

# Optoelectronică

Curs 9

2022/2023

# Disciplina 2022/2023

- ▶ 2C/1L Optoelectronică **OPTO**
- ▶ **Minim 7 prezente curs + laborator**
- ▶ Curs – conf. **Radu Damian**
  - an IV  $\mu$ E
  - Joi 08(:**10**)-10:00, C1
  - E – 70% din nota (50%+20%)
    - **20% test (VP) la curs**, saptamana 4-6?
  - probleme + (2p prez. curs)
  - toate materialele permise
- ▶ Laborator – **sl. Daniel Matasaru**
  - an IV  $\mu$ E
    - Luni 18-20, Miercuri 11-15 par
    - Max. 7 prezente
  - L – 30% din nota (+Caiet de laborator)

# 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

# Bibliografie

- ▶ <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>
- ▶ Irinel Casian-Botez, "Structuri Optoelectronice", Ed. "CANOVA", Iasi 2001, ISBN 973-96099-2-9
- ▶ Behzad Razavi – Design of Integrated Circuits for Optical Communications, Mc Graw Hill
- ▶ John Powers – An Introduction to Fiber Optic Systems
- ▶ IBM – Understanding Optical Communications: on-line <http://www.redbooks.ibm.com>
- ▶ Radu Damian, I Casian, D Matăsaru – „Comunicatii Optice” , Indrumar de laborator, 2005
- ▶ MIT Course – Fundamentals of Photovoltaics, <https://ocw.mit.edu>

# Fotografii



## Date:

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

[Trimite email acestui student](#) | [Adauga acest student la lista \(0\)](#)

## Detalii curente

<b>Finantare</b>	Buget
<b>Bursa</b>	Fara Bursa

## Observatii



## Date:

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

[Acceseaza ca acest student](#)

## Note obtinute

Disciplina	Tip	Data	Descriere	Nota	Puncte	Obs.
<b>TW</b>			<b>Tehnologii Web</b>			
	N	17/01/2014	Nota Finala	10	-	
	A	17/01/2014	Colocenta 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		



## Date:

<b>Grupa</b>	5304 (2015/2016)
<b>Specializarea</b>	Tehnologii si sisteme de telecomunicatii
<b>Marca</b>	5244

[Trimite email acestui student](#) | [Adauga acest student la lista \(0\)](#)

## Detalii curente

<b>Finantare</b>	Buget
<b>Bursa</b>	Bursa de Studii

## Observatii

# Bonus

**Disciplina:** Optoelectronica, structuri, tehnologii, circuite  
**An:** 2015/2016

Bonus-uri care se aplica la nota de la teza obtinute prin:

- prezenta la curs (0.5p / 3pr)
- 3 miniteste aplicate la curs (max. 3 X 1.5p)
- contributie la site rf-opto (foto <C5=1p, >C5=0.5p)

Nr.	Student	Grupa	Prezente curs	Bonus prezenta	Bonus foto	Bonus T1	Bonus T2	Bonus T3	Total Bonus	Obs.
1	<a href="#">CIOLPAN OCTAVIAN</a>	5306	3	0.5					0.5	-
2	<a href="#">NITA COSTEL-CATALIN</a>	5307	4	0.5	1				1.5	-
3	<a href="#">BARON BOGDAN-IONUT</a>	5405	12	2	1	0.5		0.75	4.25	-

## Prezenta

[Curs](#)  
[Laborator](#)

## Liste

[Studenti care nu pot intra in examen](#)  
[Bonus-uri acumulate](#)

- ▶ **Minim** 7 prezente
- ▶ 0.5p/3(2)prez
- ▶ 3 teste
- ▶ foto <C3 / <C5

# Fibra optică

## Capitolul 4

# Aplicatii majore

## ▶ Comunicatii

- Infrarosu (InGaAsP)

## ▶ Vizibil

- Spectru vizibil (GaAlAs)

## ▶ Iluminare

- Putere ridicata, lumina alba (GaInN)

## ▶ Energie solara

- Efect fotovoltaic (Si)

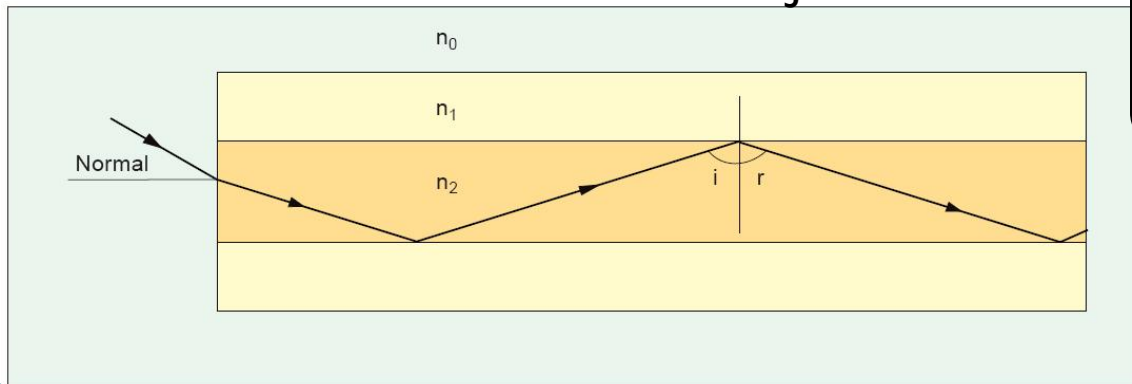
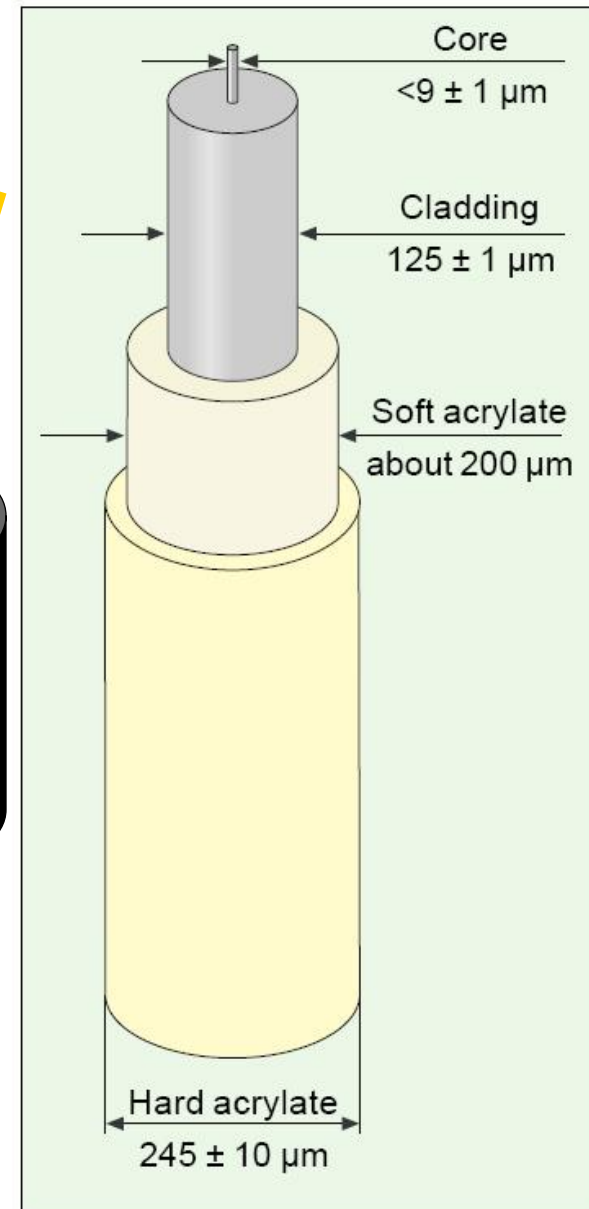
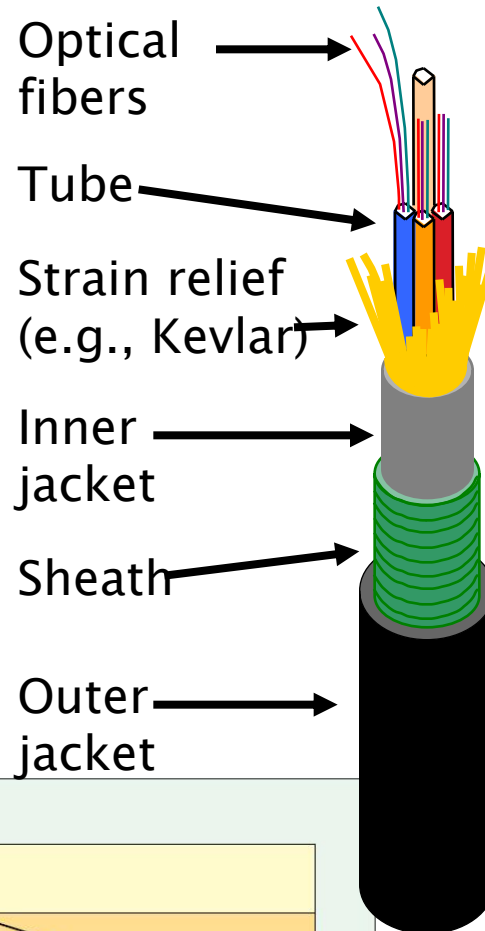


# Cuprins

- ▶ **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 )

# Fibra optica

- ▶ un ghid de unda dielectric
  - miez
  - teaca



# Unghi de acceptanta, apertura numerica

- ▶ Unghi de acceptanta

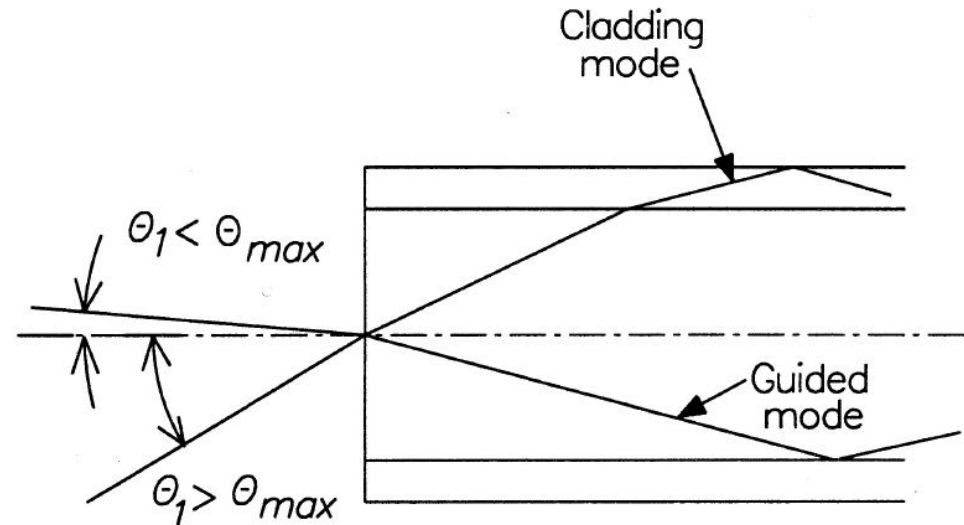
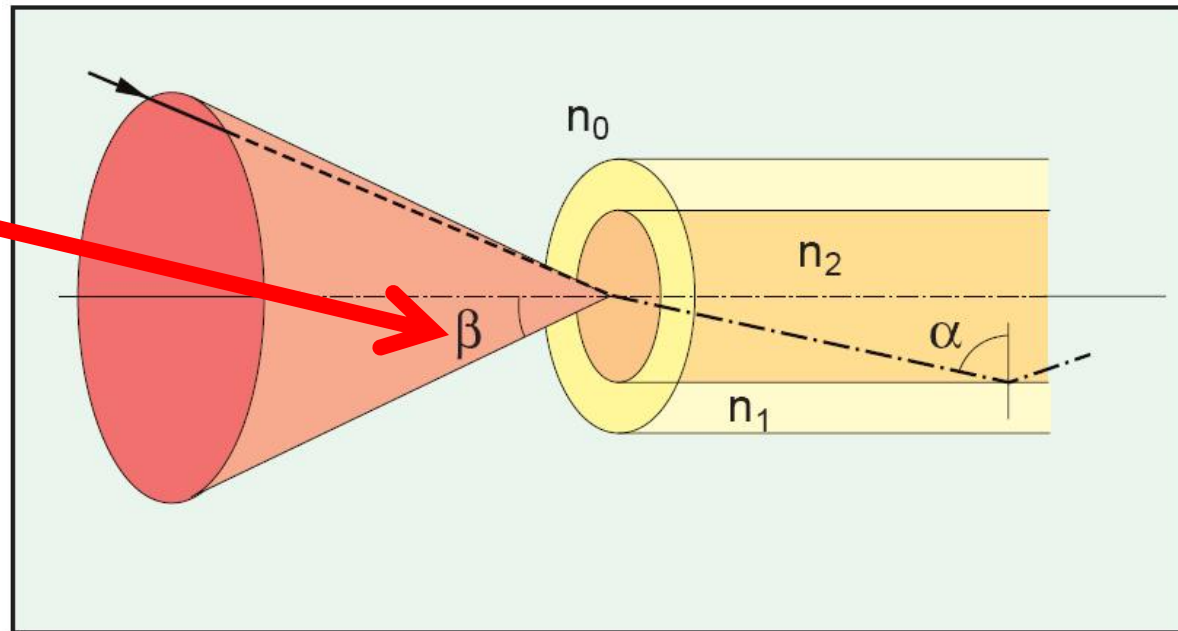
$$n_0 \cdot \sin \theta_{ACC} = n_2 \cdot \sin \phi_c$$

- ▶ **Apertura numerica**

$$NA = n_0 \cdot \sin \theta_{ACC}$$

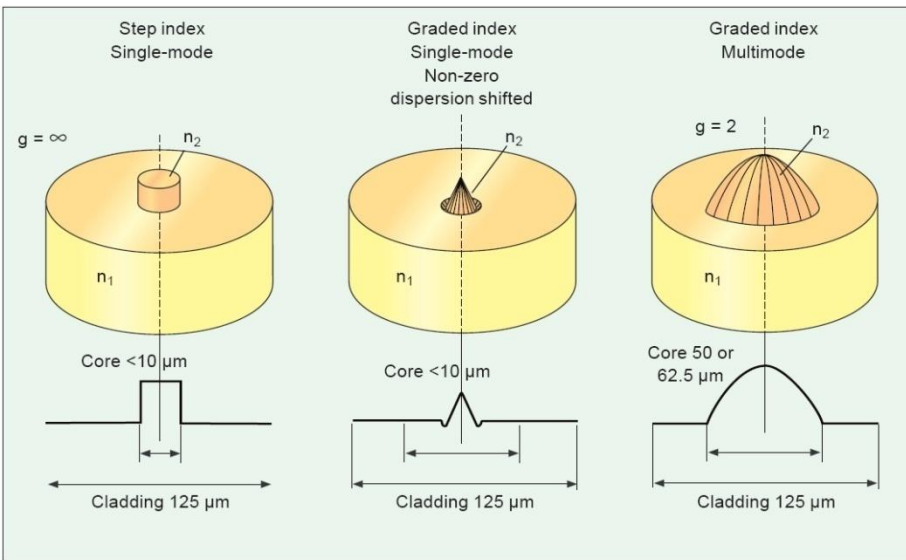
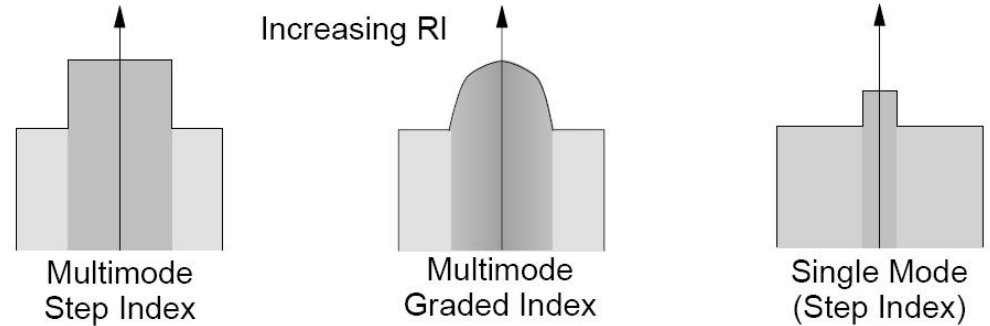
$$NA = n_2 \sqrt{\frac{n_2^2 - n_1^2}{n_2^2}} = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$$

$n_2$  - miez  
 $n_1$  - teaca  
 **$n_2 > n_1$  !!**

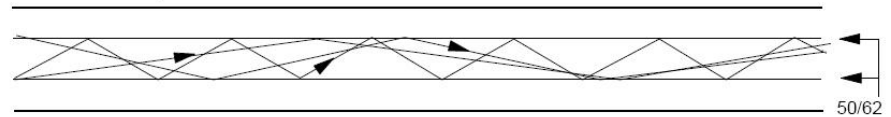


# Tipuri de fibra

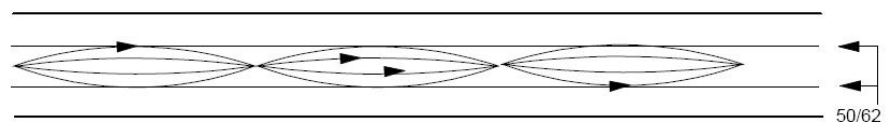
- ▶ Monomod
- ▶ Multimod
  - cu salt de indice
  - cu indice gradat



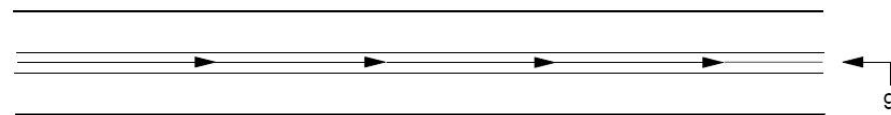
Multimode Step Index



Multimode Graded Index



Single Mode



# Fenomene de interes

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

# Reprezentare logaritmică

$$\text{Pierderi [dB]} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$$

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

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

$$0 \text{ dB} = 1$$

$$0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW}$$

$$+ 0.1 \text{ dB} = 1.023 (+2.3\%)$$

$$3 \text{ dBm} = 2 \text{ mW}$$

$$+ 3 \text{ dB} = 2$$

$$5 \text{ dBm} = 3 \text{ mW}$$

$$+ 5 \text{ dB} = 3$$

$$10 \text{ dBm} = 10 \text{ mW}$$

$$+ 10 \text{ dB} = 10$$

$$20 \text{ dBm} = 100 \text{ mW}$$

$$-3 \text{ dB} = 0.5$$

$$-3 \text{ dBm} = 0.5 \text{ mW}$$

$$-10 \text{ dB} = 0.1$$

$$-10 \text{ dBm} = 100 \mu\text{W}$$

$$-20 \text{ dB} = 0.01$$

$$-30 \text{ dBm} = 1 \mu\text{W}$$

$$-30 \text{ dB} = 0.001$$

$$-60 \text{ dBm} = 1 \text{ nW}$$

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

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

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

# Calculul atenuarii

$$\text{Pierderi} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

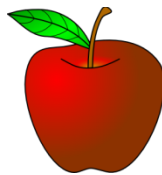
$$\text{Pierderi [dB]} = [-] 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$\text{Pierderi [dB]} = [-] 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_0} \cdot \frac{P_0}{P_{in}} \right) = [-] 10 \cdot \left[ \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_0} \right) - \log_{10} \left( \frac{P_{in}}{P_0} \right) \right]$$

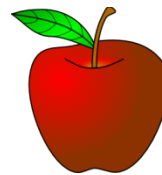
$$\text{Pierderi [dB]} = [-] (P_{out} [\text{dBm}] - P_{in} [\text{dBm}])$$



=



-



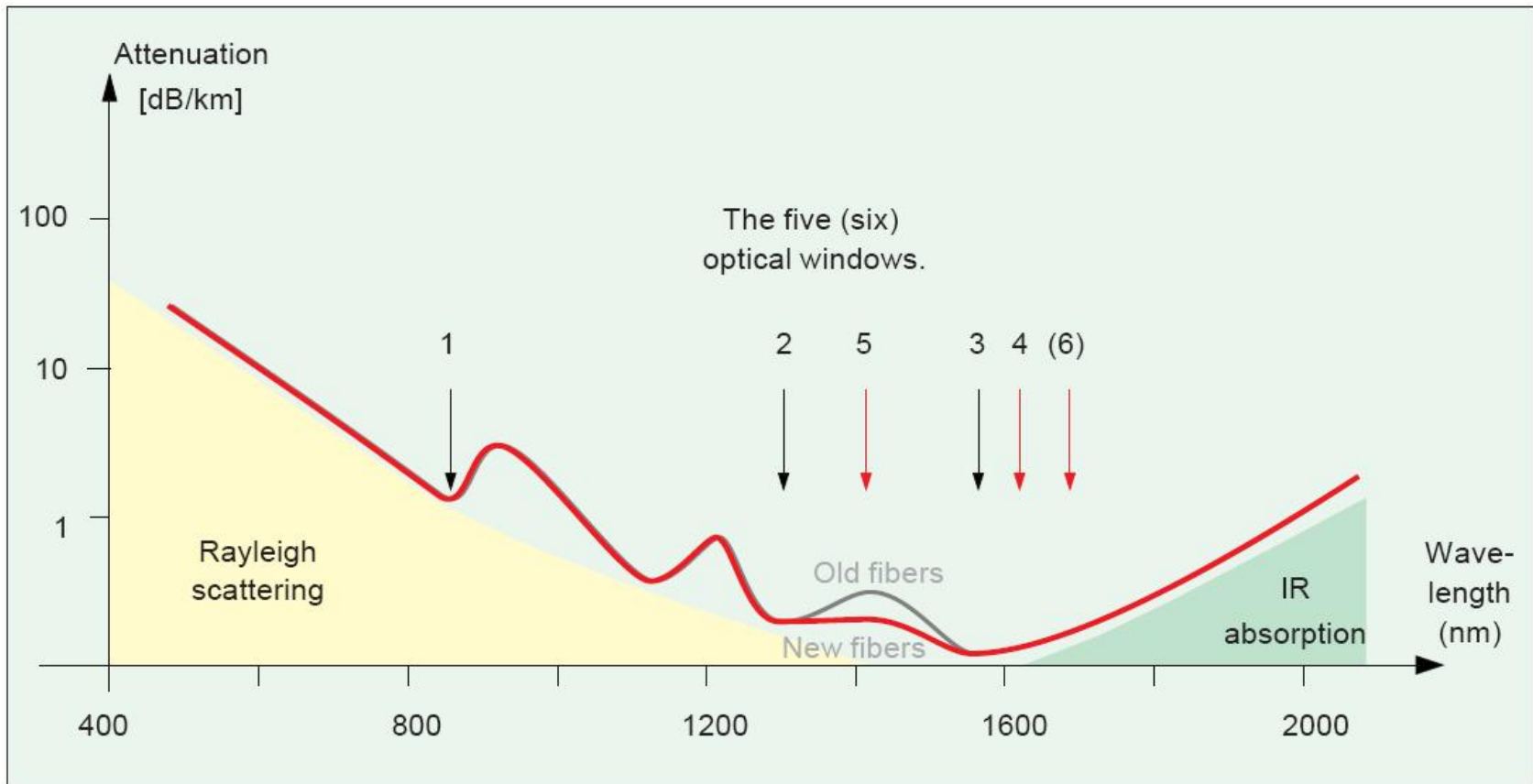
$$\text{Atenuare [dB/km]} = \frac{\text{Pierderi [dB]}}{\text{lungime [km]}}$$

# 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



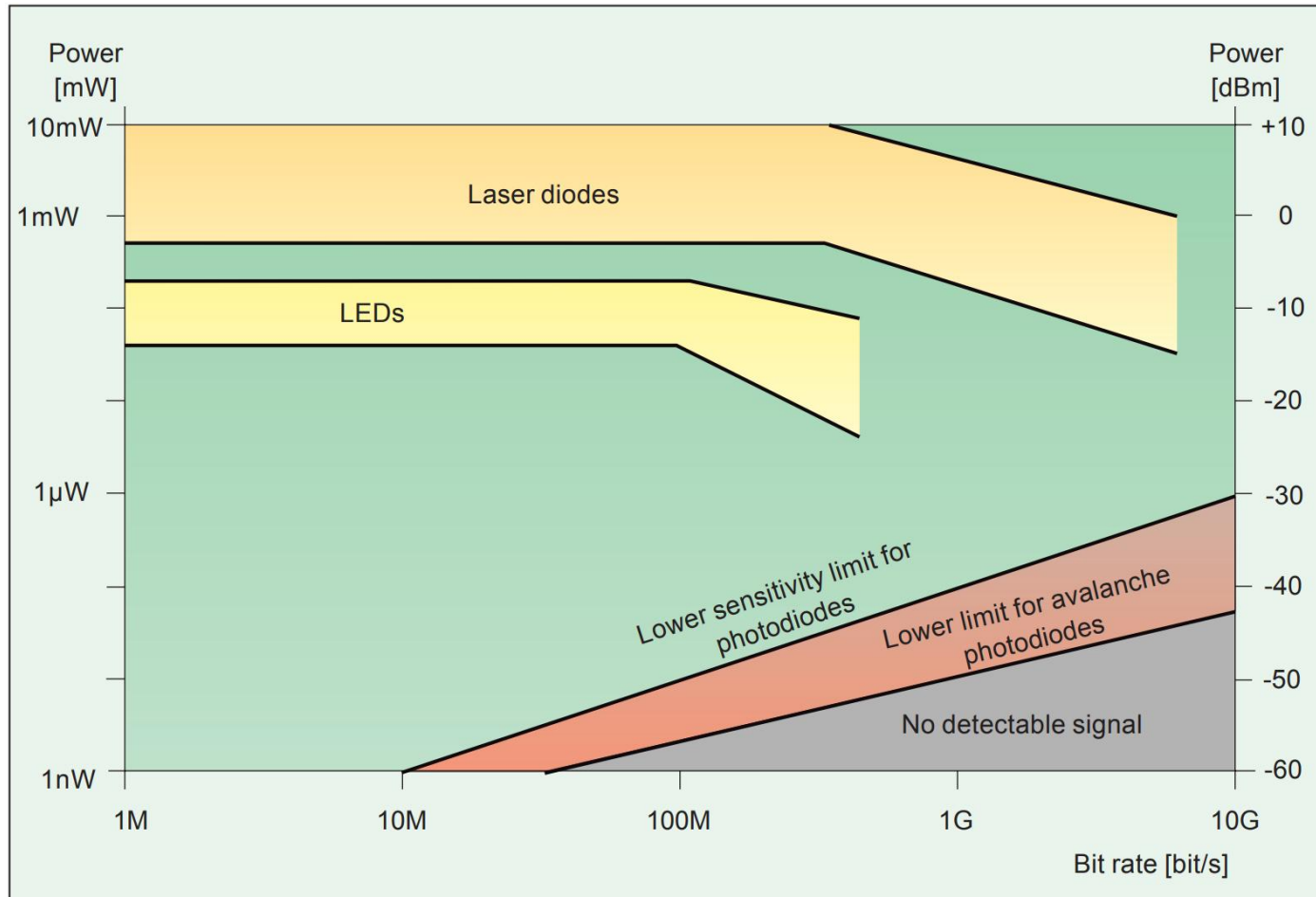
# Absorbtie



**distribuit, material, dB/km**

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

# Limite putere/bandă a dispozitivelor optoelectronice



# Fenomene de interes

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

# 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

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

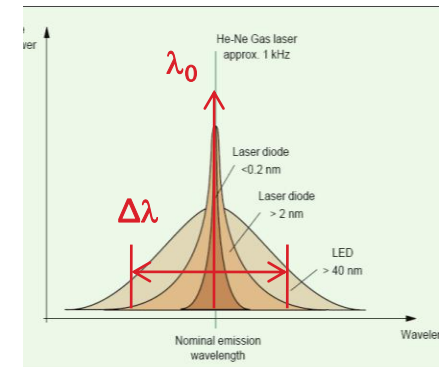
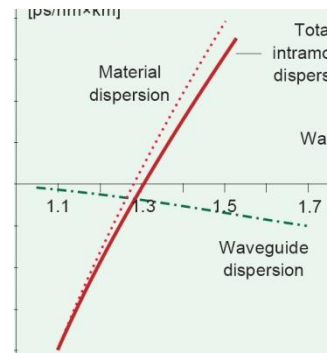
$$\Delta = 0.01 \div 0.02 \ll 1$$

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

## ▶ Dispersia cromatica

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

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



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

# Produs Banda · Distanta

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

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

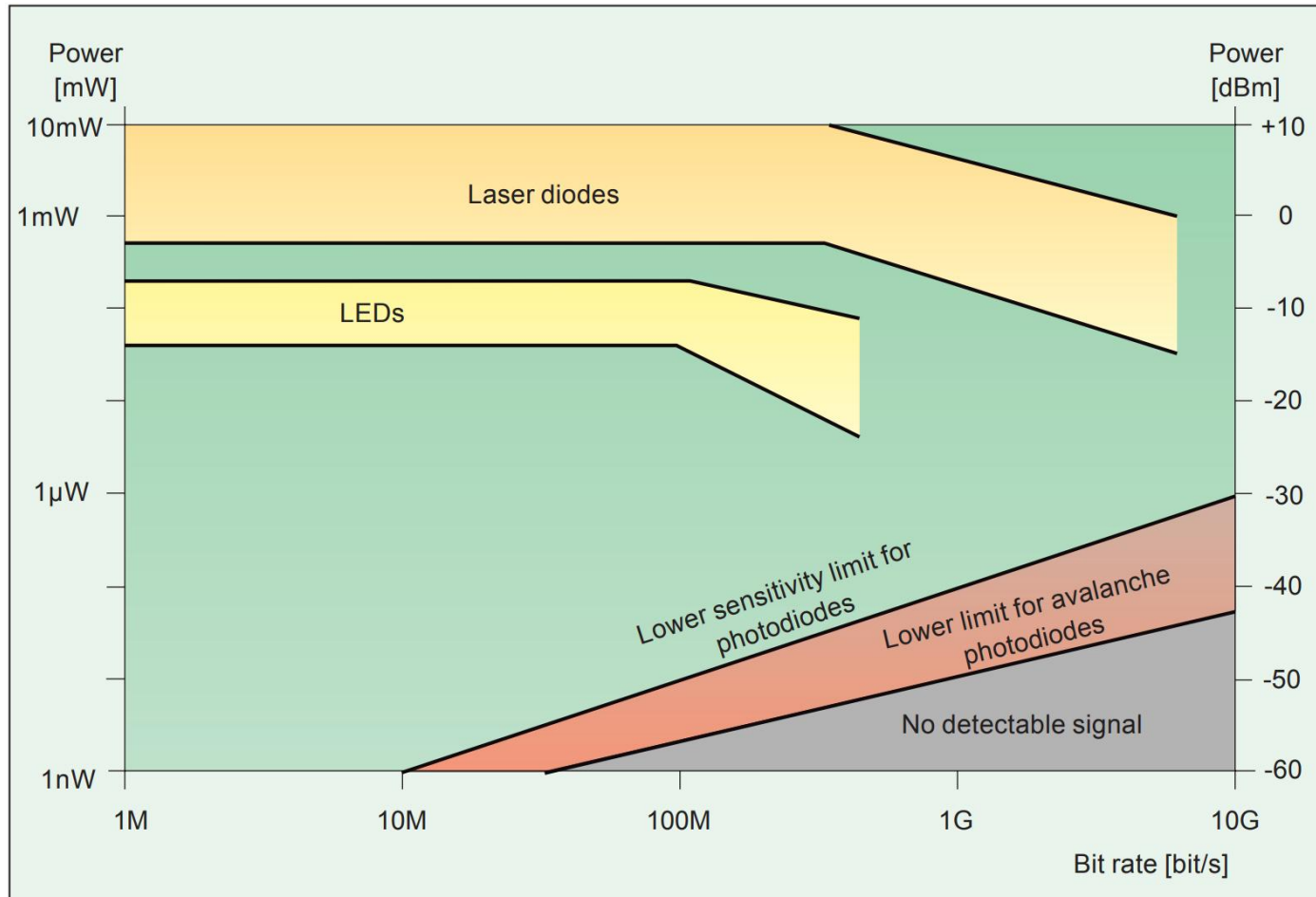
$$\Delta\tau_{\text{tot}} \sim L$$

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

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

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

# Limite putere/bandă a dispozitivelor optoelectronice



# Dimensionarea unei legături pe fibra optică

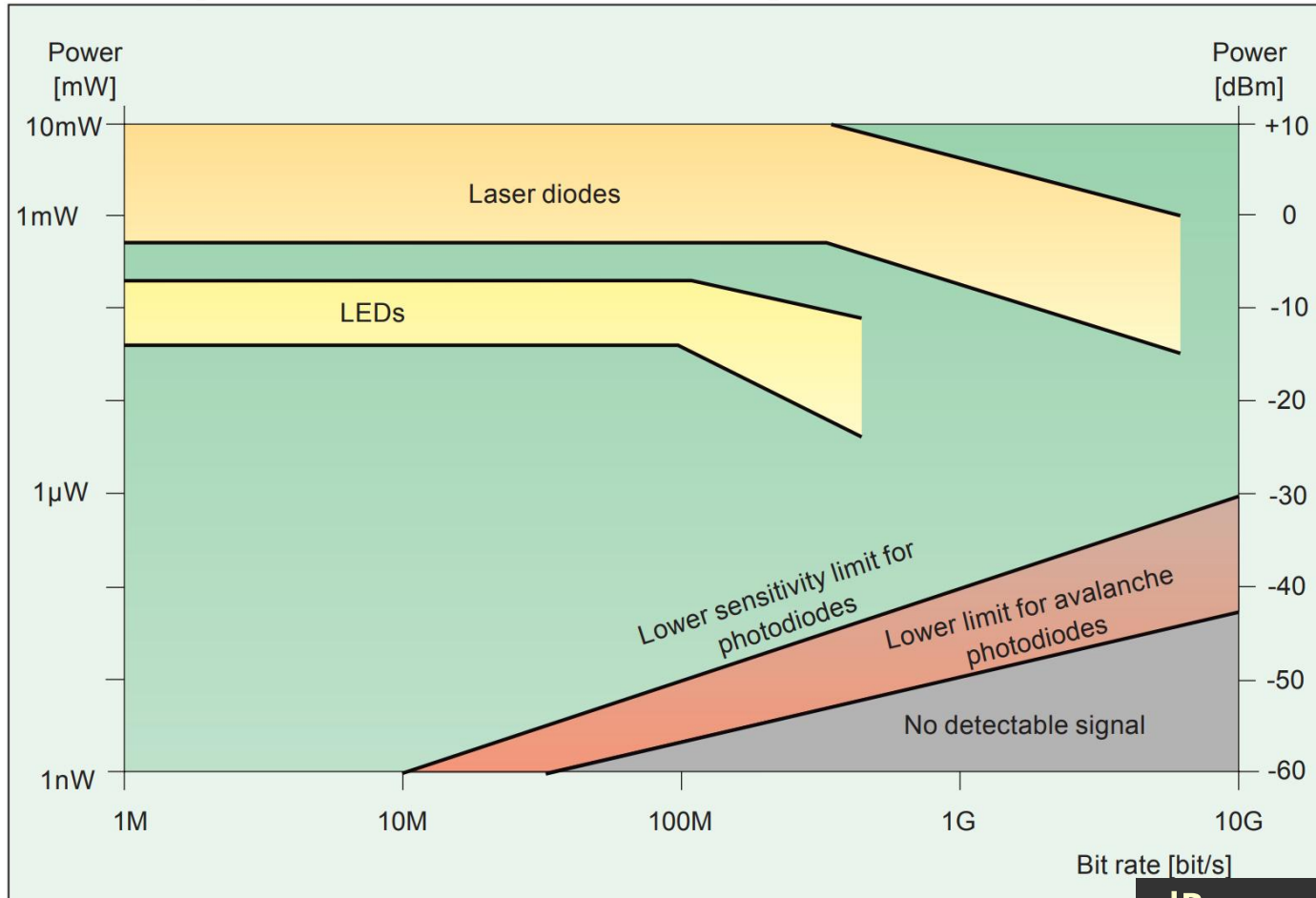
Capitolul 6

# 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)
- ▶ **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 )



# Limite putere/bandă a dispozitivelor optoelectronice

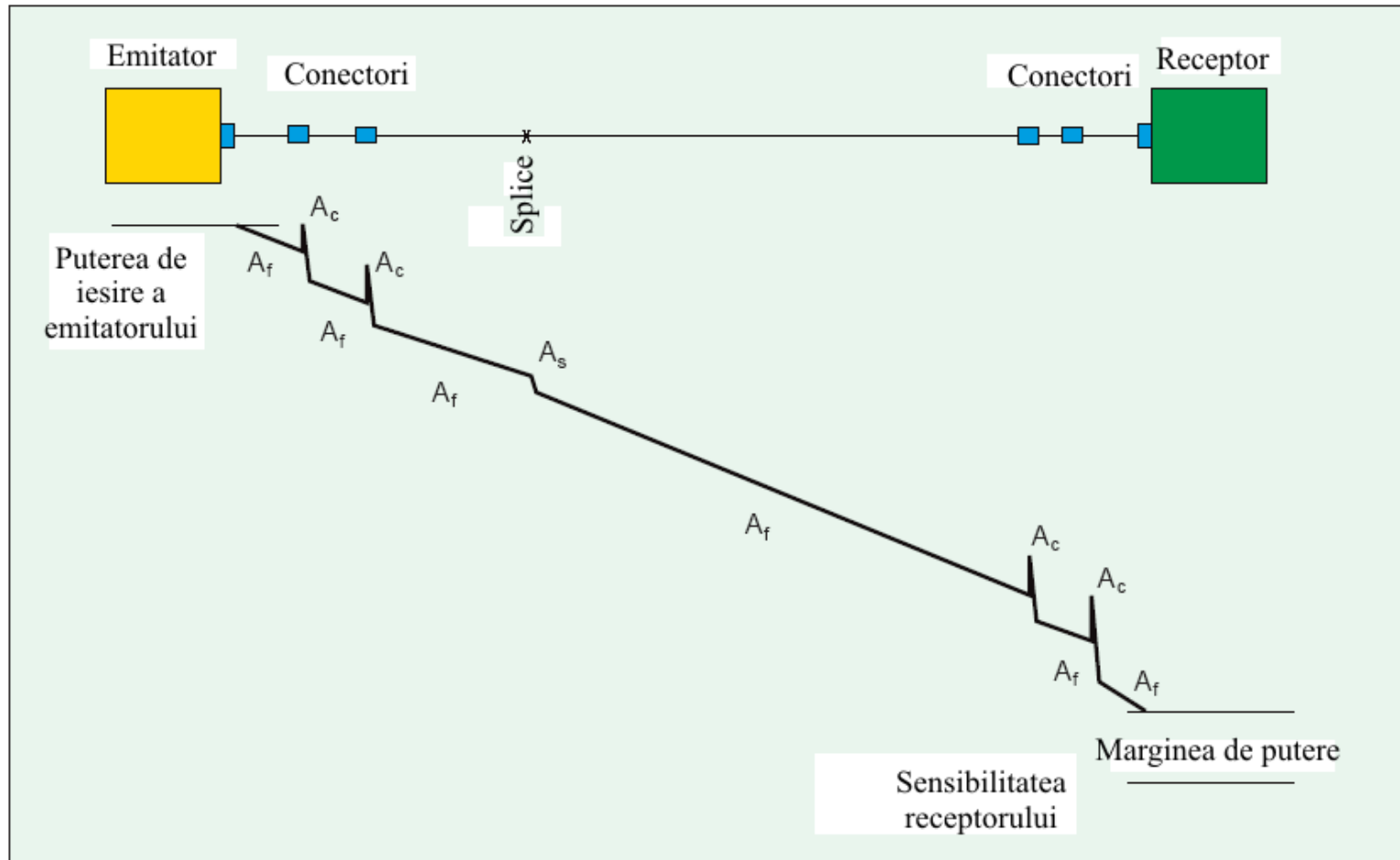


$$\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} (P_2 / P_1)$$

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

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

# Legatura pe fibra optica

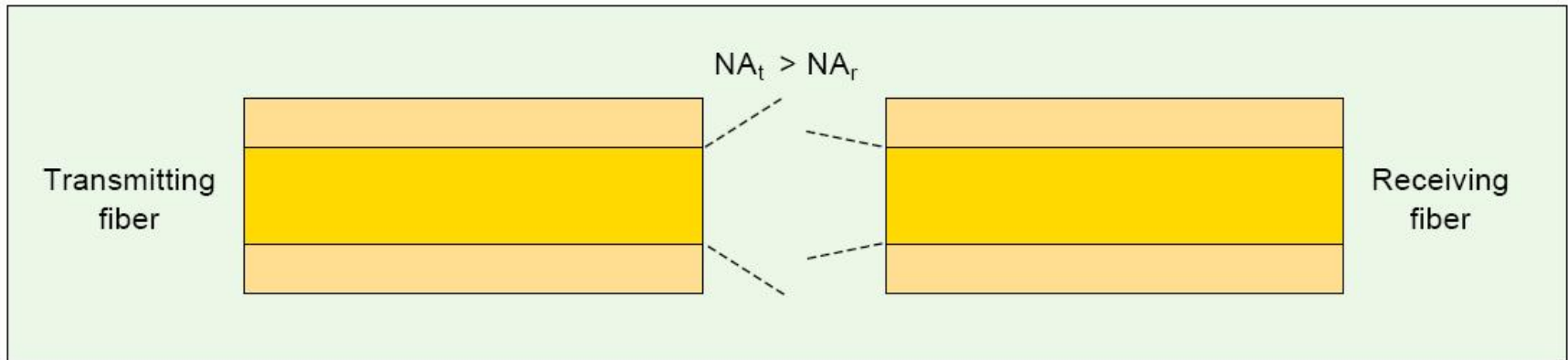


# Atenuare

- ▶ 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

# Pierderi – Apertura numerica

- ▶ **Numai** la trecerea de la apertura numerica mai mare la apertura numerica mai mica



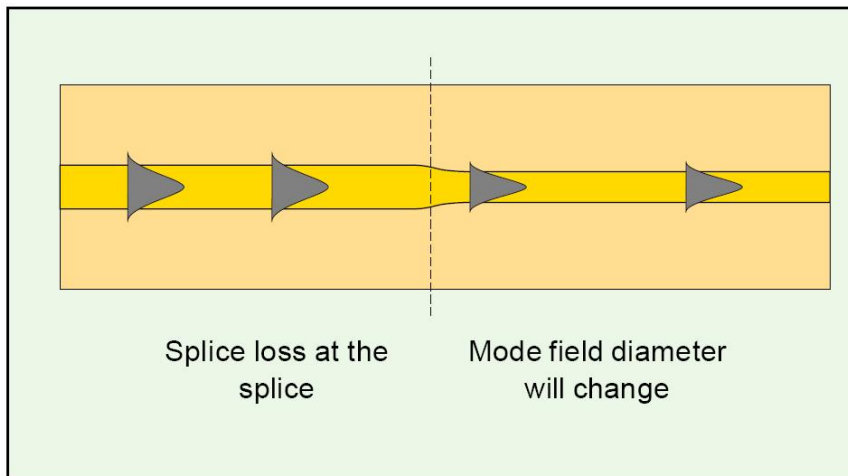
$$\text{Atenuare}_{NA} [\text{dB}] = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{NA_r}{NA_t} \right)^2$$

numai pentru  $NA_r < NA_t$

$$\text{Atenuare}_{NA} [\text{dB}] > 0$$

# Pierderi – Diametrul miezului

- ▶ **Numai** la trecerea de la diametru mai mare la diametru mai mic (multimod)
- ▶ **Bidirectional** (monomod)



- ▶ multimod

$$\text{Atenuare}_\Phi [\text{dB}] = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\phi_r}{\phi_t} \right)^2$$

numai pentru  $\Phi_r < \Phi_t$

- ▶ monomod

$$\text{Atenuare}_\Phi [\text{dB}] = -20 \cdot \log_{10} \left( \frac{2 \cdot w_1 \cdot w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)$$

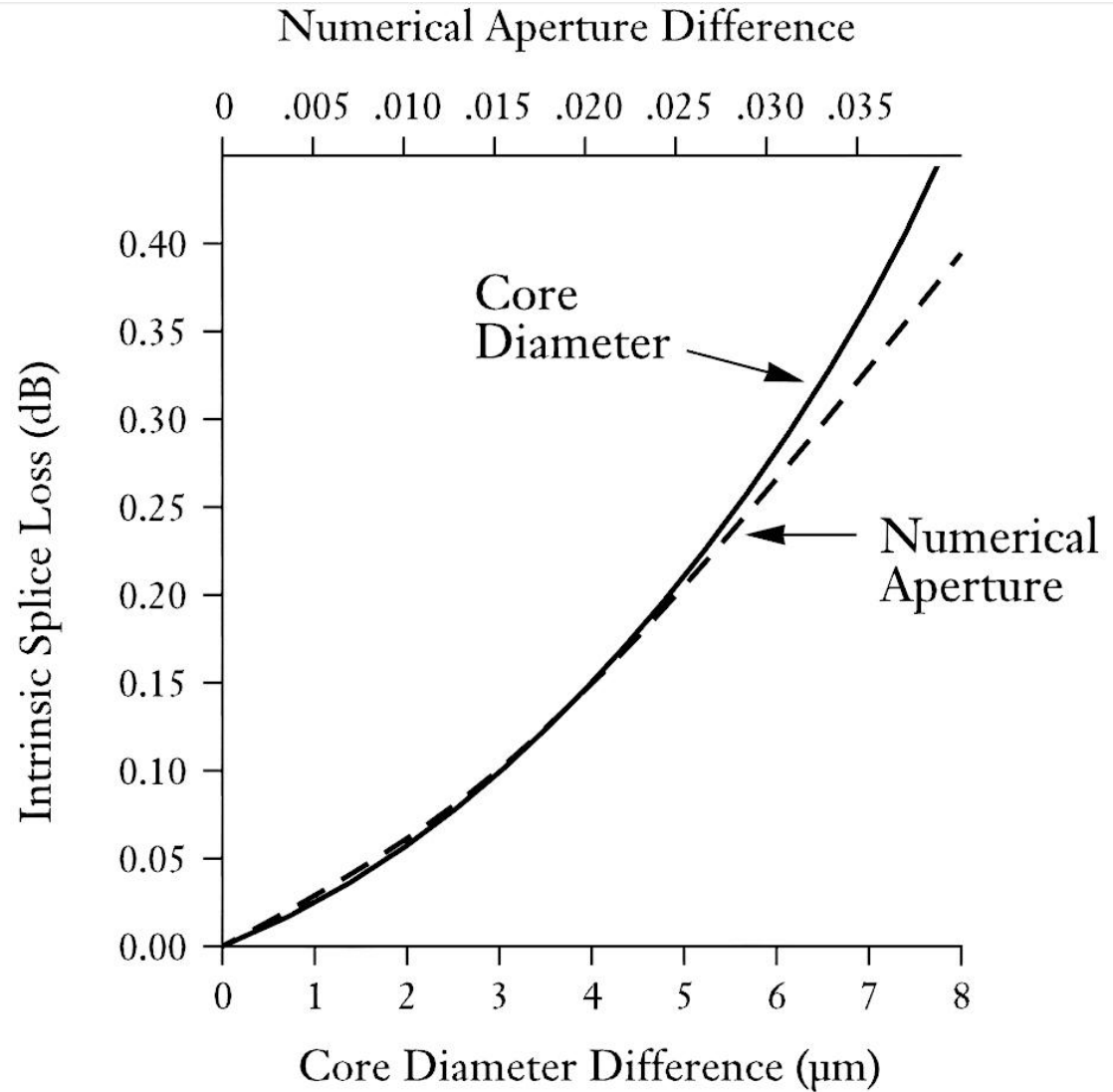
bidirectional  $\forall w_1, w_2$

**w = MFD !!**

$$\text{Atenuare}_\Phi [\text{dB}] > 0$$

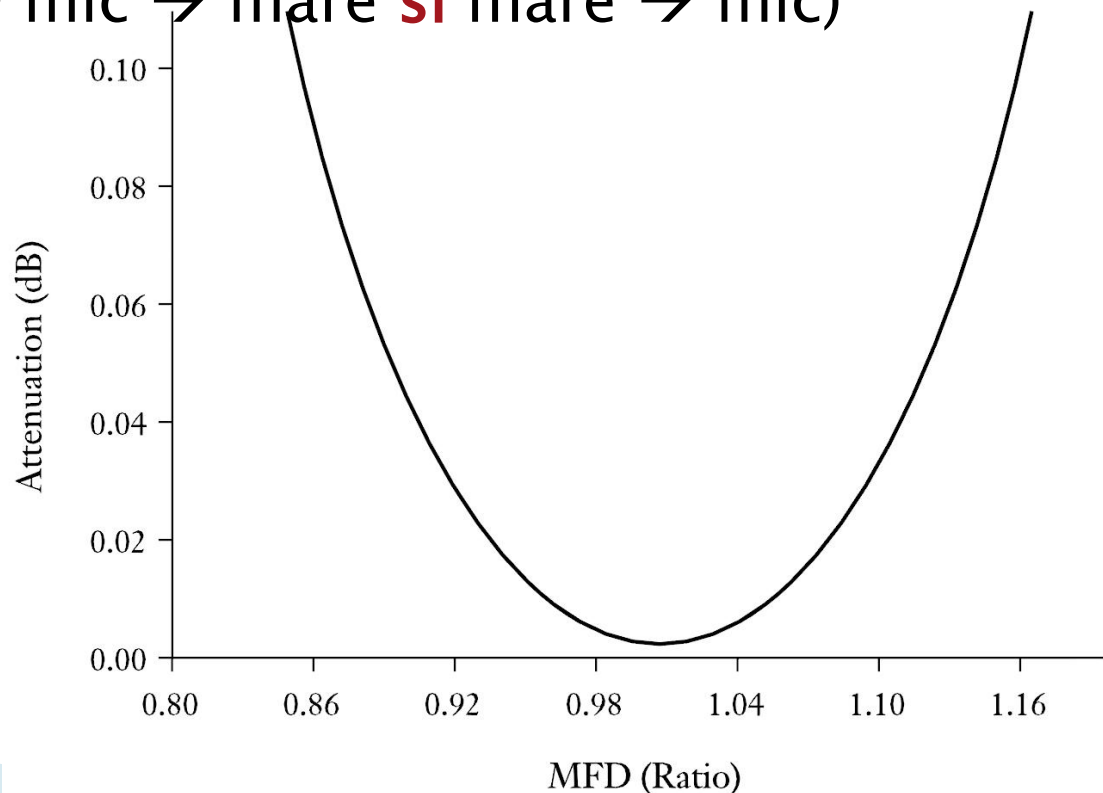
# Pierderi

- ▶ multimod



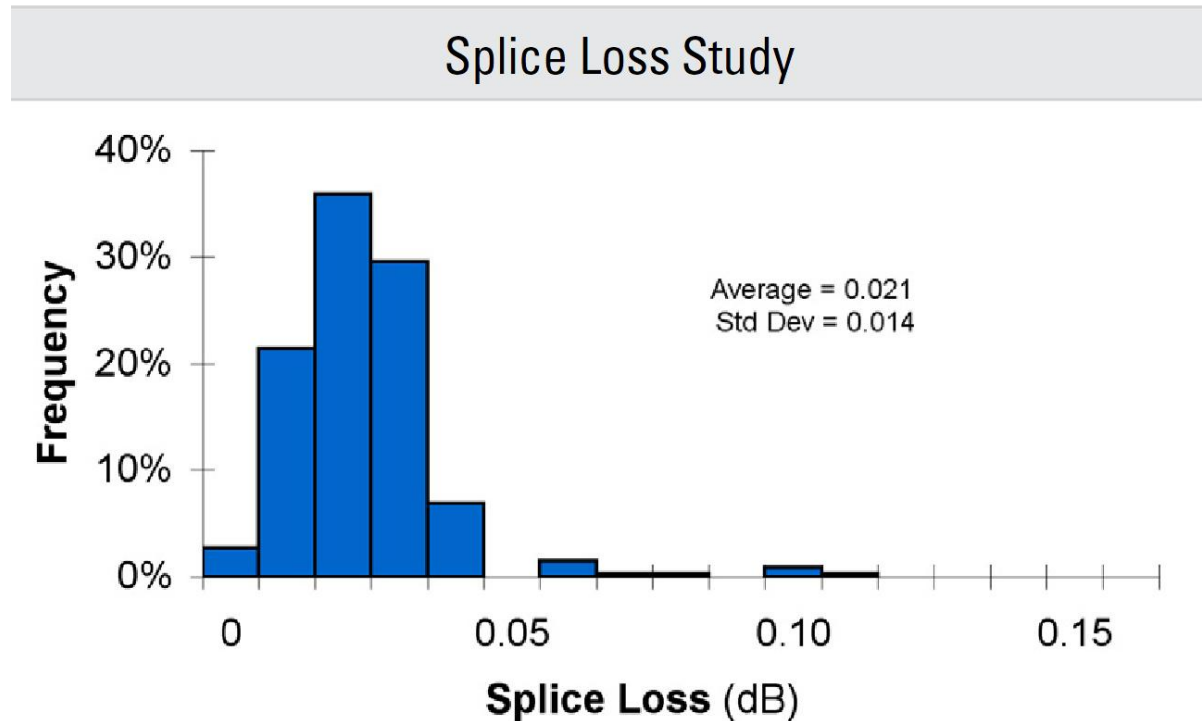
# Pierderi

- ▶ monomod
  - predomina pierderile datorate diferentelor de MFD
  - se poate neglija NA
  - **Bidirectional** (MFD mic → mare **si** mare → mic)



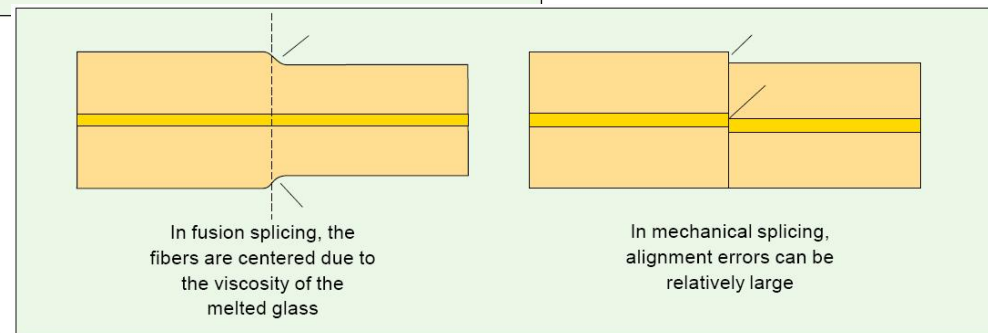
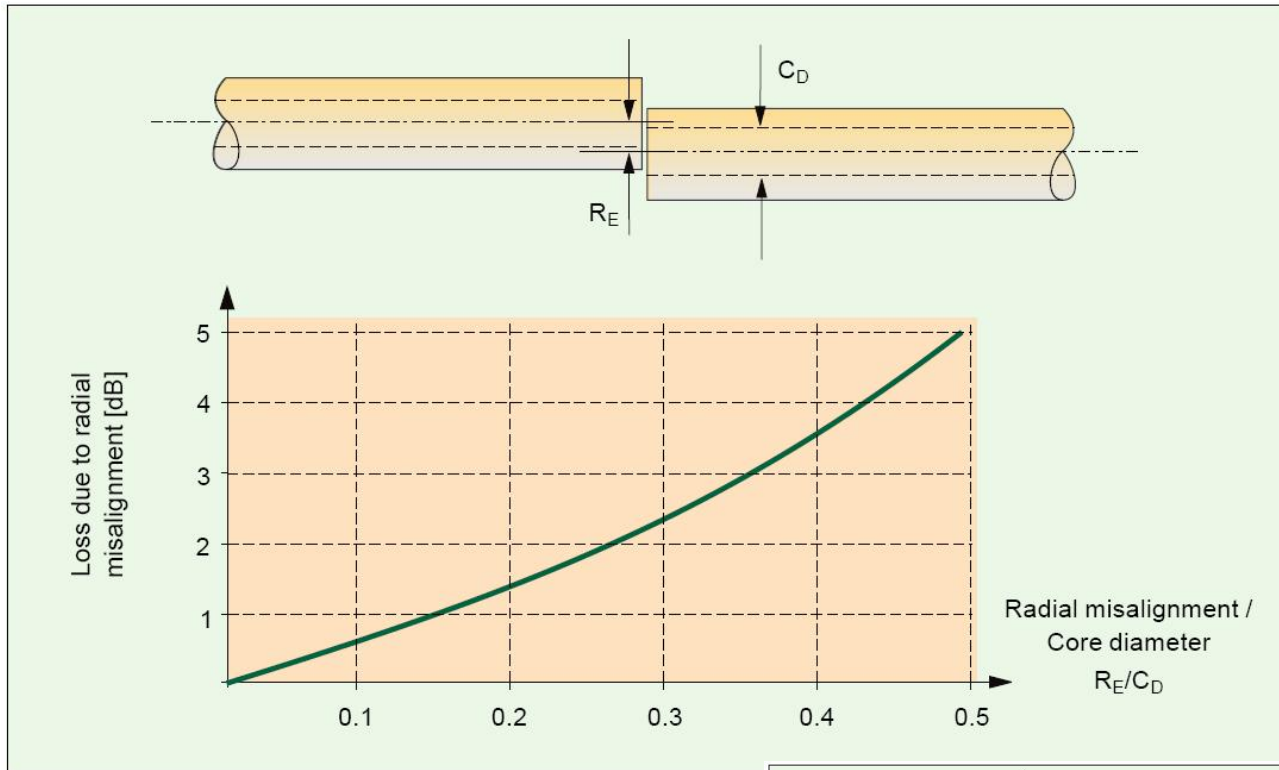
# Pierderi

- ▶ monomod
- ▶ tipic: cel mai dezavantajos pentru MFD =  $9.3 \pm 0.5 \mu\text{m}$   $\rightarrow A = 0.04\text{dB}$

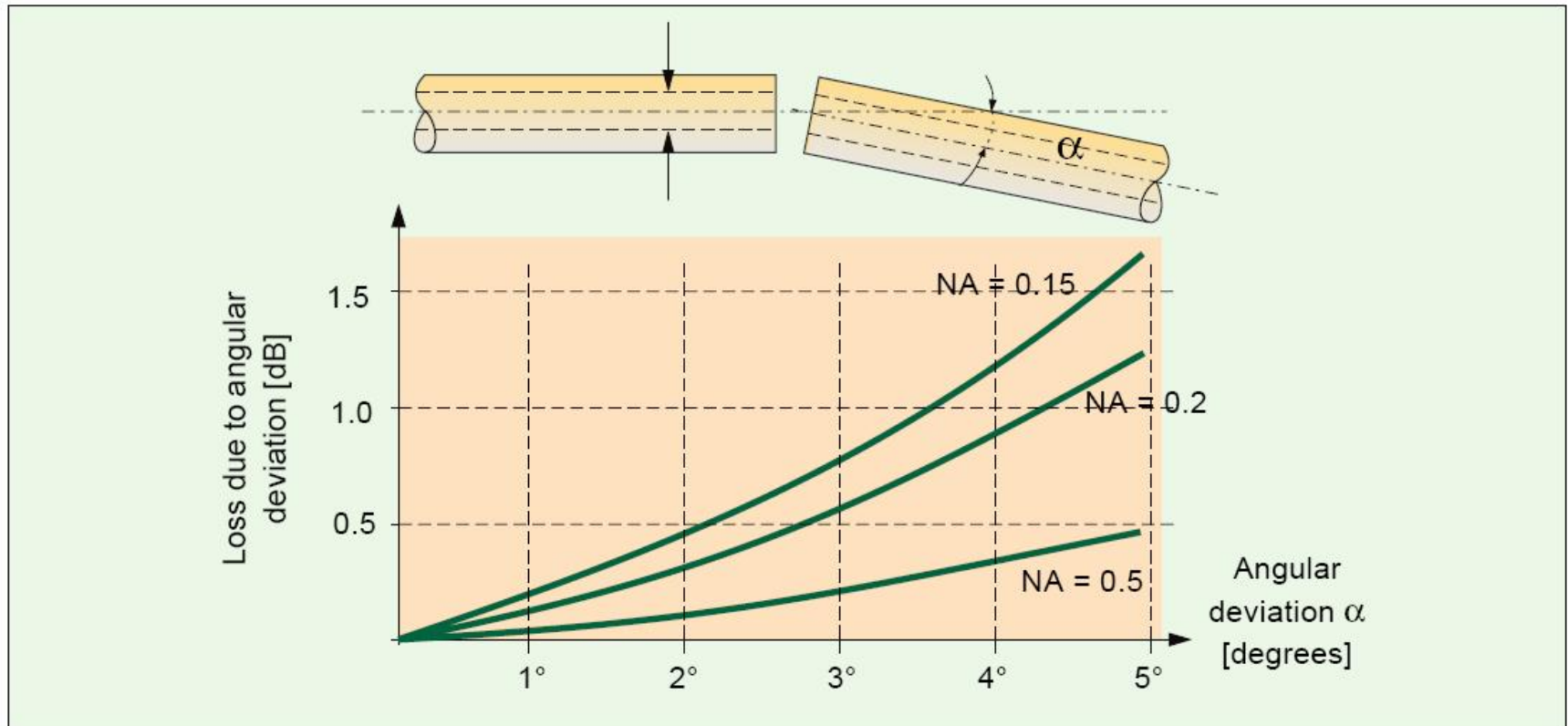




# Pierderi – Nealinierarea axelor

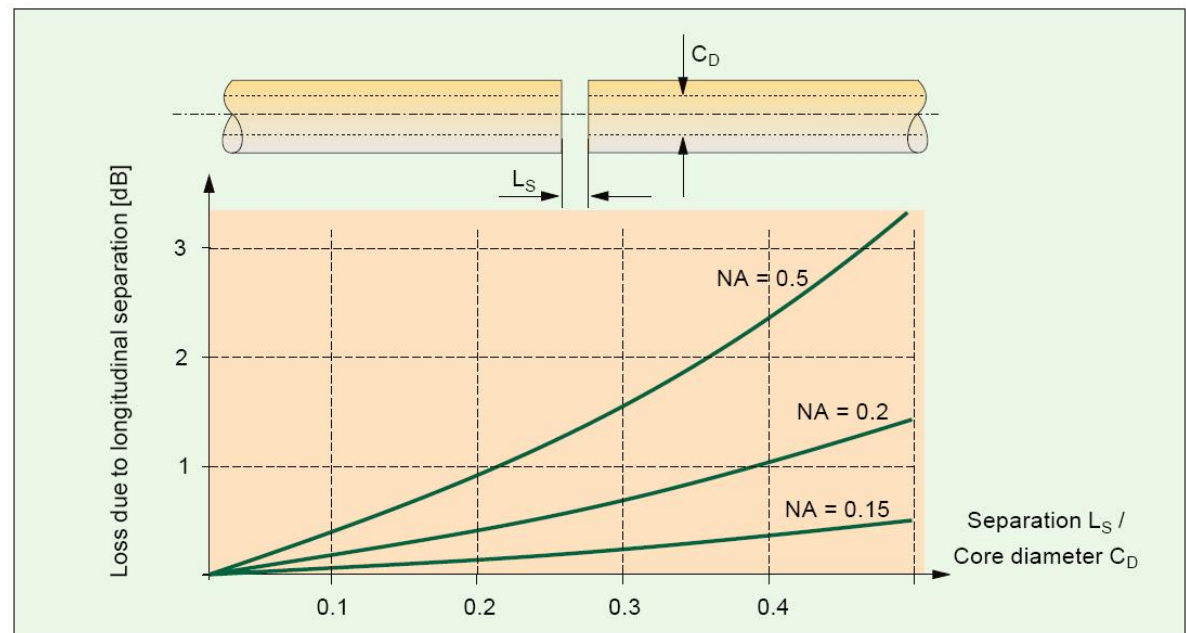


# Pierderi – unghi



# Pierderi – distanta

- ▶ Se foloseste un gel cu indice de refractie egal cu al fibrelor
- ▶ Se aduna pierderile generate de reflexie pe o lamela (pana la 16%)



# Exemplu

- ▶ Trebuie să realizați o legătură pe fibră optică pe o distanță de 50 km la o viteză de 1Gb/s.

Emitători: = 1.5mW ( $\Delta\lambda=2\text{nm}$ , diverse $\lambda$ )	NA = 0.17	$\Phi = 13\mu\text{m}$
Pierderi splice (tehnologie)	0.15 dB/splice	
Pierderi conector	0.5 dB/conector	
Cablu conexiune: L = 20m	NA = 0.12	fibră: 11/125 $\mu\text{m}$
Cablu conexiune: L = 20m	NA = 0.15	fibră: 11/125 $\mu\text{m}$
Fibra 1	8 X 5km	
Fibra 2	4 X 10km	
Fibra 3	8 X 5km	
Fibra 4	4 X 10km	
Receptor: Sensitivitate = 1 $\mu\text{W}$	NA = 0.25	$\Phi = 30\mu\text{m}$

# Catalog

## Fibra nr. 3

### Optical Specifications

#### Fiber Attenuation

Maximum Attenuation	
Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	0.33 - 0.35
1383**	0.31 - 0.35
1490	0.21 - 0.24
1550	0.19 - 0.20
1625	0.20 - 0.23

\*Maximum specified attenuation value available within the stated ranges.  
 \*\*Attenuation values at this wavelength represent post-hydrogen aging performance.  
 Alternate attenuation offerings available upon request.

#### Attenuation vs. Wavelength

Range (nm)	Ref. $\lambda$ (nm)	Max. $\alpha$ Difference (dB/km)
1285 - 1330	1310	0.03
1525 - 1575	1550	0.02

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength ( $\lambda_r$ ) by more than the value  $\alpha$ .

#### Macro-bend Loss

Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
32	1	1550	$\leq 0.03$
50	100	1310	$\leq 0.03$
50	100	1550	$\leq 0.03$
60	100	1625	$\leq 0.03$

\*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

#### Point Discontinuity

Wavelength (nm)	Point Discontinuity (dB)
1310	$\leq 0.05$
1550	$\leq 0.05$

### Dimensional Specifications

#### Glass Geometry

Fiber Curl	$\geq 4.0$ m radius of curvature
Cladding Diameter	$125.0 \pm 0.7$ $\mu$ m
Core-Clad Concentricity	$\leq 0.5$ $\mu$ m
Cladding Non-Circularity	$\leq 0.7\%$

### Environmental Specifications

Environmental Test	Test Condition	Induced Attenuation	
		1310 nm, 1550 nm & 1625 nm	(dB/km)
Temperature Dependence	-60°C to +85°C*		$\leq 0.05$
Temperature Humidity Cycling	-10°C to +85°C* up to 98% RH		$\leq 0.05$
Water Immersion	23 $\pm$ 2°C*		$\leq 0.05$
Heat Aging	85 $\pm$ 2°C*		$\leq 0.05$

\*Reference temperature = +23°C

Operating Temperature Range: -60°C to +85°C

#### Cable Cutoff Wavelength ( $\lambda_{ccf}$ )

$\lambda_{ccf} \leq 1260$  nm

#### Mode-Field Diameter

Wavelength (nm)	MFD ( $\mu$ m)
1310	9.4 $\pm$ 0.4
1550	10.6 $\pm$ 0.5

#### Dispersion

Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm $\cdot$ km)]
1550	$\leq 18$
1625	$\leq 23$

Zero Dispersion Wavelength ( $\lambda_0$ ): 1310 nm  $\leq \lambda_0 \leq 1324$  nm  
 Zero Dispersion Slope ( $S_0$ ):  $\leq 0.092$  ps/(nm $\cdot$ km)

#### Polarization Mode Dispersion (PMD)

PMD Link Design Value	Value (ps $\sqrt$ km)
Maximum Individual Fiber	$\leq 0.2$

\*Complies with IEC 60794-3: 2001, Section 5.5, Method 1, September 2001.

The PMD link design value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as PMD<sub>0</sub>). This value represents a statistical upper limit for total link PMD. Individual PMD values may change when cabled. Corning's fiber specification supports network design requirements for a 0.5 ps $\sqrt$ km maximum PMD.

#### Coating Geometry

Coating Diameter	245 $\pm$ 5 $\mu$ m
Coating-Cladding Concentricity	$< 12$ $\mu$ m

### Mechanical Specifications

#### Proof Test

The entire fiber length is subjected to a tensile stress  $\approx 100$  kpsi (0.7 GPa)\*.

\*Higher proof test levels available.

#### Length

Fiber lengths available up to 50.4\* km/spool.  
 \*Longer spliced lengths available.

### Performance Characterizations

Characterized parameters are typical values.

Core Diameter	8.2 $\mu$ m
Numerical Aperture	0.14
	NA is measured at the one percent power level of a one-dimensional far-field scan at 1310 nm.

#### Zero Dispersion Wavelength ( $\lambda_0$ )

1317 nm

#### Zero Dispersion Slope ( $S_0$ )

0.088 ps/(nm $\cdot$ km)

#### Effective Group Index of Refraction ( $N_{eff}$ )

1310 nm: 1.4670

1550 nm: 1.4677

#### Fatigue Resistance Parameter ( $N_f$ )

20

#### Coating Strip Force

Dry: 0.6 lbs. (3N)

Wet, 14-day room temperature: 0.6 lbs. (3N)

#### Rayleigh Backscatter Coefficient (for 1 $\mu$ s Pulse Width)

1310 nm: -77 dB

1550 nm: -82 dB

#### Stimulated Brillouin Scattering Threshold

20 dBm<sup>1</sup>

#### Notes:

(1) When characterized with a transmitter specifying 17 dBm SBS threshold over standard single-mode fiber. While absolute SBS threshold is a function of distance and signal format, NexCor fiber offers a 3 dB improvement over standard single-mode fiber independent of these variables.

### Formulas

#### Dispersion

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = -\frac{S_0}{\lambda} \left[ \lambda - \frac{\lambda_0}{\lambda} \right] \text{ ps/(nm}\cdot\text{km)}$$

for 1200 nm  $\leq \lambda \leq 1625$  nm

$\lambda =$  Operating Wavelengths

#### Cladding Non-Circularity

$$\text{Cladding Non-Circularity} = \left[ \frac{\text{Min. Cladding Diameter}}{\text{Max. Cladding Diameter}} \right] \times 100$$

#### How to Order

Contact your sales representative, or call the Optical Fiber Customer Service Department:  
 Ph: 607-248-2000 (U.S. and Canada)  
 +44-1244-287-4317 (Europe)  
 Email: opticalfibres@corning.com  
 Please specify the fiber type, attenuation and quantity when ordering.

#### Corning Incorporated

www.corning.com/opticalfiber

One Riverfront Plaza  
 Corning, NY 14831  
 U.S.A.

Ph: 800-525-2324 (U.S. and Canada)

607-786-8125 (International)

Fx 800-539-3632 (U.S. and Canada)

607-786-8344 (International)

Email: cofc@corning.com

#### Europe

Ph: 00 800 6620 6621 (U.K., Ireland, Italy, France, Germany, The Netherlands, Spain and Sweden)

+1 607 786 8125 (All Other Countries)

Fx: +1 607 786 8344

#### Asia Pacific

Australia

Ph: 1-800-148-690

Fx: 1-800-148-568

#### Indonesia

Ph: 001-800-015-7211-1261

Fx: 001-800-015-7211-1262

#### Malaysia

Ph: 1-800-80-3156

Fx: 1-800-80-3155

#### Philippines

Ph: 1-800-1-116-0338

Fx: 1-800-1-116-0339

#### Singapore

Ph: 800-1300-955

Fx: 800-1300-956

#### Thailand

Ph: 001-800-1-1-721-1261

Fx: 001-800-1-1-721-1264

#### Latin America

#### Brazil

Ph: 00817-762-4732

Fx: 00817-762-4996

#### Mexico

Ph: 001-800-235-1719

Fx: 001-800-339-1472

#### Venezuela

Ph: 800-1-4418

Fx: 800-1-4419

#### Greater China

Email: CCcofc@corning.com

Beijing

Ph: (86) 10-6505-5066

Fx: (86) 10-6505-5077

#### Hong Kong

Ph: (852) 2807-2723

Fx: (852) 2807-2152

#### Shanghai

Ph: (86) 21-3222-4668

Fx: (86) 21-6288-1575

#### Taiwan

Ph: (886) 2-2716-0338

Fx: (886) 2-2716-0339

NexCor is a trademark, and Corning and SM-28c are registered trademarks, of Corning Incorporated, Corning, N.Y.

Any warranty on any assets relying on any Corning optical fiber is only contained in the written agreement between Corning Incorporated and the direct purchaser of such fiber.

©2005 Corning Incorporated

# Intrebari

- ▶ (1 p) Ce lungime de undă veți alege pentru emițător? Justificați.
- ▶ (2p) Alegeți fibrele pe care le veți utiliza. Justificați. Realizați schița legăturii
- ▶ (1 p) Puteți realiza o legătură funcțională? Justificați.

<i>Zero Dispersion Wavelength (<math>\lambda_0</math>)</i>	1317 nm
<i>Zero Dispersion Slope (<math>S_0</math>)</i>	0.088 ps/(nm <sup>2</sup> •km)

# Legatura

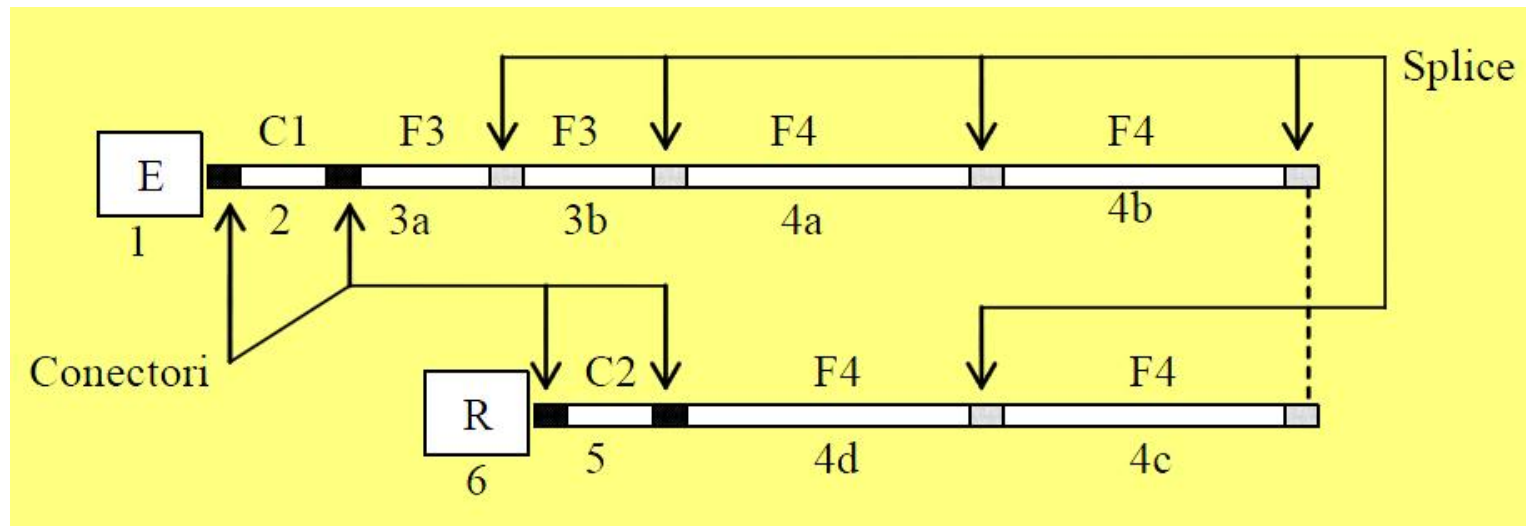
## ► Bilantul puterilor

$$A_{tot} [\text{dB}] = \sum_i A_i [\text{dB}]$$

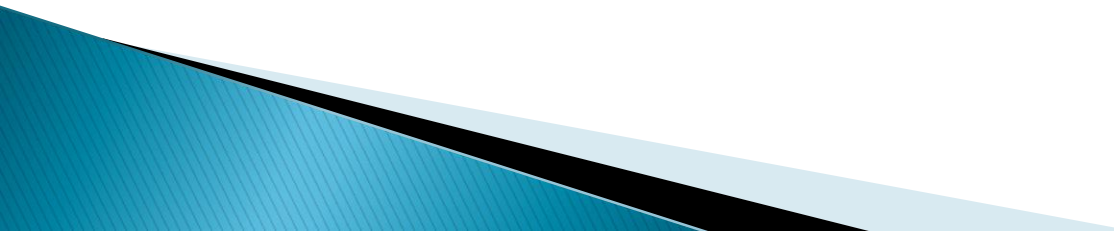
$$P_e [\text{dBm}] \pm A_{tot} [\text{dB}] \geq S_r [\text{dBm}] + M [\text{dB}]$$

*Maximum Attenuation*

Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	0.33 – 0.35
1383**	0.31 – 0.35
1490	0.21 – 0.24
1550	0.19 – 0.20
1625	0.20 – 0.23



# Sistem

- ▶ 1. Emitator
  - ▶ 2. Cablu 1 de conexiune
  - ▶ 3. Fibra 3 (2 cabluri a 5 km fiecare: 3a,3b)
  - ▶ 4. Fibra 4 (4 cabluri a 10 km fiecare: 4a,4b,4c,4d)
  - ▶ 5. Cablu 2 de conexiune
  - ▶ 6. Receptor
- 



# 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

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

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

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

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

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

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

$$B_{opt} = \frac{0.44}{\Delta\tau_{tot} [ns]} [GHz] \quad B_{opt} = \sqrt{2} B_{el}$$

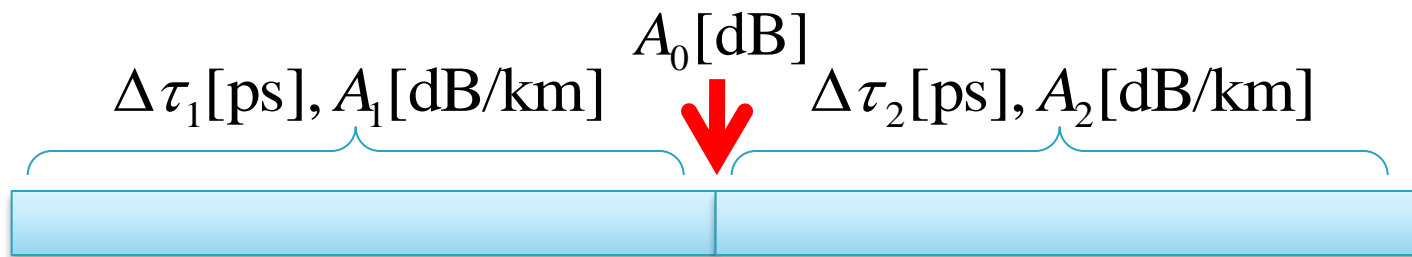
$$V [Gb/s] \cong 2 \cdot B_{el}$$

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

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

# Sisteme cu mai multe tipuri de fibra

- ▶ Fibra tip 1 conectata/sudata cu fibra tip 2
- ▶ efecte **succesive** se adună liniar
- ▶ la nivelul splice-ului apare o atenuare **localizata**:
  - atenuare pe splice/conector
  - atenuare datorita **NA** diferit (**daca** este cazul)
  - atenuare datorita  **$\Phi$**  diferit (**daca** este cazul)

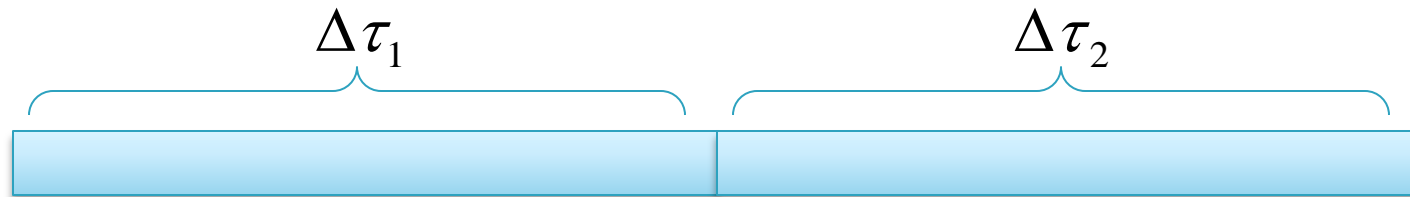


$$A_{tot} [\text{dB}] = A_1 [\text{dB/km}] \cdot L_1 [\text{km}] + A_2 [\text{dB/km}] \cdot L_2 [\text{km}] + A_0 [\text{dB}]$$

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

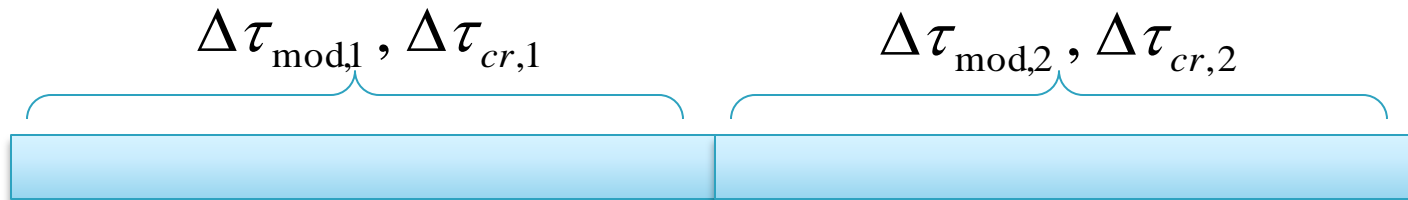
# Sisteme cu mai multe tipuri de fibra

- ▶ efecte **succesive** se adună liniar



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

- ▶ dar pe fiecare fibra exista efecte **simultane** (pentru dispersie) care se adună pătratic

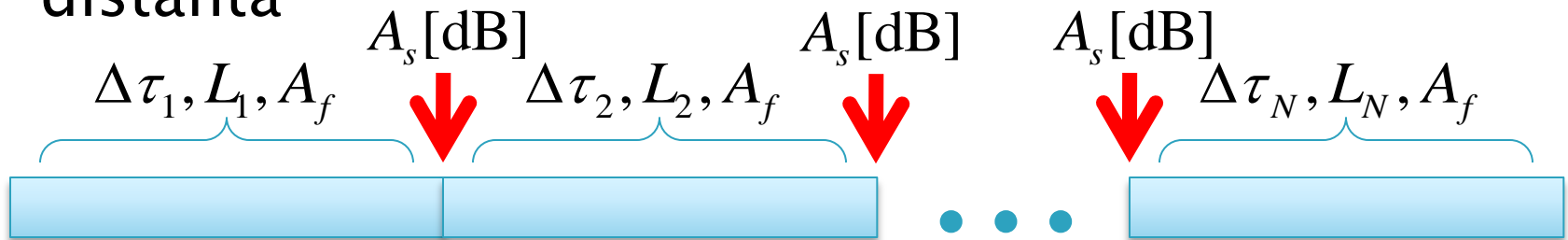


$$\Delta\tau_1 = \sqrt{\Delta\tau_{cr,1}^2 + \Delta\tau_{mod,1}^2}$$

$$\Delta\tau_2 = \sqrt{\Delta\tau_{cr,2}^2 + \Delta\tau_{mod,2}^2}$$

# Sisteme cu acelasi tip de fibra

- ▶ N tronsoane cu acelasi tip de fibra conectate/sudate
  - atenuare datorita NA **nula (acelasi tip)**
  - atenuare datorita  $\Phi$  **nula (acelasi tip)**
  - atenuare pe splice/conector: N-1 conectori
  - lungime totala:  $L_{tot}[\text{km}] = \sum_1^N L_i[\text{km}]$
- ▶ efecte **sucsesive** se adună liniar
- ▶ efectele (dispersie si atenuare) proportionale cu distanta



$$\Delta\tau_{tot} = \sum_{i=1}^N \Delta\tau(L_i) = \Delta\tau(L_{tot}) = \sqrt{\Delta\tau_{cr}(L_{tot})^2 + \Delta\tau_{mod}(L_{tot})^2}$$

$$A_{tot}[\text{dB}] = A_f[\text{dB/km}] \cdot L_{tot}[\text{km}] + (N-1) \cdot A_s[\text{dB}]$$

# Produs Banda · Distanta

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

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

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

$$\Delta\tau_{\text{tot}} = \text{const} \cdot L$$

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

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

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

$$V [\text{Gb/s}] \cong \frac{\text{const}}{L}$$

$$V [\text{Gb/s}] \cdot L [\text{km}] \cong \text{const}$$

# Lungime maxima

- ▶ **limitata de atenuare**
- ▶ lungimea cea mai mare la care pot face transmisia este obtinuta in cazul cel mai **defavorabil**
  - cele mai mici pierderi permise
  - atenuare distribuita maxima

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

$$\text{Atenuare}[\text{dB/km}] = \frac{\text{Pierderi}_D[\text{dB}]}{\text{lungime}[\text{km}]} \quad L_{\text{max}} \Rightarrow \Delta P_{\text{min}}, A_{D\text{max}}$$

$$L_{\text{max}} = \frac{\Delta P_{\text{min}}[\text{dB}]}{A_{D\text{max}}[\text{dB/km}]} = \frac{P_{e\text{min}}[\text{dBm}] - S_{r\text{max}}[\text{dBm}] - A_L[\text{dB}]}{A_{D\text{max}}[\text{dB/km}]}$$

de obicei problema distantei maxime limitate de atenuare se pune pentru fibre **monomod**



# Lungime maxima

- ▶ **limitata de viteza**
- ▶ lungimea cea mai mare la care pot face transmisia este obtinuta in cazul cel mai **defavorabil**
  - dispersie maxima
- ▶ doua cazuri in functie de cum e specificata dispersia
  - $B \times L$  [MHz · km]
  - $S_0$  [ps/nm<sup>2</sup>/km],  $\lambda_0$  [nm]

$$B_{elmin} \cong \frac{V_{min} [Gb/s]}{2}$$

$$\Delta\tau_{totmax} [ns]$$

$$B_{optmin} = \sqrt{2} B_{elmin}$$

$$\Delta\tau_{totmax} [ns] = \frac{0.44}{B_{optmin} [GHz]}$$

$$L_{max} = \frac{\Delta\tau_{totmax}}{D(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

$$B \times L [\text{MHz} \cdot \text{km}]$$

$$L_{max} [\text{km}] = \frac{B \times L [\text{MHz} \cdot \text{km}]}{B_{elmin} [\text{MHz}]}$$

# Lungime maxima

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

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

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

- ▶ **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

# Calculul atenuarii

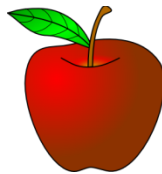
$$\text{Pierderi} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\text{Pierderi}[\text{dB}] = [-] 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

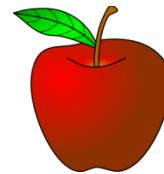
$$\text{Pierderi}[\text{dB}] = [-] (P_{out}[\text{dBm}] - P_{in}[\text{dBm}])$$



=



-



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

# Problema simpla?

- ▶ Sursa luminoasa: 7.7 dBm
- ▶ Atenuarea fibrei: 1.16 dB/km
- ▶ Puterea la iesire: 105  $\mu$ W
  
- ▶ Lungimea fibrei: ?

# Problema simpla?

## ▶ Logaritmic

- $P_{\text{out}} = 10 \cdot \log(105 \mu\text{W}/1 \text{ mW}) = -9.8 \text{ dBm} !$
- Atenuarea :  $A_f = P_{\text{in}}[\text{dBm}] - P_{\text{out}}[\text{dBm}] = 17.5 \text{ dB} !$
- $L = A_f / A_{\text{dB/km}} = 17.5 \text{ dB} / 1.16 \text{ dB/km} = 15.08 \text{ km}$

## ▶ Liniar

- $7.7 \text{ dBm} = 10 \cdot \log(P_{\text{in}}/1 \text{ mW}); P_{\text{in}} = 1 \text{ mW} \cdot 10^{7.7/10} = 5.888 \text{ mW}$
- Atenuarea :  $A_f = P_{\text{in}} / P_{\text{out}} = 5.888 \text{ mW} / 0.105 \text{ mW} = 56.0762 [1] !$
- Atenuarea pe unitatea de lungime  $A_{1/\text{km}} = 10^{1.16/10} = 1.3062 [1] !$
- $A_f = (A_{1/\text{km}})^{L/1\text{km}} \rightarrow L = 1 \text{ km} \cdot \log(A_f) / \log(A_{1/\text{km}}) = 1.749 / 0.116 \text{ km} = 15.08 \text{ km}$

# Problema simpla? 2

- ▶ Sursa luminoasa: 4.9 dBm
- ▶ Atenuarea fibrei: 0.32 dB/km
- ▶ Lungimea fibrei: 17 km
  
- ▶ Puterea la iesire: ? [ $\mu$ W]

# Problema simpla? 2

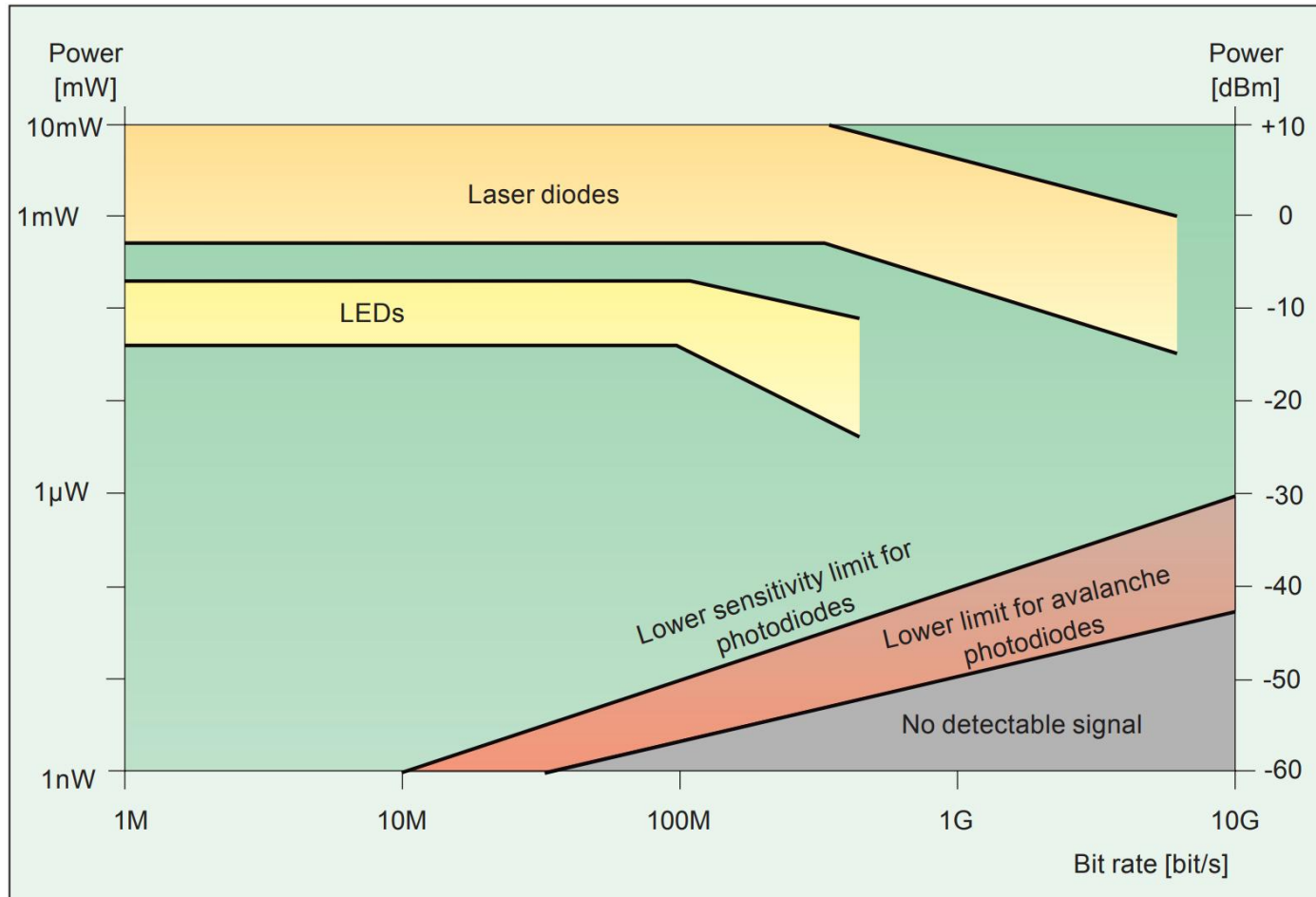
## ▶ Logaritmic

- Atenuarea :  $A_f = A_{\text{dB/km}} \cdot L[\text{km}] = 5.44 \text{ dB}$
- $P_{\text{out}}[\text{dBm}] = P_{\text{in}}[\text{dBm}] - A_f [\text{dB}] = -0.54 \text{ dBm} !$
- $P_{\text{out}} = 1 \text{ mW} \cdot 10^{-0.54/10} = 0.883 \text{ mW} = 883 \text{ } \mu\text{W}$

## ▶ Liniar

- Atenuarea :  $A_f [\text{dB}] = A_{\text{dB/km}} \cdot L[\text{km}] = 5.44 \text{ dB} !$
- Atenuarea :  $A_f [1] = 10^{A_f [\text{dB}] / 10} = 3.499 [1] !$
- $P_{\text{in}} = 1 \text{ mW} \cdot 10^{4.9/10} = 3.09 \text{ mW}$
- $P_{\text{out}} = P_{\text{in}} / A_f = 3.09 \text{ mW} / 3.499 = 0.883 \text{ mW} = 883 \text{ } \mu\text{W}$

# Limite putere/bandă a dispozitivelor optoelectronice





# 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 )

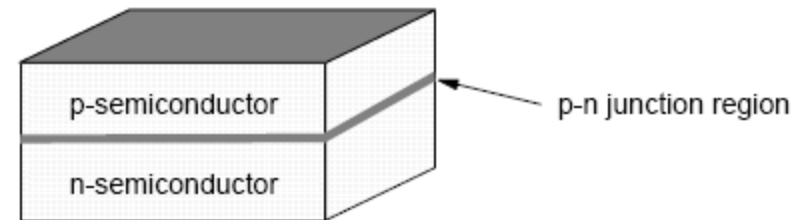
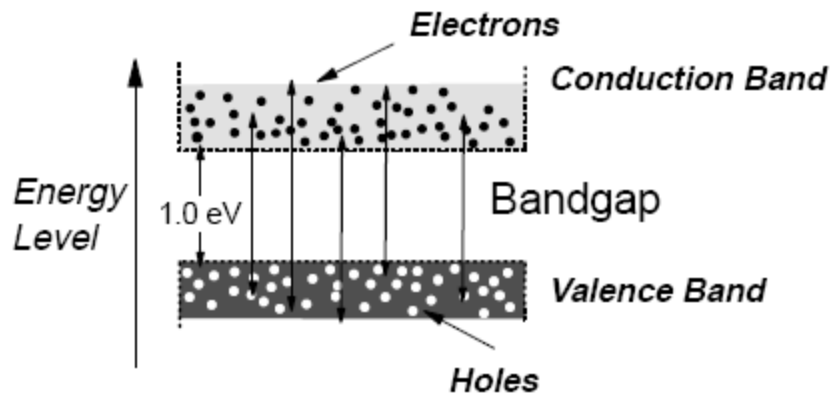
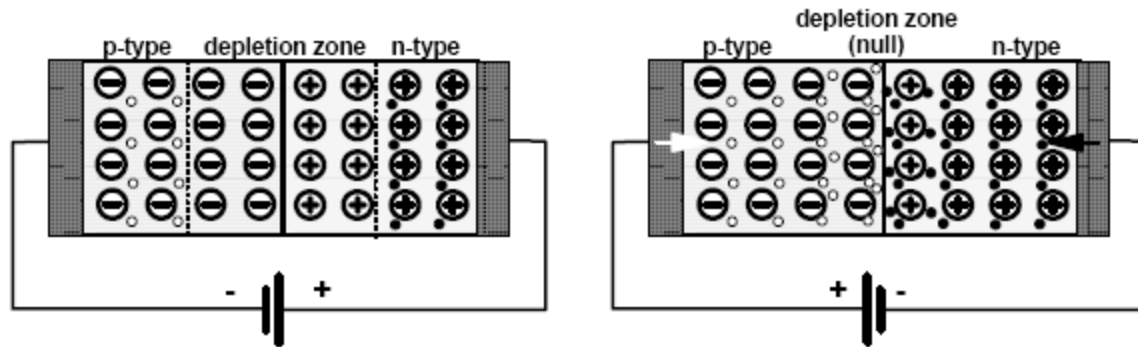
# Caracteristici LED

- ▶ 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)

# Aplicatii majore LED

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

# LED – Principiul de operare



# 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

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

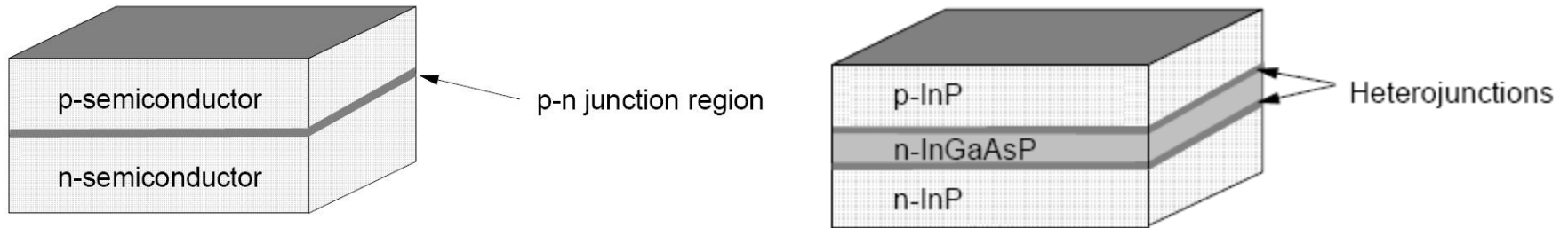
- ▶  $h$  constanta lui Plank  
 $6.6261 \cdot 10^{-34} \text{ W s}^2$
- ▶  $c$  viteza luminii **in vid**  
 $2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- ▶  $e$  sarcina electronului  
 $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- ▶ benzi energetice:  $\lambda_0$ ,  $\Delta\lambda$

# 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



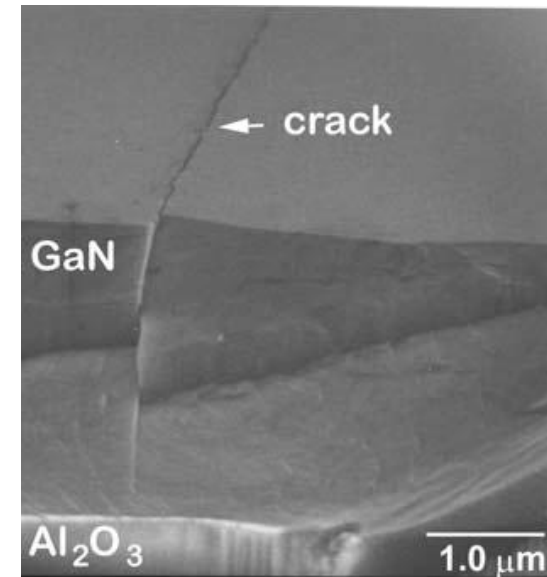
# LED cu heterojunțiuni – preview



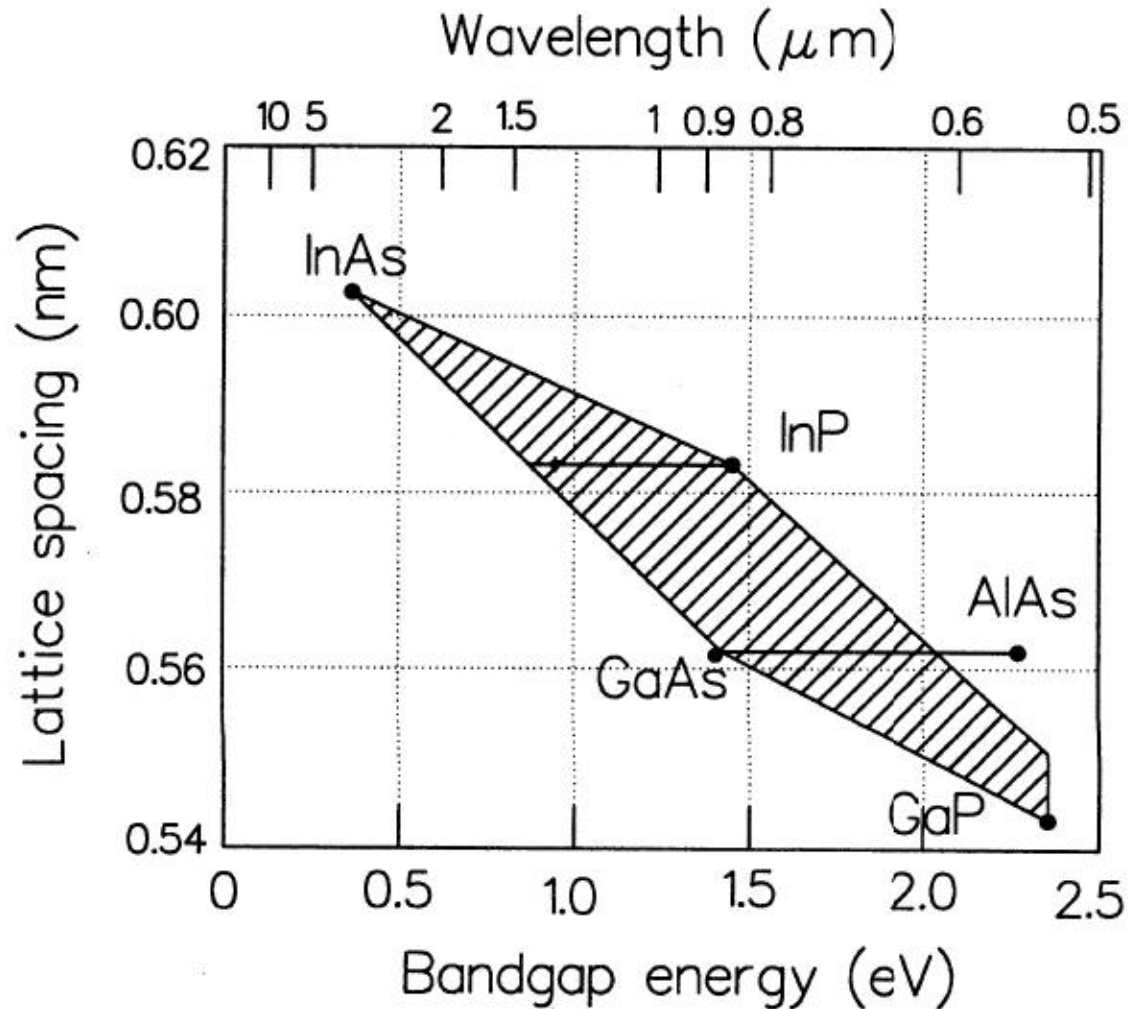
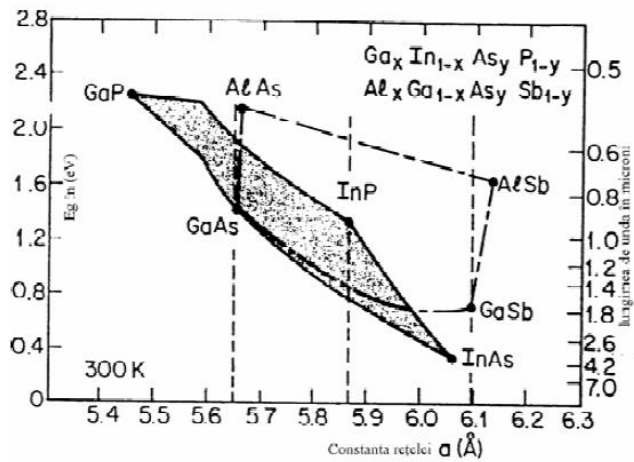
- ▶ **Orice** jonctiune p–n emite lumina
- ▶ O jonctiune p–n obisnuita este foarte subtire
  - volumul in care apar recombinari este foarte mic
  - eficienta luminoasa, redusa
- ▶ lumina este emisa in toate directiile
  - cantitatea de lumina utilizabila (intr–o anumita directie) este redusa

# 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

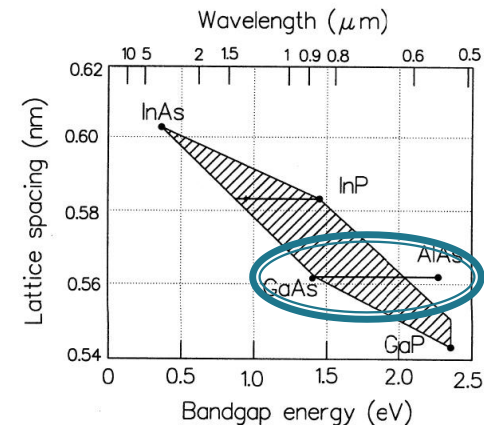
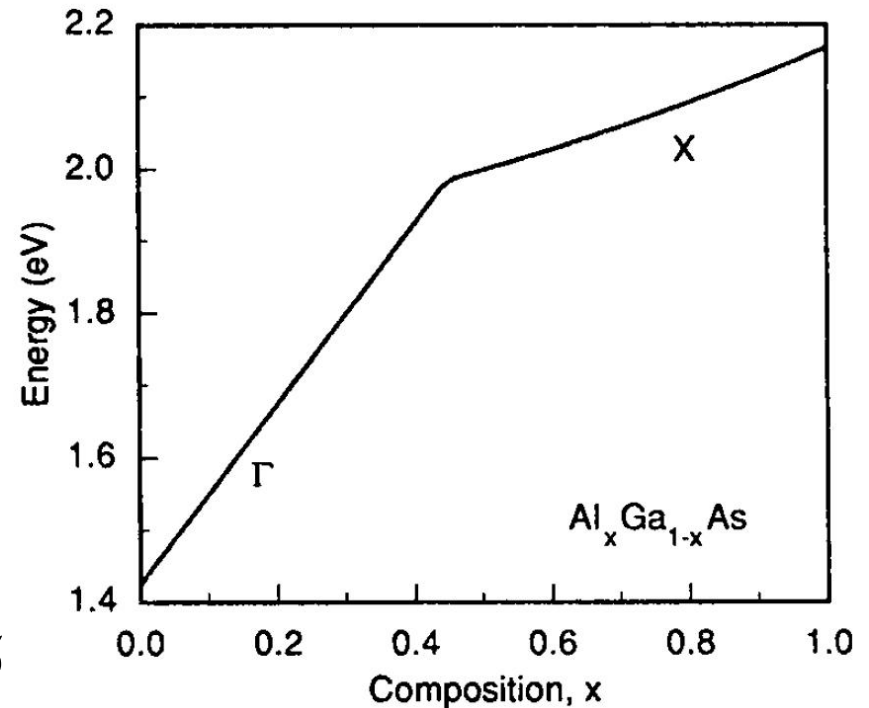
- ▶ Lungimi de unda mici (spectru vizibil – 1000nm)
  - GaP (665nm),  $\text{GaAs}_y\text{P}_{1-y}$
  - **GaAs** (900nm),  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  (AlAs – 550nm)
- ▶ Lungimi de unda mari (1000÷1700nm)
  - **InP** (920nm),  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$
  - x,y concentratii 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

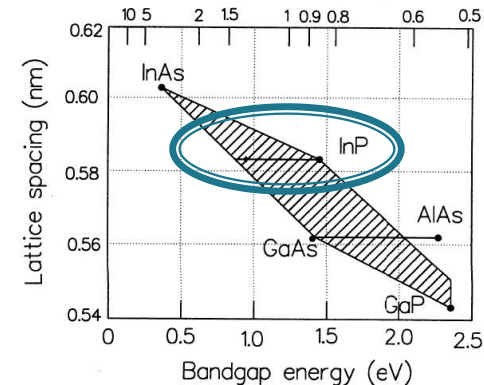
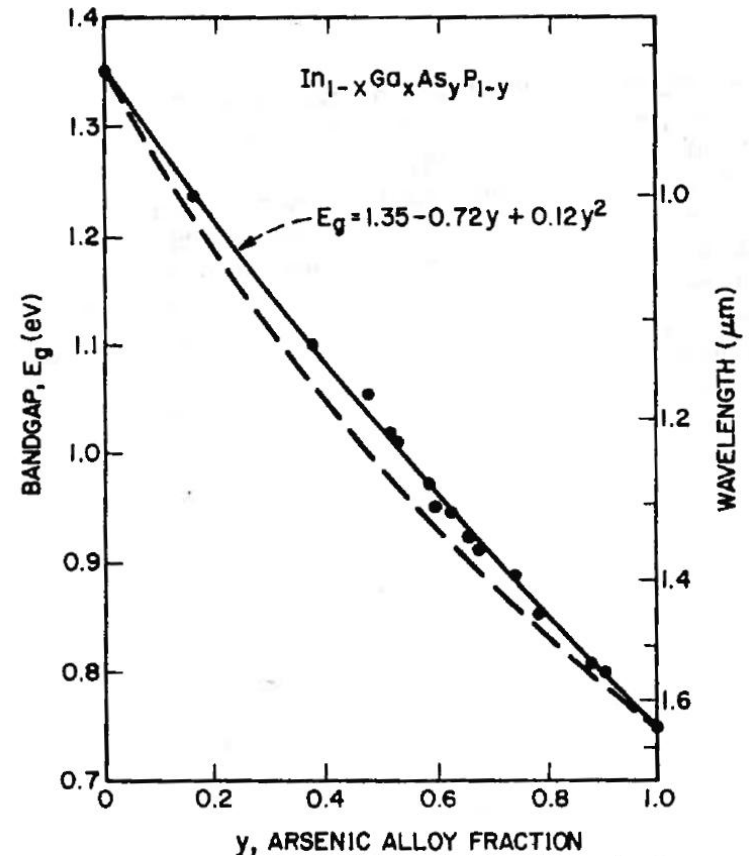
- ▶ Lungimi de unda mari
  - $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$
  - Tipic substratul este InP
    - Spatierea atomilor (lattice spacing) corespunzatoare InP

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

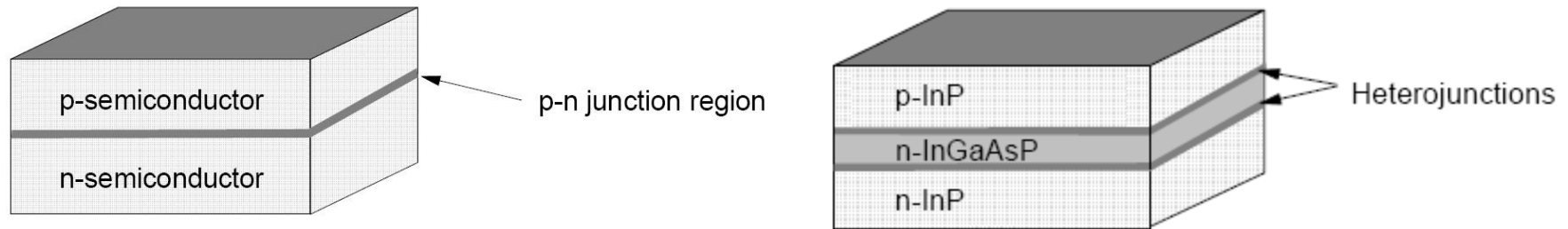
- $E_g$  (in eV)

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

- Exemplu: 1300nm se obtine cu  $y=0.611$  si  $x=0.282$ ,
  - $\text{In}_{0.282}\text{Ga}_{0.718}\text{As}_{0.611}\text{P}_{0.389}$

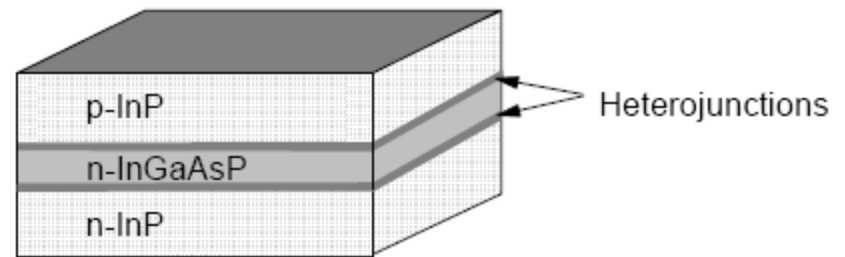
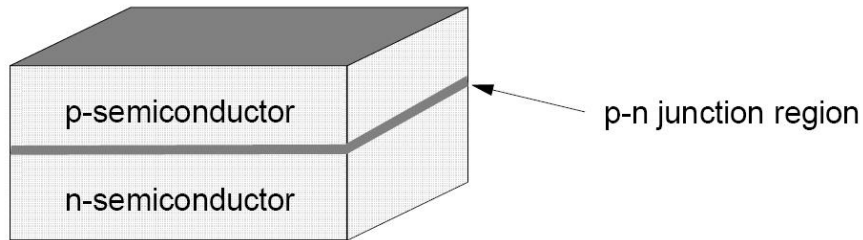


# LED cu heterojunțiuni – principiu

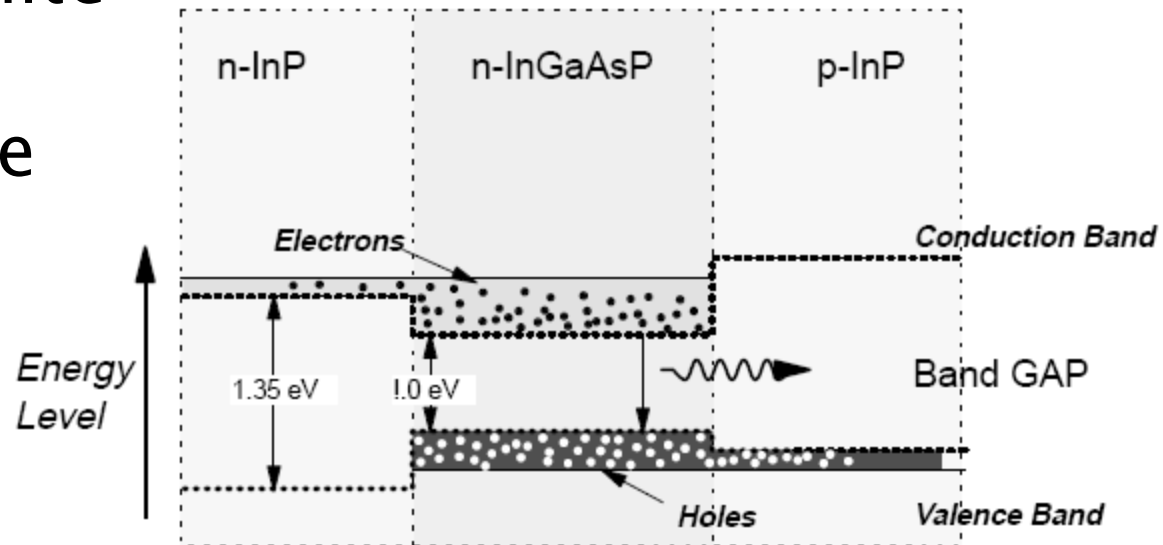


- ▶ **Orice** jonctiune p–n emite lumina
- ▶ O jonctiune p–n obisnuita este foarte subtire
  - volumul in care apar recombinari este foarte mic
  - eficienta luminoasa, redusa
- ▶ lumina este emisa in toate directiile
  - cantitatea de lumina utilizabila (intr–o anumita directie) este redusa

# LED cu heterojunțiuni – principiu

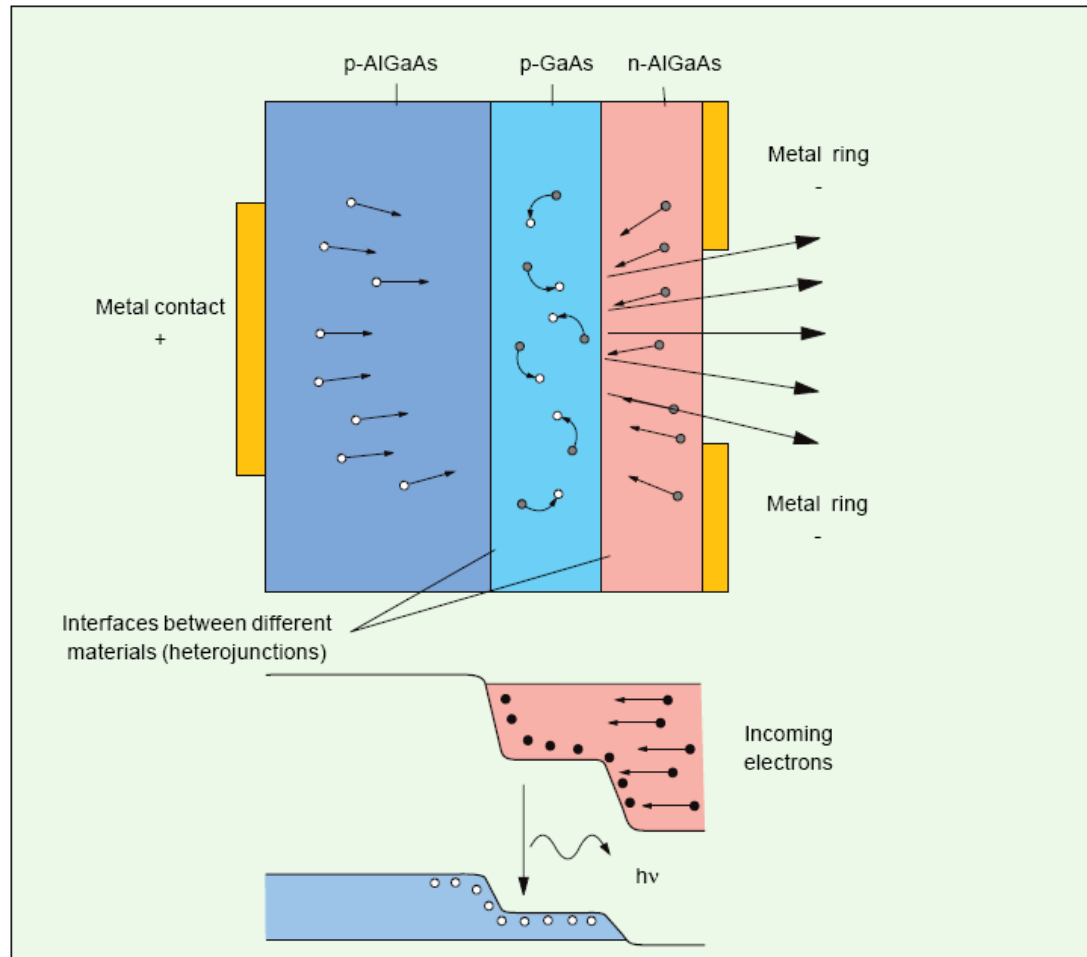


- ▶ Structura de nivele energetice permite capturarea purtătorilor între cele două heterojunțiuni



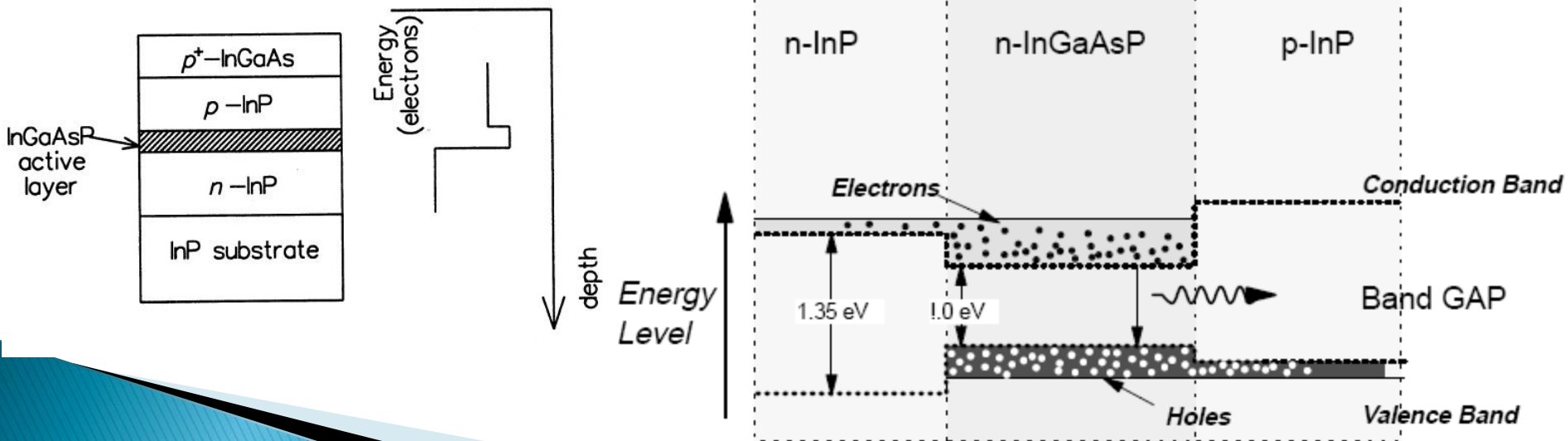


# LED cu heterojunțiuni – principiu



# LED cu heterojunțiuni – principiu

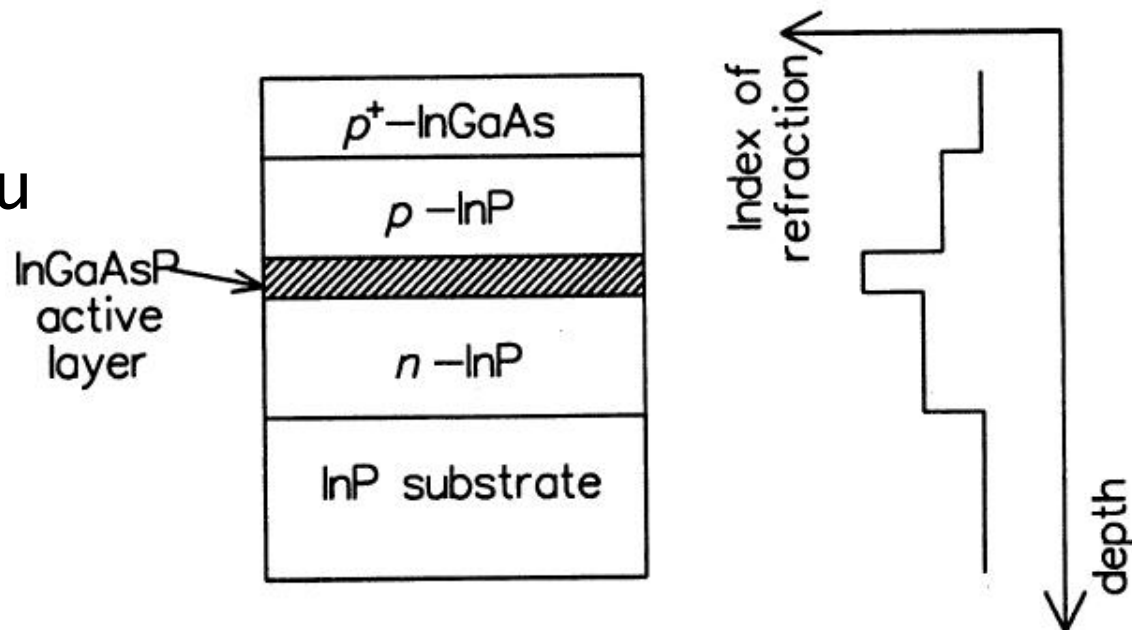
- ▶ Concentrare verticală a purtătorilor
  - Electronii sunt atrași din zona n în zona activă
  - O barieră energetică există între zona activă și zona n, concentrând electronii în zona activă
  - Situație similară corespunzătoare golurilor
  - Purtătorii sunt concentrați în zona activă, crescând eficiența



# 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

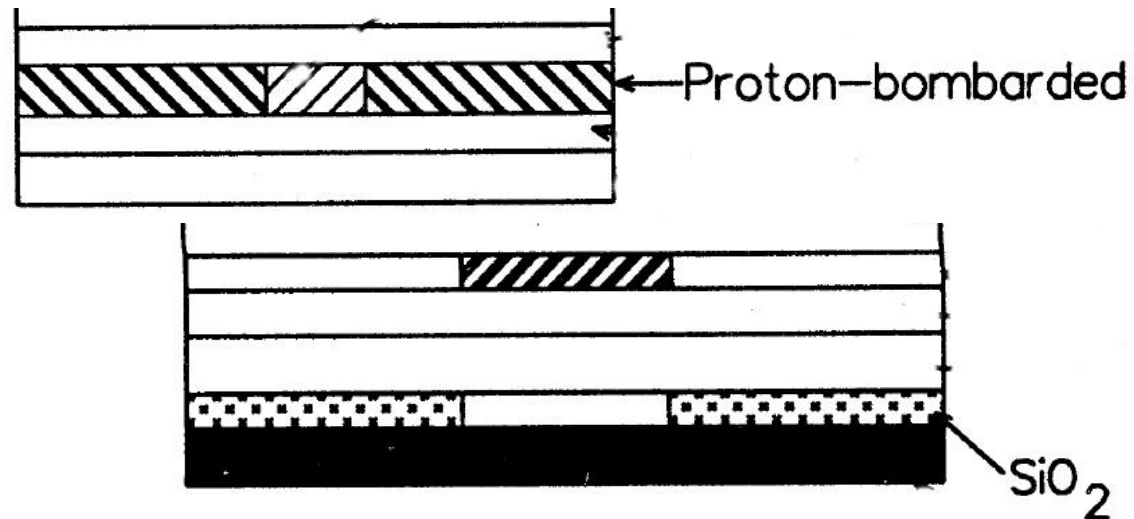
- ▶ Straturile din materiale diferite au indici de refracție diferiți formând un ghid dielectric



# 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 (mesă structure)
  - difuzie de Zn în zona centrală



# Contact

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