

К ПЕРЕХОДУ АЛМАЗА В МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Л. Ф. Верещанин, Е. Н. Яковлев, Б. В. Виноградов,
В. П. Сахун, Г. Н. Степанов

Экспериментально показано, что при давлениях порядка одной мегабары и в интервале температур от 77 до 600°K на кривой равновесия диэлектрической и металлической фаз алмаза имеет место $dT/dP < 0$.

В предыдущей работе [1] нами сообщалось, что при приложении давления порядка одной мегабары ($P \sim 10^6$ кг/см²) наблюдается скачкообразное уменьшение электросопротивления алмаза на несколько порядков. При снятии давления электросопротивление также скачкообразно возвращается к исходной величине. Эти факты позволили нам предположить что в алмазе произошел переход в новую фазу — металлическую. Подобные переходы в германии и кремнии наблюдались при давлениях 115 — 120 кбар (Ge) и 190 кбар (Si) [2,3].

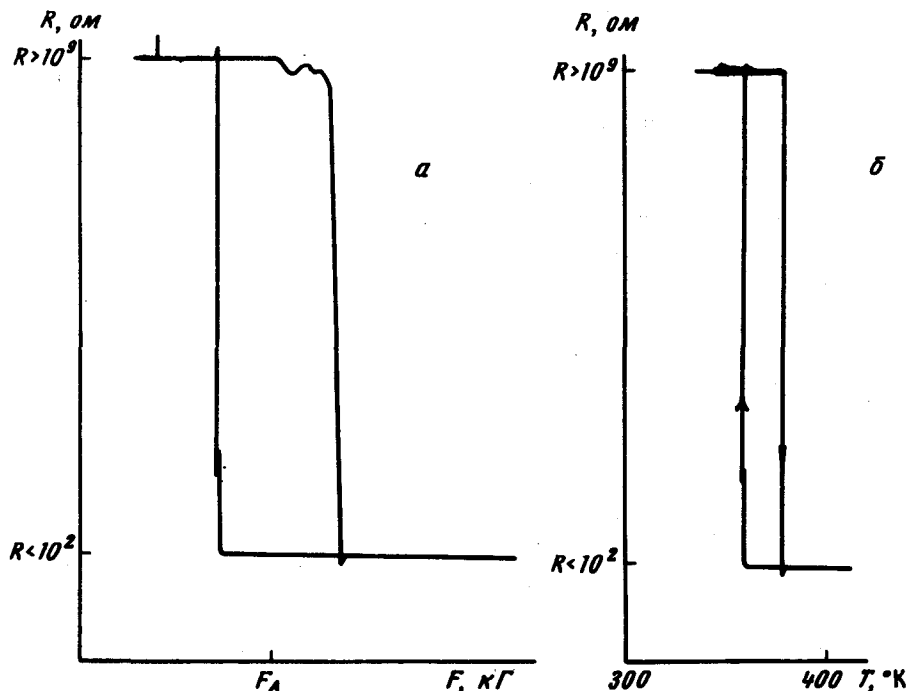


Рис. 1. Зависимости электросопротивления алмаза *a* — от усилия и *b* — температуры

В настоящей работе мы предприняли попытку определить качественный ход линии равновесия диэлектрик — металл на фазовой (P, T)-диаграмме углерода. С этой целью исследовалась зависимость электросопротивления образца от приложенного усилия при различных температурах. Опыты проводились нами в интервале температур от 77 до 600°K.

На рис. 1, а приведена типичная запись хода электросопротивления R от усилия F , содержащего скачок величины R . Обнаружено, что с повышением температуры переход происходит при меньших усилиях (петля на рис. 1, а смещается влево), и наоборот.

Следует отметить, что в экспериментах с тонким слоем порошка усилие, необходимое для осуществления перехода алмаза в металл, зависит от толщины слоя порошка, а также от наковален, между которыми он помещается. В наших опытах переходы диэлектрик – металл наблюдались при усилиях в диапазоне от 20 до 200 кГ.

На рис. 1, б представлена запись хода $R(T)$ при фиксированном усилии. Обнаруженный здесь скачок R подтверждает, что линия равновесия диэлектрик – металл имеет отрицательный наклон. Как и следовало ожидать, при уменьшении усилия для достижения перехода требовалась более высокая температура (петля на рис. 1, б смещается вправо).

В качестве примера укажем значения усилий, при которых происходил переход, для одной из экспериментальных серий, проведенной при комнатной и азотной температурах:

$$F = 110, 114, 112 \text{ кГ}$$

– при комнатной температуре, и

$$F = 152 \text{ и } 140 \text{ кГ}$$

при последующем охлаждении до температуры $\sim 77^\circ\text{K}$.

Хотя эти данные не дают возможности определить численные значения величины $(\partial T / \partial P)_{\text{равн}}$ на линии равновесия диэлектрик – металл, тем не менее на основании их можно сделать, заключение, что $(\partial T / \partial P)_{\text{равн}} < 0$.

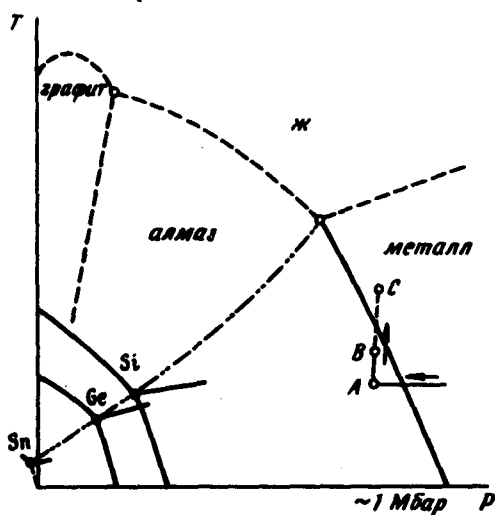


Рис. 2. Диаграмма состояний углерода (по Банди [4]). Состояние А достигалось медленным сбросом усилия, приложенного к первоначально находившемуся в металлической фазе образцу алмаза. В точках В и С происходят переходы металл – диэлектрик и диэлектрик – металл соответственно

Заметим, что в области, прилегающей к линии фазового равновесия, возможно существование метастабильных состояний. В частности, металлическая фаза может существовать в области стабильности диэлектрической фазы (рис. 2). В данном случае металл при нагревании должен "размораживаться" и переходить в диэлектрик.

Мы наблюдали переход металла в диэлектрик при повышении температуры в экспериментах, проведенных следующим образом. Сначала снималась зависимость $R(F)$ (рис. 1, а). При усилии F_A (рис. 1, а, 2) производился нагрев системы. В процессе повышения температуры наблюдается скачкообразное увеличение электросопротивления системы до значения, соответствующего диэлектрической фазе.

Если при этом производить дальнейший нагрев, то снова наблюдается переход в металлическую фазу (рис. 2).

Отрицательный наклон линии фазового равновесия между полупроводниковой и металлической фазами является типичным для элементов четвертой группы периодической системы [4] (рис. 2). Опыты, проведенные нами с алмазом, показывают, что углерод не является исключением.

Институт
физики высоких давлений
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
14 марта 1973 г.

Литература

- [1] Л.Ф.Верещагин, Е.Н.Яковлев, Г.Н.Степанов, Б.В.Виноградов. Письма в ЖЭТФ, 16, 382, 1972.
 - [2] S.Minomura, H.G.Drickamer. J. Phys. Chem. Solids, 23, 451, 1962.
 - [3] S.Minomura, G.A.Samara, H.G.Drickamer. J. Appl. Phys., 33, 3196, 1962.
 - [4] F.P.Bundy. J. Chem. Phys., 41, 3809, 1964.
-