

## СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ СЕРЫ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

*В.В.Евдокимова, И.Г.Куземская*

Под давлением в 200 кбар сера обнаруживает переход в сверхпроводящее состояние при температуре  $5,7 \pm 0,1\text{К}$ .

Элементы VI группы периодической системы – сера, селен, теллур, полоний проявляют последовательность изменения физических свойств. Один из лучших изоляторов (до  $10^{17}$  ом·см) – сера, кристаллизующаяся при обычных условиях в структурах, образованных из кольцевых конфигураций, сменяется полупроводниковым селеном и теллуром с кристаллической структурой, построенной из зигзагообразных цепей, и металлическим полонием с кубической примитивной решеткой. Аналогичную последовательность свойств эти элементы демонстрируют и под действием высоких давлений, все более высоких при движении по группе снизу вверх [1].

Теллур переходит в металл при 40 кбар, селен – при 130 кбар. Металлизация серы в ударных волнах с падением электросопротивления до 0,03 ом·см обнаружена при 220 – 260 кбар [2]. Экстраполяция энергетической щели к нулю по данным измерения зависимости края оптического поглощения с поправкой на современную шкалу давления дает для перехода серы в металл 180 – 240 кбар [3]. Сравнительно недавние измерения электросопротивления противоречивы в своей оценке величины давления перехода серы в металлическое состояние. По данным одной группы авторов это  $0,5 \div 1$  Мбар [4 – 6], по данным другой группы – 175 ÷ 285 кбар [7, 8].

После обнаружения сверхпроводимости металлических фаз теллура и селена [9, 10] Маттиас счел сверхпроводимость металлической фазы серы свойством столь же ординарным, сколь оно обычно для непереходных металлов с двумя и более валентными электронами [11]. Проведенные нами измерения показали, что в условиях высоких давлений и низких температур сера, так же, как и ее соседи по группе, проявляет сверхпроводящие свойства.

Нами измерялась зависимость электросопротивления серы марки ЧДА от температуры при заданном давлении в бомбе с фиксированным поршнем. Ячейка давления представляла собою плоские наковальни Бриджмена из металлокерамического сплава ВК-3М, изготовленные по специальной технологии, с диаметром рабочей площадки 1,5 мм. Образец серы экструдированный до  $\phi$  0,2 мм помещался в центральном отверстии пилюли из пирофиллита высотой 0,3 мм. Электрический контакт осуществлялся через пуансоны наковален. На рис. 1 представлена зависимость электросопротивления серы от нагрузки при комнатной температуре. Для различных образцов резкое изменение сопротивления начинается при нагрузке на наковальни в 8 – 9 тонн и заканчивается при 10 – 11 тоннах, сопротивление при этом падает на  $\sim 5$  порядков. Давление

перехода оценивается как 200 – 240 кбар на основании скачков электросопротивления ZnS (150 кбар) и GaP (220 кбар), записанных на этой же паре наковален. Величина давления перехода в сере носит оценочный характер, поскольку зависит при постоянной толщине пилули от числа нагружений данной пары пуансонов, сброса давления при фиксации нагрузки и других особенностей камеры такого типа.

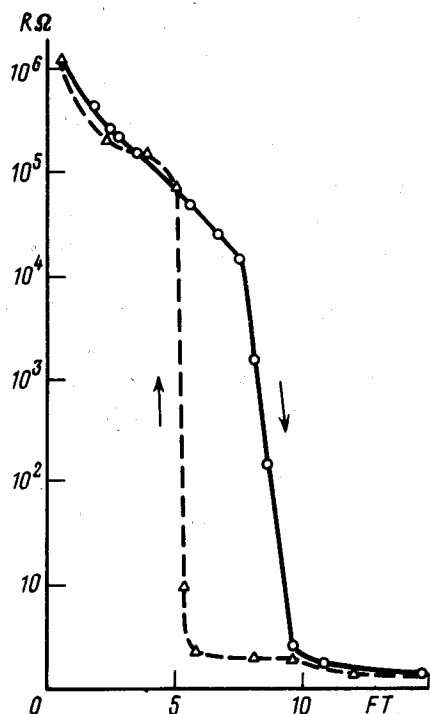


Рис.1. Зависимость электросопротивления сере от нагрузки при комнатной температуре (о – нагружение,  $\Delta$  – снятие нагрузки)

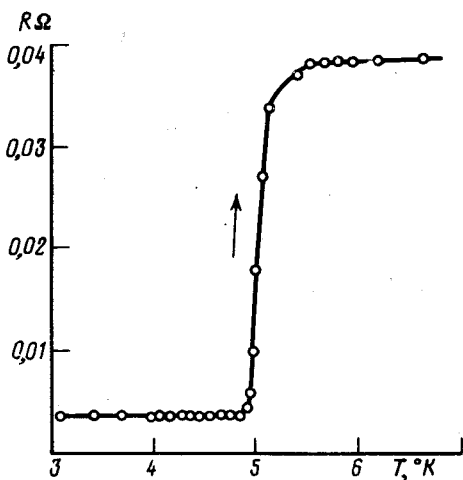


Рис.2. Кривая сверхпроводящего перехода сере под давлением

Для низкотемпературных измерений нагрузки на пуансоны была зафиксирована при значении существенно превышающем точку выхода кривой электросопротивления на пологий участок. Сопротивление образца при этом было равно 0,1 ом (0,002 ом · см). Большая масса камеры

обеспечила медленный отогрев от 4,2К при подъеме камеры выше уровня гелия. Температура измерялась двумя терморпарами золото (железо) — медь, расположенными симметрично в максимально возможной близости к образцу. На рис. 2 показан наблюдавшийся при отогреве бомбы скачок электросопротивления, соответствующий переходу серы в сверхпроводящее состояние. Температура перехода для данного давления, усредненная для нескольких циклов охлаждения и отогрева, равна  $5,7 \pm 0,1\text{К}$ , в каждом случае она определялась по началу перехода. Ширина перехода равная  $0,5\text{К}$  свидетельствует о достаточной однородности давления в камере и фазового состава образца. Сопротивление образца при низких температурах до перехода равно  $0,04$  ом, остаточное сопротивление после перехода равное  $0,004$  ом соответствует сопротивлению токового пути через пуансоны и другие детали камеры.

Аномально большое значение ( $8,0 \cdot 10^{-5}\text{К/бар}$ ) и положительный знак барической производной  $T_c$  были найдены для фазы высокого давления теллура Те-II [12, 13]. Если аналогия с теллуrom распространяется и на сверхпроводящие свойства фазы высокого давления серы S-II, то значительную разницу в величинах температуры сверхпроводящего перехода серы наших измерений ( $5,7\text{К}$ ) и измерений наших коллег ( $9,7\text{К}$ ) [14] можно объяснить разницей в давлениях всего в 50 кбар.

Институт физики высоких давлений  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
27 июля 1978 г.

### Литература

- [1] G.C.Vezzoli, P.J.Walsh. HT-HP, 9, 345, 1977.
- [2] D.L.Styris, G.E.Duvall, HT-HP, 2, 477, 1970.
- [3] H.L.Suchan, S.Wiederhorn, H.G.Drickamer. J. Chem. Phys., 31, 355, 1959.
- [4] Л.Ф.Верещагин, Е.Н.Яковлев, Б.В.Виноградов, В.П.Сакун. Письма в ЖЭТФ, 20, 246, 1974.
- [5] Y.Notsu. Thesis, Osaka University, Toyonaka, Osaka, Japan, 1974.
- [6] K.J.Dunn, F.P.Bundy. J.Chem. Phys., 67, 5048, 1977.
- [7] B.Le Neindre, K.Suito, N.Kawai. HT-HP, 8, 1, 1976.
- [8] L.C.Chhabildas, A.L.Ruoff. J. Chem. Phys., 66, 983, 1977.
- [9] B.T.Matthias, J.L.Olsen. Phys. Lett., 13, 202, 1964.
- [10] J.Wittig. Phys. Rev. Lett., 15, 159, 1965.
- [11] B.T.Matthias. Int. J.Quantum Chem., 1s, 773, 1967.
- [12] М.А.Ильина, Е.С.Ицкевич. Письма в ЖЭТФ, 13, 23, 1971.
- [13] И.В.Берман, Ж.И.Бынзаров, Ю.П.Куркин. ФТТ, 14, 2527, 1972.
- [14] Е.Н.Яковлев, Г.Н.Степанов, Ю.А.Тимофеев, Б.В.Виноградов. Письма в ЖЭТФ, данный номер, стр. 369.