

АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ В СПЛАВАХ $Pb_{1-x}Sn_xTe(Ga)$ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДАВЛЕНИЯ

*Б.А.Акимов, Н.Б.Брандт, Л.И.Рябова,
Д.Р.Хозлов, С.М.Чудинов, О.Б.Яценко*

Обнаружено, что в монокристаллических сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe$, легированных Ga, под действием гидростатического сжатия при $T = 4,2K$ происходит локализация электронов на примесных центрах. При этом в сплавах n -типа уровень Ферми с ростом давления скачком переходит в валентную зону.

1. В ряде случаев использование внешнего давления в качестве независимого физического параметра позволяет получить новую информацию о природе примесных состояний в полупроводниках. Обычно зарядовое состояние введенных примесей и концентрация свободных носителей в полупроводнике не изменяется под действием давления. Ис-

ключение составляют случаи, когда зонная структура вблизи уровня Ферми определяется квазилокальными (резонансными) примесными уровнями. Такая ситуация реализуется, например, в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$, где внешним давлением при $T = 4,2K$ индуцируются переходы полупроводник – металл – полупроводник [1]. Эти исследования позволили однозначно установить наличие в пределах запрещенной зоны сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ емкого примесного уровня. В настоящей работе, в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(Ga)$ обнаружено новое, необычное поведение примесных центров под действием давления.

2. В работе исследованы гальваномагнитные и осцилляционные эффекты в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(Ga)$ из интервала $(0,19 \lesssim x \lesssim 0,30)$ в магнитных полях до 60 кЭ под давлением до 16 кбар в диапазоне температур $2 - 300K$.

Исходные сплавы $Pb_{1-x}Sn_xTe$ выращивались методом Чохральского. Ga вводился в монокристаллические шайбы толщиной ~ 1 мм с помощью изотермического отжига в парах Ga Te. Температура ($\sim 650^\circ C$) и длительность (~ 10 суток) отжига для сплавов всех составов были одинаковы. Часть сплавов была выращена из газовой фазы. В этом случае Ga вводился непосредственно в ростовую шихту. Количество Ga в сплавах составляет, по оценкам и результатам анализов, несколько десятых долей процента.

3. В отсутствие примеси сплавы $Pb_{1-x}Sn_xTe$, независимо от их состава обладали p -типом проводимости с концентрацией дырок $p \sim 10^{18} - 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Примесь Ga в этих соединениях носит определенно донорный характер, однако результирующая концентрация носителей при $T = 4,2K$ зависит от состава сплава. Сплавы с $x = 0,19$ и $x = 0,20$ обладают n -типом проводимости с концентрацией электронов $n \sim 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$ соответственно. Сплавы $Pb_{1-x}Sn_xTe(Ga)$ из интервала $0,22 \lesssim x \lesssim 0,30$ имели p -тип проводимости, причем концентрация дырок с увеличением содержания SnTe резко возрастает от $p \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,22$) до $p \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,30$). Отметим, что в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(Ga)$ в области перехода от n - к p -типу проводимости не реализуется диэлектрическое состояние при низких температурах, которое наблюдалось в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ [2]. Температурные зависимости удельного сопротивления ρ в исследованных сплавах имеют металлический характер во всей области температур.

4. Осцилляционные и гальваномагнитные эффекты под давлением до 16 кбар были исследованы в сплавах с $x = 0,19$, $x = 0,20$ и $x = 0,25$. Ожидалось, что зависимость концентрации носителей от давления будет оставаться константой, если примесь Ga является обычной мелкой примесью, или описываться параболической зависимостью, как в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$, если примесь Ga стабилизирует уровень Ферми. Экспериментальная зависимость концентрации от давления, на примере сплава с $x = 0,19$ изображена на рис. 1. При повышении давления концентрация электронов резко уменьшается, затем, при $P = P_i \approx 2,8$ кбар, электронная проводимость сменяется дырочной, последующий рост давления приводит к возрастанию концентрации дырок вплоть до значения $p \sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Насколько нам известно, столь значительное изменение концентрации, обусловленное давлением, не

имеет каких-либо аналогий в других материалах, в спектре которых отсутствуют резонансные уровни. Приведенная на рис. 1 зависимость является характерной для всех сплавов n -типа проводимости. В сплаве с $x = 0,25$ (p -типа) наблюдается монотонный рост концентрации дырок от $p \approx 9 \cdot 10^{17}$ до $p \approx 3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$ при изменении давления от 1 бар до 16 кбар.

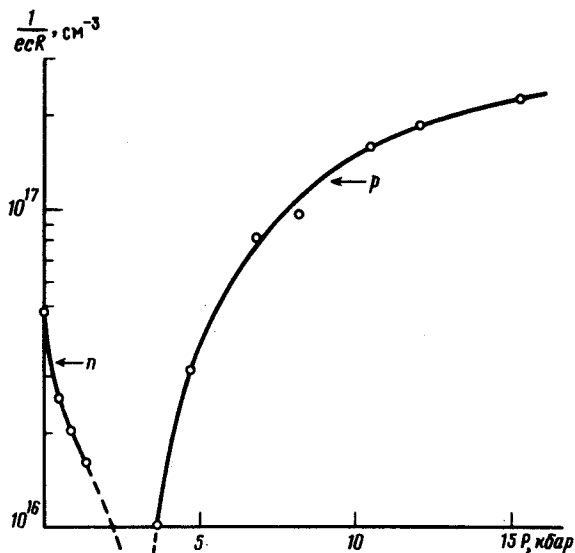


Рис. 1. Зависимость концентрации носителей заряда $n, p = 1/\epsilon c |R|$ от давления в сплаве $\text{Pb}_{0,81}\text{Sn}_{0,19}\text{Te}(\text{Ga})$. $T = 4,2\text{K}$

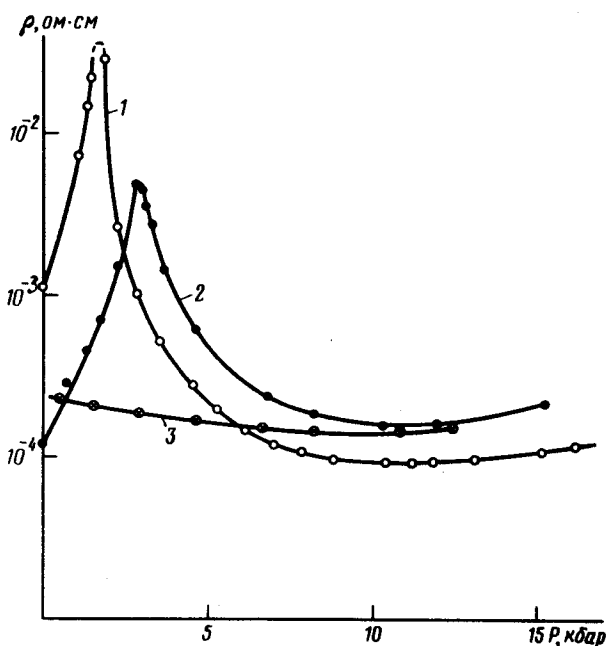


Рис. 2. Барические зависимости удельного сопротивления в сплавах $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}(\text{Ga})$ при $T = 4,2\text{K}$: 1 - $x = 0,19$; 2 - $x = 0,20$; 3 - $x = 0,25$

Область инверсии знака коэффициента Холла R характеризуется резким (~ 50 раз) возрастанием удельного сопротивления (рис. 2). Для сплава с $x = 0,25$ (исходный p -тип проводимости) зависимость $\rho(P)$ при $T = 4,2\text{K}$ является монотонной функцией (кривая 3 рис. 2).

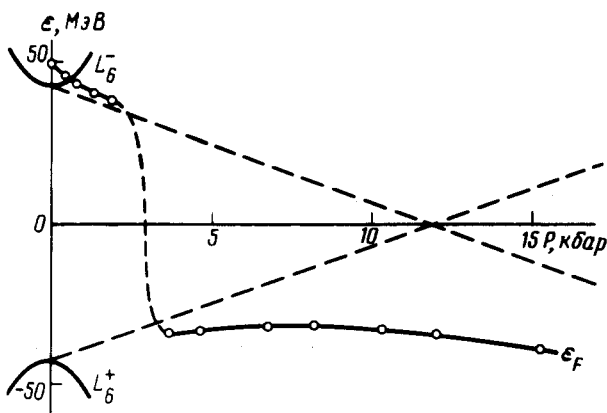


Рис. 3. Положение уровня Ферми ϵ_F относительно L -зон в сплаве $\text{Pb}_{0,81}\text{Sn}_{0,19}\text{Te}(\text{Ga})$ в зависимости от давления

Отметим, что все исследованные сплавы являются достаточно однородными: при $T = 4,2\text{K}$ их электронный спектр описывается вырожденной статистикой и во всем интервале давлений, за исключением узкой области инверсии (рис. 1); отчетливо наблюдаются осцилляции Шубникова – де Гааза. Используя полученные экспериментально значения сечений поверхности Ферми и циклотронных масс носителей, в рамках двухзонного приближения было рассчитано положение уровня Ферми ϵ_F относительно L -зон в спектре сплавов. На рис. 3 представлен пример такого расчета для сплава с $x = 0,19$. Характерной особенностью приведенной зависимости является практически скачкообразный переход уровня Ферми из зоны проводимости в валентную зону в некотором узком интервале давлений вблизи $P = P_i$.

Важно отметить, что за ультраквантовым пределом магнитных полей в областях $P < P_i$ и $P > P_i$ не происходит увеличения концентрации носителей с ростом магнитного поля, как у сплавов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}(\text{In})$ со стабилизированным уровнем Ферми [3].

5. Полученные данные указывают, что Ga в сплавах $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$, по-видимому, не образует, в отличие от In, квазилокального примесного уровня и, в то же время, не является обычной мелкой донорной примесью, а обладает принципиально новыми свойствами. Можно предположить, что под действием внешнего давления и, возможно, при увеличении концентрации SnTe, происходит переход атомов Ga из электрически активного в нейтральное состояние, в результате чего количество носителей внесенных Ga монотонно уменьшается до нуля.

Московский государственный
университет им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
28 января 1980 г.

Литература

- [1] Б.А.Акимов, В.П.Зломанов, Л.И.Рябова, С.М.Чудинов, О.Б.Яценко. ФТП, 13, 1293, 1979.
- [2] Б.А.Акимов, Л.И.Рябова, О.Б.Яценко, С.М.Чудинов. ФТП, 13, 752, 1979.
- [3] Б.А.Акимов, Н.Б.Брандт, С.А.Богословский, Л.И.Рябова, С.М.Чудинов. Письма в ЖЭТФ, 29, 11, 1979.