

05.4; 07; 12

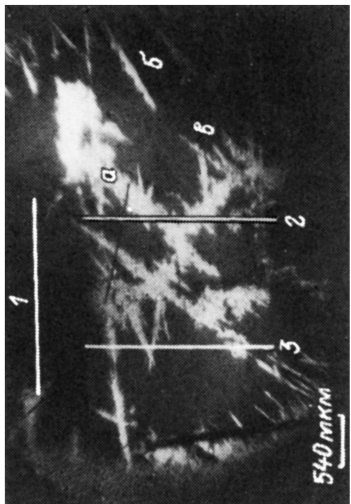
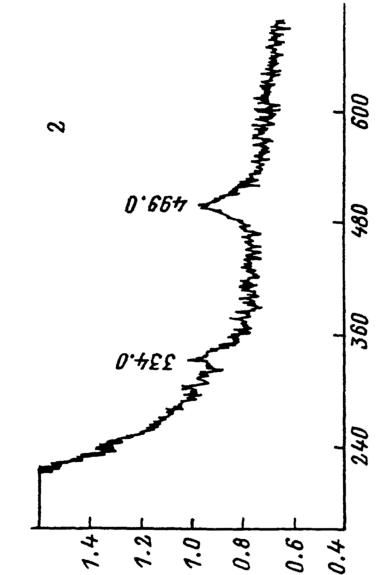
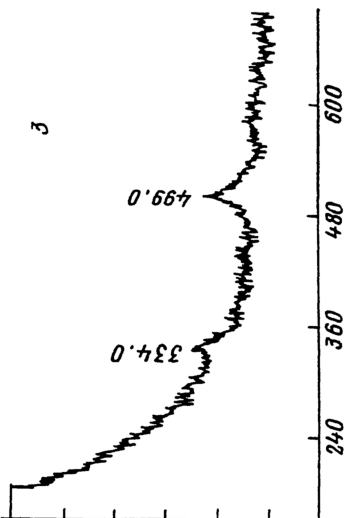
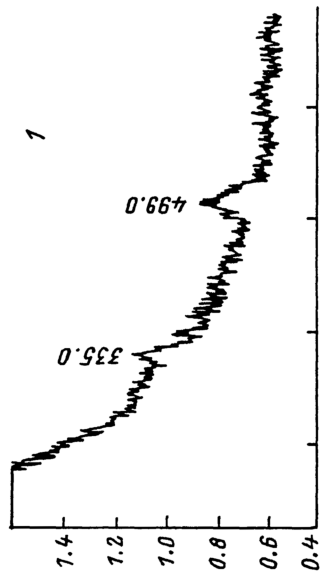
© 1991

## МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СП-СВОЙСТВ ВТСП-ПЛЕНОК БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ

А.И. Б е л я е в а, А.Л. Ф о щ а н,  
В.П. Ю р ь е в

Одной из основных причин разрушения сверхпроводимости (СП) в высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) пленках с высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) пленках с высокими плотностями критического тока является джоулев разогрев наиболее „слабых” в сверхпроводящем отношении зон, переходящих в резистивное состояние в присутствии транспортного тока [1]. Пространственная неоднородность СП свойств ВТСП пленок может оказывать существенное влияние и на их взаимодействие с электромагнитным излучением [2]. Неоднородность СП свойств ВТСП пленок обусловлена малой длиной когерентности в них, приводящей к большей чувствительности локальных СП свойств к различным дефектам структуры, которыми изобилуют эти материалы [3]. Даже чистая граница двух зерен с незначительной относительной разориентировкой может приводить к слабой джозефсоновской связи между ними [4]. Поскольку подложки оказывают ориентирующее влияние при эпитаксиальном росте ВТСП пленок [5], СП характеристики последних зависят не только от материала подложки, количества блоков и углов разориентации между ними, но и параметров нарушенного поверхностного слоя, образовавшегося при обработке поверхности [6]. Для достижения лучших параметров пленок желательно иметь экспрессный прямой метод, позволяющий с необходимым пространственным разрешением найти целостную картину распределения СП свойств по всей пленке и сопоставить ее со структурными неоднородностями подложки. Методы [7, 8], на которых в настоящее время базируются исследования ВТСП пленок, не удовлетворяют указанным требованиям. В настоящей работе предлагается использовать для решения этой задачи новый высококонтрастный магнитооптический метод визуализации неоднородностей магнитного потока, использующий эффект Фарадея в  $Bi$ -содержащей эпитаксиальной пленке феррограната, совмещаемой с поверхностью ВТСП пленки. Методика эксперимента описана в [9].

Рис. 1. Спектры КРС пленки  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-8} / SrTiO_3$ , полученные при  $T_{КОМН}$  от трех площадок размером  $0.1 \times 2 \text{ мм}^2$ , положение которых показано на картине структуры захваченного потока; участки с сильным пиннингом – черные; „слабые” участки в виде полос (а) и игл (б, в) – белые.

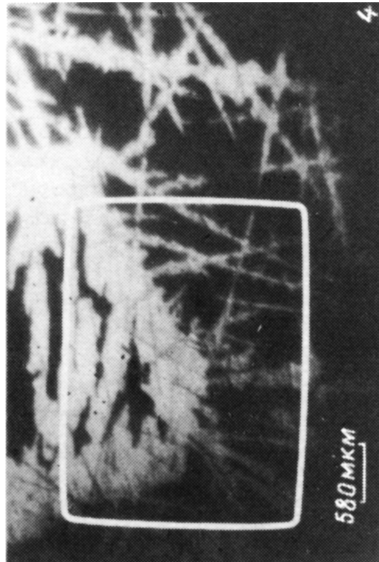
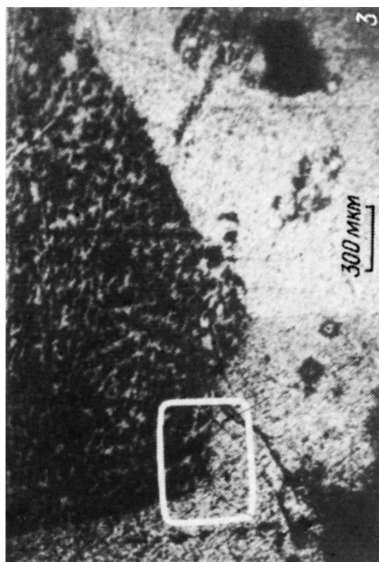


перпендикулярного пленке, при  $T = 35$  К. Магнитный поток, захваченный в участках с сильным пиннингом, поддерживает гранатовую пленку-индикатор над ними в намагниченном состоянии (черные участки), и, замыкаясь вокруг ВТСП пленки и через участки со слабым пиннингом, перемагничивает там индикатор в направлении, противоположном захваченному потоку (белые участки). Таким образом, на магнитооптической картине (см. рис. 1) выявляются края пленки и участки со слабым пиннингом (белые). Последние также характеризуются меньшими значениями полей проникновения. Можно выделить два типа таких „слабых“ участков – сравнительно широкие ( $\sim 0.1$  мм) и длинные полосы (а) и более узкие и короткие иглы, прорастающие от краев пленки (б) или краев „слабых“ полос (в). Образование „слабых“ полос происходит над границами блоков. Причиной образования игольчатой структуры могут служить, кроме трещин или царапин на ВТСП пленке, значительные температурные градиенты, возникающие на краю пленки, ограниченной при осаждении маской, или особенности пространственного распределения материала вблизи маски.

Исследованная ВТСП пленка имела довольно высокие критические параметры:  $T_C = 85$  К,  $\Delta T_C = 2$  К и  $j_c = 2 \cdot 10^5$  А/см<sup>2</sup>. Рентгеновские и электронно-микроскопические исследования показали, что пленка является квазиэпитаксиальной с размерами кристаллов  $\approx 0.1$ –1 мкм, из которых 80% ориентированы осью „с“ перпендикулярно плоскости подложки.

На рис. 1.1–1.3 приведены спектры комбинационного рассеяния света (КРС), полученные при  $T_{комн}$  от трех разных мест ВТСП пленки  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ , положение которых показано на рис. 1. Размеры площадки рассеивания  $0.1 \times 2$  мм<sup>2</sup>, мощность падающего излучения  $100$  мВт ( $\lambda \sim 483$  нм). Анализ спектров КРС, представленный в рамках [8, 10], свидетельствует о высокой пространственной однородности пленок по составу и содержанию кислорода. Содержание кислорода в ВТСП  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  отслеживает полоса, обусловленная валентными колебаниями вдоль оси „с“ группы O(4)–C (1)–O(4). По мере удаления кислорода ее частота линейно уменьшается от  $502$  см<sup>-1</sup> ( $\delta = 0$ ) до  $478$  см<sup>-1</sup> ( $\delta = 1$ ) [10]. О преимущественной ориентации кристаллов, образующих пленку, свидетельствует соотношение интенсивностей полос  $500$  см<sup>-1</sup> и  $334$  см<sup>-1</sup> [8]. Последняя соответствует противофазным колебаниям атомов кислорода O(2) и O(3) в плоскостях

Рис. 2. Фотографии участка подложки из  $SrTiO_3$ , содержащего границу блоков, при  $T_{комн}$  (1) (граница указана стрелкой) и после охлаждения до  $T = 35$  К (2) (направление двойников указано стрелкой); фотография осажденной  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  пленки (3) (участок, соответствующий рис. 2.1 и 2.2, выделен) и структура захваченного (после снятия поля +300 Э и приложения поля -30 Э) магнитного потока (4) (участки со слабыми СП-свойствами – белые; выделен участок, соответствующий рис. 2.3).





$\text{SiO}_2$  [10]. Сравнение спектров рис. 1.1–1.3 позволяет заключить, что дефицит по кислороду ( $\delta$ ) в выбранных участках пленки менее 0.1. Пленка не содержит примесных фаз. Преимущественная ориентация оси „с“ кристаллов, образующих пленку, перпендикулярна плоскости подложки.

Таким образом, визуализация структуры магнитного потока в ВТСП пленке с помощью феррогранатовой пленки-индикатора дает информацию о распределению СП свойств, которая в настоящее время не может быть получена другими методами. Количественные характеристики неоднородностей СП свойств можно получить из анализа температурных зависимостей амплитуды колебаний доменных границ индикатора в переменном магнитном поле над выбранным участком ВТСП-пленки [11].

Для изучения влияния дефектов подложки на структуру и СП свойства ВТСП пленки были проведены поляризационно-оптические исследования подложки  $\text{SrTiO}_3$  толщиной 0.5 мм в диапазоне температур 300–5 К, после чего на нее была осаждена пленка У-Ва-Си-О и проведены визуальные наблюдения структуры магнитного потока на ее поверхности. На рис. 2.1 представлена фотография участка подложки, содержащего границу блоков (показана стрелкой), в проходящем поляризованном свете при  $T_{\text{Комп}}$ . Образование поляризационно-оптического контраста в блоках кубического  $\text{SrTiO}_3$  свидетельствует о наличии системы внутренних напряжений. При уменьшении температуры оптическая неоднородность усиливается, в некоторых блоках появляется двойниковая структура (см. верхний блок на рис. 2.2; направление двойниковых границ указано стрелкой), что, по-видимому, является следствием структурного фазового перехода из кубической в тетрагональную фазу при  $T_{\text{К}} = 110 \text{ К}$  [12].

На рис. 2.3 показана фотография ВТСП пленки, осажденной на исследованную подложку, и выделен участок, соответствующий рис. 2.1–2.2. Видно, что участки пленки, выросшие над разными блоками подложки, отличаются морфологией поверхности, вследствие чего между ними возникает контраст в отраженном свете. В нижнем блоке наблюдаются нитевидные образования длиной до 50 мкм, ориентированные в двух взаимно перпендикулярных направлениях, соответствующих проекциям направлений  $[010]$  и  $[001]$  на плоскость подложки. На рис. 2.4 показана структура захваченного в пленке магнитного потока после снятия поля 300 Э и приложения небольшого поля ( $\sim 30 \text{ Э}$ ) в противоположном направлении (для лучшего проявления участков со слабыми СП свойствами (белые)) и выделен участок, соответствующий рис. 2.3. Худшими СП параметрами обладает пленка над верхним блоком, содержащим двойники (ср. рис. 2.2–2.4), из которой наиболее легко вытесняется захваченный поток. В остальной части пленки „слабые“ участки образуют конфигурацию, которая, по-видимому, копирует систему царапин и микротрещин, образующихся при шлифовке и полировке.

Предложенный экспрессный метод магнитооптического тестирования однородности СП свойства ВТСП пленок большой площади

показывает, что их критические параметры могут быть улучшены при использовании более совершенных подложек, а сам он может эффективно использоваться при разработке способов отбора заготовок для подложек и технологии обработки поверхности.

Авторы благодарны А.И. Усоскину и И.Н. Чукановой за приготовление и аттестацию ВТСП пленок, А.В. Антонову и М.Ю. Гусеву за создание пленок-индикаторов, В.П. Гнездилову и В.И. Фоминову за снятие ВРС.

Работа поддерживается научным советом по ВТСП и выполнена в рамках программы 90054 „Высокотемпературная сверхпроводимость“.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Скоков В.Н., Коверда В.П., Богданов Н.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. № 16. С. 70-73.
- [2] Афанасьев А.С., Волков А.Ф., Губанков В.Н. и др. // ФНТ. 1989. Т. 15. № 3. С. 322-325.
- [3] Deutscher G., Müller K.A. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 59. N 15. P. 1745-1747.
- [4] Dimos D., Chaudhari P., Manhart J. et al. // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 61. N 2. P. 219-222.
- [5] Варламов Ю.Д., Предтеченский М.Р., Смаль А.Н. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 10. Ч. 2. С. 2560-2566.
- [6] Антонова Е.А., Рузин В.Л., Старк С.Ю. // СФХТ. 1991. Т. 4. № 2. С. 265-272.
- [7] Григорьев Г.Ю. Технология получения и некоторые свойства ВТСП пленок // Обзоры по ВТСП. 1990. № 2. С. 265-272.
- [8] Баграташвили В.Н., Буримов В.Н., Денисов В.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 22. С. 2071-2074.
- [9] Беляева А.И., Войценья С.В., Попова В.А., Юрьев В.П. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 6. Ч. 2. С. 1189-1198.
- [10] Волошин В.А., Сибаров И.А. Раман-спектры высокотемпературных сверхпроводников // Обзоры по ВТСП. 1990. № 2. С. 104-133.
- [11] Беляева А.И., Хамдамов Б.И., Юрьев В.П. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. № 6. С. 65-69.
- [12] Shirane G., Yamada Y. // Phys. Rev. 1969. V. 177. N 2. P. 858-863.

Поступило в Редакцию  
1 июня 1991 г.