

05.4

Исследование электрофизических характеристик пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ различной толщины

© С.В. Разумов, А.В. Тумаркин

С.-Петербургский государственный электротехнический университет

E-mail: thinfilm@eltech.ru

Поступило в Редакцию 6 августа 2002 г.

Приведены результаты исследований электрофизических характеристик пленок высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, полученных методом ионно-плазменного распыления на подложках сапфира. Установлены зависимости поверхностного сопротивления и плотности критического тока от толщины пленок.

Для создания криоэлектронных приборов на основе высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) требуются пленки, обладающие высоким структурным совершенством и критическими параметрами. При этом для локализации поля в пленке и уменьшения СВЧ потерь толщина пленки должна быть в несколько раз больше лондонской глубины проникновения λ_L , составляющей по разным оценкам от 1400 до 1800 Å [1].

Специфика применения сверхпроводящих пленок в приборах СВЧ-диапазона выдвигает свои требования к электрофизическим характеристикам пленок. Помимо традиционно важного параметра — температуры перехода в сверхпроводящее состояние, для практического применения сверхпроводящих материалов в криоэлектронике актуальным является также СВЧ поверхностное сопротивление [2]. Кроме того, разработка приборов, базирующихся на ВТСП-пленках, требует изучения характеристик пленок на постоянном токе. Эти параметры зависят от структурного совершенства пленки, конфигурации и размеров элементов схемы.

Исследуемые пленки были получены распылением керамической мишени состава $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ диаметром 76 mm в планарной магнетронной системе на постоянном токе. В качестве подложки ис-

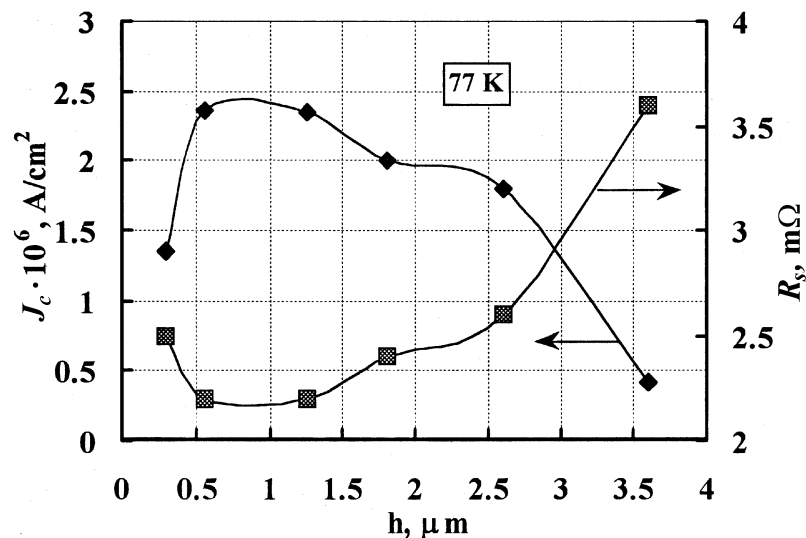
пользовался сапфир ([1102] (*r*-срез)) с подслоем диоксида церия [3]. Давление рабочего газа — кислорода составляло 1 Torr. Температура подложкодержателя, контролируемая термопарой, поддерживалась на уровне 650°C и не изменялась в течение процесса. Ток разряда увеличивался от 100 до 600 mA в первые 30 min процесса и далее не менялся. Толщина полученных пленок (*h*), измеренная профилометром DekTak-3030, составила от 0.3 до 3.6 μm. Оцененная таким способом скорость роста пленки составила 15 Å/min ± 5%.

Структурное совершенство полученных образцов было исследовано методом рентгеновской дифрактометрии („Geigerflex“ серии D/max-RC Rigaku на CuK_α излучении с $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$). На дифрактограммах пленок видны все разрешенные (00*l*) рефлексы, что свидетельствует о совершенной *c*-ориентированной структуре.

Морфология поверхности пленок исследовалась методом электронной микроскопии. Исследования выявили два типа макродефектов — поры и включения вторичных фаз. При этом поры присутствуют на поверхности относительно толстых пленок, а включения вторичных фаз — на поверхности более тонких; вероятно также присутствие медленно растущих включений на дне пор. Это связано со значительной разницей в скоростях роста вторичных фаз и фазы 123 YBCO [4,5]. Данные электронной микроскопии позволяют говорить об изменении морфологии поверхности пленки с ростом толщины: развитие рельефа — увеличение размера пор в пленке и доли площади пленки, занятой порами, при этом концентрация включений остается приблизительно неизменной.

Все пленки, исследуемые в данной работе, продемонстрировали температуру перехода в сверхпроводящее состояние ~ 90 K, $\Delta T = 1 \text{ K}$, что позволяет рассчитывать на их стабильную работу при температуре жидкого азота (77 K).

СВЧ поверхностное сопротивление образцов (R_s) измерялось при температуре 77 K в диэлектрическом рутитовом (TiO₂) резонаторе на частоте 8.3 GHz. Для измерения вольт-амперных характеристик YBCO пленок на постоянном токе использовался стандартный четырехзондовый метод. За постоянный критический ток принималась величина тока, при которой в YBCO мостике возникает нормально проводящий домен. На вольт-амперной характеристике это проявляется как срыв. Суммарное сопротивление пленки в начальный момент образования домена составляет около 0.5 ÷ 2.0 Ω. Результаты проведенных в данной



Зависимость поверхностного сопротивления и плотности критического тока от толщины пленок.

работе измерений поверхностного сопротивления и плотности критического тока (J_c) пленок разной толщины приведены на рисунке. Как видно из графика, пленки толщиной порядка $1 \mu\text{m}$ проявляют одновременно низкие значения поверхностного сопротивления ($2.2 \text{ m}\Omega$ на частоте 8.3 GHz) и высокие значения плотности критического тока (2.3 MA/cm^2). Значительное уменьшение плотности критического тока после толщины $2.6 \mu\text{m}$ (так же как и увеличение поверхностного сопротивления) говорит о том, что сильно развитый рельеф поверхности и большая площадь, занимаемая порами, по отношению к площади самой сверхпроводящей фазы приводят к ухудшению электрофизических свойств пленок. Чем толще пленка, тем больше размеры пор и доля площади пленки, занятой порами. Это говорит о наличии, по крайней мере, двух конкурирующих процессов, влияющих на структурное качество пленки. Первый процесс — это медленный рост вторичной фазы на дне пор и связанное с этим уменьшение количества дефектов и напряжений в фазе 123 YBCO [4,5]. Второй процесс — это

увеличение общей площади, занятой порами, и соответствующее этому ухудшение качества самой пленки. Таким образом, в данном случае можно говорить о некоей предельной толщине пленки, при которой она сохраняет свои структурные и электрофизические свойства, пригодные для СВЧ-применений. В случае описанных технологических условий эта толщина составляет около $2.6 \mu\text{m}$.

Исследования поверхностного сопротивления и критических плотностей тока однозначно показывают перспективность применения YBCO пленок, полученных вышеописанным технологическим методом, в приборах криоэлектроники. Особенно перспективно выглядят пленки толщиной от 1 до $2.6 \mu\text{m}$, которые, с одной стороны, демонстрируют наилучшие электрофизические характеристики и, с другой стороны, их толщина превышает лондонскую глубину проникновения, что является немаловажным для криоэлектронных применений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 02-02-17667).

Список литературы

- [1] *Tian Y.J., Guo L.P., Li L. et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 65. N 2. P. 234–236.*
- [2] *Kozyrev A.B., Hollmann E.K., Ivanov A.V. et al. // Integrated Ferroelectrics. 1997. V. 17. P. 257–262.*
- [3] *Гольман Е.К., Разумов С.В., Тумаркин А.В. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 11. С. 47–51.*
- [4] *Гольман Е.К., Гольдрин В.И., Плоткин Д.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 22. С. 82–84.*
- [5] *Гольман Е.К., Гольдрин В.И., Плоткин Д.А. и др. // ФТТ. 1997. Т. 39. В. 2. С. 216–218.*