

группы элементарная ячейка содержит 2 пятивалентных атома и 10 валентных электронов).

Чистые As, Sb, Bi имеют полуметаллич. спектр. Сплавы Bi и Sb ( $Bi_{1-x}Sb_x$ ) в интервале составов  $0,065 \leq x \leq 0,23$  являются полупроводниками с узкой запрещенной зоной  $\epsilon_g \leq 0,025$  эВ.

Иную природу имеет происхождение полуметаллич. состояния в графите. Атомы C в отд. слое графита расположены в вершинах правильных шестиугольников и образуют структуру с полностью насыщенными связями. Электронный энергетич. спектр такого слоя является спектром бесщелевого полупроводника. Слабое перекрытие волновых ф-ций электронов в соседних слоях приводит к возникновению полуметаллич. спектра трёхмерного графита с перекрытием зон  $\sim 0,04$  эВ.

Анализ происхождения электронного энергетич. спектра П. позволяет понять, с чем связано наиб. характерное для всех П. свойство — малое число носителей заряда на один атом вещества. Столь же типично для П. малое значение эфф. масс  $m$  электронов и дырок в нек-рых направлениях в зоне Бриллюэна ( $10^{-2} - 10^{-3}$  от массы  $m_0$  свободного электрона).

Совокупность этих свойств обуславливает то, что целый ряд физ. параметров П. имеет аномальное значение. Вследствие малого числа носителей весьма малыми являются сечения поверхностей Ферми ( $S \sim 10^{-40} - 10^{-42} \text{ г}^2 \cdot \text{см}^2/\text{с}^2$ ). Малость эфф. масс приводит к высокой подвижности  $\mu$  носителей заряда (при низких темп-рах  $\mu \approx 10^5 - 10^7 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ), к большим значениям коэф. магнетосопротивления ( $\Delta\rho/\rho H^2 \sim 10^{-2} - 10^{-6} \text{ Э}^{-2}$ ), термодс ( $\alpha \sim 10^{-4} \text{ В/град}$ ),  $g$ -факторов ( $\sim 10^2 - 10^3$ ), магнитной восприимчивости  $\chi$ .

Диэлектрич. проницаемость  $\epsilon$  у П. V группы велика ( $\epsilon \geq 10^2$ ). Такая величина  $\epsilon$  связана с тем, что при удалении по энергии от уровня Ферми  $\epsilon_F$  на величину  $\sim 0,1$  эВ электронный энергетич. спектр этих веществ мало отличается от спектра в парафазе, для к-рого характерна большая плотность электронных состояний. У графита подобная аномалия отсутствует ( $\epsilon \sim 2,5$ ).

Полуметаллы V группы. Кристаллич. решётка имеет симметрию  $R3m (D_{3d}^5)$  (см. Симметрия кристаллов). Она отличается от простой кубич. решётки ромбоэдрич. деформацией (угл. искажения  $\sim 3^\circ - 5^\circ$ ) и сдвигом двух гранецентриров. подрешёток вдоль выделенной диагонали куба (относит. сдвиг 10%). Зона Бриллюэна близка по форме к зоне Бриллюэна для гранецентриров. кубич. решётки. Выделенное направление — ось 3-го порядка  $C_3$  (рис. 1). Электронные

сильно различаются между собой. У Bi поверхности Ферми дырок представляют собой эллипсоид вращения, вытянутый вдоль оси  $C_3$  с центром в точке T зоны Бриллюэна (рис. 2). Отношение экстремальных дырочных сечений в Bi близко к 3. У Sb 6 дырочных экстремумов, расположенных в точках H зоны Бриллюэна (рис. 3).

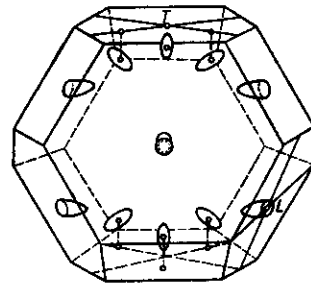


Рис. 3. Электронная и дырочные части поверхности Ферми Sb.

Поверхности Ферми дырок — эллипсоиды вращения, направления вытянутости к-рых составляют углы  $\sim 37^\circ$  с осью  $C_3$ , степень анизотропии экстремальных сечений близка к 3. Дырочные экстремумы в As находятся в тех же точках, что и в Sb, но поверхность Ферми дырок имеет значительно более сложную форму (рис. 4), что связано с большими размерами поверхности Ферми у As в зоне Бриллюэна по сравнению с соответствующими поверхностями у Sb и Bi.

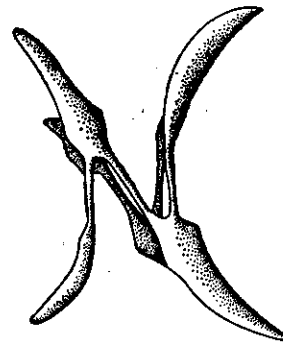


Рис. 4. Дырочная поверхность Ферми As.

Эфф. массы электронов в П. V группы анизотропны: они близки к  $m_0$  в направлении вытянутости поверхности Ферми, тогда как в перпендикулярных направлениях  $m = 10^{-2} m_0$ . Эфф. массы дырок у Bi слабо анизотропны и составляют  $\sim 10^{-1} m_0$ . У As и Sb дырочные массы более анизотропны и составляют  $\sim (10^{-1} - 10^{-2}) m_0$ .

Графит. Кристаллич. решётка относится к гексагональной системе, описывается пространств. группой симметрии  $R6_3mc (C_{6v}^3)$ . Выделенное направление (ось C) перпендикулярно слоям в решётке. Расстояние между атомами углерода в слое при  $T = 300 \text{ К}$   $a = 1,415 \text{ \AA}$ , межслоевое расстояние  $c/2 = 3,5338 \text{ \AA}$ . Зона Бриллюэна — гексагональная призма (рис. 5). Ось  $k_z$  совпадает с выделенным направле-

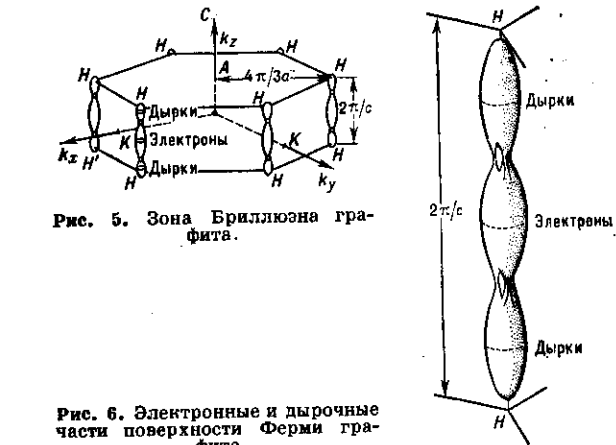


Рис. 5. Зона Бриллюэна графита.

Рис. 6. Электронные и дырочные части поверхности Ферми графита.

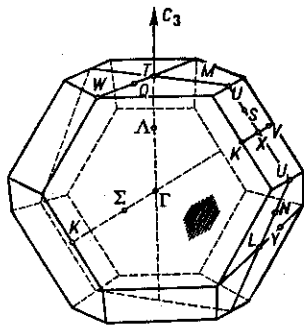


Рис. 1. Первая зона Бриллюэна полуметаллов V группы.

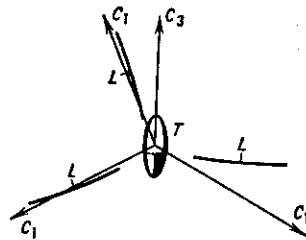


Рис. 2. Дырочные части поверхности Ферми Bi.

части поверхности Ферми у всех П. V группы представляют собой 3 вытянутые поверхности, близкие по форме к эллипсоидам (отношение макс. и мин. сечений  $\sim 12-16$ ) с центрами в точках L зоны Бриллюэна (рис. 2). Направления вытянутости квазиэллипсоидов у As и Sb отклонены на малые углы ( $2-6^\circ$ ) от базисной плоскости и соответствующих биссекторных осей  $C_1$ . Дырочные части поверхности Ферми у П. V группы

принимают C. Поверхность Ферми сильно анизотропна. Её электронные и дырочные части вытянуты вдоль боковых рёбер  $HKH$  зоны Бриллюэна и близки по форме к гофрированным в базисной плоскости эллипсоидам (рис. 6). Отношение экстремальных сечений поверхности Ферми для электронов и дырок  $\sim 10$ .