

О ПРИЧИНЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО МАКСИМУМА СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

А.Ф.Прекул, В.А.Рассохин, Н.В.Волкеиштейн

Ранее было показано [1], что в электросопротивлении сплавов $Ti_x - V_{1-x}$ имеются аномалии, отличающие их от простых металлических систем.

В области температур 20 - 300К, в зависимости от концентрации, могут наблюдаться три типа зависимостей электросопротивления $\rho(T)$ - с положительным ($0 < X < 0,60$), нулевым ($X = 0,60$) и отрицательным ($0,60 < X < 0,85$) температурными коэффициентами сопротивления (ТКС).

С другой стороны, при температурах $\lesssim 15$ К, т. е. в области остаточного сопротивления, на протяжении нескольких градусов наблюдается уменьшение сопротивления, заканчивающееся переходом в сверхпроводящее состояние.

В результате, для первых двух типов кривых $\rho(T)$, резистивные переходы в сверхпроводящее состояние оказываются сильно растянутыми, а на кривых с отрицательным ТКС появляется максимум.

Модели [1] и [2], предложенные для объяснения этих аномалий, имели общее предположение, что уменьшение сопротивления и, соответственно, максимум сопротивления обусловлены сверхпроводимостью.

Позднее выяснилось, что это явление можно рассматривать и как свойство нормального состояния, не прибегая к помощи механизма сверхпроводимости.

Такая возможность связана с тем обстоятельством, что во всей области концентраций ($0 < X < 0,85$), а не только ($0,60 < X < 0,85$), где есть отрицательный ТКС, можно предполагать дополнительный вклад в электросопротивление от рассеяния с переворотом спина, характерный для сплавов Кондо.

Как известно, функциональная зависимость этого вклада от температуры может быть различной. Модель локализованных спиновых флук-

туаций [3] предсказывает кривую с насыщением при $T = 0\text{K}$, тогда как модель Абрикосова [4] предсказывает кривую с максимумом при промежуточных температурах.

Как раз последний случай и представляет альтернативу моделям [1] и [2], ибо все особенности электросопротивления, характерные для сплавов $\text{Ti}_x - \text{V}_{1-x}$, воспроизводятся, если "кондовский" максимум находится несколько выше температуры сверхпроводящего перехода.

На такую возможность трактовки рассматриваемых явлений нам было указано Л.П.Горьковым.

Экспериментально вопрос о причине аномального уменьшения сопротивления может быть решен по влиянию продольного магнитного поля. Если эффект обусловлен сверхпроводимостью, то сопротивление должно увеличиваться с ростом магнитного поля и достигать величины ос-

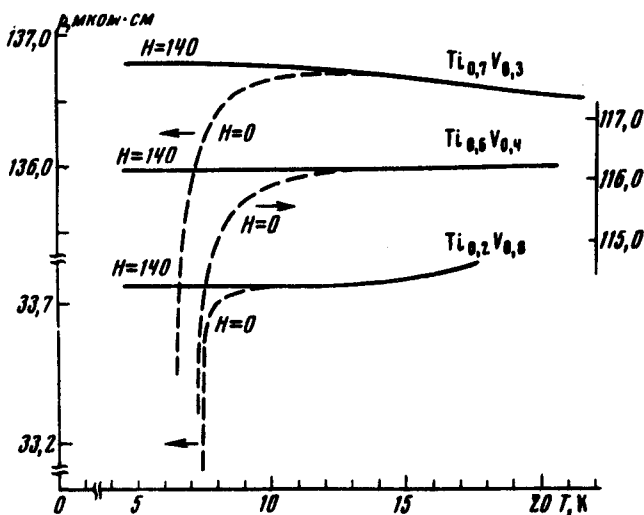


Рис. 1. Влияние продольного магнитного поля напряженностью 140 кэ на температурный ход электросопротивления для трех сплавов системы $\text{Ti}_x - \text{V}_{1-x}$

таточного сопротивления. Наоборот, если эффект обусловлен "кондовским" механизмом, то сопротивление может либо уменьшаться под действием магнитного поля, либо не зависеть от него, ввиду малости длины свободного пробега электронов.

При этом, если внешние магнитные поля значительно превышают критические поля сверхпроводимости $H_{c2}(T)$ и достаточны для полного подавления всех признаков сверхпроводимости, то можно надеяться определить ход зависимостей $\rho(T)$ нормального состояния при $T \ll T_c$. Тем самым, можно качественно определить тип функциональной зависимости "кондовского" вклада в сопротивление.

Здесь мы приводим основные результаты наших исследований по влиянию магнитного поля на электросопротивление сплавов $\text{Ti}_x - \text{V}_{1-x}$.

На рис. 1 показано, как влияет магнитное поле напряженностью 140 кэ на три типа зависимостей $\rho(T)$, описанных выше.

Видно, что воздействие магнитного поля является типичным для сверхпроводящего состояния как ниже, так и выше критической температуры. В этом смысле, случай с отрицательным ТКС также не является исключением.

Таким образом, можно утверждать, что низкотемпературный максимум сопротивления в титановых сплавах имеет сверхпроводящее происхождение и возникает в результате того, что следы сверхпроводимости сохраняются до температур превышающих температуру максимума. В данном случае они прослеживаются вплоть до 13 – 14К, тогда как критические температуры в сплавах Ti – V, определенные по скачкообразному изменению сопротивления, не превышают 8К.

Наши данные позволяют полно охарактеризовать эту "высокотемпературную" сверхпроводимость. Мы попытались определить ее критические параметры и построить фазовые ($H_c - T_c$) диаграммы.

На рис. 2 показаны результаты такого построения для сплавов $Ti_{0,70} - V_{0,30}$ и $Ti_{0,60} - V_{0,40}$. Шплыми линиями показаны фазовые кривые определенные по скачкообразному изменению сопротивления,

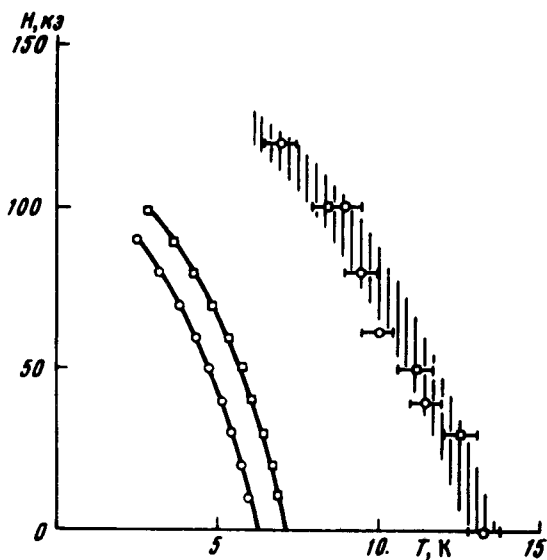


Рис. 2. ($H_c - T_c$) диаграммы для сплавов $Ti_{0,6} - V_{0,4}$ (\square) и $Ti_{0,7} - V_{0,3}$ (\circ)

Штрихованная полоса обозначает границу до которой еще прослеживаются следы сверхпроводимости. По ряду причин она не может быть установлена более точно и совпадает для обоих образцов.

Насколько нам известно, двойная фазовая диаграмма вообще и верхняя фазовая кривая для сплавов системы Ti – V в частности, установлены впервые.

В связи с этим возникает вопрос о реализации полной сверхпроводимости с более высокой критической температурой.

В этом отношении, механизм флуктуационного спаривания электронов проводимости, использованный в [2] для объяснения широких резистивных переходов, не оставляет каких-либо надежд.

Наоборот, модель [1] рассматривает широкие переходы как результат частичного подавления реальной сверхпроводимости за счет спи-

новых неоднородностей, а по началу перехода из нормального состояния в сверхпроводящее определяется критическая температура T_c^{bs} (bs — band structure), потенциально возможная для зонной структуры данного сплава [5].

Поэтому сверхпроводимость с критическими параметрами, соответствующими штрихованной фазовой кривой на рис. 2, может быть реализована в системе $Ti - V$, если "убрать" источник спиновых неоднородностей.

Что касается вопроса о характере температурной зависимости "кондовского" вклада в электросопротивление, то из хода кривой $\rho(T)$ с отрицательным ТКС при $T < T_c$ в поле 140 кэ на рис. 1 можно предполагать, что он описывается кривой с насыщением. Такое поведение качественно соответствует модели локализованных спиновых флуктуаций [3], использованной в [1] для объяснения отрицательного ТКС.

В заключение мы обращаем внимание на важное по нашему мнению обстоятельство. Низкотемпературный максимум сопротивления — явление довольно часто наблюдаемое. Но обычно его относят за счет какого-либо упорядочения, чаще магнитного.

Как показано в настоящей работе, сверхпроводимость также может быть ответственна за этот эффект. Возможно, что и в ряде других случаев он был обусловлен сверхпроводимостью.

Эта работа была выполнена в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур, г. Вроцлав, Польша.

Авторы благодарят Н.Е.Алексеевского, Ч.Э.Базана и Е.И.Леяровского за предоставленную возможность проведения исследований. Один из авторов (А.Ф.П.) благодарит Б.Рончку за помощь в работе.

Институт физики металлов
Академии наук СССР
УИЦ

Поступила в редакцию
23 июня 1975 г.
После переработки
23 сентября 1975 г.

Литература

- [1] В.А.Рассохин, Н.В.Волкенштейн, Е.П.Романов, А.Ф.Прекул. ЖЭТФ, 66, 348, 1974.
- [2] R. R. Nake. Phys. Rev. Lett., 23, 1105, 1969.
- [3] N. Rivier. V. Zlatic. J. Phys. F: Metall Phys., 2, 87, 1972.
- [4] А.А.Абрикосов. ЖЭТФ, 48, 990, 1965.
- [5] А.Ф.Прекул, В.А.Рассохин, Н.В.Волкенштейн. Письма в ЖЭТФ, 17, 354, 1973.