

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Mo} - \text{Re}$

Т.А.Игнатъева, Ю.А.Черевань

В настоящее время большой интерес представляет изучение электронного спектра переходных металлов и их соединений с высокими значениями температуры сверхпроводящего перехода (T_K) с целью изучения природы повышения T_K .

В данной работе изучаются особенности электронного спектра твердых растворов $\text{Mo} - \text{Re}$, интересных тем, что T_K повышается от 0,9 К у чистого Mo до 11 К у $\text{Mo} - \text{Re}$ 30 ат.%. Исследования проводились на монокристаллических образцах размерами $1 \times 0,5 \times 10$ (мм³) с шириной сверхпроводящего перехода $(0,5 - 1) \cdot 10^{-2}$ К. Зависимость T_K (Сат.%) приведена на рис.1, а. Как можно заметить, T_K нелинейно растет по мере увеличения концентрации примеси рения. В начале T_K растет сравнительно медленно. Начиная с концентраций 8 – 10 ат.% рения наблюдается более резкий рост T_K при увеличении концентрации примеси.

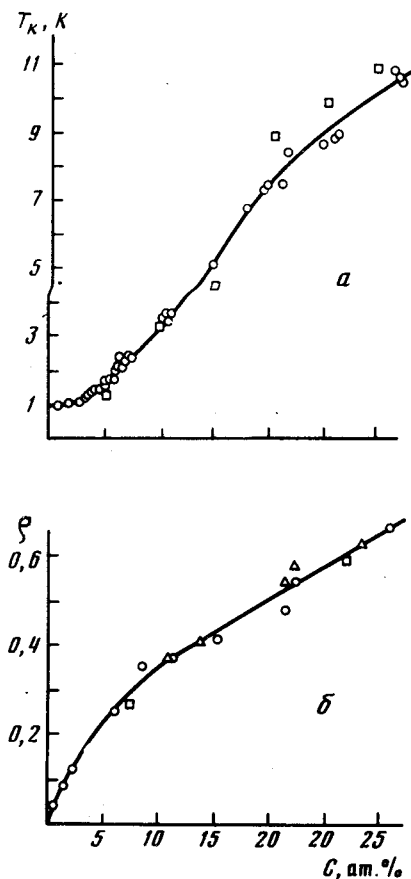


Рис.1.

На рис.1, б приведена зависимость относительного остаточного сопротивления $\rho = \frac{R_{4,2\text{ К}}}{R_{\text{К}} - R_{4,2\text{ К}}}$ для изучаемых растворов Mo - Re, как функция концентрации рения. Изменение угла наклона зависимости ρ (Сат.%) коррелирует с изменением скорости роста $T_{\text{К}}$ (Сат.%) при 8 - 10 ат.% рения.

Совершенно неожиданными оказались результаты, полученные при исследовании твердых растворов Mo - Re под давлением (P). На рис.2 приведены зависимости $T_{\text{К}}(P)$ для Mo - Re 6 ат.% (2, а), Mo - Re 10 ат.% (2, б), Mo - Re 19,5 ат.% и 19,7 ат.% (2, в).

Плавная нелинейная зависимость $T_{\text{К}}(P)$ для Mo - Re 6,10 ат.% сменяется "осцилляционной" зависимостью при дальнейшем увеличении концентрации примеси - 19,5 ат.%, 19,7 ат.% Re. Осцилляционный характер зависимости $T_{\text{К}}(P)$ наблюдается впервые. Максимальное значение амплитуды осцилляций, как видно из графика, составляет от $\approx 0,1$ до $\approx 0,2$ К.

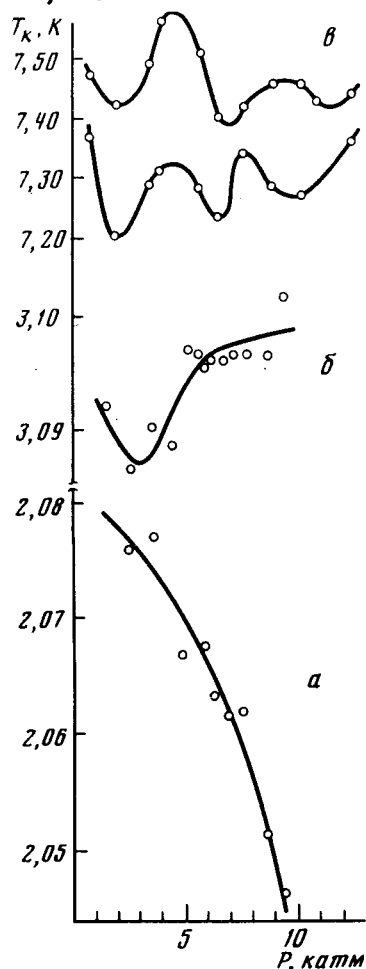


Рис.2.

Прежде всего заметим, что зависимость $T_{\text{К}}(P)$ отражает особенности в плотности электронных состояний и является тонким "инструментом" изучения этих особенностей [1].

Такая возможность изучения электронного спектра была проиллюстрирована экспериментально и теоретически в случае фазовых переходов 2,5 рода [1, 2], когда в плотности электронных состояний $\nu(\epsilon)$ была учтена особенность $\delta \nu \sim \sqrt{\epsilon_F - \epsilon_K}$, где $\epsilon_F - \epsilon_K$ — разность между энергией Ферми ϵ_F и критической энергией ϵ_K , при которой изменяется топология поверхности Ферми. При этом наблюдались нелинейные зависимости $T_K(P)$ [1], связанные с изменением особенностей топологии поверхности Ферми под давлением. Достаточно малая величина изменения энергии Ферми под давлением, в частности для Mo $\partial \epsilon_F / \partial P = 6,5 \cdot 10^{-4}$ эВ/катм [3], позволяет с помощью давления ($\approx 0,5$ катм) проходить электронный спектр "шагом" $\approx 3 \cdot 10^{-4}$ эВ и прощупывать тонкую структуру электронного спектра металла вблизи энергии Ферми. Высокая чувствительность по энергии, достигаемая внешним параметром — давлением и достаточная точность в измерениях $T_K \approx 5 \cdot 10^{-3}$ К позволяет чувствовать особенности электронного спектра по изменениям $T_K(P)$.

Нелинейную зависимость $T_K(P)$ для Mo — Re 6 ат.% (рис.2, а) можно связать с увеличением электронных линз под давлением, зависимость $T_K(P)$ для Mo — Re 10 ат.% (рис.2, б) можно объяснить появлением новой полости поверхности Ферми.

При изучении зависимости $T_K(P)$ для различных твердых растворов Mo — Re мы имеем возможность, увеличивая энергию Ферми примесью Re каждый раз попадать в новый участок спектра (по энергии), а давлением плавно проходить этот участок спектра в достаточно узком интервале энергий, выявляя тонкую структуру спектра вблизи ϵ_F . Можно оценить, что при добавлении 8 — 10 ат.% Re ϵ_F изменяется на $\approx 0,3$ эВ. При таком изменении ϵ_F согласно расчетов закона дисперсии электронов $\epsilon(P)$ для чистого Mo [4] следует ожидать появления электронной группы на линии NH зоны Брюллюэна. По-видимому, нелинейный характер изменения $T_K(C\%)$ также можно качественно объяснить как фазовый переход 2,5 рода при $\approx 8 - 10$ ат.% Re, связанный с появлением малой группы электронов (рис.1, а). Экспериментально наблюдаемая "осцилляционная" зависимость $T_K(P)$ (рис.2, в) не может быть объяснена в рамках изменения топологии поверхности Ферми.

Если оставаться в рамках рассмотрения связи особенностей зависимости $T_K(P)$ с особенностями электронного спектра металла [1], то следует предположить, что, начиная с некоторых концентраций примеси Re (после фазового перехода 2,5 рода) наряду с непрерывным спектром в растворах Mo — Re образуется квазидискретный спектр с уровнями шириной $\Delta \epsilon \approx \Delta P \frac{\partial \epsilon}{\partial P} \approx 1 \cdot 10^{-3}$ эВ (ΔP — расстояние между экстремальными точками в зависимости $T_K(P)$ рис.2, в), который и ответственен за осцилляционную зависимость $T_K(P)$.

Следует заметить, что температурное размытие такого уровня при $T = T_K \approx 8 - 10$ К составляет $\sim 10^{-3}$ эВ, т.е. порядка ширины самого уровня, поэтому представляется маловероятным резонансный механизм наблюдаемого явления.

Принципиально квазидискретный спектр может возникать благодаря наличию примесей [5] деформационных полей дислокаций [6].

Однако, не исключено, что в системах $Mo - Re$, начиная с определенных концентраций возникают локальные конфигурации атомов (типа кластеров) [7], что может привести к появлению субструктуры поля напряжений чувствительной к давлению [8] и влияющему на T_k [9].

Авторы считают своим долгом поблагодарить Б.Г.Лазарева, В.И.Макарова, А.А.Слущкина, Г.П.Сергееву за полезные дискуссии и обсуждение полученных результатов.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
21 февраля 1980 г.

Литература

- [1] Б.Г.Лазарев, Л.С.Лазарева, В.И.Макаров, Т.А.Игнатъева. ЖЭТФ, **48**, 1065, 1965; В.И.Макаров, В.Г.Барьяхтар. ЖЭТФ, **48**, 1717, 1965; Т.А.Игнатъева, В.И. Макаров, Ю.А.Черевань. ЖЭТФ, **67**, 994, 1974.
 - [2] И.М.Лифшиц. ЖЭТФ, **38**, 1569, 1960.
 - [3] M.Posternak, W.W.Waeber. J. of Low Temp. Phys., **21**, 47, 1975.
 - [4] R.J.Iverson, L.Hodges. Phys. Rev. B., **8**, 1429, 1973.
 - [5] И.М.Лифшиц. ЖЭТФ, **44**, 1723, 1963; Н.Ф.Мотт. Переходы металл - изолятор. М., изд. Наука, 1979.
 - [6] И.М.Лифшиц, Х.И.Пушкаров. Письма в ЖЭТФ, **11**, 456, 1970.
 - [7] Н.Н.Апаров, И.В.Лясоцкий, Ю.Д.Тяпкин, В.Е.Панин. ФММ, **40**, 354, 1975.
 - [8] А.А.Галкин, В.В.Токий, М.А. Дулин, Ю.П.Паниотов, Б.П.Филатов. ДАН СССР, **235**, 327, 1977.
 - [9] В.М.Набутовский, Б.Я.Шапиро. ФНТ, **5**, 1128, 1979.
-