

## ПОВЫШЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ДВОЙНИКОВАНИИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО НИОБИЯ

В.С.Бобров, С.Н.Зорин

При низкотемпературном двойниковании ниобия наблюдается заметное повышение  $T_c$ . Сверхпроводимость в области двойников изменяется при дислокационном пластическом течении и отогреве деформированных образцов. Приводятся данные по зависимости  $T_c$  от магнитного поля.

В работах <sup>1-3</sup> сообщалось о повышении  $T_c$  при двойниковании Sn, In и Tl. В области индивидуальной двойниковой границы Sn наблюдалось повышение  $T_c$  на 0,04 К <sup>1</sup>. При соседстве нескольких двойников  $T_c$  увеличивалось до 0,08 К <sup>2</sup>. Более значительное повышение  $T_c$  было получено при прессовании микрочастиц и электроискровой обработке массивных образцов Sn, что, по мнению авторов <sup>3</sup>, достигается за счет возникновения высокой плотности двойников и ослабления эффекта близости. Результаты <sup>1-3</sup> свидетельствуют об изменении сверхпроводящих свойств в области двойниковых границ. Исследование этого явления в различных материалах и при разных условиях формирования двойников представляют интерес.

Ранее <sup>4</sup> было обнаружено заметное повышение критических полей и концентрации захватываемого магнитного потока при низкотемпературном двойниковании Nb. В работе <sup>5</sup> сообщалось о повышении  $H_{c2}$  в бикристаллах Nb с границей близкой к двойниковой. Целью данной работы является исследование влияния деформационных двойников на сверхпроводящие переходы Nb в области  $T_c$ .

Монокристаллические образцы Nb ( $4 \times 4 \times 12$  мм<sup>3</sup>) с ориентацией оси близкой к направлению типа  $\langle 110 \rangle$  деформировались сжатием при  $T \lesssim 8$  К со скоростью 200 мкм/мин. Деформация протекала скачкообразно и определялась процессами двойникования <sup>4</sup>. При каждом скачке нагрузки возникала группа пересекающихся двойников с типичной шириной прослоек  $\sim 1 - 10$  мкм и расстоянием между двойниками  $\sim 10 - 100$  мкм. Сверхпроводящие переходы регистрировались по проникновению в образцы магнитного потока. Для этого через намотанную по всей длине образца передающую катушку пропускался ток (37 Гц), который создавал переменное магнитное поле с амплитудой  $\lesssim 1$  Э. Усиленный и детектированный сигнал с приемной катушки и показания закрепленного на деформируемых образцах полупроводникового термометра записывались на двухкоординатном самописце. Измерения осуществлялись при остановке деформирующего устройства и отогреве образцов со скоростью  $\lesssim 10^{-2}$  К/с. После регистрации сверхпроводящего перехода исследуемый образец охлаждался и деформация возобновлялась до следующего этапа измерений.

На рис. 1 представлены примеры сигналов, регистрируемых на приемной катушке одного из исследованных образцов. При низкотемпературном двойниковании Nb наблюдается заметное смещение сверхпроводящих переходов в область более высоких  $T_c$ . Повышение  $T_{cm}$ , соответствующих середине переходов, для данного образца достигало 2,2 К. Форма регистрируемых кривых, особенно на начальных этапах деформации зависит от распределения двойников по длине деформируемых образцов. Это накладывает отпечаток на зависимость  $T_{cm}$  от степени деформации  $\epsilon$ . При увеличении  $\epsilon$  наблюдается смещение  $T_{cm}$  к верхним температурам перехода. Некоторое повышение  $T_c$  с деформацией может также определяться сближением двойниковых прослоек (см., например, <sup>2, 3</sup>). Результаты исследования зависимостей  $T_{cm}$  и ширины перехода  $\Delta T$  от  $\epsilon$  для трех образцов представлены на рис. 2. Наблюдаемое увеличение  $T_c$  при двойниковании качественно согласуется с результатами работ <sup>6</sup>, в которых с помощью методики измерения электрического сопро-

тивления было обнаружено повышение  $T_c$  при низкотемпературной деформации кручением V и Nb.

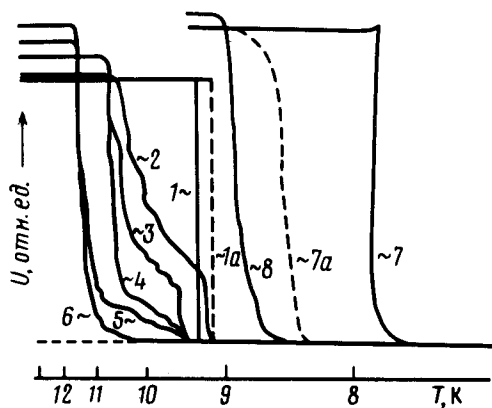


Рис. 1. Примеры сверхпроводящих переходов в области  $T_c$ , регистрируемых по возникновению сигналов  $U$  на приемной катушке одного из образцов: 1 – исходный образец без нагрузки, 1а – при одноосном сжатии под нагрузкой 29 кГ/мм<sup>2</sup>, 2 – 6 – после 1-го, 2-го, 7-го 11-го и 14-го скачков нагрузки (актов двойникования), 7 – при нулевой нагрузке после отогрева деформированного образца в течении двух суток до 300 К, 7а – под нагрузкой 85 кГ/мм<sup>2</sup>, 8 – 1-й скачок нагрузки при деформации после отогрева

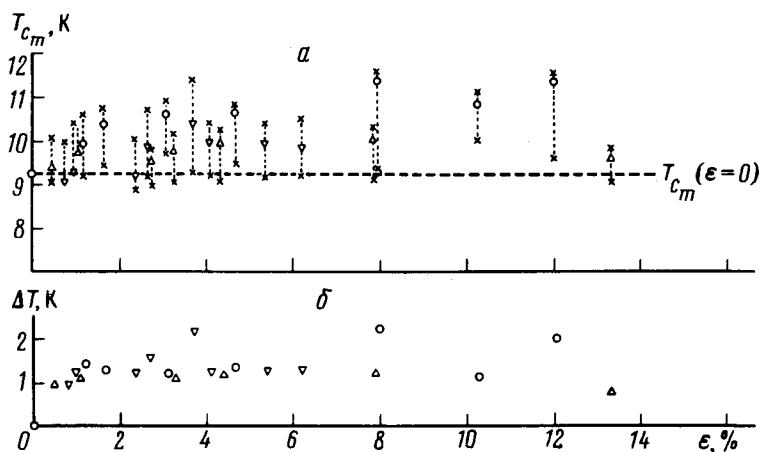


Рис. 2. Зависимости температуры  $T_{cm}$  (а), соответствующей середине сверхпроводящего перехода, и ширины перехода  $\Delta T$  (б) от степени деформации  $\epsilon$  при двойниковании. Разные обозначения соответствуют разным образцам. Штриховыми линиями обозначены ширины переходов, минимальные и максимальные значения температуры перехода

При деформировании разных образцов наблюдалась разная степень повышения  $T_c$  при двойниковании (например, рис. 2, а). Существует тенденция более слабого влияния двойников на  $T_c$  образцов с более выраженным дислокационным пластическим течением, сопровождающим двойникование (до 30% от общей деформации). Проводились опыты, в которых после двойникования образцы отогревались до 30 – 50 К и деформировались пластически. При этом происходило падение  $T_{cm}$  до значений ниже  $T_c$  исходных образцов. Влияние двойников ослаблялось, если перед низкотемпературным двойникованием образцы деформировались пластически при более высоких температурах. Сверхпроводящие переходы смещались в область более низких  $T_c$  при отогреве деформированных образцов.

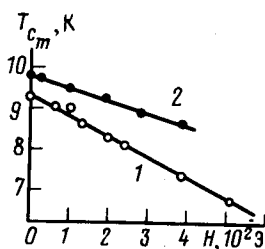


Рис. 3. Зависимость  $T_{cm}$  от внешнего магнитного поля  $H$ : 1 – исходный образец, 2 – после деформации двойникованием,  $\epsilon \approx 6\%$

Даже непродолжительный отогрев до 300 К приводил к заметному падению  $T_c$ . А после "отдыха" деформированных образцов при 300 К в течении, например, двух суток  $T_c$  опускалось до заметно более низкого уровня по сравнению со значениями  $T_c$  недеформированных образцов (см. рис. 1). Влияние отогрева уменьшалось при уменьшении его длительности и температуры. Совокупность этих результатов (см. также 6) свидетельствуют о том, что при наличии процессов, приводящих к релаксации структуры и напряжений в области двойников, их сверхпроводящие свойства могут заметно изменяться.

При проведении исследований наблюдалось влияние одноосного сжатия на  $T_c$  (например, рис. 1). Это влияние зависело от структурного состояния нагружаемых образцов. В дальнейшем эти данные будут уточняться.

Было исследовано влияние внешнего магнитного поля на сверхпроводящие переходы в области  $T_c$  исходных и деформированных образцов. Результаты соответствующих измерений для одного из образцов в магнитном поле, параллельном оси деформирования, представлены на рис. 3. У недеформированных образцов результаты измерений хорошо согласуются с литературными данными 7 для значений  $dH_c/dT$  у Nb. При двойниковании наблюдается уменьшение наклона зависимости  $T_c$  от  $H$ , что соответствует увеличению  $dH_c/dT$  в области  $T_c$ . Например, из данных на рис. 3 можно заключить, что  $dH_c/dT$  увеличивается при двойниковании приблизительно в 1,7 раза. Это может быть связано с соответствующим увеличением  $H_c$  в области двойников, что согласуется с результатами работы 4.

Проведенные исследования свидетельствуют о заметном повышении критических параметров сверхпроводящего Nb при низкотемпературном двойниковании. Причем это повышение достигается, когда средняя плотность деформационных двойников в образцах не велика (менее 5% их объема). Наблюдаемое изменение сверхпроводящих свойств может быть связано с существованием особого локализованного сверхпроводящего состояния в области двойников и, в частности двойниковых границ. Изменение свойств образцов, содержащих деформационные двойники, после низкотемпературного отжига и дислокационного пластического течения свидетельствуют о важной роли процессов релаксации напряжений, структуры двойников и их границ для существования этого особого сверхпроводящего состояния.

Авторы благодарят Ю.А.Осипьяна, В.В.Шмидта, Л.Я.Винникова, С.И.Москвина, Н.А.Тулину за внимание к работе и обсуждение результатов, М.А.Лебедкина за помощь и обсуждение, С.С.Шевага за техническую помощь.

#### Литература

1. Хайкин М.С., Хлюстиков И.Н. Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, 167.
2. Хлюстиков И.Н., Хайкин М.С. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 132.
3. Хлюстиков И.Н., Хайкин М.С. Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 191.
4. Баранова Г.К., Бобров В.С., Конецкий Ч.В., Сальнико в Г.И. ЖЭТФ, 1979, 77, 257.
5. Винников Л.Я., Засавицкий Е.А., Москвин С.И. ЖЭТФ, 1982, 83, 2225.
6. Гиндин И.А., Соколенко В.И., Стародубов Я.Д., Лазарев М.Б. ФНТ, 1982, 8, 643; Тезисы докладов 21-го и 22-го Всесоюзных совещ. по физ. низк. темпер., Харьков, 1980, ч. 1, 292 и Кишинев, 1982, ч. 3, 75.
7. Козн М., Глэдстоун Г., Йенсен М., Шриффер Дж. Сверхпроводимость полупроводников и переходных металлов, М.: Мир, 1972.