

ГЕТЕРОПЕРЕХОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Сычик В.А., Стромская М.С., Уласюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Для контроля интенсивности оптических излучений широко используются полупроводниковые фотопреобразователи типа вентильных фотоэлементов, конструктивно реализуемых на основе р-п переходов [1, 2]. Однако такого типа фотопреобразователи обладают недостаточно высокой чувствительностью, коэффициентом преобразования и номиналами рабочих напряжений. Нами разработан гетеропереходный преобразователь оптических излучений (ГПОИ), обладающий высокой чувствительностью, коэффициентом преобразования оптического сигнала в электрический и высокой стабильностью в работе.

Конструктивно ГПОИ состоит из полупроводниковой p_{var} -р-п переход - n_{var} -р - фоточувствительной структуры, включающей p_{var} -слой из широкозонного полупроводника, р-п переход из широкозонного полупроводника, варизонный слой n_{var} и п-слой из узкозонного полупроводника, который посредством сильнолегированного p^+ -слоя из того же узкозонного полупроводника электрически контактирует с металлическим основанием. Для эффективного поглощения квантов оптического излучения (фотонов) с энергиями $E_{g1} \leq h\nu \leq E_{g2}$, и исключения появления области с высокой рекомбинацией носителей заряда на р-области р-п перехода сформирован методом молекулярно-лучевой эпитаксии, жидкофазной или газофазной эпитаксии слаболегированный р-варизонный слой, представляющий твердый раствор интерметаллического соединения $A_{1-x}^m A_2^m B^n$. Параметр

степени концентрации компонента в растворе X изменяется от нуля до единицы, причем со стороны p^+ -слоя он представляет материал этой области, например $A_2^m B^n$, а со стороны р-области р-п перехода – материал этого слоя, то есть соединения $A_1^m B^n$. Для достижения оптимального разделения генерированных в р-варизонном слое носителей заряда ширина этого слоя не должна превышать диффузионной длины избыточных носителей заряда и составляет (0,4 – 0,8) L_d , причем она максимальная для полупроводников с высокой подвижностью носителей заряда.

С целью расширения диапазона оптических излучений в сторону инфракрасной области ис-

пользуется узкозонный п-слой и слаболегированный варизонный слой n_{var} . Варизонный слой n_{var} сформирован методом молекулярно-лучевой или газофазной эпитаксии, представляющий твердый раствор интерметаллического соединения $A_{1-x}^m A_2^m B^n$. Параметр степени концен-

трации компонента в растворе X изменяется от нуля до единицы, причем со стороны п-слоя из узкозонного полупроводника он представляет материал этого слоя - $A_2^m B^n$, а со стороны п-области р-п перехода – материал этой области, то есть соединение $A_1^m B^n$. Например, если мате-

риалом п-области р-п перехода является GaAs с $E_{g2} = 1,43$ эВ, а материалом п-слоя – InAs с $E_{g3} = 0,36$ эВ, то п-варизонный слой n_{var} 3 реализуется из материала $Ga_x In_{1-x} As$, причем структура верхней границы слоя с параметром $X = 1$ представляет GaAs, а структура нижней границы слоя представляет InAs с параметром $X = 0$.

Принцип работы гетеропереходного преобразователя оптических излучений поясняет зонная диаграмма, изображенная на рисунке 1.

При воздействии квантов оптического излучения (фотонов) на рабочую поверхность фоточувствительной структуры ГПОИ со стороны электропроводящего просветляющего слоя фотоны с энергиями $E_v \leq E_{g1}$, проходят просветляющий слой, сильнолегированный широкозонный p^+ -слой и достигают фоточувствительную структуру. В ее слоях p_{var} 1, n_{var} 3, узкозонном п-слое, то есть в диапазоне энергий от 2,15 эВ до 0,36 эВ, а также на примесных уровнях этих слоев с энергиями $\Delta E_{D,A}$ от 0,2 до 0,1 эВ генерируются избыточные неравновесные носители заряда. Избыточная концентрация фотогенерированных электронов и дырок в каждом из фоточувствительных слоев определяется в соответствии с зависимостями:

$$\Delta n = \beta \eta I_v \tau_n, \Delta p = \beta \eta I_v \tau_p, \quad (1)$$

где β - квантовый выход носителей заряда; η - коэффициент поглощения оптического излучения; I_v - интенсивность потока оптического излучения; τ_n, τ_p – время жизни неосновных электронов и дырок.



Рисунок 1 – Зонная диаграмма гетеропереходного преобразователя оптических излучений

Фотогенерированные в р-варизонном слое и обедненных областях р-п перехода, в п-варизонном слое и узкозонном п-слое носители заряда, а также на их примесных донорных и акцепторных уровнях электроны и дырки разделяются р-п переходом, причем электроны под действием электрического поля р-п перехода, электрических полей слоев p_{var} 1 и n_{var} 3 устремляются к сильнолегированному слою n^+ и металлическому основанию б, а дырки в указанных слоях и областях движутся под действием сил электрического поля варизонных слоев и р-п перехода к сильнолегированному p^+ слою, проводящему просветляющему слою и омическому контакту. Омический контакт находится под положительным потенциалом вследствие притока к нему дырок, а металлическое основание – под отрицательным потенциалом ввиду притока электронов. Вследствие разделения фотогенерированных электронов и дырок через р-п переход течет электрический ток

$$I_a = I_s \left[\exp\left(\frac{eU_a}{kT}\right) - 1 \right] - I_\phi \quad (2)$$

и возникает фотоэдс в фоточувствительной структуре ГПОИ, максимальное значение которой при холостом ходе

$$E_0 = U_{am} = \frac{kT}{e} \ln(I_\phi / I_s), \quad (3)$$

где I_ϕ – максимальная плотность фототока, соответствующая интенсивности потока оптических излучений; I_s – ток насыщения р-п перехода; U_a – приложенное к р-п переходу собственное напряжение.

В общем случае при заданной интенсивности оптического потока фотонов концентрация фотогенерированных избыточных носителей Δn и Δp определяется выражением (1), а фототок I_ϕ определяется из зависимости

$$I_\phi = e(\Delta n \mu_n + \Delta p \mu_p). \quad (4)$$

Поскольку фоточувствительной структурой ГПОИ активно поглощается широкий спектр фотонов с энергиями от E_{g3} до энергии узкозонного п-слоя с E_{g3} и с энергиями донорного E_D и акцепторного E_A уровней, то избыточные концентрации носителей заряда Δn и Δp в предложенном устройстве значительно выше, следовательно выше выходное напряжение и ток, чем у прототипа, а также существенно возрастает диапазон энергии фотонов в спектре оптического излучения от видимой области до дальней инфракрасной.

Создано экспериментальное устройство – гетеропереходный преобразователь оптических излучений с фоточувствительной структурой p_{var} – р-п переход – n_{var} – п узкозонный полупроводник, которое является преобразователем с р-п переходом на основе арсенида галлия. p^+ -слой выполнен из InAs, легированный Te с концентрацией $N_D \cong 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и толщиной 1,2 мкм.

Экспериментальный гетеропереходный преобразователь оптических излучений размером полезной площади 10 x 5 мм при интенсивности оптического излучения с энергией $P_\Sigma = 65 \text{ мВт/см}^2$ позволяет получать $I_{amax} = 0,2 \text{ А}$; $U_{выхmax} = 1,4 \text{ В}$; диапазон спектральной чувствительности $\Delta\lambda = 0,4 \dots 13 \text{ мкм}$. Для аналогов одинаковых размеров эти параметры составляют: $U_{am} = 0,78 \text{ В}$; $I_{amax} = 25 \text{ мА}$; $\Delta\lambda = 0,4 \dots 1 \text{ мкм}$.

1. Махнин, В.П. Фотоприемник с внутренним усилением на основе гетероперехода сульфид-теллурид кадмия / В.П. Махнин // Микроэлектроника. -1998. 27 №2. – с.90-92.
2. Аверин, С.В. Быстродействующие фотодетекторы с большой площадью активной области на основе полупроводниковых структур с барьером Шотки/ С.В. Аверин, Ю.В. Гуляев, М.Ю. Дмитриев и др.// Квантовая электроника. -1996. 23, №3. – с.284-286.