

Академик АН УССР Б. Г. ЛАЗАРЕВ, А. А. МАЦАКОВА

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО NbSn_2

Интерес к системе ниобий — олово проявляется в связи с высокими сверхпроводящими параметрами интерметаллида Nb_3Sn . Свойства Nb_3Sn довольно хорошо изучены; меньше данных о сверхпроводящих свойствах других интерметаллидов NbSn_2 и Nb_6Sn_5 , имеющих в системе и сопутствующих Nb_3Sn при диффузионном способе наращивания слоев высокотемпературного сверхпроводника.

Ни одна из работ по сверхпроводимости NbSn_2 не проведена на выделенных в чистом виде монокристаллах этого соединения, что не позволило определить основные характеристики сверхпроводника. В настоящей работе приведены такие характеристики (критическая температура T_k , критические магнитные поля H_{k1} , H_k , H_{k2} , параметр Гинзбурга — Ландау κ) для монокристаллов NbSn_2 и делается вывод о типе сверхпроводимости этого интерметаллида.

1. Монокристаллы NbSn_2 были получены при длительном выдерживании ниобия в жидком олове при температуре ниже верхней температурной границы существования этого интерметаллида (¹).

Исходные материалы (ниобий чистотой 99,5% и олово марки ЧДА чистотой 99,9%) брались не в стехиометрическом соотношении, а со значительным избытком олова. Ниобиевую проволоку диаметром 0,27 мм раскатывали в фольгу толщиной 0,03 мм; 0,35 г такой фольги располагали в виде спирали в большом количестве жидкого олова. После выдержки при 820°С в течение 170 час. в вакууме 10^{-6} мм рт. ст. блок олова был растворен в соляной кислоте, в осадке обнаружены монокристаллы размером до 2 мм. Многие из них имеют плоскую форму с гексагональной огранкой плоскостей, встречаются сросшиеся монокристаллы.

Полученные монокристаллы были подвергнуты рентгеноструктурным исследованиям. Сравнение рентгенограмм вращения, полученных в хромовом отфильтрованном излучении от монокристаллов, с дебаеграммой от порошка NbSn_2 , известной в литературе (2), показало, что исследуемые монокристаллы являются соединением NbSn_2 . Линий других фаз системы ниобий — олово в рентгенограммах от монокристаллов не обнаружено. Анодное окисление (³) также подтвердило, что были получены чистые монокристаллы NbSn_2 .

По-видимому, во время выдержки образовывался раствор ниобия в олове, из пересыщенного раствора в соответствии с диаграммой состояния вырастали монокристаллы NbSn_2 . Отсутствие других фаз (Nb_3Sn и Nb_6Sn_5) можно объяснить значительно меньшей скоростью роста этих интерметаллидов при температуре 820°С.

На одном из монокристаллов NbSn_2 размерами $\sim 2,0 \times 0,5 \times 0,5$ мм³ была измерена температура сверхпроводящего перехода T_k . Токовые и потенциальные контакты изготавливались следующим образом. Тонкая медная залуженная проволока диаметром 0,02 мм обвивалась несколько раз в виде колечка вокруг образца, затем это колечко пропаивалось по всему периметру чистым оловом. Было сделано четыре отдельных колечка, к которым подпаивались токовые и потенциальные медные провода. При за-

твёрдевании олово обжимало образец, создавая довольно надёжный механический контакт. Измерение сопротивления проводилось на компенсационной схеме при токе 1 ма. Сопротивление образца при $4^{\circ},2\text{ K}$ ($3,2 \cdot 10^{-4}\text{ ом}$) измерялось с точностью 1—3%.

При нескольких температурах ниже T_K была измерена намагниченность монокристаллов NbSn_2 . Для измерений кристаллики ($\sim 0,15\text{ г}$) компактно располагались в трубке диаметром 1,6 мм и длиной 10 мм; для того чтобы они не сдвигались один относительно другого во время измерений, образец пропитывался парафином.

Измерения намагниченности проводились баллистическим методом путем перемещения образца в однородном постоянном магнитном поле из одной измерительной катушечки в другую, включенную ей навстречу. Магнитное поле создавалось соленоидом из сверхпроводящей проволоки Nb—Zr—Ti. Однородность магнитного поля в области перемещения образца была лучше 0,03%. Калибровка кривой намагничения образца осуществлялась по начальному прямолинейному участку кривой, точность измерения намагниченности 0,5 гс.

2. На рис. 1 приведена кривая сверхпроводящего перехода для монокристалла NbSn_2 . Видно, что $T_K = 2^{\circ},52\text{ K}$; узкий переход ($\Delta T = 0^{\circ},02$) находится в соответствии с малым относительным остаточным сопротивлением $R_{4^{\circ},2\text{ K}} / R_{300^{\circ}\text{ K}} = 0,025$ этого интерметаллида.

Впервые сверхпроводимость NbSn_2 была описана в (4): обнаружено падение сопротивления образца до нуля в интервале температур $4,2\text{—}2^{\circ},6\text{ K}$. В нашей работе (5) были получены более определенные данные — у образ-

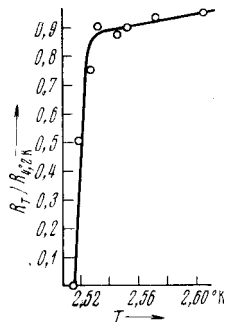


Рис. 1. Сверхпроводящий переход NbSn_2

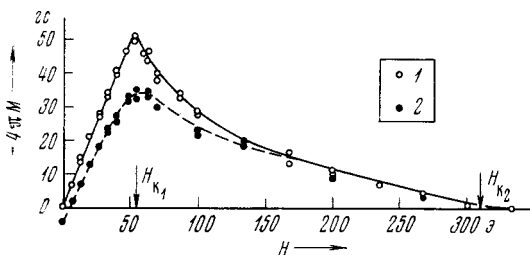


Рис. 2

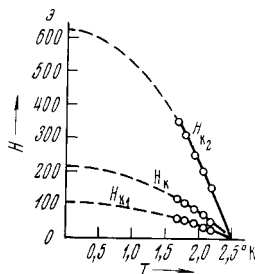


Рис. 3

Рис. 2. Зависимость намагничения от напряженности магнитного поля для монокристаллов NbSn_2 при $T = 1^{\circ},79\text{ K}$: 1 — прямой, 2 — обратный ход

Рис. 3. Зависимость критических магнитных полей NbSn_2 от температуры

ца NbSn_2 , изготовленного спеканием компонент, $T_K = 2^{\circ},70\text{ K}$, $\Delta T = 0^{\circ},20$. После этого были сообщены значения $T_K = 2^{\circ},80\text{ K}$, $\Delta T = 0^{\circ},40$ для диффузионного слоя NbSn_2 на монокристалле Nb_6Sn_5 (6) и $T_K = 2^{\circ},68\text{ K}$, $\Delta T = 0^{\circ},03$ для смеси кристалликов NbSn_2 и Nb_6Sn_5 (7). (Nb_6Sn_5 либо вообще не сверхпроводит (2), либо сверхпроводит при температуре более низкой, чем NbSn_2 (7).)

Наиболее узкий сверхпроводящий переход наблюдается для наших монокристаллов NbSn_2 . По-видимому, это самые однородные ненапряженные образцы. Спекание компонент и диффузионный метод не обеспечивает должной однородности, поэтому сверхпроводящий переход расширяется на порядок и более.

На рис. 2 приведена типичная кривая намагничения для монокристаллов NbSn_2 . Такая кривая характерна для сверхпроводников второго рода

(⁸); максимум на кривой намагничивания довольно острый, проникновение магнитного потока при $T = 1^{\circ},79$ К начинается при $H_{k_1} = 52$ э и полное восстановление нормального состояния происходит при $H_{k_2} = 310$ э. Гистерезис, определенный как разность площадей под кривой намагничивания при прямом и обратном ходе, составляет $\sim 20\%$; замороженный магнитный поток составляет $\sim 10\%$ от максимальной намагниченности.

Из площади под прямым ходом кривой намагничивания была определена величина термодинамического критического магнитного поля H_k для этого сверхпроводника.

На рис. 3 приведена зависимость критических магнитных полей H_{k_1} , H_k и H_{k_2} от температуры для монокристаллов $NbSn_2$. Экстраполяция к нулевой температуре производилась по параболическому закону; получены следующие значения: $H_{k_1}(0) = 100$ э, $H_k(0) = 210$ э, $H_{k_2}(0) = 620$ э.

По формуле (⁹)

$$H_{k_2} = \sqrt{2\kappa} H_k,$$

а также наклону кривой намагничивания вблизи H_{k_2} была определена величина параметра Гинзбурга — Ландау $\kappa = 2,1$ для монокристаллического $NbSn_2$.

Интересно отметить, что при сравнительно малом относительном остаточном сопротивлении $R_{4^{\circ},2\text{ К}}/R_{300^{\circ}\text{ К}} = 0,025$ и узкой кривой сверхпроводящего перехода ($\Delta T = 0^{\circ},02$) интерметаллид $NbSn_2$ является сверхпроводником второго рода.

В заключение авторы выражают глубокую признательность Н. Н. Матюшенко за рентгеноструктурные исследования, Л. С. Лазаревой за изготовление соленоида со сверхпроводящей обмоткой и О. Н. Овчаренко за полезную дискуссию.

Физико-технический институт
Академии наук СССР
Харьков

Поступило
2 VII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. С. Коган, А. И. Кривко и др., ФММ, **15**, 143 (1963). ² J. H. N. van Vucht, D. J. van Ooijen, H. A. C. M. Bruning, Phil. Res. Rep., **20**, 136 (1965).
- ³ M. L. Picklesimer, Appl. Phys., Lett., **1**, 64 (1962). ⁴ D. J. van Ooijen, J. H. N. van Vucht, W. F. Druyvesteyn, Phys. Lett., **3**, 128 (1962). ⁵ В. С. Коган, А. И. Кривко и др., Сборн. Металловедение и металлофизика сверхпроводников, «Наука», 1965, стр. 76.
- ⁶ R. E. Enstrom, J. Appl. Phys., **37**, 4880 (1966).
- ⁷ J. P. Charlesworth, Phys. Lett., **21**, 501 (1966). ⁸ Л. В. Шубников, В. И. Хоткевич и др., ЖЭТФ, **7**, 221 (1937). ⁹ А. А. Абрикосов, ЖЭТФ, **32**, 1442 (1957).