

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ ВБЛИЗИ ПЕРЕХОДА ДИЭЛЕКТРИК – МЕТАЛЛ В АМОРФНОМ $\alpha\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$

*И.В.Берман, Н.Б.Брандт, В.А.Алексеев, И.Е.Костылева,
В.И.Сидоров О.П.Пяткина*

Исследовано влияние давления P до 220 кбар на электросопротивление у аморфного сплава $\alpha\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$ при температурах 1,4 – 300К. В окрестности перехода диэлектрик – металл ($P \approx 160$ кбар) обнаружено возникновение сверхпроводимости с критической температурой T_c быстро возрастающей до $T_c = 3,5$ К при увеличении P до 200 кбар. Эффект обратим, если P не превышает 200 кбар.

В последнее время интенсивно обсуждается вопрос о влиянии локализованных ферми-евских электронов на сверхпроводимость в системах с беспорядком¹⁻⁴. При этом особый интерес вызывает поведение системы вблизи перехода диэлектрик – металл (переход Андерсона) при прохождении уровня Ферми E_F через порог подвижности E_c . Для сравнения теоретических предсказаний с экспериментом используются, в основном, данные о понижении T_c у высокотемпературных сверхпроводников при увеличении беспорядка, создаваемого облучением образцов⁵.

Новые возможности для исследования природы сверхпроводимости в аморфных веществах открывают эксперименты с использованием высоких давлений, позволяющих монотонно изменять взаимное положение уровней E_F и E_c . Удобным объектом для исследований такого рода являются аморфные халькогениды. Исследования при высоких давлениях показали^{6,7}, что у аморфных халькогенидов $\alpha\text{-As}_2\text{S}_3$, $\alpha\text{-As}_2\text{Se}_3$, $\alpha\text{-As}_2\text{Te}_3$ и $\alpha\text{-Ge}_{16}\text{As}_{35}\text{Te}_{28}\text{S}_{21}$ электросопротивление R при комнатной температуре и оптическая щель E_g у $\alpha\text{-As}_2\text{S}_3$ и $\alpha\text{-As}_2\text{Se}_3$ плавно уменьшаются с ростом давления. Кроме того, у $\alpha\text{-As}_2\text{Se}_3$ и $\alpha\text{-As}_2\text{Te}_3$ измерялись температурные зависимости R в интервалах (77 – 300К), (0 – 100 кбар). Совпадение удвоенного значения активационной энергии E_a с оптической щелью E_g у $\alpha\text{-As}_2\text{Se}_3$ указывает на то, что уровень Ферми расположен в середине "запрещенной зоны". У $\alpha\text{-As}_2\text{Te}_3$ E_a плавно уменьшается с давлением, обращаясь в 0 при $P \approx 100$ кбар⁷. Приблизительно при этом же давлении образец становится сверхпроводником с $T_c \approx 4,4$ К. Рентгенографические исследования, проведенные у образца $\alpha\text{-As}_2\text{Te}_3$ в⁷, показали, что во всем интервале давлений и после металлизации ближний порядок сохраняется, т. е. возникновение сверхпроводимости не связано с полиморфным превращением.

Однако, поскольку зависимости R от T у $\alpha\text{-As}_2\text{Te}_3$ измерялись при температурах выше 77 К, а сверхпроводимость была зафиксирована только при одном давлении, сделать какие-либо выводы о поведении T_c при металлизации под действием давления, на основании этих данных, невозможно.

В настоящей работе исследованы зависимости $R(T, P)$ в интервале температур 1,4 – 300К при давлениях до 220 кбар у аморфного халькогенида $\alpha\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$.

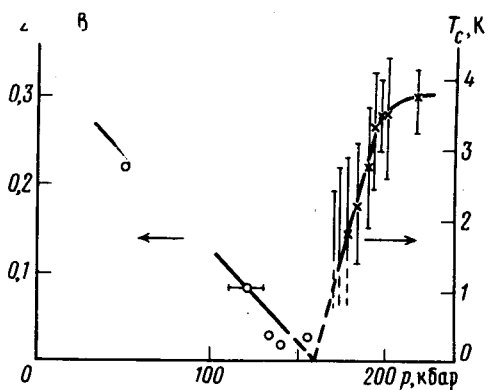


Рис. 1. Зависимости $2E_a$ (левая шкала) и T_c (правая шкала) от давления. Горизонтальная линия – ошибка в определении величины давления, вертикальная – ширина сверхпроводящего перехода (пунктир указывает на незавершенность перехода). T_c определялись по середине перехода

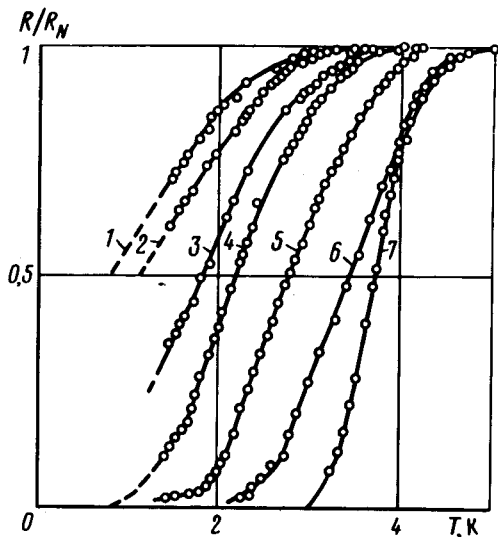


Рис. 2

Рис. 2. Сверхпроводящие переходы $\alpha\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$ при различных давлениях (R_N – значение сопротивления в начале перехода): 1 – 170 кбар, 2 – 173 кбар; 3 – 178 кбар; 4 – 183 кбар; 5 – 190 кбар; 6 – 200 кбар; 7 – 218 кбар

Давление создавалось с использованием наковален из поликристаллических алмазов методом, описанным в ⁸. Сопротивление регистрировалось четырехконтактным методом. На одном и том же образце проводилось несколько измерений при последовательном увеличении и уменьшении давления, что позволяло, с одной стороны, достигнуть высокой точности в определении относительной величины изменения давления и удельного электросопротивления ρ , и, с другой стороны, исследовать обратимость наблюдаемых эффектов.

Обнаружено, что при сжатии $\alpha\text{-Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$ при $T = 300$ К ρ плавно уменьшается от значения $\sim 10^3$ Ом · см при $P = 0$ до $0,3 \cdot 10^{-3}$ Ом · см при $P = 220$ кбар. Соответственно меняется характер температурных зависимостей $R(T)$. При $P < 130$ кбар зависимости R от T имеют типичный для неупорядоченных полупроводников вид. Участки кривых $R(T)$, на которых наблюдается экспоненциальное изменение R , отчетливо регистрируются, во всяком случае, в области давлений до 130 кбар, что позволяет надежно определить изменение энергии активации E_a при этих давлениях. Зависимость $2E_a$ от P , рассчитанная по наклону кривых $\ln R(1/T)$ приведена на рис. 1 (левая кривая). Энергия активации уменьшается при сжатии и экстраполируется в нуль при $P \approx \approx 160$ кбар.

При давлениях выше этого значения кривые $R(T)$ сохраняют слабо выраженный полупроводниковый характер, причем величина возрастания R при понижении температуры уменьшается с давлением. Однако, уже при $P = 170$ кбар на кривых $R(T)$ наблюдается резкое уменьшение сопротивления при низких температурах, которое при больших давлениях переходит в отчетливо регистрируемый сверхпроводящий переход (рис. 2).

Наиболее интересной и необычной (для кристаллического состояния) особенностью возникновения сверхпроводимости является сильная зависимость T_c (см. рис. 1, правая кривая) от величины приложенного давления: в интервале давлений 170 – 195 кбар dT_c/dp составляет $\sim 0,1$ К/кбар. При давлениях, превышающих 195 кбар, T_c изменяется значительно медленнее.

Зависимость T_c от P обратима, если P не превышает 200 кбар. В тех случаях, когда величина предельного давления превышает 200 кбар, появляется гистерезис на кривой $T_c(P)$ и более заметный гистерезис на кривой $E_a(P)$, что свидетельствует о возникновении необ-

ратимых структурных изменений в образце. По аналогии с аморфным α -As₂Te₃ можно предположить, что α -Ge₃₃As₁₂Se₅₅ при $P \gtrsim 200$ кбар кристаллизуется и при уменьшении давления в образцах сохраняется примесь кристаллической фазы.

Полученные данные по зависимости T_c от P указывают, по-видимому на то, что сверхпроводимость возникает при переходе диэлектрик – металл в непосредственной близости к точке, в которой E_a обращается в нуль, т. е. когда уровень Ферми пересекает порог подвижности. Возникновение сверхпроводимости при $E_F \approx E_c$ и рост T_c по мере удаления E_F от порога подвижности согласуются, в общих чертах, с результатами работ ¹⁻⁴, в которых уменьшение T_c по мере приближения E_F к E_c с металлической стороны перехода металл – диэлектрик связывается с увеличением эффективного кулоновского отталкивания.

Заметим, что альтернативное объяснение эффекта появления сверхпроводимости у исследованной системы, как следствие выпадения при сжатии отдельных сверхпроводящих кластеров, представляется нам маловероятным, так как у известных кристаллических фаз высокого давления элементов, образующих α -GeAsSe, и возможных их соединений, значения T_c и зависимости T_c от P не согласуются с результатами настоящих исследований.

Пользуемся случаем выразить нашу искреннюю признательность Л.Н.Булаевскому за обсуждение результатов.

Литература

1. Imry Y., Strongin M. Phys. Rev., 1981, В24, 6353.
2. Anderson P.W., Muttalib K.A., Ramakrishnan T.V. Phys. Rev., 1983, В28, 117.
3. Coffey L., Muttalib K.A., Levin K. Phys. Rev. Lett., 1984, 52, 783.
4. Булаевский Л.Н., Садовский М.В. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 524.
5. Алексеевский Н.Е., Митин А.В., Самосюк В.Н., Фирсов В.И. ЖЭТФ, 1983, 85, 1092.
6. Minomura S. Amorphous Semicond. Technol. and Devices, 1981, 245.
7. Sakai N., Fritzsche H. Phys. Rev., 1977, В15, 973.
8. Брандт Н.Б., Берман И.В., Куркин Ю.П., Сидоров В.И. ПТЭ, 1975, 1, 204.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
17 октября 1984 г.