

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДА p-GaSe-n-InSe

А.Г. БАГИРОВ

Институт Физики АН Азербайджана  
370143, Баку, пр. Г. Джавида, 33

Методом сплавления получен гетеропереход (ГП) p-GaSe-n-InSe, и исследована ВАХ при 300 К. Коэффициент выпрямления полученных ГП при  $U=1$  В достигает  $10^3+10^5$ . Показано, что прямая ветвь ВАХ p-GaSe-n-InSe изменяется с напряжением экспоненциально, т.е.  $I \sim \exp(U/\beta kT)$ , где для данных образцов  $\beta=1.83$ . Обратная ветвь с напряжением изменяется квадратично, т.е.  $I_{об} \sim U^2$ . Полученные ГП при комнатной температуре чувствительны к свету. При 77 К при включении в прямом направлении наблюдается свечение в видимой области спектра.

Для получения инжекционного светодиода на основе монокристаллов  $A^{III}B^{VI}$  изготовлен гетеропереход (ГП) между GaSe и InSe. Гетеропереходы на основе полупроводников типа  $A^{III}B^{VI}$  получены в ряде работ [1-5]. Методика получения ГП между GaSe и InSe такая же, как описана в работе [4]. Следует отметить, что метод получения ГП p-GaSe-n-InSe отличается от методов, использованных в [1-3,5].

В данной работе сообщается о ВАХ гетеропереходов p-GaSe-n-InSe при 300 К. В качестве омических контактов на GaSe использована эвтектика InGa, а на InSe - In. Контакты InGa наносились смачиванием на свежеотколотые поверхности, а In - напылением. Для изготовления ГП p-GaSe-n-InSe использованы монокристаллы p-GaSe и n-InSe, полученные методом Бриджмена. Все изготовленные гетероструктуры обладают значительными коэффициентами выпрямления при комнатной температуре.

Прямая ветвь соответствует положительному потенциалу на InSe. Коэффициент выпрямления ( $J_{пр}/J_{об}$ ) этих ГП при 300 К равен  $10^4$  при  $U=1$  В. При погружении образцов в жидкий азот коэффициент выпрямления значительно уменьшается и составляет 100. Это, по-видимому, связано с увеличением последовательного сопротивления р и n областей. Известно [6], что при уменьшении температуры от комнатной до жидкого азота, концентрация свободных носителей как в p-GaSe, так и в n-InSe уменьшается почти на 2-3 порядка. Полученные ГП при комнатной температуре чувствительны к свету. При 77 К они светятся при включении в прямом направлении. В обратном направлении образцы или не светятся, или же слабо светятся при высоких напряжениях.

Анализ экспериментальных результатов показал, что, при комнатной температуре, ВАХ изготовленных ГП при малых напряжениях подчиняется экспоненциальному закону, т.е.

$$J = J_0 \exp(eU/\eta kT)$$

где  $U$  - приложенное к ГП напряжение,  $J_0$  - предэкспоненциальный множитель, независящий от  $U$ ,  $T$  - абсолютная температура.

На рис. представлена ВАХ для двух ГП p-GaSe-n-InSe в масштабе  $\lg J \sim f(U)$ . При построении кривой мы считали, что все подаваемое напряжение падает в ГП. Падение напряжения в областях p-GaSe и n-InSe не учтено. Как видно из приведенных кривых, прямая ветвь ВАХ ГП-1 и ГП-12 в этих координатах выпрямляется при увеличении тока от  $10^{-9}$  А до  $5 \cdot 10^{-5}$  А через гетеропереходы.

Из наклона прямых участков определены значения  $J_0$  и  $\eta$ , которые, соответственно, равны  $10^{-11}$  А и 1,83 для обоих ГП.

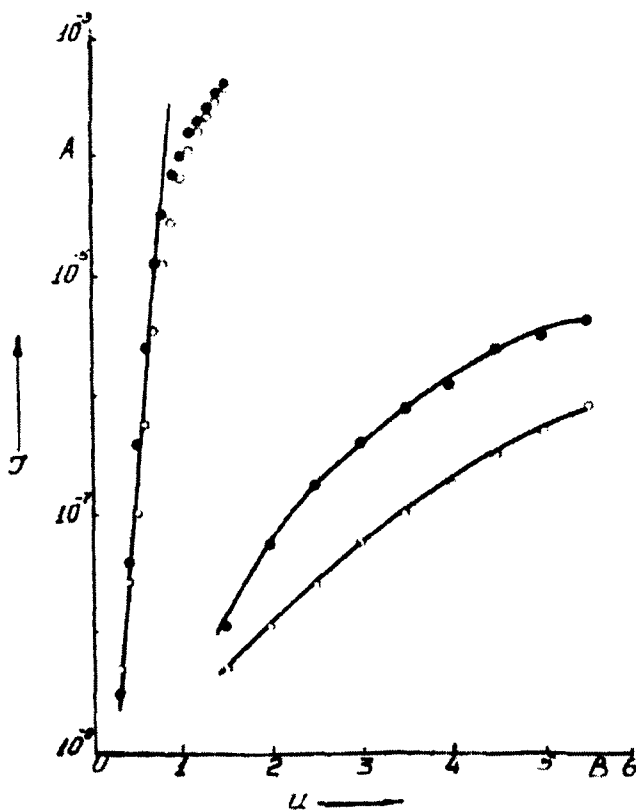


Рис. ВАХ ГП-1 и ГП-12 при 300 К.

● - ГП-1, ○ - ГП-12.

Токовые напряжения отсечки ( $U_{отс}^i$ ), определенные экстраполяцией линейного участка прямой ветви ВАХ, построенной в обычном масштабе, составляют  $0,65 \pm 0,75$  В при 300 К.

На этом же рис. даны обратные ветви ВАХ этих же ГП в полулогарифмическом масштабе. Как видно, в координатах  $\lg J_{об} \sim f(U)$  кривые не выпрямляются. Обратные ВАХ, построенные в масштабе  $\lg J_{об} \sim f(\lg U)$ , выпрямляются. Все экспериментальные точки хорошо ложатся на одну прямую. Из наклона кривой  $\lg J_{об} \sim f(\lg U)$  найдено, что обратный ток растет с увеличением обратного напряжения квадратично, т.е.  $J_{об} \sim U^2$ .

Известно, что, изучая ВАХ гетеропереходов, можно определить механизм токопрохождения через ГП. На основе полученных экспериментальных данных можно полагать, что в области напряжения от 0,3 до 1 В, где ВАХ подчиняется закону  $J=J_0 \exp(eU/\eta kT)$ , ток в прямом направлении обусловлен надбарьерной эмиссией, вероятно, с рекомбинацией в области объемного заряда или на границе ГП. В пользу участия процессов рекомбинации в токопрохождении свидетельствует значение  $\eta$ , которое равно 1,83. Действительно, в работах [7,8] теоретически рассмотрено влияние поверхностных состояний на ВАХ реальных анизотропных ГП. В работе [8] для ВАХ, когда поверхностные состояния имеют высокие концентрации и достаточно большие сечения захвата для обоих типов носителей, т.е., когда токопрохождение связано, в основном, с рекомбинацией на них, получено следующее выражение

$$J = S e \sqrt{n_1 p_2 \mu_1 \mu_2 E_1 E_2} \exp\left(-\frac{eU_d^0}{2kT}\right) \exp\left(\frac{eU}{2kT}\right),$$

- [1] А.Г. Багиров. Электролюминесценция монокристаллов селенида галлия. Диссертация на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук, Баку, 1973, с. 157.  
 [2] С. Taniyama, H. Mizukami and S. Ichinura. Jap. J. Appl. Phys., 1974, v.13, № 11, p. 1925-1926.  
 [3] В.Л.Бакуменко, З.Д.Ковалюк, Л.Н.Курбатов, В.Г. Тагаев, В.Ф. Чижко. ФТП, 1980, т. 14, в. 6, с. 1115-1119.  
 [4] А.Г.Багиров, С.Ю.Багиров, Э.Ю. Салаев. ФТП, 1982, т. 16, в. 6, с. 1099-1102.

где  $S$  - площадь ГП,  $n_1, p_2$  и  $\mu_1, \mu_2$  - соответственно, концентрация и подвижности основных носителей  $n$  и  $p$  полупроводников,  $E_1, E_2$  - поле у границ,  $U_d^0$  - равновесное значение суммарного диффузионного потенциала. Из теоретического выражения видно, что в вышеуказанном случае значение  $\eta$  должно быть равным 2. Определенное значение  $\eta$  из экспериментальной кривой равно 1,83, т.е. близко к этому значению. Следует отметить, что теоретическая выражения ВАХ справедливы тогда, когда  $\alpha_1 n_1 = \alpha_2 p_2$  (см. [8], уравнения 5). Здесь  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - диэлектрическая проницаемость  $n$  и  $p$  полупроводников, соответственно. Это показывает, что, действительно, рекомбинация на границе ГП является определяющим механизмом токопрохождения изученных ГП p-GaSe-n-InSe.

Монокристаллы GaSe и InSe с гексагональной структурой соответственно имеют параметры решетки  $a=3,755 \text{ \AA}$  и  $4,042 \text{ \AA}$ ;  $c=15,94 \text{ \AA}$  и  $16,93 \text{ \AA}$ . По-видимому, такое различие в параметрах решетки приводит к образованию большого количества поверхностных состояний, которые играют важную роль в механизмах токопрохождения.

- [5] В.Л.Бакуменко, Л.Н.Курбатов, В.Г.Тагаев. ФТП, 1982, т.16, в. 7, с. 1145-1148.  
 [6] Г.А. Ахундов. Получение монокристаллов  $A^{III}B^{VI}$  и исследование их физических свойств. Диссертация на соискание степени докт. физ.-мат. наук, Баку, 1967, с. 355.  
 [7] H.G.Gard. J. Appl. Phys., 1979, v.50, № 4, p.2822-2825.  
 [8] А.Я.Шлук, Ю.В.Шмарцев. ФТП, 1980, т.14, в.9, с. 1724.

Ә.Н. Bağırov

### p-GaSe-n-InSe HETEROKEÇİDİNİN ELEKTRİK XASSƏLƏRİ

Əritmə üsulu ilə p-GaSe-n-InSe heterokeçidi (HK) alınmış və onun 300 K-də VAX-ı tədqiq olunub. Alınmış HK-in düzləndirmə əmsali  $U=1 \text{ V}$ -də  $10^3+10^5$  çatır. Müəyyənləşdirilmişdir ki, p-GaSe-n-InSe HK-də VAX-ın düz istiqamətində cərəyan gərginlikdən eksponensial olaraq artır  $I \sim \exp(U/\beta kT)$ , burada  $\beta=1,83$ -dür. Əks istiqamətdə isə  $U$ -dan kvadratik asılıdır:  $I_{00} \sim U^2$ .

Alınmış HK otaq temperaturunda işığa həssasdırlar. Azot temperaturunda (77 K) HK düz istiqamətdə spektrin görünən oblastında işıqlanırlar.

Cərəyanın gərginlikdən eksponensial aşılışığı yükdaşıyıcıların çəpəri üstədən keçməsi və onların HK-də və ya həcmi yüklərin oblastında rekombinasiyası ilə izah olunur.

A.G. Bagirov

### ELECTRICAL PROPERTIES OF p-GaSe-n-InSe HETEROJUNCTION

p-GaSe-n-InSe heterojunction is obtained by fusion method and VAC is investigated at 300 K. Electron coefficient of obtained HJ at  $U=1 \text{ V}$  achieves for  $10^3+10^5$ . It is shown, that straight wing of VAC of p-GaSe-n-InSe changes exponentially with voltage, i.e.  $I \sim \exp(U/\beta kT)$ , where for the given samples  $\beta=1,83$ . Reverse wing changes with voltage quadratically, i.e.  $I_{00} \sim U^2$ . Obtained HJ are susceptible to light at room temperature. In case of direct switching at 77 K, the luminescence is observed in visible region of spectrum. Exponential dependence of charge versus voltage is explained with above-barrier emission of carriers and subsequent recombination in range of space charge or on the boundary of HJ.