

05.4; 10; 12

© 1993

УЛУЧШЕНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛЕНОК
 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ПРИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБЛУЧЕНИИ
ИОНАМИ КИСЛОРОДАА.В. Зубец, А.И. Стогний,
В.В. Федотова, А.П. Гесь,
Л.А. Курочкин

Исследование воздействия ионного облучения на свойства ВТСП пленок является важным с точки зрения возможности формирования микроструктур с отличными от исходного материала свойствами. Известно, что ионная имплантация с энергиями 10–100 кэВ и более вызывает деградацию сверхпроводящих свойств [1], а распыление поверхности пленки ионами инертных газов с энергией ~1 кэВ приводит к образованию на ВТСП пленке тонкого несверхпроводящего слоя с дефицитом кислорода [2]. Воздействие же низкоэнергетических ионов Kr и O^{2+} [3] на тонкие пленки не приводит к потере сверхпроводящих свойств и может быть использовано для создания субмикронных структур ВТСП.

Ранее нами в работе [4] было установлено, что длительное облучение низкоэнергетическим потоком O^{2+} монокристаллических оксидных пленок ведет к улучшению их структуры и ряда физических параметров. Подобная методика была использована в данной работе для воздействия на монокристаллические ВТСП пленки с целью выяснения возможности улучшения их сверхпроводящих свойств.

Облучение ионами кислорода с энергией 0.8 кэВ подвергались пленки состава $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ толщиной 3.5 мкм, выращенные методом жидкофазной эпитаксии на монокристаллической подложке с ориентацией (001) [5]. Образцы помещались на водоохлаждаемом или подогреваемом держателях в камере, откачиваемой до давления $5 \cdot 10^{-6}$ Тор. Облучение проводилось с использованием широко-

апертурного источника ионов с холодным полым катодом [6]. Плотность тока пучка составляла $0,4 \text{ мА/см}^2$. Кислород в камеру подавался через ионный источник. Рабочее давление составляло $2 \times 10^{-4} \text{ Тор}$. Объемный заряд ионного пучка нейтрализовался по пути распространения. Плотность тока пучка и доза облучения D измерялись многосеточным зондом с коллектором в виде цилиндра Фарадея. Образцы облучались при комнатной температуре или при температуре 500°C . Отжиг образцов в течение 3 ч при температуре 500°C проводился также в вакуумной камере при давлении кислорода $2 \cdot 10^{-4} \text{ Тор}$. Температура начала сверхпроводящего перехода T_c и ширина перехода ΔT определялись по температурным зависимостям магнитной восприимчивости с точностью не хуже $0,1 \text{ К}$. Элементный состав пленок контролировался методом электронно-зондового микроанализа. Глубина анализируемого слоя не превышала 1 мкм , разрешение при сканировании электронного зонда составляло $0,1 \text{ мкм}$. Кристаллическая структура пленок анализировалась методом рентгеновской дифракции излучения $\text{CuK}\alpha$.

На рис. 1 представлены зависимости магнитной восприимчивости $\chi = f(T)$ образцов, подвергнутых воздействиям облучения, отжига и их сочетаний. Кривая 1 соответствует исходному образцу, имеющему $T_c = 53 \text{ К}$ и широкий переход в сверхпроводящее состояние (показатель неоднородности пленки), с $\Delta T \approx 10 \text{ К}$. Отжиг переводит пленку в состояние с $T_c = 82 \text{ К}$ и $\Delta T = 2 \text{ К}$ (кривая 2). Кривая 3 характеризует пленку, облученную дозой $D = 4 \times 10^{19} \text{ ион/см}^2$ при температуре 500°C . В этом случае температура перехода $T_c = 90 \text{ К}$ и $\Delta T = 1,5 \text{ К}$. Облучение такой же дозой при комнатной температуре доводит исходную пленку до состояния с $T_c = 94 \text{ К}$ и $\Delta T = 0,5 \text{ К}$ (кривая 4). Последующий отжиг приводит к снижению значения T_c до 81 К и уширению перехода до $\Delta T = 2 \text{ К}$ (кривая 5). Повторное облучение этой же пленки при комнатной температуре дозой $D = 3 \cdot 10^{19} \text{ ион/см}^2$ повышает T_c только до значения 85 К , а ΔT остается равной 2 К (кривая 6).

Из приведенных данных следует, что наиболее существенное повышение T_c и уменьшение ΔT наблюдается у пленок, облученных при комнатной температуре. Было установлено, что воздействие облучения перестает сказываться на сверхпроводящих свойствах после однократного набора дозы $D = 3 \cdot 10^{19} \text{ ион/см}^2$, соответствующей времени облучения $3,3 \text{ ч}$. Малое значение ΔT и отсутствие других изломов на кривых температурной зависимости магнитной восприимчивости до значения 45 К свидетельствует об объемном, а не поверхностном характере изменений, происходящих в пленках при длительном низкоэнергетическом облучении пучком ионов кислорода. Этот вывод подтверждается данными рентгеноструктурного анализа.

На рис. 2 приведены дифрактограммы исходного образца (1) и этого же образца, облученного дозой $D = 3 \cdot 10^{19} \text{ ион/см}^2$, при температуре 500°C (2), при комнатной температуре (3). В результате облучения улучшается разрешение рефлексов и увели-

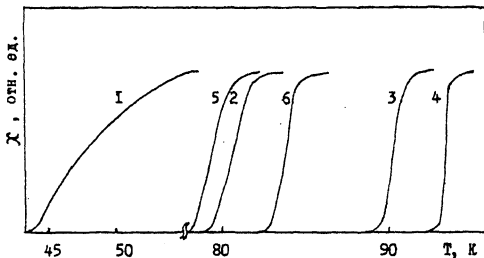


Рис. 1. Зависимости магнитной восприимчивости $\chi(T)$ в области перехода в сверхпроводящее состояние.

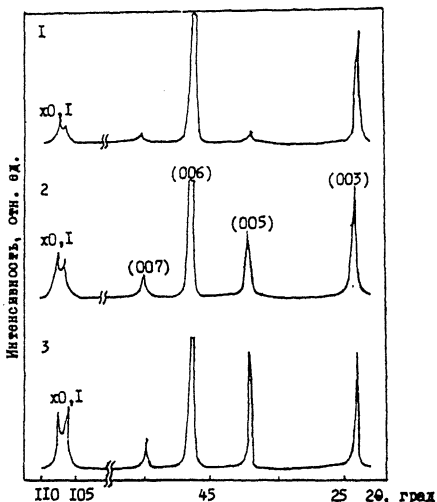


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы.

чивается их интенсивность, причем наиболее значительный эффект наблюдается в случае облучения при комнатной температуре. Сложные рефлексы, представляющие комбинацию дифракционных пиков тетрагональной и орторомбической структур (на рис. 2 такой рефлекс лежит в интервале углов $2\theta = 105-107^\circ$), изменяют также свою форму. Следует отметить, что в случае воздействия облучения только на тонкий поверхностный слой следовало бы ожидать уменьшения интенсивности дифракционных максимумов и ухудшения их разрешения ввиду уменьшения толщины пленки путем распыления и образования поверхностного структурно-нарушенного слоя при облучении.

Скорость распыления пленки определялась по контролю за толщиной пленки, она не зависела от температуры и уменьшалась по

мере распыления поверхностного слоя от 0,07 мкм/ч до предельного значения 0,06 мкм/г при толщине распыленного слоя более 0,12 мкм. Соответствующая доза облучения составляла $D > 2 \times 10^{19}$ ион/см².

С увеличением дозы наблюдалась стабилизация состава поверхностного слоя.

В исходных пленках концентрация меди в направлении от поверхности к подложке возрастала, а концентрация кислорода уменьшалась при постоянной концентрации иттрия и бария. Изменения состава пленок в объеме после облучения не происходило. В поверхностном слое пленок, облученных при 20 и 500°C наблюдалось повышение содержания кислорода. Причем в пленках, облученных при комнатной температуре, концентрация кислорода увеличивалась в большей степени. Одновременно происходило некоторое снижение концентрации меди и повышение концентрации иттрия. Увеличение содержания кислорода, по-видимому, обусловлено его внедрением в кристаллическую решетку, а изменение содержания меди и иттрия связано с различием в дифференциальных коэффициентах распыления. Можно предположить, что при облучении с нагревом десорбция кислорода протекает интенсивнее, чем без нагрева.

Таким образом, в данной работе установлено, что длительное облучение ионами кислорода низких энергий монокристаллической ВТСП пленки вызывает изменение кристаллической структуры как на поверхности, так и в объеме образца, которое, в свою очередь, приводит к улучшению сверхпроводящих параметров.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] White A.E., Short K.T., Jacobson A.C. et al. // Phys. Rev. 1988. В. 37. P. 3755.
- [2] Enakihari A., Higashina H., Setsu K. and Wasa K. // Jap. J. Appl. Phys. 1989. V. 28. P. L452.
- [3] Ильичев Е.В., Коваль Ю.И., Иванов А.А., Галкин С.Т. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 18. С. 43-46.
- [4] Гесь А.П., Демченко А.И., Стогний А.И. и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 18, С. 42-44.
- [5] Barila S.N., Vuchkov S.L., Ces A.P. et al. ASC-92, Abstracts, p. 141.
- [6] Стогний А.И., Токарев В.В. // ПТЭ. 1990. № 2. С. 140-144.

Институт физики
твёрдого тела
и полупроводников
АН Беларуси, Минск

Поступило в Редакцию
28 января 1993 г.