

Proiectarea și realizarea unor structuri fotonice complexe cu proprietăți polarizante

Conducător Științific: Ș. L. Dr. Liliana PREDA

Absolvent: Bogdan-Ștefăniță CĂLIN

Universitatea Politehnica din București - Facultatea de Științe Aplicate - Călin Bogdan-Ștefăniță - licență,
Iulie 2014

Cuprinsul lucrării

- **2. Cristale fotonice**
- 2.1. Proprietățile structurilor periodice
- 2.2. Ecuațiile lui Maxwell. Ecuația master
- 2.3. Scurtă comparație între electrodinamică și mecanica cuantică
- 2.4. Fabricarea cristalelor fotonice prin autoclonare
- **3. Tehnici de simulare a propagării câmpului electromagnetic prin structuri de cristale fotonice**
- 3.1. Metoda diferențelor finite în timp (FDTD)
- 3.2. Metoda diferențelor finite în timp folosind OptiFDTD
- **4. Proiectarea unei structuri fotonice periodice în 2 dimensiuni, conform modelului cristalelor fotonice autoclonate**
- 4.1. Elemente constructive ale celulei elementare
- 4.2. Geometria tip „V”. Rezultate
- 4.3. Geometria tip „W”. Rezultate
- 4.4. Alte geometrii studiate
- **5. Senzor de imagistică de polarizare – noțiuni generale**

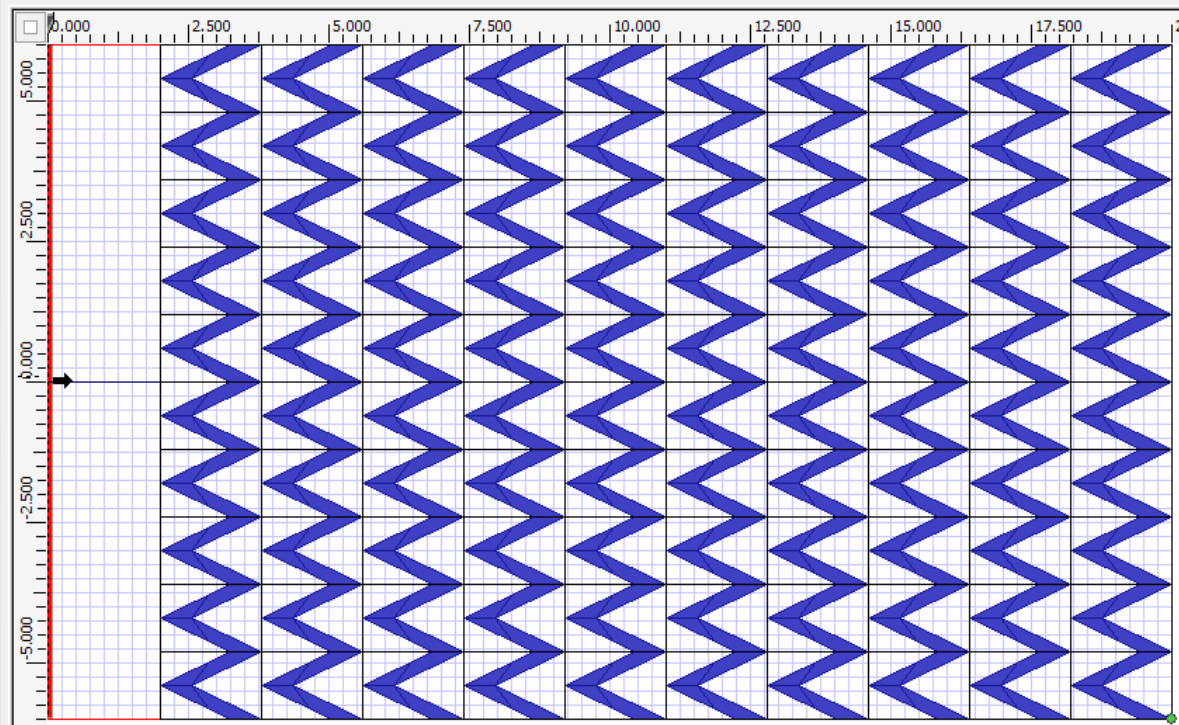
Obiectivul lucrării

- Proiectarea unui polarizor liniar cu cristale fotonice, realizabil prin depunere de straturi subțiri;
- $\lambda \in (0.8, 1.8) \mu\text{m}$;

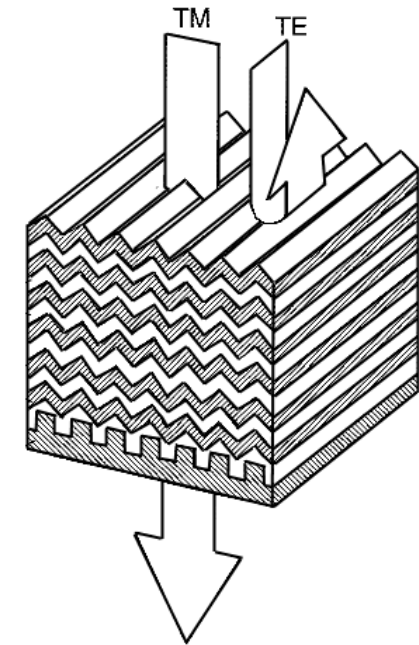
Cristale fotonice

- Cristal fonic = structură periodică artificială realizată din materiale dielectrice;
- “Atomi fotonici” atașați unei rețele;
- Se studiază propagarea câmpului electromagnetic prin aceste structuri;

Principiul general al lucrării



a) Secțiune transversală (OptiFDTD Designer)



b) Schiță tridimensională

Propagarea câmpului electromagnetic prin cristale fotonice

- Propagarea câmpului electromagnetic în cristale fotonice este descrisă de ecuațiile lui Maxwell:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (1) \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad (3) \quad \nabla \times \vec{H} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J} \quad (4)$$

- E – intensitate câmp electric;
- H – intensitate câmp magnetic;
- D – inducție câmp electric;
- B – inducție câmp magnetic
- ρ – densitatea de sarcină;
- J – densitatea de curent;
- t – timp;

Propagarea câmpului electromagnetic prin cristale fotonice

- Se consideră următoarele aproximații:
 - Regim liniar;
 - Materiale izotrope;
 - Mediu nedispersiv;
 - Mediu transparent;

$$\vec{D}(\vec{r}) = \varepsilon_0 \varepsilon(\vec{r}) \vec{E}(\vec{r})$$

$$\vec{B}(\vec{r}) = \mu_0 \mu(\vec{r}) \vec{H}(\vec{r})$$

- ε_0 – permitivitatea dielectrică a vidului;
- $\varepsilon(\vec{r})$ – permitivitatea dielectrică relativă;
- μ_0 – permeabilitatea magnetică a vidului;
- $\mu(\vec{r})$ – permeabilitatea magnetică relativă;

Ecuția “master”

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\vec{\epsilon}(\vec{r})} \nabla \times \vec{H}(\vec{r}) \right) = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \vec{H}(\vec{r})$$

unde $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$

[1] John D. Joannopoulos *et al*, „*Photonic Crystals – Molding the flow of light*”, a doua ediție, Princeton University Press, (2008);

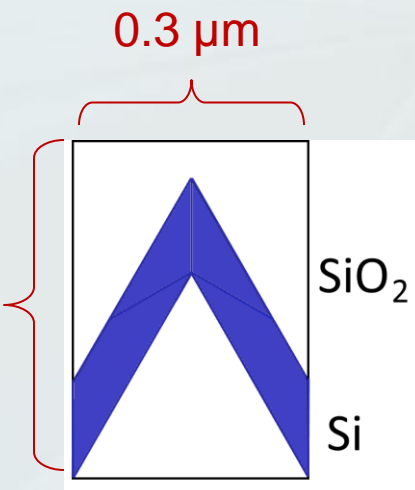
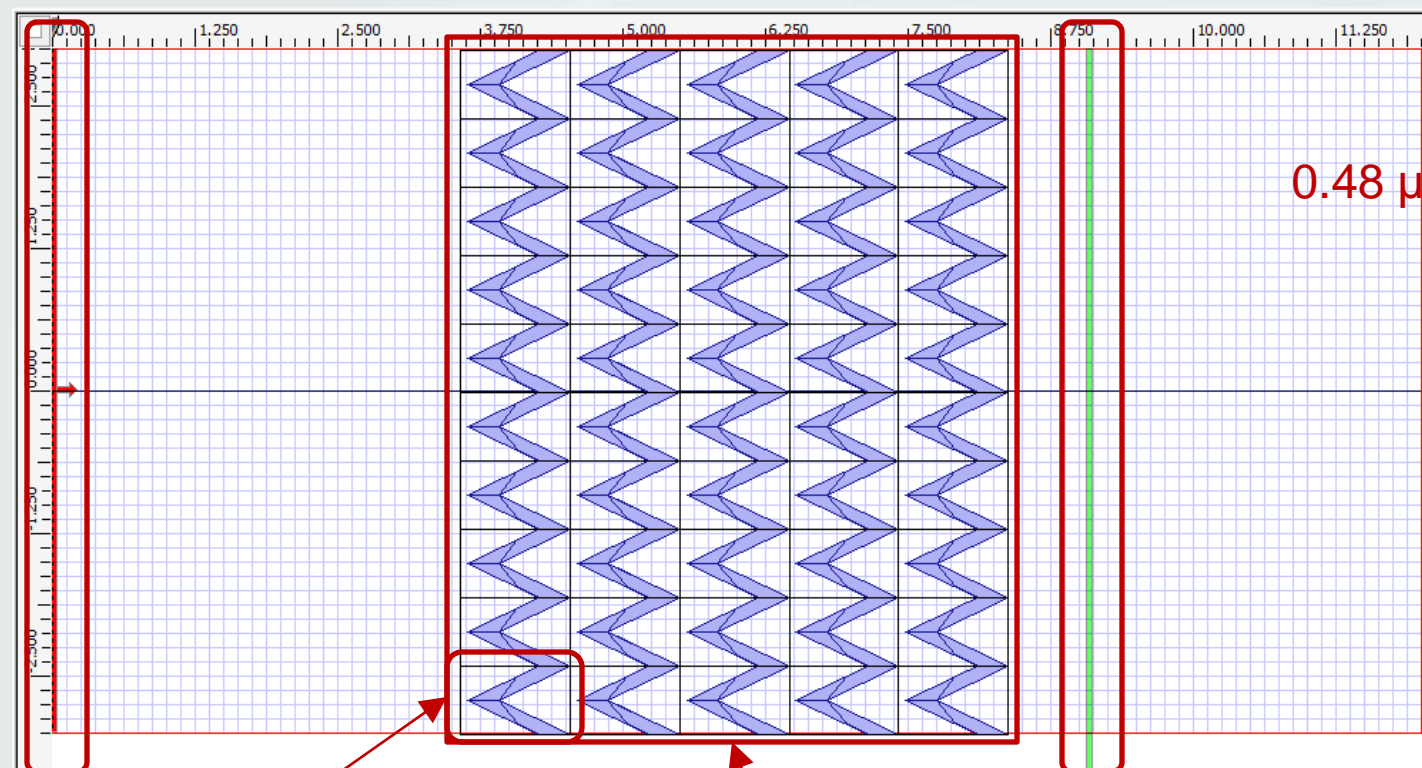
- Se folosește $\nabla \cdot \vec{H}(\vec{r}) = 0$ pentru a determina condițiile inițiale;
- Pentru o structură $\vec{\epsilon}(\vec{r})$ dată, se rezolvă ecuația “master” pentru a se determina modurile $H(\vec{r})$ și frecvențele corespunzătoare;

Proiectarea cristalelor fotonice

- OptiFDTD – mediu CAD dezvoltat pentru proiectarea și simularea componentelor fotonice pasive și neliniare;
 - folosește metoda diferențelor finite în domeniu timp (FDTD) drept metodă numerică de rezolvare a ecuației “master”;
 - soft folosit pentru proiectarea CAD, calculul structurilor de benzi și a transmisiilor;
- Aplicație LabVIEW (third-party) pentru calcul de parametri geometrici;

Tipuri de geometrii studiate

Geometrie tip "V"

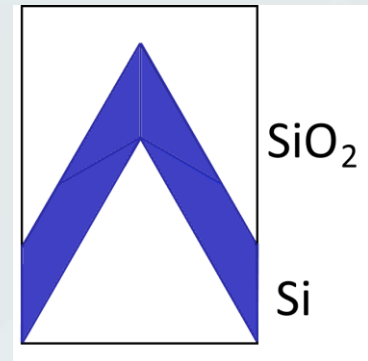
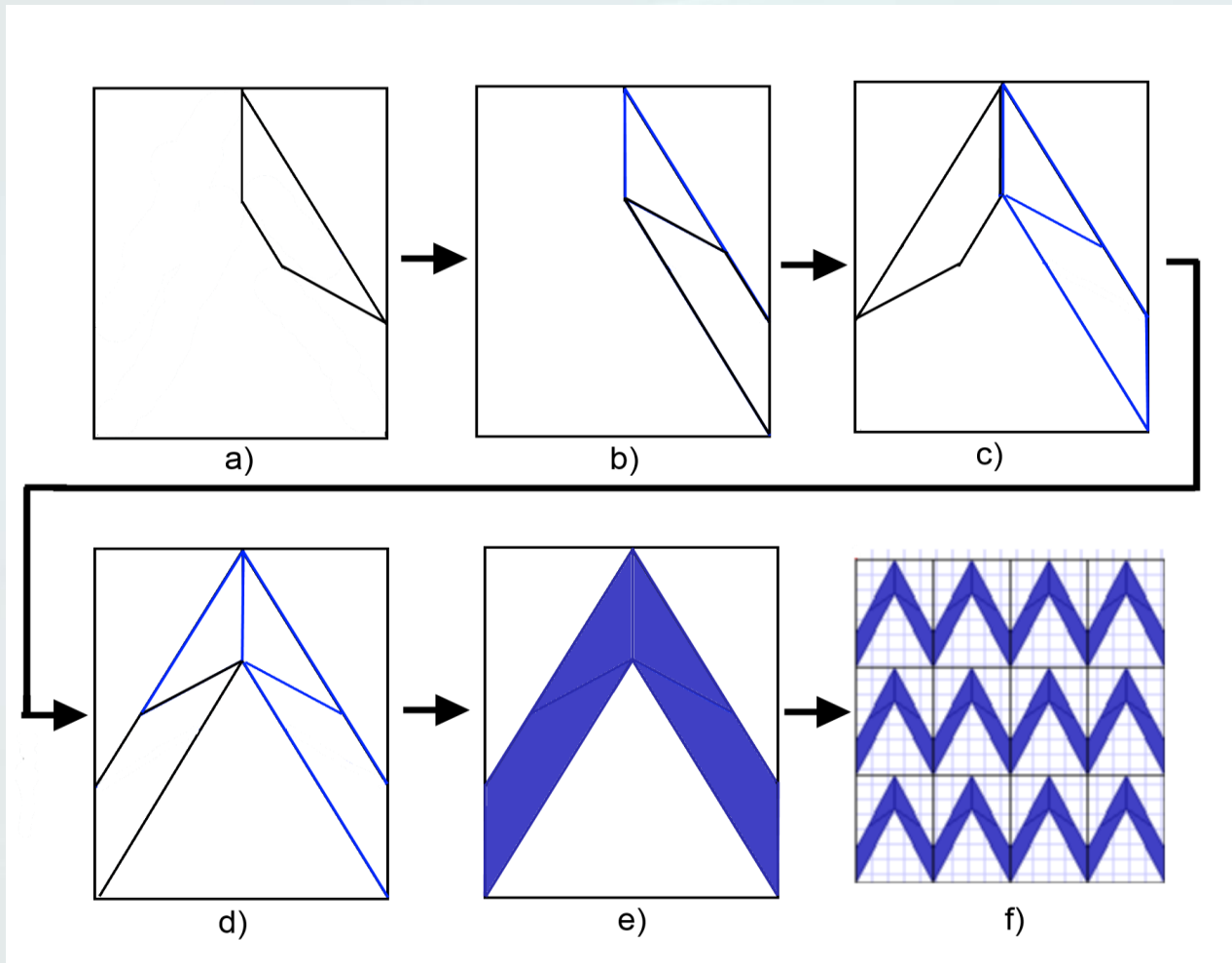


celula elementară

- înălțime vârf = 0.45 μm;
- grosime strat Si = 0.135 μm;
- grosime strat SiO₂ = 0.345 μm;

Sursă celula elementară cristalul fonic studiat "Observation Line"

Etapele constructive



celula
elementară

Interfața cu utilizatorul a aplicației dezvoltate pentru calculul parametrilor geometrici

Parametri introduși de utilizator

Lungimile celor două baze

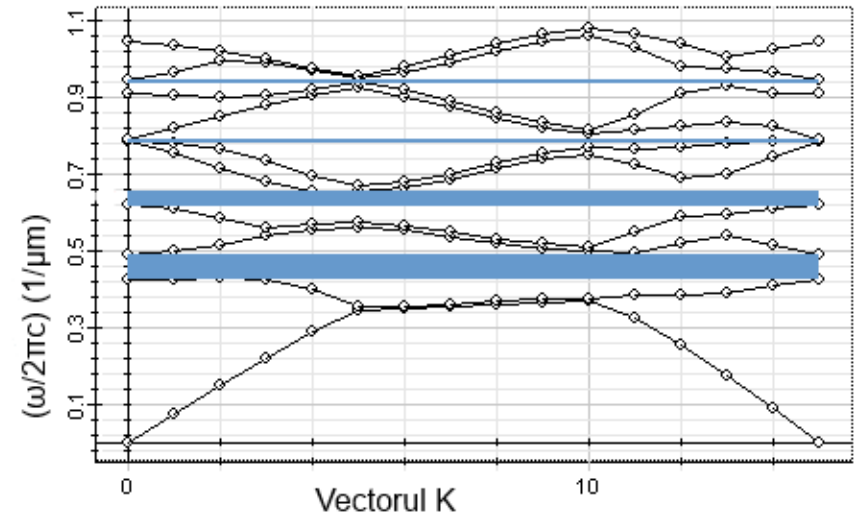
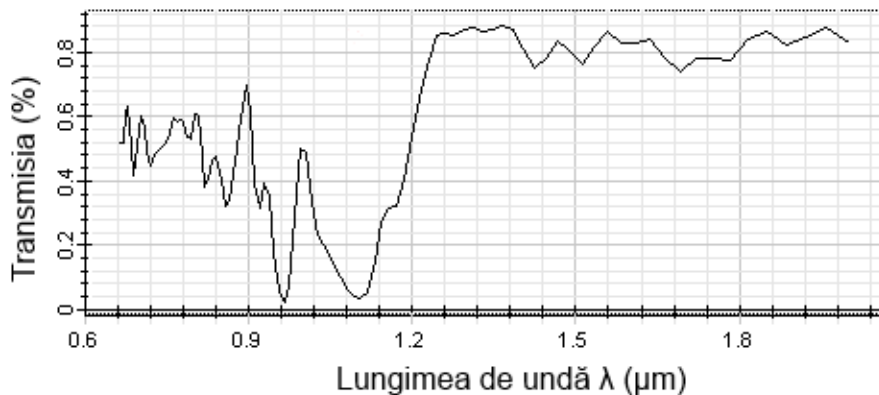
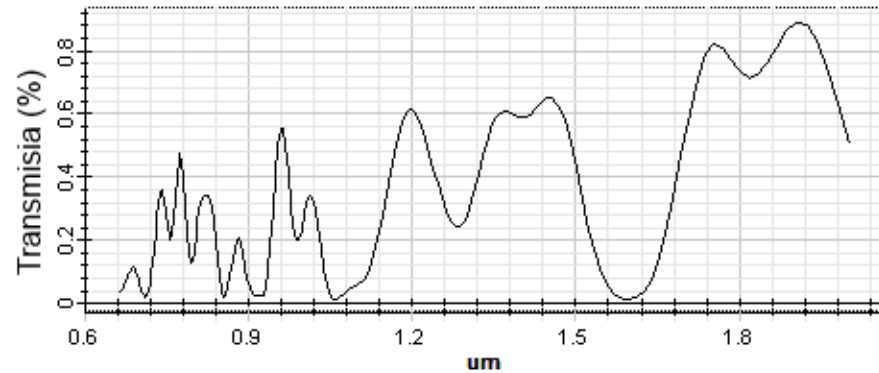
Parametri de intrare			Baze	
lungime l	Inaltime h	coeficient grosime c	dB	db
1.2	1.8	0.3	1.3956	0.42048

Alpha		Beta		Control
Start x T1	Start y T1	End x T1	End y T1	Run
0.9	1.17	0.69039	1.0702	<input type="button" value="Run"/>
Start x T2	Start y T2	End x T2	End y T2	Stop
0.9	0.63	1.1096	0.72982	<input type="button" value="Stop"/>
Start x T3	Start y T3	End x T3	End y T3	Quit
0.3	1.17	0.50961	1.0702	<input type="button" value="Quit"/>
Start x T4	Start y T4	End x T4	End y T4	Run - ruleaza aplicatia
0.3	0.63	0.09038	0.72982	Stop - opreste rularea curenta si dezactiveaza aplicatia
				Quit - inchide softul

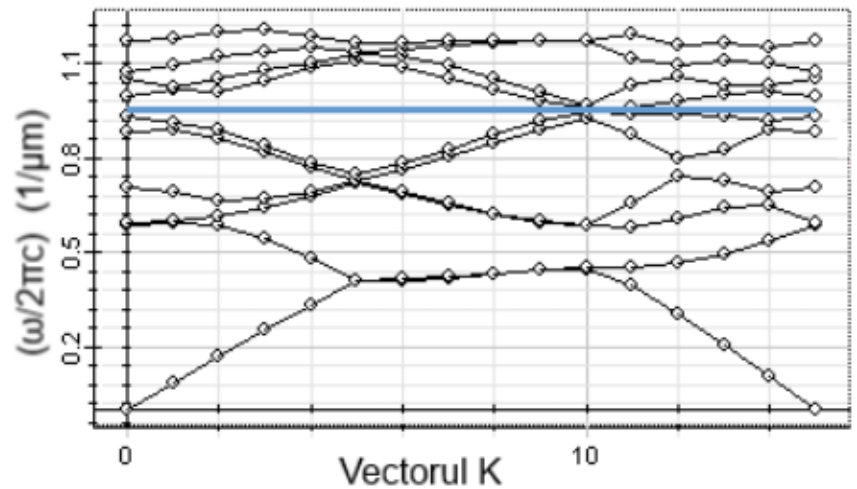
Coordonatele mijloacelor bazelor celor 4 trapeze folosite

Butoane pentru controlul aplicației

Rezultatele cristalului cu geometrie tip "V"

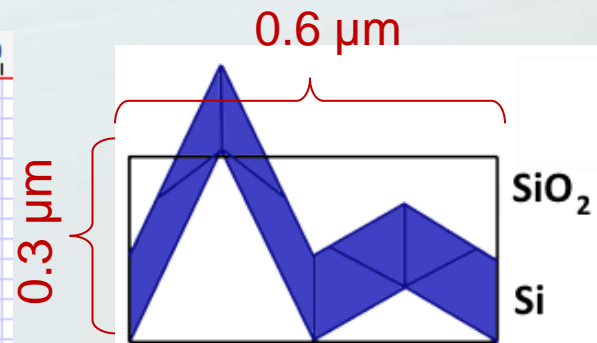
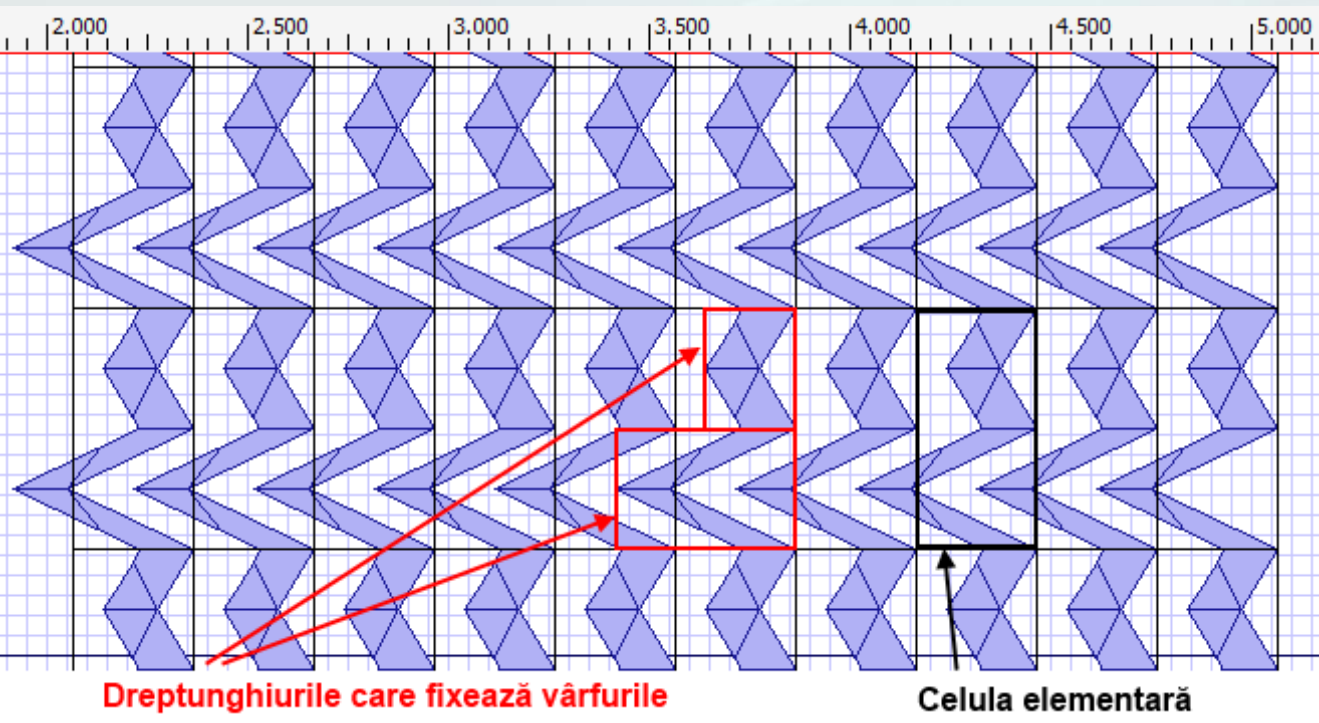


TE



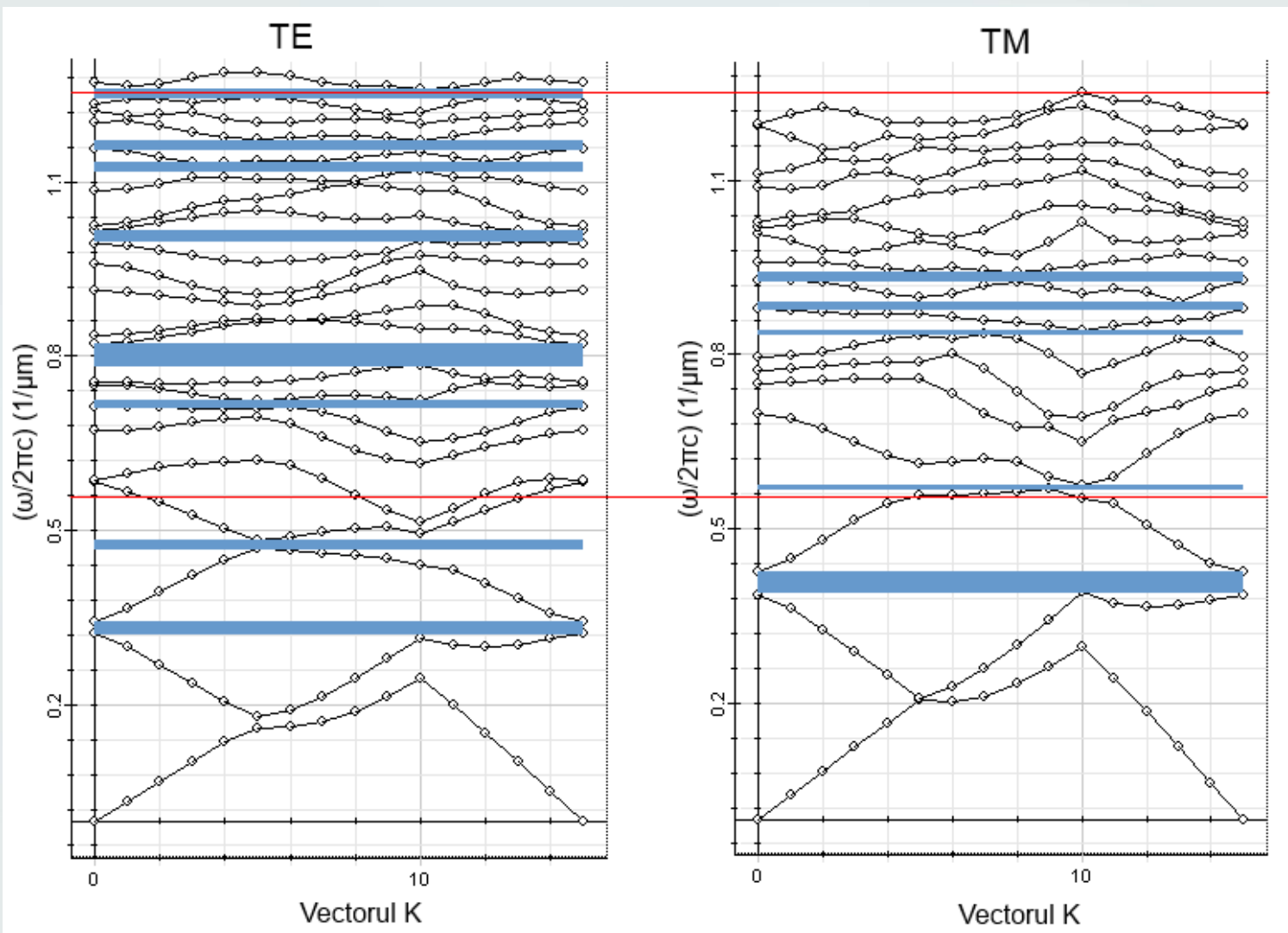
TM

Geometrie tip "W"

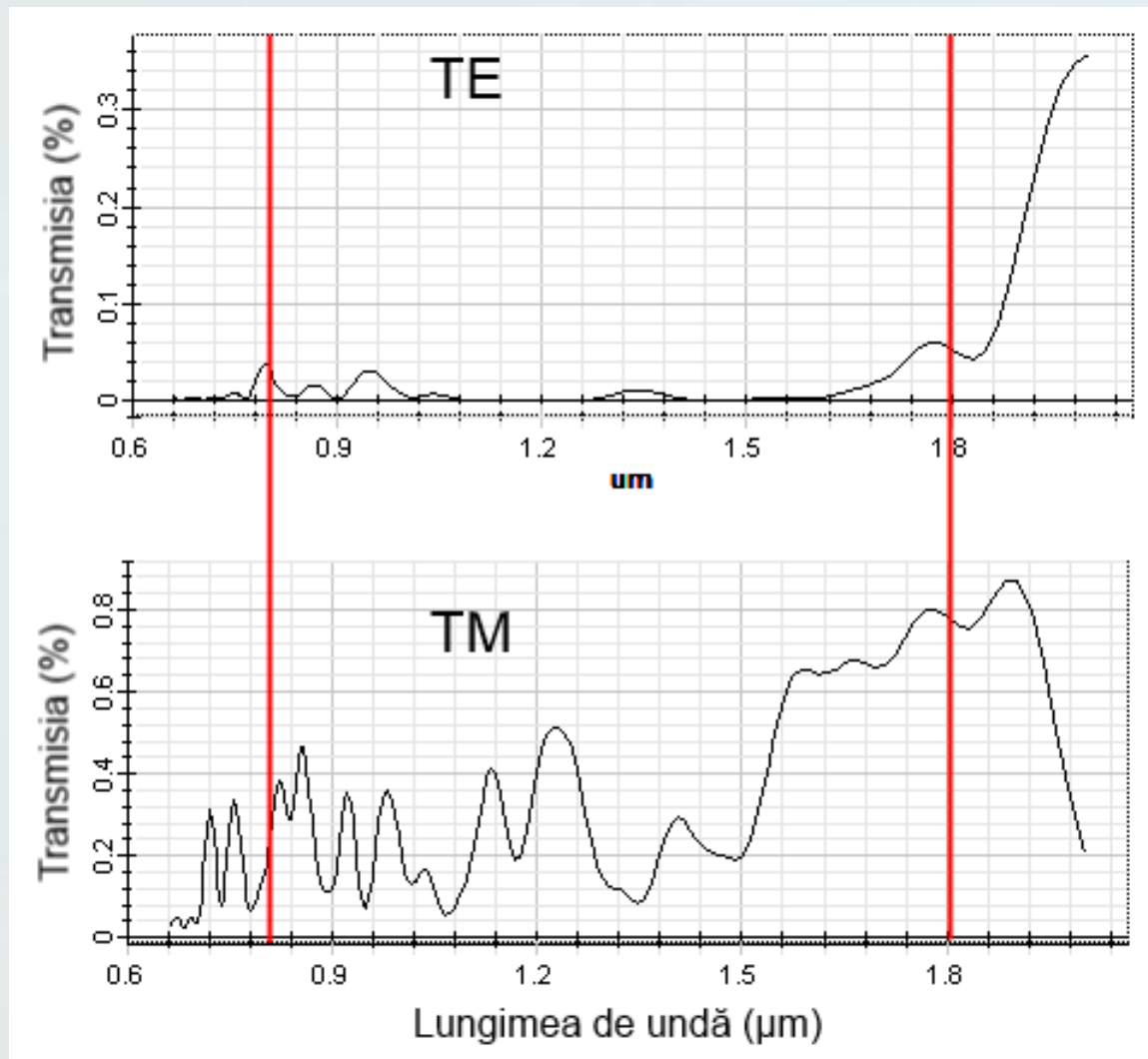


- înălțime vârf 1 = $0.45 \mu\text{m}$;
- înălțime vârf 2 = $0.225 \mu\text{m}$;
- grosime strat Si = $0.135 \mu\text{m}$;
- grosime strat SiO_2 = $0.165 \mu\text{m}$;

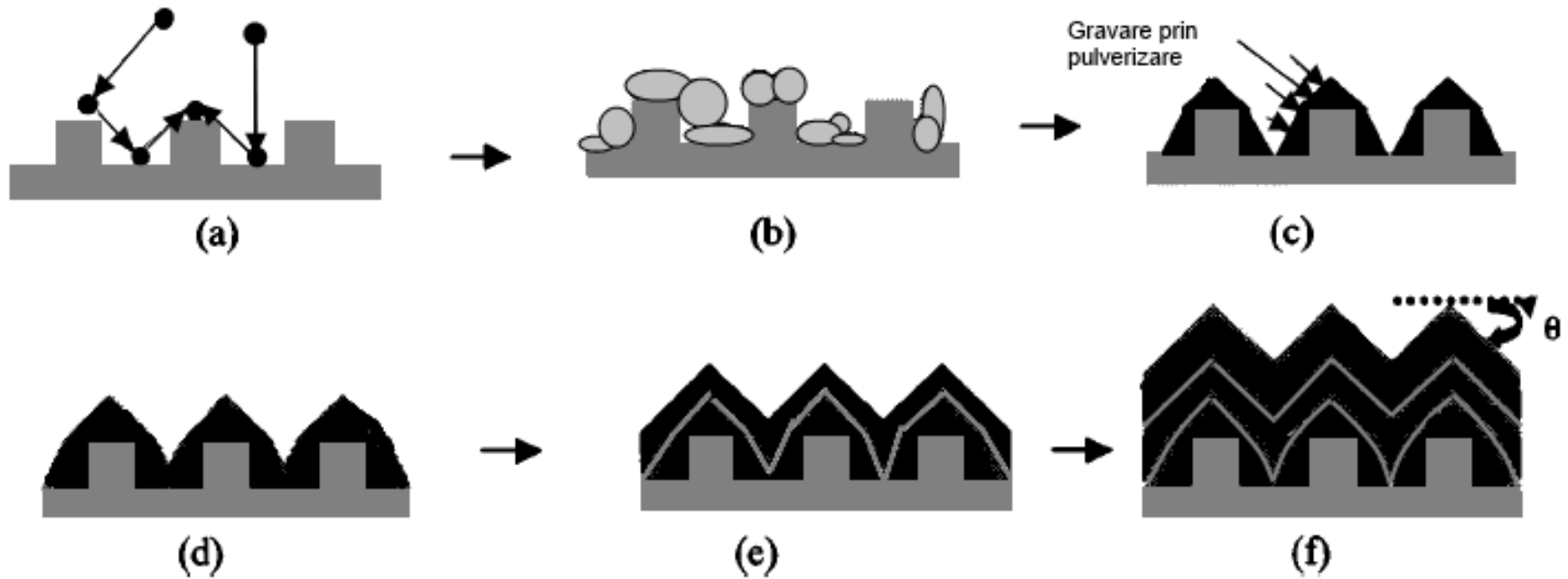
Rezultatele cristalului cu geometrie tip "W" – structuri de benzi



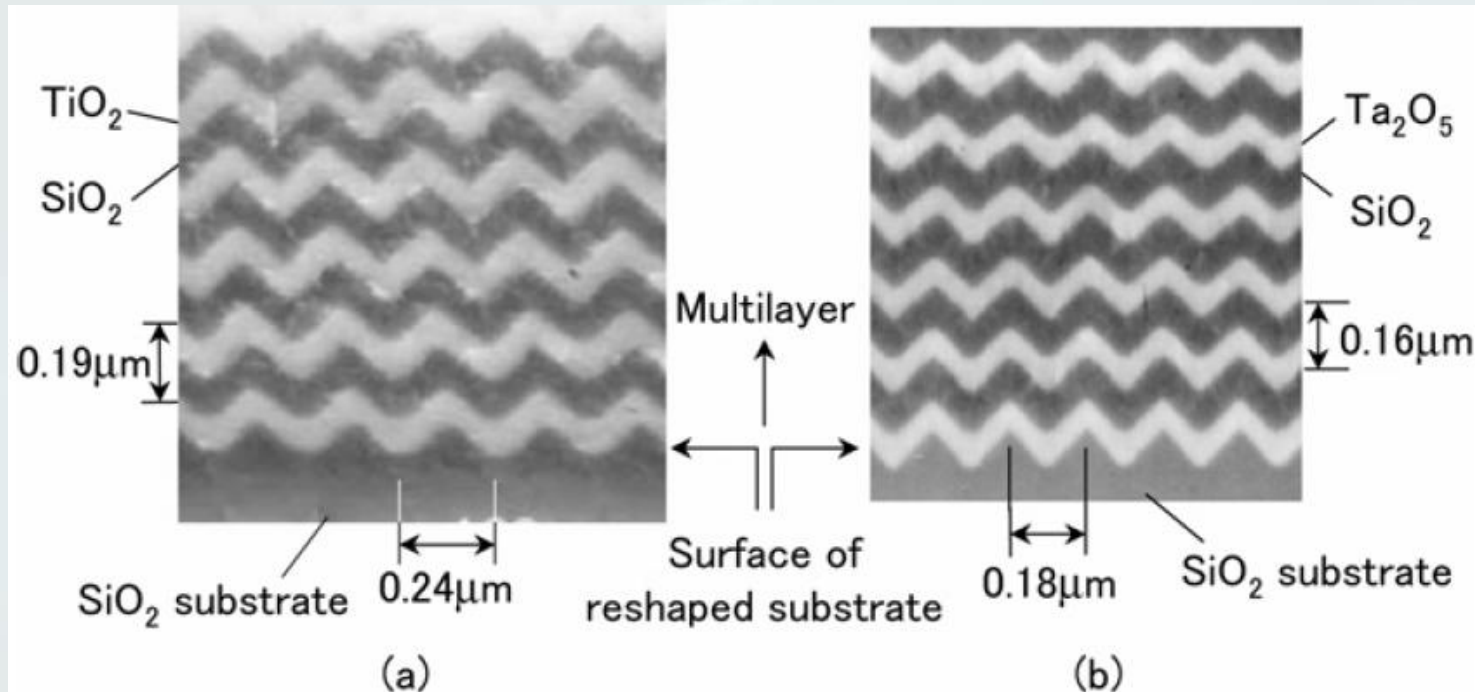
Rezultatele cristalului cu geometrie tip “W” – transmisii



Metoda de depunere de straturi subțiri prin autoclonare

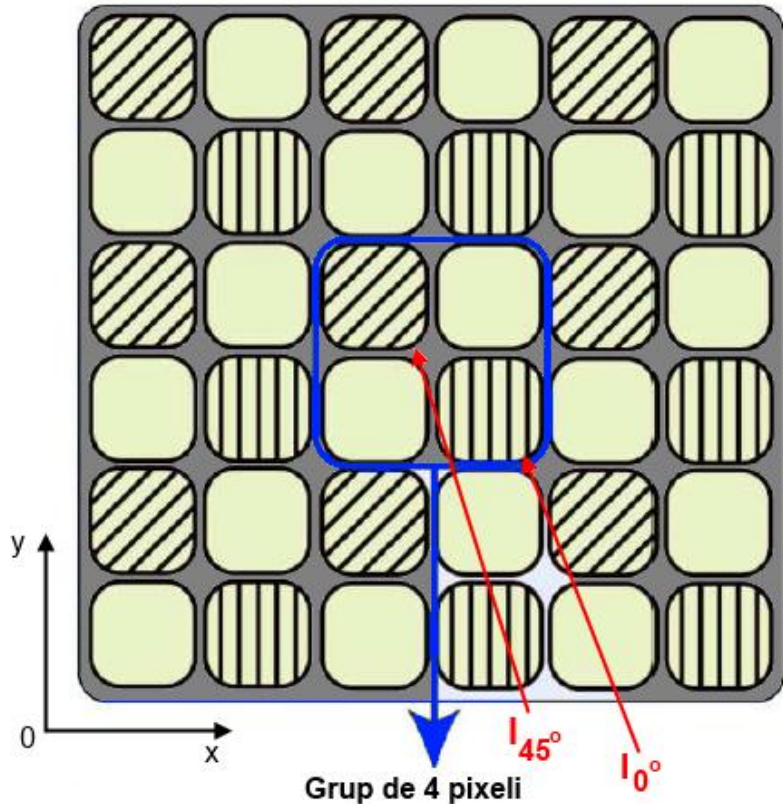


Metoda de depunere de straturi subțiri prin autoclonare



[2] Takafumi Sato *et al*, „*Photonic crystals for the visible range fabricated by autocloning technique and their application*”, Optical and Quantum Electronics, vol. 34, nr. 1-3, pg. 63-70, (2002);

Aplicație propusă: senzor de imagistică de polarizare



- Se urmărește determinarea parametrilor Stokes pentru a se obține informația de polarizare a luminii

100% Q	100% U	100% V
$+Q$ <p>$Q > 0; U = 0; V = 0$ (a)</p>	$+U$ <p>$Q = 0; U > 0; V = 0$ (c)</p>	$+V$ <p>$Q = 0; U = 0; V > 0$ (e)</p>
$-Q$ <p>$Q < 0; U = 0; V = 0$ (b)</p>	$-U$ <p>$Q = 0; U < 0; V = 0$ (d)</p>	$-V$ <p>$Q = 0; U = 0; V < 0$ (f)</p>

[3] Viktor Gruev *et al*, „Dual-tier thin polymer polarization imaging sensor”, *Optics Express*, vol. 18, nr. 18, pg. 19292-19303, (2010);

[4] Dan Moulton, „Stokes parameters in some degenerate cases”, *Wikimedia Commons*, 2008;

Concluzii

- Cristalul fonic proiectat cu vârfuri de înălțimi diferite (tip “W”) polarizează liniar lumina pe întreg intervalul de lungimi de undă $\lambda \in (0.8, 1.8) \mu\text{m}$;
- este posibil ca rezultatele să fie îmbunătățite prin adăugarea unui strat antireflex pe suprafața polarizorului;

[5] Kwang-Yao Chai *et al*, „2-dimensional Photonic-crystal Polarization Filter with Dual-band and Wide Working Wavelength Range”, SPIE Proceedings – Advanced Fabrication Technologies for Micro/Nano Optics and Photonics II, vol. 7205, (2009)

Vă mulțumesc pentru atenție!