

УДК 621.315

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУННЕЛЬНЫХ ДИОДОВ ИЗ $GaAs$

И. Ф. СВИРИДОВ

Одесский институт народного хозяйства

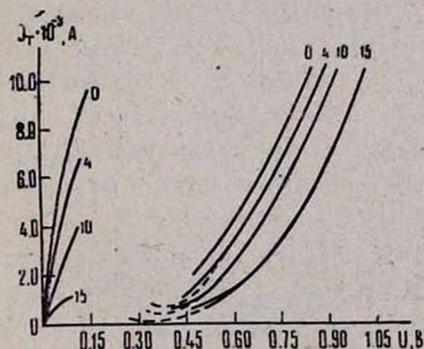
(Поступила в редакцию 8 сентября 1983 г.)

Обнаружено, что вольт-амперные характеристики туннельных диодов под давлением изменяются, причем эти изменения тем сильнее, чем выше давление. Рассчитанная вольт-амперная характеристика туннельного диода из арсенида галлия удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

Гидростатическое давление не изменяет симметрию кристаллов с кубической симметрией, к числу которых относится арсенид галлия, а изменяет только расстояние между атомами. Это приводит к увеличению энергии взаимодействия атомов решетки, изменению расположения энергетических зон относительно друг друга и соответственно к изменению ширины запрещенной зоны [1, 2].

Исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) туннельных диодов из арсенида галлия под давлением позволяют получить достаточно надежную информацию о структуре зон. В настоящей работе приведены результаты измерений ВАХ туннельных диодов из арсенида галлия при давлениях до 15 кбар при комнатной температуре.

Объектом исследований были туннельные диоды типа ЗИ301Г. Измерения проводились в камере высокого давления из термообработанной бериллиевой бронзы. В качестве рабочего вещества использовалась 50%



Вольт-амперная характеристика туннельного диода ЗИ301Г при различных давлениях P , кбар: 1—0; 2—1; 3—3; 4—5; 5—7; 6—9; 10—12; 11—13; 12—15. Сплошные кривые — экспериментальные данные, штриховые кривые рассчитаны по формуле (2).

смесь керосина и трансформаторного масла. Измерение давления осуществлялось манганиновым манометром [3]. Вольт-амперные характеристики снимались с помощью двухкоординатного самописца ПДС-021.

Результаты измерений зависимости ВАХ от давления для одного диода показаны на рисунке; другие имеют аналогичный характер. Обратим внимание на следующие характерные особенности, которые видны на рисунке. Во-первых, максимальное и минимальное значения туннельного тока резко уменьшаются с ростом давления. Во-вторых, с ростом давления напряжения, соответствующие максимальному и минимальному значениям тока, также уменьшаются, в то время как напряжение отсечки (т. е. напряжение, соответствующее диффузионному току) увеличивается.

Такое поведение туннельного тока, по-видимому, можно объяснить изменением ширины запрещенной зоны и энергии Ферми с ростом давления, что приводит к изменению концентрации носителей тока

$$n = 2(2\pi kT/h^2)^{3/2} m^{*3/2} \exp[-(E_g - E_F)/kT], \quad (1)$$

где m^* — эффективная масса носителей тока, E_g — ширина запрещенной зоны, E_F — энергия уровня Ферми, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура (К), h — постоянная Планка.

Согласно работе [4] для туннельного тока можно записать

$$I_T = Am^*ST^2 c^{-1} \exp\left(-c \frac{E_T}{4kT}\right) \int_0^{\frac{\mu_n + \mu_p - eU}{kT}} dx \left[1 - \exp\left(-x \frac{kT}{E_0}\right) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{1}{1 + \exp(x - \mu_n)} + \frac{1}{1 + \exp(x - \mu_p)} - \frac{1}{1 + \exp(x - \mu_n + eU/kT)} - \frac{1}{1 + \exp(x - \mu_p + eU/kT)} \right) \right], \quad (2)$$

где x , μ_n , μ_p — энергия и уровни Ферми в n - и p -областях, eU/kT — приложенное к туннельному диоду напряжение, $E_0 = e\hbar E/2\pi \sqrt{m^* E_T}$, A — постоянный параметр, S — площадь p - n -перехода, E — напряженность электрического поля, m^{*-1} — приведенная масса электрона и легкой дырки. Интеграл в (2) вычислялся на ЭВМ ЕС 1020.

Как следует из выражения (2), чтобы рассчитать ВАХ туннельного диода из арсенида галлия необходимо знать ширину запрещенной зоны, эффективные массы электрона m_1 и m_2 соответственно в центральном (000) и боковом (100) минимумах, а также массы тяжелых и легких дырок $m_{1,h}$ и величину энергетического зазора ΔE_g между минимумами (000) и (100), положение уровней Ферми μ_n и μ_p в n - и p -областях и их зависимость от давления [4, 5].

Расчет проводился для диодов из арсенида галлия при следующих значениях входящих в формулу (2) параметров: $E_g = 1,52$ эВ, $\Delta E_g = 0,36$ эВ, $n_1 + n_2 = n = (1,5 + 9,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $\mu_p = 1,6$, $dE_g/dP = 12 \times 10^{-3}$ эВ/кбар [2], $d\Delta E_g/dP = 10,5 \cdot 10^{-3}$ эВ/кбар, $m_1 = 0,072 m_0$, $m_2 = 1,2 m_0$ [6].

Величина μ_n находилась из формул [3]

$$n_1 + n_2 = n = \text{const},$$

$$n_1 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} N_c F_{1/2}(\mu_n),$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{4} \left(\frac{m_1}{m_2} \right)^{3/2} \frac{F_{1/2}(\mu_n)}{F_{1/2}(\mu_n - \Delta)}, \quad (3)$$

где $\Delta(P) = (0,36 - \alpha P)$, $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$ эВ/кбар [4]. Кроме того, при нахождении μ_n учитывалось изменение с давлением эффективной массы электрона в минимуме (000), а μ_p считалась не зависящей от P [4, 5].

Рассчитанная таким методом ВАХ туннельного диода изображена на рисунке, где для сравнения приведены также экспериментальные кривые. Некоторое несоответствие данных, полученных из сравнения теории с экспериментом, требует дополнительных исследований различных параметров туннельных диодов в зависимости от давления и температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пол В. Материалы IX Международной конференции по физике полупроводников. М., 1970.
2. Свиридов И. Ф., Преснов В. А. Изв. вузов, Физика, № 1, 124 (1972).
3. Свиридов И. Ф., Преснов В. А. ФТП, 9, 445 (1975).
4. Галаванов В. В., Панахов А. Э. ФТП, 6, 2280 (1972).
5. Сыркин А. Н., Феоктистов Т. П. ФТП, 6, 1802 (1972).
6. Ehrenreich H. Phys. Rev., 120, 1951 (1960).

ՀԻՊԻՈՍԱՏՍԻԿ ՃՆՇՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ $GaAs$ -ԻՑ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ԲՈՒՆԵԼԱՅԻՆ ԴԻՈԴՆԵՐԻ ՎՈԼՏ-ԱՄՊԵՐԱՅԻՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՎՐԱ

Ի. Ֆ. ՍՎԻՐԻԴՈՎ

Հայտնաբերված է, որ ճնշման ազդեցությամբ փոխում է թունելային դիոդների վոլտ-ամպերային բնութագրերը, ընդ որում այդ փոփոխությունը մեծանում է ճնշման աճման հետ: $GaAs$ -ից թունելային դիոդի համար կատարված հաշվարկները բավարար կերպով համընկնում են փորձնական տվյալների հետ:

THE EFFECT OF HYDROSTATIC PRESSURE ON CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF $GaAs$ TUNNEL DIODES

I. F. SVIRIDOV

The current-voltage characteristics of $GaAs$ tunnel diodes were investigated under pressures up to 15 kbar at the room temperature. It follows from the analysis of obtained dependences that the maximum and minimum values of the tunnel current as well as the corresponding voltages decrease with the growth in pressure, while the cut-off voltage increases. These variations are connected with the change in forbidden band width and in the Fermi energy with pressure.