

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ ХОЛОДНООСАЖДЕННЫХ ПЛЕНОК СПЛАВОВ ГЕРМАНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ГРУППЫ ПЛАТИНЫ

Н. Е. Алексеевский, В. М. Закосяренко

Среди систем сплавов, германия с элементами группы платины найдены нестабильные сверхпроводящие модификации в холодноосажденных пленках сплавов $\text{Ge} - \text{Pt}$ и $\text{Ge} - \text{Pd}$. На системе $\text{Ge} - \text{Pd}$ исследована зависимость критической температуры от состава и измерены критические магнитные поля.

Известно, что при конденсации на холодную подложку можно получить экстремально нестабильные модификации металлов и сплавов, многие из которых переходят в сверхпроводящее состояние. Например, холодноосажденные пленки сплавов Ge с Cu , Ag , Au являются сверхпроводящими, в то время как в равновесном состоянии в этих сплавах сверхпроводимость не была найдена [1, 2].

В данной работе были исследованы пленки сплавов Ge с элементами группы платины. Для приготовления сплавов использовались порошки исходных металлов чистотой не хуже 99,97%.

Испарение сплавов производилось при помощи импульсного неодимового лазера, работающего в режиме свободной генерации. Пленки конденсировались на слюдяную подложку; находящуюся в тепловом контакте с жидким гелием. Предварительно на подложку наносились платиновые контакты, позволяющие измерять сопротивление пленки. В некоторых случаях пленки испарялись не из кусочка сплава, а из спрессованной таблетки смеси порошков металлов. В пределах экспериментальной ошибки T_c таких пленок не отличались от T_c пленок, полученных испарением из куска сплава. Кривые сверхпроводящего перехода пленок могли регистрироваться как по изменению сопротивления так и по изменению индуктивности катушки, помещенной вблизи пленки. Более подробно методика приготовления и измерений образцов описана в [1, 3].

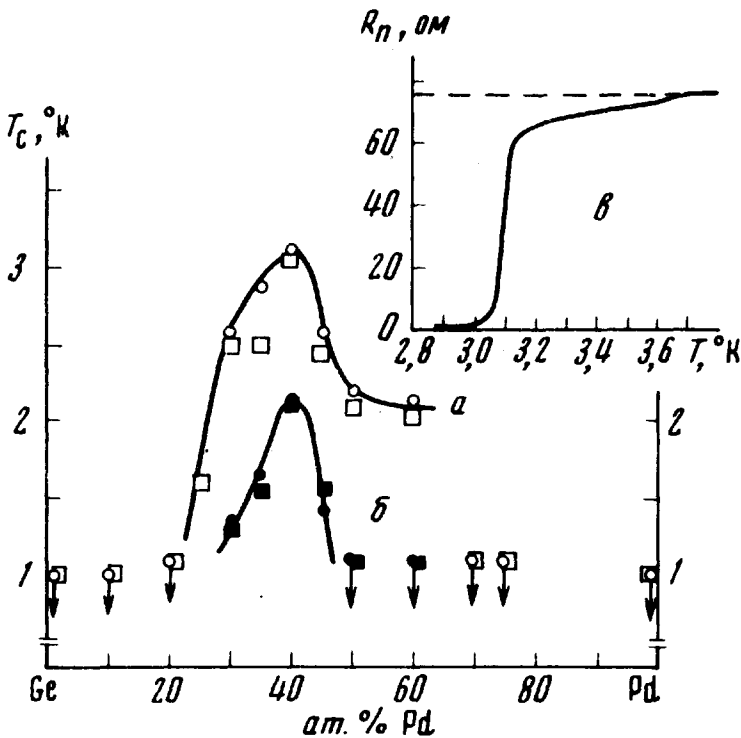


Рис. 1. Зависимость T_c пленок системы Pd-Ge от концентрации Pd: кривая *a* соответствует T_c холодноосажденных пленок, измеренных по сопротивлению (\circ) и по индуктивности (\square); кривая *б* соответствует T_c пленок после отогрева до 300°K , измеренным по сопротивлению (\bullet) и по индуктивности (\blacksquare); *в* — кривая перехода холодноосажденной пленки Pd_2Ge_3 . Точки со стрелками указывают температуру, до которой сверхпроводимость не была обнаружена

Среди пленок сплавов Ge с Ru, Os, Rh, Pd и Pt сверхпроводимость была найдена только в системах Pd-Ge, Pt-Ge. Пленки сплавов $\text{Ru}_{0,5}\text{Ge}_{0,5}$; $\text{Os}_{0,5}\text{Ge}_{0,5}$; $\text{Rh}_{0,5}\text{Ge}_{0,5}$ не обнаружили сверхпроводимости до $1,1^\circ\text{K}$.

Холодноосажденные пленки $Pt_{0,5}Ge_{0,5}$ имели $T_c = 1,4^\circ K$, в то время как пленки, отогретые до $300^\circ K$, не переходили в сверхпроводящее состояние вплоть до $1,0^\circ K$. Зависимость T_c от состава была исследована на системе Pd-Ge. Полученная зависимость представлена на рис. 1¹⁾. По оси абсцисс отложен шихтовый состав сплава, из которого приготавливалась пленка. Максимальное значение T_c соответствует составу Pd_2Ge_3 и равно $3,1^\circ K$. Кривая (а) соответствует T_c холодноосажденных пленок, измеренных по сопротивлению (O) и по изменению индуктивности (\square). Различие в T_c , определенные этими методами, как видно из рисунка, не очень велики, однако следует заметить, что при измерениях по сопротивлению первые отклонения от R_n наблюдались при значительно более высоких температурах (в некоторых случаях на $1,5^\circ K$ выше T_c). В правом верхнем углу рис. 1 показана кривая перехода одной из пленок состава Pd_2Ge_3 .

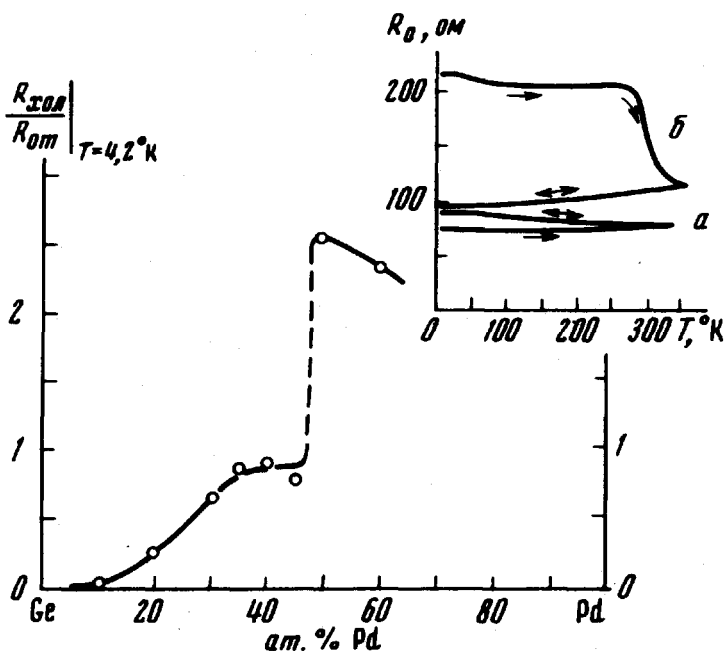


Рис. 2. Зависимость отношений сопротивления холодноосажденной пленки к сопротивлению пленки после отогрева до $300^\circ K$, взятого при $4,2^\circ K$, от концентрации Pd и температурный ход $R(T)$ пленок $Pd_{0,4}Ge_{0,6}$ (а) и $Pd_{0,6}Ge_{0,4}$ (б) → — температурный ход сразу после конденсации ↔ — температурный ход после отогрева

После отогрева до $300^\circ K$ пленки с содержанием Pd от 30 до 50% оставались сверхпроводящими, однако их критическая температура была существенно ниже, чем у холодноосажденных пленок. Зависимость T_c отожженных пленок от состава показана на рис. 1, кривая (б). Здесь также, как и в случае холодноосажденных пленок изменение сопротивления начинается при температуре значительно выше T_c .

1) T_c определялась по середине кривой перехода.

Измерения сопротивления пленок в области температур $4,2 + 300^\circ\text{K}$ показали, что при отогреве холодноосажденных пленок в них происходят необратимые изменения. На рис. 2 приведено отношение сопротивления холодноосажденной пленки к сопротивлению пленки после отогрева до комнатной температуры, измеренному при $4,2^\circ\text{K}$, в зависимости от состава пленки. Для отожженных пленок с концентрацией Pd меньше 50% наблюдается слабый полупроводниковый ход сопротивления. В правом верхнем углу на рис. 2 показан температурный ход сопротивления пленки $\text{Pd}_{0,4}\text{Ge}_{0,6}$ (кривая *a*). Для пленок с большей концентрацией Pd на кривой $R(T)$ при отогреве наблюдается резкое изменение сопротивления (см. рис. 2, кривая *b* для состава $\text{Pd}_{0,6}\text{Ge}_{0,4}$), которое по-видимому является следствием перехода пленки в стабильную модификацию. Эти пленки после отогрева не переходили в сверхпроводящее состояние вплоть до $1,0^\circ\text{K}$. Для пленок состава Ge_3Pd_2 были измерены критические магнитные поля перпендикулярные плоскости пленки $H_{c\perp}$. С этой целью снимались кривые $R(T)$ в различных магнитных полях и строилась зависимость $H_{c\perp}(T)$, где как и раньше T_K определялось по середине перехода. Зависимости $H_{c\perp}(T)$ были практически линейны и значение $dH_{c\perp}/dT$ составляло $6190 \text{ э/}^\circ\text{K} \pm 5\%$ для отожженных пленок и $5760 \text{ э/}^\circ\text{K} \pm 8\%$ для холодноосажденных. Измерения удельного сопротивления пленок этого состава показали, что для холодноосажденных пленок $\rho = 0,78 \cdot 10^{-3} \text{ ом} \cdot \text{см}$ и для отожженной пленки $\rho = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ ом} \cdot \text{см}$. При этом толщина пленки определялась при помощи кварцевого измерителя толщины, а плотность пленки принималась равной 8 г/см^3 ¹⁾.

Если считать, что $H_{c\perp} = H_{c2}$ (см., например, [4]) и воспользоваться формулой 2)

$$\gamma = 2,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\rho} \frac{dH_{c2}}{dT}, \quad (1)$$

где γ — коэффициент в линейном законе для теплоемкости ($\text{эрг/см}^3 \cdot \text{град}^2$); ρ — удельное сопротивление ($\text{ом} \cdot \text{см}$) и H_{c2} — критическое поле (гс), то можно получить значения $\gamma = 161 \text{ эрг/см}^3 \cdot \text{град}^2$ для холодноосажденной пленки и $\gamma = 127 \text{ эрг/см}^3 \cdot \text{град}^2$ для пленки отогретой до 300°K .

Изменения γ на 20% вполне достаточно, чтобы объяснить уменьшение T_c в отогретой пленке в 1,5 раза³⁾. Однако к абсолютному значению γ ,

1) Естественно, что точность абсолютного значения ρ определяется справедливостью этого предположения.

2) Эту формулу легко получить из формулы Горькова для κ [5] и выражения БКШ для скачка теплоемкости.

3) В действительности при таком изменении γ разность T_c должна быть больше наблюдаемой. Не исключено, что наблюдаемая в действительности меньшая разность T_c является следствием низкого значения дебаевской температуры свежеконденсированных пленок.

полученному из (1), следует относиться с известной степенью осторожности, так как применимость формулы (1) в нашем случае не является бесспорной.

На основании приведенных данных и результатов более ранних наших работ можно заключить, что при быстрой конденсации пара на холодную подложку образуются нестабильные фазы в системах Cu-Ge, Ag-Ge, Au-Ge, а также в системах Pd-Ge, Pt-Ge. Причем, в некоторых системах существует, по крайней мере, две нестабильные модификации с различными T_c (например Au-Ge и Pd-Ge). При этом соединения с большей степенью неустойчивости имеют более высокую критическую температуру.

Как уже отмечалось ранее возникновение сверхпроводимости в неравновесных фазах может быть связано с тем, что для этих фаз параметр электрон-фононного взаимодействия может оказаться больше, чем для равновесных; по-видимому это и обуславливает их нестабильность.

Нестабильные фазы вероятно должны характеризоваться тем, что взаимодействия между атомами в этих фазах должны быть слабее т. е. константа квазиупругой связи должна быть меньше, чем в стабильных. Тогда можно полагать, что средняя частота колебаний у них будет меньше, а среднее расстояние между атомами больше, чем у стабильных фаз. Последнее обстоятельство должно привести к меньшему перекрытию ψ -функций электронов и следовательно к образованию более узких зон. Возможно именно эти факторы являются существенными для возникновения у них сверхпроводимости.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
14 июня 1973 г.

Литература

- [1] Н.Е.Алексеевский, В.М.Закосяренко, В.И.Цebro. Письма в ЖЭТФ, 12, 228, 1970; 13, 412, 1971.
- [2] B.Stritzker, H.Wuhl. Z.Physik, 243, 361, 1971.
- [3] N.E.Alekseevskii, V.I.Tsebro. J. Low Temp. Phys., 4, 679, 1971.
- [4] M.Tinkham. Phys. Rev., 129, 2413, 1963.
- [5] Л.П.Горьков. ЖЭТФ, 37, 1407, 1959.