

ПОВЫШЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ ОЛОВА ДВОЙНИКОВАНИЕМ

И.Н.Хлюстиков¹⁾, М.С.Хайкин

Исследована сверхпроводимость образцов чистого олова, содержащих множество микроскопических двойников. Установлено, что критическая температура множества участков плоскости двойникования существенно повышается благодаря ослаблению эффекта близости вследствие тесного расположения двойников. Получены образцы, в которых сверхпроводимость появляется при температуре, вдвое превышающей обычную критическую температуру олова.

1. В опытах ¹ обнаружена сверхпроводимость плоскости двойникования (ПД) Sn, для которой критическая температура T_c оказалась на $\Delta T_c \simeq 0,04$ К выше, чем T_c окружающего бикристалла. Учитывая подавление сверхпроводимости ПД эффектом близости нормального металла, следует считать такое ΔT_c значительным. Ослабление эффекта близости соседством двух (или многих) ПД, находящихся на расстоянии $d \sim \xi_0$ ($\xi_0 = 3,5 \cdot 10^{-5}$ см – длина когерентности), наблюдается в ²: так удалось увеличить ΔT_c до 0,08 К. Очевидный способ устранения эффекта близости состоит в удалении нормального металла; для этого образец должен представлять собой пару тонких ($d \ll \xi_0$) кристаллов-двойников с лежащей посередине ПД. Очень заманчиво создание структуры, состоящей из множества тонких плоскопараллельных кристаллов, имеющих взаимную ориентацию двойников ². Расчет ΔT_c такой периодической структуры ³ показал эффективность этого пути. Однако, способа изготовления такого образца пока нет.

Другая возможность повышения ΔT_c заключается в создании образца, состоящего из микроскопических кристаллов-двойников, в котором размеры этих кристаллов и средние расстояния между участками пространственной сетки ПД меньше ξ_0 . Это направление было успешно опробовано в опытах ^{2, 4}; цель данной работы состояла в исследовании образцов, обладающих гораздо более плотной пространственной сеткой ПД.

Для измерений ΔT_c построен прибор, в котором температура образца может изменяться от 2 до 200 К при поддержании постоянной температуры 2 К измерительного прибора – дифференциального квантового магнитометра ⁵.

¹⁾ Сотрудник ИАЭ им. И.В.Курчатова.

2. В первых опытах мелкая сетка ПД в поверхностном слое образца Sn создавалась электроискровой резкой образца (проволокой Мо или W Φ 50 мкм; напряжение \sim 100 В, емкость \sim 5 мкф, среда—декан $C_{10}H_{22}$). Электронная микрофотография полученной поверхности показана на рис. 1, а.

На рис. 2 приведен вид записей магнитного момента M образца в функции от медленно (в течение 1 ÷ 10 мин) меняющегося магнитного поля. При $T \approx 20$ К образец находится в нормальном состоянии, и петля гистерезиса (рис. 2, а), вызываемого токами Фуко, имеет форму прямоугольника. При понижении T возникают (рис. 2): 1) наклон записи $M(H)$ на угол α , вызываемый появлением диамагнитной восприимчивости образца $\chi_D \propto \text{tg } \alpha$; 2) нелинейный гистерезис токов сверхпроводимости, разрушаемой полем H (наличие незатухающего тока сверхпроводимости, наблюдается при остановках S хода H). На рис. 3 приведены результаты измерений. Отметим, что чувствительность обнаружения χ_D значительно меньше, чем M .

3. В следующих опытах исследовались микроскопические частицы Sn. Для соблюдения химической чистоты частицы (разных размеров, в среднем \sim 1 мкм) получались взаимной элект-

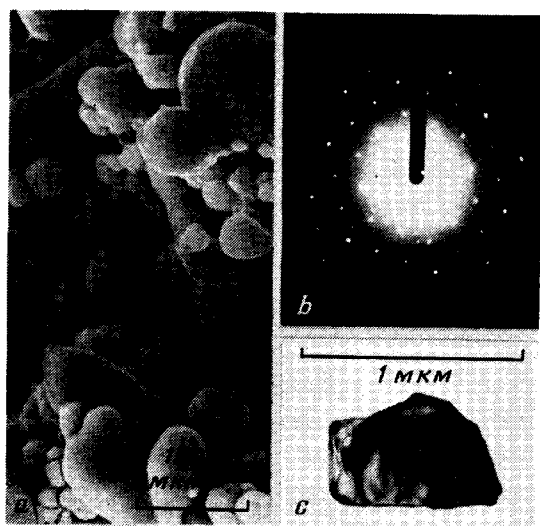


Рис. 1. а — Электронная фотография среза образца Sn; б — частица Sn; в — ее дифрактограмма

роисковой обработкой двух образцов Sn. Электронная фотография частицы приведена на рис. 1, б; ее монокристалличность показывает дифрактограмма рис. 1, в (сечение пучка электронов покрывает размеры частицы). Результаты исследования \sim 1 мм³ порошка таких частиц показаны на рис. 3 знаками 4: изменений M и χ_D нет до $T_c = 3,72$ К, когда наступает объемная сверхпроводимость Sn. Затем частицы Sn подверглись механическому двойникованию деформацией при $T \approx 80$ К, когда вероятность двойникования велика⁶: частицы были спрессованы в таблетку (\sim 1 мм³) плотностью 6 г/см³. Поверхностный слой таблетки был удален во избежание загрязнений; пребывание при комнатной температуре сняло остаточные напряжения в ней.

Результаты исследования сверхпроводимости таблетки показаны на рис. 3 знаками 5; быстрый рост M и рост χ_D начинаются при 7 К. Наблюдаемое падение M и прекращение роста χ_D при $T \lesssim 6$ К, обусловлено методической причиной: амплитуда развертки поля ± 10 Э недостаточна для разрушения сверхпроводимости таблетки и наблюдаются лишь частные гистерезисные циклы. После отжига до 200° С в течение ~ 2 ч температура роста χ_D снизилась (б на рис. 3); однако, отжиг на воздухе мог привести к окислению и изменению структуры таблетки.

4. Обсуждение начнем с опытов с частицами. Подчеркнем их химическую чистоту: в процессе изготовления частиц олово не соприкасалось с другими металлами; соединения, ко-

которые могли возникнуть, неэлектронпроводны; точное значение T_c частиц служит контролем их чистоты. Количество в таблетке олова, сверхпроводящего при ~ 6 К, можно оценить по χ_D : полагая для частиц $\chi_D = -1/4\pi$, получим их объем $\sim 10^{-4}$ от таблетки. Это, однако, не означает, что сверхпроводящие частицы редки, так как эффект Мейснера для них не является полным.

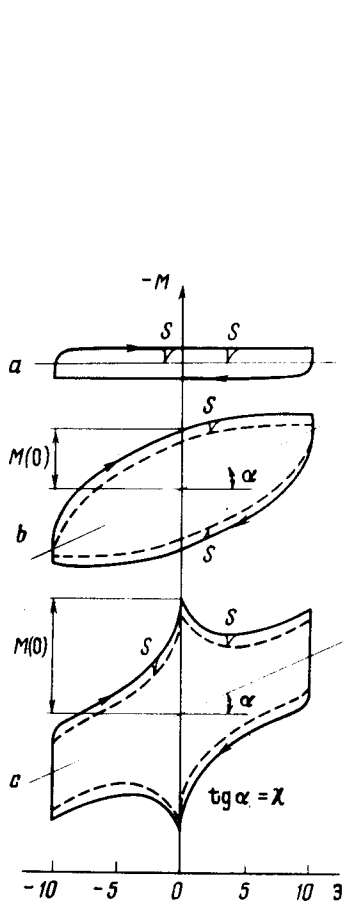


Рис. 2

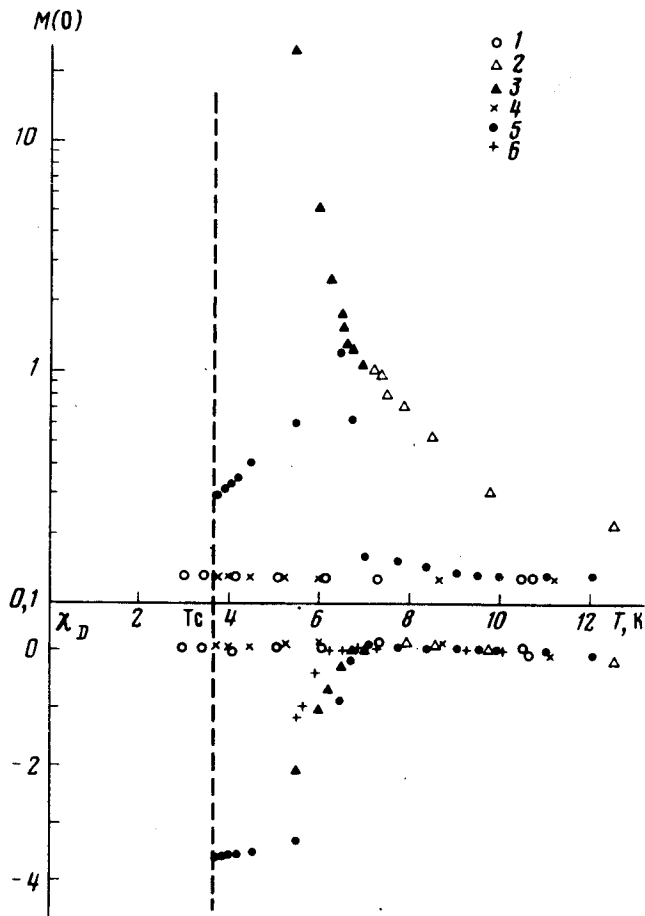


Рис. 3

Рис. 2. Вид записей магнитного момента образцов Sn в функции от медленно меняющегося магнитного поля H ; a – нормальное состояние, $T = 20$ К; b – срез при $7 < T < 12$ К; таблетка при $3,72 < T < 7$ К; c – срез при $3,72 < T < 7$ К; пик при $H = 0$ вызван током, текущим по периметру среза a , отличающегося от таблетки большим размагничивающим фактором; S – остановки хода магнитного поля

Рис. 3. Магнитный момент M при $H = 0$ и диамагнитная восприимчивость χ_D образцов Sn в функции от температуры T ($T_c = 3,72$ К – критическая температура Sn): 1 – показания прибора без образца (контроль), 2 – срез, запись вида рис. 2, b ; 3 – срез, запись вида рис. 2, c ; 4 – кристаллические частицы, 5 – спрессованная из частиц таблетка, 6 – она же после отжига

Обратим внимание на весьма наглядный результат опыта: возникновение сверхпроводимости Sn при повышенной температуре ~ 7 К достигнуто только деформацией частиц при сохранении их химической чистоты и в отсутствии напряжений. Во многих исследованиях Sn (как и других металлов) наблюдалось повышение T_c вследствие действия структурных

факторов (в отсутствии напряжений) не более чем на $\sim 15\%$ (например, ⁷), тогда как в наших опытах получено повышение T_c на $\sim 100\%$. По-видимому, наблюдаемая сверхпроводимость ПД возникает в таких условиях, когда подавление ее эффектом близости ослаблено тесным соседством участков ПД, создаваемых деформацией частиц Sn. Здесь следует объяснить, почему плотность двойников в микрочастицах больше, чем, например, в шлифованном кристалле. При механическом двойниковании двойники растут узкими клиньями от поверхности в глубь кристалла, пока не наткнутся на его границу; дальнейший их рост затрудняется или прекращается ⁸. Поэтому двойниковые слои должны быть тем тоньше, чем меньше кристалл, и при сильной деформации, вызывающей появление многих двойников в частице, сетка ПД в ней должна быть особенно густой.

Опыт со срезом образца Sn показал такую же $T_c \approx 7\text{ К}$, что и опыт с таблеткой (рис. 3). Причина этого совпадения представляется следующей. Разбиение ПД на участки с размерами R ведет к уменьшению ΔT_c , крутому при $R \ll \xi_0$. С другой стороны, сближение участков ПД ведет к увеличению ΔT_c благодаря ослаблению эффекта близости ^{2, 3}. Следствие этих двух обстоятельств: существование оптимальной густоты пространственной сетки участков ПД, при которой ΔT_c максимально. Именно это ΔT_c и должно проявиться в опытах с реальными образцами вследствие разнообразия R . Теоретический анализ, проведенный А.И.Буздиным на модели — бикристаллических шариках с диаметральными ПД — привел к оценке максимального значения ΔT_c порядка нескольких T_c для $R \sim \xi_0$, что согласуется с результатами опытов.

Измерения M как на срезе (рис. 3, знаки 2), так и на таблетке (знаки 5) указывают на появление сверхпроводимости и при $T > 7\text{ К}$. Причиной этому могут быть случайные образования тонких параллельных слоев двойников, характеризуемых условиями $d \ll \xi_0, R \gg \xi_0$, при которых ³ $\Delta T_c \gg T_c$.

Таким образом, описанные опыты подтвердили обсуждавшуюся в ^{2, 3} возможность существенного повышения критической температуры сверхпроводимости множества тесно расположенных плоскостей двойникования благодаря ослаблению действия эффекта близости, подавляющего сверхпроводимость уединенной плоскости двойникования.

П.Л.Капице авторы благодарны за интерес к работе, В.И.Ожогину — за содействие, А.И.Буздину — за обсуждение, Е.Г.Книжник — за выполнение электронограмм, Г.С.Чернышеву — 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. Аверин В.В., Буздин А.И., Булаевский Л.Н. ЖЭТФ, 1983, 84, 737.
4. Хлюстиков И.Н., Хайкин М.С. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 207.
5. Хлюстиков И.Н., Хайкин М.С. ПТЭ, 1980, №2, 184.
6. Магуйата С. J. Phys. Soc. Jap., 1960, 15, 1243.
7. Комник Ю.Ф. ФНТ, 1982, 8, 115.
8. Классен-Неклюдова М.В. Механическое двойникование. М.: изд. АН СССР, 1960.