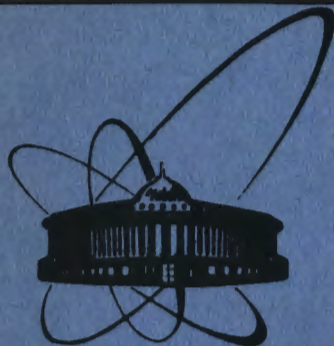


2/IV-84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1673/84

P8-83-911

П.Г.Василев, И.Н.Гончаров

ОСОБЕННОСТИ РЕЗИСТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ
ОБРАЗЦОВ ИЗ Nb-Ti
С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ
ПИННИНГ-ЦЕНТРОВ

Направлено в Оргкомитет
XXIII Всесоюзного совещания
по физике низких температур
/Таллин, 1984 г./

1983

ВВЕДЕНИЕ

Со времени первой работы ^{/1/}, в которой было исследовано резистивное поведение $Nb_{0,5}Ta_{0,5}$ с небольшими уровнями критической плотности токов j_c , установилось мнение, что линейная зависимость электрического поля от плотности тока $E(j)$ /в случае $H \perp j$ / будет наблюдаться всегда, если этому не мешает повышение интегральной диссипируемой мощности. Это положение было проверено в ^{/2/}, где изучалось изменение формы вольт-амперной характеристики /ВАХ/ холоднотемпературных образцов из $Nb_{0,2}Zr_{0,8}$ при изменении угла ϕ между плоскостью ленты и направлением магнитного поля H . Было установлено, что для этих образцов изменение объемной плотности силы пиннинга F_c в весьма широких пределах - вплоть до $10 \cdot 10^6$ дин/см³ при $t = T/T_c = 0,27$ - не приводило к изменению дифференциального сопротивления вязкому движению вихревых нитей $R_f = dU/dI$, отнесенного к неперегретому /т.е. достаточно тонкому/ образцу. Исследование $F_c(H)_{\phi, t = const}$ этого образца показало, что несмотря на десятикратное возрастание j_c при $h = H/H_{c2}(T) \approx 0,5$ форма кривых $F_c(H)$ менялась мало: она имела вид широкой долины с плавным подъемом при $H \rightarrow H_{c1}$ и сравнительно узким пиком при $H \rightarrow H_{c2}$. Только при $\phi \rightarrow 0^\circ F_c(H)$ приобретала куполообразную форму с максимумом в районе $h_{max} \approx 0,6$, причем $j_c^{\parallel}(\phi = 0^\circ) \approx 40 j_c^{\perp}(\phi = 90^\circ)$.

Цель настоящей работы состояла в изучении ВАХ образцов с различной микроструктурой /в частности, имеющих малую толщину, что значительно упрощает проблемы перегрева/ в широком интервале магнитных полей и температур.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследовались образцы из сплава $Nb_{0,8}Ti_{0,2}$ толщиной 58 мкм /№ 30 - холоднотемпературный от 9 мм и № 31 - рекристаллизованный при 1250°C в течение 1 ч/ и из сплава $Nb_{0,83}Ti_{0,17}$ толщиной 9 мкм /№ 76 - холоднотемпературный от 9 мм с промежуточными отжигами при 1200°C на толщине 5 мм и 0,1 мм; № 77 - рекристаллизованный при 1280°C/3 ч; серия образцов с газовыми порами, например № 76 - 0,05 - С1150/1 - х.д., насыщенный гелием до концентрации 0,05 ат.% и отожженный при 1150°C в течение 1 ч/. Все отжиги проводились в безмасляном вакууме $\sim 10^{-7}$ Тор. Исключение составляли следующие два образца: № 77 - М1200/1, который был повторно рекристаллизован при 1200°C, и образец

№ 76 - 0,50-M1200/1, отожженный при той же температуре после насыщения гелием до 0,50 ат.%. В этих случаях вакуум $\sim 10^{-5}$ Тор создавался с помощью масляного диффузионного насоса с азотной ловушкой. В результате газовых загрязнений в указанных образцах выпали частицы второй фазы, вероятнее всего, нитрида титана, что привело к обеднению матрицы титаном и, как следствие, к заметному снижению верхнего критического поля $H_{c2}^{1/4}$.

Все измерения проводились в условиях, когда магнитное поле H было перпендикулярно плоскости образца и $H \perp j$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Прежде всего, остановимся на форме ВАХ образцов с различными микроструктурами /они отличаются также шириной и расстоянием между потенциальными контактами/. Как видно из рис.1, у рекристаллизованного образца 77 ВАХ имеют длинные линейные участки, по наклону которых легко определяется величина R_f . Для образца 76 - 0,05 - C1150/1, содержащего гелиевые поры /средние размеры 185Å, средняя плотность $\sim 10^{15}$ см $^{-3}$ / ВАХ выглядят совсем иначе. В этом случае наблюдаются только очень короткие линейные участки в ограниченном интервале средних магнитных полей. Хотя ошибка в определении наклонов этих участков велика, мы нанесли их на общую кривую /см.рис.2/, причем, как оказалось, точки расположились так, что естественно считать эти короткие линейные участки отражением обычного вязкого движения вихрей. Однако вслед за ними следует быстрое нарастание напряжения и далее - плавный переход образца в нормальное состояние. С чем может быть связано такое поведение?

Возникновение локального /по длине образца/ резистивного домена и переход к пленочному кипению надо исключить, т.к. на соседних участках образца также наблюдались линейные части ВАХ с теми же значениями R_f/R_n , а средние плотности теплового потока через обе широкие поверхности образца слишком малы $< 0,025$ Вт/см 2 /. Обычная интегральная неустойчивость резистивного состояния* на линейном участке ВАХ $^{1/2}$ не может быть причиной, т.к. на рекристаллизованном образце 77, измерявшемся в тех же условиях, она отсутствовала, а, кроме того, оценки показали, что имеется большой запас по току /особенно в сверхтекучем гелии, где общая картина сохранялась, только не наблюдалось даже коротких линейных участков - скачок напряжения возникал на нелинейной части ВАХ/.

* Эта неустойчивость возникает тогда, когда возрастание диссипированной мощности, вызванное малым случайным ростом температуры образца, оказывается больше возрастания теплопередачи.

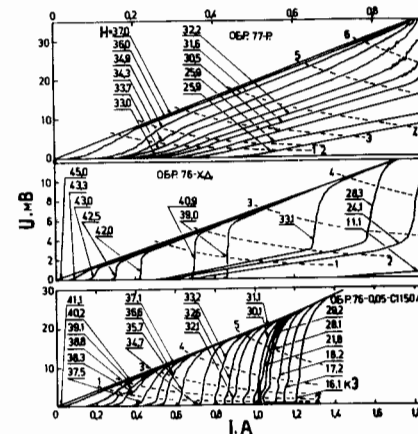


Рис.1. Вольт-амперные характеристики трех образцов при $T = 4,2$ К. Штриховые линии с номерами соответствуют плотностям теплового потока через поверхность образца: 1 - 0,025; 2 - 0,05; 3 - 0,10; 4 - 0,2; 5 - 0,4 и 6 - 0,6 Вт/см 2 .

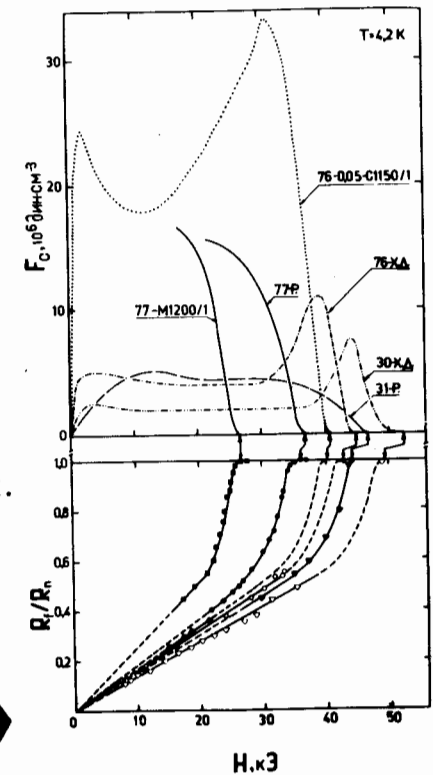


Рис.2. Зависимость от магнитного поля сил пиннинга и R_f некоторых образцов.

Описанный образец 76-0,05-C1150/1 имел наименьшую плотность объемной силы пиннинга среди всех исследованных образцов с порами, для которых уже не удавалось наблюдать линейных участков ВАХ ни при каких условиях, а характер быстрого нарастания напряжения U от некоторых малых значений и сравнительно плавный переход к нормальному состоянию оставались для них типичными. Нам представляется естественным объяснить такое поведение локальным разогревом микрообъемов внутри образца за счет преодоления связками вихревых нитей сравнительно равномерно распределенных сильных пиннинг-центров, каковыми, безусловно, являются газовые поры с размерами $> \xi(T)$ /здесь $\xi/4,2$ К/ ≈ 100 Å - длина корреляции/. Так как локальное повышение температуры в каждом из указанных актов оказывается кратковременным, то средняя температура образца, рассчитанная по среднему тепловому потоку через его поверхность непосредственно перед резким ростом U , изменяется очень мало. Такую ситуацию можно назвать "внутренней" неустойчивостью резистивного состояния. В отличие от внешней неустойчивости $^{1/2}$, она должна мало зависеть от толщины об-

разца до тех пор, пока последняя остается много больше глубины проникновения магнитного поля $\lambda = \kappa \cdot \xi$. Кстати, нами было замечено, что резкий рост напряжения возникал примерно от одной и той же его величины, несмотря на уменьшение H более, чем в два раза и почти двукратное возрастание тока скачка /при $T = 2,09$ К/.

2. Отличительной особенностью холоднодеформированных образцов /в случае, когда H перпендикулярно плоскости прокатки/ является сравнительно узкий и высокий пик вблизи H_{c2} на кривой $F_c(H)$ /см. рис.2/. Как правило, достаточно длинные линейные участки ВАХ наблюдались нами только в магнитных полях $H < H_{peak}$ /рис.1 и 2/. Весьма сходным было резистивное поведение умеренно деформированного ниобия, наблюдавшееся в^{15/}. Напомним, что и для образца 76-0,05-С1150/1 с порами короткие линейные участки находились в интервале полей, приблизительно соответствующих минимуму между двумя пиками на $F_c(H)$. При этом возникновение быстрого роста напряжения на избранном участке образца в $H > H_{peak}$ не связано с распространением нормальной зоны, возникающей в каком-либо другом месте образца, т.к. он целиком вместе с широкими токовыми контактами находился в однородном поле, и напряжение измерялось одновременно на всех участках.

У нас есть серьезные основания считать участок кривой $F_c(H)$ для $H > H_{peak}$ частью куполообразной кривой, отвечающей ситуации, когда силы пиннинга доминируют по сравнению с упругими силами взаимодействия между вихрями /практически такую кривую пределекасирует модель пренебрежения сил пиннинга^{16/}/. Левее пика возрастание упругих сил приводит к той или иной степени подавления купола^{13/}. Если эта концепция верна, то мы можем утверждать, что достаточно длинные линейные участки на ВАХ /и, следовательно, наличие определенного динамического критического тока, на величину которого сдвинуты ВАХ по сравнению с беспиннинговым образцом/ легче всего наблюдать тогда, когда решетка вихрей может двигаться как целое. Разумеется, такому наблюдению не должны мешать обстоятельства, перечисленные выше в п.1.

Альтернативным объяснением различия в резистивном поведении образцов левее и правее пика на $F_c(H)$ вблизи H_{c2} могло бы быть привлечение модели Крамера^{17/}, согласно которой левее пика j_c определяется обычным механизмом пиннинга, а правее - пластическим течением незакрепленных вихревых нитей относительно тех, которые остаются закрепленными на пиннинг-центрах. Нам кажется, что эта модель если и может применяться в случае трехмерных образцов /т.е. имеющих толщину $> \lambda$ /, то лишь для очень специфических систем дефектов - типа расположенных внутри плоскостей, ориентированных параллельно действию силы Лоренца. По крайней мере, в случае наших холоднодеформированных образцов при $T = 4,2$ К и в полях $H > H_{peak}$ F_c изменялась в несколько раз при изменении угла ϕ от 0° до 90° , в то время как модель^{17/}

требует практически неизменности этой величины при изменении микроструктуры образца /не говоря уже об ином характере измененной зависимости $F_c(h)$, чем требуется по указанной модели/.

Интересно отметить, что в случае рекристаллизованных образцов №№ 31, 77 и 77-М1200/1 кривые $F_c(H)$ имели куполообразный вид, и в то же время почти во всем интервале магнитных полей легко наблюдались длинные линейные участки с типичной зависимостью $R_f(H)/R_n$ /см. рис.2/. В этих образцах пиннинг осуществляется, по-видимому, на границах зерен /размеры которых достаточно велики - от долей мкм до нескольких мкм/ и на редких выделениях второй фазы*. Поэтому здесь характер микроперегрева внутри образца существенно иной, чем в случае близко расположенных пиннинг-центров /расстояния между порами $< 1000 \text{ \AA}$, а размеры дислокационных ячеек в х.д. образцах $/1,5 \div 3/ \cdot 1000 \text{ \AA}$ /. Вследствие этого и не возникает внутренней неустойчивости резистивного состояния, мешающей наблюдению линейных участков ВАХ.

3. Наконец, остановимся еще на одном любопытном явлении, наблюдавшемся нами на нескольких образцах. Как видно из рис.3, иногда на ВАХ возникают своеобразные ступеньки напряжения, как бы отделяющие один квазилинейный участок от другого. При этом они располагаются примерно на одном и том же уровне напряжения, несмотря на изменение магнитного поля и, следовательно, тока /см. вертикальные штриховые отрезки на рис.3/. В настоящее время мы не имеем достаточно убедительных объяснений этому явлению.

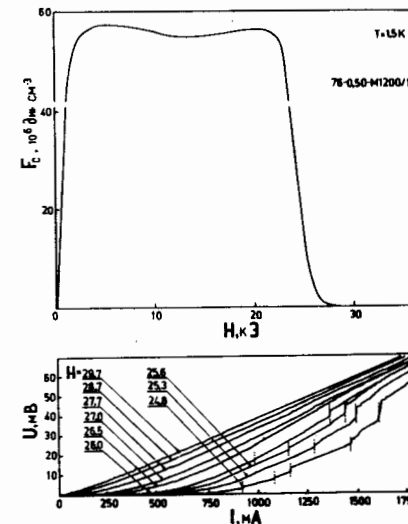


Рис.3. Типичные вольт-амперные характеристики со ступеньками и $F_c(H)$ образца 76-0,50-М1200/1 при $T = 1,5$ К.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение ВАХ тонких образцов с существенно различными микроструктурами в условиях, когда наблюдению достаточно длинных ли-

* Это относится главным образом к образцу 77-М1200/1, который подвергся повторному отжигу в условиях плохого вакуума.

нейных участков не должны были мешать некоторые известные факторы /в том числе неустойчивость резистивного состояния, изученная в ^{1/2} /, позволило обнаружить явление, названное здесь "внутренней неустойчивостью резистивного состояния". Оно связано, по-видимому, с характером мгновенных пространственно-температурных полей внутри образца при наличии движения вихрей относительно пиннинг-центров. Отмечен ряд других особенностей ВАХ в исследованных образцах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Strnad A.R., Neampstead C.F., Kim Y.B. Phys.Rev.Lett., 1964, 13, No.26, p.794-797.
2. Гончаров И.Н. и др. Физика низких температур, 1980, т.6, № 6, с.698-705.
3. Борка С., Гончаров И.Н., Хухарева И.С. Физика низких температур, 1978, т.4, № 8, с.962-988.
4. Василев П. и др. Физика металлов и металловедение, 1981, т.51, вып.2, с.309-315.
5. Винников Л.Я., Григорьев В.И., Жариков О.В. ЖЭТФ, 1976, т.71, вып.1/7/, с.252-261.
6. Dew-Hughes D. Phil.Mag., 1974, vol.30, p.293-305.
7. Kramer E.J. J.Appl.Phys., 1973, vol.44, No.3, p.1360-1370.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
D10-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Василев П.Г., Гончаров И.Н. P8-83-911
Особенности резистивного поведения образцов из Nb-Ti с различными системами пиннинг-центров

Изучались вольт-амперные характеристики ленточных образцов из сплавов Nb-Ti с различной микроструктурой /холодно-деформированных, рекристаллизованных, с газовыми порами/. Обнаружено явление внутренней неустойчивости резистивного состояния образцов, обусловленное, скорее всего, локальными мгновенными перегревами при движении вихрей относительно пиннинг-центров. Отмечаются некоторые другие особенности ВАХ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Vasilev P.G., Goncharov I.N. P8-83-911
Specific Features of Resistive Behaviour of Nb-Ti Samples with Different Systems of Pinning-Centres

Volt-ampere characteristics of ribbon samples made of Nb-Ti alloys with different microstructure (cold-rolled, recrystallized, with gaseous voids) were studied. Phenomenon of internal instability of resistive state of samples has been discovered. This is most probably due to local instant overheating during the motion of vortexes over pinning-centres. Some other specific features of volt-ampere characteristics are noted.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой