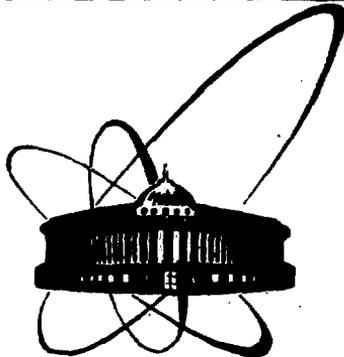


2



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

8118109624

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

Балалыкин Н.И. и др.

14-80-240

Микроструктура и сверхпроводящие свойства тонких пленок Nb-Ti

Приводятся результаты исследования микроструктуры и сверхпроводящие характеристики Nb-Ti тонких пленок с содержанием Ti от 30 до 66 ат.%. Сделан вывод о влиянии наблюдаемых дефектов структуры /границы зерен, выделения α -Ti, дислокации/ на силу пиннинга.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Balalykin N.I. et al.

14-80-240

Microstructure and Superconducting Characteristics of Nb-Ti Thin Films

The results of experimental investigation of the microstructure and superconducting characteristics of Nb-Ti thin films with contents of Ti from 30 up to 66 at.% are presented. It is shown the role of the structural defects (growth boundaries, second phase, dislocation) on the pinning force.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 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 подложек 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 определялись методом упругого рассеяния частиц ^3He с энергией 3 МэВ^{1/2}.

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^{2/} /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.

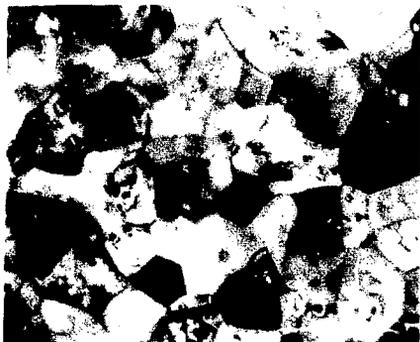
Для всех исследованных пленок характерным является средний размер зерна 100-250 нм. Плотность наблюдаемых дефектов /границы зерен, выделения, дислокации/ сильно зависит от состава образца. Структура пленок, напыленных на медную подложку, отличается от структуры пленок, напыленных на кремний, в основном /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 α -Ti /размером около 100 нм/, которые находятся в некоторых тройных точках структуры /на стыке трех границ

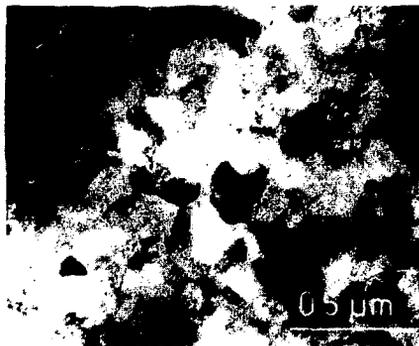
Рис .1. Микроструктура Nb-Ti пленок разного состава:
 а/ 66 ат.% Ti , б/ 40 ат.% Ti,
 в/ 34,5 ат.% Ti.



а/



б/



в/

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 / $\sim 10^7 \text{ см}^{-2}$ / 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 $1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ /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^{11} см^{-2} /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 $4,2 \text{ K}^{1/3}$. В таблице приведены значения критической температуры и ширина перехода некоторых характерных образцов. Результаты измерений j_k /при $T=6 \text{ K}$ / и V_{k2} пока-

Таблица

№ образца	1	2	3	4	5
Содержание Ti /ат.%/	66	62	51	34,5	31,5
T_k /К/	8,80	8,94	9,62	9,57	9,42
ΔT_k /К/	0,11	0,08	0,04	0,05	0,05
$F_{p \max}$ 10^{-9} /Н/м ³ /	2,12	2,26	2,7	1,86	1,24

заны на рис.2. Там же даны кривые зависимости силы пиннинга F_p от приведенной магнитной индукции $b = V/V_{k2}$ /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 $F_p = f(b)^{1/4}$ 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 / $F_{p \max}$ 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 / $\sim 10^7$ см⁻²/.

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

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

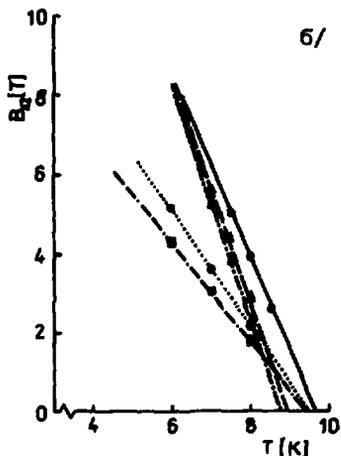
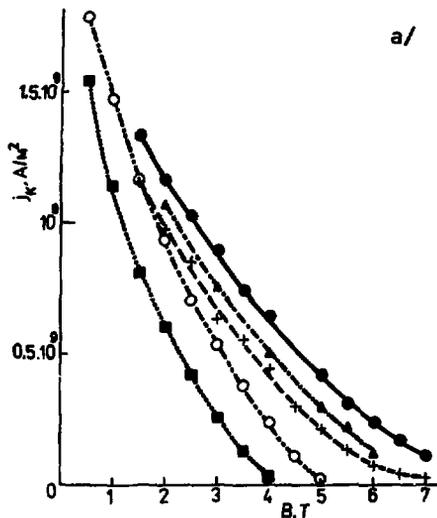
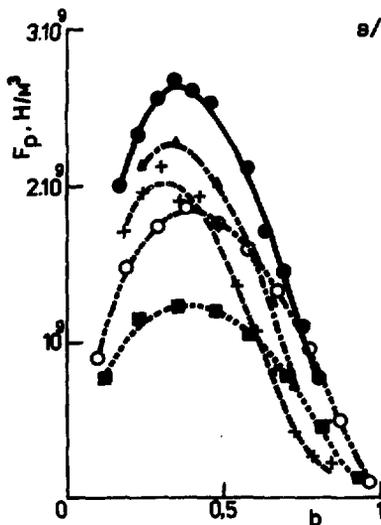


Рис. 2. а/ Зависимость критической плотности тока j_c от магнитной индукции B ; б/ зависимость B_{c2} от температуры T ; в/ зависимость F_p от приведенной магнитной индукции в. + -1, Δ -2, \bullet -3, \circ -4, \blacksquare -5.



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.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 28067. Тираж 295. Уч.-изд. листов 0,47.
Редактор Н.Н.Зрелова.
Набор В.С.Румянцевой, Н.И.Коротковой.
Макет Р.Д.Фоминой. Подписано к печати 13.5.80 г.