՄՐՐԻԿՆԵՐԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ $YBa_2Cu_3O_y$ ԲԱՂԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԳԵՐՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐՈՒՄ

Ա.04.07 – ‹‹Կոնդենսացված վիճակի ֆիզիկա›› մասնագիտությամբ
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

A 01.04.07
Ш-642

ԱՇՏԱՐԱԿ – 2004

ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАН РА

Ширинян Овсеп Григорьевич

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ВИХРЕЙ МАГНИТНОГО ПОТОКА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ СОСТАВА $YBa_2Cu_3O_y$

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.07 – “Физика конденсированного состояния”

АШТАРАК – 2004

© National Library of Armenia OCR by Portmind

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար՝ ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածու Ս.Գ. Գևորգյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ.-մաթ. գիտությունների դոկտոր Ա.Գ. Սարգսյան

ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածու Ն.Մ. Դոբրովոլսկի

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և Էլեկտրոնիկայի Ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2004 թ. մարտի "22" ժ. 16⁰⁰

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական պրոբլեմների ինստիտուտի 021 մասնագիտական խորհրդի նիստում
Հասցեն՝ 375014, Երևան, Գ.Ներսիսյանի 25:
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ՖԿՊԻ գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2004թ. մարտի "21"

021 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու Մ.Հ. Սարգսյան

Тема диссертации утверждена в Институте Физических Исследований НАН РА

Научный руководитель: канд. физ. мат. наук С.Г. Геворгян

Официальные оппоненты: доктор физ. мат. наук А.Г. Саркисян

канд. физ. мат. Наук Н.М. Добровольский

Ведущая организация: Институт Радиофизики и Электроники НАН РА

Защита состоится "22" апреля 2004г. в 16⁰⁰ часов на заседании специализированного совета 021 в Институте Прикладных Проблем Физики НАН РА по адресу: 375014, г.Ереван, ул. Г. Нерсисяна 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИППФ НАН РА

Автореферат разослан "21" марта 2004г.

Ученый секретарь специализированного совета канд. физ. мат. наук М.А. Саркисян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: Несмотря на относительно короткий период после открытия высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП, 1986г.) [1] достигнуты значительные успехи как в области приготовления новых ВТСП материалов для различных практических и научных применений, так и в области исследования и понимания их физических свойств. "Оксидные" высокотемпературные сверхпроводники (такие, как *Y-Ba-Cu-O*, *Bi-Sr-Ca-Cu-O* и др.) представляют большой класс среди ВТСП материалов. Они являются сверхпроводниками (СП) второго рода, для которых реализуется смешанное состояние, при котором приложенное внешнее магнитное поле частично проникает внутрь сверхпроводника. В смешанном состоянии сверхпроводник пронизан нитями магнитного потока, содержащими, как правило, один элементарный квант потока $\Phi_0=h/2e\sim2\cdot10^{-7}$ Гс·см^2, каждый из которых состоит из системы круговых токов – вихрей магнитного потока. Новые ("оксидные") сверхпроводники радикально отличаются от низкотемпературных сверхпроводников своей сложной атомной структурой и необычными физическими свойствами. В частности, они практически всегда находятся в резистивном состоянии ($R\neq0$), обладая омическим сопротивлением, обусловленным динамикой вихрей магнитного потока. Другой отличительной особенностью высокотемпературных сверхпроводников является их гранулярная структура. Эти материалы, в том числе и (считающиеся высококачественными) пленки и кристаллы, состоят из монокристалликов микронных размеров, смещенных друг относительно друга, образующих межзеренные границы, которые могут быть наполнены не сверхпроводящим (технологическим) шлаком. Такая сложная "неидеальная" структура строения синтезированных веществ значительно затрудняет процесс выявления свойств и природы сверхпроводимости в "оксидных" сверхпроводниках. По технологической причине затрудняется приготовление качественных ВТСП материалов с заданными критическими параметрами для различных прикладных применений (большеразмерные керамики и пленки, длинные

© National Library of Armenia

провода, ленты, и т.д.). Для преодоления технологических проблем (определения влияния особенностей технологии на свойства синтезированных СП) и выявления микроскопической сущности явления сверхпроводимости в ВТСП материалах, необходим всесторонний анализ динамики вихрей магнитного потока в этих веществах в широком интервале магнитных полей и температур. Поэтому исследования в этой области представляют большой интерес в современной физике и технике сверхпроводников. Построение магнитной фазовой диаграммы вихревой материи в плоскости (H, T) позволяет получить информацию об особенностях поведения вихрей магнитного потока в ВТСП материалах. Для получения более или менее реальной и полной информации о состоянии вихревой системы в сверхпроводнике целесообразно исследование чистых образцов – монокристаллов ВТСП, по возможности не содержащих примесей и дефектов кристаллической структуры. Выращивание таких "идеальных" сверхпроводников очень сложная задача, и полученные недвойниковые образцы (untwined HTSC crystals) имеют довольно малые размеры (толщиной в несколько десятков микрометров, и поперечными размерами в доли миллиметра). Кроме того, наиболее информативными являются исследования, проводимые вблизи СП фазового перехода – при зарождении сверхпроводящей фазы.

Учитывая малые размеры исследуемых объектов, сложную динамику и многообразие поведения вихрей магнитного потока в ВТСП материалах в зависимости от температуры, внешнего магнитного поля и технологических особенностей получения исследуемых образцов, для построения довольно запутанных линий фазовой диаграммы вихрей необходимы достаточно чувствительные методы исследования. С этой целью используются множество современных методов исследования сверхпроводников, таких как: SQUID магнитометры (superconducting quantum interference device – сверхпроводящий квантовый интерференционный датчик, СКВИД), магнитометры с вибрирующим образцом (vibrating sample magnetometer – VSM-magnetometer), метод переменной восприимчивости (AC-susceptibility), магнитооптический

метод исследования проникновения силовых линий поля в материал (magneto-optical imaging – MO-imaging), а также проводятся тонкие калориметрические измерения, и исследования с помощью микроволновых сверхпроводниковых и диэлектрических резонаторов), и т.д. Однако, одни из этих методов не обладают достаточной чувствительностью для исследования малоразмерных объектов, каковыми являются ВТСП монокристаллы и тонкие пленки, другие не эффективны для измерений при температурах близких к критической температуре T_c сверхпроводящего фазового перехода, третьи в процессе измерения своим воздействием возмущают исследуемый объект, искажая при этом реальную физическую картину (разрушая сверхпроводимость в образце). Построить (H, T) фазовую диаграмму вихревой материи в ВТСП материалах до сих пор удавалось лишь собрав воедино результаты экспериментов, осуществленных различными методиками. Поэтому, для изучения магнитных свойств чистых (малоразмерных) ВТСП материалов нами был разработан, сконструирован и создан новый, невозмущающий измеритель на плоской однослойной приемной катушке (названный магнитометром на ПОК), основанный на маломощном и стабильном генераторе на туннельном диоде (ТД) [2]. С помощью такого измерителя нам удалось построить существенно уточненную (H, T) фазовую диаграмму $YBa_2Cu_3O_y$ монокристалла в области полей $0 \div 12$ T и температуры $65K \div T_c$, выявив некоторые новые особенности поведения вихревой системы [3-4].

В последние годы фазовые диаграммы вихревой материи в ВТСП образцах различных составов многосторонне изучались разными группами [5-8]. В монокристаллических $YBa_2Cu_3O_y$ было обнаружено существование трех основных фаз вихревой системы: "вихревая решетка" ("vortex–lattice"), "вихревая жидкость" ("vortex–liquid") и "вихревое стекло" ("vortex–glass"), разделенные на фазовой диаграмме линиями "плавления вихревой решетки" ("vortex–lattice" melting line), "перехода в вихревое стекло" (переход из жидкого в аморфное состояние) ("glass–liquid" transition line) и "линией разупорядочения" ("disordering" transition line), разделяющей упорядоченную

© National Library of Armenia

"вихревую решетку" и аморфную фазу "вихревое стекло" [9–11]. Переходы между этими тремя состояниями (фазами) вихревой материи обусловлены тонким балансом между тремя энергиями: разупорядочивающей тепловой энергией E_{th}, энергией пининга E_{pin} (энергией взаимодействия вихрей с центрами пининга, какими являются дефекты и неоднородности атомной структуры материала, примеси, дислокации, и т.д.) и упругой энергией взаимодействия между вихрями E_{el}. По результатам имеющихся до сих пор экспериментов эти три основные линии собираются в так называемой "точке перелома" ("kink" point). В частности, при высоких температурах близких к T_c, с изменением поля или температуры, имеет место лишь фазовый переход первого рода – плавление "вихревой решетки" в "вихревую жидкость". На основе накопленных опытных данных было предложено ряд теоретических моделей, объясняющих свойства этих линий межфазовых переходов, лежащих на разных участках (H, T) диаграммы. Исследование чистого монокристаллического образца $YBa_2Cu_3O_y$ новым измерителем на ПОК позволило нам выявить продолжение "лини разупорядочения" вплоть до критической температуры T_c. Таким образом, выясняется, что на фазовой диаграмме нет "переломной точки", и невозможен переход из фазы "вихревая жидкость" в фазу "вихревая решетка", минуя фазу "вихревое стекло" – во всей температурной области ниже T_c [3]. Новый измеритель на ПОК чувствителен также и к малейшему тепловыделению, возникшему при вязком движении вихрей в материале, что позволило выявить на фазовой диаграмме $YBa_2Cu_3O_y$ материала линию аномального поглощения, расположенную в "жидкой" фазе. Ее появление обусловлено высокой подвижностью заметного количества вихрей магнитного потока в определенной области жидкой фазы, при температурах, далеких от критической температуры T_c, при которой происходит окончательное исчезновение вихревой системы в ВТСП материале.

Целью настоящей диссертационной работы являлось исследование слабо выраженных тонких особенностей поведения вихрей магнитного потока в высокотемпературном сверхпроводнике состава $YBa_2Cu_3O_y$, в широком

интервале магнитных полей и температуры, которое было осуществлено при помощи измерителя принципиально нового типа высокого разрешения, основанного на приемной катушке плоской формы. А также построение и уточнение магнитной фазовой диаграммы вихревой материи чистого монокристалла $YBa_2Cu_3O_y$ в плоскости (H, T).

Научная новизна:

- Разработан и создан новый научный высокочувствительный измеритель для изучения свойств высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) с высоким разрешением – основанный на однослойной приемной катушке плоской геометрии, запускаемый маломощным генератором на туннельном диоде, способный регистрировать рекордно малые относительные изменения сверхпроводящей глубины проникновения $\Delta\lambda/\lambda \sim 10^{-6}$ – абсолютные изменения $\Delta\lambda \sim 1$Å, а также тепловыделение $\sim 10^{-9}$Вт в ВТСП, вызванное движением вихрей в сверхпроводящем материале.
- Уточнена (H,T) фазовая диаграмма вихрей магнитного потока чистого монокристаллического образца $YBa_2Cu_3O_y$ в диапазоне полей 0÷12 Т и температур 65K÷T_c. В противоположность известным представлениям, согласно которым основные три линии фазовых переходов на (H,T) диаграмме (линия плавления "вихревой решетки", линия перехода в состояние "вихревого стекла" и линия "разупорядочения" (т.е., линия раздела фаз "вихревой решетки" и "вихревого стекла")) собираются в "переломной точке" ("kink point") вблизи верхнего критического поля, показано, что на самом деле, линия "разупорядочения" продолжается вплоть до критической температуры сверхпроводящего фазового перехода T_c. Тем самым выявлено, что в действительности фаза "вихревого стекла" разделяет фазу "вихревой жидкости" от фазы "вихревой решетки" на всем диапазоне температуры, вплоть до T_c, и следовательно, на (H,T) фазовой диаграмме $YBa_2Cu_3O_y$ монокристалла нет "точки перелома".
- На (H,T) фазовой диаграмме $YBa_2Cu_3O_y$ пленки обнаружена новая линия аномального поглощения, расположенная где-то в середине "жидкой" фазы –

© National Library of Armenia

между линией перехода в состояние "вихревое стекло" и линией второго критического поля. Она обусловлена вязким движением вихревой материи и характеризует такое состояние вихрей магнитного потока, при которой достигается оптимум по подвижности и концентрации свободных вихрей, после их депининга.

Практическая ценность работы:

- Изучение магнитных свойств высокотемпературных сверхпроводников $YBa_2Cu_3O_y$ и построение (H,T) фазовой диаграммы позволяет выявить влияние технологии изготовления этого материала на динамику вихрей в нем, при наличии внешних магнитных полей, тем самым, способствуя лучшему пониманию истинной картины физики вихревой материи в сверхпроводниках. Полученные в работе данные могут быть использованы в прикладных целях, для создания проводов и кабелей из ВТСП материалов с повышенными критическими характеристиками.
- Разработанный в ходе работы измеритель на однослойной приемной катушке плоской геометрии может быть применен также и в других областях физики и техники, в частности, в области оптических исследований тонких плоских ВТСП материалов, для визуализации сверхпроводящих свойств этих веществ (в частности, распределения токов), с микронным пространственным разрешением (Low Temperature Laser Scanning Microscopy).
- На основе разработанного измерителя на плоской приемной катушке возможно создание различного рода измерительных приборов нового поколения высокого разрешения: дифференциальные манометры, микровесы, термодатчики, сейсмические датчики, вибрационные датчики, медицинские томографы, и т.д., и т.п.

Научные положения, выносимые на защиту:

- Существование новой линии аномального поглощения на (H,T) фазовой диаграмме вихрей магнитного потока ВТСП пленки состава $YBa_2Cu_3O_y$, расположенной в фазе "вихревая жидкость", обусловленной оптимумом подвижности и концентрации свободных вихрей, после их депининга.

- Отсутствие "точки перелома" ("kink point") на (H,T) фазовой диаграмме вихрей магнитного потока чистого монокристалла состава YBa_2CuO_y в окрестности верхнего критического поля, в которой сходились бы, по существующим до сих пор представлениям, все три основные линии магнитных фазовых превращений вихревой материи (линия плавления "вихревой решетки", линия перехода в состояние "вихревого стекла" и линия "разупорядочения") на магнитной фазовой диаграмме.
- Характер линий фазового перехода "разупорядочения" (линия раздела "вихревой решетки" от "вихревого стекла") и "переход в вихревое стекло" (разделяющая фазы "вихревое стекло" и "вихревая жидкость"). Они, не прерываясь, продолжаются с низких температур вплоть до критической температуры T_c, таким образом, что фаза "вихревое стекло" простирается до температуры сверхпроводящего фазового перехода, разделяя фазы "вихревой жидкости" и "вихревой решетки" во всем температурном диапазоне.

Апробация работы:

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались на 12-ом Международном Симпозиуме по Сверхпроводимости (**ISS'99**), **1999**, Мориока, Япония, на Международном Симпозиуме по "Детекторам частиц и метастабильной сверхпроводимости" **2000г**. Лиссабон, Португалия, на 13-ом международном симпозиуме по Сверхпроводимости (**ISS'2000**) Токио Япония.

Публикации: По теме диссертации опубликовано 6 научных работ.

Объем и структура: Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка обозначений и сокращений, использованных в работе, и списка цитированной литературы из 94-х наименований. Общий объем работы 135 страниц, включая 38 рисунков и 2 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы и научная новизна полученных результатов. Изложены практическая ценность работы и основные положения, выносимые на защиту.

© National Library of Armenia

В первой главе описано поведение сверхпроводников в магнитном поле. Представлены основные результаты исследований последних лет в области понимания динамики вихрей магнитного потока в оксидных высокотемпературных сверхпроводниках и ее сравнение с поведением вихрей в "гелиевых" сверхпроводниках. Особое внимание уделено проблеме построения и объяснения (H, T) фазовой диаграммы вихревой материи монокристаллического образца $YBa_2Cu_3O_y$. Так, в оксидных ВТСП различают три основных состояния вихрей магнитного потока: упорядоченная фаза – "вихревая решетка", разупорядоченное "вихревое стекло" и фаза "вихревая жидкость". Проявление того или иного состояния вихревой материи определяется хрупким балансом между тремя энергиями: энергией эластичного взаимодействия между вихрями E_{el}, энергией пининга вихрей E_{pin} (притяжения вихрей к центрам пининга) и тепловой энергией E_{th}. На фазовой диаграмме (H, T) (рис. 1), построенной на основе результатов исследований проведенных

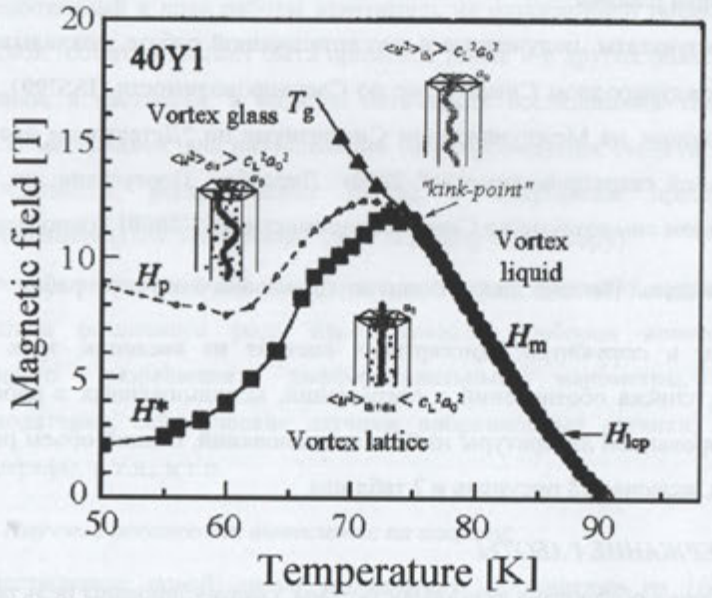

Рис. 1. Магнитная фазовая диаграмма (H, T) монокристалла $YBa_2Cu_3O_y$, построенная совмещением измерений намагниченности SQUD магнетометром, магнитометром с вибрирующим образцом, датчиком холла и измерениями проводимости 4-х контактным методом.

различными методами [8], можно видеть три линии межфазовых переходов, которые прерываются в "точке перелома" – "kink point".

Однако, из-за значительной неопределенности расположения линий раздела фаз на данной диаграмме, связанной с недостаточной чувствительностью существующих экспериментальных методов, возникла необходимость уточнения (H, T) диаграммы вихревой материи монокристаллического $YBa_2Cu_3O_y$.

Во второй главе описаны методы исследований и техника экспериментов, используемых для магнитных исследований ВТСП, в частности, для построения фазовых диаграмм (H, T) вихрей магнитного потока в этих материалах.

В **§2.1** описываются традиционные методы широко используемые при исследовании магнитных свойств высокотемпературных сверхпроводников.

В **§2.2** представлено описание и конструкция измерителя принципиально нового типа, основанного на автогенераторе на туннельном диоде с плоской однослойной приемной катушкой диаметра 8мм [2], структурная схема которого приведена на рис. 2. Такие измерители особо подходят для исследования образцов плоской геометрии (напр. таких, как пленочные ВТСП). С изменением параметров исследуемого объекта, помещенного над поверхностью плоской катушки, изменяется общая индуктивность и/или добротность резонансного контура автогенератора, что приводит к изменению частоты и/или амплитуды осцилляций, которые и являются измеряемыми параметрами. Оценочная разрешающая способность прибора при измерениях изменения глубины проникновения магнитного поля вглубь исследуемого образца составляет $\Delta\lambda \sim 1$–3Å, а относительного изменения глубины проникновения $\Delta\lambda/\lambda \sim 1 - 2 \cdot 10^{-6}$. При наличии магнитных полей вплоть до 12T чувствительность измерителя к относительному изменению глубины проникновения составляет $\Delta\lambda/\lambda \sim 1 - 2 \cdot 10^{-5}$. Другой характеристикой измерителя является возможность детектирования поглощения энергии РЧ поля измерительной катушки исследуемым образцом $\sim 10^{-9}$ Вт.

© National Library of Armenia

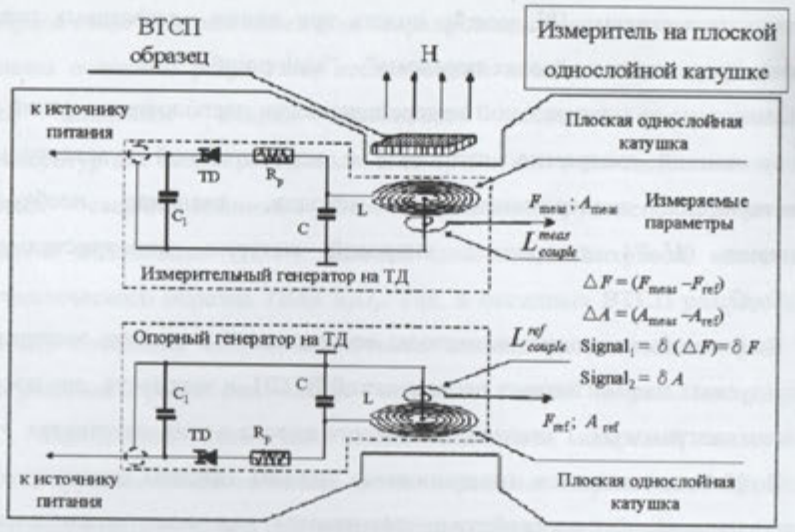

Рис. 2. Структурная схема измерителя на плоской однослойной катушке

TD – туннельный диод типа АИ 402, $R_P \sim 100$Ом (служит для подавления гармоник), C1 = 2.2 нФ (замыкает цепь автогенератора на РЧ) и C ~ 50 пФ (емкость резонансного контура), L – плоская однослойная катушка, L_{couple} – катушка связи, индуктивно связанная с плоской катушкой, для вывода информации.

В §2.3 обсуждается возможность стабилизации температуры с большой точностью. Построен пробный термодатчик основанный на ТД автогенераторе, температурная зависимость частоты которого может быть использована для определения изменения температуры ~0.1÷0.2мК в широком температурном диапазоне. Использование термочувствительных датчиков такого типа позволит повысить стабильность температуры при исследованиях сверхпроводников, что особенно важно при измерениях проводимых вблизи температуры сверхпроводящего фазового перехода.

§2.4 посвящен организации низкотемпературных экспериментов при помощи измерителя на ПОК, в ходе которых получены основные результаты диссертационной работы.

В третьей главе приведены результаты исследований магнитных свойств ВТСП пленки, монокристалла и поликристалла состава $YBa_2Cu_3O_y$. Здесь же обсуждаются и сравниваются полученные результаты для различных образцов.

§3.1 посвящен исследованиям тонкой $YBa_2Cu_3O_y$ ВТСП пленки при помощи измерителя на ПОК. Построена магнитная фазовая диаграмма вихрей магнитного потока, которая приведена на рис. 3. На (H, T) диаграмме поведения вихревой материи, в области жидкой фазы

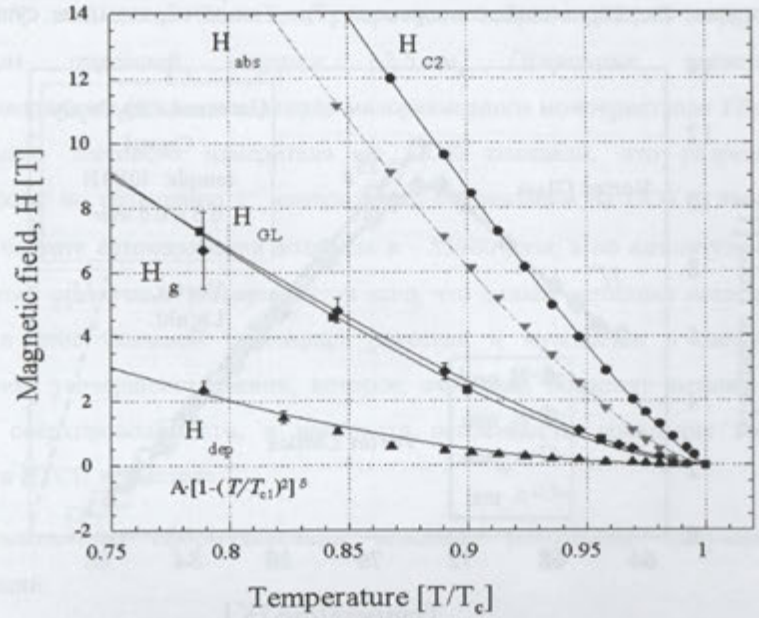

Рис. 3. (H, T) фазовая диаграмма пленочного $YBa_2Cu_3O_y$ диска диаметром 5mm, полученная при помощи измерителя на ПОК.
H_{abs} – экспериментальные точки и линия аппроксимации соответствующие максимуму поглощения энергии поля вихрями магнитного потока.
■ – H_{GL}–точки перехода из вихревого стекла в вихревую жидкость (экспериментальные данные, полученные 4-х контактным методом исследования).

вихревой системы (между линией "перехода в вихревое стекло" H_g и H_{c2}), обнаружена новая линия аномального поглощения РЧ энергии вихрями (линия H_{abs}), что объясняется существованием оптимума по количеству и подвижности вихрей магнитного потока после их депининга и перехода в жидкую фазу.

В §3.2 приведены результаты исследования монокристалла состава $YBa_2Cu_3O_y$. Построена (H, T) фазовая диаграмма вихревой материи (рис. 4) для исследованного малоразмерного монокристалла. В общих очертаниях полученная диаграмма похожа на известную диаграмму вихревой материи

© National Library of Armenia

монокристалла $YBa_2Cu_3O_y$ (рис. 1), однако между ними существуют существенные различия. На уточненной нами диаграмме вихрей магнитного потока линия разупорядочения H^* и линия перехода в вихревое стекло H_g не прерываются в критической точке и продолжаются вплоть до критической температуры сверхпроводящего перехода T_c. Таким образом, не существует

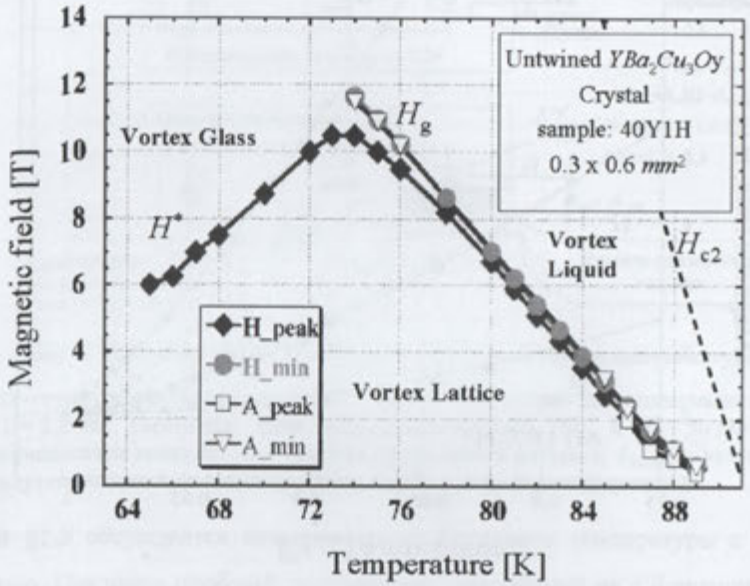

Рис. 4. (H, T) фазовая диаграмма монокристалла $YBa_2Cu_3O_y$ (40Y1H), полученная при помощи измерителя на ПОК.

Линия "разупорядочения" H^* и линия перехода в вихревое стекло $H_g(T)$ простираются, не прерываясь, вплоть до критической температуры T_c. Фаза "вихревое стекло" разделяет фазы "вихревая решетка" и "вихревая жидкость" во всем температурном диапазоне.

прямого фазового перехода из состояния "вихревой решетки" в "вихревую жидкость". Такой переход всегда осуществляется через фазу "вихревое стекло", которая существует во всем температурном диапазоне ниже T_c, и на фазовой диаграмме вихревой материи нет линии фазового перехода плавления вихревой решетки. Не существует также и критической точки ("kink point"), в которой прерывались бы основные линии фазовых превращений вихревой материи.

С увеличением центров пининга в образце, на фазовой диаграмме (H, T) ожидается увеличение области "вихревого стекла" и подавления упорядоченной

фазы "вихревой решетки". Это явление подтверждается при исследовании поликристаллического сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_y$, которое описано в **§3.3**.

В §3.4 изложена возможность дальнейшего повышения чувствительности магнитных измерений малоразмерных ВТСП образцов при помощи измерителя на ПОК. С этой целью был сконструирован и собран пробный измеритель с диаметром приемной катушки ~3.5 мм. Оценочные исследования сверхпроводящего фазового перехода малоразмерного монокристалла $YBa_2Cu_3O_y$ с помощью тестового измерителя на ПОК показали, что разрешающая способность, по сравнению с измерителем, основанным на ПОК с диаметром 8мм, по частоте автоколебаний возросла в ~ 55÷60 раза, а по амплитуде в ~ 100 раз. Из этих оценочных экспериментов ясно, что данная методика исследования хранит в себе большой потенциал развития и нуждается в дальнейшем тщательном усовершенствовании, которое, очевидно, позволит выявить новые явления сверхпроводимости, в частности особенности поведения вихревой материи в ВТСП веществах.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

1. Разработана и сконструирована новая измерительная техника, основанная на автогенераторе на обращенном туннельном диоде с плоской однослойной катушкой круглой геометрии в резонансном контуре. Созданный измеритель на ПОК наиболее эффективен для исследования образцов плоской геометрии, в особенности таких как ВТСП пленки. С его помощью возможно регистрировать изменения глубины проникновения внешнего поля в толщу образца $\Delta\lambda$ порядка нескольких ангстрем, а также энерговыделения в образце ~ 10^{-9} Вт связанное с движением вихрей.
2. Измерителем на ПОК проводились исследования магнитных свойств ВТСП тонких пленок и кристаллов состава $YBa_2Cu_3O_y$. Были исследованы сверхпроводящие фазовые переходы образцов по температуре и по магнитному полю. Из кривых СП фазового перехода по магнитному полю определены основные характеристические магнитные поля образцов и

© National Library of Armenia

построены их температурные зависимости. Построены кривые зависимости постоянной пининга от температуры $\alpha_L(T)$, а также рассчитаны значения параметров Гинзбурга–Ландау κ для пленочного и кристаллического сверхпроводников состава $YBa_2Cu_3O_y$.

3. На фазовой диаграмме вихрей магнитного потока $YBa_2Cu_3O_y$ ВТСП пленки обнаружена новая линия аномального поглощения соответствующая оптимуму количества и подвижности вихрей в жидкой фазе, после их депининга.
4. Построена фазовая диаграмма вихревой материи монокристалла состава $YBa_2Cu_3O_y$ в диапазоне полей 0 ÷ 12T, которая в общих чертах находится в довольно хорошем соответствии с диаграммой идентичного монокристалла полученного другими (традиционными) методами исследования, однако отличается от последней некоторыми тонкими особенностями.
5. Выявлено, что линия фазового перехода "разупорядочения" $H^*(T)$, разделяющая фазы "вихревой решетки" и "вихревого стекла" простирается с низких температур вплоть до критической температуры СП фазового перехода T_c, не прерываясь в точке перелома. Линия перехода в вихревое стекло $H_g(T)$, разделяющая фазы "вихревой жидкости" и "вихревого стекла", также не прерывается в критической точке. Таким образом, фаза "вихревое стекло" разделяет фазы "вихревой решетки" и "вихревой жидкости" во всем температурном диапазоне.
6. Построена фазовая диаграмма вихревой материи ВТСП поликристалла состава $YBa_2Cu_3O_y$, при сравнении которой с аналогичной диаграммой монокристаллического образца, выявлено сильное подавление упорядоченной фазы вихрей магнитного потока – "вихревая решетка". Это связано с содержанием межзеренных границ и примесей в поликристаллическом образце, которые служат центрами пининга, способствующие разупорядочению вихревой системы. Сравнивая (H, T) фазовые диаграммы, можно определять влияние технологии приготовления образцов на их физические характеристики.

ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Bednorz J. G. and Muller K. A., *Phys.* ***B*****, 64**, 189, 1986.
2. Gevorgyan S.G., Kiss T., Movsisyan A.A., Shirinyan H.G., Gevorgyan V.S., Takeo M., Matsushita T., and Funaki K., *Proc. of the Int. Workshop on "Particle Detection & Metastable Superconductivity"*, 2000, Lisbon, Portugal *(in: "Particle Detection & Metastable Superconductivity"*, eds. T.A. Girard, M.R. Gomes and P. Valko, *Principia, Lisbon*, 53-61, 2001).
3. Gevorgyan S.G., Kiss T., Inoue M., Movsisyan A.A., Shirinyan H.G., Harayama T., Matsushita T., Nishizaki T., Kobayashi N., Takeo M., *Physica C* ***378-381***, 531-536, 2002.
4. Gevorgyan S.G., Kiss T., Shirinyan H.G., Movsisyan A.A., Ohyama T., Inoue M., Matsushita T., and Takeo M., *Physica C* ***363****, No.2,* 113-118, 2001.
5. Khaykovich B., Konczykowski M., Zeldov E., Doyle R. A., Majer D., Kes P H. and Li T. W., *Phys. Rev., B* ***56***, R517, 1997.
6. Deligiannis K., de Groot P. J. A., Oussena M., Pinfold S., Lamgan R., Gangon R. and Taillefer L., *Phys. Rev. Lett.,* ***79***, 2121.
7. Küpfer H., Wolf Th., Lessing C., Zukov A. A., Lancon X., Meier-Hirmer R.,Schauer W. and Wühl H., *Phys. Rev. B* ***58***, 2886, 1998.
8. Nishizaki T. and Kobayashi N., *Supercond. Sci. Technol.* ***13****, 1-11,* 2000.
9. Blatter G., Feigelman M. V., Geshkenbein V. B., Larkin A. I. and Vinokur V. M., *Rev. Mod. Phys.* ***66***, 1125, 1994.
   Blatter J., *Physica* C **282-287**, 19, 1997.
10. Brandt E. H., *Rep. Prog. Phys.* ***58***, 1465, 1995.
11. Crabtree G.W. and Nelson D. R., *Pys. Today* **50**, 38, 1997.
    Crabtree G.W., Kwok W.K., Welp U., Fendrich J. A. and Veal B. W., *J. Low Temp. Phys.* **105**, 1073, 1996.

© National Library of Armenia

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ РАБОТ

1. Gevorgyan S., Kiss T., Shirinyan H., Katsube H., Ohyama T., Matsushita T., Takeo M., and Funaki K. ***The Possibility of Determination of the Material Parameters in HTS by Means of the Improved "LC Resonator" Method*** // Proc. of the 12th Int. Symposium on Superconductivity (ISS'99), 1999, Morioka, Japan (in **"Advances in Superconductivity XII"**, Springer-Verlag, Tokyo, 2000, pp. 320-322).

2. Gevorgyan S., Kiss T., Movsisyan A., Shirinyan H., Ohyama T., Takeo M., Matsushita T., and Funaki K. ***Advantages of λ Measurement in Flat Geometry High-T_c Cuprates by an Open-Flat Coil Magnetometer Demonstrating Its Wide Possibilities For Detection*** // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (NIM-A), 2000, vol.444, No.1-2, pp. 471-475.

3. Gevorgyan S., Kiss T., Shirinyan H., Movsisyan A., Ohyama T., Inoue M., Matsushita T. and Takeo M. ***The Possibility of Detection of Small Absorption in HTS Thin Films by Means of the Highly Sensitive OFC Magnetometer*** // Physica C: "Superconductivity and its Applications", 2001, vol.363, No.2, pp. 113-118.

4. Gevorgyan S., Kiss T., Movsisyan A., Shirinyan H., Gevorgyan V., Takeo M., Matsushita T. and Funaki K. ***Wide Possibilities of the Open-Flat Coil-Based Tunnel Diode Oscillator Testing Technique*** // Proc. of the Int. Workshop on "Particle Detection & Metastable Superconductivity" (a "sammit meeting" on device development), 2000, Lisbon, Portugal (in: "Particle Detection & Metastable Superconductivity", eds. T.A.Girard, M.R.Gomes and P.Valko), Principia, Lisbon, 2001, pp. 53-61).

5. Gevorgyan S., Kiss T., Inoue M., Movsisyan A., Shirinyan H., Harayama T., Matsushita T., Nishizaki T., Kobayashi N., Takeo M. ***Peculiarities of the magnetic phase diagram in small-size untwinned $YBa_2Cu_3O_y$ crystal constructed by highly sensitive OFC-magnetometer*** // Physica C: "Superconductivity and its Applications", 2002, vol.378-181, pp. 531-536

6. Ширинян О. Г. ***Чувствительный термодатчик для криогенных применений, работающий в широком температурном диапазоне*** // Известия НАН Армении, Физика, 2002, т.37, No. 6, с. 387-390.

15.05.2014

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ատենախոսությունը նվիրված է բարձրջերմաստիճանային գերհաղորդիչներում (ԲՋԳՀ) ձևավորված մագնիսական հոսքի մրրիկների դինամիկայի թույլ արտահայտված նուրբ առանձնահատկությունների ուսումնասիրմանը: Մասնավորապես այն նվիրված է $YBa_2Cu_3O_y$ բաղադրության մաքուր ԲՋԳՀ միաբյուրեղում մրրիկների մագնիսական փուլային դիագրամի ճշգրտմանը ու կառուցմանը մագնիսական դաշտ – ջերմաստիճան (H, T) կոորդինատային հարթությունում: Հետազոտությունները հիմնականում կատարվել են մեր կողմից ստեղծված սկզբունքորեն նոր տիպի ու մեծ լուծողությամբ օժտված չափիչ սարքի միջոցով, որն իրենից ներկայացնում է հարթ դետեկտող կոճով ու թունելային դիոդի հիման վրա գործող կայուն հաճախականությամբ, թույլ հզորության ավտոգեներատոր: Այն թույլ է տալիս գրանցել գերհաղորդիչ ներթափանցման խորության ռեկորդային փոքր $\Delta\lambda/\lambda \sim 10^{-6}$ հարաբերական փոփոխություններ ($\Delta\lambda \sim 1$Å կարգի բացարձակ փոփոխություններ), ինչպես նաև հայտնաբերել ԲՋԳՀ նյութերում մրրիկների մածուցիկ շարժման հետևանքով անջատված $\sim 10^{-9}$ Վտ կարգի աննշան ջերմաբանակը:

Ճշգրտված է $YBa_2Cu_3O_y$ բաղադրության մաքուր միաբյուրեղում մրրիկների (H, T) փուլային դիագրամը մագնիսական դաշտի 0÷12 S ու ջերմաստիճանի 65Կ ÷ T_c արժեքների տիրույթում: Ի հակառակ գոյություն ունեցող պատկերացումների, համաձայն որոնց (H, T) դիագրամում տեղ գտած փուլային անցումների 3 հիմնական գծերը, այն է՝ "մրրկային ցանցի" հալման գիծը, "մրրկային ապակու" անցման գիծը և "անկանոն" վիճակի անցման գիծը (այսինքն՝ մրրկային "պինդ" փուլը "ցանցի" և "ապակու" բաժանող գիծը), զուգամիտում են այսպես կոչված "բեկման" կետում ("kink point"), ցույց է տրված, որ իրականում այդ գծերը բոլորովին էլ չեն խզվում, իսկ "անկանոնության" գիծը և "մրրկային ապակու" անցման գիծը շարունակում են իրենց գոյությունը ընդհուպ մինչև գերհաղորդիչ անցման T_c կրիտիկական ջերմաստիճանը: Դրանով իսկ բացահայտված է, որ իրականում "մրրկային ապակու" փուլը առանձնացնում է "մրրկային հեղուկ" վիճակը "մրրկային ցանց" վիճակից ամբողջ ջերմաստիճանային տիրույթում, ընդհուպ մինչև T_c, և հետևաբար, $YBa_2Cu_3O_y$ միաբյուրեղի (H, T) փուլային դիագրամի վրա գոյություն չունի "բեկման" կետ, ու անհնար է մրրկային համակարգի փուլային անցումը "հեղուկ" վիճակից կարգավորված "ցանցային" վիճակի ուղղակիորեն, շրջանցելով "մրրկային ապակու" վիճակը:

$YBa_2Cu_3O_y$ բաղադրության թաղանթի (H, T) փուլային դիագրամի վրա բացահայտված է անոմալ կլանման մի նոր գիծ: Այն տեղաբաշխված է մոտավորապես "հեղուկ" փուլի մեջտեղում՝ "մրրկային ապակու" անցման գծի ու երկրորդ կրիտիկական դաշտի գծի արանքում: Այս նոր գիծը պայմանավորված է մագնիսական հոսքի մրրիկների մածուցիկ շարժումով և բնութագրում է մրրկային մատերիայի այնպիսի վիճակ, որում դեպինինգից հետո ազատված մրրիկների քանակի և դրանց շարժունակությանը համապատասխանող ֆիզիկական մեծությունը ձեռք է բերում օպտիմալ մեծ արժեք:

© National Library of Armenia

© National Library of Armenia