

06.2; 06.3

© 1993

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ БАРЬЕРОВ ШОТТКИ $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$

С.Г. Конников, Г.Д. Мелебаева,
 Д. Мелебаев, В.Ю. Рудь,
 Ю.В. Рудь, А. Беркелиев,
 М. Сергинов

Варизонные поверхностно-барьерные структуры (m) металл- (s) полупроводник (барьеры Шоттки), когда градиент ширины запрещенной зоны ориентирован вдоль нормали к плоскости $m-s$ -перехода, который расположен на узкозонной поверхности варизонного кристалла $n-Ga_{1-x}Al_xAs$, нашли в последние годы применение в фотоэлектронике в качестве селективных [1, 2] и широкополосных [3-5] фотоприемников видимого и ультрафиолетового излучения. В опубликованных к настоящему времени работах, посвященных барьерам Шоттки металл- $n-Ga_{1-x}Al_xAs$, в основном исследовались параметры барьеров (φ_B) и механизм протекания тока, тогда как влияние напряжения смещения на спектр фото-чувствительности практически не изучалось.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию влияния напряжения смещения на спектр фототока селективно-чувствительных варизонных барьеров Шоттки $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$, когда градиент ширины запрещенной зоны $Ga_{1-x}Al_xAs$ был перпендикулярен к плоскости $m-s$ -перехода, а освещение структур производилось со стороны прозрачного полупроводника. Варизонные слои $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ толщиной $d = 10-100$ мкм выращивались методом жидкостной эпитаксии на подложках $n-GaP$ (111) и $n-Ga_{0.4}As_{0.6}$ (111) по методике [3, 6]. Микрорентгеновским анализом было установлено, что состав эпитаксиальных слоев $Ga_{1-x}Al_xAs$, выращенных на подложках (GaP , $GaPAs$), плавно изменяется по толщине, причем наибольшее содержание $AlAs$ приходится на границу "слой-подложка" и составляет $x_0 = 0.4-0.65$, а наименьшее содержание $AlAs$ на поверхности слоя составляет $x_s = 0.05-0.5$, градиент ширины запрещенной зоны в разных слоях $Ga_{1-x}Al_xAs$ был 20-150 эВ/см. Барьеры Шоттки ($m-s$ -переход) изготавливали химическим способом нанесения полупрозрачного слоя палладий-золото по методике [7, 8]. Площадь $m-s$ -перехода у разных структур лежала в пределах 0.02-0.3 см². На основе анализа электрических и фотоэлектрических свойств $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs/n-GaP(n-Ga_{0.4}As_{0.6})$ структур согласно методике [9] определялись основные параметры варизонных слоев $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ и поверхностно-барьерных структур: концентрация свободных электронов ($n = N_d - N_a = 7 \times$

Параметры селективных фотоприемников на основе барьеров Шоттки $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ при освещении барьера со стороны прозрачного полупроводника ($T = 300\text{ K}$, $U = 0$).

Фотоприемники	Энергия максимума $h\nu_m$, эВ	Полуширина на спектра $\delta\nu$, эВ	Квант. эффектив. при $h\nu_m$ эл./ф.	Максимум, длин волн λ_m , нм	Абсолют. чувст. при λ_m k , мА/Вт
$Au-Ga_{1-x}Al_xAs/GaP$	1.44	0.020	0.15	861	104
$Au-Ga_{1-x}Al_xAs/GaP$	1.50	0.060	0.26	827	173
$Au-Ga_{1-x}Al_xAs/GaPAS$	1.60	0.050	0.30	775	187
$Au-Ga_{1-x}Al_xAs/GaP$	1.67	0.045	0.30	742	180 [2]
$Au-Ga_{1-x}Al_xAs/GaPAS$	1.84	0.055	0.35	642	190
$Au-Ga_{1-x}Al_xAs/GaP$	1.96	0.065	0.20	633	102 [2]
$Au-Ga_{1-x}Al_xAs/GaP$	2.20	0.110	0.10	564	45 [2]

$x \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$), энергия прямых оптических переходов ($E_{os} = 1.435 - 2.26 \text{ эВ}$), диффузионно-дрейфовая длина ($L_p^+ = 3 - 14 \text{ мкм}$), ширина слоя объемного заряда при нулевом и разных напряжениях смещения ($W = 0.14 - 3.05 \text{ мкм}$), высота потенциального барьера ($q\phi_b = 0.92 - 1.49 \text{ эВ}$) для разных структур и другие фотоэлектрические параметры селективных фотоприемников при $T = 300 \text{ K}$ (см. таблицу).

На рис. 1, а, б приведены типичные результаты измерений спектров fotocувствительности одной из полученных структур при различных обратных смещениях. Из спектров фототока $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ структур, измеренных при различных напряжениях смещениях $U_{обp} = 0 - 2.5 \text{ В}$, следует, что при подаче на барьерный контакт отрицательного смещения fotocувствительность состоит из одной узкой полосы (рис. 1, а). С ростом $U_{обp}$ энергетическое положение максимума этой полосы $h\nu_m$ при постоянном содержании Al вдоль плоскости $m-s$ -перехода практически не изменяется, а величина fotocувствительности существенно увеличивается. Увеличение отношения $I_f(U_{обp})/I_f(0)$ в зависимости от энергии фотонов связано, в основном, с расширением слоя объемного заряда при увеличении обратного смещения (рис. 1, б) и, возможно, внутренним усилением. Как видно из рис. 1, б, при изменении обратного напряжения от 0 до 2.5 В отношение $I_f(U_{обp})/I_f(0)$ увеличивается не менее чем в 2 раза, а величина W расширяется от 1.8 до 3.0 мкм. Важно также отметить, что полуширина спектра $\delta\nu$ при $U_{обp} \neq 0$, наоборот, уменьшается на $\approx 20\%$ по отношению к нулевому смещению, причем энергетическое положение максимума в спектре fotocувствительности остается неизменным (рис. 1, а). Следовательно, обнаруженная зависимость fotocувствительности $m-s$ -структур от $U_{обp}$ позволяет указать на новую возможность управления ее величиной.

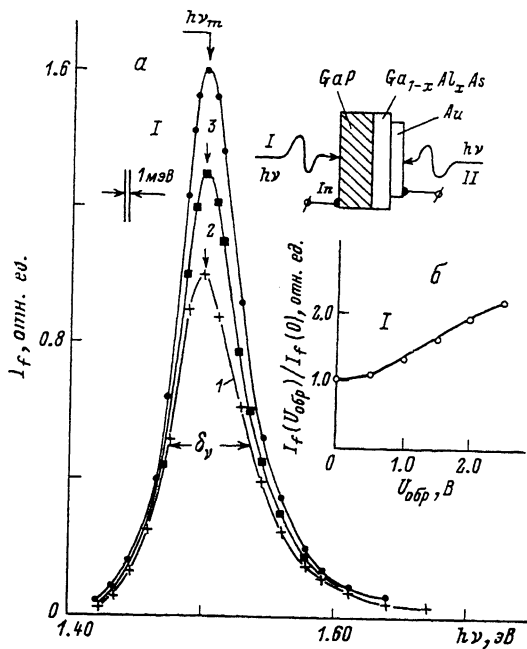


Рис. 1. а - спектральное распределение фототока барьеров $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ в зависимости от обратного смещения при освещении $m-s$ -перехода со стороны полупроводника ($T = 300$ К, обр. № 2, $x_s = 0.11$, $U_{обр}$, В: 1 - 0, 2 - -1.0, 3 - -1.5). На вставке показана геометрия освещения $m-s$ -перехода. б - зависимость фототока барьеров $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ в области максимума фоточувствительности от обратного смещения ($T = 300$ К, обр. № 2, $x_2 = 0.11$, $h\nu_m = 1.50$ эВ).

На рис. 2 представлены спектры фототока короткого замыкания барьеров Шоттки $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ в зависимости от геометрии освещения. Видно, что спектральная форма представленных кривых определяется не только градиентом ширины запрещенной зоны [3], но и геометрией освещения. При освещении $m-s$ -переход со стороны полупроводника спектр фототока узкополосный (рис. 2, I), а энергетическое положение максимума $h\nu_m$ обычно меньше энергии прямых оптических переходов E_{os} для данного состава твердого раствора в плоскости $m-s$ -перехода (рис. 2, II). Анализ соотношения значений $h\nu_m$ и E_{os} исследованных структур, в которых градиент ширины запрещенной зоны лежит в пределах $\nabla E_g = 20-150$ эВ/см, позволяет утверждать, что связь между указанными параметрами может быть представлена эмпирическим соотношением $E_{os} - h\nu_m = (2 - 3) \cdot kT$ (к - постоянная

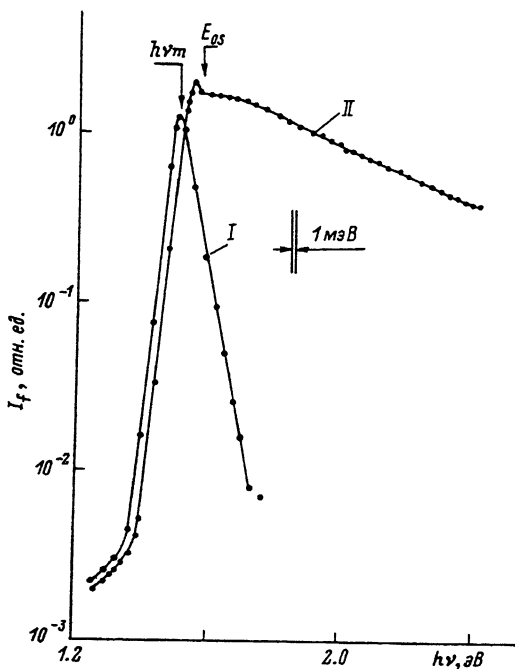


Рис. 2. Спектры фототока I_f варизонной структуры $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ (I - освещение $m-s$ -перехода со стороны полупроводника, II - со стороны полупрозрачного слоя металла: $T = 300$ К, $x_s = 0.11$, обр. № 2, $U = 0$, $\varphi_{\text{ФВ}} = 0.99$ эВ, $\nabla E_g = 70$ эВ/см, $L_p^+ = 6.3$ мкм).

Больцмана). Эта закономерность была установлена нами при исследовании созданных фотоприемников с заданным энергетическим положением максимума фоточувствительности. Параметры изготовленных и испытанных фотоприемников при 300 К приведены в таблице.

При освещении варизонной структуры со стороны широкозонной части полупроводника (рис. 2, кривая I) реализуется селективный режим фоточувствительности, т.е. удовлетворяется условие $d > L_p^+ + W$ [1]. Согласно [10], в области сильного оптического поглощения ($E_{\text{оmax}} > h\nu > E_{\text{оmin}}$) зависимость I_f от $h\nu$ в коротковолновой части спектра выражается формулой

$$I_f = A_2 e^{-h\nu/L_p^+ \cdot |\nabla E_g|}, \quad (1)$$

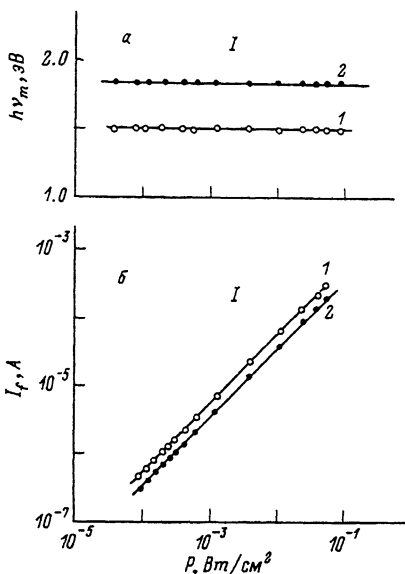


Рис. 3. Зависимость энергетического положения максимума полосы (а) и величины фототока короткого замыкания I_f (б) от плотности потока излучения P для барьеров $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ (1 - обр. № 2, $x_s = 0.11$, $h\nu_m = 1.50$ эВ; 2 - обр. № 5, $x_s = 0.36$, $h\nu_m = 1.84$ эВ. $U = 0$; $T = 300$ К).

где $A_2 = const(h\nu)$. Использование формулы (1) дает возможность непосредственно из спектральной характеристики определить диффузионно-дрейфовую длину неосновных носителей заряда L^+ в направлении варизонной силы по спаду фототока в коротковолновой части спектров (рис. 2, кривая 1). Для этого случая формула (1) преобразуется к виду

$$L^+ = (h\nu_2 - h\nu_1) / \ln \frac{I_{f1}}{I_{f2}} \cdot |\nabla E_g| \quad (2)$$

Сопоставление спектров фототока варизонных структур $Au-n-Ga_{1-x}Al_xAs$ в этой области энергии фотонов (рис. 2, кривая I, $h\nu > E_{OS}$) с формулой Волкова-Царенкова [10] при известных значениях $\nabla \bar{E}_g$ или $\nabla \bar{E}_0^-$ позволило определить значение L^+ для различных структур. Эти величины составляли $L_p^+ = 3-14$ мкм.

Очевидно, что возможности широкого применения разработанных быстродействующих селективных фотоприемников на барьерах Шоттки в оптоэлектронике главным образом определяются не только высокой квантовой эффективностью процессов фотообразования,

но также стабильностью фотоэлектрических параметров во времени при регистрации излучения из области максимума спектральной чувствительности $h\nu_m$ в зависимости от плотности потока излучения P . Примеры таких зависимостей для двух фотоприемников, выращенных на разных подложках, представлены на рис. 3. Зависимость I_s от P оказалась линейной (рис. 3, б), причем $h\nu_m$ созданных селективных фотоприемников в диапазоне $P = 10^{-5} - 10^{-1}$ Вт/см² практически не меняется при освещении в течение по крайней мере 120 мин. Важно отметить, что созданные фотоприемники оказываются нечувствительными к излучению за пределами узкого спектрального интервала и поэтому могут найти широкое применение в различных областях современной науки и техники.

В заключение авторы выражают благодарность А.С. Волкову, Б.В. Царенкову и Ю.П. Яковлеву за внимание к работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Именков А.Н., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 1. С. 96-101.
- [2] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Именков А.Н., Мелебаев Д., Розьева М.Х. // Матер. 7-го междунар. совещ. по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в твердых телах. Варна, 1983. С. 49-50.
- [3] Мелебаев Д. Исследование свойств поверхностно-барьерных $GaAs_{1-x}P_x$ и $Ga_{1-x}Al_xAs$ - структур и фотоприемников на их основе: Дис. канд. физ.-мат. наук. Ашхабад, 1977. 210 с. 210 с.
- [4] Беркелиев А., Мелебаев Д. // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХ и ГН. 1977. № 1. С. 96-98.
- [5] Атаев J., Berkeliev A., Durdimuradova M.G., Mелебаев D. // 3-rd Conf. on Phys. and Technol. of GaAs and other III-V Semiconductors. Tatranska Lomnica, CSSR. 1988. P. 160-163.
- [6] Mелебаев D., Durdimuradova M.G., Berkeliev A., Cornikova O.V. // Crystal Properties and Preparation. Trans. Tech Publications, Switzerland-Germany-US-USA. 1991. V. 32-34. P. 573-575.
- [7] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 8. С. 1532-1534.
- [8] Вигдорович Е.Н., Гольдберг Ю.А. Дурдымурадова М.Г., Мелебаев Д., Царенков Б.В. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 8. С. 1419-1422.

- [9] Беркелиев А., Гольдберг Ю.А., Именков А.Н., Мелебаев Д., Розьева М.Х. // Изв. АН ТССР. Сер. ФТХ и ГН. 1986. № 1. С. 8-14.
- [10] Бывалый В.А., Волков А.С., Гольдберг Ю.А., Дмитриев А.Г., Царенков Б.В. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 6. С. 1110-1115.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
19 января 1993 г.