

Член-корреспондент АН СССР Е. М. САВИЦКИЙ, Б. Я. СУХАРЕВСКИЙ, В. В. БАРОН,
Э. Е. АНДЕРС, В. А. ФРОЛОВ, И. В. ШЕСТАКОВА

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ НИОБИЙ — ЦИРКОНИЙ

В последние годы изучение сверхпроводимости переросло рамки фундаментальных исследований и приобрело практическое значение. Оказались необходимыми технологические разработки получения сверхпроводящих материалов с высокими критическими параметрами; успех таких разработок зависит от понимания процессов, связанных со сверхпроводящим переходом в перспективных для практического применения сплавах и соединениях (¹).

Измерения тепловых свойств, в частности теплопроводности, позволят судить о механизмах рассеяния электронов и фононов в сверхпроводящих сплавах с различной концентрацией примесных атомов и о скорости бозе-

Таблица 1

Содержание Zr, ат. %	T, °K	$\rho \cdot 10^6$, ом·см	α , $\frac{\text{мВт}}{\text{град}^2 \cdot \text{см}}$ *
0	9,1	1,08	—
1,7	9,5	0,76	—
5,1	10,0	5,03	4,61
7,1	10,55	6,67	3,67
9,8	10,6	10,22	2,39
20,0	10,95	20,61	1,19
40,6	10,20	40,95	0,60

* α — коэффициент, определяющий температурную зависимость электронной теплопроводности в нормальном состоянии, $\kappa_{en} = \alpha T$.

эйнштейновской конденсации электронов при переходе в сверхпроводящее состояние. Результаты, полученные на основе исследований температурной зависимости теплопроводности, необходимы также и для проведения теплофизических расчетов сверхпроводящих магнитных систем.

Нами проводились исследования теплопроводности твердых растворов системы ниобий — цирконий в широком диапазоне концентраций Zr. Сплавы готовили методом многократного переплава в вакуумной электро-дуговой печи на медном водоохлаждаемом поду в атмосфере чистого гелия, $P = 400\text{—}500$ мм рт. ст. Затем вытачивались образцы соответствующей для измерений теплопроводности формы, протравливались для очистки поверхности и отжигались в вакуумной печи при температуре 1500°C в течение 8 час. при давлении 10^{-6} тор с целью гомогенизации. После завершения отжига проводилось быстрое охлаждение образцов для фиксации β -твердого раствора циркония в ниобии, имеющего о.ц.к.-решетку.

Измерения были выполнены на установке, предназначенной для комплексных измерений теплопроводности и электропроводности кристаллических веществ в интервале температур $2\text{—}300^\circ\text{K}$ (²).

Объекты исследований представляли, главным образом, сплавы, для которых вклад решеточной компоненты теплопроводности был существенным как в сверхпроводящем, так и в нормальном состоянии.

Температурная зависимость коэффициентов теплопроводности исследованных образцов изображена на рис. 1, а.

Более тщательная обработка калибровки германиевых термометров⁽³⁾, использованных в данной работе, позволила уточнить представленную

в⁽⁴⁾ температурную зависимость теплопроводности ниобия с 1,7 ат. % циркония в области сверхпроводя-

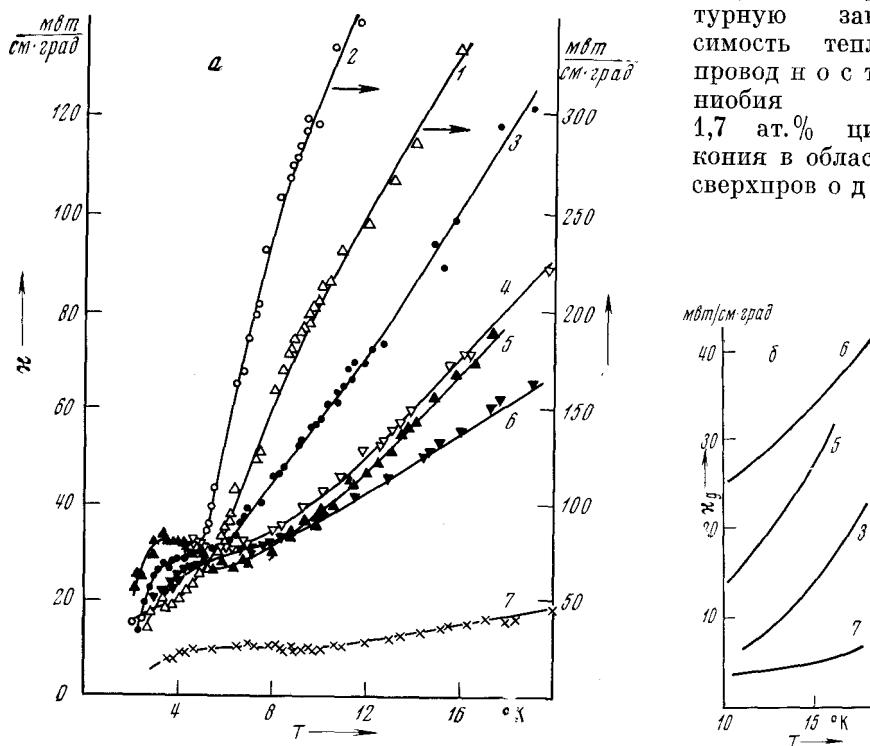


Рис. 1. Зависимость коэффициентов теплопроводности κ (а) и решеточной теплопроводности κ_g (б) сплавов Nb—Zr от температуры при различном содержании Zr: 1—0; 2—1,7 ат.%; 3—5,1; 4—7,1; 5—9,8; 6—20; 7—40,6 ат. %

щего перехода. Следует отметить, что теплосоппротивление исследованного образца ниобия больше теплосоппротивления сплава состава Nb—1,7 ат. % Zr. Остаточное электросопротивление этого образца также больше, чем у сплава с 1,7 ат. % Zr (табл. 1). По-видимому, это объясняется эффектом раскисления ниобия цирконием. Однако при дальнейшем увеличении содержания циркония теплопроводность образцов резко уменьшается.

В области температур 3—5° К теплопроводность большинства образцов имеет максимум: увеличение фоновой теплопроводности с понижением температуры, обусловленное уменьшением рассеяния фононов квазичастичными возбуждениями при малой плотности последних, сменяется при более низких температурах уменьшением теплопроводности после достижения длины свободного пробега фононов, соизмеримой с размерами субзерен.

Разделение решеточной и электронной компонент теплопроводности в нормальном состоянии проводилось с использованием закона Видемана—Франца.

Как показали исследования (табл. 1), электросопротивление ρ сплавов резко зависит от их состава и практически равно остаточному сопротивлению в исследованном интервале температур, что подтверждает преобладание примесного рассеяния электронов.

Изменение теплопроводности с концентрацией определяется, несомненно, электронной компонентой (см. табл. 1), которая монотонно уменьшается при увеличении концентрации растворов.

Решеточная теплопроводность в нормальном состоянии находилась вычитанием из общей теплопроводности электронной компоненты. Изменение решеточной теплопроводности в нормальном состоянии в зависимости от концентрации имеет немонотонный характер. Фононная теплопроводность достигает максимума при содержании циркония 20 ат.%, а затем резко уменьшается с увеличением содержания циркония (рис. 1, б).

Поскольку фононы, главным образом, рассеиваются на электронах, то увеличение решеточной теплопроводности и затем уменьшение ее связано со своеобразным изменением электронной плотности в противоположном направлении. А это, в свою очередь, предполагает немонотонное изменение электронного спектра исследуемой системы сплавов.

Для слабо разбавленных твердых растворов разделение решеточной компоненты теплопроводности не проводилось, поскольку фононная теплопроводность в этом случае представляет малую разность двух больших величин и ее нахождение связано с большой неопределенностью. Более того, электронная теплопроводность не описывается законом Видемана — Франца, поскольку вычисленные числа Лоренца этих образцов оказались меньше зоммерфельдовского значения из-за ощутимого вклада идеального электросопротивления.

Следует отметить плавный характер температурных зависимостей теплопроводности сплавов ниобия с цирконием: в точках перехода, найденных по результатам измерений электропроводности, не наблюдается изменений производной $d\kappa/dT$. Объяснение, вероятно, можно найти или в тривиальном увеличении фононной теплопроводности при бозе-эйнштейновской конденсации электронов, или в особенности электронного спектра исследуемых твердых растворов.

Кажется маловероятным, что для всех исследованных сплавов при критической температуре уменьшение электронной теплопроводности в точности компенсировалось увеличением теплопереноса фононами.

Наши предварительные исследования теплоемкости некоторых сплавов данной системы указывают на малую величину энергетической щели, так что, вероятно, именно этим обстоятельством обусловлено отсутствие излома $\kappa(T)$ в точке T_c .

Другим возможным объяснением указанной особенности было бы наличие в энергетическом спектре электронов нескольких зон с существенно различными сверхпроводящими щелями, как это предполагается на основании исследований для твердых растворов системы ниобий — титан ⁽⁵⁾. В этом случае при температуре, несколько меньшей критической, электронная теплопроводность определяется электронами зоны с малой энергетической щелью и поэтому медленно изменяется с понижением температуры.

Физико-технический институт низких температур
Академии наук УССР
Харьков

Поступило
4 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. М. Савицкий, В. В. Барон и др., Металловедение сверхпроводящих материалов, «Наука», 1969. ² Б. Я. Сухаревский, Э. Е. Андерс, Т. Г. Казанская, Физика конденсированного состояния. Сборн. тр. Физ.-технич. инст. низких температур АН УССР, Харьков, в. 6, 1969, стр. 135. ³ Д. Н. Астров, Автореф. докторской диссертации, Физ.-технич. инст. низких температур АН УССР, Харьков, 1971. ⁴ Б. Я. Сухаревский, Э. Е. Андерс, К. В. Мальчуженко, Тез. докл. Советско-Японской конфер. по физике низких температур, Новосибирск, 1969. ⁵ Б. Я. Сухаревский, И. С. Щеткин, И. И. Фалько, ЖЭТФ, 60, 277 (1971).