

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2022 00668**

(22) Data de depozit: **24/10/2022**

(41) Data publicării cererii:
30/04/2024 BOPI nr. **4/2024**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
DEZVOLTARE PENTRU FIZICA
MATERIALELOR, STR.ATOMIȘTILOR,
NR.405A, CP.MG-7, MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **POPESCU DANA GEORGETA,
STR. MĂRGEANULUI NR. 18, BL. M37,
AP. 8, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **HUȘANU MARIUS ADRIAN,
STR. AMURGULUI NR. 23, BL. C9,
POPEȘTI-LEORDENI, IF, RO**

(54) **CRISTAL FOTONIC BI-DIMENSIONAL ÎN MATRICE
DE GERMANIU**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un cristal fonic bidimensional cu bandă fonică interzisă și funcționare în regim de lungimi de undă în domeniul micronilor, realizat în filme de germaniu, având aplicații în optoelectronică și fonică. Cristalul fonic, conform invenției, este realizat sub forma unei structuri alternante de medii cu constantă dielectrică diferită, prin introducerea în volumul matricei de germaniu a unor cilindri de aer având dimensiuni și periodicitate bine definite, astfel încât, în funcție de dimensiunea cilindrilor și de distanța dintre aceștia, radiația electromagnetică cu diverse energii poate fi confinată și ghidată.

Revendicări: 1
Figuri: 3

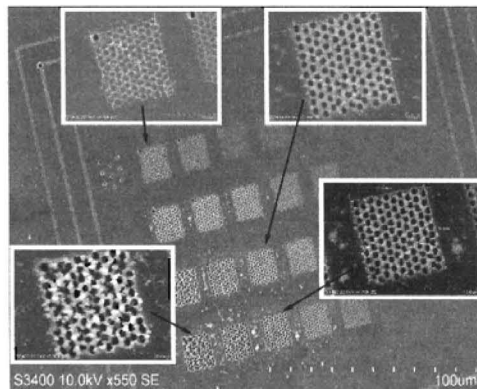


Fig. 1



Cristal fonic bi-dimensional în matrice de germaniu

Problema tehnică

Fotonica se bazează pe studiul manipulării radiației. În 1987 s-au publicat primele rapoarte experimentale (1) și teoretice (2) care prezintă o clasă nouă de materiale cu bandă fonică interzisă (BFI) și care permit confinarea coerentă a luminii. Astfel a început dezvoltarea fără precedent din ultimii ani atât a cristalelor fononice (CF), precum și a dispozitivelor bazate pe cristale fononice (3) pentru o mai bună manipulare a luminii. Aceste dispozitive optoelectronice sunt folosite în telecomunicații și tehnologia informației pentru realizarea de ghiduri de undă (4), filtre optice (5), comutatoare optice (6) sau dispozitive optoelectronice cuplate (7).

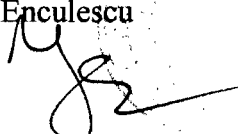
Principiul de funcționare este bazat pe controlul propagării radiației electromagnetice (în vizibil, infraroșu, THz, microunde, etc) în funcție de frecvența acesteia. Astfel, aceste materiale create artificial prezintă capacitatea de a bloca lumina în stuctura dielectrică, cu proprietatea de confinare, fără a permite împrăștierea ei în moduri de propagare nedorite. Domeniul de energii în care lumina este blocată în a se propaga se numește bandă fonică interzisă (BFI) și poziția acesteia în energie poate fi controlată printr-o construcție corespunzătoare a materialului fonic.

Principiul esențial de apariție a acestor BFI constă în repetarea periodică a unei celule elementare conținând cel puțin două materiale cu indici de refracție diferiți după o direcție, după două sau după toate cele trei direcții spațiale. Structurile astfel rezultate se numesc cristale fononice unidimensionale, bidimensionale, sau respectiv tridimensionale.

Prin manevrarea anumitor parametrii, ca de exemplu constanta rețelei, indicii de refracție sau/și grosimea probei putem controla poziția acestor benzi de stopare influențând astfel răspunsul optic al sistemului. Această proprietate sugerează posibilitatea utilizării materialelor cu bandă interzisă în fonică, reprezentând un analog al semiconductorilor din microelectronică convențională.

Materialele folosite cu precădere pentru construcția acestor sisteme sunt fie sisteme polimerice de tipul poli-metil metacripat – PMMA sau Si. Ambele sisteme vin cu dezavantajul fie că, deși se prepară ușor, nu au stabilitate în timp (PMMA) și nu rezistă la uzură, în timp ce tehnologia pe bază de Si presupune manipularea laborioasă a Si în vederea obținerii structurilor fononice.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Expunerea invenției

Prezenta invenție constă dintr-o structură fonică bidimensională obținută într-un substrat de germaniu (Ge) și folosită pentru confinare și ghidarea radiației electromagnetice pentru aplicații în electronică și optoelectronică. Cristalul fonic este obținut prin procesarea unei structuri alternante de medii cu constantă dielectrică diferită, prin introducerea în volumul matricii de Ge a unor cilindri de aer, având dimensiuni și periodicitate bine definite.

O metodă de procesare poate fi cea descrisă în Ref. 8, putându-se în mod alternativ folosi și procedee mai elaborate cum ar fi corodarea cu ioni.

Cristalul fonic constând din cilindri de aer având diferite dimensiuni, și dispuși la diferite distanțe în matricea de Ge este prezentat în Fig. 1. În funcție de diametrul cilindrilor și de distanța dintre ei, poziția în energie a benzilor fonice interzise poate fi modificată pentru a confina și ghida radiație cu diferite lungimi de undă.

În Fig. 2 este indicat modul diferit în care are loc confinare și ghidarea radiației cu lungime de undă de 1550 nm în structura fonică propusă. În timp ce Fig. 2g indică geometria cristalului fonic bidimensional obținută din microscopie electronică de baleiaj, Fig. 2a-c, și 2d-f arată imaginile de spectroscopie de infraroșu și investigarea spectromicroscopică a cristalului fonic. Culoarea roșie indică intensitatea maximă a radiației cu lungimea de undă de 1550 nm, corespunzând regiunii unde radiația este confinată și ghidată (9,10).

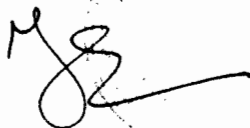
Așa cum este indicat în Fig. 3, poziția benzii fonice corespunzând radiației de 1550 nm este dată de prima bandă a modurilor transversal electrice (TE). Descrierea modalităților de modelare teoretică a acestor benzi este dată în detaliu în referințele 9 și 10.

În raport cu stadiul actual al tehnicii, prezenta invenție se distinge 1) prin folosirea materialului Ge ca substrat pentru construcția cristalului fonic bidimensional și 2) prin geometria triunghiulară în care cilindri de aer cu diametrul între 500 nm și 800 nm sunt dispuși la distanțe între 200 nm și 600 nm unul de celălalt.

Germaniul se situează printre cele mai promițătoare materiale ce pot fi utilizate pentru producerea dispozitivelor fonice, datorită indicelui de refracție foarte mare ($n \sim 4.2$) și dispersiei reduse pentru gamă largă de temperaturi.

De exemplu, în microelectronică, viteza și curentul de comandă ale dispozitivelor logice bazate pe dispozitive de tip metal-semiconductor (CMOS) pot fi îmbunătățite datorită mobilității

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu




mari a electronilor și golurilor din substratul de Ge (11). Tranzistorii MOSFET pe bază de germaniu prezintă anumite limitări datorate lipsei oxigenului nativ pentru poarta izolatoare, însă progresul realizat în miniaturizarea dispozitivelor dielectrice oferă posibilitatea unei potențiale mobilități ridicate care să înlocuiască siliciul utilizat în prezent în realizarea canalului, Ge prezentând de asemenea avantajul de a avea compatibilitate directă cu CMOS.

Metoda de procesare este cea prezentată în referința (8) și nu face obiectul prezentei invenții, cristalul fonic propus putând fi realizat folosind ca tehnici alternative corodarea ionică, corodarea în plasmă, litografia.

Referințe bibliografice:

1. S. John, Phys. Rev. Lett. 58 (1987) 2486
2. E. Yablonovitch, Phys. Rev. Lett. 58 (1987) 2059
3. X.C. Tong, Fundamentals and Design Guides for Optical Waveguides, in: Advanced Materials for Integrated Optical Waveguides, Springer International Publishing, 2014
4. U.W. Paetzold, S. Lehnen, K. Bittkau, U. Rau, R. Carius, Nano Lett., 14 (2014), p. 6599
5. Y. Akahane, T. Asano, B.S. Song, S. Noda, Appl. Phys. Lett., 83 (2003), p. 1512
6. B. Rezaei, T.F. Khalkhali, A.S. Vala, M. Kalafi, J. Mod. Optic, 61 (2014), p. 904
7. L. Jianjun, F. Zhigang, K. Min, H. Guiming, G. Chunying, Y. Libo, Opt. Commun., 288 (2013), p. 52
8. M. Zamfirescu, A. Jipa, I. Anghel, Procedeu de structurare a suprafetelor cu radiatie laser prin efect de intensificare optica in camp apropiat A/2010/01174
9. M. A Husanu, C.P. Ganea, I. Anghel, C. Florica, O. Rasoga, D. G. Popescu, Appl. Surf. Sci. 355, 1186-1191 (2015)
10. M. A. Husanu, D. G. Popescu, C. P. Ganea, I. Anghel, C. Florica, Eur. Phys. J. D. 69, 273 (2015)
11. C.O.Chui, K.C. Saraswat, Advanced Germanium MOS Devices. In Germanium-Based Technologies: from Materials to Devices, Elsevier: Amsterdam, 2007

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Revendicări

Un cristal fonic bi-dimensional format din orificii de forma cilindrică dispuși periodic într-un film de germaniu care se caracterizează prin aceea că:

1. Poate fi preparat prin ablație laser, corodare ionică sau corodare în plasmă.
2. Confinează și ghidează radiația electromagnetică.
3. Energia radiației confinate poate fi modificată prin schimbarea diametrului și a distanței dintre cilindrii de aer introduși în matricea de Ge.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Desene și figuri

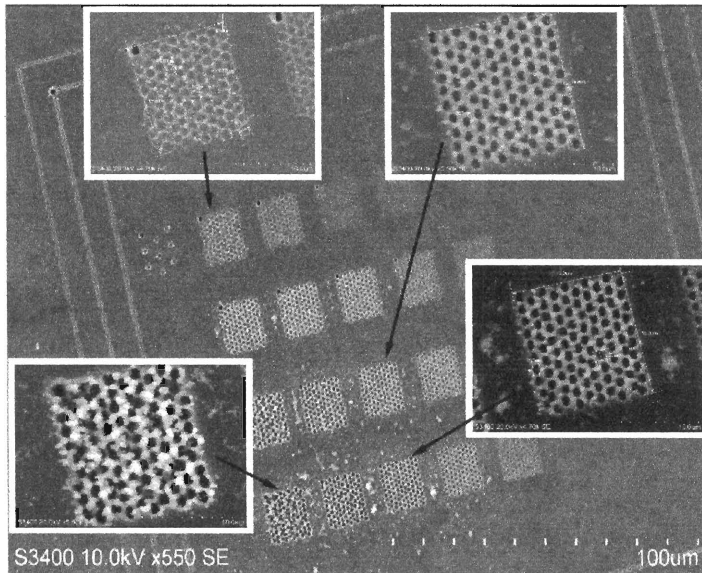


Figura 1 Reprezentarea schematică a structurilor fotonice constând din cilindrii imersați în Ge.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



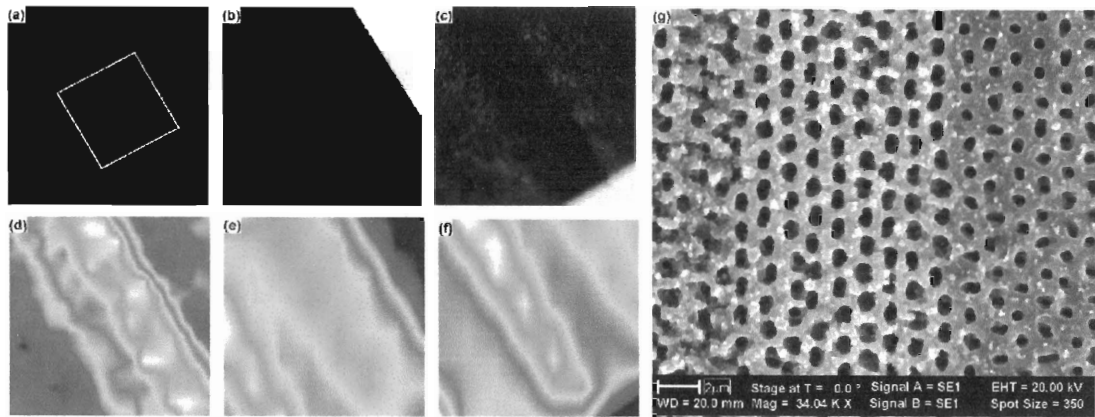


Figura 2 Imagini obținute în spectroscopie de infraroșu (a-c) și spectromicroscopie de infraroșu (d-f) indicând structurile cu eficiență maximă de a ghida și confina radiația cu energia de 1550 nm, conform geometriei cristalului fonic (g).

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu

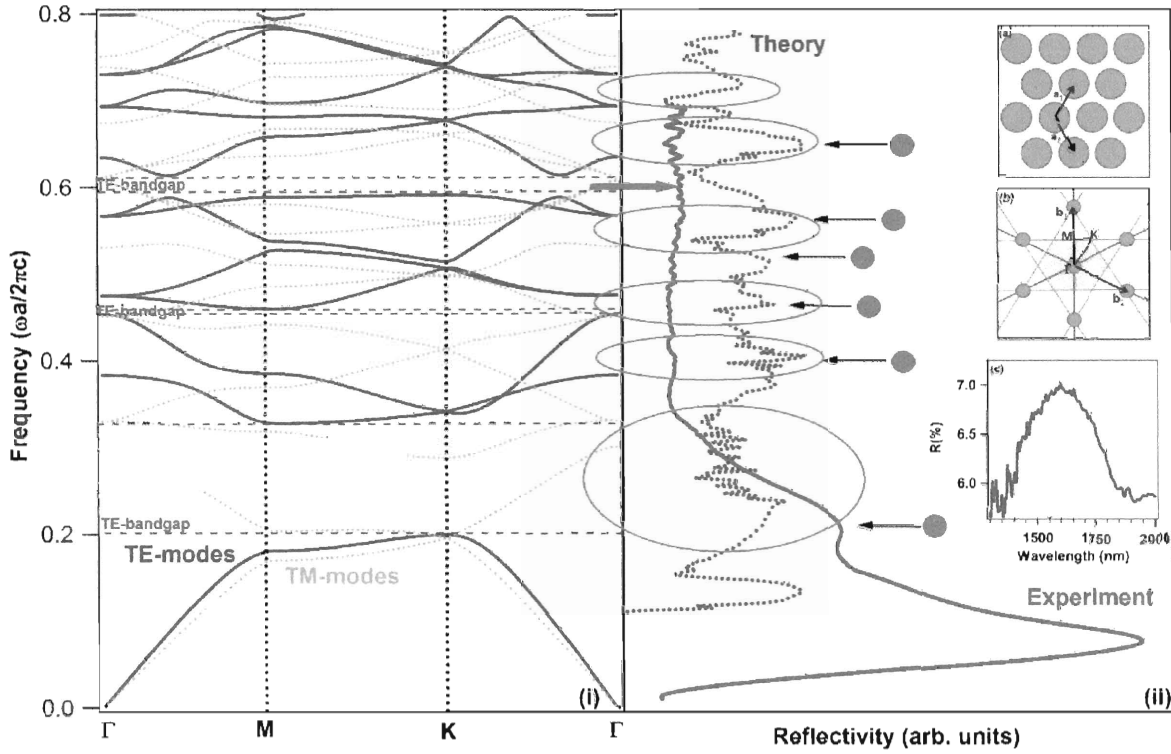


Figura 3 Structura benzilor fotonice calculate teoretic (a) și rezultatele experimentale pentru rețeaua de cilindri de aer cu simetrie hexagonală imersați în matricea de Ge (b).