

17-96-129

На правах рукописи

P-243

РАСПОПИНА
Екатерина Владиславовна

ТОЛСТЫЕ ПЛЁНКИ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$
НА ПОДЛОЖКЕ Y_2BaCuO_5 :
ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

Специальность: 05.27.06 — технология полупроводников
и материалов электронной техники

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1996

Работа выполнена в Объединенном Институте Ядерных Исследований и Институте физико - технических проблем, (г.Дубна).

Научные руководители - доктор физико-математических наук Васильев Б.В., кандидат физико-математических наук Выонг Н.В.

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор Сергиевский В.В.; кандидат физико-математических наук, доцент Головашкин А.И.

Ведущая организация - Институт радиотехники и электроники РАН.

Защита диссертации состоится _____ 1996 г. в _____ час. на заседании диссертационного совета Д 053.34.12 в РХТУ им.Д.И.Менделеева (125047, Москва, А-47, Мусская пл. д.9), в ауд. _____.

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-информационном центре РХТУ им.Д.И.Менделеева.

Автореферат разослан

1996г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

З.Б.Мухаметшина

Актуальность проблемы.

Высокотемпературные сверхпроводящие материалы (ВТСП) со времени их открытия и по настоящий момент являются объектом активных исследований во всем научном мире. Приборы созданные на их основе уже находят применение в кардиологии, магнитоэнцефалографии, изучении физических свойств твердого тела и других областях. Естественно, большой интерес к таким приборам стимулирует развитие ВТСП технологий. К настоящему моменту разработаны многочисленные методики получения ВТСП керамических образцов а также тонких и толстых пленок. Однако, в создании технологий толстых пленок произвольной формы с регулируемыми сверхпроводящими свойствами остаются пробелы, устранение которых является актуальной задачей.

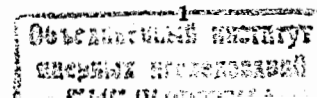
Цель работы.

Цель данной работы состояла в следующем:

1. Выбор материала химически активной подложки и разработка способа получения пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в структуре этой подложки. исследование их структуры, морфологии, сверхпроводящих свойств и влияния на них взаимодействия с парами воды.
2. Разработка способа получения пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на выбранной подложке, содержащих центры пиннинга для улучшения сверхпроводящих свойств.
3. Разработка способа формирования микромостика в структуре пленки для создания СКВИДов на ее основе.

Научная новизна.

Разработана оригинальная методика получения пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на подложке Y_2BaCuO_5 методом активной подложки. Данная методика позволяет получать пленки любой конфигурации, в том числе и цилиндрической, что невозможно во многих других методах. С помощью физических методов исследования изучены структурные и сверхпроводящие свойства полученных пленок, а также влияние на них деградации в водяных парах. Определено, что в отличие от



образцов, полученных стандартным твердофазным синтезом, процесс деградации в этих пленках происходит послойно, благодаря их повышенной плотности, и не влияет на сверхпроводящие свойства оставшейся непродегрированной части образца. Впервые сделан СКВИД (от англ. SQUID - superconducting quantum interference device) на толстой пленке $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, причем, при формировании микромостика на пленке также впервые было применено травление в водяных парах.

Практическая значимость.

С помощью разработанного способа можно получать пленки любой топологии, что является явным преимуществом перед известными методами. Данные пленки имеют $T_c = 91K$ и плотность критического тока порядка 10^3 А/см². Способ позволяет регулировать сверхпроводящие свойства пленок путем введения в их структуру микровключений несверхпроводящей фазы Y_2BaCuO_5 , что повышает плотность критического тока в найденных технологических условиях примерно в 5 раз. Предложенная в данной работе методика получения толстых пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ может использоваться для изготовления пленок с дальнейшим их применением в СКВИДах, что подтверждено экспериментально. Кроме того, с помощью такого метода можно изготавливать сверхпроводящие магнитные экраны.

Апробация работы.

Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на XVI Семинаре по прикладной сверхпроводящей электронике и биомагнетизму (Киев, Украина, июнь 1993), Симпозиуме по слабой сверхпроводимости (Смоленица, Словакия, июнь 1994), XVII семинаре по прикладной сверхпроводящей электронике и биомагнетизму (Киев, Украина, июль 1994), 30-м Всероссийском Совецании по физике низких температур (Дубна, Россия, 1994).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 4 научные работы.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и двух приложений. Объем работы изложен на 120 листах машинописного текста, включает 36 рисунков, 3 таблицы и библиографию из 85 наименований.

На защиту выносятся.

1. Способ получения толстой сверхпроводящей пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на химически активной подложке Y_2BaCuO_5 , позволяющей получать пленки любой конфигурации со сверхпроводящими параметрами не хуже, чем у известных образцов, полученных технически более сложными методами, образцы, в которых пленка и подложка представляют единое целое, отсутствует проблема адгезии и химического взаимодействия между пленкой и подложкой.
2. Способ создания центров пиннинга - частиц фазы Y_2BaCuO_5 в пленке $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в процессе ее плавления и последующего охлаждения, проходящего через область перитектики, позволяющий воспроизводимо регулировать силу пиннинга, по крайней мере в 5 раз.
3. Способ формирования микромостика в структуре толстой пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ для создания СКВИДа на ее основе.
4. Применение синтезированных изделий из толстых пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на Y_2BaCuO_5 химически активной подложке с микромостиком, полученным травлением пленки в парах воды, для изготовления СКВИДов на их основе.

Основное содержание работы.

Глава I.

В главе I представлен обзор и анализ литературных данных по пленкам $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Рассмотрена кристаллическая структура этого соединения, фазовые равновесия в системе $Y-Ba-Cu-O$, основные

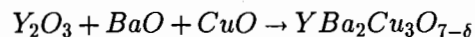
методы получения пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и их параметры. Выбраны основные направления и цели работы.

Глава II.

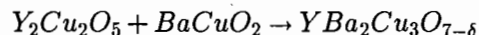
В главе II описан новый способ получения толстых пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и их свойства.

Исходя из анализа диаграммы фазового равновесия системы $Y_2O_3 - BaO - CuO$ соединение структуры $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ можно получить по следующим химическим реакциям:

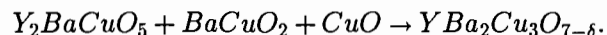
1. Реакцией прямого синтеза из исходных компонент:



2. Реакцией синтеза из двух прекурсоров:



3. Реакцией синтеза из трех прекурсоров:



Первый путь является стандартным твердофазным синтезом, широко применяемым при синтезе керамик, а так же при получении пленок методами напыления печати и окраски. Если нет специальных требований к материалу подложки, применимы второй и третий пути для получения $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ - пленок на $Y_2Cu_2O_5$ или Y_2BaCuO_5 - подложках. В данной работе была выбрана третья реакция синтеза $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на подложке из "зеленой" фазы Y_2BaCuO_5 . Получение пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ состоит из следующих операций [1]:

1. Приготовление подложки Y_2BaCuO_5 - первой компоненты реакции синтеза $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ с помощью стандартного твердофазного синтеза ($T = 950^\circ C$, 24 часа) с последующим прессованием и заключительным спеканием. Плотность получаемой подложки $\rho = 5.6 \text{ г/см}^3$, средний размер гранул около 5 мкм.

2. Приготовление смеси ($3BaCuO_2 + 2CuO$) - второй компоненты реакции синтеза $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Процедура получения $BaCuO_2$ аналогична получению Y_2BaCuO_5 и включает в себя приготовление шихты из исходных компонент и синтез в течение 24 часов при температуре $950^\circ C$ с двумя промежуточными перетираниями. Затем порошок $BaCuO_2$ смешивается с CuO в мольном соотношении 3 : 2.

3. Нанесение смеси ($3BaCuO_2 + 2CuO$) на подложку Y_2BaCuO_5 .

Было использовано два метода нанесения смеси. Первый, наиболее простой, когда смесь впрессовывается на плоскую поверхность спрессованной неотожженной подложки. Этим способом можно получать пленки планарной формы.

Другим методом нанесения такой смеси на подложку является окрашивание. Он более предпочтителен при получении пленок сложных форм, например, цилиндрической. Для этого случая на подложку наносится паста следующего состава:

порошок ($3BaCuO_2 + 2CuO$), смешанный с растворенным в тетрахлорметане полиметилметакрилата (плексиглас) в следующей пропорции:

$1 \text{ г}(3BaCuO_2 + 2CuO) : 0.02 \text{ г поли}(C_5H_8O_2) : 2 \text{ мл } CHCl_3$. Такая паста быстро сохнет, имеет необходимую вязкость, позволяющую наносить любое количество слоев пасты на подложки любой формы.

4. Синтез пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на подложке Y_2BaCuO_5 состоит из следующих стадий:

- образец нагревается от $T_{\text{ком}}$ до $200^\circ C$ со скоростью $1,5^\circ/\text{мин}$. Выбор такой скорости обусловлен тем, что в это время происходит удаление или выгорание органического наполнителя и при таком нагреве не происходит разрушение целостности нанесенного на подложку слоя;

- образец нагревается до $T = 975^\circ C$ со скоростью $8^\circ/\text{мин}$. Такая температура чуть выше точки плавления смеси $3BaCuO_2 + 2CuO$ (определенной экспериментально), но ниже температуры плавления подложки;

- выдержка образца при $T = 975^\circ C$ в течение 5 мин. В это

время нанесенная смесь ($3BaCuO_2 + 2CuO$) плавится и впитывается в пористую подложку Y_2BaCuO_5 на небольшую глубину, которая при данной температуре определяется плотностью подложки и вязкостью расплава и которая в конечном результате определяет толщину пленки. Фаза Y_2BaCuO_5 растворяется в этом расплаве;

- после пятиминутной выдержки температура понижается со скоростью $20^\circ/\text{мин}$ до $T = 950^\circ C$. Расплав насыщается фазой Y_2BaCuO_5 ;

- от $T = 950^\circ C$ до $T = 920^\circ C$ температура снижается со скоростью $1^\circ/\text{мин}$, при этом начинается зарождение фазы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Данная стадия является лимитирующей стадией всего процесса, поскольку именно в этот момент растут гранулы фазы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$;

- образец выдерживается при $T = 920^\circ C$ в течение трех часов для стабилизации образовавшейся фазы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$;

- охлаждение образца с $920^\circ C$ до $400^\circ C$ со скоростью $0.5^\circ/\text{мин}$ и выдержка при $400^\circ C$ около 20 часов для повышения содержания кислорода в образце с последующим охлаждением до комнатной температуры в режиме остывания печи.

Морфология образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе JSM-840. По полученным микрофотографиям была определена толщина пленок (50 - 100 мкм), а также толщина переходного слоя между подложкой и пленкой (~ 10 мкм). На полученных снимках четко прослеживается монолитная структура пленки, что обеспечивается процессом плавления и абсорбции расплава ($3BaCuO_2 + 2CuO$) вглубь пористой подложки.

Рентгеновский фазовый анализ образцов проводился на дифрактометре ДРОН-3. Результаты фазового анализа показали, что в основном на дифракционных спектрах присутствуют пики, соответствующие орторомбической фазе с пространственной группой $Ptmm$. Параметры ячейки равны $a = 3.83(3)\text{Å}$, $b = c/3 = 3.88(6)\text{Å}$. Содержание кислорода, вычисленное по параметру $c = 11.66\text{Å}$ равно 6.94.

Результаты измерений удельного сопротивления образцов от температуры и динамической магнитной восприимчивости показали, что полученные пленки имеют хорошие сверхпроводящие свойства:

(1). Температуры начала и конца перехода в сверхпроводящее состояние ($T_{\text{нач}}, T_{\text{кон}}$) пленки имеют значение 91 и 90К, значение ρ пленки при комнатной температуре равно $\rho \sim 1.7 \cdot 10^{-4}$ Омсм, что еще раз доказывает однофазность пленки и соответствует результатам рентгеновского дифракционного анализа.

(2). Пленки хорошо экранируют магнитное поле.

Изучено влияние деградации пленок в водяных парах на их сверхпроводящие свойства. Для исследований были взяты толстые пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на подложке Y_2BaCuO_5 цилиндрической формы [2]. Пленки помещались в насыщенный водяной пар над поверхностью кипящей воды при нормальном атмосферном давлении. После 15-минутной выдержки (t_0) в таких условиях проводились измерения динамической магнитной восприимчивости пленки, которые повторялись после выдержек этих же пленок в аналогичных условиях в течение еще одного и трех часов.

Анализ полученных полевых и температурных зависимостей магнитной восприимчивости позволил установить следующее:

1. Деградационный процесс в образце цилиндрической формы происходит послойно.

2. В результате такого процесса сверхпроводящие свойства оставшейся непродegradировавшей части образца практически не меняются (плотность критического тока $J_c = 650\text{A}/\text{cm}^2$).

Глава III.

В главе III описан способ получения и свойства толстых пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на подложке Y_2BaCuO_5 с центрами пиннинга.

Как было сказано выше подложка Y_2BaCuO_5 является одной из трех компонент в реакции формирования пленки, а пленка как бы продолжением подложки и вместе они выдерживают термическую обработку, по крайней мере условия синтеза. Отсюда вытекает очевидный вывод, что для таких пленок можно применить высокотемпературный процесс для выделения фазы Y_2BaCuO_5 в матрице $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, когда она медленно охлаждается после плавления и проходит через температуру перитектики. Такие включения Y_2BaCuO_5 в $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ являются центрами пиннинга и должны повышать J_c .

В данной части представлена технология изготовления так называемых MG (melt-growth) толстых пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на подложке Y_2BaCuO_5 [3]. Влияние включений Y_2BaCuO_5 в матрице $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на свойства образцов определялось с помощью изучения мнимой и реальной частей магнитной восприимчивости, измеренной на АС-магнитометре.

В отличие от теплового режима синтеза, описанного выше, для изготовления MG-пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ применяется другой температурный режим, который можно разделить на два основных этапа. Первый - это формирование пленки $YBa_2Cu_3O_{6.5}$, который завершается охлаждением образца с 985°C до 920°C со скоростью $1^\circ\text{C}/\text{мин}$ и его стабилизацией при 920°C в течение трех часов. На втором этапе происходит формирование MG-пленки. Сначала образец, имеющий фазу $YBa_2Cu_3O_{6.5}$ быстро нагревается с 920°C до 985°C и выдерживается при этой температуре в течение t_0 . Данная температура выше температуры устойчивости фазы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ и в течение времени t_0 фаза $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ начинает перитектически разлагаться по реакции:



после чего идет охлаждение со скоростью $1^\circ\text{C}/\text{мин}$ до 920°C . На этих двух стадиях формируется заново фаза $YBa_2Cu_3O_{6.5}$ с включениями фазы Y_2BaCuO_5 , размер, объемная доля и распределение которых зависит от времени выдержки и скорости охлаждения. В отличие от керамических MG-образцов, которые все-таки имеют некоторую пористость, данные пленки по окончании первого этапа синтеза имеют высокую плотность благодаря впитыванию смеси ($3BaCuO_2 + 2CuO$) в пористую подложку, поэтому пористость в MG-пленках сводится к минимуму. Фаза $YBa_2Cu_3O_{6.5}$ с включениями Y_2BaCuO_5 стабилизируется при 920°C в течение трех часов и медленно охлаждается до 400°C со скоростью $0.5^\circ\text{C}/\text{мин}$. При таком медленном охлаждении кислород из окружающей атмосферы ($P_{O_2} = 1\text{атм}$) успевает диффундировать в образец, повышая тем самым содержание кислорода в элементарной ячейке до равновесного значения ($7 - \delta \approx 6.93$).

Фазовый состав образцов проверялся с помощью рентгеновской

дифракции. Все полученные спектры в основном имеют пики, характерные для фазы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, которая в среднем для всех образцов обладает следующими параметрами элементарной ячейки: $a = 3.825(5)$, $b = c/3 = 3.879(5)\text{Å}$, содержание кислорода ($7 - \delta$), определенного по параметру c равно ~ 7 . Исключение составляют некоторые пики ($2\Theta = 23.89^\circ$), принадлежащие остатку непрореагировавшей нанесенной смеси на поверхности подложки. Кроме пиков $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ на рентгенограммах присутствуют пики фазы Y_2BaCuO_5 , что является ожидаемым результатом. Данные рентгенограмм подтверждают то, что при помощи описанных выше технологических процессов формируются пленки сверхпроводящей фазы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, несмотря на то, что время их синтеза гораздо меньше чем время синтеза в стандартном твердофазном методе изготовления керамических образцов.

Полученные на электронном микроскопе фотографии образцов хорошо иллюстрируют структуру MG-пленок. Их зерна имеют пластинчатую форму, они плотно прилегают друг к другу. Длинные оси зерен почти параллельны оси цилиндра, хотя они располагаются относительно друг друга с малой степенью упорядоченности. На поперечном сечении пленки, подвергнутой частичному плавлению в течение трех минут отмечена монолитная структура, на фоне которой выделяются мелкие частицы, которые мы идентифицируем как микровключения фазы Y_2BaCuO_5 и которые имеют размер около 2-3 мкм.

Представленные выше результаты рентгеновской дифракции и исследования на электронном микроскопе позволяют сделать вывод о том, что применяя предложенный термический режим, были выделены частицы фазы Y_2BaCuO_5 в матрице сверхпроводящей фазы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Влияние этих включений на сверхпроводящие свойства пленок изучались с помощью изучения зависимостей $\rho(T)$, $\chi'(T, H)$, $\chi''(T, H)$.

Температурные зависимости $R(T)/R(300\text{K})$ полученных образцов изучались четырехконтактным методом. Для образцов у которых $t_0 > 4\text{мин}$ все кривые при $T > T_c$ имеют металлическое поведение, величины удельного сопротивления $\rho(T_{\text{ком}})$ этих образцов близки и лежат в интервале десятков мОм·см. Для образцов с $t_0 \leq 4\text{мин}$ при $T > T_c$ ход кривых $\rho(T)$ имеет полупроводниковый характер, причем

ширина перехода ΔT меняется в широком диапазоне. По-видимому, такое поведение связано с тем, что с увеличением времени t_0 увеличиваются объемные доли включений в матрицу $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Анализ температурных и полевых зависимостей динамической магнитной восприимчивости для образцов с различными значениями $t_0 \approx 4$ мин (то есть с различной объемной долей включений) позволил оценить силу пиннинга, линейно связанную с плотностью критического тока. Оказалось, что для образцов с $t_0 = 3$ мин коэффициент a , характеризующий силу пиннинга в пять раз больше чем у других образцов. То есть технологический параметр $t_0 = 3$ мин является оптимальным и позволяет повысить плотность критического тока почти на порядок.

Глава IV.

В главе IV рассматривается одноиндуктивный ВЧ-СКВИД, изготовленный на основе толстой пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ с непосредственной проводимостью (т.е. структура типа $S-N-S$).

Нашей целью в данном случае было доказать принципиальную возможность применения полученных пленок в СКВИДах. Методика изготовления ВЧ-СКВИДа на основе толстой пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ заключается в следующем [4]:

- в керамических таблетках фазы Y_2BaCuO_5 плотностью ~ 5.6 г/см³ и размерами $5 \times 5 \times 3$ мм были просверлены отверстия диаметром 0.8 мм;

- обычным механическим путем были изготовлены мостики $50 \times 50 \times 100$ мкм³; на образец наносилась смесь $BaCuO_2 + CuO$;

- образец спекался по тепловому режиму, описанному в главе II;

- после синтеза с образца удалялись остатки смеси $3BaCuO_2 + CuO$) и образец подвергался вышеописанному процессу деградации. Поскольку деградация в таких пленках идет послойно, то с помощью травления в водяных парах уменьшалась ширина мостика, но не ухудшались свойства самой пленки. По мере деградации проверялись сигналы СКВИДа, таким образом можно было плавно следить за формированием микромостика и выбрать оптимальное отношение сигнал/шум СКВИДа.

Резонансный контур, связанный со СКВИДом, возбуждался от

внешнего генератора на частоте около 19 МГц и имел добротность близкую к 40. Коэффициент связи контура со сквидом $k \sim 0.14$. Полученный СКВИД имел индуктивность $L_s \sim 2.97 \cdot 10^{-11}$ Гн.

Было исследовано несколько СКВИДов с параметром $\beta \sim 2 \div 40$, которые практически не менялись при рециклировании даже для десятков циклов отогрев-охлаждение. Следует отметить, что наименьшим уровнем белого шума ($S_\Phi \sim 2 \cdot 10^{-4} \Phi_0 / \text{Гц}^{1/2}$ для частот выше 1 Гц и наименьшей частотой среза избыточного ($1/f$) шума меньше 1 Гц) обладали СКВИДы с наибольшим значением параметра β , слабая связь которых была сформирована травлением в парах воды без последующей механической обработки. Полевая чувствительность в области белого шума $S_f \sim 10^{-12}$ Тл/Гц^{1/2}, энергетическое разрешение $\varepsilon = S_\Phi / 2L_s$, $\varepsilon \sim 2.9 \cdot 10^{-27}$ Дж/Гц.

Отмечены следующие особенности толстой пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в пользу изготовления СКВИДов на их основе:

1. Возможность создания контура квантования СКВИДа любой конфигурации.
2. Высокие критические параметры пленки.
3. Высокая плотность (или высокая степень монолитности) толстой пленки, которая коренным образом меняет картину процесса деградации в этом образце. В пористой структуре деградация образца происходит как результат одновременной деградации отдельных гранул. Напротив, в монолитном образце деградация происходит послойно. Поскольку при этом сверхпроводящие свойства оставшейся непродegradированной части не сильно меняются, то можно применить этот послойный процесс для создания слабой связи в СКВИДе.
4. В результате процесса деградации на поверхности пленки создается защитный слой, предохраняющий пленку от внешних воздействий.

Выводы.

1. Разработан способ получения толстой пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ методом химически активной подложки толщиной десятков мкм на

подложке Y_2BaCuO_5 . Пленка встроена в структуру подложки, что снимает вопрос об адгезии пленки к подложке. Данная технология может быть применена для получения пленок на подложках любой формы.

2. Полученные пленки содержат орторомбическую $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ фазу с $\delta \sim 0.1$. Пленки имеют хорошие сверхпроводящие свойства: $\rho(300K) = 0.7 \times 10^{-3}$ для планарных пленок и 4×10^{-3} Омсм для цилиндрической пленки. Температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_c \sim 90K$, $\Delta T \sim 1K$. Пленки имеют хорошие экранирующие свойства.
3. Изучен процесс деградации в парах воды толстых пленок $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Он происходит послойно и слабо влияет на сверхпроводящие свойства оставшейся части образца после деградации. Это свойство использовано при разработке нового способа изготовления микромостика в конструкции ВЧ-СКВИДа.
4. Разработан процесс создания центров пиннинга в толстой пленке $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Такими центрами являются частицы фазы Y_2BaCuO_5 , выделенные в матрице $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в процессе ее плавления при $985^\circ C$ и последующем охлаждении, проходящем через точку перитектики. Пленки, изготовленные этим методом, можно представить как сочетание двух систем, регулярно встроенных друг в друга: сильная область сверхпроводящих гранул и слабая область, связывающая гранулы. Слабую область можно рассматривать как сверхпроводник второго рода. Ее свойства регулируются с помощью описанного процесса создания центров пиннинга и в оптимальном режиме сила пиннинга увеличивается в 5 раз. Такие пленки цилиндрической формы с регулируемыми свойствами области слабых связей представляют собой интересный объект для применения их в СКВИДах.
5. Были впервые изготовлены одноиндуктивные толсто-пленочные ВЧ-СКВИДы с использованием разработанного способа создания мостика (деградация в парах воды) со следующими параметрами: $S_\Phi \sim 2 \cdot 10^{-4} \Phi_0 / \Gamma c^{1/2}$, $\epsilon \sim 2.9 \cdot 10^{-27} \text{ Дж} / \Gamma c$, избыточным шумом $(1/f)$ ниже 1Гц.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. N.V.Vuong, E.V.Raspopina, B.T.Hy. Thick films of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ prepared on Y_2BaCuO_5 substrates. // *Superconductor Science and Technology*, N6, 1993, 453-459.
2. N.V.Vuong, E.V.Raspopina, V.V.Skugar, N.M.Vladimirova, N.A.Yakovenko, I.A.Stepanova. Pinning centers in the $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thick films prepared on the Y_2BaCuO_5 substrates by paint-on method. // *Physica C*, vol.223, N3,4, 1994, p.263-272.
3. Н.В.Вьонг, Е.В.Распопина. Толстые пленки $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ изготовленные на подложке Y_2BaCuO_5 методом окраски: технология, свойства, применение. // Тезисы докладов 30-го Совещания по физике низких температур. Дубна 1994, ч.1, стр.73-74
4. B.V.Vasiliev, N.V.Vuong, E.V.Raspopina, A.V.Sermyagin. Degradation of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thick films prepared on Y_2BaCuO_5 substrates by paint-on method and its use in forming one-hole RF-SQUIDS. // *Physica C*, vol.250, N1,2, 1995, p.1-6.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 апреля 1996 года.