

УДК 546.61

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $GaSb$ n -ТИПА ПРОВОДИМОСТИ

И. Ф. СВИРИДОВ

Одесский институт народного хозяйства

(Поступила в редакцию 30 октября 1982 г.)

Исследованы электропроводность и коэффициент Холла образцов n - $GaSb$ под давлением до 45 кбар в интервале температур $196 \div 400$ К. Концентрация исследуемых образцов составляла $1,2 \div 3,8 \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$. Все измерения проводились потенциометрическим методом на постоянном токе. Результаты измерений $\rho(P)/\rho(0)$ и $R_H(P)/R_H(0)$ объясняются на основании зонной структуры антимонида галлия. Из измерений постоянной Холла и зависимости удельного сопротивления от давления при температурах от 196 до 400 К была определена холловская подвижность электронов и сравнена с теоретической. Получено удовлетворительное согласие теории с экспериментом. Обнаружено, что подвижность носителей тока с ростом давления уменьшается, причем тем быстрее, чем выше температура.

Исследовался антимонид галлия n -типа проводимости, легированный серой. Основные характеристики образцов n - $GaSb$ (S) при 300 К приведены в таблице. Все измерения проводились с помощью методики, ранее описан-

Таблица

Основные характеристики исследуемых образцов $GaSb$
при температуре 300 К и атмосферном давлении

Образец	$n = \frac{10^{-16}}{eR_{Ho}}, \text{ см}^{-3}$	$\rho \cdot 10^2, \text{ Ом} \cdot \text{см}$	$\mu_H, \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$
1А	1,2	11,5	3100
2	2,7	7,8	2900
3С	3,8	6,5	2500

ной в работах [1, 2]. Результаты измерений удельного сопротивления (А) и коэффициента Холла (Б) в зависимости от давления при разных температурах для одного образца показаны на рис. 1; результаты для других образцов n - $GaSb$ имеют аналогичный характер.

Обратим внимание на следующие характерные особенности, которые видны на рис. 1. Во-первых, относительное изменение удельного сопротивления возрастает с ростом давления и достигает максимума вблизи 43 кбар для всего диапазона температур. Во-вторых, повышение температуры от 196 до 400 К сопровождается понижением отношения $\rho(P)/\rho(0)$. На кри-

вых $\rho(P)/\rho(0)$ при 196, 296 и 400 К можно выделить четыре наиболее характерных участка. На первом участке при возрастании давления от 0 до 6—7 кбар имеет место сравнительно быстрый рост $\rho(P)/\rho(0)$. На втором участке в области давлений от 7 до 20 кбар кривые зависимости относительного изменения удельного сопротивления от давления при указанных температурах идут почти параллельно друг другу и медленно возрастают. На третьем участке в области давлений от 20 до 40 кбар отношение $\rho(P)/\rho(0)$ растет значительно быстрее с ростом давления, чем на втором участке, и достигает максимума вблизи 43 кбар. На четвертом участке кривые $\rho(P)/\rho(0)$ с ростом давления быстро убывают.

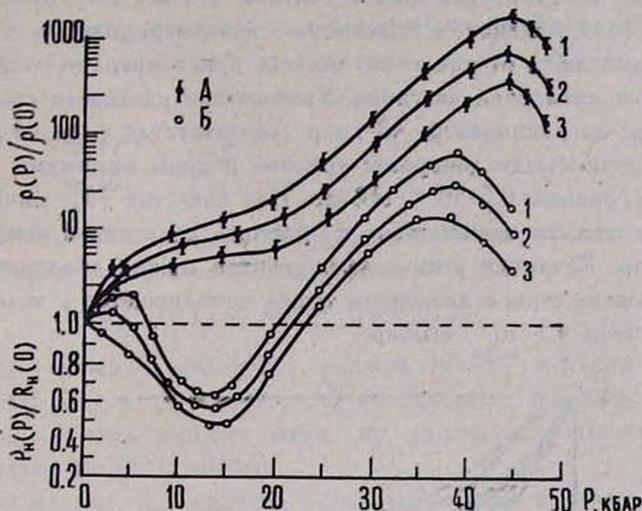


Рис. 1. Относительное изменение удельного сопротивления (А) и коэффициента Холла (Б) от давления для образца серии 1А при температурах: 1—196, 2—296, 3—400 К.

На этом же рисунке изображены также кривые зависимости коэффициента Холла от давления для одного и того же образца. Видно, что при давлениях от 2 до 5 кбар при температурах от 196 до 293 К кривые относительного изменения коэффициента Холла проходят через максимум, который при повышении температуры исчезает. В работах [3, 4] отмечалось существование этого максимума, высота и положение которого связывались с чистотой образца. С повышением давления выше 5 кбар в интервале температур от 196 до 400 К кривые $R_H(P)/R_H(0)$ спадают и достигают минимумов при давлениях 12—16 кбар. В области давлений выше 16 кбар кривые $R_H(P)/R_H(0)$ начинают расти и при давлении 22 кбар изменяют знак. При более высоких деформациях от 22 до 38 кбар кривые $R_H(P)/R_H(0)$ быстро возрастают и достигают максимумов вблизи 38 кбар, а при дальнейшем повышении давления до 45 кбар наблюдается сравнительно быстрое уменьшение коэффициента Холла во всем исследуемом интервале температур.

Качественное объяснение зависимостей $\rho(P)/\rho(0)$ и $R_H(P)/R_H(0)$ от давления при разных температурах можно, по-видимому, сопоставить с зонной структурой антимонида галлия. Известно, что при атмосферном

давлении при комнатной температуре в $GaSb$ имеется три наиболее низких экстремума зоны проводимости: самый низкий находится в точке Γ_1 — на 0,725 эВ выше максимума валентной зоны в точке Γ_{1s} , второй минимум в точке L_1 расположен на 0,085 эВ выше экстремума в точке Γ_1 и третий лежит в точке X_1 — на 0,315 эВ выше экстремума в точке Γ_1 [5]. При гидростатическом давлении происходит сдвиг относительно валентной зоны всех трех экстремумов [6].

Рост относительного изменения удельного сопротивления с давлением при температурах от 196 до 400 К связан с переходом электронов по трем минимумам (000), (111) и (100). В точке максимума кривых $\rho(P)/\rho(0)$ при указанных температурах можно считать, что все электроны находятся в минимуме (111). Однако суммарную концентрацию $n_{\Gamma} + n_L$ нельзя считать не зависящей от давления, так как при температуре 196 К донорный уровень ионизирован частично. Уменьшение удельного сопротивления с повышением давления выше 43 кбар соответствует уменьшению энергетического зазора между донорным уровнем и дном минимума (111) с коэффициентом, равным $0,5 \cdot 10^{-6}$ эВ/бар. Как известно [5], минимум (111) в антимониде галлия понижается с ростом давления с коэффициентом $5 \cdot 10^{-6}$ эВ/бар. Различие этих коэффициентов можно объяснить тем, что донорный уровень серы с давлением также приближается к валентной зоне с коэффициентом $4,5 \cdot 10^{-6}$ эВ/бар.

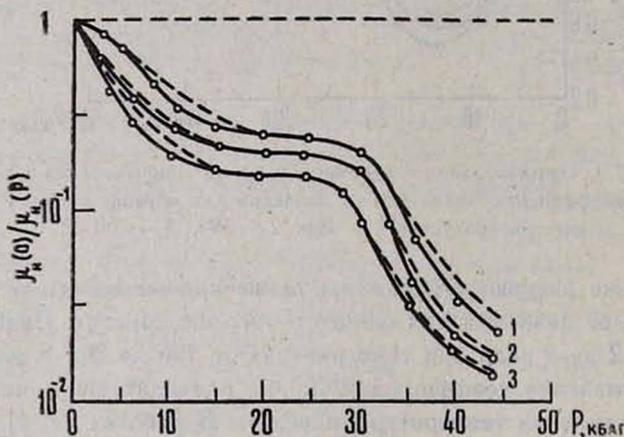


Рис. 2. Относительное изменение подвижности носителей тока от давления для образца серии 1А при температурах: 1 — 196, 2 — 296, 3 — 400 К.

На основе измерений зависимостей постоянной Холла и удельного сопротивления от давления при разных температурах от 196 до 400 К была определена зависимость подвижности от давления, которая изображена на рис. 2. Из этого рисунка следует, что с ростом давления происходит уменьшение подвижности, причем тем быстрее, чем выше температура.

Для удобства сравнения экспериментальных результатов (отмеченных на рисунке кружками) с теорией представляется целесообразным рассчитать теоретическую кривую зависимости подвижности от давления (пунктирная кривая), определяющую связь между подвижностями одного и того же образца. Такая зависимость, приведенная на рис. 2, рассчитана по формулам

$$\mu_H \equiv \frac{|R_H|}{\rho} = \frac{\left[\frac{n_r}{n_L} + \left(\frac{\mu_L}{\mu_r} \right)^2 \mu_r \right]}{\frac{n_r}{n_L} + \frac{\mu_L}{\mu_r}}, \quad \frac{m_L^*}{m_r^*} = \frac{4}{3} \frac{m_L}{m_r}, \quad (1)$$

где n_r , μ_r , m_r^* — концентрация, подвижность и эффективная масса электронов в точке Γ_1 , n_L , μ_L , m_L^* — аналогичные величины в точке L_1 .

Значения величин n_r , n_L , μ_r , μ_L , m_r^* и m_L^* были определены на ЭВМ ЕС 1020 методом подбора при следующих предположениях: масса m_L^* считалась не зависящей от давления, а для $m_r^*(P)$, согласно теории Кейна, использовалось соотношение

$$\frac{m_r^*(P)}{m_r^*(0)} = \frac{E_g(P)}{E_g(0)} = 1 + \frac{15 \cdot 10^{-6} P}{E_g(0)}, \quad (2)$$

где $E_g(0) = 0,725$ эВ — ширина запрещенной зоны, причем считалось, что $E_g(P, T)$ изменяется по линейному закону

$$E_g(P, T) = E_g(0) + \gamma P - \alpha T, \quad (3)$$

где α — температурный коэффициент, равный $10 \cdot 10^{-4}$ эВ/град [7], T — абсолютная температура, γ — барический коэффициент ширины запрещенной зоны, который был найден нами из экспериментальных кривых $\rho(P)/\rho(0)$ и равен $15 \cdot 10^{-6}$ эВ/бар.

Как видно на рис. 2, получено удовлетворительное согласие теории с экспериментом для всего диапазона давлений и температур. Некоторые неоднозначности, следующие из сравнения теории с экспериментом, требуют дополнительных исследований различных параметров образцов n -GaSb (S) от давления при разных температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hutzon A. R., Jayaraman A., Cortell A. E. Phys. Rev., 155 786 (1967).
2. Свиридов И. Ф., Преснов В. А. Изв. вузов, сер. Физика, № 2, 105 (1975).
3. Сирота Н. Н., Шупило В. Б. Изв. АН БССР, сер. физ.-мат. наук, № 3, 125 (1967).
4. Sagar A., Miller R. C. J. Appl. Phys., 32, 2073 (1967).
5. Пол В., Варшавэр Д. Твердые тела под высоким давлением. Изд. Мир, М., 1966.
6. Sagar A. Phys. Rev., 177, 99(1960).
7. Шмарцев Ю. В. Автореферат докторской диссертации, Л., 1972.

ԲԱՐՁՐ ՃՆՇՄԱՆ ԵՎ ԶԵՐՄՈՒԹՅԱՆ ԱԶԿԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
 n -ՏՊՈՒ ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ GaSb-Ի ԷԼԵԿՏՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ
 ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ի. Ֆ. ԱՎԻՐԻՎՈՎ

Հետազոտված է n -GaSb նմուշների էլեկտրահաղորդականությունը և հողի գործակիցը 45 կրար ճնշման ներքո, 196 ÷ 400 K շերտաստիճանային տիրույթում: Հետազոտվող նմուշների կենցիկնորացիան կազմում է $1,2 \div 3,8 \cdot 10^{17}$ սմ⁻³: Բոլոր շափումները կատարվել են հաստատուն հոսանքի պոտենցիոմետրիկ մեթոդով:

INFLUENCE OF HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE ON THE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF $GaSb$ WITH n -TYPE CONDUCTION

I. F. SVIRIDOV

The electrical conduction and the Hall coefficient of n - $GaSb$ samples under the pressure to 45 kbar were investigated for temperatures ranged from 196 to 400 K. Using the data of measurements of the Hall constant and the pressure dependence of resistivity at temperatures 196-400 K, the Hall mobility of electrons was determined and compared with the calculated value. The mobility of the carriers of current was obtained to decrease with the growth of pressure in inverse proportion to temperature