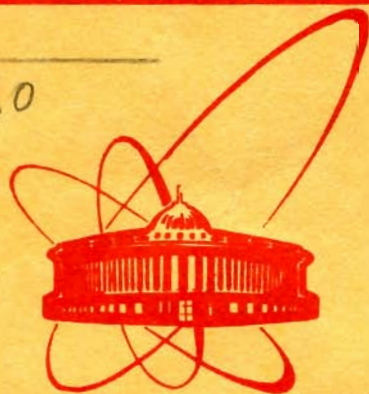


Б-20



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

115/2-80

14/1-80

P9 - 12759

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

ТИПЫ ПИННИНГА

В НИОБИЙ-ТИТАНОВЫХ ПЛЕНКАХ

1979

P9 - 12759

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

ТИПЫ ПИННИНГА
В НИОБИЙ-ТИТАНОВЫХ ПЛЕНКАХ

Направлено в "Письма в ЖТФ"

Балалыкин Н.И. и др.

P9 - 12759

Типы пиннинга в ниобий-титановых пленках

Приводятся результаты экспериментального исследования объемной силы пиннинга в ниобий-титановых пленках. Полученные данные сопоставлены с данными по массивным материалам. Показано, что в зависимости от состава пленок пиннинг осуществляется либо на дислокациях /твердый раствор на основе ниобия/, либо на границах фазы α -Ti.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Balalykin N.I. et al.

P9 - 12759

The Types of Pinning in Nb - Ti Films

The results of experimental investigation of the pinning force in Nb - Ti films are presented. It is shown that the pinning of the vortices is caused either by the grain boundaries or by dislocations in the bulk of samples depending on the composition of the films.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Создание сверхпроводящего резонатора /СПР/, предназначенного для работы во внешнем магнитном поле $H_e \gg H_{k1}$ ^{/1/} и обладающего достаточно высоким значением добротности, требует применения сверхпроводника 2-го рода, характеризующегося высоким значением критической плотности тока j_k . Последнее связано с поведением на СВЧ сверхпроводника, находящегося в смешанном состоянии. Вихри потока магнитного поля, проникающие через нормальные области, приводятся в колебательное движение под действием возбуждаемых в поверхностном слое СВЧ токов. Анализ такого движения^{/2/} показывает, что степень закрепления /пиннинг/ вихрей значительно влияет на величину j_k . В свою очередь, j_k определяет величину добротности СПР. Можно показать, что для конкретного случая ~ СПР кольцетрона^{/1/} с $f_0 = 500$ МГц, $\mu_0 H \approx 2$ Т, $Q \approx 10^7$ - значение плотности тока должно быть $\sim 10^6$ А·см⁻² при $T = 4,2$ К. С целью избежания явления термомагнитного пробоя ниобий-титановый рабочий слой СПР создается методом пленочной технологии. Для коммерческого сверхпроводника /кабеля/ характерным является значение $2 \div 4 \cdot 10^5$ А·см⁻² в поле с индукцией 2 Т^{/3/}. Теоретически для системы ниобий-титан при полях ≈ 10 Т и оптимальном значении силы пиннинга плотность критического тока достигает величины 10^7 А·см⁻²^{/4/}. Таким образом, нет оснований полагать, что в современных материалах этой системы достигнуты предельные значения силы пиннинга.

Исследование объемной силы пиннинга в пленках системы ниобий-титан производилось на серии образцов, содержащих титан от 23 до 62 вес.%. Как показано в^{/5/}, при содержании титана в пленках более 40 вес.% наблюдается появление второй фазы (α -Ti). Таким образом, исследованная серия образцов состояла как из однофазных пленок /твердый раствор на основе ниобия/, так и из двухфазных /твердый раствор на основе ниобия + (α -Ti)/.

Все образцы были приготовлены при следующих технологических условиях: $P \leq 6 \cdot 10^{-5}$ Па ($\leq 5 \cdot 10^{-7}$ мм.рт.ст.; температура подложки $T \approx 600$ К; скорость конденсации $v \approx 1000 \text{ \AA} \cdot \text{мин}^{-1}$; выдержка после напыления в вакууме в течение 1 ч. В качестве подложек использовались пластинки монокристаллического кремния, толщина пленок составляла $\sim 5000 \text{ \AA}$.

Большинство теоретических выражений для силы пиннинга можно записать в виде^{6/}:

$$P_v = B \cdot j_k \cdot \frac{dN_e(B)}{dB}$$

В области сильных полей ($N_e \gg N_{k1}$) с хорошим приближением можно принять $B \approx H$ и $dN_e/dB \approx 1$. Кривая $P_v(b)$, где $b = B/B_{k2}$, обычно проходит через максимум. Для многих материалов, содержащих включение второй фазы или плоские границы, максимум имеет место при $b \approx 1/3$; в случае пиннинга на дислокациях максимум может находиться между $b = 0,25$ и $b = 0,85$ в зависимости от структуры деформаций. Кривые, снятые при различных температурах $T < T_k$, являются подобными^{4/}.

Для исследования статических характеристик образцы изготавливались методом фотолитографии. Площадь сечения токоведущих частей образцов уточнялась отдельно для каждого образца. С целью определения значений N_{k2} для $T = 4,2$ К образцы исследовались при $T = 6 \div 8$ К.

Исследование элементного состава образцов производилось методом упругого рассеяния частиц ^3He с $E_0 = 3,0$ МэВ на угол $\Theta = 135^\circ$.

Результаты исследований сведены в таблицу и представлены на рисунке. Приведенные в таблице статические характеристики образцов получены при $T = 4,25$ К.

Анализ полученных результатов с учетом экспериментальных данных^{4/} показывает, что:

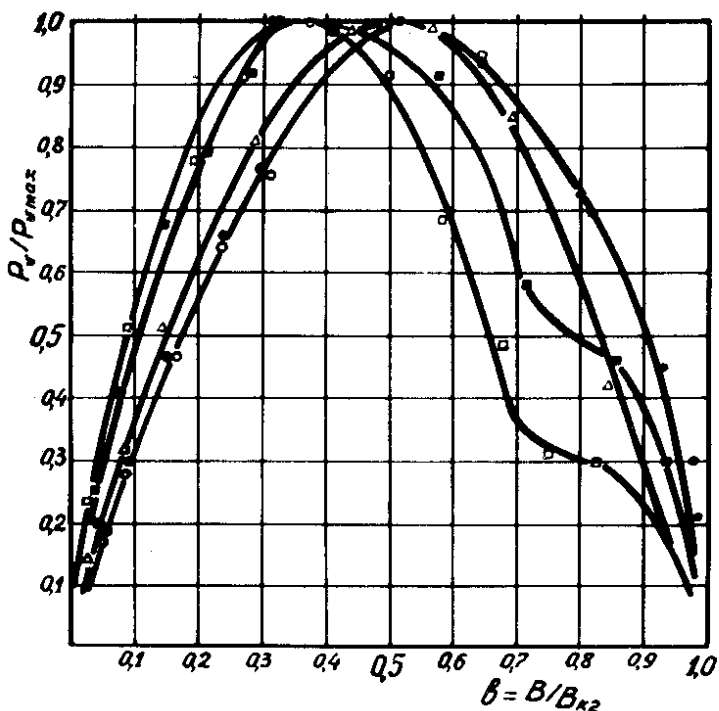
- 1/ причиной пиннинга в однофазных пленках системы ниобий-титан являются дислокации; $P_{v \text{ макс}}$ при $b \approx 0,5$;
- 2/ основной причиной пиннинга в двухфазных пленках системы ниобий-титан являются границы выделения фазы $\alpha - \text{Ti}$; $P_{v \text{ макс}}$ при $b \approx 0,33$.

Наибольшее значение объемной силы пиннинга получено в исследованной серии на образце, обладающем средними значениями T_k и $N_{k2} / P_v = 11 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-3}$; $T_k = 9,74$ К; $\mu_0 N_{k2} \approx 8,8 \text{ Т/}$.

Для достижения в NbTi пленках более высоких значений j_k , в дальнейшем предполагается исследовать влияние легирующих добавок, плотности распределения α -фазы, величины и текстуры зерен.

Таблица

№ образца, данные	$\mu_0 H, T$	$\beta = \frac{B}{B_{к2}}$	$J_k \times 10^{-5}, A \cdot cm^{-2}$	$P_k \times 10^{-9}, H \cdot m^{-3}$	$\frac{P_k}{P_{kmax}}$
№ 90 $T_k = 7,05K$ $\mu_0 H_{к2} = 7,1T$ Nb+62вес.% Ti	0,25	0,04	1,50	0,38	0,25
	0,5	0,07	1,20	0,60	0,41
	1,0	0,14	0,95	0,95	0,68
	1,5	0,21	0,78	1,17	0,79
	2,0	0,28	0,68	1,36	0,92
	2,5	0,35	0,59	1,48	1,00
	3,0	0,43	0,49	1,47	0,99
	4,0	0,57	0,34	1,36	0,92
	5,0	0,71	0,17	0,85	0,58
6,0	0,86	0,11	0,66	0,45	
№ 91 $T_k = 8,0K$ $\mu_0 H_{к2} = 12,1T$ Nb+60вес.% Ti	0,25	0,02	3,2	0,80	0,23
	0,5	0,04	2,5	1,25	0,36
	1,0	0,08	1,9	1,90	0,54
	2,0	0,16	1,3	2,60	0,74
	3,0	0,24	1,06	3,18	0,90
	4,0	0,33	0,88	3,52	1,00
	5,0	0,41	0,67	3,35	0,95
	6,0	0,50	0,47	2,82	0,80
	№ 97 $T_k = 9,74K$ $\mu_0 H_{к2} \approx 8,8T$ Nb+40вес.% Ti	1,0	0,11	4,2	4,20
2,0		0,23	3,5	7,00	0,61
3,0		0,34	3,05	9,15	0,86
4,0		0,45	2,7	10,80	0,96
5,0		0,57	2,2	11,00	1,00
6,0		0,68	1,8	10,80	0,89
№ 100 $T_k = 10,18K$ $\mu_0 H_{к2} \approx 9,3T$ Nb 25вес.% Ti		1,5	0,15	2,8	4,20
	2,0	0,19	2,6	5,20	0,61
	3,0	0,29	2,35	7,05	0,86
	4,0	0,39	2,04	8,16	0,96
	5,0	0,49	1,7	8,50	1,00
	6,0	0,59	1,26	7,56	0,89
	№ 101 $T_k = 9,98K$ $\mu_0 H_{к2} = 10T$ Nb 23вес.% Ti	0,1	0,01	5,1	0,51
0,25		0,03	3,5	0,87	0,14
0,5		0,05	2,8	1,40	0,23
1,0		0,1	2,3	2,30	0,38
2,0		0,2	1,9	3,80	0,63
3,0		0,3	1,6	5,40	0,90
4,0		0,4	1,5	6,00	1,00
5,0		0,5	1,1	5,50	0,91
6,0		0,6	0,8	4,80	0,80



Зависимость P_v/P_{vmax} от приведенной магнитной индукции b для ниобий-титановых пленок при $T = 6,2$ К.

Обозначение: \square \blacksquare - образцы № 90 и № 91

Δ \circ \bullet - образцы № 97, 100, 101

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев А.И. и др. ЖТФ, 1977, т.47, с.1213.
2. Gilchrist J., J.Phys.D:Appl.Phys.;1972,vol.5,р.2252-2265.
3. Mathur M.P., Ashkin M., Deis D.W. Journ. of Appl.Phys., 1974, vol.45, p.3627.
4. Кемпбелл А., Иветс Дж. Критические токи в сверхпроводниках, "Мир", М., 1975.
5. Балалыкин Н.И., Бух Ю. ОИЯИ, 9-8605, Дубна, 1975.
6. Friedel J., De Gennes P.G., Matricon J. Appl. Phys. Lett., 1963, 2, p.119.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 сентября 1979 года.