

# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Scurt istoric

În sens larg, *optica* este o ramură a fizicii care include toate fenomenele asociate cu generarea *luminii*, transmisia și detecția acesteia, dar și interacțiunea cu materia, lumina constituind baza opticii. Primele noțiuni de optică au fost introduse de Euclid în anul 280 î. +Cr., iar mai târziu de I. Newton care în lucrarea sa, *Opticks* (1704) a elaborat primele teorii asupra luminii. Aceste cercetări au fost continuate de-a lungul anilor și de alți fizicieni bine cunoscuți: G. Galilei, T. Young, A. J. Fresnel, J. Fraunhofer etc.

În anul 1958, A. L. Schawlow, C. H. Townes și N. G. Basov, A. M. Prohorov au descoperit maserul și respectiv laserul optic bazat pe folosirea inversiei de populație, iar în 1960. T. H. Maiman a construit primul laser cu rubin. Primul laser cu gaz în care inversia de populație s-a obținut printr-o descărcare electrică în neon și heliu a fost realizat în anul 1961 (Javan, Bennett, Herriott).

Curând după descoperirea efectului laser s-a manifestat un interes tot mai mare, atât din punct de vedere teoretic cât și experimental, în legătură cu fenomenele optice din *ghidurile de undă dielectrice*, punându-se astfel bazele unui nou domeniu cunoscut sub numele de *optică integrată*. Acest concept a fost introdus în anul 1969 de către S. E. Miller [1.1] care a definit noțiunile de bază și scopul pe care trebuie să-l îndeplinească noile circuite laser.

*Optica integrată*, numită în literatura de specialitate și *fotonică integrată* este o ramură a opticii în care sunt combinate tehnologia ghidurilor optice de undă (optica ghidată) cu alte domenii, cum ar fi de exemplu: optoelectronica, acustooptica, electrooptica și optica neliniară. În acest caz, locul electronilor este luat de *fotoni* care joacă rolul esențial în *circuitele optice integrate*. La baza dispozitivelor optice integrate stau *ghidurile optice de undă* care ghidează semnalele optice, dar pot îndeplini și alte funcții. Termenul de fotonică integrată se referă și la fabricarea și integrarea mai multor *componente fotonice pasive și active* (de exemplu: cupluri integrați, interferometre integrate, comutatori, filtre, modulatori, rețele de difracție, polarizoare integrate, multiplexori, demultiplexori etc. dar și lasere și amplificatoare laser integrate) pe același substrat planar la fel ca în microelectronică.

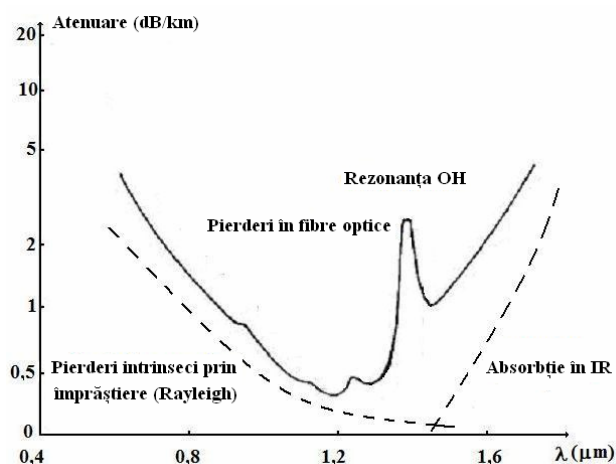
Primele cercetări legate de *transmisia imaginilor prin fibre optice* au început în anul 1954 când A. C. S. van Heel și apoi H. H. Hopkins și N. S. Kapany (1955) au introdus din punct de vedere conceptual noțiunile legate de ghidarea luminii în urma reflexiei la interfața cu un material (*cladding layer*) care are indicele de refracție mai mic, în vederea reducerii perturbațiilor și a micșorării pierderilor [1.2]-[1.4].

În cazul ghidării luminii în structuri planare primele cercetări au fost efectuate în joncțiuni semiconductoare de tip *p-n* de către A. Yariv și colaboratorii în anul 1963 când a fost observată și analizată radiația laser emisă de aceste dispozitive [1.5]. De asemenea, în aceeași perioadă a fost pus în evidență și fenomenul de modulare a luminii ghidate în joncțiuni de tip GaP [1.6].

În ultimii treizeci de ani o parte din rezultatele cercetărilor din optică și electronică au fost aplicate în domeniul *telecomunicațiilor optice*, acest fapt

impulsionând atât investigațiile teoretice cât și cele experimentale asupra fibrelor și a ghidurilor optice de undă.

O largă dezvoltare au căpătat-o *transmisiile optice ghidate* odată cu perfecționarea tehnologiilor fibrelor optice cu pierderi mici ( $\sim 0,2$  dB/km) obținute din siliciu [1.4] și respectiv a ghidurilor optice (fig. 1. 1).



**Fig. 1. 1.** Dependența atenuării de lungimea de undă în cazul unei fibre optice fabricate cu  $\text{SiO}_2$  și evidențierea proceselor mai importante care contribuie la atenuare.

Conceptul de *comunicații optice* prin ghiduri de undă a fost introdus de K. C. Kao și G. A. Hockham [1.7] care au studiat transmisiile de date printr-un ghid dielectric cu simetrie sferică (fibră optică). Motivația inițială pentru utilizarea fibrelor optice în telecomunicații este legată de pierderile mici din fibrele optice fabricate din siliciu și mai puțin de lărgimea de bandă mare care le caracterizează în comparație cu cablurile din cupru. În anul 2009 C. Kao a primit premiul Nobel pentru contribuțiile deosebite aduse la revoluționarea telecomunicațiilor optice cu ajutorul fibrelor optice.

## 1.2. Importanța cercetărilor în domeniul opticii integrate

Odată cu demonstrarea funcționării laserelor cu ioni de  $\text{Nd}^{3+}$  și respectiv  $\text{Er}^{3+}$ , iar mai târziu și în regim de cuplare a modurilor (*mode-locking*) și respectiv declanșat (*Q-switched*) în ghiduri optice având ca substrat  $\text{LiNbO}_3$  (la începutul anilor 1990 [1.8], [1.9], [1.10]) s-a creat posibilitatea integrării monolitice a dispozitivelor laser împreună cu alte componente optice cum ar fi de exemplu modulate electrooptice, convertoare de frecvență ș. a. Aceste componente pot fi utilizate și pentru fabricarea unor dispozitive planare complexe care pot îndeplini mai multe funcții și au aplicații în sistemul telecomunicațiilor optice, procesarea optică a semnalelor, senzori cu fibre și ghiduri optice de undă etc.

În ultimii ani, sistemul de comunicații prin fibre optice joacă un rol tot mai important în telecomunicații. În sistemele optice de telecomunicații, fibrele optice se utilizează ca mediu de transmisie, înlocuind cablurile convenționale, din cupru, față de care prezintă o serie de caracteristici net superioare: imunitatea la interferențele electromagnetice, izolarea electrică a transmițătorului față de receptor, absența problemelor legate de scurtcircuitare și străpungere, pierderi reduse, lărgimea de bandă extrem de ridicată, reducerea volumului, a greutateii și a prețului de cost.

Cercetările privind dispozitivele optoelectronice integrate în domeniul infraroșu al spectrului (1-2  $\mu\text{m}$ ) prezintă mare importanță, mai ales datorită aplicațiilor acestora în telecomunicații, în procesarea semnalelor optice, în fabricarea senzorilor optici ș. a. [1.11]-[1.22].

Comunicațiile prin fibre optice prezintă o serie de avantaje în comparație cu cele prin cablu coaxial clasic, acestea fiind prezentate în continuare. O bună parte dintre aceste avantaje se întâlnesc și în cazul senzorilor cu fibre și ghiduri optice de undă, procesării optice a semnalelor și altor dispozitive.

**Lărgimea benzii.** În general, lărgimea benzii unui sistem de comunicații poate fi mărită prin lărgirea benzii de transmisie și prin mărirea frecvenței purtătoare. Viteza de transmisie a datelor prin fibrele optice este mai mare decât prin cablul coaxial pentru că viteza semnalelor luminoase este mai mare decât a celor electronice. De asemenea, dispersia semnalelor luminoase în sticlă este mai mică decât cea corespunzătoare semnalelor electronice în cablu.

**Pierderi scăzute ale puterii optice.** În cazul sistemului de comunicații prin cablul coaxial atenuarea semnalului crește odată cu mărirea distanței pe care se efectuează transmisia, fiind necesară utilizarea unor dispozitive de amplificare a semnalului în cazul unor transmisii la distanță mare.

Din cauza pierderilor mici, în cazul comunicațiilor prin fibre optice este posibilă realizarea unor transmisii la distanță mare fără să fie necesară utilizarea amplificatoarelor. De exemplu, în cazul utilizării unor surse (diode laser) care emit în domeniul infraroșu apropiat al spectrului optic ( $\approx 1300\text{ nm}$ ) și al unor fibre multimodale cu pierderi mici ( $\approx 0,7\text{ dB/km}$ ) utilizarea amplificatoarelor se impune numai pentru distanțe mai mari de 30 km.

**Absența interferențelor.** Întrucât în cazul sistemelor de comunicație digitală este necesară utilizarea unor semnale cu calități deosebite, acestea pot fi afectate de interferențele electromagnetice sau de cele determinate de *zgomotul* produs de motoare.

**Securitate.** În comparație cu cablul de cupru, fibrele optice sau din plastic, întrucât sunt izolatoare și nu radiază energie la frecvențe înalte, asigură o securitate totală comunicațiilor militare, comerciale și guvernamentale.

**Greutate redusă.** Greutatea redusă a fibrelor optice joacă un rol deosebit de important în cazul utilizării lor, mai ales la construirea avioanelor și a altor vehicule.

**Siguranța.** Întrucât fibrele optice nu conduc electricitate, nu produc scântei și nu ard ușor, acestea sunt foarte des utilizate în uzinele chimice sau în medii care conțin vaporii unor substanțe ușor inflamabile.

Dezvoltarea puternică a tehnologiei de producere a fibrelor optice caracterizate prin pierderi scăzute a creat posibilitatea amplificării semnalelor transmise prin acestea datorită câștigului rezultat ca urmare a dopării lor cu atomi din grupa pământurilor rare (Nd și Er) obținându-se astfel suportul material pentru transmisii și legături la distanțe mari [1.11] și pentru transmiterea *impulsurilor de tip soliton* [1.19], [1.19].

În anul 1996 a fost realizată prima *rețea telefonică transatlantică* cu lungimea totală de 12 239 km care conține 140 de repetori optici care leagă două orașe din Statele Unite ale Americii și alte două din Europa în care amplificarea semnalului având lungimea de undă  $\lambda=1,55 \mu\text{m}$  se face cu ajutorul unor amplificatoare fabricate din fibre optice dopate cu Er [1.11], [1.19].

Prin doparea ghidurilor optice cu ionii pământurilor rare s-au fabricat dispozitive active și de asemenea componente cu pierderi zero, care până acum erau în mod tradițional clasificate ca pasive (în care pierderile de inserție și la propagare sunt compensate de câștigul rezultat într-o zonă activă unde semnalul este amplificat).

În ultimii ani, în telecomunicații sunt utilizate tot mai mult fibrele și ghidurile optice de undă cu cristale fotonice, fibrele și ghidurile optice de undă cu rețele Bragg. Cu ajutorul acestor dispozitive s-au putut transmite 40 Gbit/s îmbunătățindu-se și caracteristicile transmisiei [1.22].