

# Optoelectronică

Curs 9

2025/2026

# Disciplina 2025/2026

- ▶ 2C/1L Optoelectronică **OPTO**
- ▶ **Minim 7 prezente curs + laborator**
- ▶ Curs – conf. **Radu Damian**
  - an IV  $\mu$ E
  - Marti 14:00–16:00, P7  $\rightarrow$  **P6**
  - E – 70% din nota (50%+20%)
    - **20% test (VP) la curs**, saptamana **5–7?**
  - probleme + (2p prez. curs)
  - toate materialele permise
- ▶ Laborator – sl. **Catalin Iov**
  - an IV  $\mu$ E
    - Marti 16–18, I.08
    - Max. 7 prezente
  - L – 30% din nota (+Caiet de laborator +Probleme)

# Cuprins

- ▶ **Lumina ca undă electromagnetică\*** (ecuațiile lui Maxwell, ecuația undelor, parametri de propagare)
- ▶ **Elemente de fotometrie și radiometrie\*** (mărimi energetice/luminoase)
- ▶ **Fibra optică** (realizare, principiu de funcționare, atenuare, dispersie, banda de frecvență)
- ▶ **Cabluri optice** (tehnologie, conectori, lipire – splice)
- ▶ **Proiectare sistemică a legăturii pe fibra optică** (bandă de frecvență, balanța puterilor)
- ▶ **Emitătoare optice** (LED și dioda laser – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Receptoare optice** (dioda PIN, dioda cu avalanșă – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Amplificatoare transimpedanță** (parametri, scheme tipice, TIA în buclă deschisă, cu reacție, diferențiale, control automat al câștigului)
- ▶ **Realizarea circuitelor pentru controlul emițătoarelor optice** (parametri, scheme tipice, controlul puterii, multiplexoare)
- ▶ **Dispozitive de captare a energiei solare** (principiu de funcționare, utilizare, proiectare)

\* – VP

# Acces

- ▶ Personalizat (parola), Generic (email)



## Date:

Grupa	5304 (2015/2016)
Specializarea	Tehnologii si sisteme de telecomunicatii
Marca	5184

[Acceseaza ca acest student](#)

## Note obtinute

Disciplina	Tip	Data	Descriere	Nota	Puncte	Obs.
TW			Tehnologii Web			
N		17/01/2014	Nota finala	10	-	
A		17/01/2014	Colocviu Tehnologii Web 2013/2014	10	7.55	
B		17/01/2014	Laborator Tehnologii Web 2013/2014	9	-	
D		17/01/2014	Tema Tehnologii Web 2013/2014	9	-	

## Login

Use the Registration no. and your

Registration no.

Email/Password

Write the code below



Send

# Fibra optică

## Capitolul 4

# Aplicatii majore

## ▶ Comunicatii

- Infrarosu (InGaAsP)

## ▶ Vizibil

- Spectru vizibil (GaAlAs)

## ▶ Iluminare

- Putere ridicata, lumina alba (GaInN)

## ▶ Energie solara

- Efect fotovoltaic (Si)

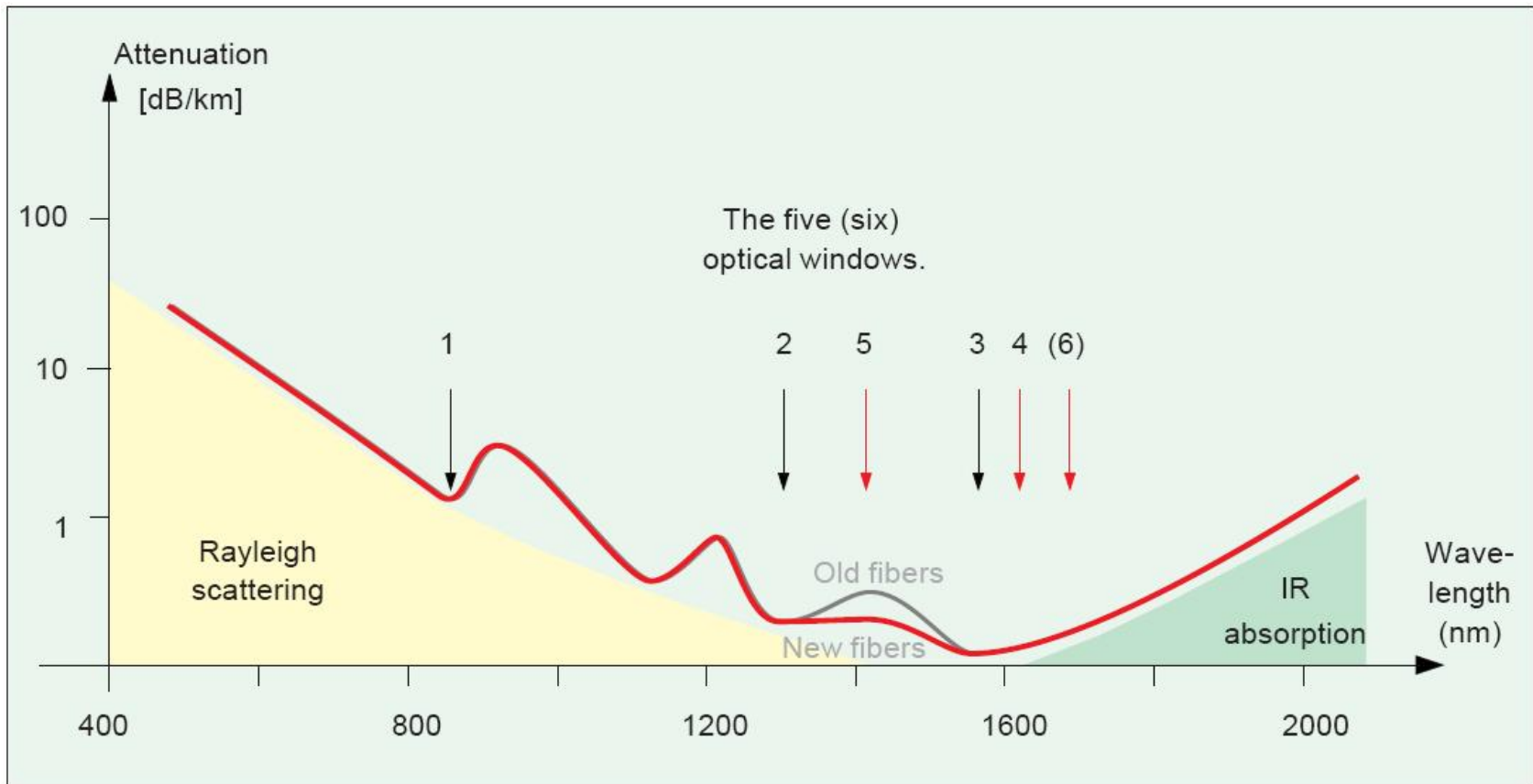
# Fenomene de interes

- ▶ Cat de departe pot transmite semnalul luminos pe fibra
  - **atenuare**
- ▶ Cat de rapid pot transmite informația
  - dispersie

# Atenuare

- ▶ Macrocurburi
  - utilizator, **localizat**, dB
- ▶ Discontinuitate in fibra
  - utilizator, **localizat**, dB
- ▶ Microcurburi
  - **distribuit**, tehnologie, dB/km
- ▶ Imprastiere
  - **distribuit**, tehnologie, dB/km
- ▶ Absorbție
  - **distribuit**, material, dB/km

# Absorbtie



**distribuit, material, dB/km**

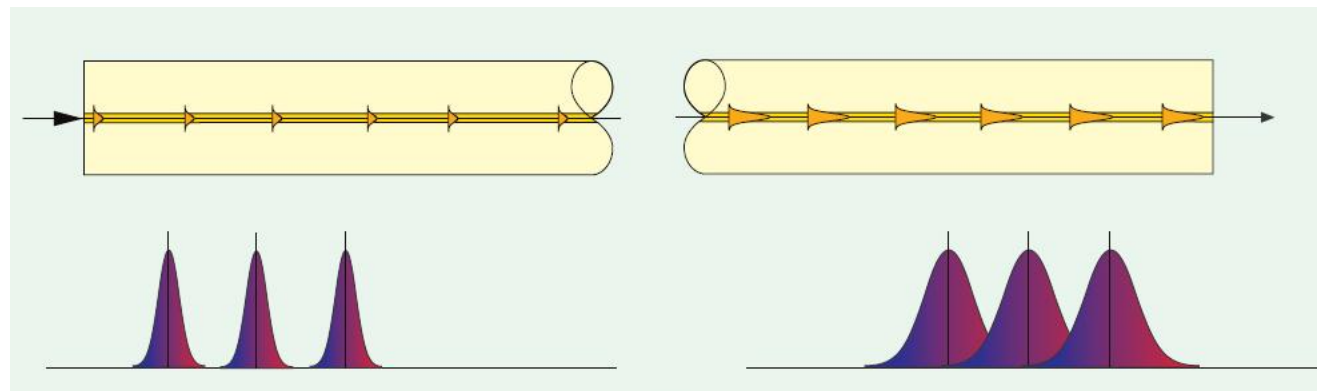
$$A[dB] = A_i[dB/km] \cdot L[km]$$

# Fenomene de interes

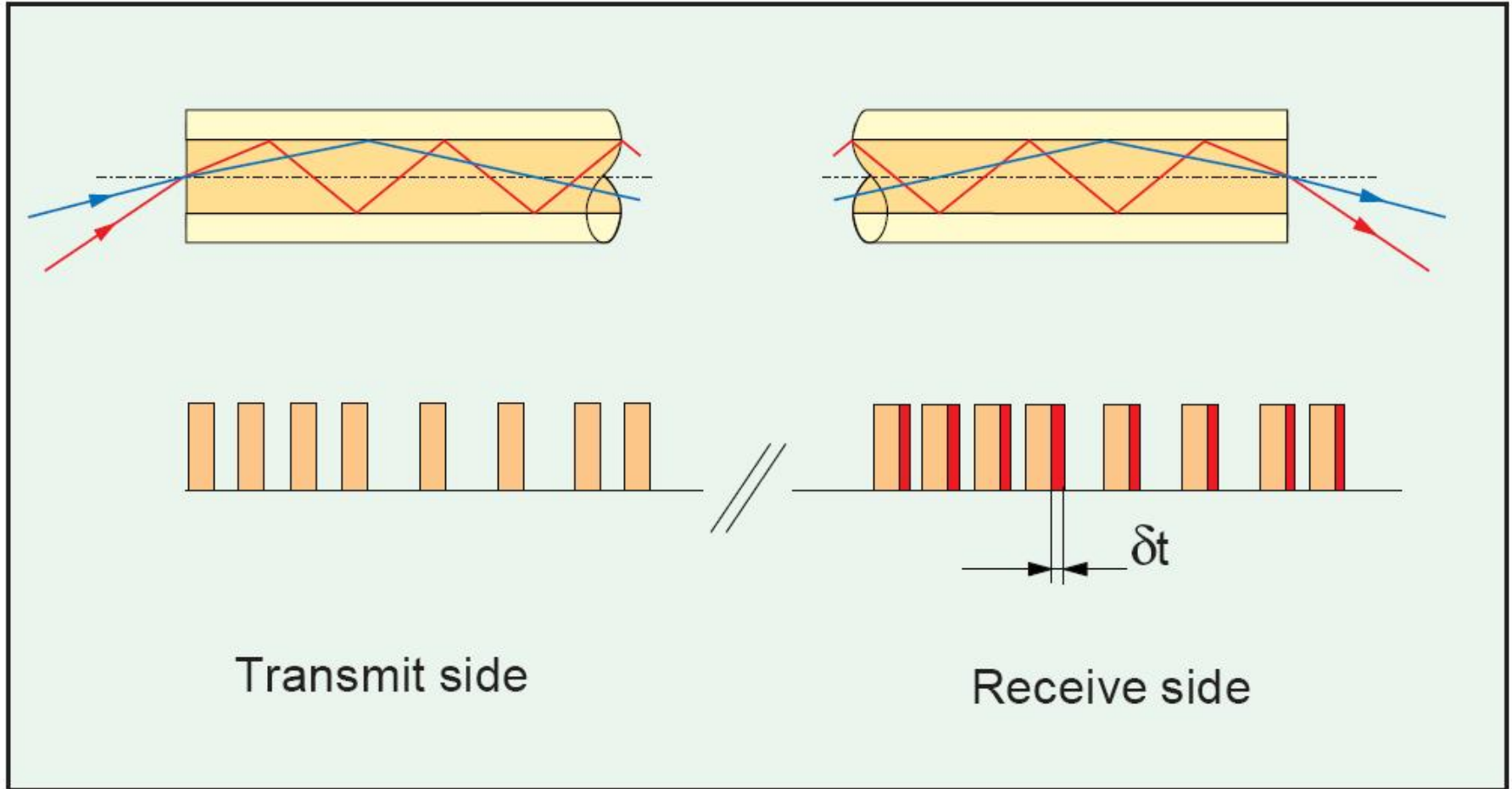
- ▶ Cat de departe pot transmite semnalul luminos pe fibra
  - atenuare
- ▶ Cat de rapid pot transmite informația
  - **dispersie**

# Dispersia

- ▶ Propagarea cu viteze diferite a radiatiilor cu trasee/lungimi de unda diferite
  - intermodala (**modala** – depinde de prezenta modurilor)
  - intramodala (**cromatica** – depinde de lungimea de unda)
    - de material
    - de ghid

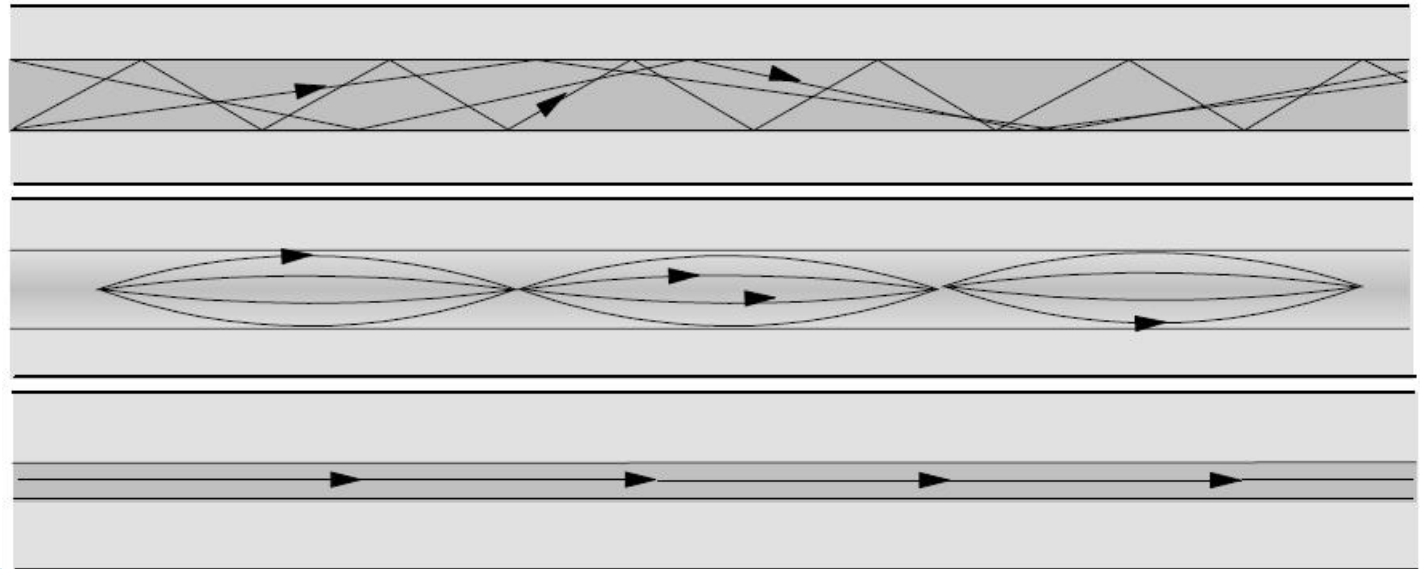


# Dispersia modala



# Dispersia modala

- ▶ Mai mare la fibre multimod cu salt de indice
- ▶ Mai mica la fibre multimod cu indice gradat
  - traseele mai lungi trec prin zone cu indice mai mic
- ▶ **Inexistenta** la fibrele **monomod**

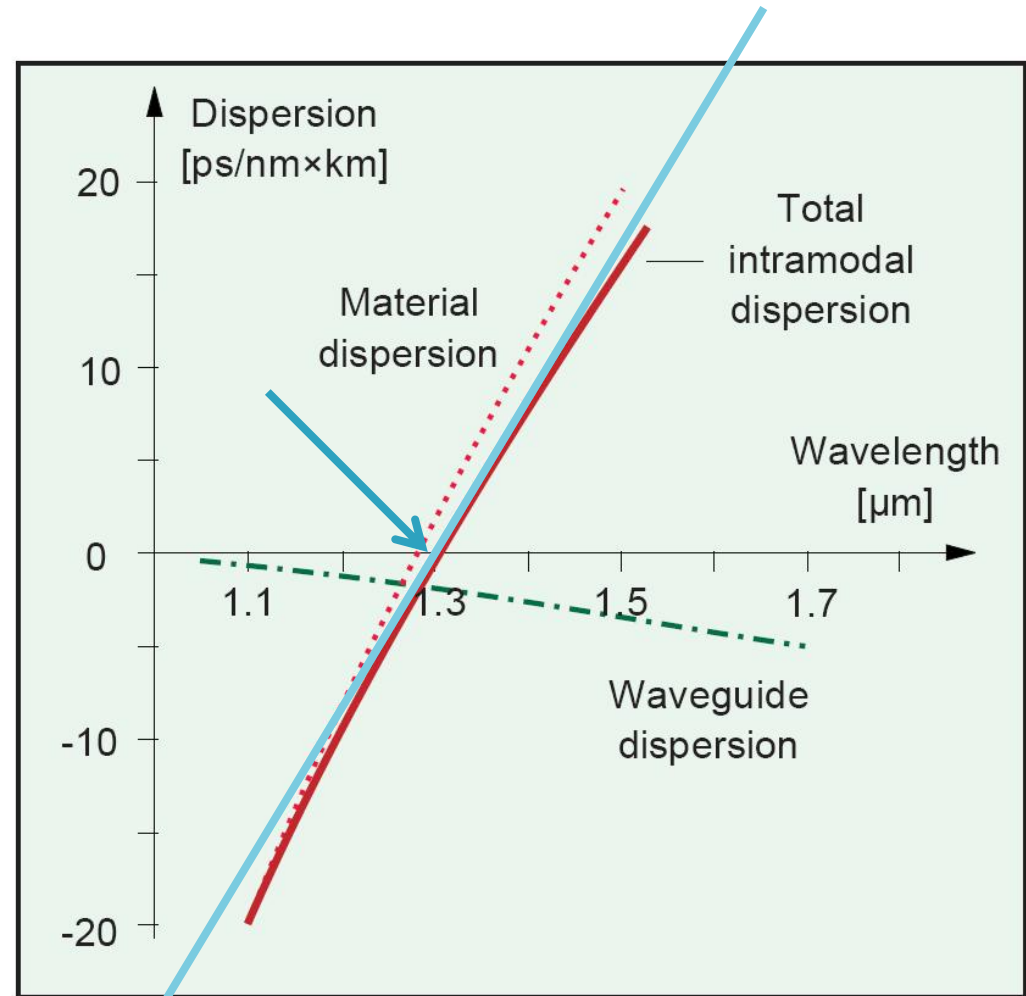


# Dispersia cromatica (gh+mat)

- ▶ Variatie aproximativ liniara
- ▶ Caracterizata de panta si punctul de trecere prin 0

$$\Delta \tau_{cr} = D(\lambda) \cdot \Delta \lambda \cdot L$$

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \cdot \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right)$$



# Dispersia

## ▶ Dispersia modala

### ▶ salt de indice

$$\Delta\tau_{\text{mod}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta}{2\sqrt{3} \cdot c} \approx \frac{L \cdot NA^2}{4\sqrt{3} \cdot c \cdot n_2}$$

### ▶ indice gradat

$$\Delta\tau_{\text{mod}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta^2}{4\sqrt{3} \cdot c} \cong \frac{L \cdot NA^4}{16\sqrt{3} \cdot c \cdot n_2^3}$$

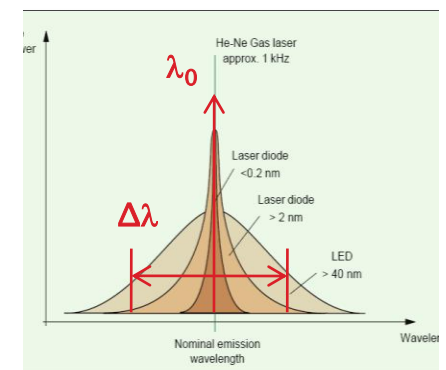
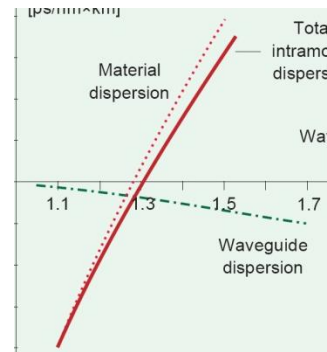
$$\Delta = 0.01 \div 0.02 \ll 1$$

$$NA = 0.1 \div 0.2 < 1$$

## ▶ Dispersia cromatica

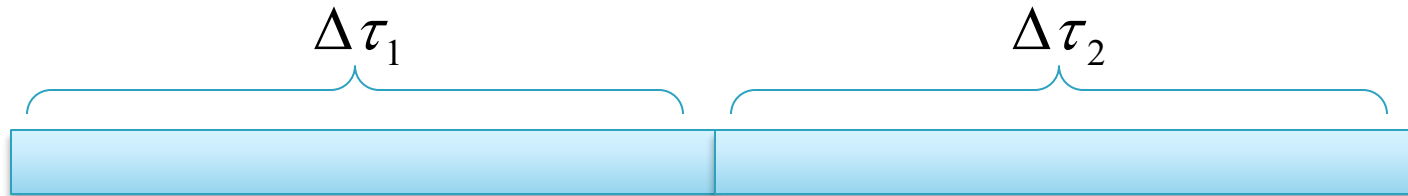
$$\Delta\tau_{cr} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \cdot \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right)$$



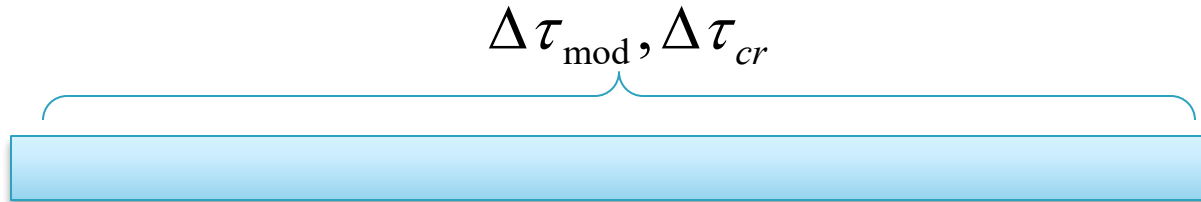
# Sumarea efectelor

- ▶ efecte **successive** se adună liniar



$$\Delta\tau_{tot} = \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2$$

- ▶ efecte **simultane** se adună pătratic



$$\Delta\tau_{tot} = \sqrt{\Delta\tau_{cr}^2 + \Delta\tau_{mod}^2}$$

# Dispersia

## ▶ Dispersia modala

### ▶ salt de indice

$$\Delta\tau_{\text{mod}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta}{2\sqrt{3} \cdot c} \approx \frac{L \cdot NA^2}{4\sqrt{3} \cdot c \cdot n_2}$$

### ▶ indice gradat

$$\Delta\tau_{\text{mod}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta^2}{4\sqrt{3} \cdot c} \cong \frac{L \cdot NA^4}{16\sqrt{3} \cdot c \cdot n_2^3}$$

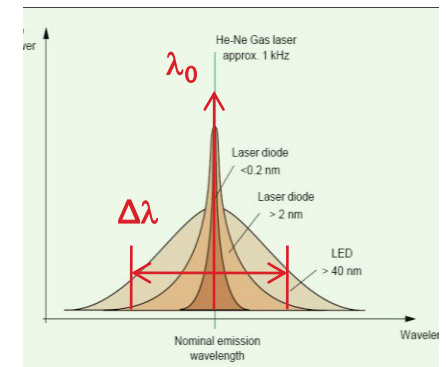
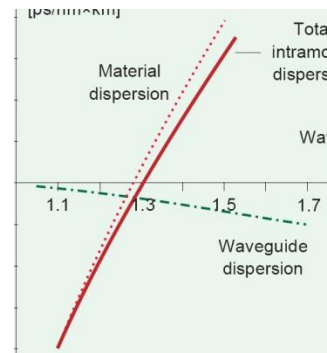
$$\Delta = 0.01 \div 0.02 \ll 1$$

$$NA = 0.1 \div 0.2 < 1$$

## ▶ Dispersia cromatica

$$\Delta\tau_{cr} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \cdot \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right)$$



$$\Delta\tau_{tot} = \sqrt{\Delta\tau_{cr}^2 + \Delta\tau_{mod}^2}$$

# Banda

- ▶ Dispersia totala

$$\Delta\tau_{tot} = \sqrt{\Delta\tau_{cr}^2 + \Delta\tau_{mod}^2} \quad \text{sau} \quad \Delta\tau_{tot} = \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2$$

- ▶ Banda

$$B_{opt} \cong \frac{0.44}{\Delta\tau_{tot} [ns]} [GHz]$$

- ▶ Banda optica la 3 dB corespunde unei benzi electrice la 6 dB

- $P_{opt} \sim I; \quad P_{el} \sim I^2$

$$B_{opt} = \sqrt{2} B_{el}$$

- ▶ Viteza legaturii

$$V [Gb/s] \cong 2 \cdot B_{el} [GHz]$$

# Produs Banda · Distanta

$$\Delta\tau_{\text{mod}} \sim L$$

$$\Delta\tau_{\text{cr}} \sim L$$

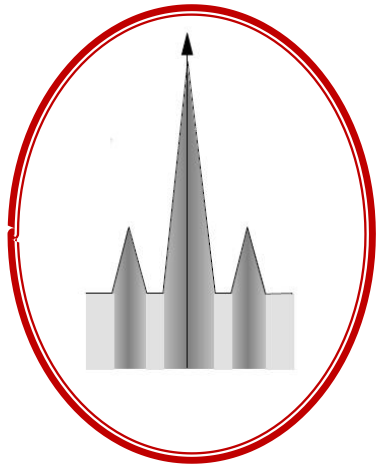
$$\Delta\tau_{\text{tot}} \sim L$$

$$V[\text{Gb/s}] \sim B_{\text{el}}[\text{GHz}] \sim \frac{1}{\Delta\tau_{\text{tot}}} \sim \frac{1}{L[\text{km}]}$$

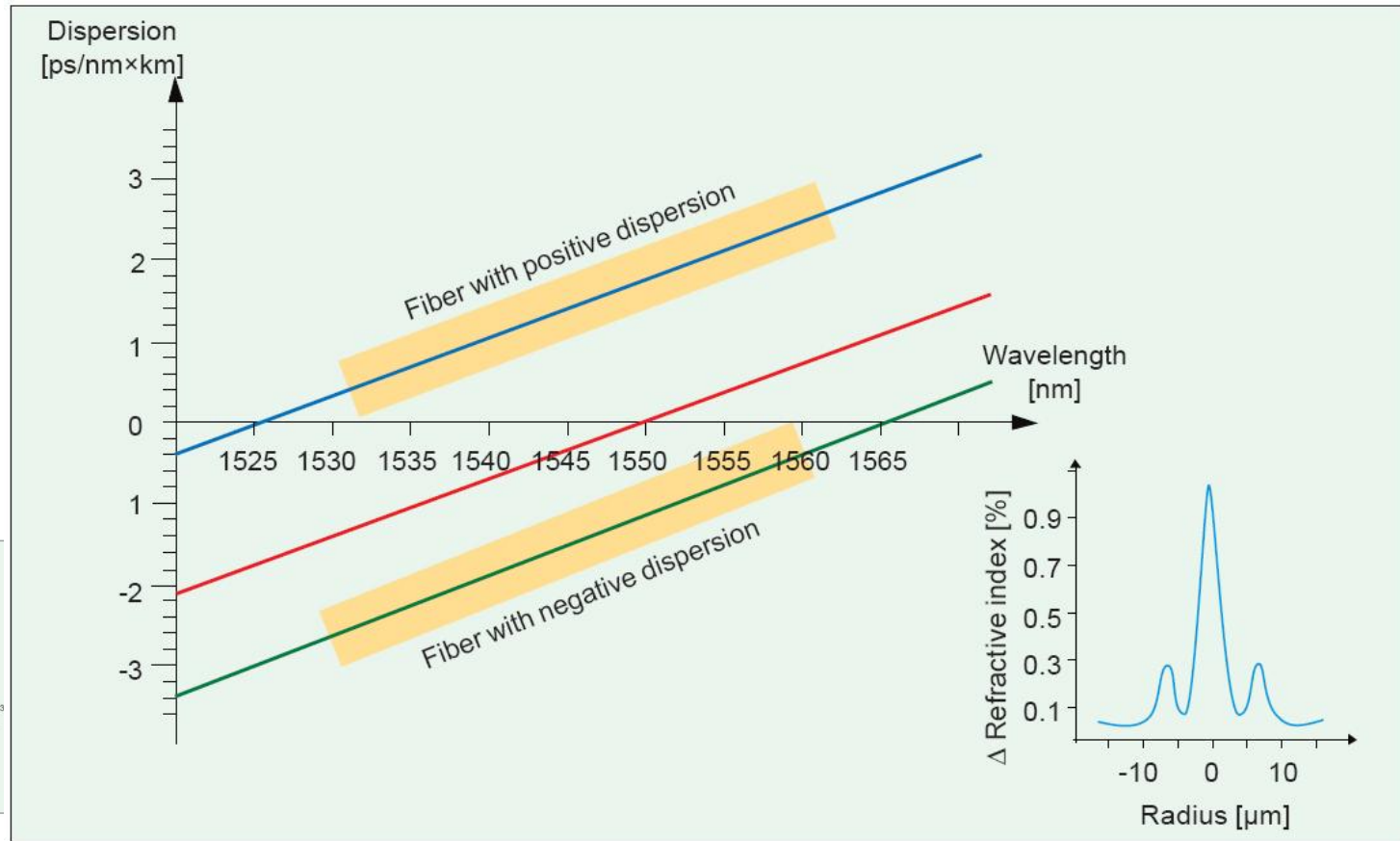
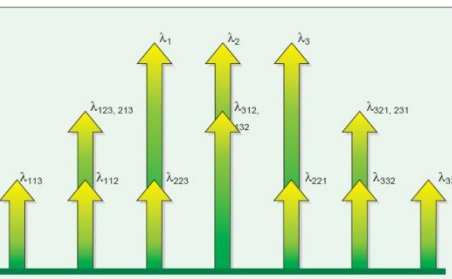
$$V[\text{Gb/s}] \times L[\text{km}] = \text{ct.}$$

$$B_{\text{el}}[\text{MHz}] \times L[\text{km}] = \text{ct.}$$

# Non-zero Dispersion shifted fibers



FWM

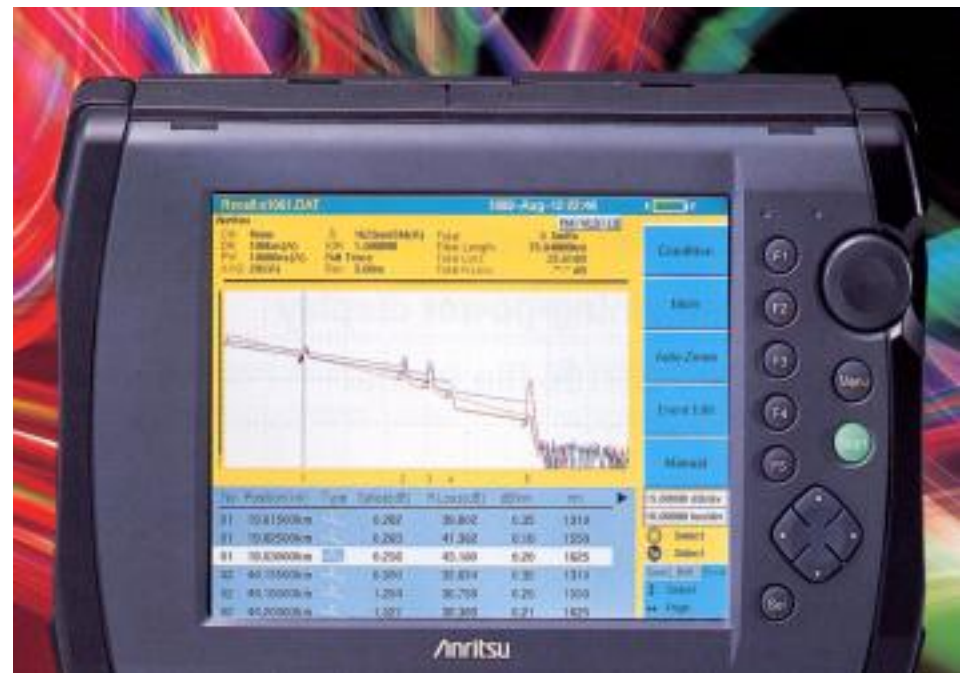
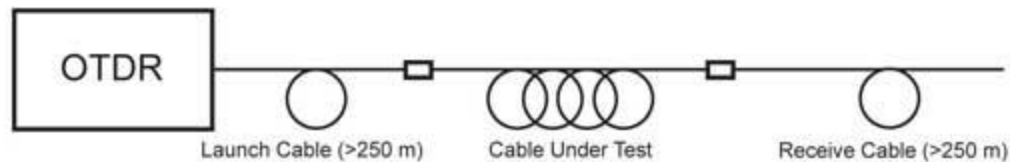


# Fibra optică – Tehnologie

Capitolul 5

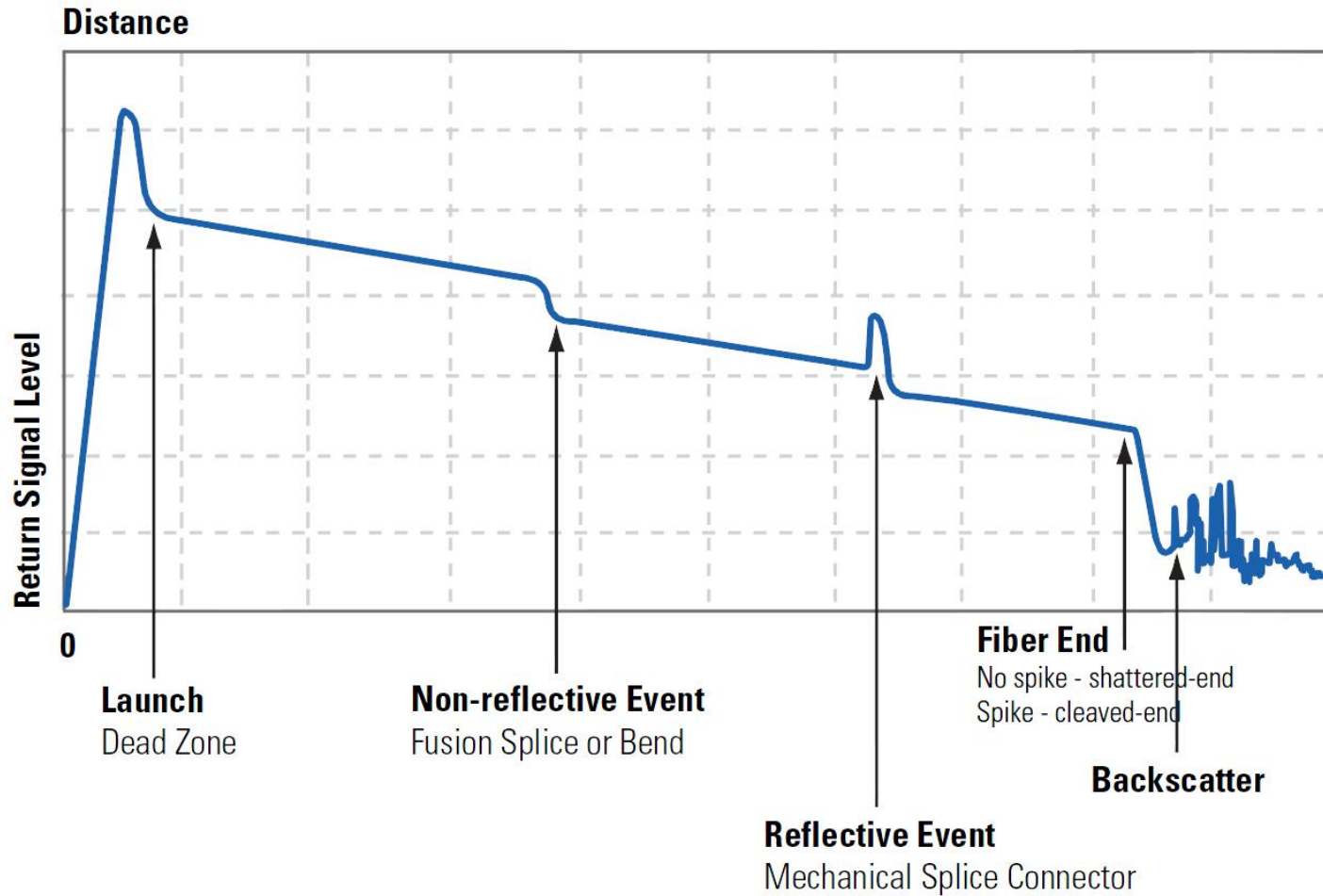
# OTDR

- ▶ Optical Time–Domain Reflectometer
- ▶ Localizarea defectelor



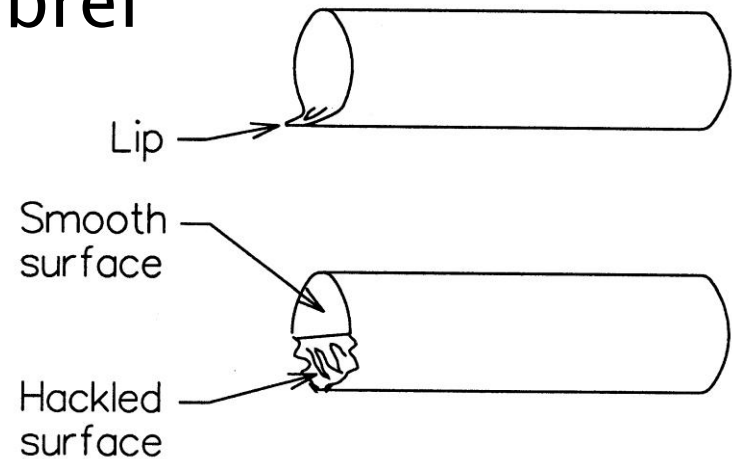
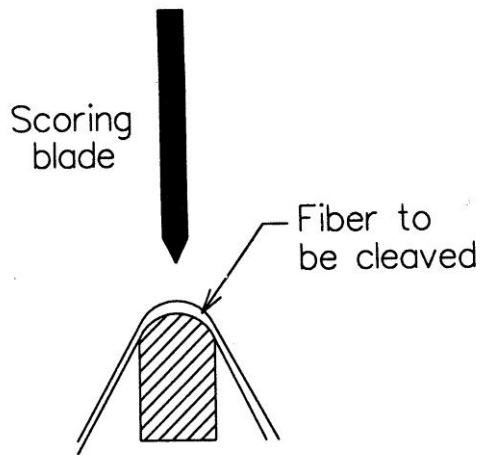
# OTDR

## Typical OTDR Trace



# Taiere – Cleaving

- ▶ Tehnici necesare pentru a asigura o taiere perpendiculara pe axa fibrei



# Lipire prin fuziune



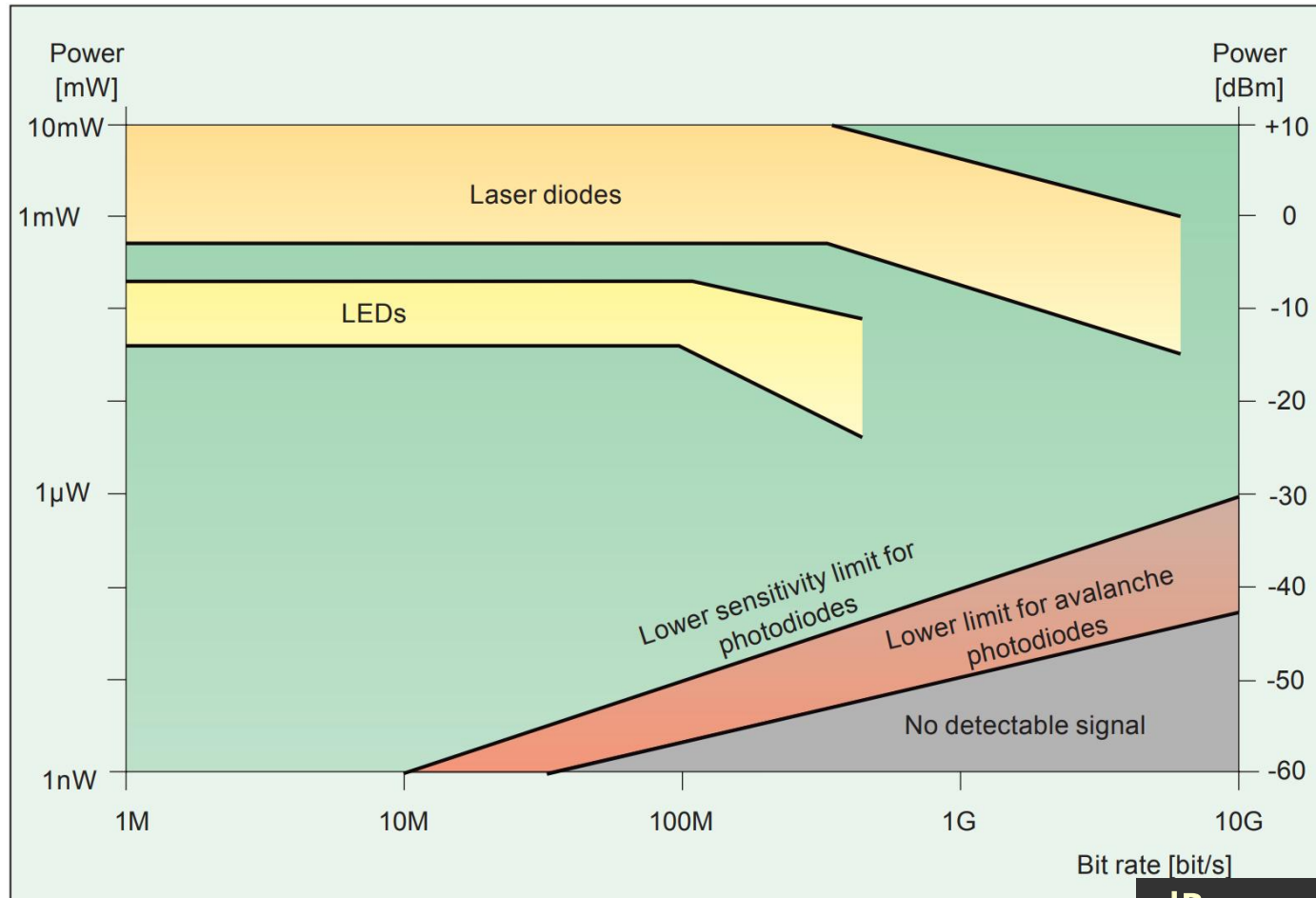
# Dimensionarea unei legături pe fibra optică

Capitolul 6

# Cuprins

- ▶ **Lumina ca undă electromagnetică** (ecuațiile lui Maxwell, ecuația undelor, parametri de propagare)
- ▶ **Elemente de fotometrie și radiometrie** (mărimi energetice/luminoase)
- ▶ **Fibra optică** (realizare, principiu de funcționare, atenuare, dispersie, banda de frecvență)
- ▶ **Cabluri optice** (tehnologie, conectori, lipire – splice)
- ▶ **Proiectare sistemică a legăturii pe fibra optică** (bandă de frecvență, balanța puterilor)
- ▶ **Emitătoare optice** (LED și dioda laser – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Receptoare optice** (dioda PIN, dioda cu avalanșă – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Amplificatoare transimpedanță** (parametri, scheme tipice, TIA în buclă deschisă, cu reacție, diferențiale, control automat al câștigului)
- ▶ **Realizarea circuitelor pentru controlul emițătoarelor optice** (parametri, scheme tipice, controlul puterii, multiplexoare)
- ▶ **Dispozitive de captare a energiei solare** (principiu de funcționare, utilizare, proiectare )

# Limite putere/bandă a dispozitivelor optoelectronice

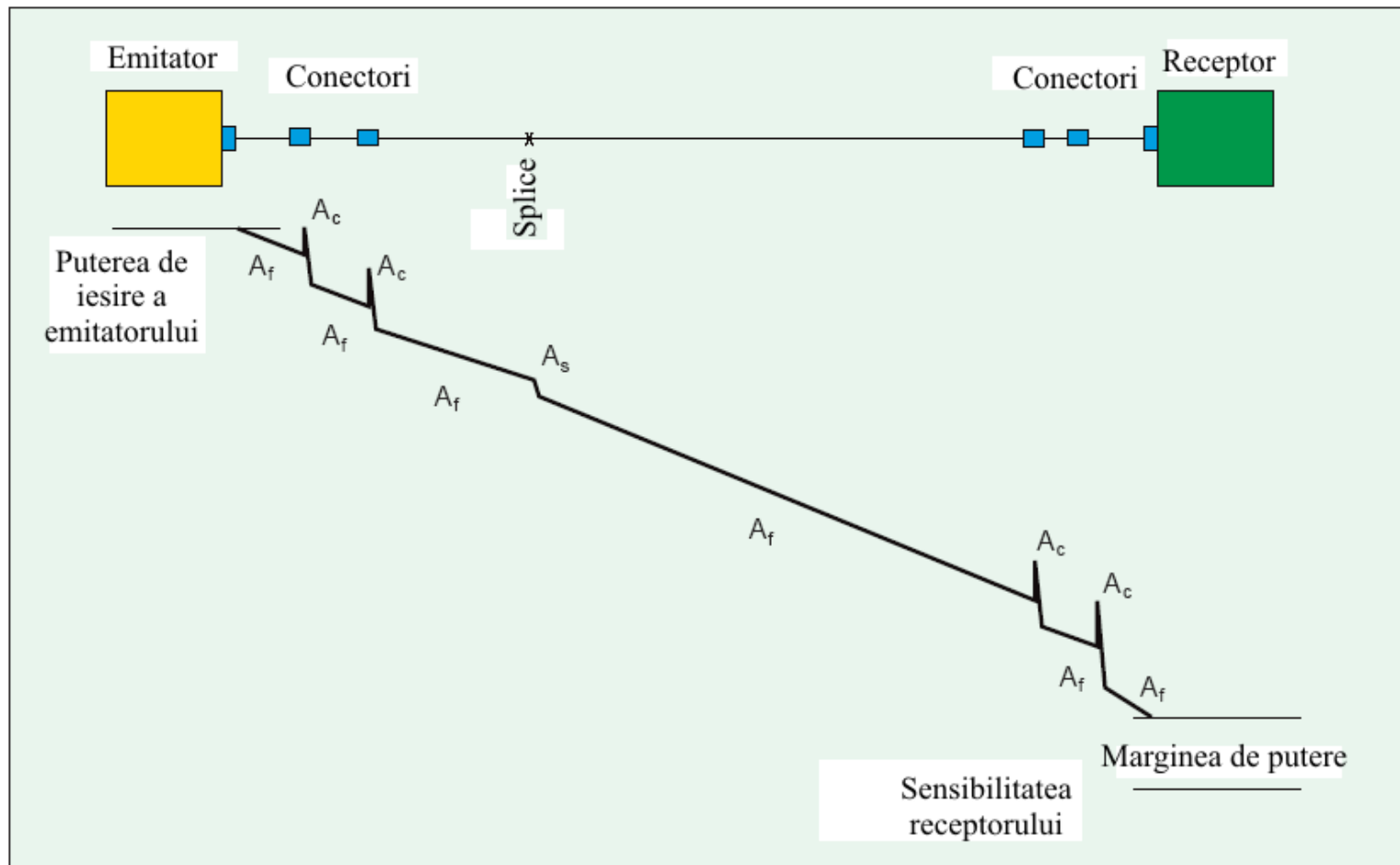


$$\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} (P_2 / P_1)$$

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log_{10} (P / 1 \text{ mW})$$

$$[\text{dBm}] + [\text{dB}] = [\text{dBm}]$$

# Legatura pe fibra optica



# Atenuare

## ▶ Distribuita

- microcurburi
- imprastiere
- absorbtie

$$\text{Atenuare}_D [\text{dB/km}] = \frac{\text{Pierderi}[\text{dB}]}{\text{lungime}[\text{km}]}$$

## ▶ Localizata

- macrocurburi
- conectori
- splice
- tranzitii

$$\text{Atenuare}_L [\text{dB}] = \text{Pierderi}[\text{dB}]$$

$$A_{\text{TOT}} [\text{dB}] = A_L [\text{dB}] + A_D [\text{dB/km}] \cdot L [\text{km}]$$

# Pierderi

- ▶ Atenuare in fibra
- ▶ Atenuare datorata conectorilor
- ▶ Atenuare datorata splice-urilor
- ▶ Atenuare datorata diferentelor de apertura numerica
  - apare **numai** la trecerea de la un dispozitiv cu NA mai mare la un dispozitiv cu NA mai mic
  - **neglijabil** intre 2 fibre monomod sudate
- ▶ Atenuare datorata diferentelor de diametru
  - apare **numai** la trecerea de la un dispozitiv cu diametru mai mare la un dispozitiv cu diametru mai mic
  - **bidirectional** la fibre monomod sudate

# Dispersie

$$\Delta\tau_{\text{mod}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta}{2\sqrt{3} \cdot c} \approx \frac{L \cdot NA^2}{4\sqrt{3} \cdot c \cdot n_2}$$

$$\Delta\tau_{\text{mod}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta^2}{4\sqrt{3} \cdot c} \cong \frac{L \cdot NA^4}{16\sqrt{3} \cdot c \cdot n_2^3}$$

$$\Delta\tau_{cr} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \cdot \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right)$$

$$\Delta\tau_{tip} = \sum_i \Delta\tau_i$$

$$\Delta\tau_{tot} = \sqrt{\Delta\tau_{cr}^2 + \Delta\tau_{mod}^2}$$

$$B_{opt} = \frac{0.44}{\Delta\tau_{tot} [ns]} [GHz]$$

$$B_{opt} = \sqrt{2} B_{el}$$

$$V [Gb/s] \cong 2 \cdot B_{el}$$

$$B_{3dB,electric} (GHz) = \frac{0.35}{T(ns)}$$

$$NRZ_{viteza\ data} (Gbit/s) = \frac{1}{T_{impuls} (ns)} \leq \frac{0.67}{T(ns)}$$

# Lungime maxima

- ▶ **limitata de atenuare**  $L_{\max}^a$  [km]
- ▶ **limitata de viteza**  $L_{\max}^v$  [km]

- ▶ lungimea cea mai mare la care pot face transmisia este obtinuta in cazul cel mai **defavorabil** (din cele doua limitari)

$$L_{\max} [\text{km}] = \min(L_{\max}^a [\text{km}], L_{\max}^v [\text{km}])$$

- ▶ **de obicei**
  - monomod: limita impusa de atenuare
    - cu exceptia cazurilor in care nu se functioneaza la  $\lambda$  optim dpdv al dispersiei
  - multimod: limita impusa de viteza

# LED

Dioda electroluminescenta

Capitolul 7

# Cuprins

- ▶ **Lumina ca undă electromagnetică** (ecuațiile lui Maxwell, ecuația undelor, parametri de propagare)
- ▶ **Elemente de fotometrie și radiometrie** (mărimi energetice/luminoase)
- ▶ **Fibra optică** (realizare, principiu de funcționare, atenuare, dispersie, banda de frecvență)
- ▶ **Cabluri optice** (tehnologie, conectori, lipire – splice)
- ▶ **Proiectare sistemică a legăturii pe fibra optică** (bandă de frecvență, balanța puterilor)
- ▶ **Emițătoare optice** (LED și dioda laser – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Receptoare optice** (dioda PIN, dioda cu avalanșă – realizare fizică și funcționare)
- ▶ **Amplificatoare transimpedanță** (parametri, scheme tipice, TIA în buclă deschisă, cu reacție, diferențiale, control automat al câștigului)
- ▶ **Realizarea circuitelor pentru controlul emițătoarelor optice** (parametri, scheme tipice, controlul puterii, multiplexoare)
- ▶ **Dispozitive de captare a energiei solare** (principiu de funcționare, utilizare, proiectare )

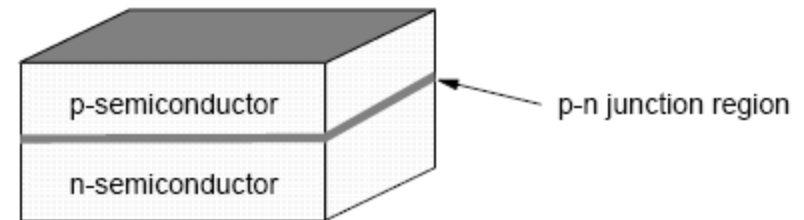
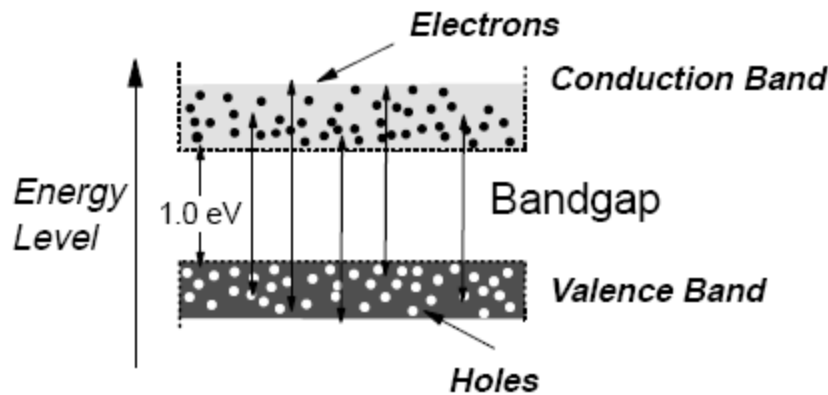
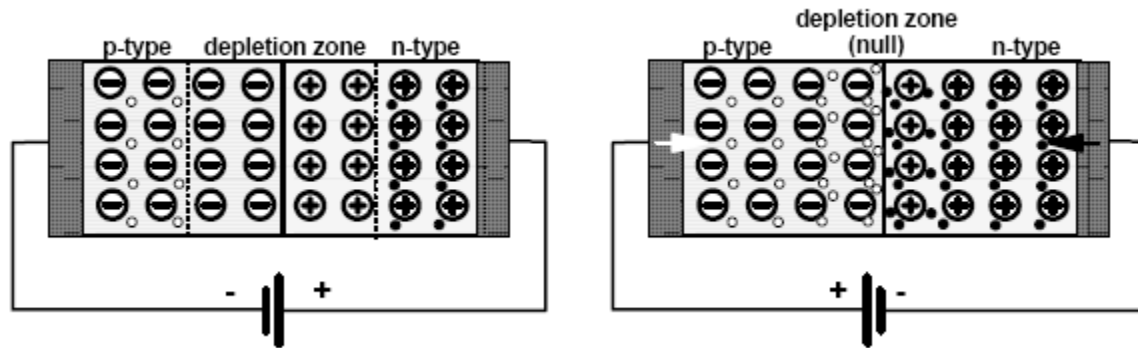
# Aplicatii majore LED

- ▶ Comunicatii
  - Infrarosu (InGaAsP)
- ▶ Vizibil
  - Spectru vizibil (GaAlAs)
- ▶ Iluminare
  - Putere ridicata, lumina alba (GaN)

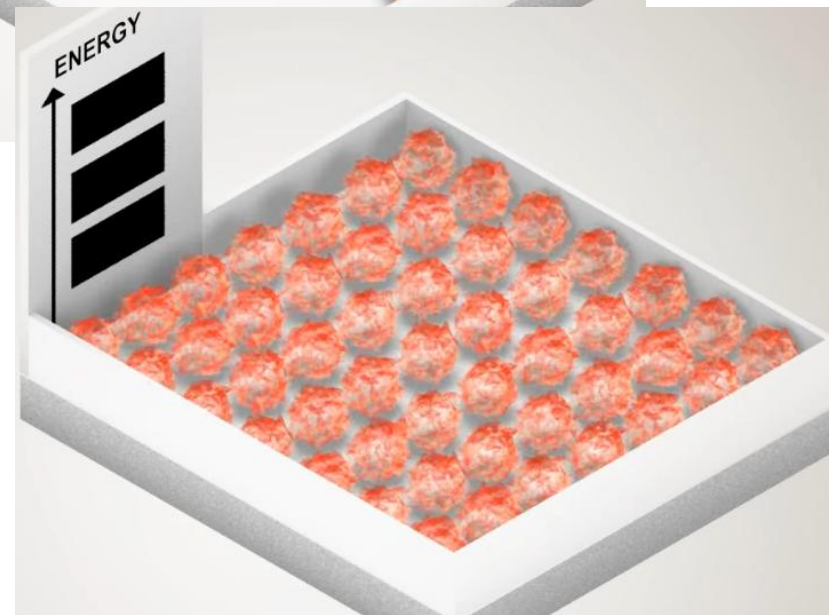
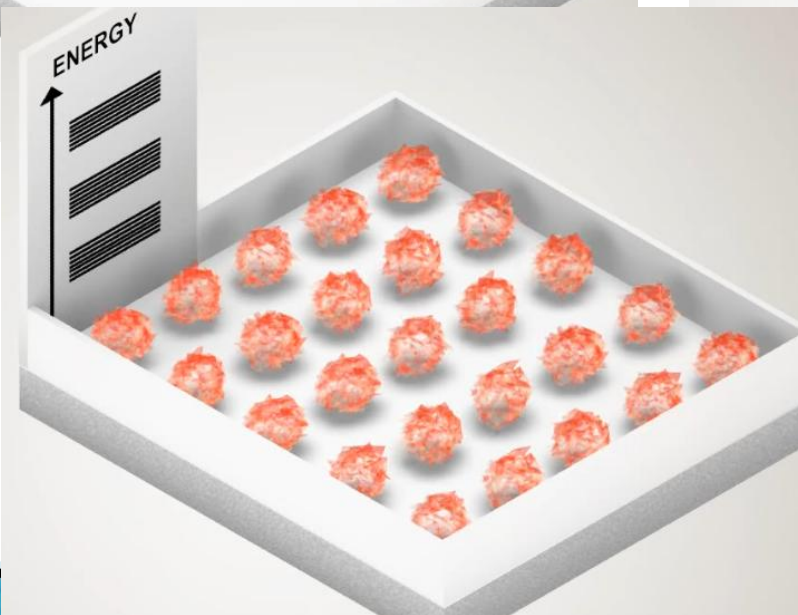
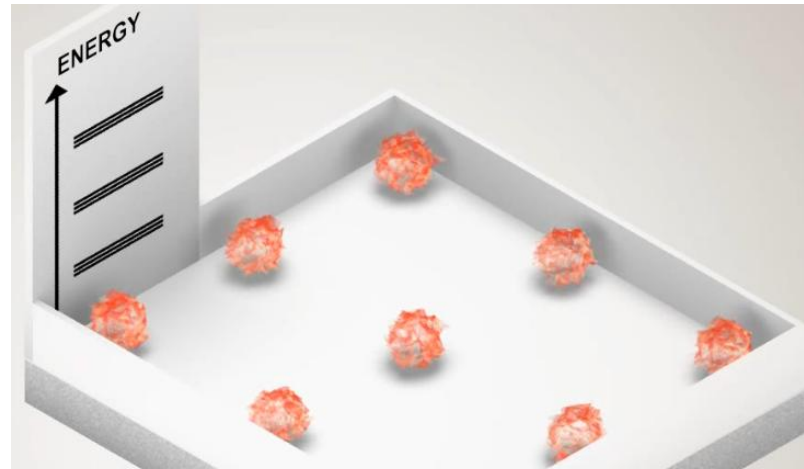
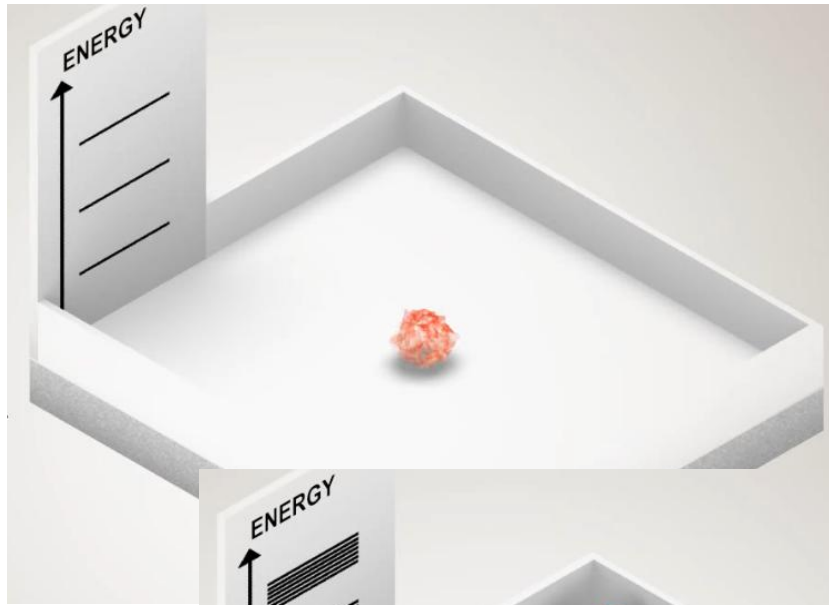
# Caracteristici LED

- ▶ Dezavantaje (comunicatii)
  - Putere redusa (cuplata in fibra)  $\sim 100\mu\text{W}$
  - Banda (viteza) reduse  $\sim 150\text{MHz}$  (300Mb/s)
  - Spectru larg  $\sim 0.05 \lambda$
  - Lumina necoerenta si nedirectiva
- ▶ Avantaje
  - Structura interna mult mai simpla (fara suprafete reflective, straturi planare)
  - Cost (dispozitiv si circuit de comanda)
  - Durata de viata
  - Insensibilitate la temperatura
  - Liniaritate (modulatie analogica)

# LED – Principiul de operare



# Benzi energetice



# LED – Principiul de operare

- ▶ Lumina este generata de o recombinare **radiativa** dintre un electron si un gol
- ▶ Recombinarea **neradiativa** transforma energia in **caldura**
- ▶ Eficienta cuantica  $\eta = \frac{R_r}{R_r + R_{nr}}$
- ▶ La recombinarea radiativa  $E_g = h\nu; \lambda = \frac{hc}{E_g}$
- ▶ Recombinare eficienta:
  - alegerea judicioasa a materialului
  - concentrarea purtatorilor in zona jonctiunii
- ▶ Lungimea de unda depinde de temperatura de functionare a dispozitivului:  $0.6\text{nm}/^\circ\text{C}$

# Lățimea benzii interzise/lungime de undă pentru materialele uzuale

Material	Formula	Wavelength Range $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Bandgap Energy $W_g$ (eV)
Indium Phosphide	InP	0.92	1.35
Indium Arsenide	InAs	3.6	0.34
Gallium Phosphide	GaP	0.55	2.24
Gallium Arsenide	GaAs	0.87	1.42
Aluminium Arsenide	AlAs	0.59	2.09
Gallium Indium Phosphide	GaInP	0.64-0.68	1.82-1.94
Aluminium Gallium Arsenide	AlGaAs	0.8-0.9	1.4-1.55
Indium Gallium Arsenide	InGaAs	1.0-1.3	0.95-1.24
Indium Gallium Arsenide Phosphide	InGaAsP	0.9-1.7	0.73-1.35

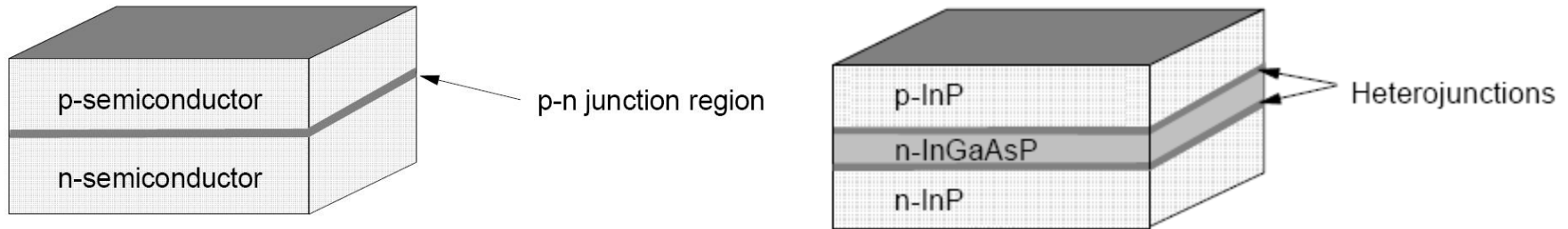
$$E_g = h\nu; \quad \lambda = \frac{hc}{E_g}; \quad \lambda[\mu\text{m}] = \frac{1.240}{E_g[\text{eV}]}$$

- ▶  $h$  constanta lui Plank  
 $6.6261 \cdot 10^{-34} \text{ W s}^2$
- ▶  $c$  viteza luminii **in vid**  
 $2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- ▶  $e$  sarcina electronului  
 $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- ▶ benzi energetice:  $\lambda_0$ ,  $\Delta\lambda$

# Detalii constructive – 1

- ▶ Recombinarea unei perechi electron–gol necesita conservarea "impulsului rețelei" (cvasiimpuls)
- ▶ In Si si Ge aceasta conditie presupune aparitia unui fonon intermediar (tranzitie indirecta) a carui energie se transforma in caldura
- ▶ Majoritatea aliajelor de aluminiu Al de asemenea au tranzitie indirecta
- ▶ Se utilizeaza aliaje de Ga Al As sau In Ga As P
- ▶ Materialele utilizate trebuie sa fie "transparente" la lungimile de unda emise

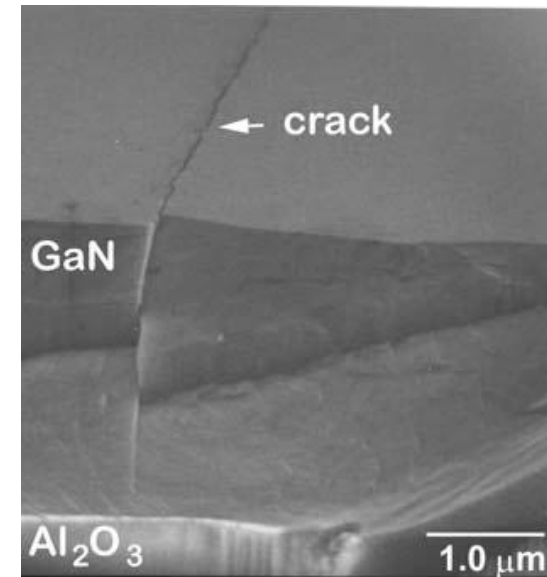
# LED cu heterojunțiuni – preview



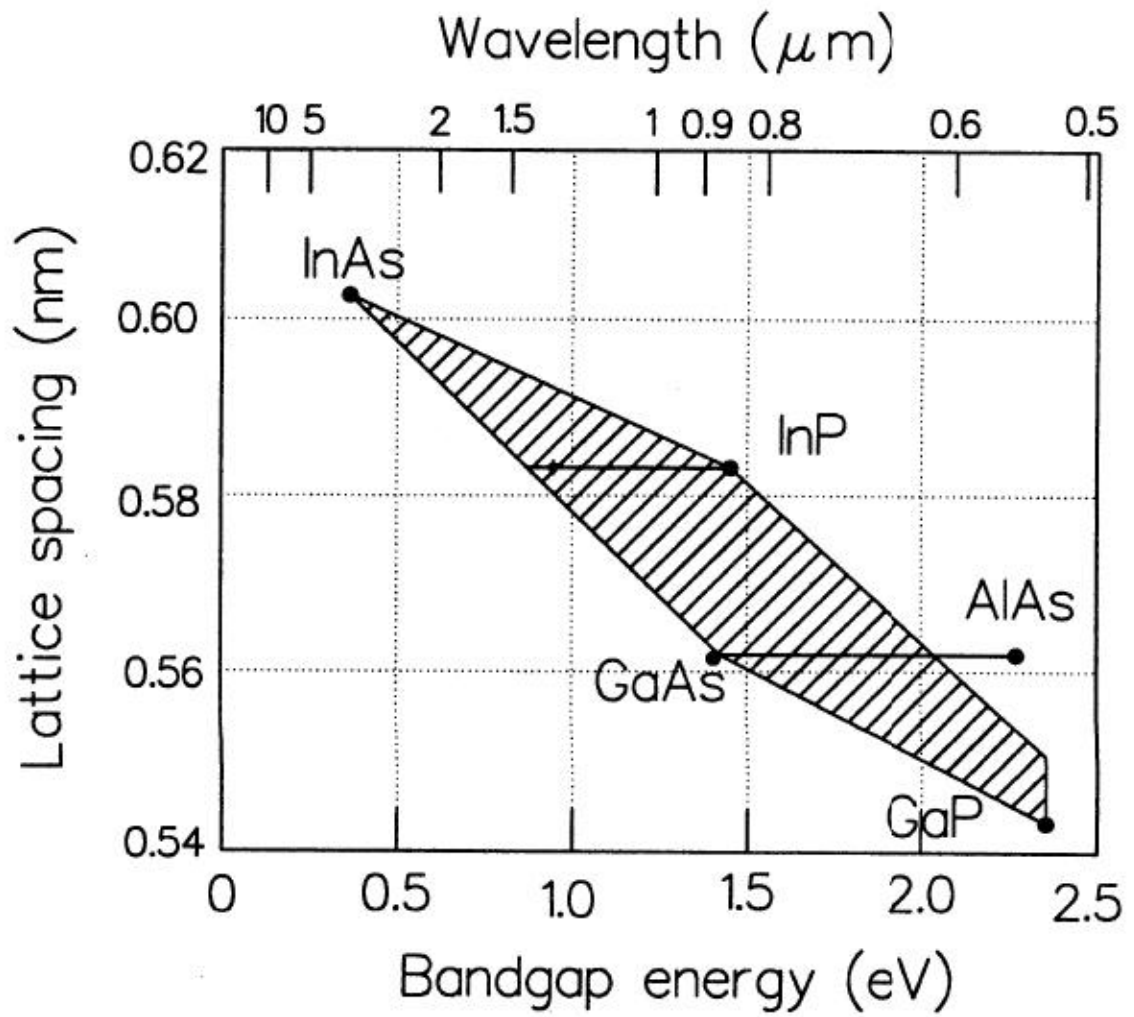
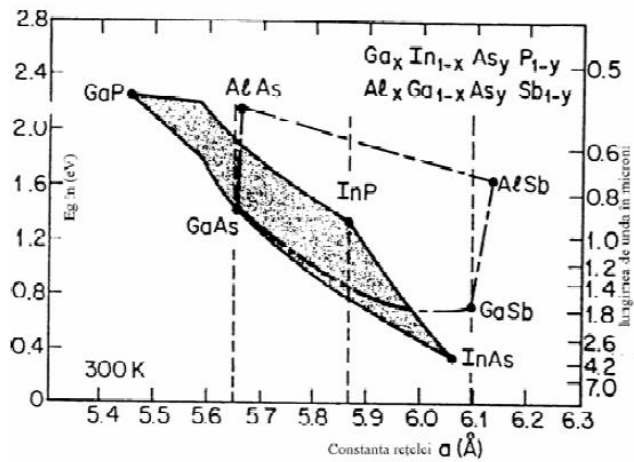
- ▶ **Orice** jonctiune p–n emite lumina
- ▶ O jonctiune p–n obisnuita este foarte subtire
  - volumul in care apar recombinari este foarte mic
  - eficienta luminoasa, redusa
- ▶ lumina este emisa in toate directiile
  - cantitatea de lumina utilizabila (intr–o anumita directie) este redusa

# Detalii constructive – 2

- ▶ Spatierea atomilor in diferitele straturi trebuie sa fie **egala** (toleranta 0.1%) pentru a nu se introduce defecte mecanice la jonctiune
  - limitare a aliajelor utilizabile
  - aparitia defectelor
    - creste ineficienta (recombinari neradiative)
    - scade durata de viata a dispozitivului



# Dependența benzii interzise de constanta rețelei



# Materiale

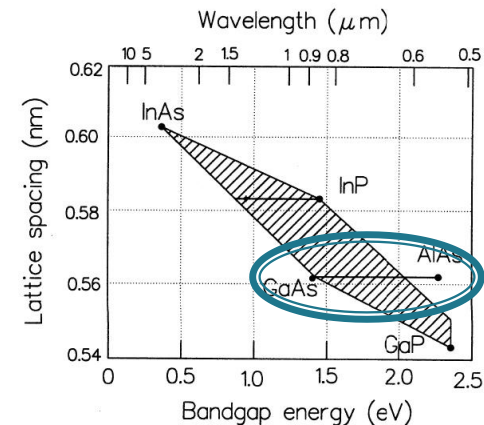
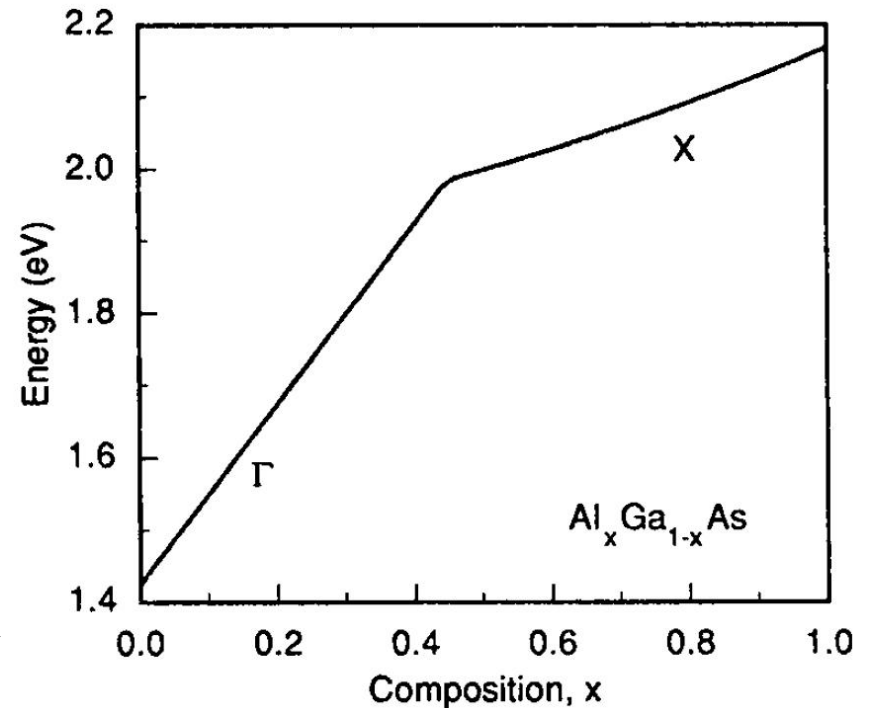
- ▶ Lungimi de unda mici (spectru vizibil – 1 000nm)
  - GaP (665nm),  $\text{GaAs}_y\text{P}_{1-y}$
  - **GaAs** (900nm),  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  (AlAs – 550nm)
- ▶ Lungimi de unda mari (1 000÷1 700nm)
  - **InP** (920nm),  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$
  - x,y concentratii relative in aliaj a materialelor corespunzatoare
  - x,y alese din considerente privind
    - lungimea de unda
    - spatierea atomilor
- ▶ Ultraviolet – Albastru: **GaN**, GaInN

# Materiale

- ▶ Lungimi de unda mici
  - $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$
  - substrat GaAs
  - limitare pentru tranzitie directa,  $x < 0.45$
  - $E_g$  (in **eV**)

$$E_g = 1.424 + 1.247 \cdot x, \quad x < 0.45$$

$$E_g = 1.9 + 0.125 \cdot x + 0.143 \cdot x^2, \quad x > 0.45$$



# Materiale

- ▶ Lungimi de unda mari
  - $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$
  - Tipic substratul este InP
    - Spatierea atomilor (lattice spacing) corespunzatoare InP

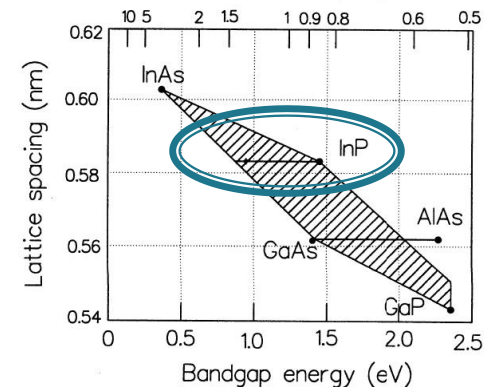
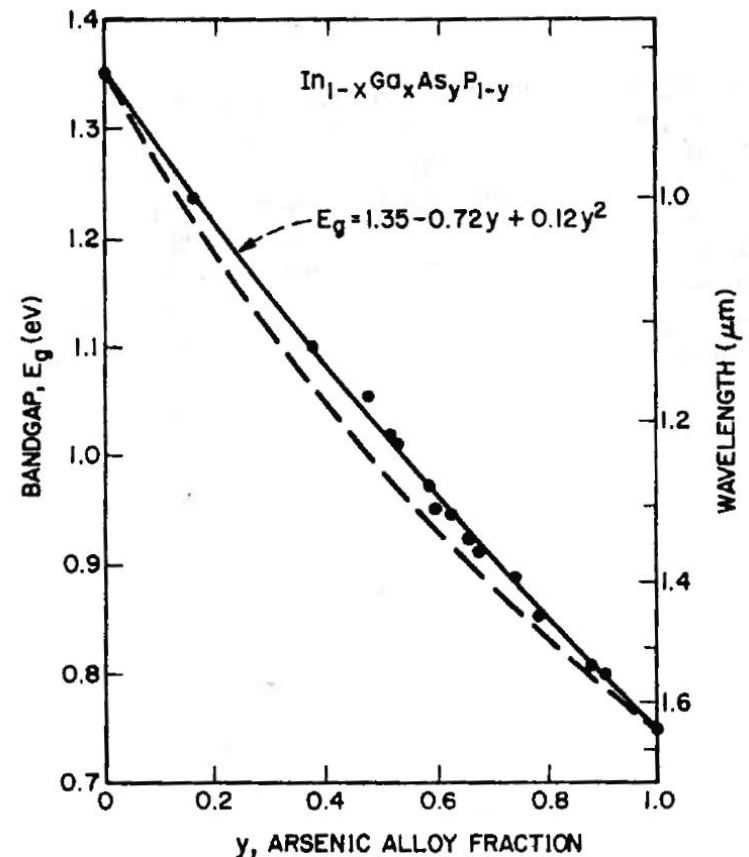
$$x = \frac{0.4526 \cdot y}{1 - 0.031 \cdot y}$$

- $E_g$  (in **eV**)

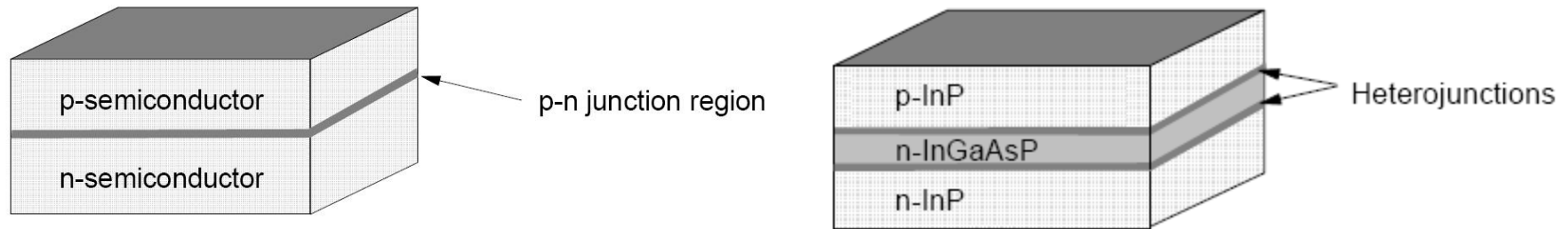
$$E_g = 1.35 - 0.72 \cdot y + 0.12 \cdot y^2$$

- Exemplu: 1300nm se obtine cu  $y=0.611$  si  $x=0.282$ ,

- $\text{In}_{0.282}\text{Ga}_{0.718}\text{As}_{0.611}\text{P}_{0.389}$

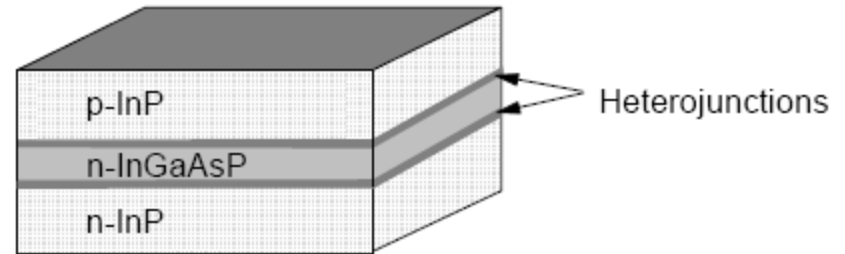
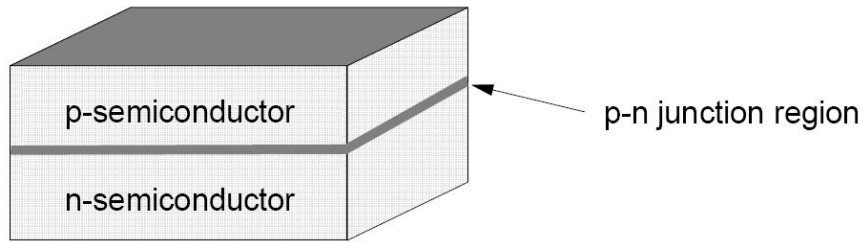


# LED cu heterojunțiuni – principiu

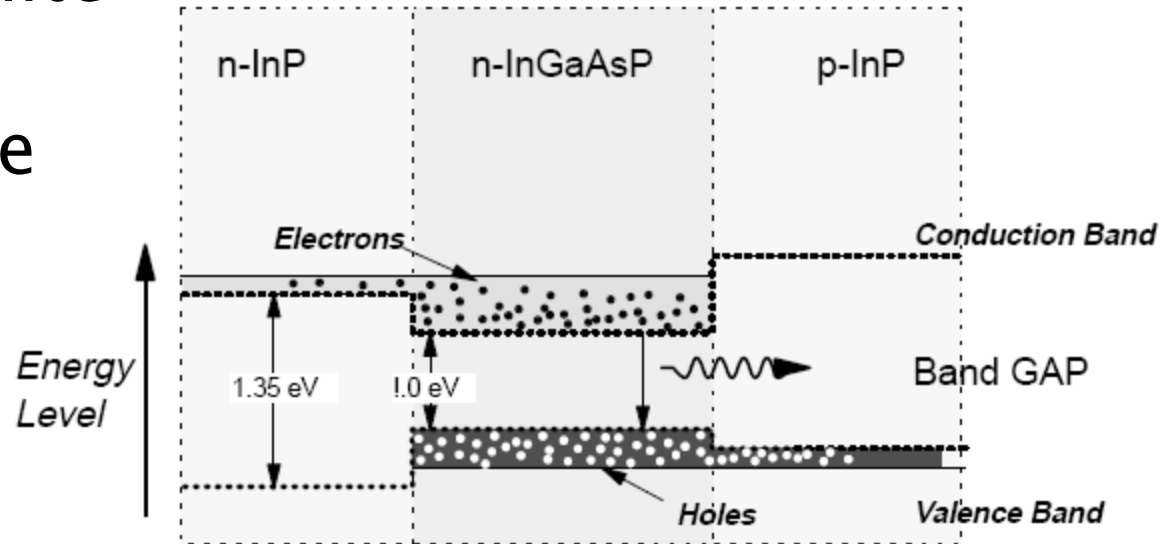


- ▶ **Orice** jonctiune p–n emite lumina
- ▶ O jonctiune p–n obisnuita este foarte subtire
  - volumul in care apar recombinari este foarte mic
  - eficienta luminoasa, redusa
- ▶ lumina este emisa in toate directiile
  - cantitatea de lumina utilizabila (intr–o anumita directie) este redusa

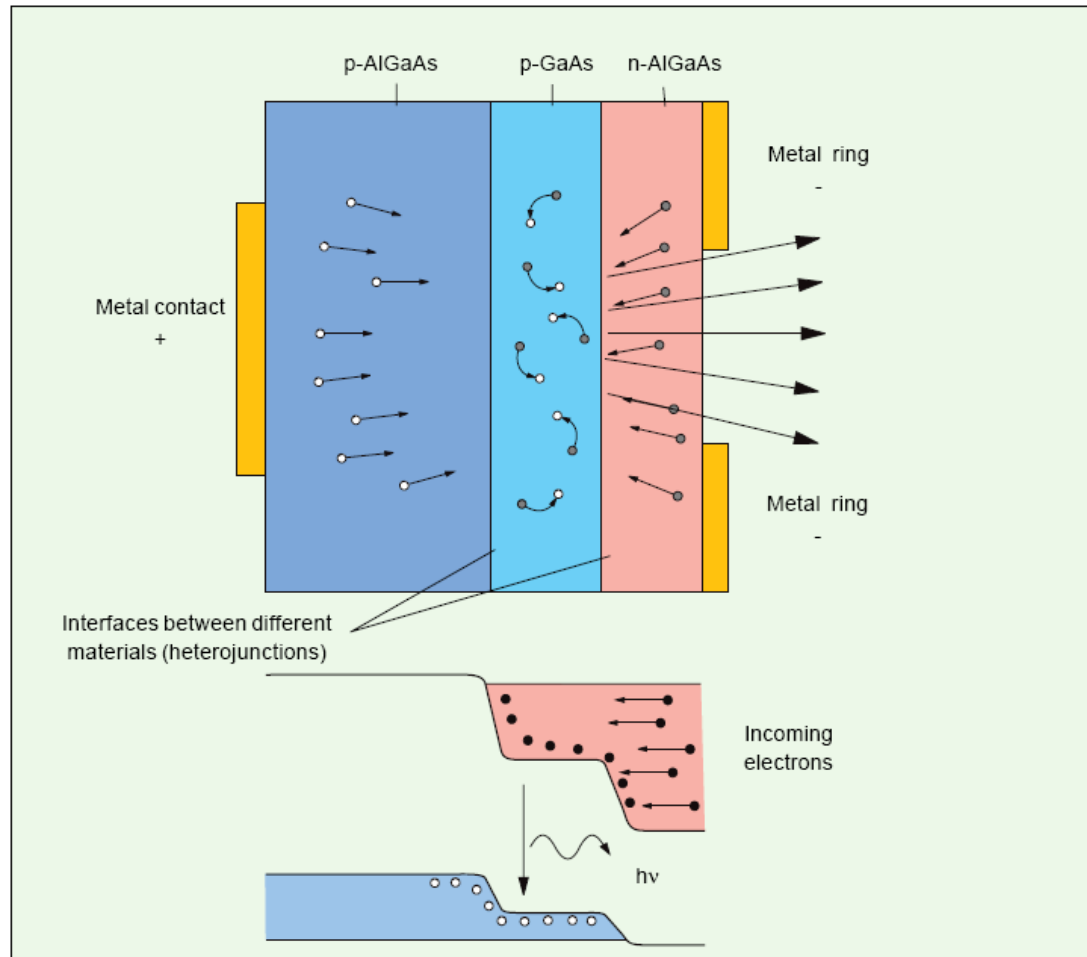
# LED cu heterojunțiuni – principiu



- ▶ Structura de nivele energetice permite capturarea purtătorilor între cele două heterojunțiuni



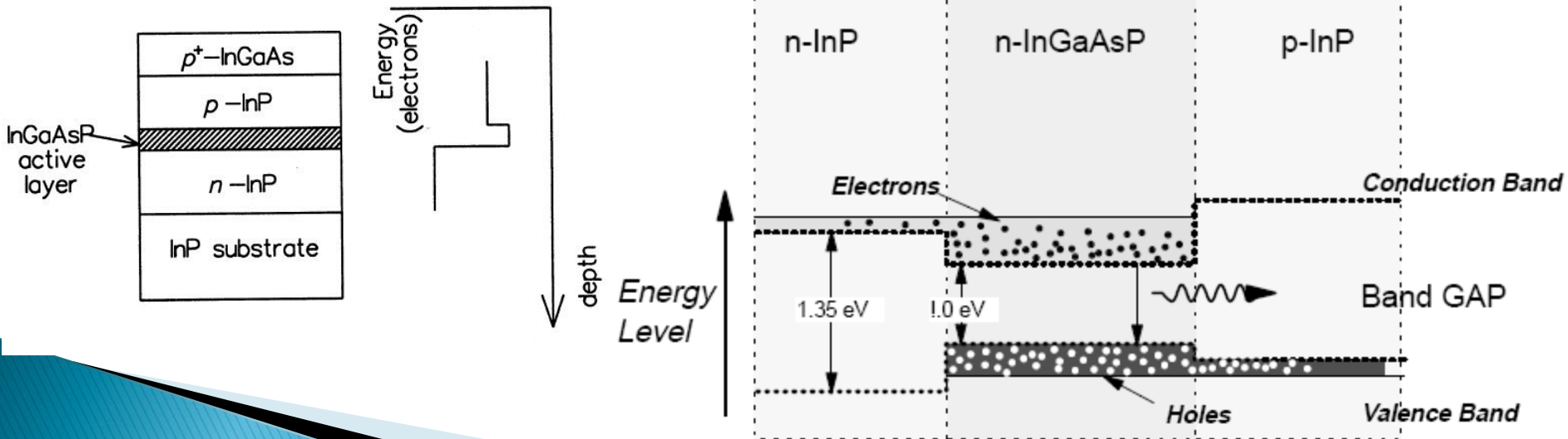
# LED cu heterojunțiuni – principiu



# LED cu heterojunțiuni – principiu

## ▶ Concentrare verticală a purtătorilor

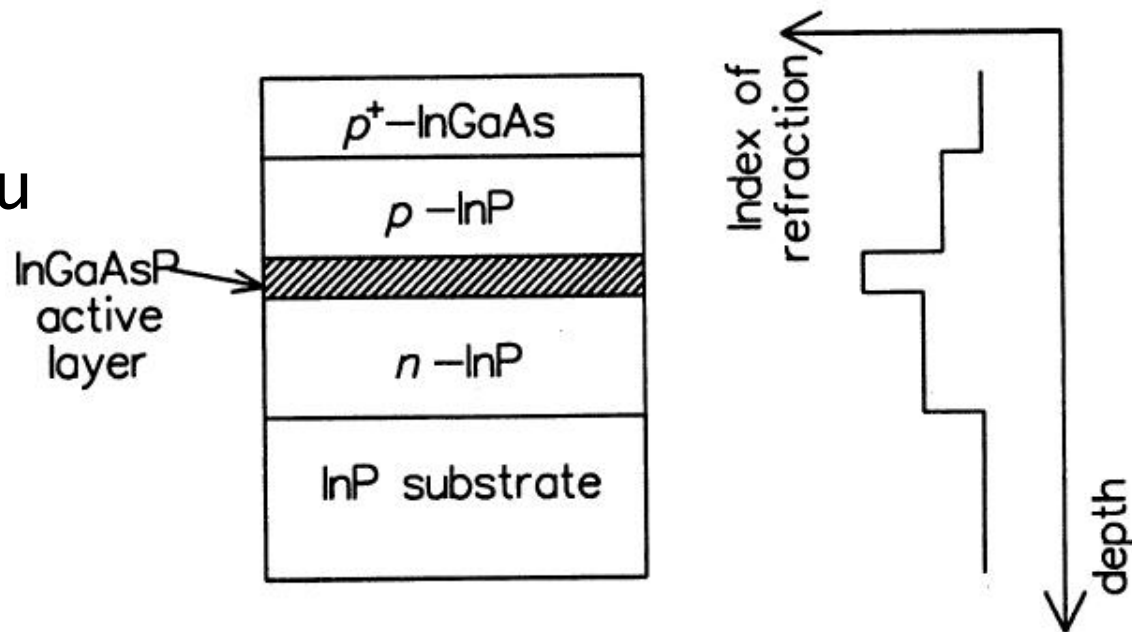
- Electronii sunt atrași din zona n în zona activă
- O barieră energetică existentă între zona activă și zona n concentrează electronii în zona activă
- Situație similară corespunzătoare golurilor
- Purtătorii sunt concentrați în zona activă, crescând eficiența



# LED cu heterojunțiuni – principiu

- ▶ Concentrare verticală a luminii
  - în general la diode laser (eficiența procesului LASER depinde de intensitatea luminoasă)
  - prezenta și la LED pentru creșterea eficienței luminoase: dirijarea luminii spre exterior și evitarea absorbției interne

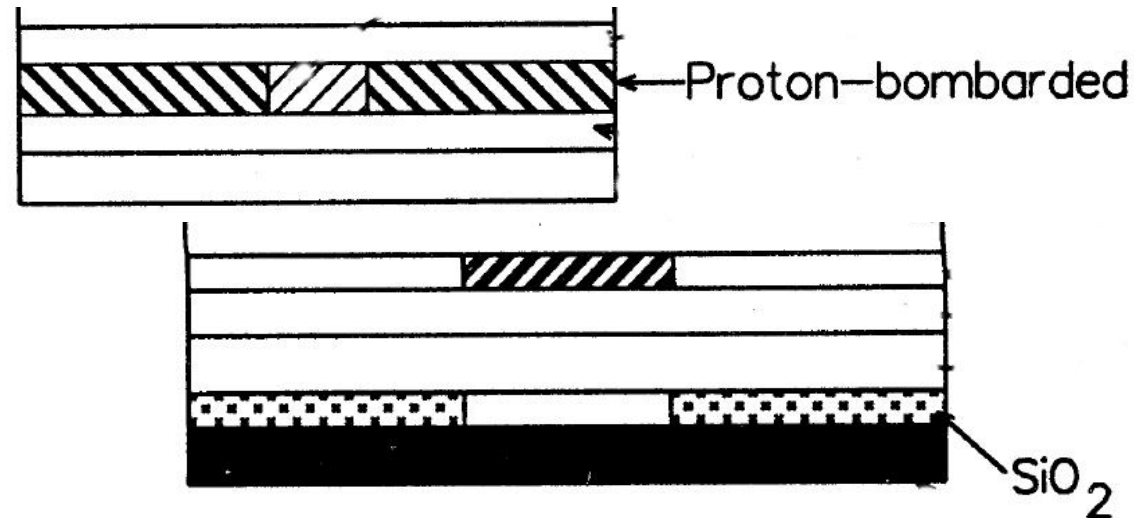
- ▶ Straturile din materiale diferite au indici de refracție diferiți formând un ghid dielectric



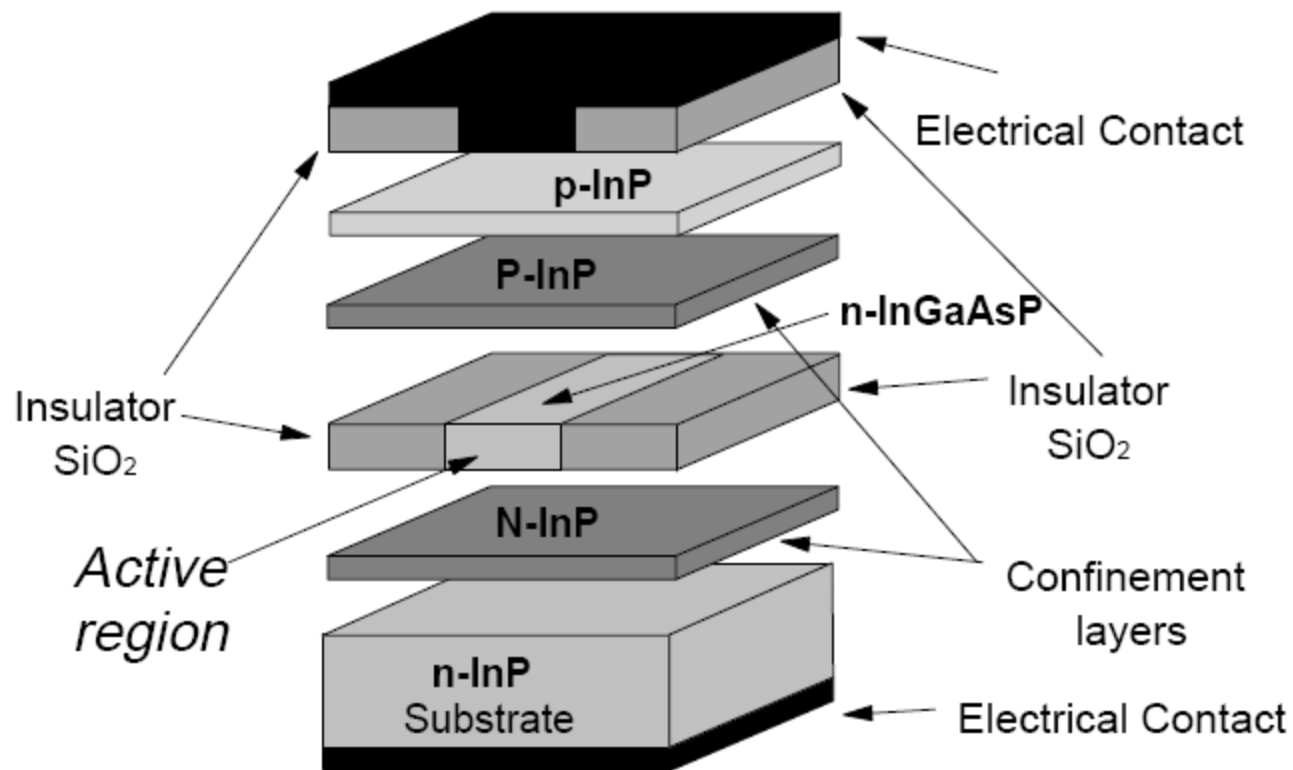
# LED cu heterojunțiuni – principiu

## ► Concentrare orizontală a curentului

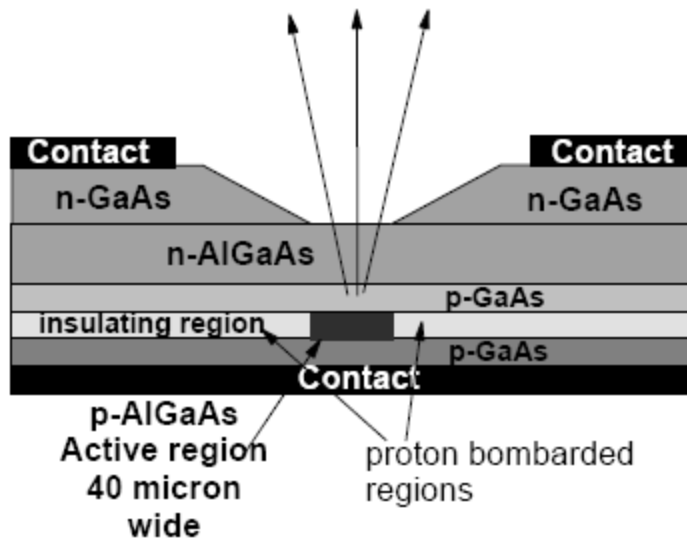
- Eficiența conversiei depinde de concentrația de purtători, deci e necesară creșterea densității de curent în zona activă (20–50 μm)
- Se utilizează:
  - strat izolator (tipic  $\text{SiO}_2$ ) cu o deschidere în dreptul zonei active
  - Bombardarea cu protoni a regiunii din jurul zonei active
- Alte metode:
  - eliminarea materialului în jurul zonei active (mesa structure)
  - difuzie de Zn în zona centrală



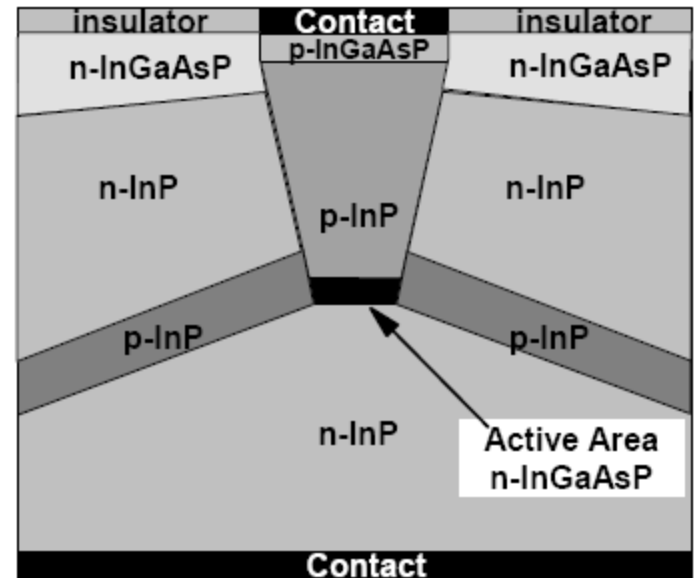
# LED cu heterojunțiuni – detalii



# Structuri constructive pentru LED

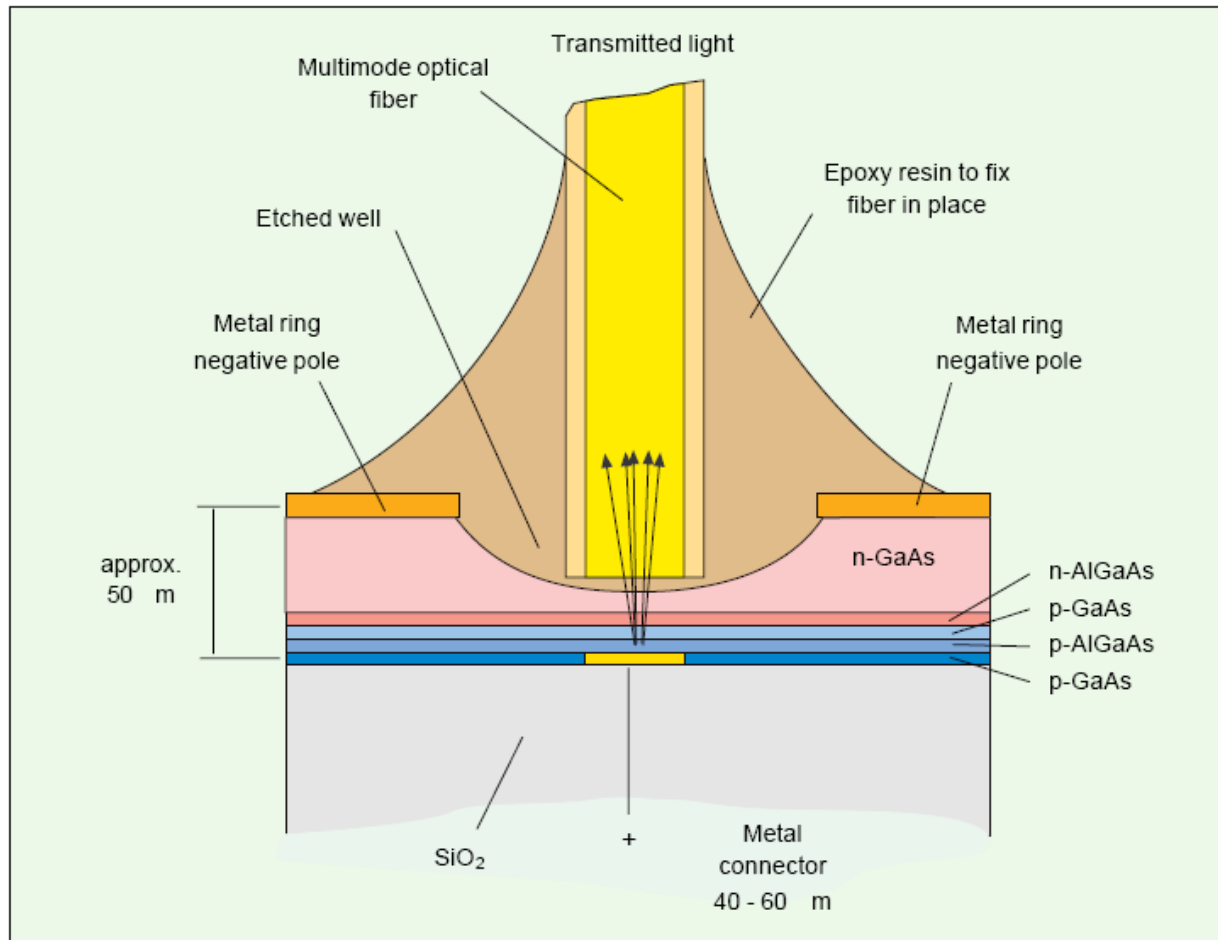


Burrus Surface Emitting LED (SLED)



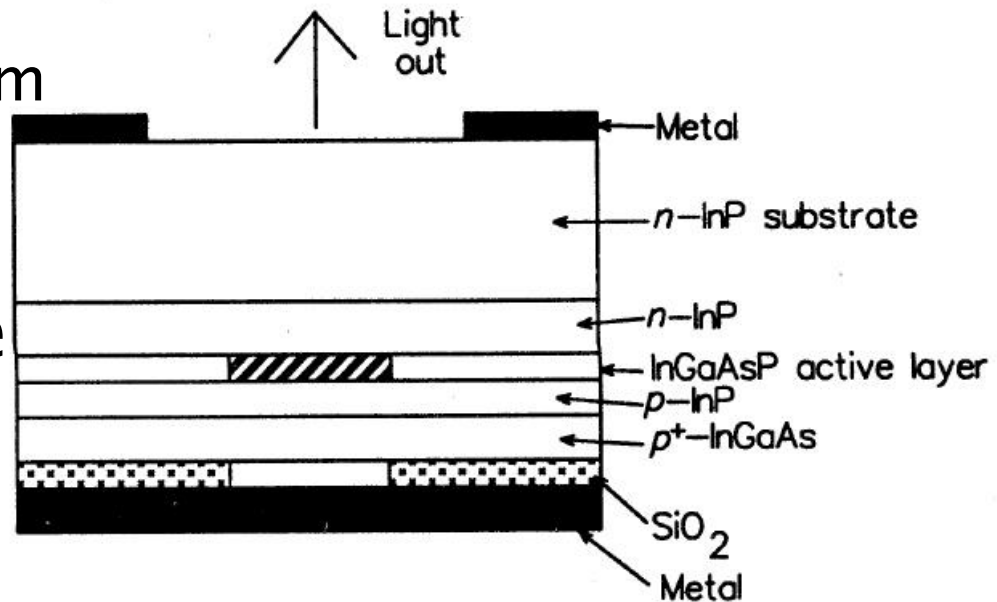
Edge Emitting LED (ELED)

# LED cu emisie de suprafață



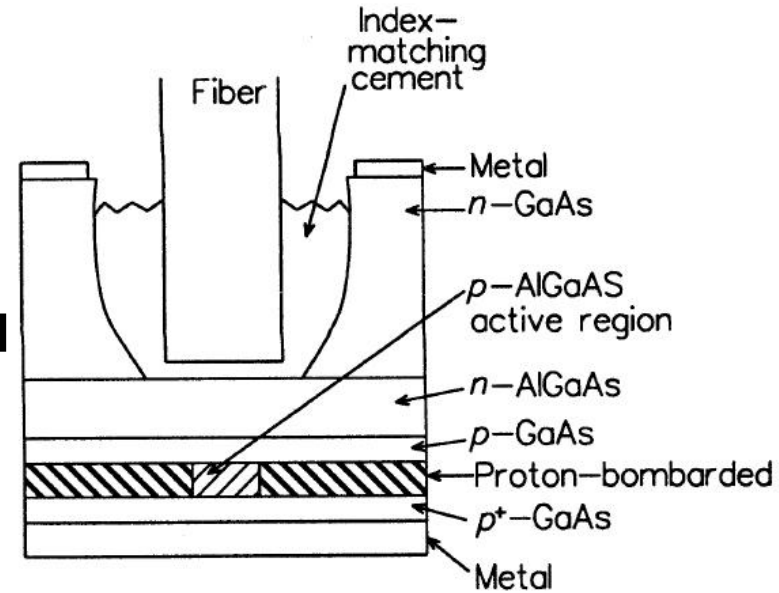
# SLED InGaAsP – constructie

- ▶ InGaAsP
- ▶ 4 straturi
  - n InP  $\sim 2 \div 5 \mu\text{m}$
  - p InGaAsP  $\sim 0.4 \div 1.5 \mu\text{m}$
  - p InP  $\sim 1 \div 2 \mu\text{m}$
  - p<sup>+</sup> InGaAs  $\sim 0.2 \mu\text{m}$
- ▶ Latimea zonei active
  - $\sim 20 \div 50 \mu\text{m}$  diametru

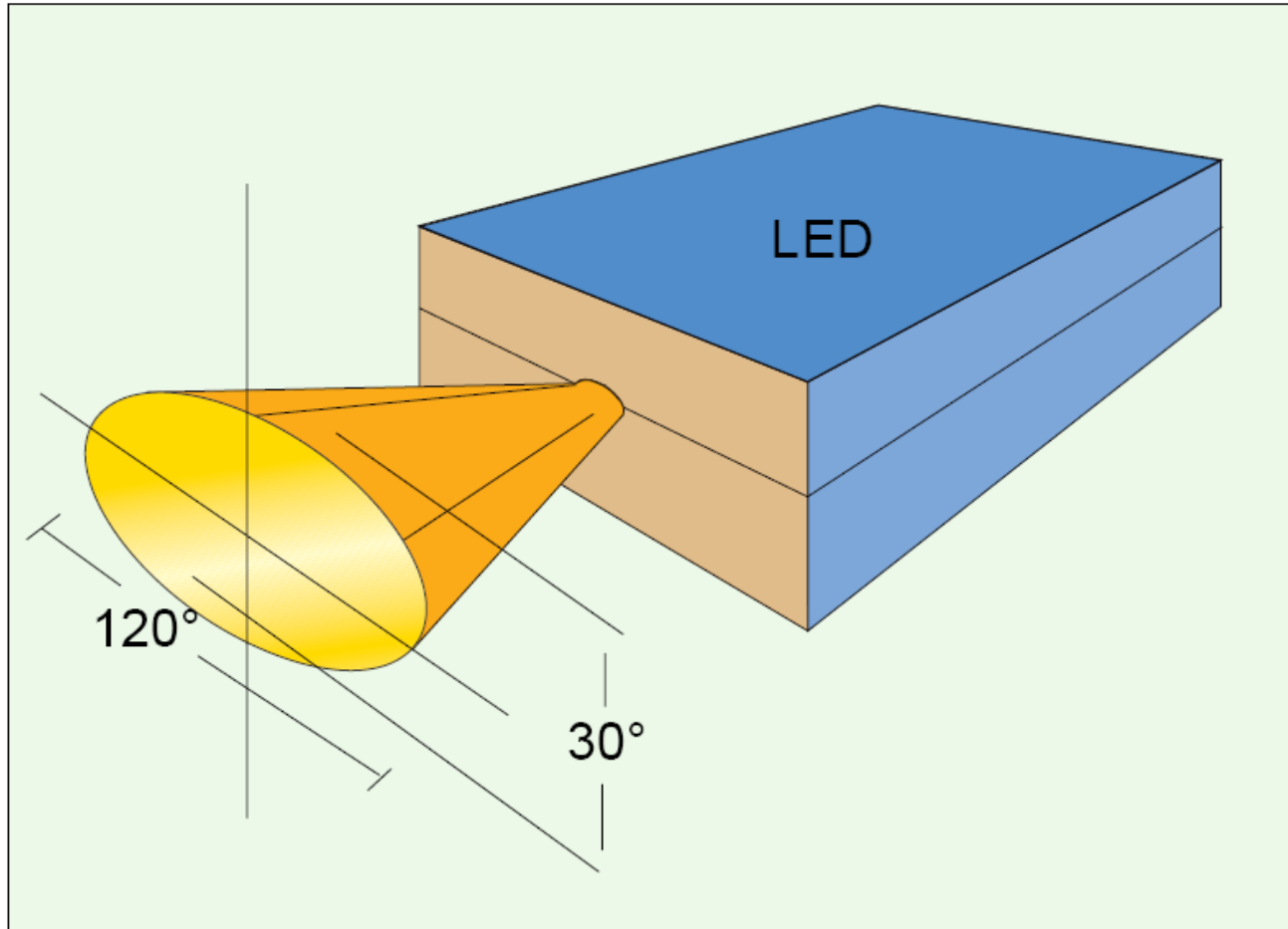


# SLED GaAlAs – constructie

- ▶ GaAlAs
- ▶ diferenta principala e data de absorbtia crescuta a substratului GaAs, care este eliminat partial pentru a permite accesul luminii spre exterior

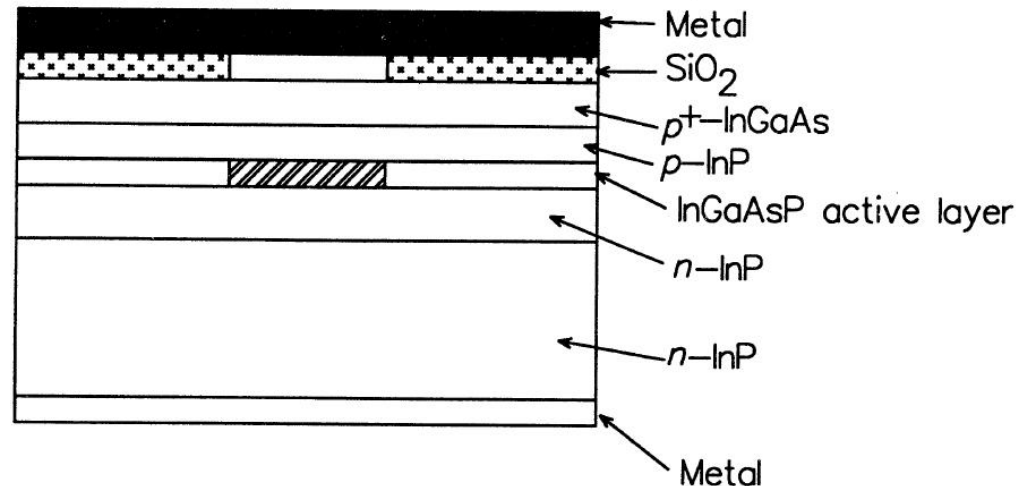


# LED cu emisie laterală



# ELED – constructie

- ▶ InGaAsP
- ▶ strict pentru comunicatii
- ▶ Cele patru straturi sunt in general similare
- ▶ Stratul activ este mult mai subtire decat la SLED  $\sim 0.05 \div 0.25 \mu\text{m}$
- ▶ Regiunea activa
  - latime  $50 \div 70 \mu\text{m}$
  - lungime  $100 \div 150 \mu\text{m}$
  - p InP  $\sim 1 \div 2 \mu\text{m}$
  - p<sup>+</sup> InGaAs  $\sim 0.2 \mu\text{m}$
- ▶ Apare concentrarea verticala a luminii



# Emisia luminii spre exterior

- ▶ Indici de refractie ridicati
  - InP  $n=3.4$
  - GaAs  $n=3.6$
- ▶ Doua probleme generate
  - pierderi prin reflexie ridicate
  - unghi critic de numai  $\sim 15^\circ$

# Emisia luminii spre exterior

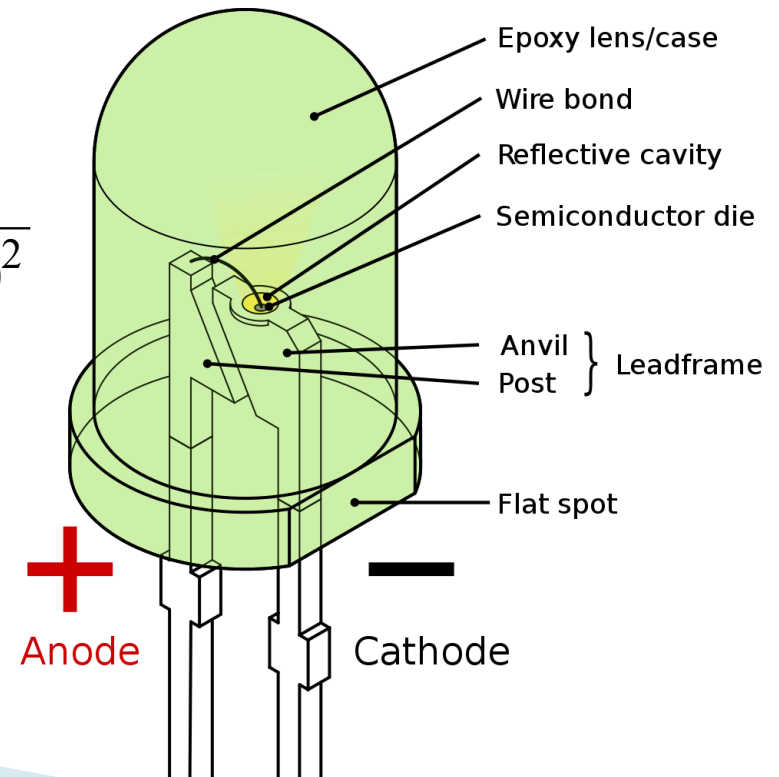
## ▶ Solutii

- utilizarea unui material intermediar pentru adaptarea indicelui de refractie (rasina epoxidica)
- adaptarea formei de iesire din dispozitiv – forma de dom

- eficienta de cuplaj :

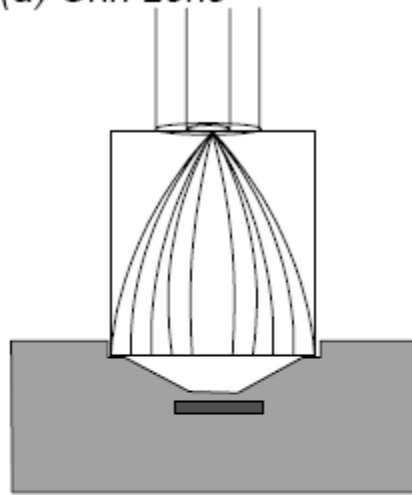
interfata plana  
semiconductor  
aer  $\frac{1}{n \cdot (n+1)^2}$

dom  $\frac{2n}{(n+1)^2}$

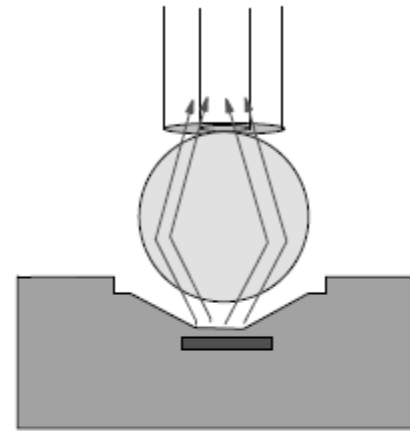


# Cuplarea luminii în fibră

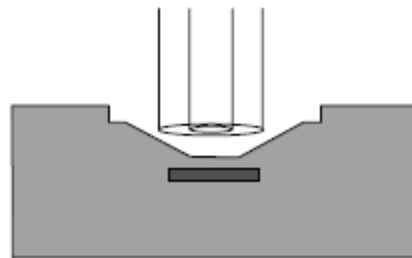
(a) Grin Lens



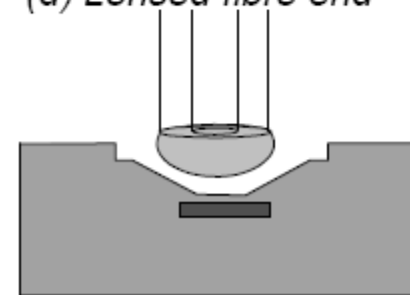
(b) Ball Lens



(c) Direct coupling



(d) Lensed fibre end



numai pentru fibre multimod cu salt de indice

# Directivitatea radiatiei exterioare

- ▶ Sursa lambertiana

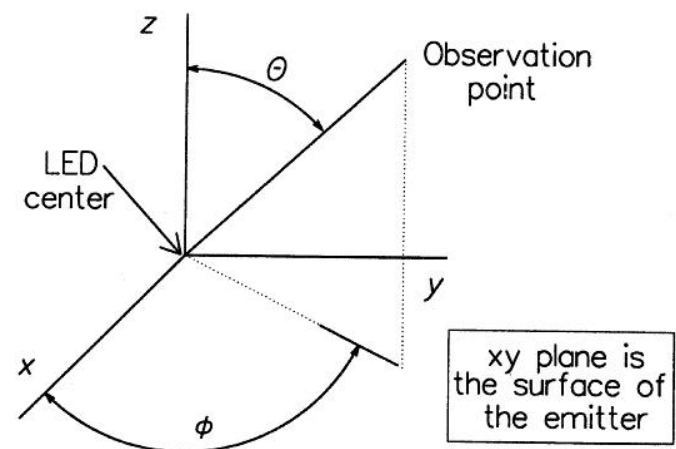
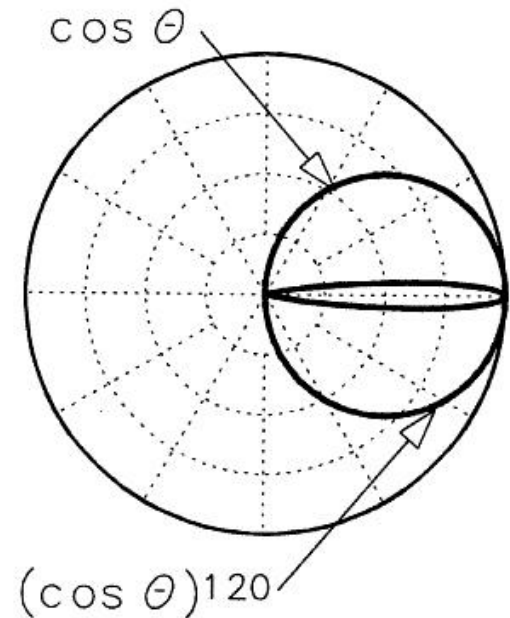
$$P(\theta) = P_0 \cdot \cos \theta$$

- ▶ Aproximatie Lambertiana pentru surse cu directivitate crescuta

$$P(\theta) = P_0 \cdot \cos^n \theta$$

- ▶ Surse cu emisie asimetrica

$$P(\theta) = \frac{P_0}{\frac{\sin^2 \phi}{\cos^T \theta} + \frac{\cos^2 \phi}{\cos^L \theta}}$$



# Directivitatea radiatiei exterioare

## ▶ SLED

- radiatia este emisa cu simetrie circulara, in interiorul unui con cu unghi la varf tipic de  $60^\circ$
- Viewing Half Angle  $\sim 10 \div 15^\circ$

## ▶ ELED

- radiatia emisa nesimetric in forma de con eliptic
  - perpendicular pe jonctiune  $\sim 60^\circ$
  - paralel cu jonctiunea  $\sim 30^\circ$

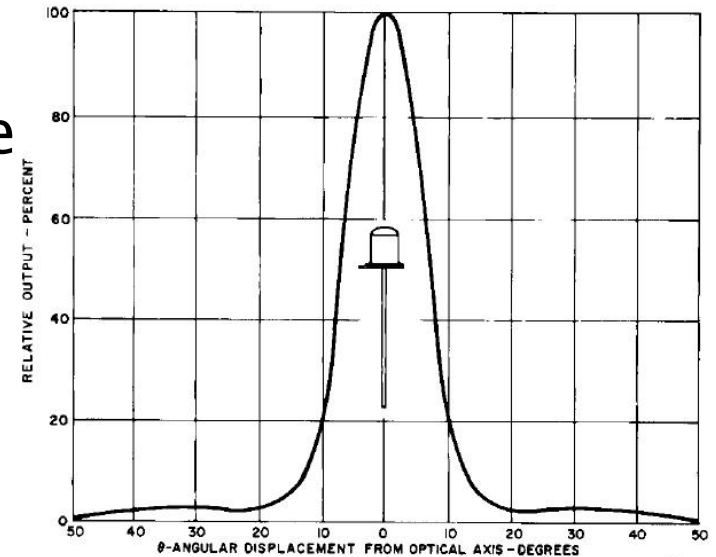
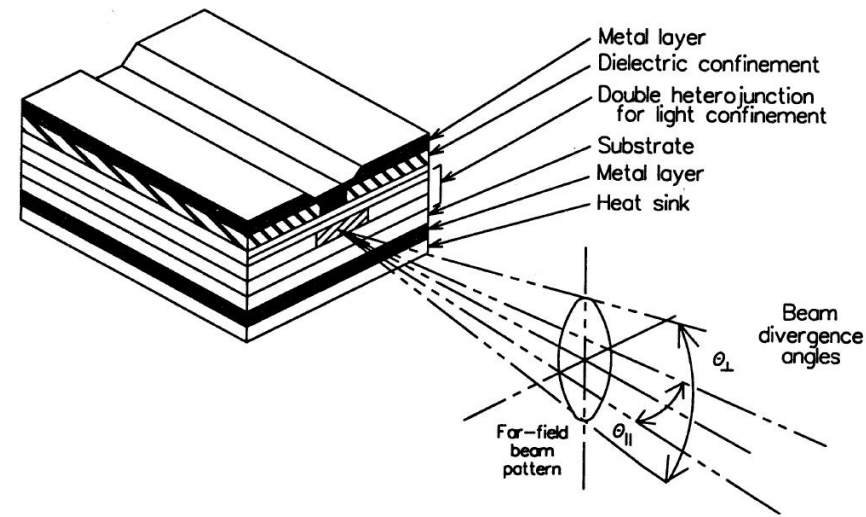
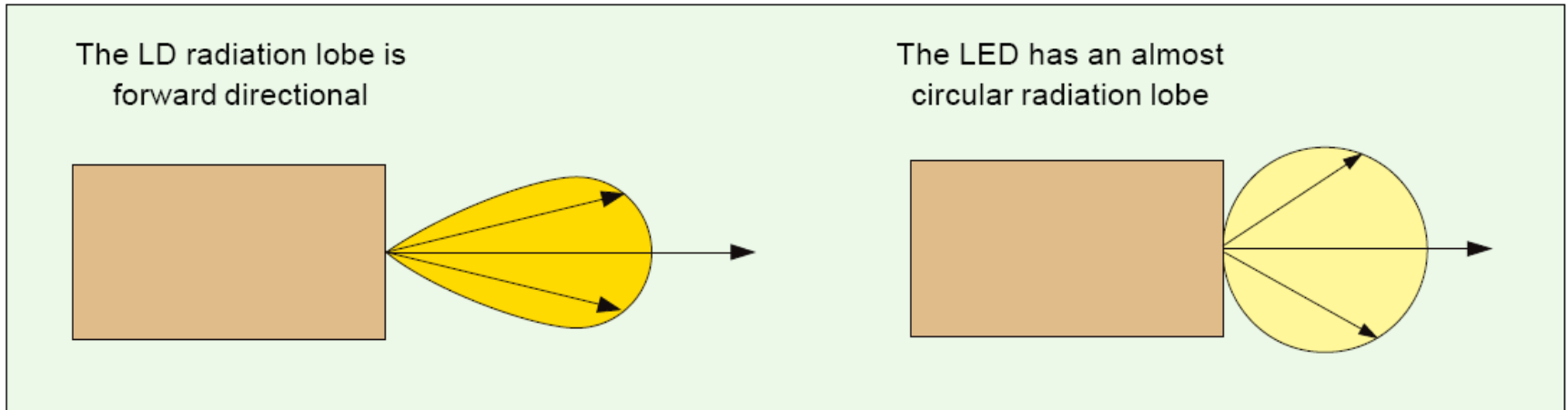


Fig. 5. Typical Radiation Pattern

ST1054

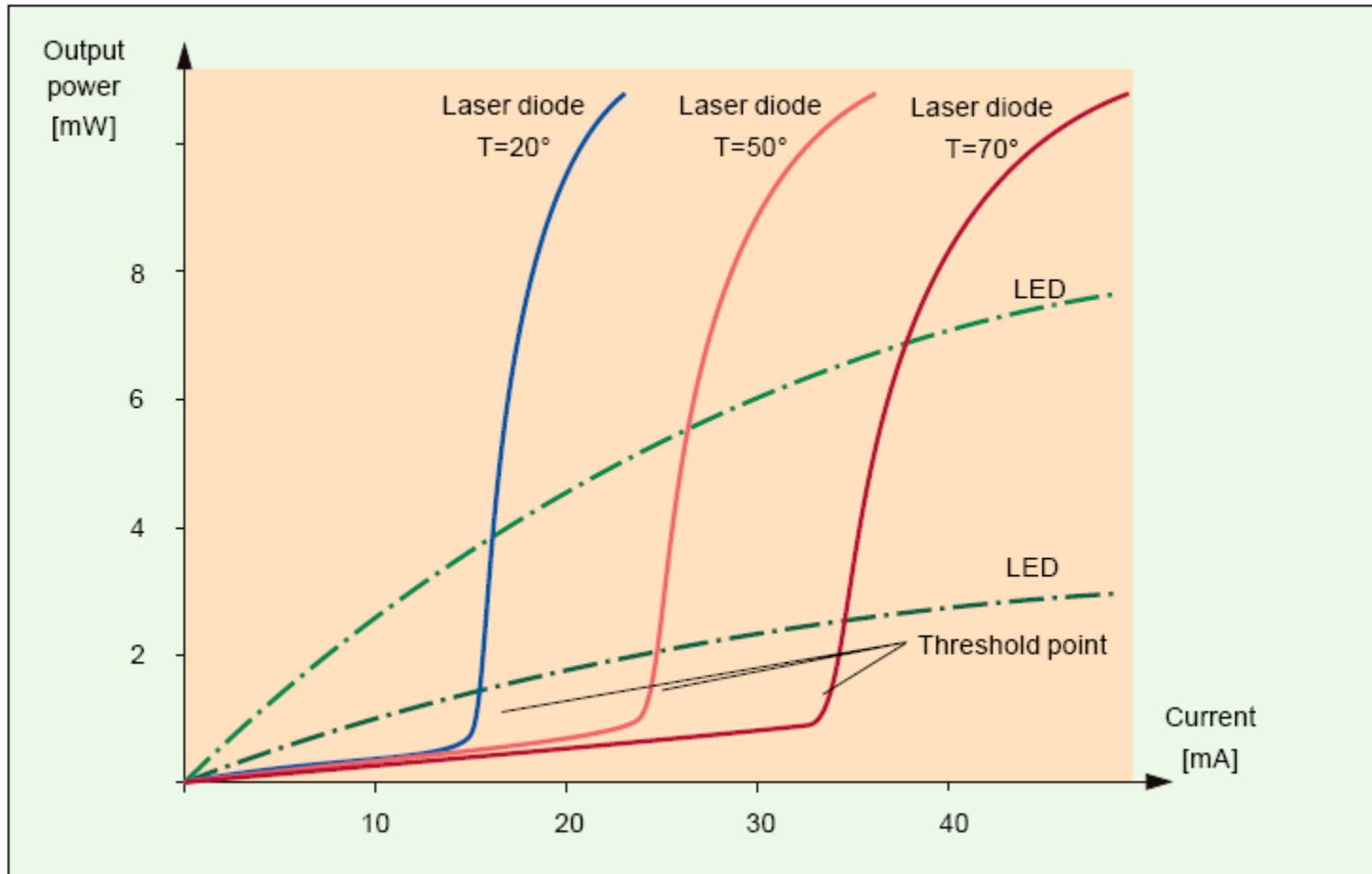


# Profil de radiație a emițătorilor optici



- ▶ Apertura numerică poate varia de la 0.9 pentru un LED de unghi foarte larg, la 0.2 pentru un LED prevăzut cu lentilă.
- ▶ Chiar și pentru un NA de 0.2, aria emisivă este mare comparativ cu a unui laser. În consecință, densitatea de putere emisă este mică astfel încât se reduce drastic puterea care poate fi cuplată într-o fibră cu indice gradat, și devine practic imposibilă cuplarea cu o fibră monomod.

# Caracteristici putere optică/curent a emițătorilor optici



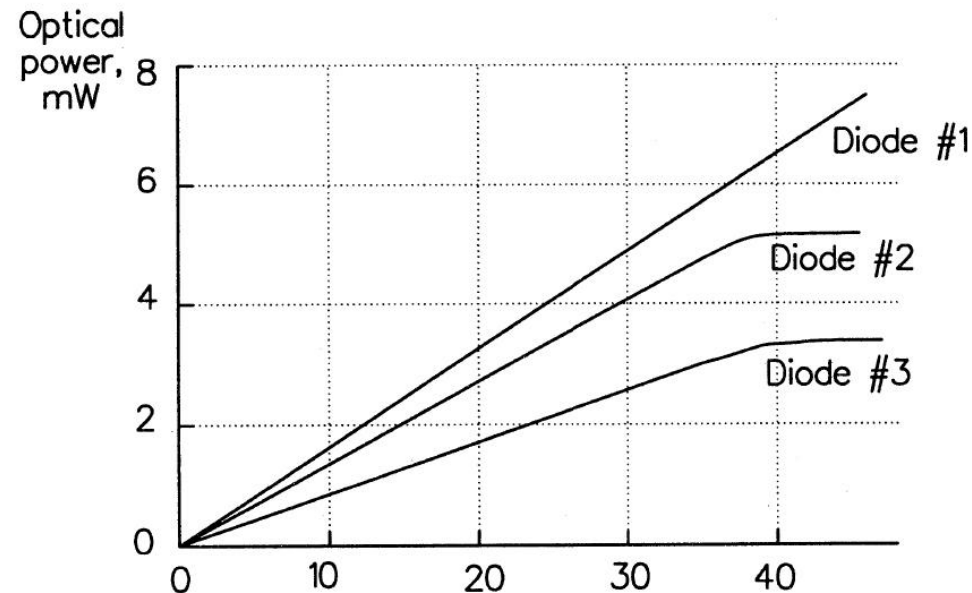
# Caracteristica de raspuns a LED-urilor

- ▶ Caracteristica putere optica emisa functie de curentul direct prin LED este liniara la nivele mici ale curentului.
- ▶ Nu exista curent de prag
- ▶ La nivele foarte mari puterea optica se satureaza

- ▶ Responzivitatea

$$r = \frac{P_o}{I} \left[ \frac{W}{A} \right]$$

- ▶ Tipic  $r = 50 \mu\text{W}/\text{mA}$



# Caracteristica de raspuns a LED-urilor

- ▶ Tipic SLED au eficienta mai buna decat ELED

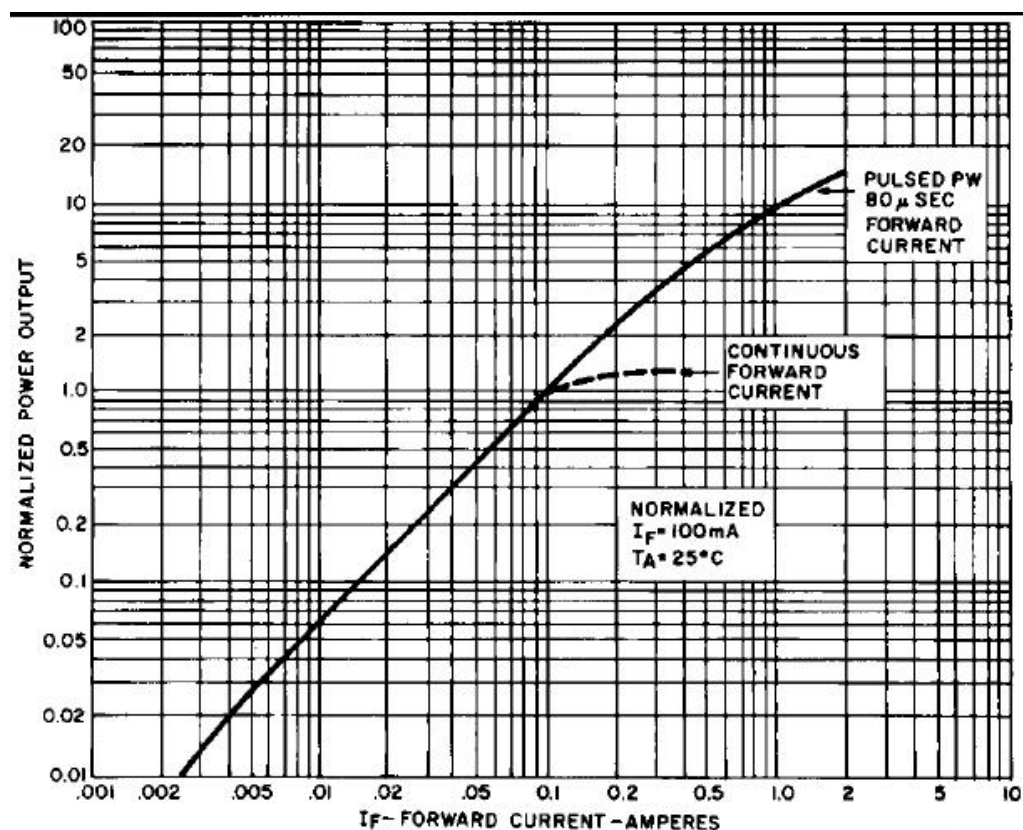
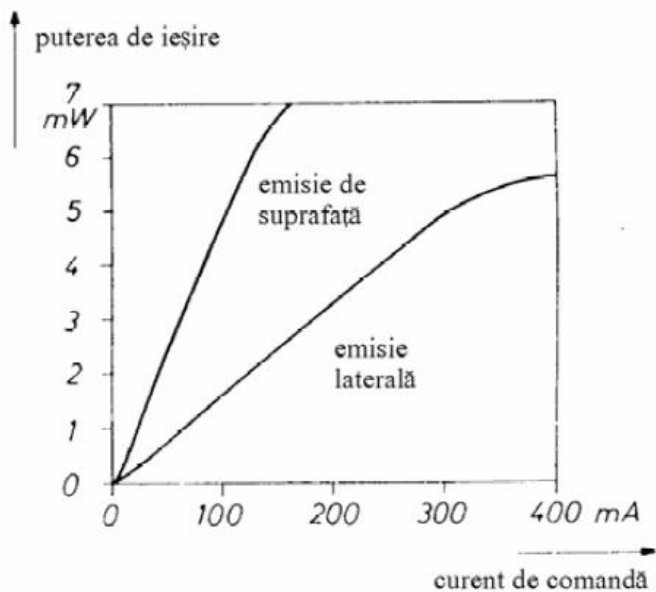


Fig. 1. Power Output vs. Input Current

ST1052

# Probleme

- ▶ Un dispozitiv de semnalizare e realizat cu 100 LED-uri care emit lungimea de undă dominantă  $\lambda_0 = 590\text{nm}$  sub un con cu unghi la vârf de  $5.2^\circ$  (emisie presupusă **uniformă** în acest con). O diodă are rezonanzivitatea de  $90\mu\text{W}/\text{mA}$  și este parcursă de un curent de  $85\text{mA}$ .
- ▶ a) Estimați intensitatea luminoasă a dispozitivului pe direcție normală.
- ▶ Dacă se consideră emisia **uniformă** în interiorul conului de emisie, fluxul optic energetic este constant în interiorul acestui con și va fi egal cu puterea optică emisă (ambele mărimi reprezintă viteze ale energiei, măsurate în W, cu diferența că puterea optică reprezintă o medie a fluxurilor emise după diferite direcții, valoarea medie a unei mărimi constante fiind egală cu acea mărime)

# Contact

- ▶ Laboratorul de microunde si optoelectronica
- ▶ <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>
- ▶ [rdamian@etti.tuiasi.ro](mailto:rdamian@etti.tuiasi.ro)