

ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СВЕХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ $Pd_{1-y}Cu_yH_x$

В.Б. Гинодман, Л.Н. Жерихина

Измерены температурные зависимости критического магнитного поля $H_{c2}(T)$ в системе $Pd_{0,92}Cu_{0,08}H_x$ ($0,7 < x < 0,84$). Используя полученные значения H'_{c2} и $\rho_{ост}$ вычислен коэффициент электронной теплоемкости γ . Обнаружено, что введение Cu в PdH_x приводит к уменьшению γ . Подтвержден факт повышения T_c в $Pd_{1-y}Cu_yH_x$ по сравнению с PdH_x .

Обнаруженное Стрицкером с сотрудниками значительное повышение критической температуры сверхпроводящего перехода в гидридах сплавов Pd с благородными металлами Au , Ag и Cu по сравнению с PdH_x /1/ в дальнейшем исследовалось теоретически и экспериментально. Рекордные значения T_c в $Pd_{1-y}Me_yH_x$, равные 16,6, 15,6 и 13,6 К для $Me = Cu, Ag, Au$ соответственно, были получены на образцах, приготовленных путем ионной имплантации H в $Pd_{1-y}Me_y$ при гелиевых температурах, и в силу этого сильнодефектных и, возможно, неравновесных. Это могло сказываться на их сверхпроводящих свойствах. Исследования равновесных образцов $Pd_{1-y}Me_yH_x$ /2/, введение водорода в которые производилось методом высокого давления, подтвердили факт повышения T_c в $Pd_{1-y}Me_yH_x$ по сравнению с PdH_x с той же концентрацией водорода, хотя критические температуры выше 9 К (максимальное значение T_c в PdH_x) не были обнаружены. Повышение T_c в гидридах сплавов $Pd_{1-y}Me_y$ по сравнению с PdH_x наблюдалось также на специально приготовленных слоистых образцах /3/, представлявших собой фольгу Pd , в поверхностный слой которой имплантировали Cu до 23 ат.%, а затем вводили водород электролитическим способом. На таких образцах были зафиксированы температуры сверхпроводящих переходов до 12,4 К с началом перехода при 16 К.

Для объяснения механизма влияния благородного металла на сверхпроводящие свойства системы $Pd_{1-y}Me_yH_x$ Гангулли предложил модель, согласно которой повышение T_c в гидридах сплавов $Pd_{1-y}Ag_y$ и $Pd_{1-y}Au_y$ связано со смягчением акустических фононов и уширением пика оптических фононов /4/. В $Pd_{1-y}Cu_y$ основную роль играет уменьшение эффективной массы на ячейку при замене атома Pd на атом Cu . Кроме того, в /4/ отмечается, что вклад в изменение T_c в $Pd_{1-y}Me_yH_x$ может вносить также электронный фактор.

Целью данной работы было выяснение механизма влияния меди на сверхпроводящие свойства системы $Pd_{1-y}Cu_yH_x$. Известно, что водород тем труднее входит в сплавы $Pd_{1-y}Me_y$, чем выше концентрация Me . Нам удалось получить достаточно большие концентрации H , соответствующие высоким T_c , лишь в гидриде сплава $Pd_{0,92}Cu_{0,08}$. Были измерены температурные зависимости критических магнитных полей $H_{c2}(T)$ в $Pd_{0,92}Cu_{0,08}H_x$ ($0,7 < x < 0,84$). Используя зависимости $H_{c2}(T)$ и значения $\rho_{ост}$, подобно тому, как это сделано в /6/, вычислен коэффициент электронной теплоемкости $\gamma = 2,2 \cdot 10^{-5} \rho_{ост}^{-1} \partial H_{c2} / \partial T|_{T_c}$ и параметр Гинзбурга — Ландау $\kappa = 7,5 \cdot 10^{-3} \rho_{ост} \gamma^{1/2}$. Методики насыщения образцов водородом, измерения температурной зависимости $H_{c2}(T)$ и определения концентрации водорода описаны в /7/. Переход в сверхпроводящее состояние регистрировался по изменению сопротивления, магнитное поле было перпендикулярно поверхности образца, представлявшего собой полоску фольги размером $0,003 \times 0,2 \times 1$ см³.

Проведенные измерения подтверждают наличие эффекта повышения T_c в равновесных гидридах сплавов $Pd_{1-y}Cu_y$ по сравнению с PdH_x (рис. 1).

Результаты вычислений γ в $Pd_{0,92}Cu_{0,08}H_x$ приведены в табл. 1 и на рис. 2. Для сравнения на рис. 2 представлены значения γ в PdH_x , полученные аналогичным способом /7/, и из калориметрических измерений /9,10/. В исследованной области концентраций водорода величина γ в $Pd_{0,92}Cu_{0,08}H_x$ практически не зависит от содержания водорода и оказывается меньше, чем в PdH_x с такой же концентрацией водорода, т.е. плотность состояний на поверхности Ферми в $Pd_{0,92}Cu_{0,08}H_x$ оказывается меньше, чем в PdH_x .

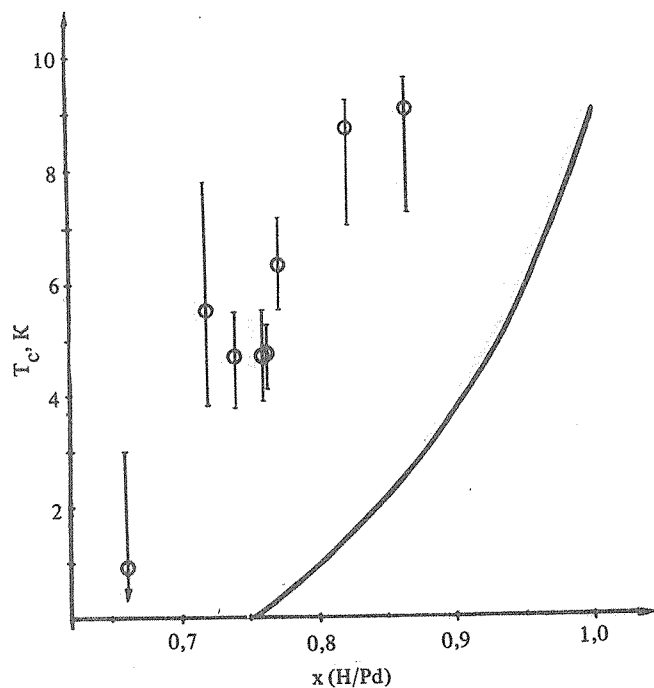


Рис. 1. Зависимость T_C от концентрации H в $Pd_{0.92}Cu_{0.08}H_x$ (o) и PdH_x (сплошная кривая — данные /8/).

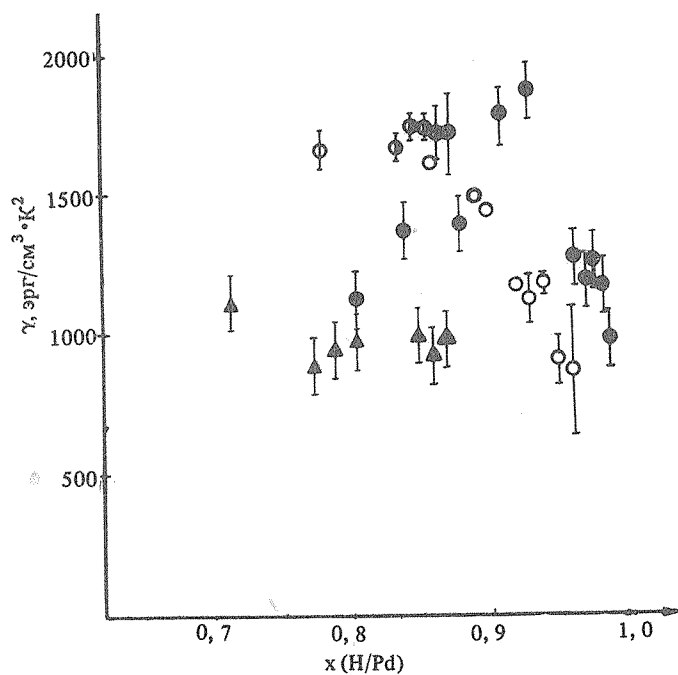


Рис. 2. Зависимость коэффициента электронной теплоемкости γ от концентрации водорода в $Pd_{0.92}Cu_{0.08}H_x$ (Δ — наши данные) и в PdH_x (\bullet /7/, \circ /9/, \bullet /10/).

Таблица 1

Характеристики сверхпроводящего состояния образцов $Pd_{0,92}Si_{0,08}H_x$ с различным содержанием водорода

x	T_c , К	ΔT_c , К	N_{c_2} , Э	$\left. \frac{\partial N_{c_2}}{\partial T} \right _{T_c}$, э/К	$\rho_{ост}$, 10^{-5} Ом·см	γ , эрг/см ³ ·К ²	κ
0,70	3,3	1,0	2900	1290	2,54	1120	6,4
0,73	4,1	2,0	3500	1000	2,50	880	5,6
0,77	5,2	1,5	4400	1040	2,42	950	5,6
0,78	5,5	2,0	4550	1050	2,36	980	5,5
0,82	7,0	1,6	6000	980	2,18	990	5,1
0,83	7,3	2,0	6100	920	2,20	920	5,0
0,84	7,85	1,7	6600	980	2,17	990	5,1

Обычно понижение плотности электронных состояний приводит к уменьшению константы электрон-фононного взаимодействия $\lambda = N(I^2)/M\langle\omega^2\rangle$ (обозначения общепринятые) и, следовательно, к уменьшению T_c . Наблюдаемое в данном случае отступление от этого правила можно объяснить аналогично тому, как это сделано в [5] для $Pd_{1-y}Ag_yH_x$, где в рамках модели виртуального кристалла в приближении жесткой зоны проведены расчеты электронной структуры. Вычисления константы электрон-фононного взаимодействия проводились в предположении независимости фононного спектра концентрации Ag и H.

В PdH_x и $Pd_{1-y}Me_yH_x$ в силу существенного различия масс атомов Pd и H константу электрон-фононного взаимодействия λ можно представить в виде $\lambda = \lambda_{ак} + \lambda_{оп}$, $\lambda_{ак} = \eta_{ак}/M_{Pd}\langle\omega_{ак}^2\rangle$, $\lambda_{оп} = \eta_{оп}/M_H\langle\omega_{оп}^2\rangle$, $\lambda_{ак}$ и $\lambda_{оп}$ определяются взаимодействием электронов с акустическими и оптическими фононами соответственно, причем $\lambda_{ак} \ll \lambda_{оп}$. Основной вклад в $\eta_{оп}$ вносят электронные s-состояния на атоме H с парциальной плотностью η_s^H , а в $\eta_{ак}$ — d-состояния на атоме Pd с парциальной плотностью η_d^{Pd} . Причем η_d^{Pd} существенно превышает значения парциальных плотностей других состояний и вносит основной вклад в плотность состояний на поверхности Ферми N. Введение Ag и, по-видимому, Si приводит к уменьшению η_d^{Pd} и росту η_s^H . При этом N и γ уменьшаются, что видно из эксперимента. В то же время возрастание η_s^H приводит к увеличению $\lambda_{оп}$, которое и определяет повышение T_c . Кроме того, возможно, вклад в увеличение T_c вносит изменение фононных частот [4].

Авторы благодарны А.П. Жернову за полезные обсуждения работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heim G., Stritzker B. Appl. Phys. 7, 239 (1975).
2. Szafranski A.W., Skoskiewicz T., Baranowski B. Phys. Stat. Sol. a, 37, K 163 (1976).
3. Leiberich A., Scholz W., Stendish W.J. Phys. Lett. 87 A, № 1, 2; 57 (1981).
4. Ganguly B.N. Z. Physik, B22, 127 (1975).
5. Papaconstantopoulos D.A. et al. Phys. Rev. B 20, 177 (1979).
6. Алексеевский Н.Е. и др. ФММ, 34, 972 (1972).
7. Гинопдман В.Б., Жерихина Л.Н. ФНТ, 10, 249 (1984).
8. Гинопдман В.Б., Жерихина Л.Н., Инюшкин А.Н. ФНТ, 5, 810 (1979).
9. Zimmermann M., Wolf G., Bohmhammel K. Phys. Status Solidi a, 31, 511 (1975).
10. Mackliet C.A., Gillespie D.J., Schindler A.J. Solid State Comm., 15, 207 (1974).

Поступила в редакцию 23 июля 1986 г.