

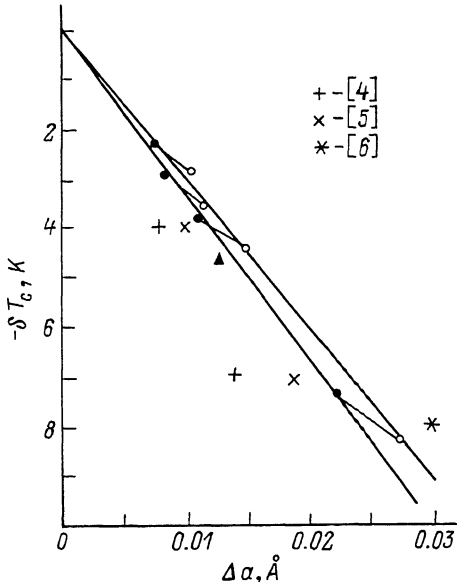
## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И СТРУКТУРУ IN SITU ПЛЕНОК $Nb_3Sn$

П.В. Б р а т у х и н, К.И. Д е ж у р к о,  
В.В. Е в с т и г н е е в, В.Ф. Е л е с и н,  
И.В. З а х а р ч е н к о, А.В. Ш а б а н о в,  
С.В. Ш а в к и н

При изучении радиационного воздействия на сверхпроводники температурные условия облучения играют существенную роль. Большинство исследований проводится при комнатной температуре. Однако для сверхпроводника  $Nb_3Sn$  со структурой A15, широко используемого в магнитах, рабочая температура  $< 20$  К. При низкотемпературном облучении возможно образование дефектных конфигураций, которые отжигаются при комнатной температуре. Поэтому необходимо установить, существует ли различие во влиянии на сверхпроводимость и структуру при низкотемпературном ( $< 20$  К) и высокотемпературном ( $\sim 300$  К) облучении и в чем это различие проявляется.

В работе [1] сверхпроводник  $Nb_3Sn$  облучали реакторными нейтронами при температуре 10 К. Анализировалась зависимость изменения критической температуры  $T_c$  от флюенса, сделана попытка сравнить полученные данные с результатами облучения при  $\sim 350$  К. Однако различия в спектре нейтронов и в методах определения  $T_c$  не позволили значимо разделить зависимости для низко- и высокотемпературного облучений. В работе [2] использовались ионы неона для низко- и высокотемпературного облучения пленок  $Nb_3Sn$ . Невысокая точность в определении флюенса (ошибка до 30%) не позволила однозначно разделить зависимости  $T_c$  от флюенса для разных температур облучения.

Необходимо отметить, что флюенс не является удобной величиной для анализа облучения и эволюции дефектного состояния. При использовании флюенса как параметра повреждений, практически пропадает возможность анализировать результаты облучения различными частотами с различными энергиями, невозможно сопоставлять результаты после облучения и после отжига. Кроме того, флюенс очень трудно измерить с высокой точностью. Перечисленные трудности можно преодолеть при использовании в качестве меры дефектности изменения параметра решетки. Важным преимуществом этого параметра по сравнению с флюенсом является а) большая точность определения из дифракционного эксперимента, б) универсальность при всех типах и условиях облучения и отжига. Параметр решетки измерялся в работах [4 - 6] при излучении радиационного воздействия на  $Nb_3Sn$ . Однако эти измерения проводились при комнатной температуре. В литературе нет данных об изме-



Зависимость изменения критической температуры от изменения параметра решетки при облучении.

рениях параметра решетки после низкотемпературного облучения  $Nb_3Sn$  при температуре не выше температуры облучения без промежуточного отогрева (*in situ*). Это, по-видимому, связано с тем, что не существовало оборудования и методик для проведения такого эксперимента.

В настоящей работе разработан специальный рентгеновский криостат с возможностью низкотемпературного облучения заряженными частицами и измерения рентгеновского дифракционного спектра и критической температуры четырехконтактным резистивным методом. Пленки  $Nb_3Sn$  на подложках из сапфира облучались ионами  $He$  с энергией 1.2 МэВ и ионами  $Ne$  с энергией 1.6 МэВ при температуре  $< 20$  К до флюенсов, соответствующих воздействию до 0.1 смещений на атом [2]. Пленки находились в напряженном состоянии из-за различия в коэффициентах теплового расширения подложки и пленки. Методом рентгеновской тензометрии определялась величина деформации и параметр решетки, соответствующий ненапряженному состоянию пленки. Значения коэффициента Пуассона взяты из работы [3]. Деформации не превышали 0.3%. Влияние напряжений на  $T_c$  не превышало 0.2 К.

На рисунке показана зависимость изменения  $T_c$  от изменения параметра решетки при облучении. Точки, обозначенные светлыми кружками, соответствуют состоянию образцов непосредственно после низкотемпературного облучения, темными - после отжига при

комнатной температуре в течение 40 часов (при более продолжительном отжиге параметры не изменялись). Параметры решетки измерялись при 5К. Приведены также данные работ [4-6], в которых параметр решетки измерялся при комнатной температуре, причем в работе [6] не учитывалось напряженное состояние пленки, а в работах [4] и [5]  $T_c$  измерялась индуктивным методом, который может дать величину  $T_c$ , на  $\sim 1$ К меньшую по сравнению с резистивным методом. По этим причинам литературные данные не могут прямо сопоставляться с результатами настоящей работы.

На рисунке проведены прямые через точки, соответствующие состоянию непосредственно после низкотемпературного облучения, и через точки, соответствующие состоянию после отжига. Наклон этих прямых соответственно  $(31 \pm 1) 10^{11}$  К/м и  $(34 \pm 1) 10^{11}$  К/м статистически различается. Это означает, что отжиг при 300 К после низкотемпературного облучения приводит к заметному изменению дефектного состояния, определяющего сверхпроводимость и структуру пленок  $Nb_3Sn$ . Темным треугольником изображена точка, соответствующая облучению при 300 К. В пределах экспериментальной ошибки эта точка попадает на нижнюю прямую. Таким образом, облучение при 300 К аналогично по влиянию на  $T_c$  и параметр решетки низкотемпературному облучению с последующим отжигом при 300 К, причем низкотемпературное облучение существенно отличается от высокотемпературного. Отрезки, соединяющие светлые и темные точки для каждого из образцов, характеризуют процесс отжига низкотемпературных дефектов. Средний наклон этих отрезков равен  $(21 \pm 5) 10^{11}$  К/м и существенно отличается от наклона зависимости при облучении. Значение наклона для каждого из отрезков в пределах ошибки совпадает независимо от уровня дефектности и частиц ( $He$  или  $Ne$ ), использованных для облучения.

Все эти факты указывают на эквивалентность процессов дефектообразования и отжига при облучении легкими и тяжелыми частицами до различных уровней дефектности.

Авторы благодарят В.А. Колясникова и А.Ю. Ионова за изготовление образцов, А.С. Молчанова за технические консультации при проектировании криостата.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S ö l l M., B ö n n i n g K., B a u e r H. // J. of Low Temp. Phys. 1976. V. 24. P. 631-644.
- [2] Дегтяренко Н.Н., Елесин В.Ф., Жучков В.Е. и др. Препринт МИФИ 043-86, 1986. 20 с.
- [3] Баланкин А.С., Елесин В.Ф., Бычкова М.И., Гиллер И.Д. В кн.: Тез. конф. „Металлофизика сверхпроводников“, Киев, 1986. С. 131-133.
- [4] S w e e d l e r A.R., S o x D.E., M o e h l e s k e S. // J. Nucl. Mat. 1978. V. 72. P. 50-69.

- [5] N ö l s c h e r C., S a e m a n n - I s c h e k o G. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. P. 1519-1531.
- [6] B u r b a n k R.D., D y n e s R.S., P o a t e J.M. // J. of Low Temp. Phys. 1979. V 39. P. 573-585.

Поступило в Редакцию  
26 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22                      26 ноября 1989 г.  
05.4; 0.9

### СИГНАЛЬНЫЕ И ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОСТИКОВ $YBa_2Cu_3O_{7-x}/Al_2O_3$ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

А.А. В е р ё в к и н, В.А. И л ь и н,  
Ю.Н. И н к и н, В.Н. Л а п т е в,  
В.И. М а х о в, В.М. Ш а м а е в,  
В.С. Э т к и н

Для создания СВЧ устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников необходимо получение структур на подложках из материала с малым значением диэлектрической проницаемости и их исследование в широком интервале температур и длин волн электромагнитного излучения. Целью настоящей работы является изучение отклика на монохроматический сигнал, а также шумов мостиков из  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  на подложках из  $Al_2O_3$ .

Мостики были изготовлены с помощью магнетронного напыления на подложках из монокристаллического сапфира. Температура  $T_c$  сверхпроводящего перехода пленок  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , определенная по зависимости критического тока  $J_c$  от температуры, составляла 80-85 К. Размеры мостиков варьировались в пределах 10-50 мкм по ширине и 24-120 мкм по длине при толщине пленки  $\approx 1$  мкм. Плотность критического тока мостиков при 4.2 К составляла  $j_c \approx \approx 10^3$  А/см<sup>2</sup>, дифференциальное сопротивление в рабочей точке не превышало 10 Ом.

При изготовлении мостиков особое внимание уделялось качеству подводящих электродов. Они были выполнены в виде медных контактных площадок с малым переходным сопротивлением. Контактные площадки наносились через маску способом термического испарения при давлении в камере  $\approx 5 \cdot 10^{-4}$  Па без нагрева подложки. Сразу после напыления сопротивление переходного слоя медь -  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  при 77 К составляло  $\approx 3 \cdot 10^2$  Ом/см<sup>2</sup>. После термической обработки в течение 1 часа оно снижалось до  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  Ом/см<sup>2</sup>. При этом вольт-амперные характеристики (ВАХ) контактов симметричны по отношению к изменению направления протекающего через них тока.