



MD 2413 F1 2004.03.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat
pentru Protecția Proprietății Industriale

(11) 2413⁽¹³⁾ F1
(51) Int. Cl.⁷: H 01 L 31/00

(12) BREVET DE INVENȚIE

Hotărârea de acordare a brevetului de invenție poate fi revocată în termen de 6 luni de la data publicării	
<p>(21) Nr. depozit: a 2003 0225 (22) Data depozit: 2003.09.16</p>	<p>(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2004.03.31, BOPI nr. 3/2004</p>
<p>(71) Solicitant: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: DOROGAN Valerian, MD; VIERU Tatiana, MD; DOROGAN Andrei, MD; VIERU Stanislav, MD (73) Titular: UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD</p>	

(54) Fotodiodă selectivă cu sensibilitate modulată

(57) Rezumat:

1
Invenția se referă la tehnica cu semiconductori, în particular la fotodiode, și poate fi utilizată în sistemele optoelectronice pentru detectarea, înregistrarea și transformarea semnalelor optice transmise prin fibre optice, prin atmosferă sau prin alte medii optice.

Esența invenției constă în aceea că fotodioda selectivă cu sensibilitate modulată pe baza heterostructurilor compușilor III – V conține un substrat cu bandă energetică interzisă E_{g_0} , pe care sunt depuse consecutiv un strat activ intrinsec cu E_{g_1} , un strat frontal cu E_{g_2} , grosimea căruia este mai mare decât lungimea de difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari și în care la heterogranita cu stratul activ

2
este formată prima joncțiune p-n, și un strat antireflectant cu E_{g_3} , totodată $E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$. Pe verso substratului sunt depuse consecutiv al doilea strat activ intrinsec cu E_{g_4} , grosimea căruia este mai mică decât lungimea de difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari și un strat cu E_{g_1} în care la heterogranita cu al doilea strat activ este formată a doua joncțiune p-n, totodată $E_{g_4} < E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$.

Revendicări: 1
Figuri: 1

15

MD 2413 F1 2004.03.31

Descriere:

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

5 Sunt cunoscute fotodiodele 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].

Dezavantajul acestor fotodiode este lipsa posibilității modulării fotosensibilității cu ajutorul tensiunii de alimentare. 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.

10 Se mai cunosc fotoreceptorii în infraroșu pe baza structurilor cu superrețele cu gropi cuantice GaAs/AlGaAs, la care caracteristica spectrală se schimbă în funcție de tensiunea aplicată [2]. Dezavantajul acestor fotoreceptori constă în aceea că cu ajutorul tensiunii de alimentare spectrul fotosensibilității poate fi numai modificat, dar nu și modulată. Maximul fotosensibilității se deplasează în limitele domeniului fotosensibilității care nu se schimbă în funcție de tensiune. Plus la aceasta acești receptori nu au o sensibilitate selectivă.

15 Sunt cunoscute, de asemenea, fotodiodele selective pe baza heterostructurii ce constă din substrat p⁺ InP cu banda energetică interzisă E_{g_0} , strat activ n In_{x1}Ga_{1-x1}As_{y1}P_{1-y1} cu E_{g_1} , strat frontal n⁺ In_{x2}Ga_{1-x2}As_{y2}P_{1-y2} cu E_{g_2} și strat antireflectant cu E_{g_3} , unde $E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$ [3].

Aceste fotodiode au fotosensibilitate selectivă, însă ea nu poate fi modulată prin intermediul tensiunii de alimentare.

20 În calitate de cea mai apropiată soluție a fost luată fotodiode selectivă ce constă din substrat n⁺ InP cu lărgimea benzii energetice interzise E_{g_0} , strat activ din i – In_{x1}Ga_{1-x1}As_{y1}P_{1-y1} cu E_{g_1} , strat frontal p⁺ In_{x2}Ga_{1-x2}As_{y2}P_{1-y2} cu E_{g_2} și strat antireflectant cu E_{g_3} , unde $E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$. Aici joncțiunea p-n este formată în stratul frontal în imediata apropiere de heterogranita cu stratul activ intrinsec, iar grosimea stratului frontal este mai mare decât lungimea de difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari generați pe suprafața frontală a fotodiodei [4]. Fotodiodea posedă sensibilitate selectivă ce poate fi modulată prin intermediul tensiunii de alimentare.

30 Dezavantajul acestei fotodiode constă în lipsa posibilității recepției concomitente a două sau mai multe semnale optice cu diferite lungimi de undă, cu posibilitatea modulării fotosensibilității pentru fiecare din ele cu ajutorul tensiunii de alimentare.

35 Problema pe care o rezolvă prezenta invenție este confecționarea unei fotodiode selective capabilă să recepționeze concomitent două semnale optice cu diferite lungimi de undă, cu fotosensibilitatea pentru ambele semnale modulată cu ajutorul tensiunilor de alimentare.

40 Problema se soluționează prin aceea că în fotodiode selectivă cu sensibilitate modulată pe baza heterostructurilor compușilor III-V ce conține un substrat cu bandă energetică interzisă E_{g_0} , pe care sunt depuse consecutiv un strat activ intrinsec cu E_{g_1} , un strat frontal cu E_{g_2} , grosimea căruia este mai mare decât lungimea de difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari și în care la heterogranita cu stratul activ este formată prima joncțiune p-n, și un strat antireflectant cu E_{g_3} , totodată $E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$, pe verso substratului sunt depuse al doilea strat activ intrinsec cu E_{g_4} , grosimea căruia este mai mică ca lungimea de difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari, și un strat cu E_{g_1} în care la heterogranita cu al doilea strat activ este formată a doua joncțiune p-n, totodată $E_{g_4} < E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0} < E_{g_3}$.

45 Rezultatul invenției constă în confecționarea unor diode care recepționează concomitent două semnale optice cu diferite lungimi de undă, cu posibilitatea modulării fotosensibilității pentru fiecare din ele cu ajutorul tensiunilor de alimentare. Ca rezultat, viteza de transmitere a informației prin fibrele optice sau alte medii optice se mărește de două ori.

50 Invenția se explică prin figura ce reprezintă diagrama energetică a heterostructurii fotodiodei selective cu sensibilitate modulată în lipsa polarizării (fig. a) și la polarizare inversă a joncțiunilor p-n (fig. b).

Fotodiodea constă din substratul cu banda energetică interzisă E_{g_0} , pe suprafața căruia este format primul strat activ intrinsec cu banda energetică interzisă E_{g_1} , stratul frontal cu E_{g_2} și stratul antireflectant cu E_{g_3} . Prima joncțiune p-n este formată în stratul cu banda energetică interzisă E_{g_2} în

MD 2413 F1 2004.03.31

4

imediate apropiere de heterogranita cu primul strat activ. Grosimea stratului de sarcina spatiala a primei jonctiuni p-n este notata cu W_1 . Pe partea verso a substratului sunt formate al doilea strat activ intrinsec cu banda energetica interzisă E_{g_1} , grosimea caruia este mai mica ca lungimea de difuzie a purtatorilor de sarcina minoritari, si un strat cu E_{g_1} in care la heterogranita cu al doilea strat activ este

5 formată a doua jonctiune p-n cu grosimea stratului de sarcina spatiala W_2 . Inaltimea barierei de potential in zonele de valenta ale straturilor active este notata prin ϕ_b . La polarizarea inversa a jonctiunilor p-n cu tensiuni $U > \phi_b$ grosimile straturilor de sarcina spatiala devin egale cu respectiv W_{U_1} si W_{U_2} , iar barierele de potential din zonele de valenta ale straturilor active dispar (fig. b).

Semnalele optice cu energia fotonilor $h\nu_1 = E_{g_2}$ si $h\nu_2 = E_{g_4}$ sunt introduse in structura

10 fotodiodei prin stratul antireflectant cu E_{g_3} , care asigura la reflexie pierderi optice minime. Fotonii cu energia $h\nu_1 < E_{g_2}$ trec fara absorbtie prin stratul frontal cu E_{g_2} si se absorb in interiorul stratului activ cu $E_{g_1} = h\nu_1$. Semnalul optic cu energia fotonilor $h\nu_2 < E_{g_1} < E_{g_2} < E_{g_0}$ se absoarbe in interiorul stratului cu E_{g_4} .

In lipsa tensiunilor inverse de polarizare a jonctiunilor p-n purtatorii de sarcina minoritari generati in interiorul straturilor active nu pot fi separati de campurile electrice interne ale jonctiunilor p-n din cauza barierele de potential din zonele de valenta ale straturilor active cu E_{g_1} si E_{g_2} (fig. a). In acest caz fotoraspunsurile ambelor jonctiuni p-n sunt egale cu zero.

15

La polarizarea inversa a jonctiunilor p-n cu tensiuni $U \geq \phi_b$ barierele de potential ϕ_b din zonele de valenta ale straturilor active dispar si purtatorii de sarcina minoritari generati de semnalele optice in interiorul straturilor active sunt separati de jonctiunile p-n, formand in circuitele externe fotocurenti proportionali cu intensitatea semnalelor optice incidente. In asa mod, variind tensiunile inverse de alimentare ale jonctiunilor p-n intr-un interval ingust in jurul valorilor $U = \phi_b$, modulam semnalele de iesire (curentii jonctiunilor p-n) cu un grad de modulatie a amplitudinii de 100%.

20

Selectivitatea fotodiodei se asigura prin faptul ca fotonii cu $h\nu < E_{g_2}$ absorbiti la suprafata stratului

25 frontal nu participa la formarea fotocurentilor deoarece grosimea stratului frontal cu E_{g_2} este mai mare ca lungimea de difuzie a purtatorilor de sarcina minoritari, iar fotonii cu $h\nu < E_{g_4}$ trec prin structura semiconductoare fara absorbtie.

Exemplu de realizare a inventiei

Pe un strat n^+ InP cu $E_{g_0} = 1,35$ eV prin metoda epitaxiei din faza lichida se formeaza un strat activ

30 n^0 InGaAsP cu grosimea de 2...3 μm si cu $E_{g_1} = 1,12$ eV si un strat frontal n^0 InGaAsP cu $E_g = 1,18$ eV si grosimea de 6 μm . Pe verso substratului prin metoda epitaxiei din faza lichida se formeaza un strat n^0 InGaAsP cu grosimea 2...3 μm si $E_{g_4} = 1,1$ eV si unul n^0 InGaAsP cu grosimea de 6 μm si $E_{g_1} = 1,12$ eV. Concentratia purtatorilor de sarcina liberi in toate structurile epitaxiale constituie aproximativ $5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Prin metoda difuziei locale a Zn se formeaza concomitent ambele jonctiuni p-n

35 la o adancime de 5,5 μm , deci la o distanta de 0,5 μm de heterogranitele cu straturile active. Stratul antireflectant se confecioneaza pe baza Al_2O_3 prin metoda depunerii pirolitice. Contactele metalice sunt formate prin evaporarea termica in vid a metalelor Ni + Au sau Cr + Au. Fotodiada confecionata are sensibilitate maxima pentru doua lungimi de unda cu $\lambda_1 = 1,068 \mu\text{m}$ si $\lambda_2 = 1,12 \mu\text{m}$ cu semilargimea spectrelor fotosensibilitatii de 70...80 nm. Fotosensibilitatea absoluta constituie $S = 0,57$ A/W (pentru $\lambda_1 = 1,068 \mu\text{m}$) si $S = 0,59$ A/W (pentru $\lambda_2 = 1,12 \mu\text{m}$). Eficienta cuantica constituie cca 60%, iar tensiunea de modulare a fotosensibilitatii este $U \geq 3,6$ V.

40

MD 2413 F1 2004.03.31

5

(57) Revendicare:

5 Fotodiodă selectivă cu sensibilitate modulată pe baza heterostructurilor compușilor III-V ce conține un substrat cu bandă energetică interzisă E_{g0} , pe care sunt depuși consecutiv un strat activ intrinsec cu E_{g1} , un strat frontal cu E_{g2} , grosimea căruia este mai mare decât lungimea de difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari și în care la heterogranita cu stratul activ este formată prima joncțiune p-n, și un strat antireflectant cu E_{g3} , totodată $E_{g1} < E_{g2} < E_{g0} < E_{g3}$, caracterizată prin aceea că pe verso substratului sunt depuși al doilea strat activ intrinsec cu E_{g4} , grosimea căruia este mai mică ca lungimea de difuzie a purtătorilor de sarcină minoritari și un strat cu E_{g1} în care la heterogranita cu al doilea strat activ este formată a doua joncțiune p-n, totodată $E_{g4} < E_{g1} < E_{g2} < E_{g0} < E_{g3}$.

10

(56) Referințe bibliografice:

1. Solid-State Electron, nr. 7, v. 38, 1995, ho0 Wen-Jeng, Dai Ting-Arn, Chuang Zuon-Ming, Lin Wei, Tu Yuan-Kuang, Wu Meng Chyi, "InGaAs PIN photodiodes on semiinsulating InP substrates with bandwidth exceeding 14 Ghz", p. 1295-1298
2. Appl. Phys. Lett, nr. 19, v. 60, 1992, I. Grave, A. Shakouri, N. Kuze, A. Yariv, "Voltage-controlled tunable GaAs/AlGaAs multistack quantum well infra-red detector", p. 2362-2364
3. Documentele conferinței " Cercetări în optoelectronică", 1994, București, V. Dorogan, V. Brânzari, A. Snigur, G. Corotcencov, V. Ceseac. Aspecte tehnologice în confecționarea fotodiodelor selective optimizate pentru $\lambda=1,06\mu\text{m}$, p. 260-266
4. MD 876 G2, 1997.11.30

Șef Secție:

NEKLIUDOVA Natalia

Examinator:

NASTAS Xenia

Redactor:

LOZOVANU Maria

