

†  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3513/2-80

28/7-80

14-80-240

Н.И.Балалыкин, И.Вавра, А.В.Скрыпник,  
В.Г.Шабратов

МИКРОСТРУКТУРА  
И СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА  
ТОНКИХ ПЛЕНОК Nb-Ti

Направлено в журнал "Металлофизика",  
на XXI Всесоюзное совещание по физике  
низких температур, Харьков.

1980

Работа посвящена исследованию взаимосвязи между сверхпроводящими характеристиками и микроструктурой пленок сплава Nb-Ti разного состава /с содержанием Ti от 30 до 66 ат.%/.

Пленки готовились совместным вакуумным напылением Nb и Ti из отдельных электронно-лучевых испарителей в вакууме  $P < 6 \cdot 10^{-5}$  Па /  $< 5 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст./ со скоростью 0,1 мкм/мин. В качестве подложек использовались медная фольга толщиной 10 мкм и монокристалл кремния с пленкой термической окиси кремния толщиной 1 мкм. Температура подложки во время напыления была равна 350°C, толщина пленок Nb-Ti составляла 0,8-1,5 мкм.

Структура пленок исследовалась с помощью трансмиссионного электронного микроскопа JEM-7. Их состав и равномерность его распределения по толщине пленки определялись методом упругого рассеяния частиц  $^3\text{He}$  с энергией 3 МэВ<sup>1/2</sup>.

Сверхпроводящие характеристики пленок ( $T_k, j_k, B_{k2}$ ) измерялись резистивным методом. С целью проверки однородности состава пленки и наличия других сверхпроводящих фаз, кроме основной, критическая температура  $T_k$  образцов одновременно определялась индуктивным методом<sup>2/</sup> с точностью не хуже 0,05 К/. Критический ток  $I_k$  и  $B_{k2}$  измерялись на образцах в виде полосок шириной 1 мм, расположенных перпендикулярно внешнему магнитному полю. Критический ток образцов измеряли при температуре 6 К в сверхпроводящем соленоиде с магнитной индукцией до 7 Т в момент появления на потенциальных контактах напряжения  $10^{-6}$  В. Поле  $B_{k2}$  определяли по кривой зависимости сопротивления полоски от магнитного поля при постоянном малом измерительном токе /100 мкА/ и различных температурах экстраполяцией линейной части кривой к нулю.

Для всех исследованных пленок характерным является средний размер зерна 100±250 нм. Плотность наблюдаемых дефектов /границы зерен, выделения, дислокации/ сильно зависит от состава образца. Структура пленок, напыленных на медную подложку, отличается от структуры пленок, напыленных на кремний, в основном /приблизительно на порядок/ большей плотностью дислокаций. Вероятно, это связано с различием коэффициентов линейного расширения Cu и Nb-Ti.

У пленок с содержанием Ti более 60 ат.% наблюдаются выделения фазы  $\alpha$ -Ti /размером около 100 нм/, которые находятся в некоторых тройных точках структуры /на стыке трех границ

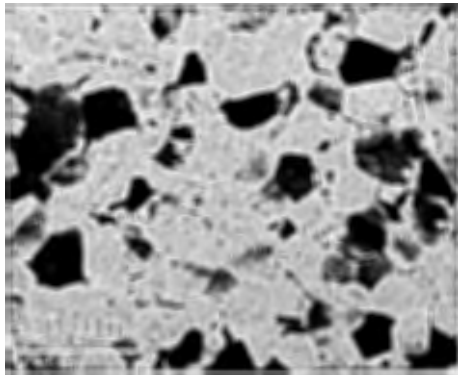


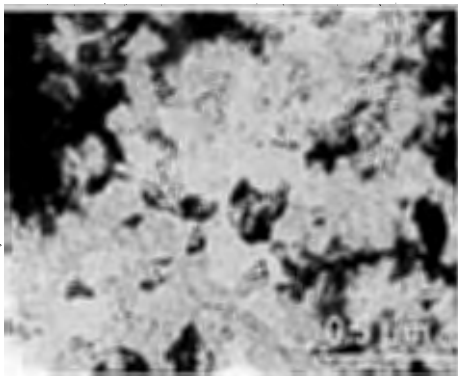
Рис .1. Микроструктура Nb-Ti пленок разного состава:  
а/ 66 ат.% Ti , б/ 40 ат.% Ti,  
в/ 34,5 ат.% Ti.

зерен / - рис.1а. Зерно почти свободно от дислокаций, но в нем находятся выделения размером ~50 нм, структуру которых определить не удалось.

Для пленок с содержанием 45÷60 ат.% Ti характерна малая плотность дислокаций /~10<sup>7</sup> см<sup>-2</sup>/ и средний размер зерна 230÷250 нм. С ростом содержания Nb плотность дислокаций повышается и в структуре появляются дислокационные петли. Например, у образца с 40 ат.% Ti плотность дислокаций равна 1,5·10<sup>10</sup> см<sup>-2</sup> /рис.1б/. В пленках с содержанием Ti < 38 ат.% понижается средний размер зерна и в структуре наблюдается большое количество дислокационных петель диаметром 10-15 нм.

Плотность дислокаций - порядка 10<sup>11</sup> см<sup>-2</sup> /рис.1в/.

При измерении кривой перехода /с 4,22 до 10 К/ наблюдается только основной переход, что свидетельствует об однородности пленки. Это подтвердилось и исследованием элементного состава пленок по толщине. Переход от наблюдаемых выделений α-Ti, видимо, находится ниже 4,2 К /3/. В таблице приведены значения критической температуры и ширина перехода некоторых характерных образцов. Результаты измерений j<sub>k</sub> /при T=6 К/ и B<sub>k2</sub> пока-



а/

б/

в/

Таблица

№ образца	1	2	3	4	5
Содержание Ti /ат.%/	66	62	51	34,5	31,5
T <sub>k</sub> /К/	8,80	8,94	9,62	9,57	9,42
ΔT <sub>k</sub> /К/	0,11	0,08	0,04	0,05	0,05
F <sub>p max</sub> /н/м <sup>3</sup> / 10 <sup>-9</sup>	2,12	2,26	2,7	1,86	1,24

заны на рис.2. Там же даны кривые зависимости силы пиннинга F<sub>p</sub> от приведенной магнитной индукции b = B/B<sub>k2</sub> /рис.2в/, из хода которых видно смещение их максимума от b=0,31 до b=0,39 с уменьшением содержания Ti. Согласно результатам исследования структуры и с учетом данных для кривых F<sub>p</sub> = f(b)<sup>1/4</sup> это можно объяснить следующим образом:

1. Пиннинг в образцах с содержанием Ti 66÷60 ат.% осуществляется на выделениях α-Ti и границах зерен. Так как плотность выделений α-фазы меньше плотности границ зерен, пиннинг на выделениях имеет место при меньших полях /F<sub>p max</sub> при b = 0,32/.

2. Пиннинг на границах зерен осуществляется в пленках с содержанием Ti 45÷55 ат.%, так как в них выделения α-фазы не наблюдались и плотность дислокаций низка /~10<sup>7</sup> см<sup>-2</sup>/.

3. Для пленок с содержанием Ti менее 40 ат.% пиннинг осуществляется на границах зерен и дислокациях /максимум смещен к 0,39/. Сила пиннинга уменьшается из-за изменения характерных параметров твердого раствора Nb-Ti, прежде всего соотношения размеров ξ /длина когерентности/ и дефектов.

Наиболее высокие значения j<sub>k</sub> достигнуты для пленок Nb-Ti с содержанием титана 45÷55 ат.%. Дальнейшее повышение j<sub>k</sub> возможно осуществить путем повышения плотности дефектов в пленках /напыление на холодную подложку, увеличение скорости конденсации, облучение, введение примесей и т.д./.

Авторы благодарят сотрудника ЗИ САН /ЧССР/ Ш.Бенячку за помощь при разработке индуктивного метода измерения критической температуры.

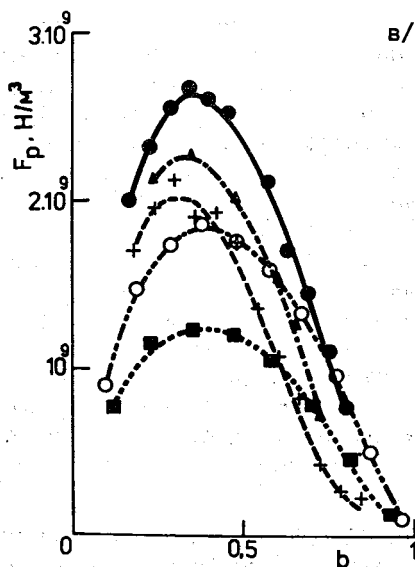
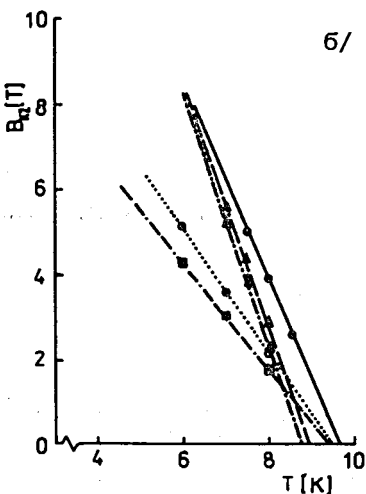
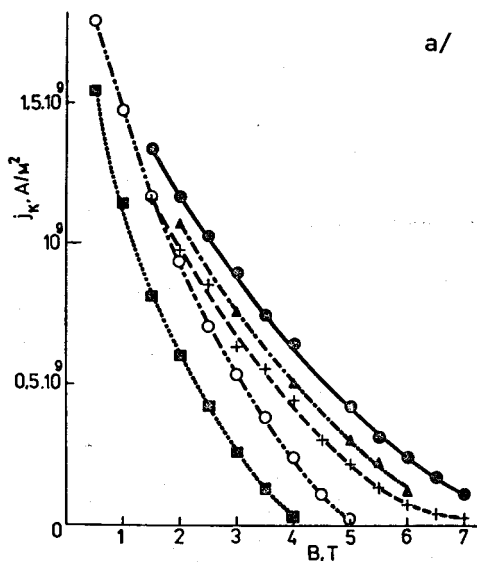


Рис.2. а/ Зависимость критической плотности тока  $j_k$  от магнитной индукции  $B$ ; б/ зависимость  $B_{k2}$  от температуры  $T$ ; в/ зависимость  $F_p$  от приведенной магнитной индукции  $b$ . + -1,  $\Delta$  -2,  $\bullet$  -3,  $\circ$  -4,  $\blacksquare$  -5.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бух Ю. и др. ОИЯИ, Р14-10446, Дубна, 1977.
2. Головашкин А.И., Онучкин В.М. Краткие сообщения по физике, 1971, №4, с.48.
3. Савицкий Е.М. и др. Сверхпроводящие материалы. "Металлургия", М., 1976.
4. Кемпбелл А., Иветс Дж. Критические токи в сверхпроводниках. "Мир", М., 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 марта 1980 года.