

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  $p$ -GaAs

И. Ф. СВИРИДОВ, В. А. ПРЕСНОВ

В работе проведено комплексное исследование дифференциальной термо-э.д.с.  $\alpha_0$ , эффекта Холла  $R_x$  и электропроводности  $\sigma_p$  на образцах монокристаллов  $p$ -GaAs с концентрацией носителей  $p = 7,4 - 7,8 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  при комнатной температуре и давлении  $P = 10000 \text{ кг/см}^2$ . Результаты интерпретируются на основе модели валентной зоны, состоящей из подзон с различными плотностями состояний. Наблюдаемые изменения  $\alpha_0$  и  $R_x$ , а также  $\sigma_p$  с ростом давления интерпретируются изменением эффективной массы  $m_p^*$ . Изменение  $m_p^*$  может быть связано с изменением величины энергетического зазора между подзонами с различными плотностями состояний.

В литературе мы не встречали экспериментальных работ, посвященных исследованию структуры валентной зоны арсенида галлия под давлением. Этому вопросу и посвящена данная работа. Исследовано влияние всестороннего давления  $P$  до  $10000 \text{ кг/см}^2$  на эффективную массу дырок  $m_p^*$  в  $p$ -GaAs при комнатной температуре с концентрацией  $p = 7,4 - 7,8 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Эффективную массу определяли из измерений термо-э.д.с.  $\alpha_0(P)$  и постоянной Холла  $R_x(P)$  в слабых магнитных полях ( $UH \ll 1$ , где  $U = |R_x| \sigma_p$  — подвижность, определенная из эффекта Холла и проводимости).

Образцы имели размеры  $10 \times 5,1 \times 1,5 \text{ мм}^3$ . Измерения проводились в камере высокого давления из бериллиевой бронзы [1], которая помещалась в кварцевую ампулу, заполненную на  $2/3$  льняным маслом, с размещенными на ней печами для создания градиента температуры вдоль образца. Последняя помещалась в коленообразный дьюар между полюсами электромагнита. Перед описанными в литературе [2—3] данное устройство имеет следующие достоинства.

Во-первых, при наличии системы нагреватель-холодильник изменялось направление градиента температуры.

Во-вторых, получались любые перепады температуры на образце, что позволило выбрать подходящие условия для комплексного исследования электрофизических параметров образца, находящегося под давлением, и осуществлять контроль измерений.

В-третьих, проведены все измерения  $\alpha_0(P)$ ,  $R_x(P)$ , и  $\Sigma_p(P)$  на одном и том же образце, что повысило надежность сравнительного анализа результатов. Результаты измерений термо-э.д.с. и электропроводности для трех образцов приведены на рис. 1. Экспериментальные данные  $\alpha_0$  показывают линейный рост от давления и уменьшение  $\sigma_p$  с ростом давления. Относительное изменение  $\frac{\Delta \alpha_0}{\alpha_0}$ , выраженное в

процентах на  $1000 \text{ кг/см}^2$ , составляет в среднем 1,2, а для  $\frac{\Delta\sigma_p}{\sigma_p}$  соот-

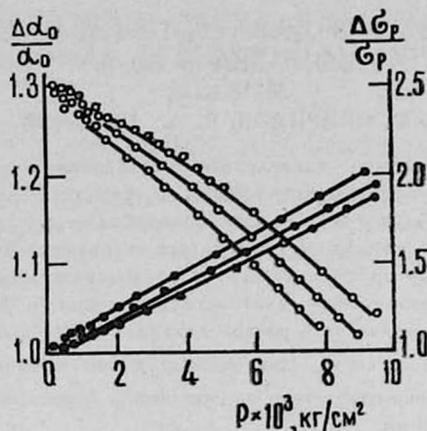


Рис. 1. Зависимость термо-э.д.с. (●) и электропроводности (○) от давления,

соответственно 2,5. На тех же образцах была измерена постоянная Холла в зависимости от давления. Как видно из рис. 2, изменение  $\frac{\Delta R_x}{R_x}$  возрастает с давлением и составляет в процентах на  $1000 \text{ кг/см}^2$  1,6.

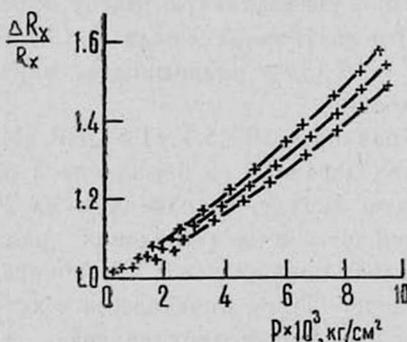


Рис. 2. Зависимость эффекта Холла от давления.

Измерения термо-э.д.с.  $\alpha_0$  позволяют определить положение уровня Ферми  $\mu^*$  и его зависимость от давления  $P$ , что необходимо для заключения о степени вырождения дырочного газа и помогает интерпретировать полученные результаты. Согласно теории [4, 5], дифференциальная термо-э.д.с.  $\alpha_0$  для случая одного типа носителей выражается формулой

$$\alpha_0 = \pm \frac{k_0}{e} [A(\mu^*) - \mu^*],$$

$$\frac{1}{\alpha_0} \frac{d\alpha_0}{dP} = \frac{k_0}{ea} \left[ \frac{r+2}{r+1} \frac{d}{d\mu^*} \left( \frac{Fr^{r+1}}{Fr} \right) - 1 \right] \frac{d\mu^*}{dP}, \quad (1)$$

где  $\mu^* = \frac{\mu}{k_0 T}$  — приведенный уровень Ферми.

Функция  $A(\mu^*)$  зависит от механизма рассеяния носителей тока.

Вычисление  $\mu^*$  проводилось по формуле 1 с учетом рассеяния на акустических фоновых. Зная положение уровня Ферми из измерений  $\alpha_0(P)$  и концентрацию носителей тока из экспериментальных  $R_x(P)$ , находилась величина эффективной массы дырки по формуле

$$\frac{m_p^*}{m_0} = \left( \frac{V \sqrt{\pi}}{4} \right)^{2/3} \left( \frac{h^2}{2\pi m_0 k_0 T} \right) \left( \frac{p}{F_{1/2}(\mu^*)} \right)^{2/3},$$

$$\frac{d \ln m_p^*}{dP} = - \frac{1}{3} \frac{F_{-1/2}(\mu^*)}{F_{1/2}(\mu^*)} \frac{d\mu^*}{dP}. \quad (2)$$

Получено изменение от  $m_p^* = 0,867 m_0$  при  $P = 1$  кГ/см до  $m_p^* = 0,934 m_0$  при  $P = 10^4$  кГ/см<sup>2</sup>. Таким образом, эффективная масса увеличивается с ростом давления в *p-GaAs*.

Следует, однако, заметить, что применимость этой формулы для *p-GaAs* может вызвать сомнения, поскольку результаты измерений температурных и концентрационных зависимостей  $\alpha_0$  и  $\sigma_p$  приводят к заключению, что валентная зона *p-GaAs* состоит из подзон с разной плотностью состояний, экстремумы которых разделены энергетическим зазором. Наблюдаемый эффект изменения эффективной массы близок к изменению эффективной массы вследствие взаимодействия зонных экстремумов, которое может быть описано формулой

$$\frac{m_0}{m_p^*} \approx 2 \frac{|\langle \Psi_{h_1} | P_x | \Psi_{h_2} \rangle|}{E_g m_0}, \quad (3)$$

где  $E_g$  — зазор между взаимодействующими зонными краями,  $\Psi_{h_i}$  — волновые функции в экстремумах (экстремальных точках).

Изменение эффективной массы легких и тяжелых дырок отдельно не рассматриваем, а под эффективной массой понимаем „эффективную массу плотности состояний“. Изменение эффективной массы обусловлено изменением зазора между экстремальными точками подзон легких и тяжелых дырок, или зазора между зоной проводимости и каждой из подзон валентной зон. Другим возможным объяснением полученных экспериментальных данных может быть эффект перераспределения носителей в подзонах валентной зоны с давлением. Возможно, что фактически реализуется и тот, и другой механизм. Было вычислено также изменение подвижности от давления из данных по электропроводности. При вычислении была сделана поправка на изменение подвижности, связанная с изменением уровня химического потенциала с давлением, т. е. определялось эквивалентное изменение подвижности. Если сопоставить изменение подвижности с вычисленным ранее изменением эффективной массы, то получим

$$S = \frac{\frac{dU}{UdP}}{\frac{dm_p^*}{m_p^*dP}} = \frac{d \ln U}{d \ln m_p^*}. \quad (4)$$

В случае рассеяния на акустических колебаниях решетки, согласно теории деформационного потенциала, подвижность связана с эффективной массой соотношением [6]

$$U_{ak} = \frac{(8\pi)^{1/2} eh^4 C_{11}}{3\alpha^2 m_p^{*5/2} (k_0 T)}, \quad (5)$$

где  $C_{11}$  — упругая постоянная для продольных акустических колебаний,  $\alpha$  — потенциал деформации.

Таким образом, расчетные и экспериментальные значения при давлении расходятся в среднем на 12<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, (это указывает, по-видимому, на то, что при деформации эффективная масса меняется сильнее, чем константа деформационного потенциала). Можно считать, что экспериментальные и теоретические значения согласуются удовлетворительно. Некоторое расхождение, по-видимому, связано с влиянием подзоны легких дырок, и, следовательно, является дополнительным указанием на сложный характер спектра валентной зоны в арсениде галлия.

Одесский госуниверситет  
им. И. И. Мечникова

Поступила 11.VI.1971

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Преснов, И. Ф. Свиридов, И. М. Викулун, Электронная техника (в печати).
2. Е. С. Ицкевич, ПТЭ, № 4, 148 (1963).
3. О. М. Warschauer, Rev. Sci. Inst., 28, 61 (1957).
4. J. Таус, Phys. Rev., 95, 1394 (1954).
5. Я. Тауц, Чехословацкий физ. журнал, 5, 369 (1955).
6. В. Шокли, Теория электронных полупроводников, М., стр. 332, 1953.

ԲԱՐՁՐ ՃՆՇՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ *p-GaAs*-ի  
ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ի. Ֆ. ՍՎԻՐԻԴՈՎ, Վ. Ա. ՊՐԵՍՆՈՎ

Աշխատանքում բերված են ֆերմոէլյուսի,  $R_x$  հուլի էֆեկտի և օր էլեկտրահաղորդականության ուսումնասիրման արդյունքները *p-GaAs* մոնոբյուրեղների վրա սենյակային ջերմաստիճանում, կրիչների  $p = 7,4 - 7,8 \times 10^{18} \text{ սմ}^{-3}$  էներգետորացիայի և  $P = 10,000 \text{ կգ/սմ}^2$  ճնշման դեպքում:

THE INFLUENCE OF HIGH PRESSURE UPON ELECTRIC PROPERTIES OF *p-GaAs*

I. F. SVIRIDOV, V. A. PRESNOV

A complex investigation of differential thermo e.m.f.  $\alpha_0$ , Hall effect  $R_x$  and conductivity  $\sigma_p$  is carried out on samples of *p-GaAs* monocrystals with the concentration of carriers  $p=7,4\div 7,8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  at the room temperature and pressure  $P=10000 \text{ kg/cm}^2$ . The results are interpreted on the basis of the pattern of valency zone consisting of sub-zones with different state densities.

The observed changes of  $\alpha_0$ ,  $R_x$  as well as  $\sigma_p$  with the increase of pressure are interpreted by the change of the effective mass  $m_p^*$ . The change of  $m_p^*$  can be associated with the change of value of power clearance between sub-zones with different state densities.