

для исходных образцов с большой  $N_d$ . Отсюда следует дополнительный вывод: дислокации не играют самостоятельной роли в образовании центра, а действуют лишь как стоки для вакансий.

Наконец, мы приходим к заключению, что при высоких температурах  $1/4$  полного количества фосфора в кремнии находится в междузлиях; в ряде случаев фосфор внедрения сохраняется при охлаждении образцов до комнатной температуры. С этой точки зрения большой коэффициент диффузии Р в Si<sup>(2)</sup> обусловлен тем, что фосфор диффундирует по междузлиям, в отличие от других примесей замещения, диффундирующих по вакансиям. Если увеличить концентрацию вакансий в образце путем пластической деформации, то диффузия фосфора должна замедлиться, так как доля внедренного фосфора, согласно (1), уменьшается. При вакансионном механизме диффузия должна была бы ускориться. Именно такой эффект был обнаружен в работе (3): при динамической деформации кремния диффузия Ga, В, Sb ускорялась, а диффузия Р замедлялась. Другое следствие из существования фосфора внедрения состоит в том, что при легировании кремния только фосфором концентрация электронов  $n$  должна отличаться от полного содержания фосфора  $c$ . Если уровень  $E_v + 0,13$  эв акцепторный, то  $n = (c - N) - N \approx 1/2c$ , а если донорный, то  $n = c - N \approx 3/4c$ . По многим литературным источникам (например (10, 12))  $n$  близка к  $c$ . Особняком стоят данные работы (1). Всего вероятнее, уровень  $E_v + 0,13$  эв является донорным, что согласуется и с данными (6, 7) по рекомбинации на этом уровне.

Государственный научно-исследовательский  
и проектный институт редкометаллической  
промышленности

Поступило  
3 V 1968

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. И. Фистуль, Сильно легированные полупроводники, «Наука», 1967.  
<sup>2</sup> Б. И. Болтакс, Диффузия в полупроводниках, М., 1961. <sup>3</sup> J. E. Lawrence, Brit. J. Appl. Phys., 18, № 4, 405 (1967). <sup>4</sup> Г. И. Воронкова, А. Г. Дудин, М. И. Иглицын, Научн. тр. Гиредмета, 25, 241 (1968). <sup>5</sup> G. Ziegler, Zs. Metallkunde, 49, № 9, 491 (1968); в сборн. Зонная плавка, 1966, стр. 64. <sup>6</sup> R. H. Glaenger, C. J. Wolf, J. Appl. Phys., 36, № 7, 2197 (1965). <sup>7</sup> Г. Н. Галкин, ФТТ, 2, № 1, 8 (1960). <sup>8</sup> G. G. Watkins, J. W. Corbett, Phys. Rev., 134, № 5A, 1359 (1964). <sup>9</sup> T. R. Waite, Phys. Rev., 107, № 2, 463 (1957). <sup>10</sup> B. J. Masters, J. M. Fairfield, J. Appl. Phys., 38, № 8, 3148 (1967). <sup>11</sup> Дж. Дамаск, Дж. Динс, Точечные дефекты в металлах, М., 1966. <sup>12</sup> R. N. Hall, J. Phys. Chem., 57, № 8, 836 (1953).

УДК 539.89

ХИМИЯ

*N. A. Goryunova S.V. Popova L. G. Khvostantsev*  
Н. А. ГОРЮНОВА, С. В. ПОПОВА, Л. Г. ХВОСТАНЦЕВ

## ПОВЕДЕНИЕ $CdSiP_2$ , $CdGeP_2$ , $CdSnP_2$ , $ZnSnP_2$ , $ZnGeP_2$ И $ZnSiP_2$ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР

(Представлено академиком Л. Ф. Верещагиным 30 XII 1968)

Поведение ряда соединений состава  $ABC_2$  при высоких давлениях и температурах исследовалось различными авторами. Для одной группы этих веществ ( $A^{IV}B^{III}C_2^{VI}$ ) были обнаружены новые метастабильные фазы со структурой типа  $\alpha-NaFeO_2$  (1). Вещества другой группы ( $A^{IV}B^{IV}C_2^V$ , где  $C - As$ ) разлагаются на  $A_3^{III}C_2^V + B^{IV}C^V + C_2^V$  (2).

В настоящей работе исследованы при высоком давлении соединения  $CdSiP_2$ ,  $CdGeP_2$ ,  $CdSnP_2$ ,  $ZnSnP_2$ ,  $ZnGeP_2$  и  $ZnSiP_2$ , кристаллизующиеся в структуре халькопирита.

Работа выполнена на камере высокого давления, сконструированной в Институте физики высоких давлений АН СССР Верещагиным, Новиковым, Хвостанцевым, позволяющей генерировать давление до 165 кбар. В качестве реперных точек при измерении давления служили полиморфные переходы в  $Bi$  (25,4; 26,9; 89,3 кбар), в  $Ba$  (59; 144 кбар), в  $Sn$  (115 кбар) и  $Pb$  (161 кбар). Исходные продукты в виде порошков соответствующих соединений синтезированы в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе АН СССР.

Исследуемые вещества помещались в контейнер из  $BN$ , находящийся, в свою очередь, в цилиндрическом нагревателе из графита. Конечные продукты изучались рентгенографически, путем съемки дебаеграмм (камера РКД-57, фильтрованное медное излучение).

Установлено, что при давлении 60 кбар и температуре выше  $700^\circ$   $CdSiP_2$  разлагается на  $Cd$  и  $SiP_2$ . При этом  $SiP_2$  кристаллизуется в структуре типа пирита, что соответствует известным из литературы данным (3-5) для этого соединения, синтезированного из элементов как при нормальном давлении, так и в условиях высоких давлений и температур. Расчетное изменение удельного объема при реакции разложения (без учета поправки на сжимаемость и тепловое расширение) равно  $\Delta V / V_0 = 20\%$ , из пикнометрического измерения плотности полученной при разложении смеси ( $Cd + SiP_2$ )  $\rho_{эф} = 4,96 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup> относительное изменение удельного объема также должно быть равно 20%. Нагревание смеси ( $Cd + SiP_2$ ) в вакууме при температуре  $600^\circ$  в течение 1 часа приводит к синтезу исходного продукта  $CdSiP_2$ .

Для  $CdGeP_2$  при давлении 50 кбар и температуре  $900^\circ$  обнаружена стеклообразная фаза, возникающая и при нормальном давлении при быстром охлаждении из расплава (6). При более высоких давлениях, и температуре выше  $700^\circ$  наблюдается разложение  $CdGeP_2$ . На дебаеграммах продукта, полученного при давлении 50-70 кбар и температурах выше  $700^\circ$ , наблюдаются линии  $Cd_3P_2$  и черного фосфора, что дает основание предположить, что разложение идет в соответствии с реакцией  $3CdGeP_2 \rightarrow Cd_3P_2 + 3GeP + P$  (черный) ранее найденной (2) для арсенидов. Плотность полученной смеси, измеренная пикнометрическим методом,  $\rho_{эф} = 5,2 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>, что соответствует изменению удельного объема при разложении на величину  $\Delta V = -25,38$  см<sup>3</sup>/моль, относительное изменение объема составляет 15%.