

Descriere:

Invenția se referă la fotodiode cu semiconductori și poate fi utilizată în sisteme optoelectronice pentru detectarea, înregistrarea și prelucrarea semnalelor optice transmise prin fibre optice, prin atmosferă sau prin alte medii optice.

Sunt cunoscute fotodiode p-i-n pe baza heterostructurilor InGaAs/InP formate pe substrat InP semiizolator, cu joncțiunea p-n plasată în stratul activ InGaAs și cu stratul frontal din InP [1].

Sunt cunoscute, de asemenea, și fotodiodele pe baza heterostructurilor InGaAs/InP confecționate pe substrat n⁺InP prin metoda epitaxiei din fază lichidă [2].

Dezavantajul acestor fotodiode este lipsa posibilității de a modula fotosensibilitatea cu ajutorul tensiunii de alimentare, deoarece fotosensibilitatea lor nu depinde de tensiunea de polarizare. În plus, fotodiodele menționate au un larg spectru al fotosensibilității (0,9-1,65 μm) și nu pot asigura recepția calitativă a semnalelor de o singură lungime de undă. Pentru a asigura o fotosensibilitate selectivă ele se utilizează cu filtre interferențiale suplimentare sau în condiții de întuneric.

Se cunosc fotoreceptori în infraroșu pe baza structurilor cu superrețele cu gropi cuantice GaAs/AlGaAs, la care caracteristica spectrală se schimbă în funcție de tensiunea aplicată [3] sau cu ajutorul unui flux de lumină vizibilă [4].

Dezavantajul acestor fotoreceptori constă în faptul că cu ajutorul tensiunii sau luminii spectrul fotosensibilității poate fi modificat și nu modulat. Maximul fotosensibilității se deplasează în limitele fotosensibilității care nu se schimbă în funcție de tensiune. Acești fotoreceptori nu sunt selectivi, iar tehnologia de confecționare (epitaxie moleculară) este extrem de complicată.

În calitate de cel mai apropiat analog a fost luată construcția fotodiodei selective pe baza heterostructurii ce constă din substratul p⁺InP cu banda energetică interzisă E_{g_0} , stratul activ n $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{As}_{y_1}\text{P}_{1-y_1}$ cu E_{g_1} stratul frontal n⁺ $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{As}_{y_2}\text{P}_{1-y_2}$ cu E_{g_2} și stratul antireflectant cu E_{g_3} , unde $E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$ [5].

Aceste fotodiode au fotosensibilitate selectivă, însă fotosensibilitatea lor nu poate fi modulată prin intermediul tensiunii de alimentare sau cu ajutorul unui semnal optic cu lungimea de undă diferită de lungimea de undă a semnalului optic informațional.

Problema pe care o rezolvă prezenta invenție este confecționarea unei fotodiode selective, a cărei fotosensibilitate poate fi modulată prin aplicarea unui câmp electric și/sau optic.

Conform invenției, problema tehnică se soluționează prin aceea că în heterostructura ce constă din substratul n⁺InP cu banda energetică interzisă E_{g_0} stratul activ $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{As}_{y_1}\text{P}_{1-y_1}$ cu E_{g_1} stratul frontal p⁺ $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{As}_{y_2}\text{P}_{1-y_2}$ cu E_{g_2} și stratul antireflectant pe partea frontală cu E_{g_3} , unde $E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$, joncțiunea p-n este formată în stratul frontal în imediata apropiere de heterogranita cu stratul activ intrinsec, iar grosimea stratului frontal este mai mare ca lungimea de difuziune a purtătorilor de sarcină minoritari generați pe suprafața frontală a fotodiodei.

Rezultatul tehnic al invenției constă în aceea că la polarizarea inversă stratul de sarcină spațială se extinde în stratul activ, separând purtătorii de sarcină generați în el și obținând astfel o fotodiodă a cărei fotosensibilitate este selectivă și poate fi modulată prin intermediul tensiunii de polarizare și/sau cu ajutorul semnalelor optice.

Invenția se explică prin figurile, care reprezintă:

Fig. 1, diagrama energetică a structurii fotodiodei selective nepolarizate;

Fig. 2, diagrama energetică a structurii fotodiodei selective polarizate invers;

Fig. 3, dependența fotocurentului fotodiodei I_f de energia cuantelor de lumină pentru tensiunea de polarizare inversă mai mare ca tensiunea de prag;

Fig. 4, dependența fotocurentului I_f de tensiunea de polarizare inversă pentru semnalul optic informațional cu lungimea de undă λ_1 și pentru semnalul optic de dirijare cu lungimea de undă λ_2 .

Fotodioda constă din substratul 1 din n⁺InP cu lărgimea benzii energetice interzise E_{g_0} , stratul activ 2 din $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{As}_{y_1}\text{P}_{1-y_1}$ cu banda energetică interzisă E_{g_1} , stratul frontal 3 p⁺ $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{As}_{y_2}\text{P}_{1-y_2}$ cu banda energetică interzisă E_{g_2} și stratul antireflectant 4 cu banda energetică interzisă E_{g_3} . Grosimea stratului de sarcină spațială a joncțiunii p-n în lipsa tensiunii de polarizare este W_0 , iar la polarizare inversă - W_0 . Grosimea stratului frontal este d_3 , iar grosimea stratului antireflectant - d_4 . Lungimea de undă a semnalului informațional este λ_1 (energia - $h\nu_1$), iar a semnalului de dirijare - λ_2 (energia - $h\nu_2$).

Semnalele optice cu lungimile de undă λ_1 și λ_2 sunt introduse în structura fotodiodei prin stratul antireflectant 4 cu grosimea d_4 , care asigură la reflexie pierderi optice minime. Lărgimea benzii interzise a stratului frontal 3 E_{g_2} este mai mare ca energia cuantelor de lumină a semnalului informațional ($h\nu_1$) și a semnalului de dirijare ($h\nu_2$), de aceea ambele semnale trec prin stratul frontal fără absorbție. Lărgimea benzii interzise a stratului activ 2 E_{g_1} e mai mică decât $h\nu_1$ și $h\nu_2$ (fig. 3), de aceea ambele semnale sunt intensiv absorbite de stratul activ 2, generând purtători de sarcină. Fotonii cu energia $h\nu$ mai mică ca E_{g_1} trec prin toată structura semiconductoare fără absorbție, iar fotonii cu $h\nu > E_{g_2}$ se absorb la suprafața structurii. Deoarece grosimea stratului frontal d_3 e mai mare ca lungimea de difuziune a purtătorilor de sarcină fotogenerați la suprafața structurii, ei recombina fără a-și aduce aportul la formarea fotocurentului. Deci numai fotonii cu energia $E_{g_1} < h\nu_1, h\nu_2 < E_{g_2}$, care sunt absorbiți de stratul activ 2, își pot aduce aportul la formarea fotocurentului. Aceasta și determină selectivitatea fotodiodei.

În lipsa tensiunii de polarizare inversă sau pentru tensiuni de polarizare mai mici decât o valoare numită tensiune de prag ($U_{inv} < U_{pr}$), stratul de sarcină spațială a joncțiunii p-n este localizat în stratul frontal (fig. 1). În acest caz purtătorii de sarcină minoritari generați de lumina absorbită în stratul 2 nu pot fi separați de joncțiunea p-n din cauza barierei de potențial din zona de valență la heterogranita dintre straturile 2 și 3. Pentru tensiuni de polarizare inversă $U_{inv} > U_{pr}$ stratul de sarcină spațială a joncțiunii p-n se extinde și în stratul activ 2 (fig. 2), bariera de potențial pentru gurile din stratul 2 dispăre și purtătorii de sarcină generați de lumina absorbită sunt separați de câmpul joncțiunii p-n. Fotocurentul crește brusc de la zero la valoarea lui maximă (fig. 4). În așa

mod, variind tensiunea de polarizare a fotodiodei într-un interval îngust în jurul valorii $U_{inv} = U_{pr}$, modulăm semnalul de ieșire (curentul fotodiodei) cu un grad de modulație a amplitudinii de 100%.

Dacă fixăm tensiunea de polarizare egală cu tensiunea de prag (U_{pr}), deci alegem în calitate de punct de regim punctul "A" de pe caracteristica $I_f = f(U_{inv})$ (fig. 4), și iluminăm fotodiodea cu un semnal optic de dirijare cu energia $h\nu_2$ diferită de energia fotonilor semnalului informațional $h\nu_1$, atunci curentul fotodiodei este modulată suplimentar de semnalul de dirijare cu un grad de modulație $\approx 50\%$ (dacă intensitatea ambelor semnale optice este egală).

Deoarece compușii cuaternari $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ au un șir continuu de soluții solide, straturile 2 și 3 în funcție de coeficienții x și y pot lua valorile lărgimilor benzilor interzise în intervalul $0,75 < E_g < 1,35$ eV.

Variind valorile x și y , sunt confecționate structuri pentru fotodiode selective cu fotosensibilitate dirijată, optimizate pentru lungimile de undă $\lambda=1,06$ μm , $\lambda=1,3$ μm , $\lambda=1,55$ μm , deci pentru lungimile de undă ale radiației optice utilizate pe larg în telecomunicații, telemetrie și teledetecție. Aici semilărgimea spectrului fotosensibilității

$$\Delta E_g = E_{g_1} - E_{g_2} \leq 0,05 \text{ eV}.$$

În continuare se dă un exemplu de realizare a invenției.

Pe substratul n^+InP prin metoda epitaxiei din fază lichidă se formează un strat activ cu grosimea de $2...3$ μm și cu $E_{g_1} = 1,12$ eV, și un strat frontal cu $E_{g_2} = 1,18$ eV și grosimea de 6 μm . Concentrația purtătorilor de sarcină liberi în ambele straturi constituie $\sim 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Prin metoda difuziunii locale a Zn este formată joncțiunea p-n cu o adâncime de $5,5$ μm , deci la o distanță de $0,5$ μm de la heterogranita cu stratul activ. Contactele metalice sunt formate prin evaporare termică în vid a metalelor Ni+Al sau Cr+Au. Straturile antireflex se confecționează pe baza Al_2O_3 prin metoda depunerii pirolitice. Fotodiodea confecționată astfel are spectrul fotosensibilității cu semilărgimea de 80 nm, maximul fotosensibilității pentru $\lambda=1,06$ μm , fotosensibilitatea absolută pentru $\lambda=1,06$ μm este $S=0,57$ A/W, eficiența cuantică - 60% și tensiunea de prag $U_{pr} = 3,5$ V.