

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНУЮ

МАССУ ЭЛЕКТРОНОВ В *InSb*

Е.С.Ицкевич, В.М.Муждаба, В.А.Сухопаров, С.С.Шалыт

В экспериментальных работах Лонга [1] и Кейеса [2] было установлено, что электрическое сопротивление ρ и коэффициент Холла R антимонида индия в области собственной проводимости экспоненциально возрастают с давлением P . Такой результат был объяснен тем, что с увеличением давления (вплоть до 12000 кг/см²) происхо-

дит линейное возрастание ширины запретной зоны кристалла ϵ_g с коэффициентом пропорциональности $1,5 \cdot 10^{-5}$ эв $\text{см}^2/\text{кг}$. Следствием такого возрастания ϵ_g является экспоненциальное уменьшение концентрации собственных носителей тока. Для численного определения коэффициента пропорциональности в зависимости ϵ_g от P по экспериментальным данным о величинах ρ и R необходимо учесть влияние давления на эффективную массу носителей тока. В работе Лонга для этой цели использовались экспериментальные данные об изменении холловской подвижности ($R\sigma$); в работе Кейеса было принято, что эффективная масса электронов изменяется с давлением так же, как ширина запретной зоны кристалла: $m^* \sim \epsilon_g$. Это простое соотношение было затем теоретически обосновано в известной работе Кейна [3], посвященной расчету структуры энергетических зон в кристалле *InSb*. Из экспериментальных данных следовало, что эффективная масса дырок от давления не зависит.

В настоящей работе экспериментально исследовано влияние гидростатического давления до $8000 \text{ кг}/\text{см}^2$ непосредственно на эффективную массу электронов. Для этой цели был использован прямой метод, основанный на новом явлении магнетофононного резонанса Гуревича - Фирсова. В экспериментальной работе, посвященной исследованию этого явления в *n-InSb* [4], было показано, что если известна предельная частота оптических колебаний кристалла ω_0 , то эффективная масса электронов может быть надежно определена из резонансного условия:

$$\omega_0 = M \frac{eH}{m^*c} \quad (M = 1, 2, 3 \dots) \quad (1)$$

На опыте магнетофононный резонанс проявляется в осцилляции зависимости магнетосопротивления $\Delta\rho/\rho_0$ от напряженности магнитного поля H , причем наиболее просто обстоит дело в случае поперечного магнетосопротивления.

Исследованный нами монокристаллический образец *n-InSb* имел размеры $2 \times 2,5 \times 16$ мм, концентрацию $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и подвижность $7 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{всек}$ при $T = 77^\circ\text{К}$. Гидростатическое давление создавалось с помощью аппаратуры, описанной в [5].

В проведенных нами опытах давление не превышало 8000 кг/см^2 . Так как линейная сжимаемость кристалла *InSb* составляет $7 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{дин}$, то относительное сокращение линейных размеров кристалла не превышало $0,6\%$. В дальнейшем мы будем полагать, что при столь малом сжатии решетки изменение предельной оптической ча-

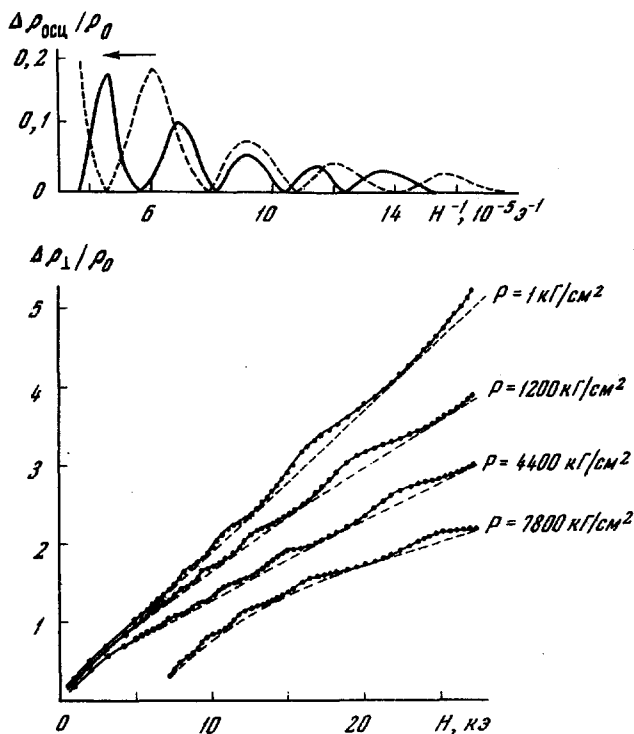


Рис. 1. Зависимость поперечного магнетосопротивления от напряженности магнитного поля при разных давлениях

стоты не выходит за пределы точности использованного метода определения эффективной массы (3–5%) и $\omega_0 = 3,7 \cdot 10^{13} \text{ сек}^{-1} = \text{const}$ [6].

Из экспериментальных графиков, представленных на рис. 1, видно, как влияет давление на период и фазу осциллирующих кривых поперечного магнетосопротивления при $T = 105^\circ \text{K}$. Пунктирными линиями представлен предполагаемый гладкий фон, на который накладываются всплески магнетосопротивления, вызываемые магнетофононным резонансом. В верхней части рисунка представлена периодическая по обратному по-

лю осциллирующая часть магнетосопротивления, отсчитанная от указанного фона; горизонтальной стрелкой показано смещение второго максимума ($M = 2$) при увеличении давления от $P = 1 \text{ кГ/см}^2$ (пунктир) до $= 4400 \text{ кГ/см}^2$ (сплошная линия).

Эффективная масса электронов, участвующих в магнетофононном резонансе, может быть определена как по периоду осцилляции

$$\Delta \left(\frac{1}{H} \right) = \frac{e}{m^* \omega_0 c}, \quad (2)$$

так и по положению отдельных максимумов на осциллирующей кривой.

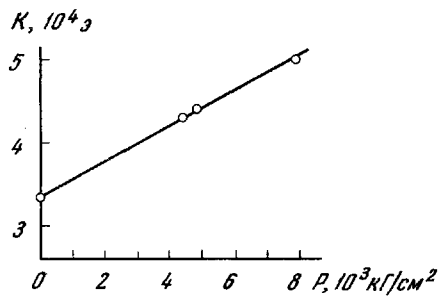


Рис. 2. Зависимость величины обратного периода K от давления, позволяющая определить зависимость $m^*(P)$

Экспериментальные результаты для величины, обратной периоду

(2) $K = [\Delta(1/H)]^{-1}$, представленные на рис.2, обнаруживают для этой величины линейную зависимость вида:

$$K(\text{э}) = 3,3 \cdot 10^4 + 2,4 \cdot P \text{ (кГ/см}^2\text{)}. \quad (3)$$

Для эффективной массы с помощью (2) получается изменение от $m^* = 0,016 m_0$ ($H = 15 + 25 \text{ кэ}$) при $P = 1 \text{ кГ/см}^2$ до $m^* = 0,025 m_0$ при $P = 8000 \text{ кГ/см}^2$. Так как согласно данным работ [1,2] ширина запретной зоны увеличивается в этом интервале давлений также в 1,5 раза, то полученный результат является экспериментальным подтверждением теоретического вывода о прямой пропорциональности между эффективной массой электронов и шириной запретной зоны кристалла $InSb$ в исследованном интервале давлений.

В работе [4] было показано, что при повышении температуры опыта до 195°K осцилляции поперечного магнетосопротивления практически исчезают. В качестве возможных причин этого затухания указывалось на уменьшение подвижности и наступление собственной проводимости при $T = 195^{\circ}\text{K}$. Кривые, представленные на рис. 3, вносят

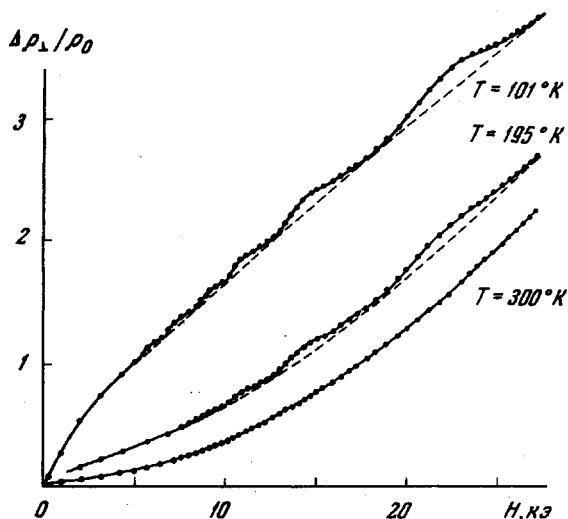


Рис. 3. Зависимость магнетосопротивления от поля при разных температурах. Для $T = 101^{\circ}\text{K}$ и $T = 195^{\circ}\text{K}$ $P = 4400 \text{ кг/см}^2$; при $T = 300^{\circ}\text{K}$ $P = 8000 \text{ кг/см}^2$

некоторую ясность в этот вопрос. На кривой зависимости $\Delta\rho/\rho_0$ при $P = 4400 \text{ кг/см}^2$ осцилляции проявляются совершенно отчетливо и при $T = 195^{\circ}\text{K}$, несмотря на то, что при этих условиях подвижность уменьшается не только за счет повышения температуры, но и за счет увеличения давления [1]. Лишь при дальнейшем повышении температуры до 300°K осцилляции магнетосопротивления становятся незаметными даже при $P = 7800 \text{ кг/см}^2$.

Институт физики высоких давлений

Академии наук СССР

Институт полупроводников

Академии наук СССР

Поступило в редакцию

20 октября 1965 г.

Литература

- [1] D.Long. Phys.Rev., 99, 388, 1955.
- [2] P.W.Keyes. Phys. Rev., 99, 490, 1955.
- [3] E.O.Kane. J.Phys.Chem. Solids, 1 249, 1957.
- [4] Р.В.Парфеньев, С.С.Шалыт, В.М.Муждаба. ЖЭТФ, 47, 444, 1964.
- [5] Е.С.Ицкевич. ПТЭ, №4, 148, 1963.
- [6] M.Naan, B.W. Henvis, J. Phys. Chem. Solids, 23, 1099, 1962.