



MD 1994 G2 2002.08.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat
pentru Protecția Proprietății Industriale

(11) 1994⁽¹³⁾ G2
(51) Int. Cl.⁷: G 01 N 27/20

(12) BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. depozit: a 2000 0119 (22) Data depozit: 2000.07.17 (41) Data publicării cererii: 2002.07.31, BOPI nr. 7/2002	(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2002.08.31, BOPI nr. 08/2002
(71) Solicitant: TIGHINEANU Ion, MD (72) Inventatori: TIGHINEANU Ion, MD; DOROGAN Valerian, MD; SURUCEANU Grigore, MD (73) Titular: TIGHINEANU Ion, MD	

(54) **Procedeu de formare a anizotropiei optice artificiale in cristale semiconductoare optic izotropice**

(57) **Rezumat:**

1
Invenția se referă la tehnologia materialelor și structurilor semiconductoare și poate fi utilizată pentru confecționarea elementelor optice neliniare.

Procedeu include formarea unei regiuni texturate, implantarea ionilor de înaltă energie sub un unghi de 30...90° în cristalul semiconductor optic

5 izotrop și dizolvarea electrochimică ulterioară a regiunii implantate.

2
Revendicări: 1
Figuri: 4

10

MD 1994 G2 2002.08.31

Descriere:

Invenția se referă la tehnologia materialelor și structurilor semiconductoare și poate fi utilizată pentru confecționarea elementelor optice neliniare.

Se cunoaște că materialele semiconductoare din clasa compușilor A^2B^6 și A^3B^5 , care sunt pe larg aplicate în optoelectronica modernă, de regulă posedă rețea cristalină cubică. Acest fapt și determină proprietățile izotropiei optice ale cristalului [1,2]. Totodată pentru realizarea diferitelor elemente ale opticii neliniare este necesară formarea în cristalul semiconductor a unei regiuni cu proprietăți anizotropice.

Sunt cunoscute procedee de realizare a anizotropiei optice în semiconductorii cu simetrie cubică, bazate pe aplicarea diferiților factori externi, cum ar fi câmpul electric (efectul Kerr, Pochels), magnetic (efectul Faraday, Foigt), aplicarea asupra cristalului a tensiunilor mecanice [3].

Dezavantajul acestor procedee constă în aceea că caracteristica de anizotropie optică dispare odată cu înlăturarea acțiunii factorului extern, ceea ce nu este acceptabil în tehnologiile moderne de confecționare a circuitelor optoelectronice integrate cu conținut de elemente optice neliniare.

De asemenea este cunoscut procedeul de formare a anizotropiei optice artificiale în cristalele cubice prin formarea unei structuri texturate, realizate prin corodare electrochimică [4]. Dezavantajul procedeuului dat constă în lipsa posibilității de orientare a regiunii sub un unghi, ce ar asigura îndeplinirea condiției sincronismului de fază – criteriul principal de manifestare a efectelor optice neliniare.

Problema pe care o rezolvă invenția constă în confecționarea în bază de semiconductor cu rețea cristalină cubică a elementelor optice neliniare cu anizotropie optică încorporată artificial.

Esența invenției constă în formarea unei regiuni texturate, implantarea ionilor de înaltă energie sub un unghi de $30...90^\circ$ în cristalul semiconductor optic izotrop și dizolvarea electrochimică ulterioară a regiunii implantate.

Invenția se explică prin tabelul și desenele din figurile 1 ... 4, care reprezintă:

- tabel, valorile permitivității neliniare de ordinul doi pentru diferite cristale;
- fig. 1, diagrama dependenței valorilor indicilor de refracție pentru unda electromagnetică ordinară n_o și cea extraordinară n_e de direcția de propagare în cristalul anizotrop uniaxial pozitiv;
- fig. 2, reprezentarea schematică a procesului de implantare ionică în semiconductorul GaAs.
- fig. 3, nanostructura poroasă orientată sub un unghi ce asigură îndeplinirea condiției sincronismului de fază;
- fig. 4, dependența valorii unghiului de concentrația GaAs în structura nanometrică poroasă și gradul de porozitate.

După cum a fost menționat anterior, anizotropia optică este caracteristică materialelor cristaline ce nu posedă simetrie cubică. În cazul propagării unei electromagnetice (UEM) prin asemenea cristale are loc divizarea ei în UEM obișnuită și extraordinară, fiecare dintre ele având diferite plane de polarizare. La căderea normală față de suprafața cristalului UEM obișnuită nu-și schimbă direcția de propagare, pe când cea extraordinară este deviată. Indicele de refracție n_o pentru unda obișnuită nu depinde de unghiul de incidență, iar pentru cea extraordinară dependența dată este pronunțată. Diagrama acestor dependențe pentru UEM ce se propagă în cristal sub diferite unghiuri față de axa optică C este reprezentată în fig. 1. Trebuie de menționat faptul că tabloul dat este valabil pentru cristalele uniaxiale pozitive, la care $n_e - n_o > 0$. Pentru o anumită valoare a unghiului de propagare a UEM față de axa optică principală are loc egalitatea:

$$n_e(\omega) = n_o(2\omega) \quad (1)$$

Aceasta este condiția sincronismului de fază, la îndeplinirea căreia viteza de propagare în cazul UEM coerente cu frecvența ω va fi egală cu viteza de propagare a UEM cu frecvența 2ω . În acest caz va avea loc procesul de generare a armonicii a doua, care reprezintă unul dintre efectele optice neliniare. În linii generale, dependența intensității armonicii a doua $I_{2\omega}$ de cea fundamentală I_ω este pătratică și este dată prin relația:

$$I_{2\omega}(L) = \frac{(2\omega)^2}{8\epsilon_o c^3} \frac{\left| \chi^{(2)}(-2\omega; \omega, \omega) \right|^2}{n_o^2 n_{2\omega}} I_\omega^2(L) L^2 \left[\frac{\sin\left(\frac{\Delta kL}{2}\right)}{\frac{\Delta kL}{2}} \right]^2 \quad (2)$$

unde ω - frecvența ciclică a unei fundamentale;

ϵ_o - constanta dielectrică în vid;

c - viteza luminii în vid;

$\chi^{(2)}(-2\omega; \omega, \omega)$ - tensorul permitivității optice neliniare de ordinul doi;

n_o și $n_{2\omega}$ - indicii de refracție pentru unda fundamentală și pentru armonica a doua;

L - distanța de interacțiune neliniară;

Δk - defazajul dintre armonica a doua și armonica fundamentală implicate în proces.

5 Trebuie de notat faptul că eficiența procesului de generare a armonicilor este strâns legată de valoarea permitivității neliniare de ordinul doi $\chi^{(2)}(-2\omega; \omega, \omega)$. S-a stabilit că pentru materialele semiconductoare din clasa compușilor A^3B^5 valoarea permitivității neliniare de ordinul doi este de circa 600 ori mai mare decât pentru materialele clasice folosite în optica neliniară, cum ar fi cristalele KDP, ADP (tabel). Dezavantajul primelor constă în faptul că au rețea cristalină cubică, ceea ce diminuează la maxim manifestarea efectelor optice neliniare.

10 Efectele optice neliniare sunt determinate de interacțiunea undei electromagnetice coerente de intensitate mare cu dipolii rețelei cristaline, fapt ce provoacă saturația polarizării semiconductorului în cazul când vectorul electric al UEM coerente coincide cu direcția vectorului de polarizare proprie. Amplificarea fenomenelor optice neliniare în asemenea materiale semiconductoare ar putea fi realizată prin formarea artificială a anizotropiei optice.

15 Realizarea acestei caracteristici în invenția dată se propune a se face prin implantarea în cristalul semiconductor optic izotrop de ioni Xe^+ sau Kr^+ cu energii de circa 10 MeV ? 1 GeV sub un unghi, ce asigură îndeplinirea condiției sincronismului de fază și corodarea electrochimică ulterioară a regiunii implantate (fig. 2). Pentru arsenura de galiu (GaAs) adâncimea de penetrare a ionilor implantați variază de la 2,73 μm până la 52,7 μm . În acest fel în volumul semiconductorului se formează o structură texturată nanometrică (diametrul porilor 4...5 nm), înclinată sub un anumit unghi (fig. 3). Valoarea unghiului preconizat depinde de materialul ales și gradul de porozitate al acestuia (fig. 4).

20 În acest fel în cristalul semiconductor izotrop este formată o regiune nanostructurată care posedă caracteristici de anizotropie optică. Se preconizează ca efectele optice neliniare să fie foarte pronunțate atât datorită faptului că permitivitatea optică neliniară de ordinul doi în materialele semiconductoare are valori foarte mari, cât și prin aceea că la interacțiunea UEM cu structura nanometrică apar diferite fenomene adiționale, cum ar fi efectele optice neliniare legate de excitoni, care ar duce la mărirea considerabilă a acestui parametru.

25 Rezultatul invenției constă în crearea artificială a anizotropiei optice în cristalul semiconductor cu simetrie cubică prin realizarea regiunii nanostructurate orientate sub un unghi ce asigură îndeplinirea condițiilor sincronismului de fază.

30 Exemplu de realizare a invenției

Un substrat de semiconductor monocristalin n - GaAs cu grosimea de 0,1 mm dopat cu siliciu (Si) cu concentrația purtătorilor de sarcină $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, având orientarea cristalografică $\langle 100 \rangle$, a fost supus procesului de implantare ionică cu ioni de Xe^+ cu energia 10 MeV și doza 10^{11} cm^{-2} sub un unghi de 45° față de suprafața semiconductorului. Conform calculelor efectuate și prezentate în fig. 4, unghiul ales trebuie să asigure îndeplinirea condițiilor sincronismului de fază pentru 69% de porozitate a GaAs. Procesul de implantare a fost realizat la temperatura de cameră. Corodarea electrochimică ulterioară a fost făcută folosind în calitate de electrolit soluția H_2SO_4/H_2O . Cercetările clivajelor materialului semiconductor cu aplicarea microscopului electronic cu scanare (SEM) au arătat că în material a fost realizată o regiune nanometrică poroasă cu adâncimea porilor de circa 3 μm și înclinarea față de suprafața semiconductorului de 45°. Placheta a fost supusă procesului de fotogravură și corodare chimică ulterioară în soluție 5:NaOH + 1:H₂O₂ + 1:NH₄OH în vederea realizării ghidurilor de undă planare cu lățimea de 50 μm . Din plachetă au fost clivate așchii cu lățimea de 0,3...0,5 mm, care au fost folosite pentru cercetări în vederea estimării caracteristicilor de izotropie și manifestare a fenomenelor de generare a armonicii a doua. În calitate de sursă de lumină de probă a fost folosită o diodă laser semiconductoră cu gropi cuantice și structură tensionată InGaAs/AlGaAs/GaAs cu lungimea de undă de emisie 980 nm, lățimea benzii spectrale 0,1 nm, puterea de emisie în undă continuă 400 mW la un curent de pompare de 600 mA și lățimea fâșiei de contact de 25 μm . Pentru focalizarea fasciculului emis de dioda laser a fost folosită o schemă optică constituită dintr-un sistem de lentile, ce asigură diametrul taliei fasciculului Gaussian de circa 30 μm pe o distanță de 2 mm.

50 După trecerea fasciculului emisiei fundamentale cu puterea optică de 100 mW prin ghidul de undă GaAs cu regiune nanostructurată, a fost detectată emisia cu lungimea de undă de 490 nm (armonica a doua) și puterea de circa 1 mW. Această valoare este mult mai mare decât puterea maximă a armonicii a doua ($P=10^{-3} \text{ W}$), generată în ghidul de undă propriu al unei diode laser InGaAs/AlGaAs/GaAs la funcționarea acesteia în regim de undă continuă la puterea emisiei fundamentale 600 mW. Acest fapt demonstrează că după realizarea în volumul semiconductorului GaAs a unei nanostructuri texturate poroase, orientate sub un unghi ce asigură îndeplinirea condițiilor sincronismului unghiular de fază, a fost obținut efectul optic neliniar de generare a armonicii a doua, cauzat de anizotropia optică creată artificial.

MD 1994 G2 2002.08.31

5

(57) Revendicare:

- 5 Procedeu de formare a anizotropiei optice artificiale in cristale semiconductoare optic izotropice, care include formarea unei regiuni texturate, **caracterizat prin aceea că** in cristalul semiconductor optic izotropie se implantează ioni de înaltă energie sub un unghi de 30...90° cu dizolvarea electrochimică ulterioară a regiunii implantate.

10

(56) Referințe bibliografice:

1. J. S. Blakmore. Fizica corpului solid. Moscova, MIR, 1998, p. 57
2. С. А. Медведев. Введение в технологию полупроводниковых материалов, Москва, Высшая школа, 1970, с. 65-70, 451-473
3. Ж. Панков. Оптические процессы в полупроводниках. Москва, МИП, 1998, с. 57
4. Eijiro Kikuno, Marco Amiotti, Tshiyuki Takizawa and Shigehisa Arai. Anisotropic refractive index of porous InP fabricated by anodization of (111)A Surface. J. Appl. Phys., V. 34, 1995, p. 177-178

Șef Secție:	COZMA Valeriu
Examinator:	COJOCARU Ala
Redactor:	LOZOVANU Maria

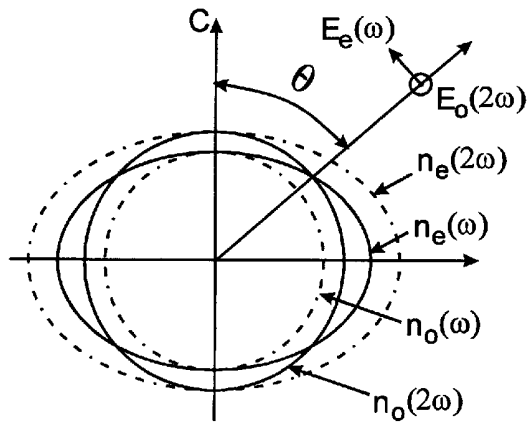


Fig. 1

Tabel

	Cristalul	Clasa de simetrie	$10^{12} \times \chi_{ij}^{2\omega}$ (m/V)	λ , μm
1	KDP (KH_2PO_4)	D_{2d}	$\chi_{14}=0,49$ $\chi_{36}=0,47$	1,06 1,06
2	ADP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)	D_{2d}	$\chi_{14}=0,553$ $\chi_{36}=0,558$	1,06 1,06
3	RDP (RbH_2PO_4)	D_{2d}	$\chi_{14}=0,56$ $\chi_{36}=0,43$	1,06 1,06
4	GaP	T_d	$\chi_{14}=85,6$	1,06
5	InP	T_d	$\chi_{14}=167$	1,06
6	GaAs	T_d	$\chi_{14}=274$	1,06

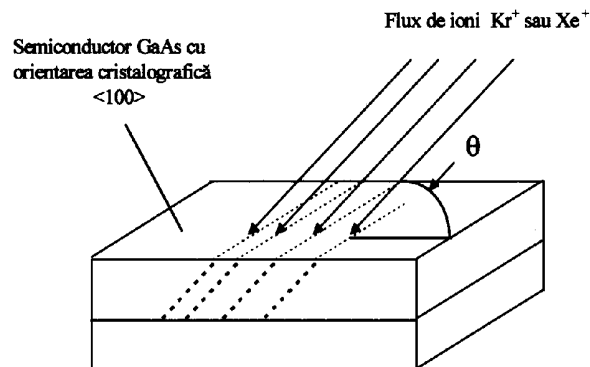
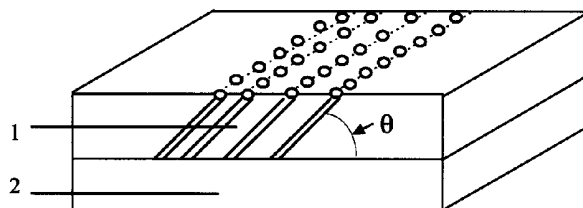


Fig. 2



1- regiunea poroasă nanostructurată (diametrul porilor 4-5 nm)
 2 - volumul materialului semiconductor, rămas intact

Fig. 3

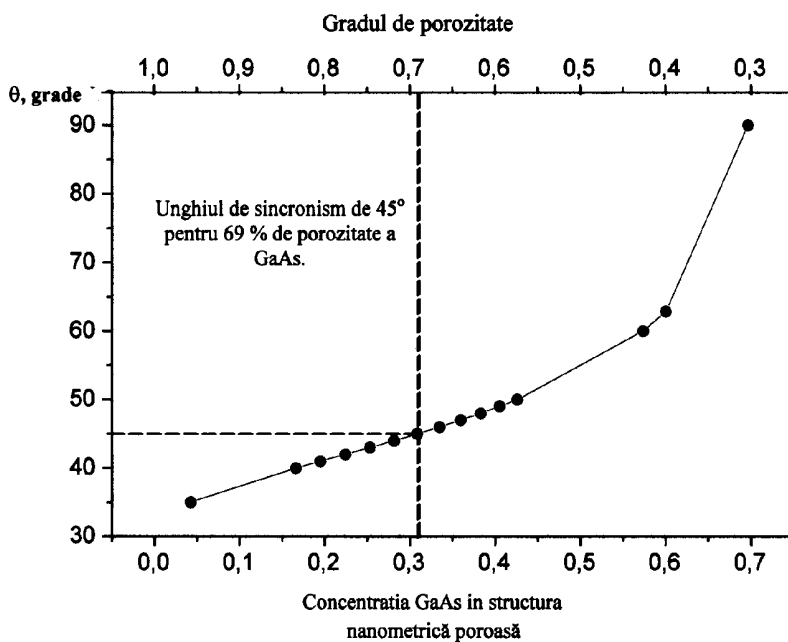


Fig. 4

RAPORT DE DOCUMENTARE

(21) Nr. depozit: a 2000 0119 (22) Data depozit: 2000.07.17		
(51) ⁷ : G 01 N 27/20 (54) Titlul : Procedeu de formare a anizotropiei optice artificiale in semiconductori optici izotropici. (71) Solicitantul : Tighineanu Ion, MD Termeni caracteristici : a) limba română: semiconductor, anizotropie optică, element optic neliniar b) limba engleză: semiconductor, optical anisotropy, neliniar optical element		
I. Minimul de documente consultate (sistema clasificării și indici de clasificare Int. Cl.- 7)		
Int. Cl. ⁷ G01N 27/20		
II. Literatura tehnico-științifică consultată adăugător la minim de documentație (autori, titluri, editura, țara și data publicării)		
III. Baze de date electronice consultate (denumirea BD și termen de documentare)		
MD perioada 1993-2001; EA 1996-2001		
IV. Documente considerate ca relevante		
Categoria*	Date de identificare ale documentelor citate si indicarea pasajelor pertinente	Numărul revendicării vizate
A	Eijiro Kikuno, Marco Amiotti, Tshiyuki Takizawa and Shigehisa Arai. Anizotropic refractive index of porous InP fabricated by anodization of (111)A Surface. J. Appl. Phys., V. 34, 1995, p. 177-178.	
<input type="checkbox"/> Documentele următoare sunt indicate în continuare a rubricii IV		<input type="checkbox"/> Informația referitoare la brevete paralele se anexează
* categoriile speciale ale documentelor consultate:		P - document publicat înainte de data depozitului național reglementat dar după data priorității invocate
A - document care definește statutul general al tehnicii		T - document publicat după data depozitului sau a priorității invocate, care nu aparține stadiului pertinent al tehnicii, dar care este citat pentru a pune în evidența principiul sau teoria care conține baza invenției
E - document anterior dar publicat la data de depozit național reglementar sau după aceasta data		X - document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată nouă sau implicând activitate inventivă
L - document care poate pune în discuție data priorității invocate, poate contribui la data publicării altor divulgări sau pentru un motiv expres (se va indica motivul)		Y - document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată ca implicând activitate inventivă cand documentul este asociat cu unul sau mai multe alte documente de aceeași natură, aceasta combinație fiind evidentă pentru o persoană de specialitate
O - document referitor la o divulgare orală, un act de folosire, la o expunere sau orice altă		& - document care face parte din aceeași familie de documente
Data efectuării de documentare		21.06.2001
Examinatorul		Cojocaru Ala