

## ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ТОКА ОТ РАЗМЕРА ЗЕРНА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ НИОБИИ

Л.А. Винников, О.В. Жариков, Ч.В. Копецкий, Е.Б. Шилова

В интервале размеров зерен  $100 - 10$  мкм в поликристаллическом ниобии получена экспоненциальная зависимость плотности критического тока от обратной величины размера зерна.

Предполагается, что границы зерен в сверхпроводниках второго рода в смешанном состоянии могут служить центрами пиннинга решетки линий потока (РЛП) для материалов, обладающих анизотропией сверхпроводящих свойств [1].

Для изучения пиннинга РЛП исследуется зависимость плотности критического тока ( $j_c$  от размера зерна ( $d$ ), поскольку последний определяет площадь межкристаллитной поверхности и, тем самым, число (площадь) мест закрепления РЛП. Экспериментальные данные о зависимости  $j_c$  от  $d$  известны только для сплавов и соединений: Nb-Zr [2], Nb<sub>3</sub>Sn [3], V<sub>3</sub>Ga [4]. Полученные результаты разноречивы и трудно сопоставимы.

Поскольку ниобий является элементарным сверхпроводником второго рода и характеризуется заметной анизотропией сверхпроводящих свойств [5], целесообразно получить сведения о зависимости  $j_c(d)$ .

Исходная холоднотянутая ниобиевая проволока  $\phi = 1$  мм марки НВЧ (99,3%) отжигалась в безмасляном вакууме не хуже  $5 \cdot 10^{-8}$  тор. Варацией температуры (800 - 1000°C) и времени отжига (1 - 4 часа) получены серии образцов с  $d$  от  $\approx 10$  до  $\approx 550$  мкм. Размер зерна определялся из средней площади зерна, найденной по методу Салтыкова [6], при аппроксимации сечения зерна правильным шестиугольником.

После отжигов измерялось сопротивление при комнатной температуре ( $R_{293^\circ\text{K}}$ ) и сопротивление при температуре  $4,2^\circ\text{K}$  в магнитном поле  $H = 6$  кэ ( $R_{4,2^\circ\text{K}, 6\text{кэ}}$ ). Оказалось, что отношение  $R_{293^\circ\text{K}}/R_{4,2^\circ\text{K}, 6\text{кэ}} \approx 30$  для всех образцов. Кроме того, одинаковым для всех образцов было и верхнее критическое поле  $H_{c2} \approx 3,3$  кэ. Эти данные указывают на постоянство концентрации примесей внедрения после различных отжигов [7]. Влияние дислокаций представляется незначительным, так как их плотность в рекристаллизованных зернах не превышает  $10^6$  см<sup>-2</sup> [8].

Результаты измерения  $j_c$  (в логарифмическом масштабе) как функции  $H$  для разных  $d$  приведены на рис. 1. Видно, что уменьшение  $d$  на один порядок увеличивает  $j_c$  на три порядка (кривые 1 - 6). На некоторых образцах в серии (кривая 4) наблюдался пик-эффект. Кривая 7 ( $d = 545$  мкм) отвечает, по существу, монокристаллическому образцу, поскольку  $d$  соизмеримо с диаметром образца, и дает представление об уровне  $j_c$  ( $\approx 10^2$  а/см<sup>2</sup>), определяемом другими факторами (помимо границ зерен): дислокациями и пр.

В полях, меньших  $H_{c2}$ , кривые  $j_c(H)$  почти параллельны, что свидетельствует о сохранении вида зависимости  $j_c(d)$  в смешанном состоянии. Найдено, что экспериментальные результаты могут быть опи-

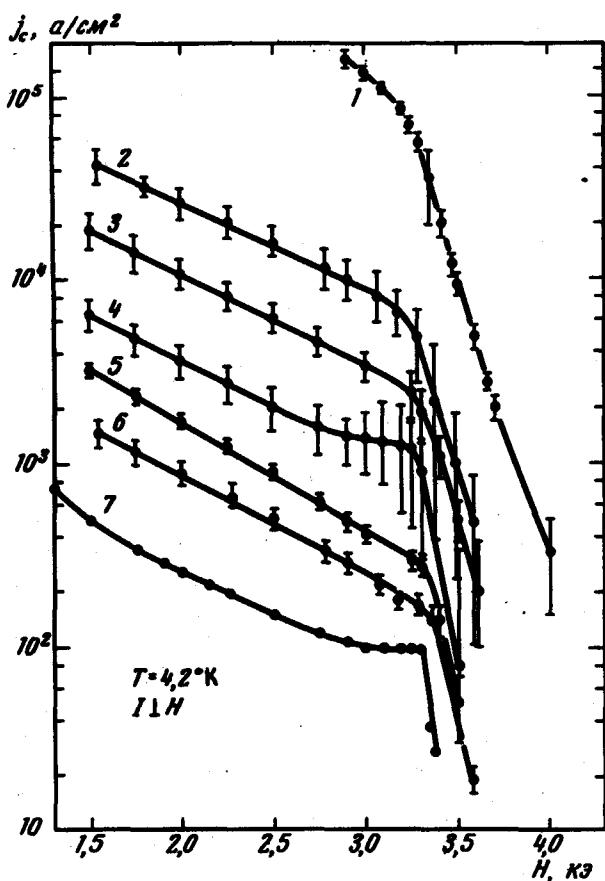


Рис. 1. Зависимость плотности критического тока от внешнего магнитного поля для образцов с размером зерна: 1 – 11 мкм; 2 – 17 мкм; 3 – 24 мкм; 4 – 42 мкм; 5 – 73 мкм; 6 – 107 мкм; 7 – 545 мкм

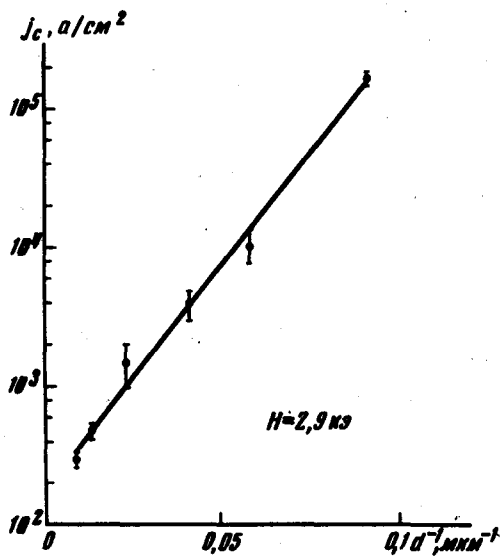


Рис. 2. Зависимость плотности критического тока от обратной величины размера зерна

саны линейной зависимостью:  $\lg j_c \sim 1/d$  для  $H < H_{c2}$ . На рис. 2 для  $H = 2,9$  кэ показан пример такой зависимости, где прямая проведена методом наименьших квадратов.

Таким образом, в ниобии, в диапазоне  $d$  от  $\sim 10$  до  $\sim 100$  мкм экспериментально обнаружена зависимость  $j_c \sim \exp(1/d)$ . Величина  $1/d$  по смыслу пропорциональна площади межкристаллитных границ на единицу объема или числу мест закрепления РЛП на единицу длины линии потока, поэтому согласно [9] можно было ожидать зависимость типа  $j_c \sim 1/d$ . Однако, экспериментально найдена существенно более сильная зависимость, для объяснения которой требуются дополнительные исследования.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
18 октября 1973 г.

### Литература

- [1] A.M.Campbell, T.E.Evetts. Adv. Phys., 21, 377, 1972.
- [3] G.R.Love, C.C.Koch. Appl. Phys. Lett., 14, 250, 1969.
- [3] Т.Т.Нанак, Р.Е.Энстром. Proc. X Intern. Conf. Low. Temp. Physics, Moscow, 11B, 10, 1967.
- [4] E.Nembach, K.Tachikawa, J.Less-Common Metals, 19, 359, 1961.
- [5] C.E.Gough. Solid State Comm. 6, 215, 1968.
- [6] Лаборатория металлографии, под ред. Б.Г.Лифшица, М., изд. Металлургия, 1965 г.
- [7] C.S.Tedmon, J.R.M.Rose, J.Wulf, J. Appl. Phys., 36, 164, 1965.
- [8] Ж.Фридель. Дислокации, М., изд. Мир, 1967.
- [9] P.W.Anderson, Y.B.Kim. Rev. Mod. Phys., 36, 39, 1964.