

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ $PbTe$ и $PbSe$ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

*Н.Б. Браунт, Д.В. Гицу, Н.С. Попович, В.И. Сидоров,
С.М. Чудинов*

Обнаружена сверхпроводимость у фаз высокого давления соединений $PbTe$ и $PbSe$ при давлениях $p \approx 175$ и ≈ 300 кбар с температурами сверхпроводящего перехода 8 и 6,5 К соответственно.

Халькогениды свинца $PbTe$ и $PbSe$ при нормальных условиях являются типичными полупроводниками, термические щели у которых при низких температурах составляют 0,190 и 0,165 эв. Оба эти соединения

кристаллизуются в структуру типа NaCl с постоянными решетками $a = 6,46$ и $6,12 \text{ \AA}$ [1]. До настоящего времени, насколько нам известно, соединения PbTe и PbSe исследовались лишь при давлениях p до 100 кбар . В этой области давлений указанные соединения претерпевают полиморфные превращения с изменением структуры типа NaCl (β -фаза низкого давления) в структуру типа SnS (γ -фаза) [2].

В настоящей работе проведено исследование электропроводности у PbTe и PbSe до давлений $p \approx 350 \text{ кбар}$ в области температур $2 - 300 \text{ К}$.

Монокристаллы соединений PbTe и PbSe, изготавливались методом Бриджмена и обладали проводимостью p -типа с концентрацией носителей при комнатной температуре $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Давление до 350 кбар создавалось в модифицированной камере высокого давления [3], помещенной между наковальнями из сверхтвердого поликристаллического материала на основе синтетических алмазов типа СВ. Для изготовления камер высокого давления использовался мелкодисперсный порошок Fe_2O_3 , спрессованный при среднем давлении $p \approx 20 \text{ кбар}$. Особенностью камер является применение элементов 1 (рис. 1) с заранее заданным распределением плотности порошка. Центральная часть камеры плотнее периферийной в $2 - 2,5$ раза, что позволяет подобрать оптимальное распределение напряжений в наковальнях и повысить предел достижимых давлений (по сравнению с камерами [3]) примерно на 20%.

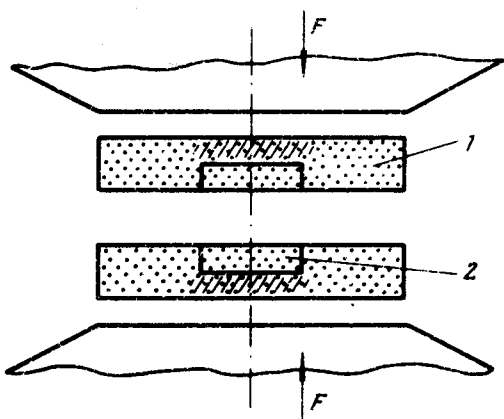


Рис. 1. Камера высокого давления: область повышенной плотности в элементах 1 заштрихована, 2 — стеатитовые шайбы

В качестве среды, передающей давление, использовался стеатит в виде таблеток 2 (рис. 1), спрессованных из порошка под давлением $p \approx 3 \text{ кбар}$.

Особое внимание было уделено методике измерения высоких давлений. При гелиевых температурах величина давления определялась при помощи сверхпроводящего свинцового манометра, который вместе с исследуемым образцом помещался в центре камеры высокого давления. Зависимость температуры T_c сверхпроводящего перехода свинца при сжатии до 200 кбар достаточно хорошо изучена [4]. В настоящей работе свинцовый манометр использовался при более высоких давлениях. Для этой цели была предпринята попытка его калибровки в области $p > 200 \text{ кбар}$. Найдено, что при давлении $p \approx 250 \text{ кбар}$, которое соответствует реперной точке перехода в металлическую фазу у GaAs,

сверхпроводящий переход в свинце наблюдается при $T_c \approx 2,4$ К. При дальнейшем повышении давления T_c продолжает монотонно убывать, уменьшаясь до значения 1,96 К при максимальном давлении. С помощью экстраполяции в область давлений $p > 250$ кбар, проведенной на основе зависимости давления в камере от усилия, приложенного к наковальням, установлено, что $T_c = 2,1$ и 1,96 К соответствуют давлениям $p \approx 300$ и 340 кбар.

$\lg R$

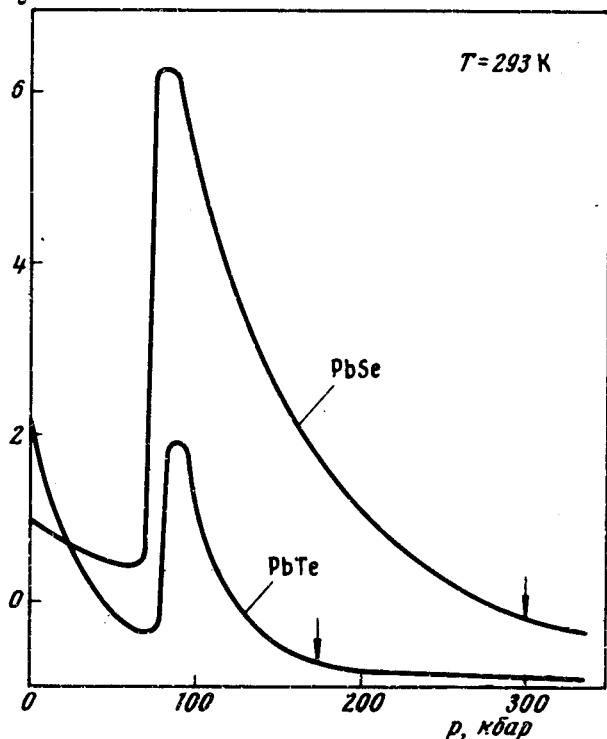


Рис. 2. Зависимость сопротивления у PbTe и PbSe от давления (запись на самописце). Стрелки указывают давления, соответствующие возникновению сверхпроводимости

Измерения температурной зависимости электропроводности показали, что γ -фаза у PbTe является металлической, а у PbSe — полупроводниковой. Сопротивление R у PbTe и PbSe при комнатной температуре после перехода в γ -фазу монотонно уменьшается с ростом давления и не имеет особенностей (рис. 2).

Энергетическая щель у полупроводниковой фазы PbSe уменьшается под давлением и при $p \approx 250$ кбар обращается в нуль. При большем давлении проводимость у PbSe приобретает металлический характер. Можно полагать, что при $p \approx 250$ кбар в PbSe происходит фазовый электронный переход 2,5 рода И.М.Лифшица типа полупроводник — металл [5].

Обнаружено, что в металлических фазах PbTe и PbSe при давлениях $p \approx 175$ и 300 кбар возникает сверхпроводимость с температурами перехода $T_c \approx 8$ и 6,5 К. Интересно отметить, что переходы PbTe и PbSe в сверхпроводящие модификации, по-видимому, не сопровождаются заметными скачками сопротивления на кривых $R(p)$ при $T > T_c$. Поэтому вопрос о том, происходит ли при этих давлениях перестройка решетки остается открытым (рис. 2, стрелки показывают давления, соответствующие появлению сверхпроводимости). Можно лишь

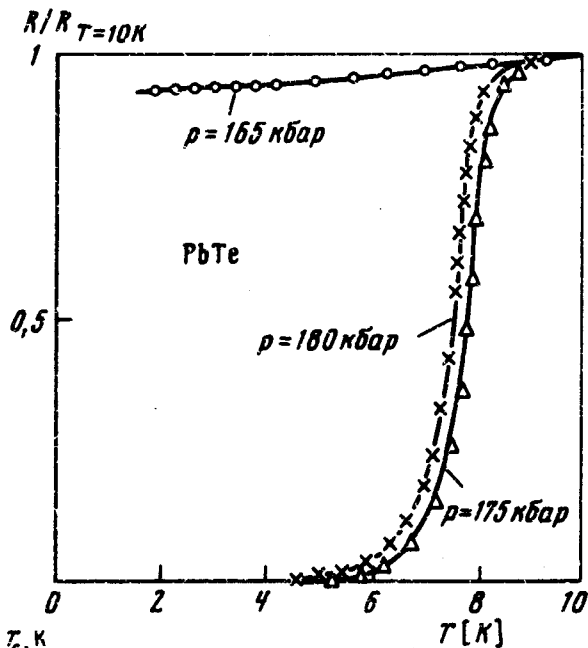


Рис. 3. Зависимость относительного электросопротивления у соединения РЬТе от температуры при различных давлениях

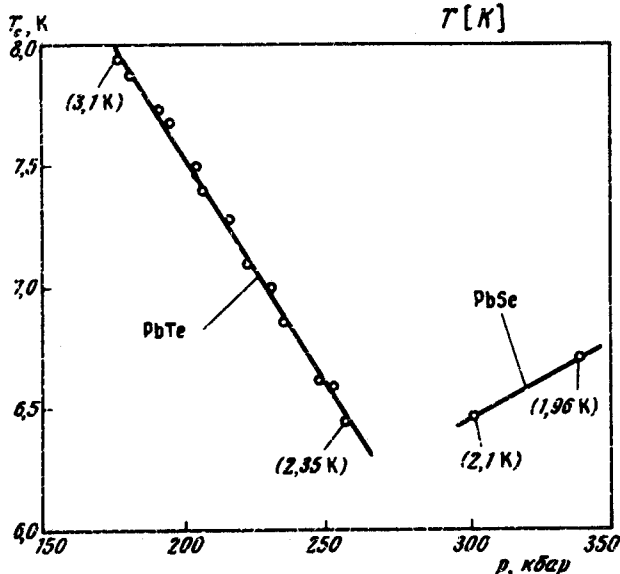


Рис. 4. Зависимость температуры сверхпроводящего перехода у соединений РЬТе и РЬСе от давления

утверждать, что сверхпроводимость возникает достаточно резко (рис. 3). При давлениях ниже указанных на 10 – 15 кбар сверхпроводимость при $T > 2$ К не наблюдается. На рис. 4 показаны зависимости T_c у РЬТе и РЬСе от давления. На этом же рисунке в скобках приведены соответствующие температуры сверхпроводящих переходов свинцового манометра. В интервале давлений 175 – 260 кбар: T_c у РЬТе практически линейно понижается с барическим коэффициентом $dT_c/dp \approx -2 \times 10^{-6}$ град/бар. T_c у РЬСе в области давлений 300 – 340 кбар: повышается со скоростью $dT_c/dp \approx 0,5 \cdot 10^{-6}$ град/бар.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
10 июля 1975 г.

Литература

- [1] R. Dalven. *Infrared Phys.*, 9, 141, 1969.
- [2] W.A. Bassett, T. Takahashi, P.W. Stock. *Rev. Sci. Instr.*, 38, 37, 1967;
J. Wakabayashi, H. Kabayashi, H. Nagasaki, S. Minomura. *J. Phys. Soc. Jap.*, 25, 227, 1968.
- [3] И.В. Берман, Н.Б. Брандт. Письма в ЖЭТФ, 7, 412, 1968; Н.Б. Брандт, И.В. Берман, Ю.П. Куркин, В.И. Сидоров. ПТЭ, № 1, 204, 1975.
- [4] J. Wittig. *Zs. Phys.*, 195, 215, 1966; М.А. Ильина, Е.С. Ицкевич, Е.М. Дижур. ЖЭТФ, 61, 2357, 1971.
- [5] И.М. Лифшиц. ЖЭТФ, 38, 1569, 1960.
-