

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ ФОСФОРА ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

И.В.Берман, Н.Б.Брандт

После открытия в последние годы сверхпроводящих модификаций Ge, Si [1], Sb [2], Te [3] и Se [4], возникающих при высоких давлениях, в пятой группе периодической системы остались два элемента – P и As, у которых также можно было ожидать появления сверхпроводимости при сжатии. В настоящей работе сообщается об обнаружении сверхпроводимости у P в области давлений 170 ± 260 кбар.

Для получения давлений применялась методика, аналогичная использованной в работе [5]. Давление создавалось между плоскостями наковален Бриджмена (рис.1, 1) из сплава ВК-3, помещенных в мультипликатор. Камера высокого давления монтировалась из двух дисков 2 толщиной около 10-15 мм, спрессованных из мелкодисперсного порошка окиси железа Fe_2O_3 , двух запорных колец 3 толщиной ~ 20 мм, внутренним диаметром $\sim 0,5$ мм и внешним $\sim 1,5$ мм, спрессованных в специальном устройстве из смеси порошка Fe_2O_3 и порошкообразного стеатита, и двух стеатитовых шайб 4 толщиной ~ 20 мм и диаметром $\sim 0,5$ мм. Для исключения влияния возможной несоосности одна из наковален имела несколько больший диаметр рабочей плоскости, Камера-

ра высокого давления монтировалась на наковальне меньшего диаметра. Величина давления определялась по величине сжимающего наковальни усилия, измеряемого непосредственно при температурах опыта при помощи сверхпроводящего манометра, и снятой при комнатной температуре градуировочной кривой, опирающейся на реперные точки, с абсолютной точностью ± 20 кбар (точность относительного определения давления в различных опытах существенно выше).

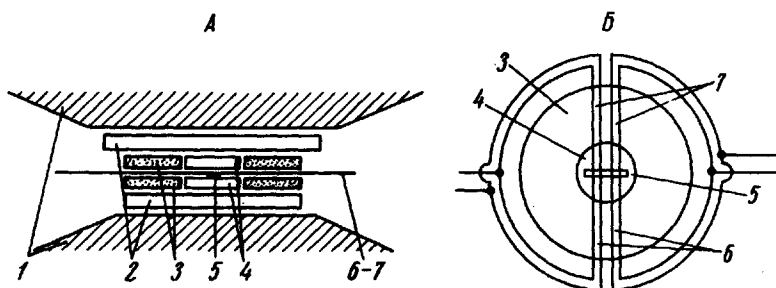


Рис.1. А. Устройство камеры высокого давления.
Б. Схема расположения образца и токовых и потенциальных электродов

Образцы фосфора 5 в виде прямоугольных полосок толщиной ~ 10 мк помещались между стеатитовыми шайбами 4. Исследовалась центральная часть образца размерами $0,2 \times 0,1$ мм. Переход образца в сверхпроводящее состояние регистрировался по изменению электрического сопротивления. Токовыми и потенциальными электродами служили четыре платиновые полоски 6, 7, толщиной около 10 мк, соединенные для увеличения надежности как показано на рис.1.

Поле для разрушения сверхпроводимости создавалось электромагнитом. Магнитное поле в месте расположения образца, отличающееся от внешнего магнитного поля из-за дополнительного магнитного момента, вносимого наковальнями, определялось специальным висмутовым измерителем.

Измерения проводились в приборе десорбционного типа. Температура ниже $4,2^\circ$ достигалась путем откачки паров гелия, выше $4,2^\circ\text{K}$ — путем медленного отогрева блока активированного угля, внутри которого находился мультипликатор с измерительными катушками. Температура выше $4,2^\circ\text{K}$ измерялась полупроводниковым термометром Алан Брэдли.

Исследовались образцы черного, синтезированного С.С.Бокшей*, и красного фосфора. В обоих случаях при давлениях $170 + 260$ кбар образцы обнаруживали металлическую зависимость сопротивления от тем-

* Пользуемся случаем выразить нашу искреннюю признательность С.С.Бокше за любезное предоставление высококачественных образцов черного фосфора.

пературы. При охлаждении от 240 до 10°K сопротивление уменьшалось в ~ 40 раз. При дальнейшем понижении температуры наблюдались резко выраженные переходы в сверхпроводящее состояние, ширина которых сильно зависела от величины приложенного давления (рис.2,а).

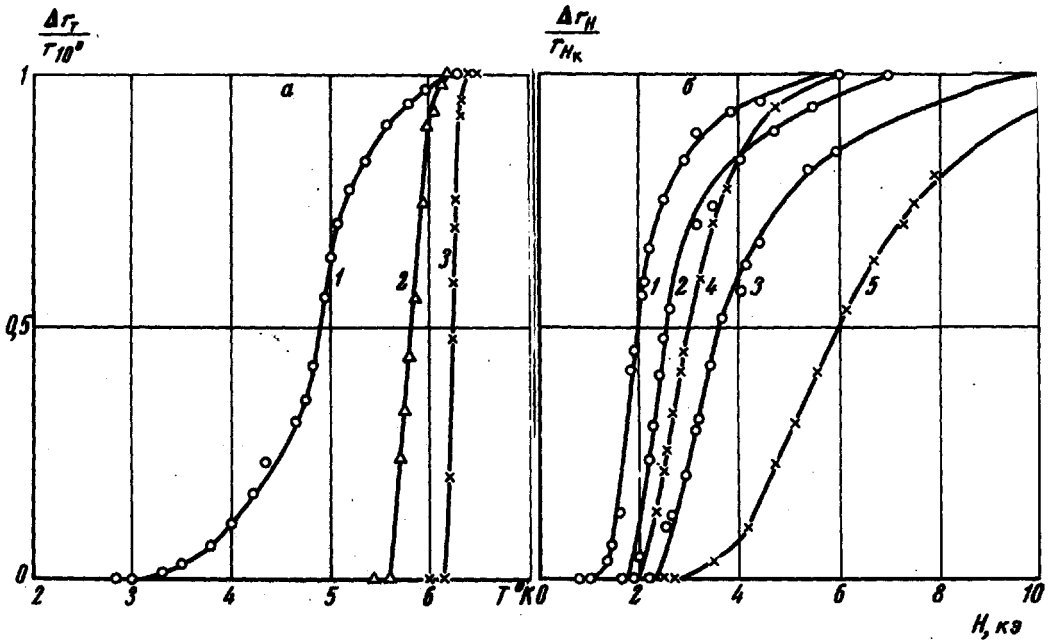


Рис. 2. Кривые относительного изменения сопротивления при сверхпроводящих переходах: а- $H=0$. 1 - $P=260$ кбар; 2 - $P=170$ кбар; 3 - $P=220$ кбар. б-в магнитном поле: $P=170$ кбар. 1 - $T=4,2^\circ\text{K}$; 2 - $T=3,427^\circ\text{K}$; 3 - $T=2,223^\circ\text{K}$; $\times P=230$ кбар. 4 - $T=4,2^\circ\text{K}$, 5 - $T=3,053^\circ\text{K}$

Кривые разрушения сверхпроводимости магнитным полем изображены на рис.2,б. Характерной особенностью этих кривых является возрастающее размытие при переходе к более низким температурам, в результате чего возникает неопределенность в определении величины критического поля. Кроме того, независимо от способа определения H_K (по серединам кривых или концам переходов), экстраполяция кривых $H_K(T)$ (рис.3, значения H_K определялись по серединам кривых разрушения сверхпроводимости магнитным полем) дает, в опытах при давлениях, превышающих 170 кбар, меньшие значения T_K , чем определенные по кривым сверхпроводящих переходов при $H=0$. (При давлении 170 кбар экстраполяционное значение T_K совпадает со значением, определенным по кривым переходов при $H=0$).

Эти особенности можно объяснить, если предположить, что у фосфора существуют две или более сверхпроводящих модификаций. При давлении 170 кбар образец состоит, в основном, из одной сверхпроводящей модификации с $T_K=5,8^\circ\text{K}$ (при $P=170$ кбар) и $(\partial H_K / \partial T)_{T_K} = 1,2$ кэ/град.

При более высоких давлениях образец состоит, по-видимому, из смеси двух или трех сверхпроводящих модификаций с более высокими значениями $\frac{\partial H_K}{\partial T}$. Предположение о существовании у P нескольких сверхпроводящих моди-

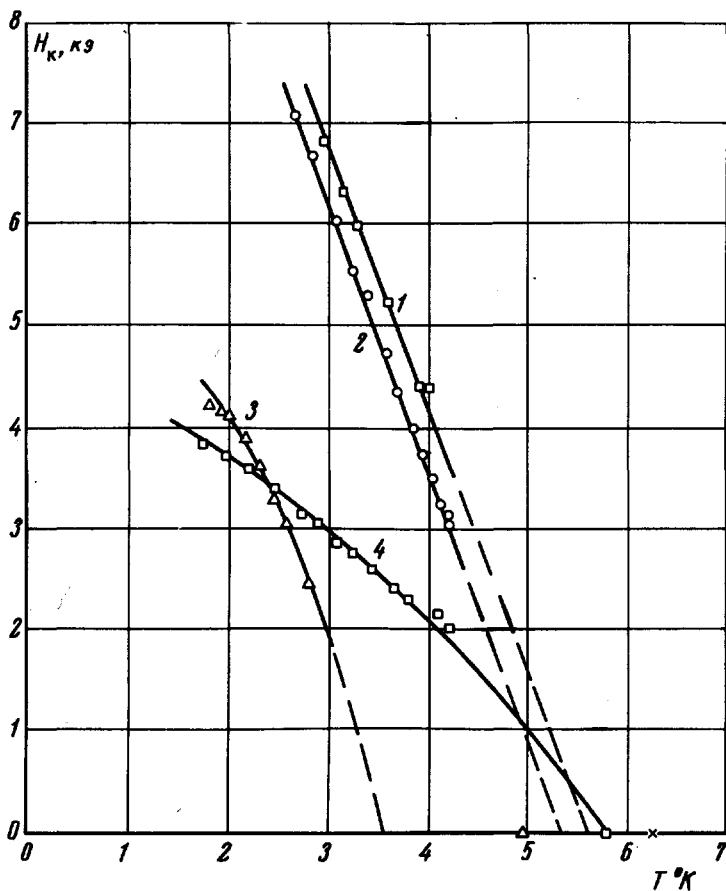


Рис.3. Кривые критических полей фосфора: 1 — $P = 220$ кбар; 2 — $P = 230$ кбар; 3 — $P = 260$ кбар; 4 — $P = 170$ кбар

фикаций согласуется с представлением о том, что среди кристаллических модификаций, устойчивых при высоких давлениях, должны быть модификации со структурой, аналогичной структуре сверхпроводящих модификаций у Bi , Sb [6]*.

Для выяснения этого вопроса необходимо проведение дополнительных детальных исследований.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
2 апреля 1968 г.

* Фазовая диаграмма фосфора исследовалась, к сожалению, лишь до давления 150 кбар.

Литература

- [1] I. Wittig. *Zs. Phys.*, **195**, 215, 1966.
- [2] T.R.R. Mc. Donald, E. Gregory, C.S. Barberich, D.B. Mc. Whan, T.H. Geballe, G.W. Hull. *Phys. Rev. Lett.*, **14**, 16, 1965.
- [3] B.T. Matthias, I.L. Olsen. *Phys. Rev. Lett.*, **13**, 202, 1964.
- [4] I. Wittig. *Phys. Rev. Lett.*, **15**, 159, 1965.
- [5] Н.Б. Брандт, И.В. Берман. *Письма ЖЭТФ*, **7**, 198, 1968.
- [6] В.В. Евдокимова. *УФН*, **88**, 93, 1966.