



**UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI
TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI
SPECIALIZAREA REȚELE DE COMUNICAȚII**

MICROSISTEME ELECTROMECHANICE Cristale fotonice

**PROFESOR ÎNDRUMĂTOR,
Ș. I. dr. ing. Daniela Derevlean**

**MASTERAND,
Alexandra-Alisa Albu
Grupa: 56RC**

Cristale fotonice

1. Introducere MEMS-uri

Sistemele microelectromecanice reprezintă tehnologia dispozitivelor microscopice, mai exact sisteme de dimensiuni mici compuse din elemente electrice și mecanice.

Componentele MEMS-urilor au dimensiuni mici de ordinul micrometrilor, iar dispozitivele în sine au dimensiuni cuprinse între micrometri și milimetri.

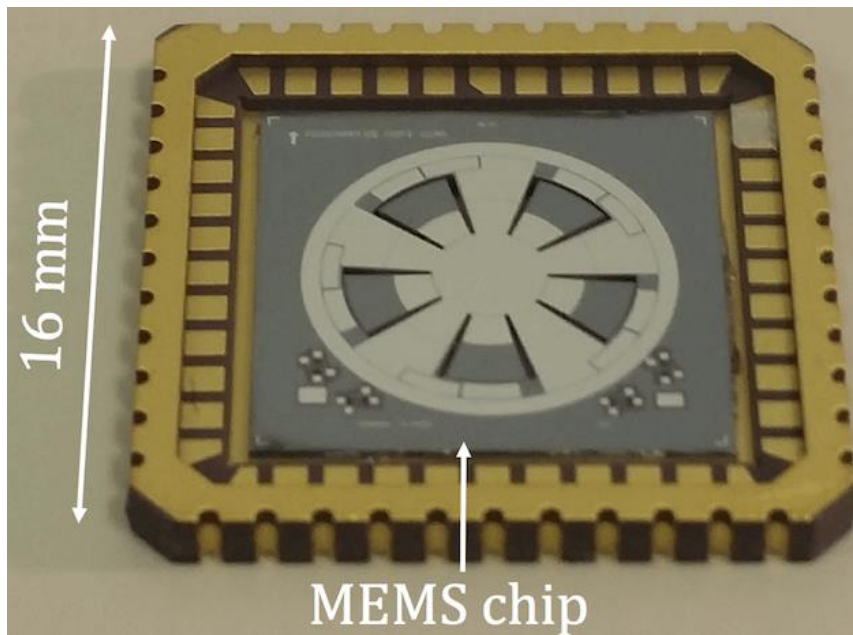


Fig. 1: Cip MEMS

https://www.researchgate.net/figure/Photograph-of-the-MEMS-chip-12-mm-by-12-mm-on-a-leadless-chip-carrier-The-backside-of_fig3_286528910

Clasificare MEMS-uri

MEMS-urile sunt împărțite în 3 categorii, după cum urmează:

- Traductori
- Senzori
- Actuatori

Traductorul reprezintă un dispozitiv tehnic care transformă valorile unei mărimi fizico-chimice în valori ale altei mărimi fizice, cu scopul de a o măsura și/sau regla mersul procesului tehnic, biologic, etc. în care este implicată mărimea în cauză.



Fig. 2: Traductor de temperatură

(<http://eurocontrol.ro/product/traductor-de-temperatura-t7t/>)

Senzorul este, de asemenea, un dispozitiv tehnic care reacționează la anumite proprietăți fizice sau chimice ale mediului din preajma lui, mai exact măsoară o mărime fizică și o transformă într-un semnal, ulterior sa poată fii citit de o persoană specializată în acest domeniu.



Fig. 3: Senzor care detectează gazul metan

(<https://ro.wikipedia.org/wiki/Senzor>)

Actuatorul este tot un dispozitiv ce realizează transformarea unui semnal electric sau termic în lucru mecanic sau căldură.



Fig. 4: Actuator termic

(<https://www.aleroma.ro/actuator-termic-poer-smart-230v-nc-m30x1-5-p3322>)

Materialele din care sunt fabricate MEMS-urile sunt: siliciu, polimeri, metale și ceramică.

2. Generalități

Fotonica este știința fizică și aplicarea generării, detectării și manipulării luminii prin emisie, transmisie, modulare, procesare a semnalului, comutare, amplificare și detectare. Concret, fotonica reprezintă știința care se ocupă cu studiul luminii.

Putem spune că este și o știință importantă care stă la baza dezvoltării tehnologiei, prin ideea că din cele mai vechi timpuri, lumina a fost punctul cheie ce ne-a influențat și încă o face, viața noastră de zi cu zi.

Cristalul fonic, în optică și în microfonică, reprezintă o structură în care indicele de refracție are o modulație periodică ce poate fi comparată din punct de vedere al scalei cu lungimea de undă a luminii sau a unei radiații electromagnetice.

Cristalele mai pot fi definite și ca structuri care au constanta dielectrică în una, două sau trei dimensiuni, cu indice de refracție diferit. Datorită acestui indice diferit, cristalele capătă proprietăți optice analoge cu proprietățile de conducere electrică ale cristalelor.

3. Istoric cristale fotonice

- **1887** - pentru prima dată au fost studiate cristalele fotonice, dar nu sub denumirea aceasta, Lordul Rayleigh (fizician britanic) a arătat că astfel de sisteme au o bandă fonică unidimensională și o gamă spectrală de reflectivitate ridicată.
- **1979** – Ohtaka a dezvoltat conceptul de cristale fotonice tridimensionale, dar și un formalism pentru calcularea structurii benzii fonice.
- **1987** – anul în care cristalele fotonice au prins “viață”. Eli Yablonovitch și Sajeev John au publicat două lucrări esențiale despre cristalele fotonice, ce cuprindeau informații despre modul în care erau privite structurile optice periodice de înaltă dimensiune. Scopul principal al unuia dintre autori a fost să proiecteze densitatea fonică a stărilor pentru controlul emisiei spontane a materialelor încorporate în cristalul fonic, iar ideea celuilalt s-a bazat pe folosirea cristalelor în influențarea localizării și controlului luminii.
- **1991** – Yablonovitch a reușit să demonstreze primul spațiu tridimensional de bandă de fotoni în regimul de microunde.
- **1996** - Thomas Krauss a arătat că un cristal fonic bidimensional ia lungimi de undă optice, ceea ce a dus la folosirea cristalelor în materiale semiconductoare prin împrumutarea metodelor de la industria semiconductoarelor.

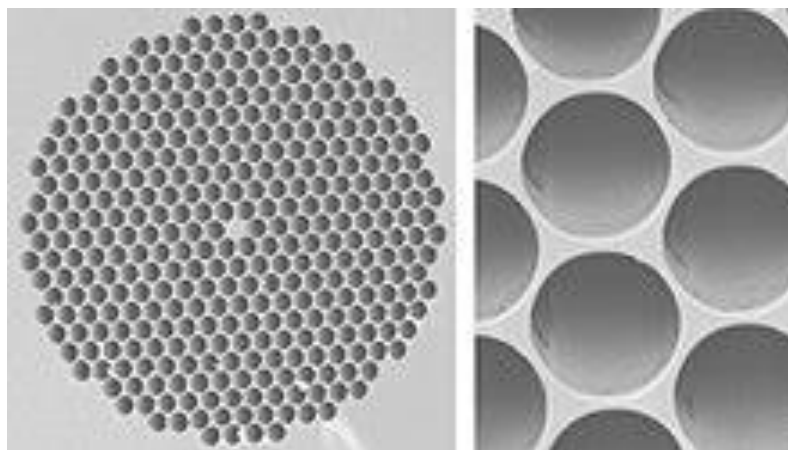


Fig. 5: Fibră de cristal fonic

(https://koaha.org/wiki/Cristallo_fonico)

4. Cristale fotonice – descriere, proprietăți

După cum menționam anterior, cristalul fonic reprezintă o structură periodică ce are un indice de refracție care poate alterna în una sau mai multe dimensiuni.

Au diferite proprietăți, cum ar fi cea expusă mai sus, proprietatea optică analogă de conducere electrică, dar și proprietatea de a manipula lumina. Cu toate acestea, reșește să mențină o dimensiune mică care este necesară compoziției dispozitivelor de dimensiuni reduse.

Comportarea cristalelor fotonice este descrisă de ecuațiile lui Maxwell. Aceste cristale expuse la lumina albă devin colorate, fapt care nu se datorează absorbției luminii, nici nu este cauzată de pigmenți, ci este un fel de “culoare fizică”.

În zilele noastre, calitatea cristalelor fotonice nu permite integrarea lor într-o mare varietate de dispozitive, însă un avantaj major în sporirea calității lor este reprezentat de gama largă de materiale și metode de procesare disponibile. Semiconductorii organici, primesc o atenție deosebită prin prisma faptului că se pot folosi în spectrul optoelectronicii moleculare și a fotonicii, polimerii având un preț destul de redus și ajută la îmbunătățirea proprietăților optice.

Calculul structural al cristalului fonic.

Spațiul dintre banda fonică (PBG) este în esență spațiul dintre linia aeriană și linia dielectrică în relația de dispersie a sistemului PBG. Pentru proiectarea sistemelor de cristale fotonice, este important să se proiecteze poziția și dimensiunea bandgap-ului prin modelare computerizată utilizând una dintre metodele:

- Metoda de expansiune a unei plane;
- Metoda elementului finit (tehnică numerică pentru căutarea soluțiilor aproximative ale unor probleme descrise prin ecuații diferențiale parțiale);
- Metoda FDTD;
- Metoda spectrală de ordine n ;
- Metoda KKR (aproximare);
- Unda Bloch – metoda MoM;
- Construcția diagramei benzii.

Metodele prezentate mai sus rezolvă frecvențele cristalelor fotonice pentru fiecare valoarea a direcției de propagare dată de vectorul de undă sau invers.

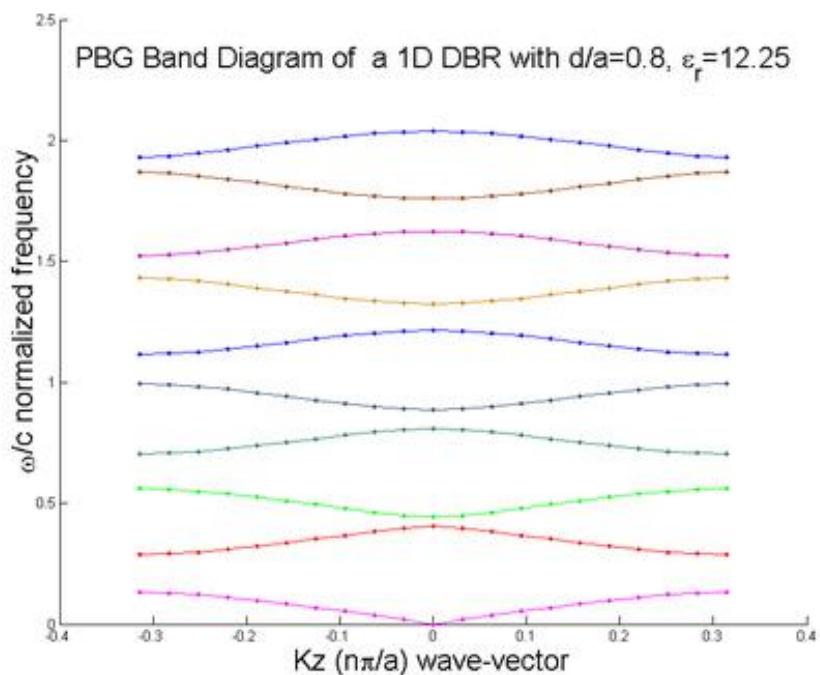


Fig. 6: Structura benzii unui cristal fonic unidimensional

(https://koaha.org/wiki/Cristallo_fonico)

În figura 6 este prezentată structura benzii unui cristal fonic 1D, calculat utilizând tehnica de expansiune a unei plane cu 101 plane de forfecare, pentru $d/a=0.8$ și contrast dielectric de 12,25 F/m.

Cristalele fotonice în natură.

În perioada de după a descoperiri cristalelor fotonice, s-au găsit în natură diferite sisteme care își datorează proprietățile optice unei variații periodice a indicelui lor de refracție, deci se vor numi cristale fotonice naturale.

Cel mai frecvent exemplu este opalul, o piatră sedimentară compusă din microsferă de dioxid de siliciu și apă, iar în timpul sedimentării se transformă într-o structură cubică cu fețe centrale. De aici și termenul de opalescență, o caracteristică a culorilor ce se datorează refracției luminii în structura cubică.



Fig. 7: Opal natural

(<https://sabion.ro/totul-despre-opal/>)

5. Tipuri de cristale fotonice

În funcție de modul de propagare a fasciculului de fotoni prin cristal, există trei tipuri de cristale fotonice:

- Unidimensional (banda fonică interzisă există doar pentru o singură direcție de propagare);
- Bidimensional (banda fonică interzisă există pentru două direcții de propagare);
- Tridimensional (banda fonică interzisă există pentru trei direcții de propagare).

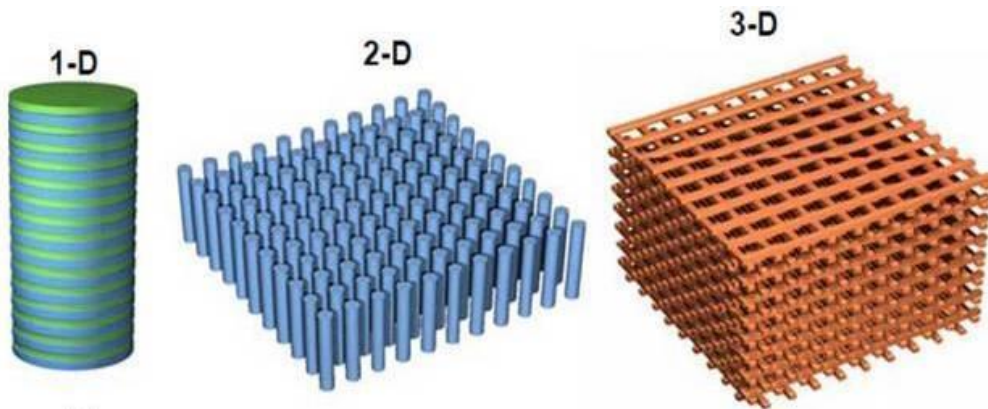


Fig. 8: Cristale fotonice unidimensionale, bidimensionale și tridimensionale

Ghiduri de undă în cazul materialelor fotonice unidimensionale.

Conceperea ghidurilor de undă folosind acest tip de material reprezintă unul dintre punctele cheie ale cercetătorilor, având un coeficient de transmisie de aproape 90%. Cristalele fotonice necesită un contrast al indicilor de refracție mai mare de 2:1.

În figura următoare se va ilustra un ghid de undă alcătuit din mai multe straturi de GaAs (Galiu Arseniu) și de AlAs oxidat (Aluminiu Arseniu). Grosimea stratului de AlAs este dublat față de grosimea stratului de GaAs. Îndepărtându-se un strat de AlAs oxidat, a rezultat propagarea undei de-a lungul unei zone cu aer înconjurată de materialul cu un indice de refracție mai ridicat. Coeficientul de transmisie pentru modul fundamental este de 98,8%, deci pierderile sunt foarte mici.

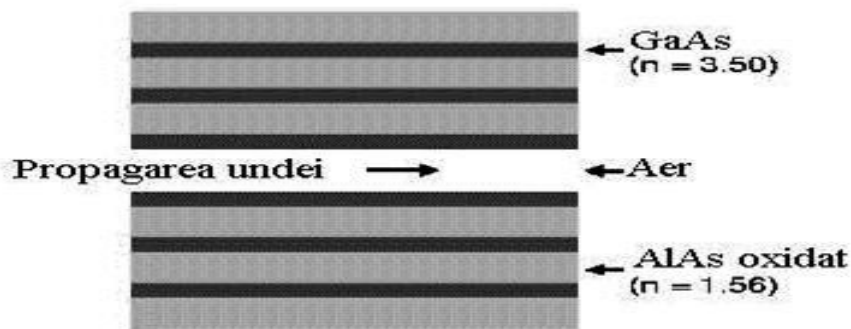


Fig. 9: Ghid de undă dintr-un cristal unidimensional

(<https://www.creeaza.com/referate/fizica/Proiectarea-cristalelor-fotoni726.php>)

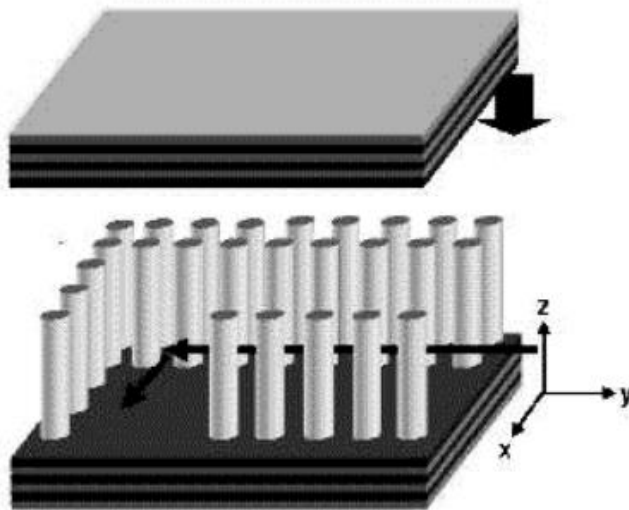


Fig. 10: Ghid de undă dintr-un cristal unidimensional cu un cristal bidimensional

(<https://www.creeaza.com/referate/fizica/Proiectarea-cristalelor-fotoni726.php>)

Cristale fotonice bidimensionale

Se va ilustra în figura 10 o structură hexagonală bidimensională, ale cărei puncte A și B sunt ocupate de cilindri cu raza ρ_1 și ρ_2 , iar α este raportul razelor, cu distanța între cele două puncte. Dacă $\alpha = 0$ avem o structură triunghiulară, dacă $\alpha = 1$ cilindrii au aceleași raze și obținem un aranjament bidimensional de hexagoane, numit structură de grafit. Dacă α variază între 0 și 1 avem o întreagă clasă de structuri de nitru de bor. Cristalele sunt caracterizate de doi parametri: factorul de umplere (f) și raportul razelor (α).

Pentru structurile de grafit formate din bare de GaAs în aer banda interzisă cea mai largă de aproximativ 10% s-a obținut pentru $\rho = 0,35a$, iar $f = 30\%$. Aceste structuri hexagonale 2D au benzi interzise largi și sunt importante de studiat datorită suprapunerii benzilor pentru diferite polarizări.

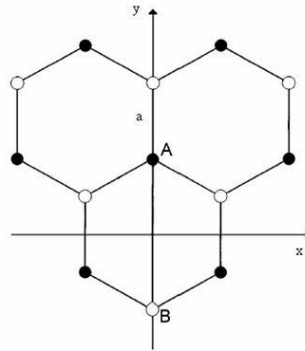


Fig. 11: Structura bidimensională hexagonală

(<https://www.creeaza.com/referate/fizica/Proiectarea-cristalelor-fotoni726.php>)

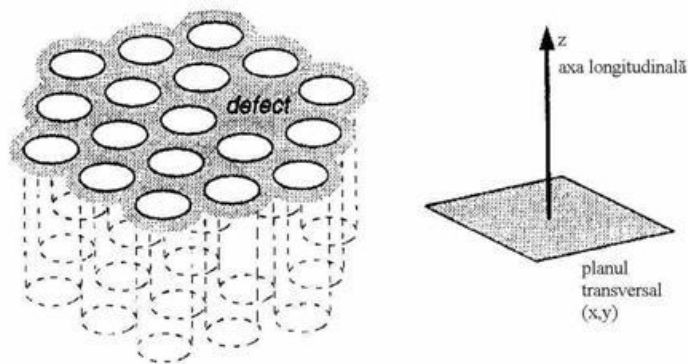


Fig. 12: Cristal fonic bidimensional

(<https://www.creeaza.com/referate/fizica/Proiectarea-cristalelor-fotoni726.php>)

Cristale fotonice tridimensionale

În cazul acestora, au fost construite diferite tipuri de structuri:

- Sferele cu zăbrele diamantate;
- Yablonovite;
- Structura stivei de lemn – “Tijele” sunt gravate în mod repetat cu litografie cu fascicul, umplute și acoperite cu un strat de material nou;
- Opalii inverși sau cristalele coloidale inverse (cum sunt polistirenul sau dioxidul de siliciu).

6. Aplicații ale cristalelor fotonice

O altă denumire a cristalelor fotonice unidimensionale sunt oglinzile Bragg, cunoscute încă din secolul al XIX-lea, iar astăzi s-a descoperit o aplicare largă a acestora în fabricarea stratului antireflex de pe lentilele de ochelari și lentilele fotografice. Alte aplicații ale oglinzilor dielectrice sunt: filtrele dicroice (care reflectă doar o anumită frecvență, dar sunt transparente pentru restul spectrului electromagnetic), diodele laser, senzori de contaminanți bacterieni (doar în cazul cristalelor fotonice dopate cu metale sensibile la bacterii).

Cristalele fotonice se mai folosesc și în preluarea amprentelor, iar cercetătorii precizează că ar determina o acuratețe mai mare a datelor obținute pentru că permite identificarea nu doar a amprentei propriu-zise ci și a formei degetelor.

Ele din punct de vedere al aplicativității s-au extins considerabil, fiind folosite ca ghiduri de undă, după cum am prezentat mai sus, fibră optică în telecomunicații sau chiar a fibrelor subțiri cu structuri periodice ca strat de protecție pe cardurile de credit sau debit.

Alte aplicații ale cristalelor ar fi: antenele RF, pigmentul ultra-alb, circuitele integrate fotonice, laserul nanoscopic, etc.

Ca o concluzie a întregului referat, aș putea spune că tot ceea ce ține de cristalele fotonice și fonică are o importanță majoră în zilele noastre datorită faptului că lumina stă la baza evoluției tehnologiei globale.

7. Bibliografie

<https://ro.wikipedia.org/wiki/MEMS>

<https://ro.wikipedia.org/wiki/Traductor>

<https://ro.wikipedia.org/wiki/Senzor>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Photonics>

https://koaha.org/wiki/Cristallo_fotonico

https://koaha.org/wiki/Metodo_degli_elementi_finiti

<https://www.creeaza.com/referate/fizica/Proiectarea-cristalelor-fotoni726.php>