

в области $T < 100$ К. Все это указывает на сохранение каналов проводимости. Таким образом, новые ТЭ по рабочей температуре совместимы с высокотемпературными сверхпроводниками.

В ТЭ $\text{CsAg}_4\text{Br}_{3-x}\text{I}_{2+x}$ реализуются иные, чем в известных ТЭ семейства RbAg_4I_5 , последовательности температурных ФП. Так, отсутствует небольшой скачок σ в области 208 К, который в ТЭ $\text{Rb}_{1-x}\text{Cs}_x\text{Ag}_4\text{I}_5$ связывается с ФП 1-го рода $\alpha-\beta$ (см. рисунок). В то же время у $\text{CsAg}_4\text{Br}_{2.75}\text{I}_{2.25}$ имеется аномалия σ в области 185 К, которая похожа на ФП 1-го рода, а у ТЭ $\text{CsAg}_4\text{Br}_{2.5}\text{I}_{2.5}$ вообще нет аномалий в узких температурных интервалах.

Объяснение полученных экспериментальных результатов следует искать в особенностях кристаллического строения новых ТЭ. В частности, приведем соображения, касающиеся термодинамической стабильности ТЭ при 300 К (область стабильности большинства известных ТЭ семейства RbAg_4I_5 лежит выше 400 К). Существенными элементами структуры ТЭ семейства являются галогенные октаэдры (иодные в $\alpha\text{-RbAg}_4\text{I}_5$ или хлорные в $\alpha\text{-RbCu}_4\text{Cl}_{3-x}\text{I}_{2+x}$), каждый из которых в центре содержит ион Rb^+ . Расстояние между разноименно заряженными ионами в октаэдре (см. [5]) очень близко к сумме их ионных радиусов. Будем считать, что в ТЭ $\alpha\text{-CsAg}_4\text{Br}_{3-x}\text{I}_{2+x}$ октаэдры образуются ионами Br^- и содержат ионы Cs^+ . Сумма ионных радиусов этих частиц практически совпадает с расстоянием между Rb^+ и I^- в $\alpha\text{-RbAg}_4\text{I}_5$. Можно предположить, что соотношение между размером подвижного катиона и геометрическими размерами октаэдра определяет термодинамическую стабильность ТЭ при 300 К.

Авторы выражают благодарность К. Шахлевичу за помощь в идентификации рентгенограмм, В. С. Крапошину и Е. Б. Якимову за полезные обсуждения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Деспотули А. Л. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 10. С. 3155—3157.
- [2] Деспотули А. Л., Личкова Н. В., Кукоз Ф. И., Загороднев В. Н. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 7. С. 2214—2216.
- [3] Gellve S. // Science. 1967. V. 157. P. 310—312.
- [4] Bounpant L., Obaid J., Haget J. // J. Appl. Cryst. 1977. V. 10. N 3. P. 203—205.
- [5] Gellve S., Akridge J. R., Wilber S. A. // Phys. Rev. B. 1979. V. 19. N 10. P. 5396—5409.

Институт проблем технологии
микроэлектроники и обособченных материалов АН СССР
Черноголовка

Поступило в Редакцию
9 марта 1989 г.

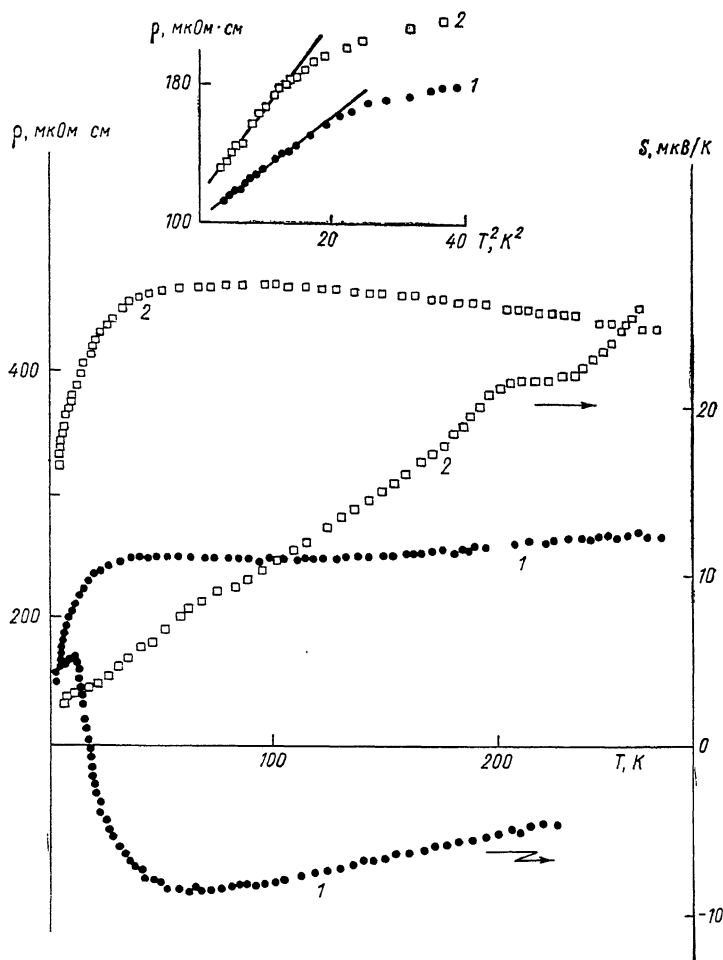
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ YbPdSb и YbPdBi

Ф. Г. Алиев, Г. И. Пак, Т. М. Шкатова

Как известно [1], отличительной особенностью систем с тяжелыми фермионами (СТФ) является наличие носителей с гигантской эффективной массой, превышающей на 2—3 порядка массу свободного электрона. Главным аргументом в пользу наличия в системе тяжелых фермионов является аномально большой вклад в электронную часть теплоемкости $\gamma = C/T$ при отсутствии в системе магнитного перехода. Практически все известные в настоящее время СТФ получены на основе интерметаллических соединений церия или урана. Другой характерной особенностью СТФ

является то, что все эти соединения характеризуются кристаллической структурой достаточно низкой симметрии, позволяющей достигать дублетного основного состояния и, следовательно, рекордных значений плотности электронных состояний вблизи энергии Ферми $g(\epsilon_F)$.

Среди соединений Yb максимальная величина $\gamma \approx 200$ мДж/моль·К² наблюдалась у соединения YbCuAl [1]. Однако недавно в [2] с помощью измерений магнитной восприимчивости и теплоемкости было показано, что системы YbPdSb и YbPdBi,¹ возможно, являются первыми соедине-



ниями Yb, в которых реализуется тяжелофермионное состояние при низких температурах. В настоящей работе впервые исследованы электрические и термоэлектрические свойства соединений YbPdSb и YbPdBi. В совокупности с данными работы [2] наши результаты свидетельствуют об аномально большой эффективной массе носителей в YbPdSb и YbPdBi при низких температурах.

Исследуемые образцы синтезировались методом дуговой плавки и затем отжигались в вакууме при 600°C в течение 50 ч. Рентгеноструктурный анализ указывает на однофазность образцов. Кристаллическая структура YbPdSb и YbPdBi является кубической со структурным типом MgAgAs, что соответствует данным [2]. Период решетки $a \approx 6.465$ (2) Å для YbPdSb и $a \approx 6.547$ (3) Å для YbPdBi.

¹ В процессе публикации статьи нам стало известно, что тяжелофермионное основное состояние реализуется, возможно, и в ряде гидридов иттербия [3].

Измерение температурных зависимостей удельного электросопротивления ρ и коэффициента термоэдс S проводилось на автоматизированной установке [4].

На рисунке показаны температурные зависимости $\rho(T)$ для YbPdBi (1) и YbPdSb (2) в диапазоне $2 < T < 300$ К. Удельное сопротивление YbPdSb довольно велико $300 < \rho < 500$ мкОм·см, характеризуется широким максимумом с $T_{\text{max}} \approx 50 \div 100$ К и существенным уменьшением ρ при $T < 30$ К. На температурной зависимости $\rho(T)$ для YbPdBi наблюдаются два широких максимума с $T_{\text{max}} \approx 200$ и 40 К с амплитудой $\sim 5\%$ и существенное уменьшение ρ при $T < 20$ К.

В диапазоне $2 < T < 4.2$ К температурные зависимости $\rho(T)$ у обоих образцов можно описать фермижидкостным законом $\rho = \rho_0 + AT^2$ (см. вставку к рисунку) с коэффициентом $A \approx 28$ и 18 мкОм·см/К² для систем YbPdSb и YbPdBi соответственно. На рисунке представлены температурные зависимости коэффициента термоэдс $S(T)$ для YbPdBi и YbPdSb . Кривая $S(T)$ у YbPdSb характеризуется аномалиями вблизи $T \approx 180$ и ≈ 70 К и уменьшением S вплоть до гелиевых температур. Температурная зависимость $S(T)$ у YbPdBi имеет необычный вид: наблюдается широкий минимум $T_{\text{min}} \approx 80$ К и смена знака S вблизи $T \approx 15$ К.

Анализируя полученные результаты, прежде всего отметим, что большая величина удельного сопротивления ρ для YbPdSb может быть обусловлена либо частичным разупорядочением атомов в кристаллической решетке, либо особенностью кристаллической структуры системы YbPdSb , наличие регулярной подрешетки вакансий в которой индуцирует диэлектризацию спектра в ряде соединений RNiSn ($R = \text{Ti, Zr, Hf}$) [5]. Фермижидкостный коэффициент A позволяет оценить величину электронной части теплоемкости, поскольку $A \approx b \gamma^2$ (где $b \approx 10^{-5}$ мкОм·см·моль²·К⁴/мДж²) для большинства СТФ [6]. Такая оценка дает значение $\gamma \approx \approx 1700$ мДж/моль·К² для YbPdSb и 1300 мДж/моль·К² в случае YbPdBi , которые близки к наблюдаемым в прямых экспериментах [2]. Из этих данных можно также грубо оценить температуру Кондо T_K ($T \rightarrow 0$) ≈ 5 К для YbPdSb и T_K ($T \rightarrow 0$) ≈ 8 К для YbPdBi . Отличие вида кривых $\rho(T)$ у исследованных соединений при промежуточных температурах может быть обусловлено различием высокотемпературной T_K^h , учитывающей смещение основного состояния с состояниями, расщепленными кристаллическим полем на величину Δ_{CF} . Поскольку, по данным измерения C/T , плотность электронных состояний на уровне Ферми $g(\epsilon_F)$ при $T > 10$ К для YbPdBi почти вдвое превышает $g(\epsilon_F)$ для YbPdSb , то можно предположить, что $\Delta_{CF}(\text{YbPdSb}) > \Delta_{CF}(\text{YbPdBi})$. Оценку величины $\Delta_{CF}(\text{YbPdBi}) \approx 50 \div 70$ К можно получить из температуры максимума термоэдс. Однако более точные значения этих параметров дадут только эксперименты по нейтронному рассеянию.

Авторы выражают благодарность В. В. Мошалкову за обсуждение результатов, Р. В. Сколоздре за помощь в анализе рентгеноструктурных данных.

Список литературы

- [1] Brandt N. B., Moshchalkov V. V. // Advan. Phys. 1984. V. 33. N 2. P. 373—401.
- [2] Dhar S. K., Nambudripad N., Yijayraghavan N. // J. Phys. (F). 1988. V. 18. N 1. P. L41—L44.
- [3] Drulis M., Drulis H., Stalinskii B. // J. Less. Comm Met. 1988. V. 141. N 1. P. 207—212.
- [4] Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Залялютдинов М. К., Мошалков В. В., Ковачик В., Чудинов С. М., Ясницкий Р. И. // ЖЭТФ. 1987. Т. 92. № 3. С. 902—912.
- [5] Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Козырьков В. В., Мошалков В. В., Сколоздра Р. В., Стадник Ю. В. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. № 11. С. 535—537.
- [6] Kodawaki K., Woods S. B. // Sol. St. Comm. 1986. V. 58. N 8. P. 507—509.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
28 декабря 1988 г.
В окончательной редакции
13 марта 1989 г.