

# Optoelectronică

Curs 8

2023/2024

# Disciplina 2023/2024

- ▶ 2C/1L Optoelectronică **OPTO**
- ▶ **Minim 7 prezente curs + laborator**
- ▶ Curs – conf. **Radu Damian**
  - an IV  $\mu$ E
  - Marti 14(:10)–16:00, P8
  - E – 70% din nota (50%+20%)
    - **20% test (VP) la curs**, saptamana 4–6?
  - probleme + (2p prez. curs)
  - toate materialele permise
- ▶ Laborator – **drd. Stefan Stoica**
  - an IV  $\mu$ E
    - Marti 16–20 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

# Documentatie



English | Romana |

[Main](#) [Courses](#) [Master](#) [Staff](#) [Research](#) [Students](#)

## Microwave and Optoelectronics Laboratory

We are enlisted in the Telecommunications Department of the Electronics, Telecommunication and Information Technology Faculty (ETIT) from the "Gh. Asachi" Technical University (TUIASI) in Iasi, Romania

We currently cover inside ETIT the fields related to:

- Microwave Circuits and Devices
- Optoelectronics
- Information Technology

### Courses

Nr.	Course	Shortcut	Code	Type	Semester	Credits	Weekly	Examination	Link
1	Microwave Devices and Circuits for Radiocommunications	DCMR	DOS412T	DOS	7	4	0P,1L,0S,2C	Exam	<a href="#">details</a>
2	Monolithic Microwave Integrated Circuits	CIMM	RD.IA.207	DOMS	11	6	1.5L,0S,2C,0P	Exam	<a href="#">details</a>
3	Advanced Techniques in the Design of the Radio-communications Systems	TAPSR	RD.IA.103	DIMS	9	6	1.5P,0L,0S,2C	Exam	<a href="#">details</a>
4	Optical Communications	CO	DOS409T	DOS	7	5	0P,1L,0S,3C	Colloquium	<a href="#">details</a>
5	Optical Communications	OC	EDOS409T	DOS	7	5	0P,1L,0S,3C	Exam	<a href="#">details</a>
6	Satellite Communications	CS	RC.IA.104	DIMS	9	6	0L,0S,2C,1.5P	Exam	<a href="#">details</a>
7	Applied Informatics 1	IA1	DOF135	DOF	1	4	0P,1L,0S,2C	Verification	<a href="#">details</a>
8	Applied Informatics 1	AI1	EDOF135	DOF	1	4	0P,1L,0S,2C	Verification	<a href="#">details</a>
9	Databases, Web Programming and Interfacing	DWPI	ITT.IA.601	DIS	11	5	1P,1L,0.25S,1C	Verification	<a href="#">details</a>
10	Web Applications Design	PAW	RC.IA.108	DIMS	10	5	1L,0S,1.5C,1P	Exam	<a href="#">details</a>
11	Optoelectronics	OPTO	DID405M	DID	8	4	0P,1L,0S,2C	Colloquium	<a href="#">details</a>
12	Microwave Devices and Circuits for Radiocommunications (English)	MDCR	EDOS412T	DOS	8	4	0P,1L,0S,2C	Exam	<a href="#">details</a>



# Documentatie

- ▶ RF-OPTO
  - <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>
- ▶ Fotografie
  - “examen” online
  - necesara la laborator/curs

# Bonus (~0.5–4.15)

**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/3prez
- ▶ 3 teste
- ▶ foto <C7 / <C9



# Fibra optică

## Capitolul 4

# Aplicatii majore

## ▶ Comunicatii

- Infrarosu (InGaAsP)

## ▶ Vizibil

- Spectru vizibil (GaAlAs)

## ▶ Iluminare

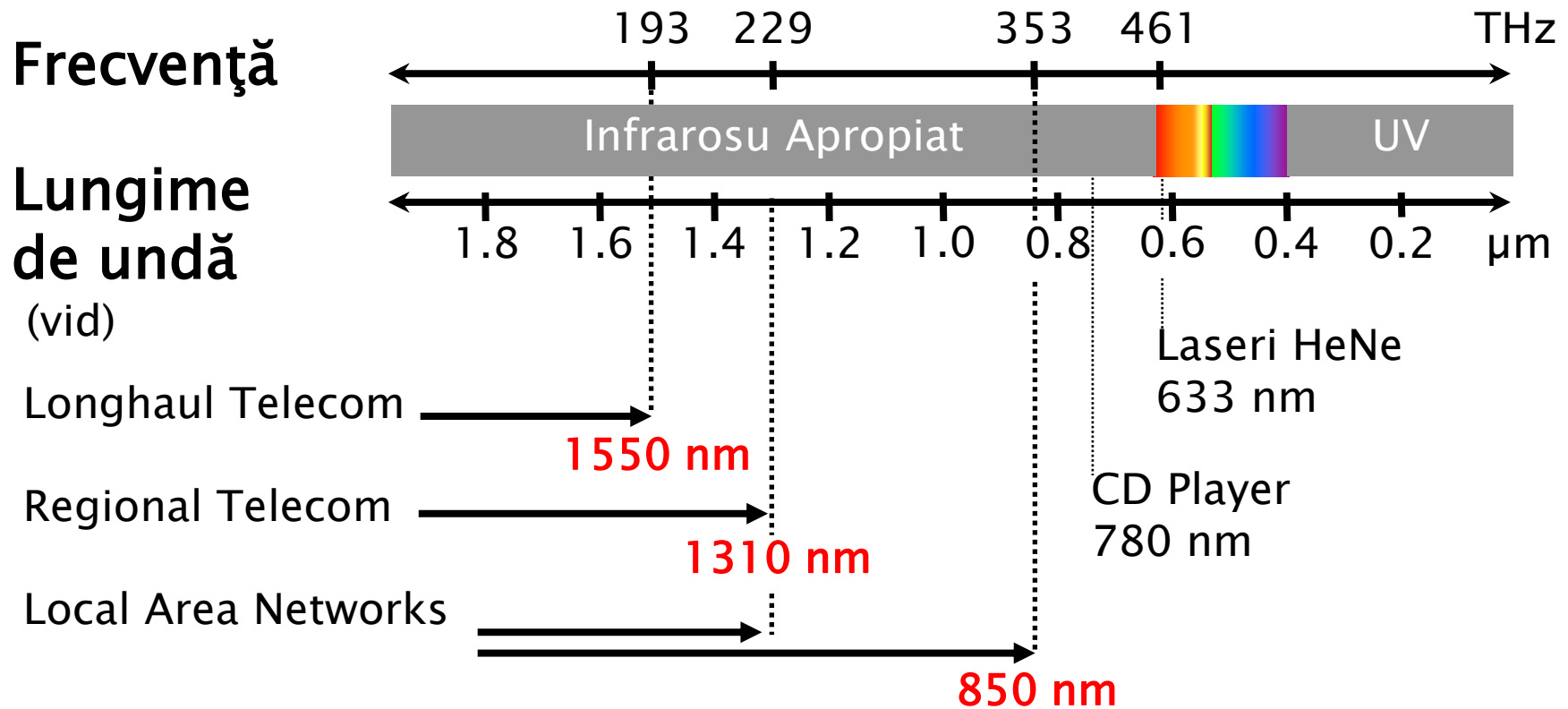
- Putere ridicata, lumina alba (GaInN)

## ▶ Energie solara

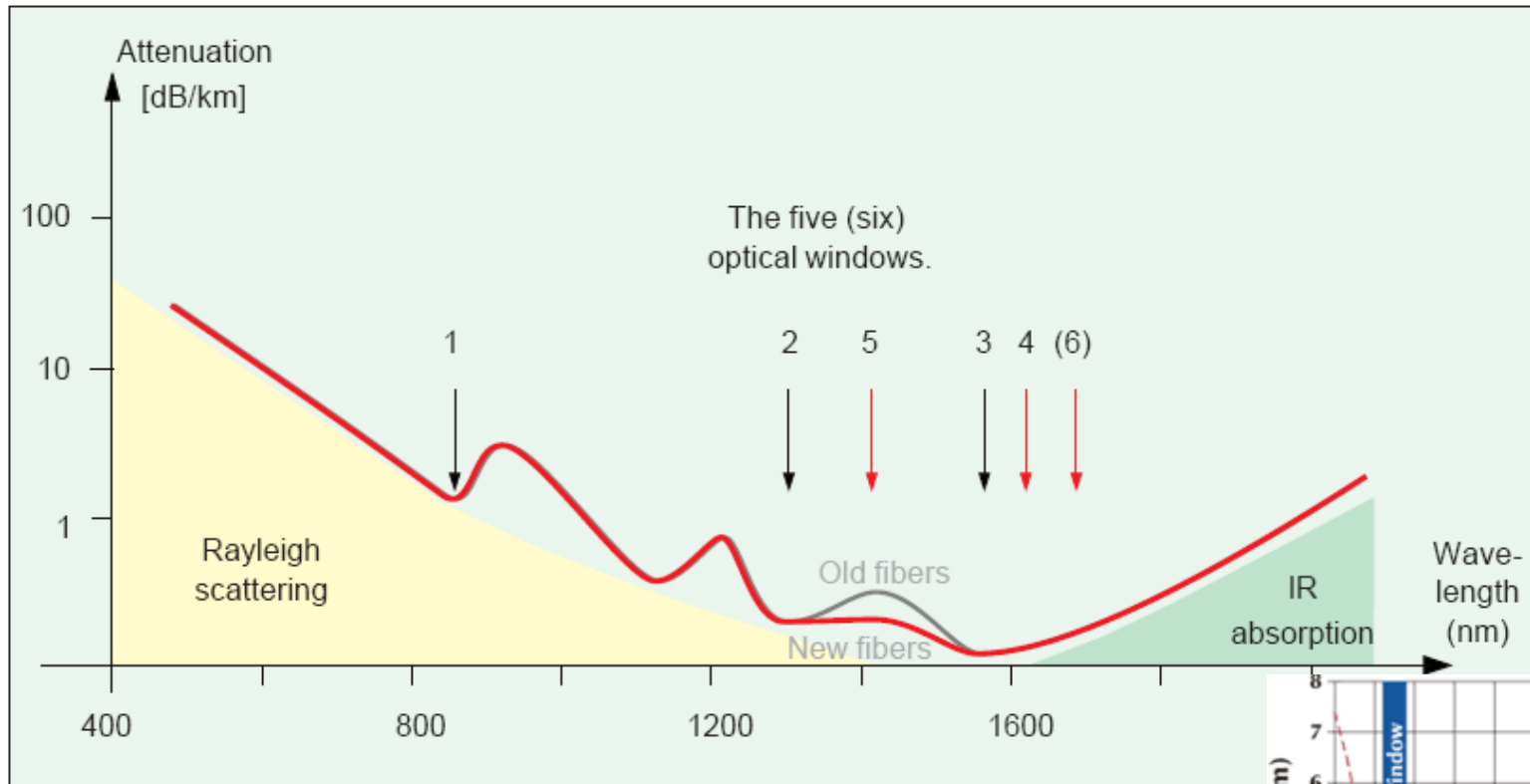
- Efect fotovoltaic (Si)



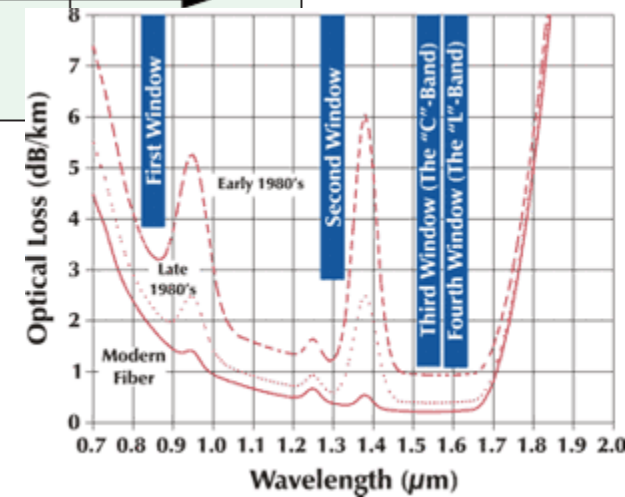
# Benzi de lucru in comunicațiile optice



# Atenuarea în fibra optică (SiO<sub>2</sub>)



850nm, 1310nm, 1550nm



# 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 )

# Fenomene de interes

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

# Atenuare

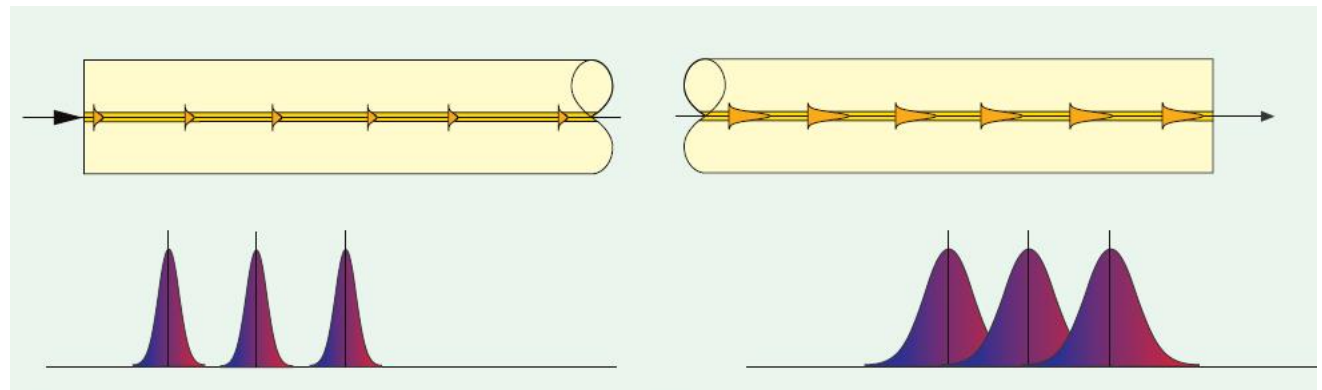
- ▶ Macrocurburi
  - utilizator, **localizat**, dB
- ▶ Discontinuitate in fibra
  - utilizator, **localizat**, dB
- ▶ Microcurburi
  - **distribuit**, tehnologie, dB/km
- ▶ Imprastiere
  - **distribuit**, tehnologie, dB/km
- ▶ Absorbție
  - **distribuit**, material, dB/km

# Fenomene de interes

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

# Dispersia

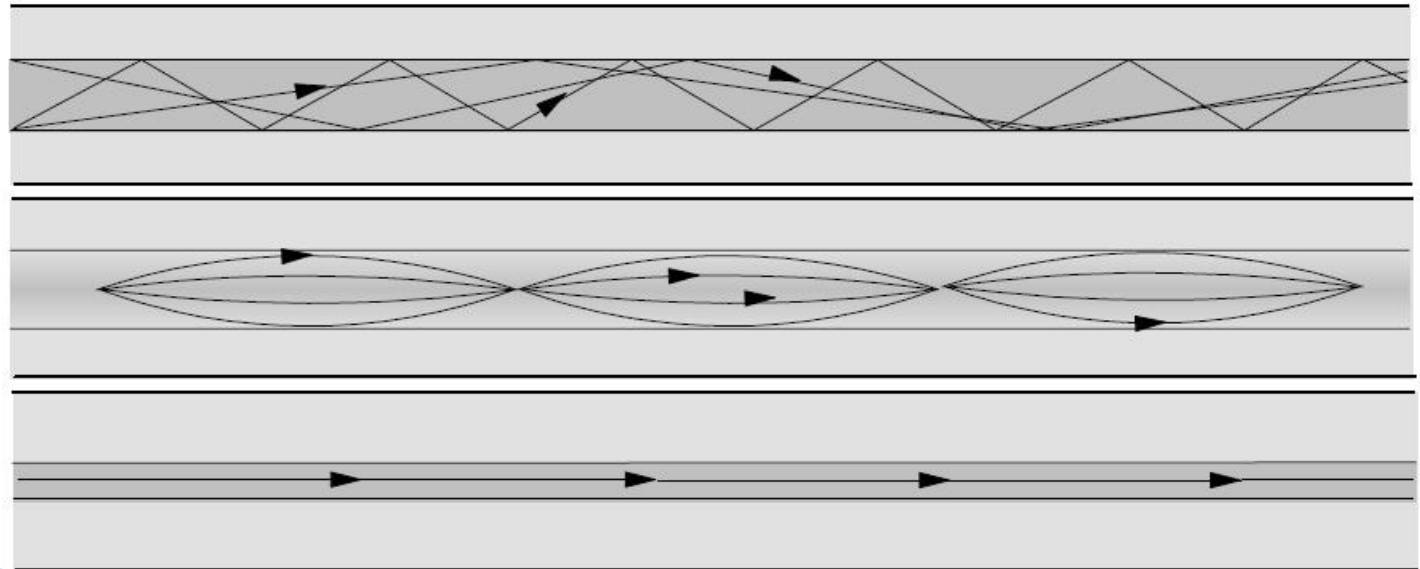
- ▶ Propagarea cu viteze diferite a radiatiilor cu trasee/lungimi de unda diferite
  - intermodala (**modala** – depinde de prezenta modurilor)
  - intramodala (**cromatica** – depinde de lungimea de unda)
    - de material
    - de ghid





# Dispersia modala

- ▶ 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

## ▶ 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

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

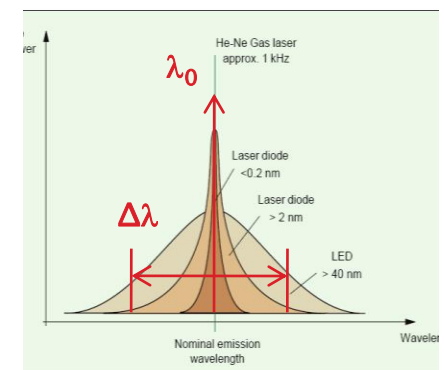
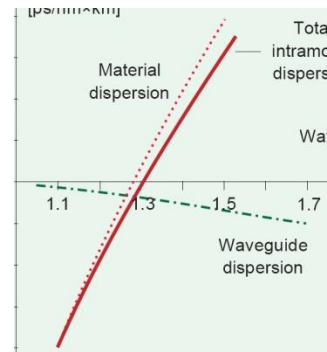
$$\Delta = 0.01 \div 0.02 \ll 1$$

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

## ▶ Dispersia cromatica

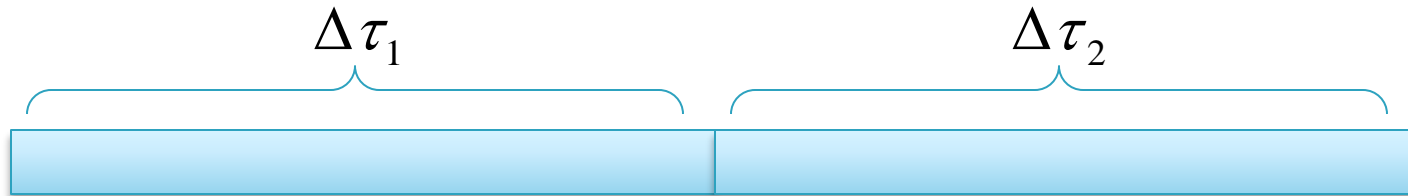
$$\Delta\tau_{cr} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

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



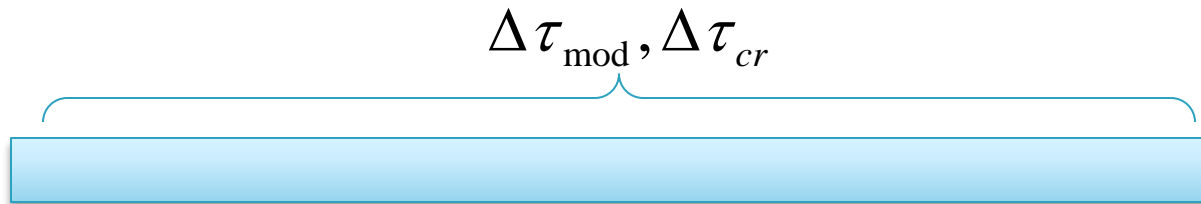
# Sumarea efectelor

- ▶ efecte **succesive** se adună liniar



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

- ▶ efecte **simultane** se adună pătratic



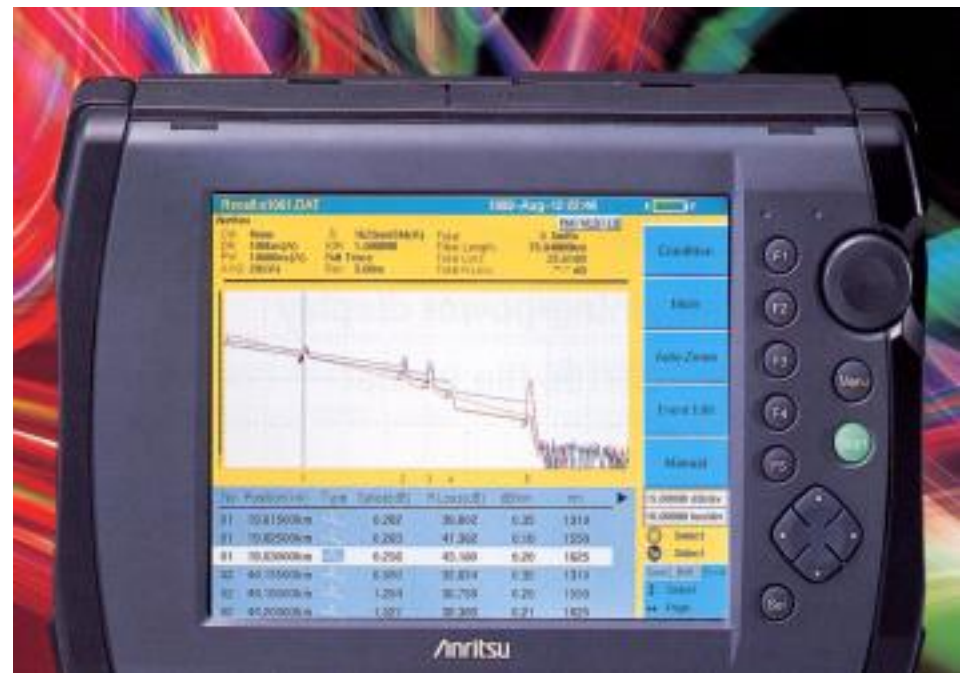
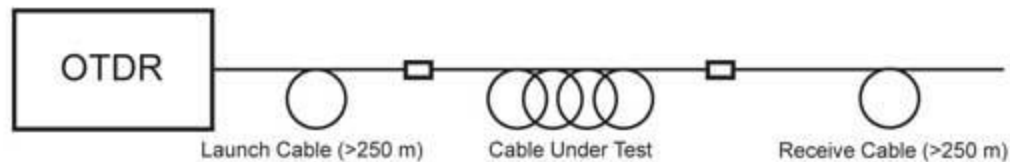
$$\Delta\tau_{tot} = \sqrt{\Delta\tau_{cr}^2 + \Delta\tau_{mod}^2}$$

# Fibra optică – Tehnologie

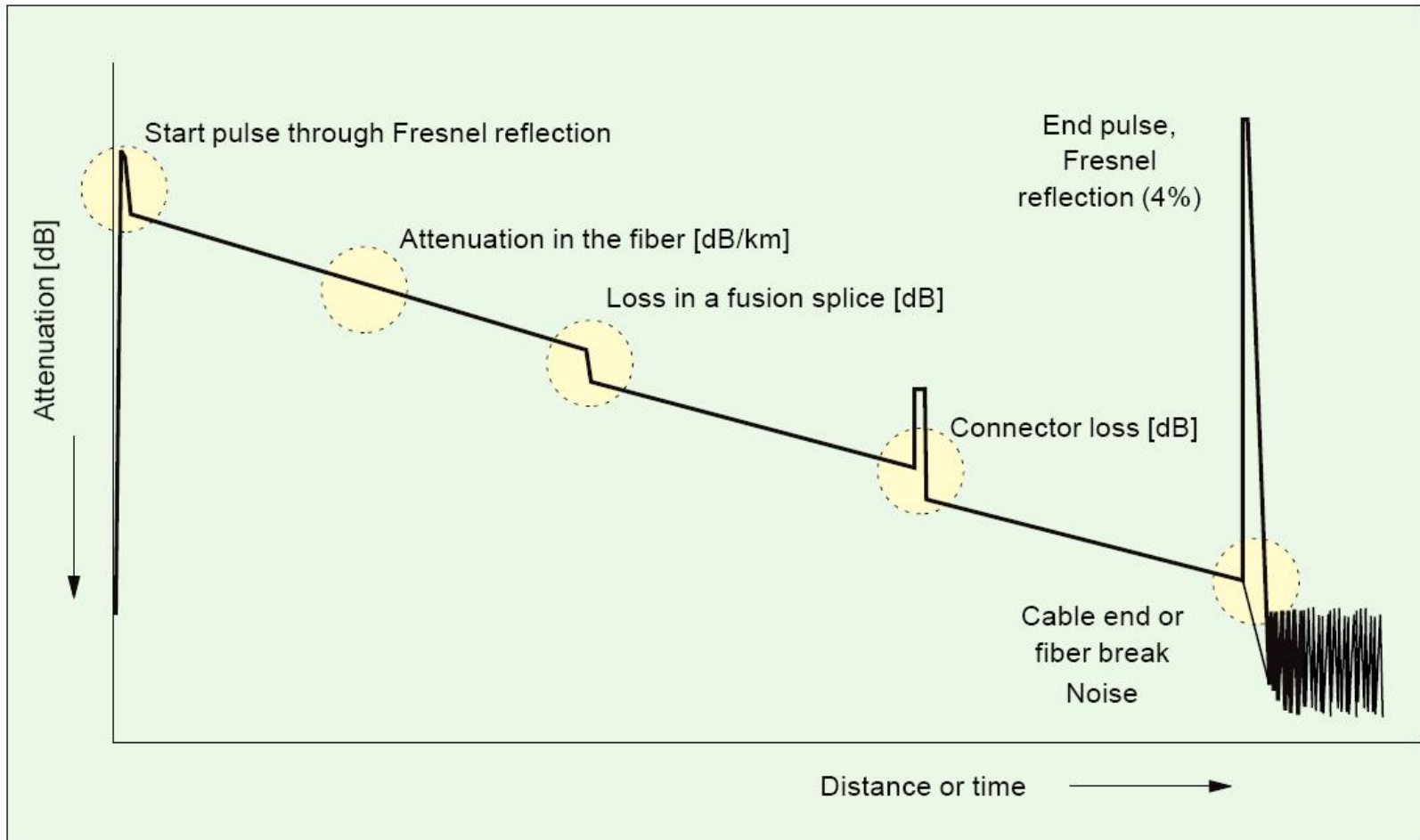
Capitolul 5

# OTDR

- ▶ Optical Time–Domain Reflectometer
- ▶ Localizarea defectelor



# Rezultat grafic al OTDR





# Cabluri, Conectori, rf-opto

rf-opto.etti.tuiasi.ro says  
Request access!  
OK

Education software

[Curs 3 OPTO 2020](#) (pdf, 9.01 MB, ro, 🇷🇴)

[Curs 4 OPTO Fibra 2020](#) (pdf, 8.18 MB, ro, 🇷🇴)

[Curs Fibra \(video, prezenta prin interfata examen\)](#) (mp4, 215.77 MB, ro, 🇷🇴)

### Textbooks

[IBM Redbooks - Understanding Optical Communications](#) (pdf, 5.24 MB, en, 🇸🇪)

[Behzad Razavi - Design of Integrated Circuits for Optical Communications](#) (pdf, 11.18 MB, en, 🇸🇪)

[John Powers - An Introduction to Fiber Optic Systems](#) (pdf, 50.54 MB, en, 🇸🇪)

[Stefan Nilsson-Gistvik - Optical Fiber Theory for Communication Networks](#) (pdf, 17.62 MB, en, 🇸🇪)

[Structur Optoelectronics](#) (pdf, 3.13 MB, ro, 🇷🇴)

[EU Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\)](#) (link, 0 Bytes, en, 🇸🇪)

[MIT Course - Fundamentals of Photovoltaics](#) (link, 0 Bytes, en, 🇸🇪)

### Laboratory

[Laborator 1](#) (pdf, 159.01 KB, ro, 🇷🇴)

[Laborator 2](#) (pdf, 269.94 KB, ro, 🇷🇴)

[Laborator 3](#) (pdf, 143.82 KB, ro, 🇷🇴)

[Laborator 4](#) (pdf, 156.42 KB, ro, 🇷🇴)

[Laborator 5](#) (pdf, 161.33 KB, ro, 🇷🇴)

[Laborator 6](#) (pdf, 138.19 KB, ro, 🇷🇴)

[Laborator 7](#) (pdf, 139.17 KB, ro, 🇷🇴)



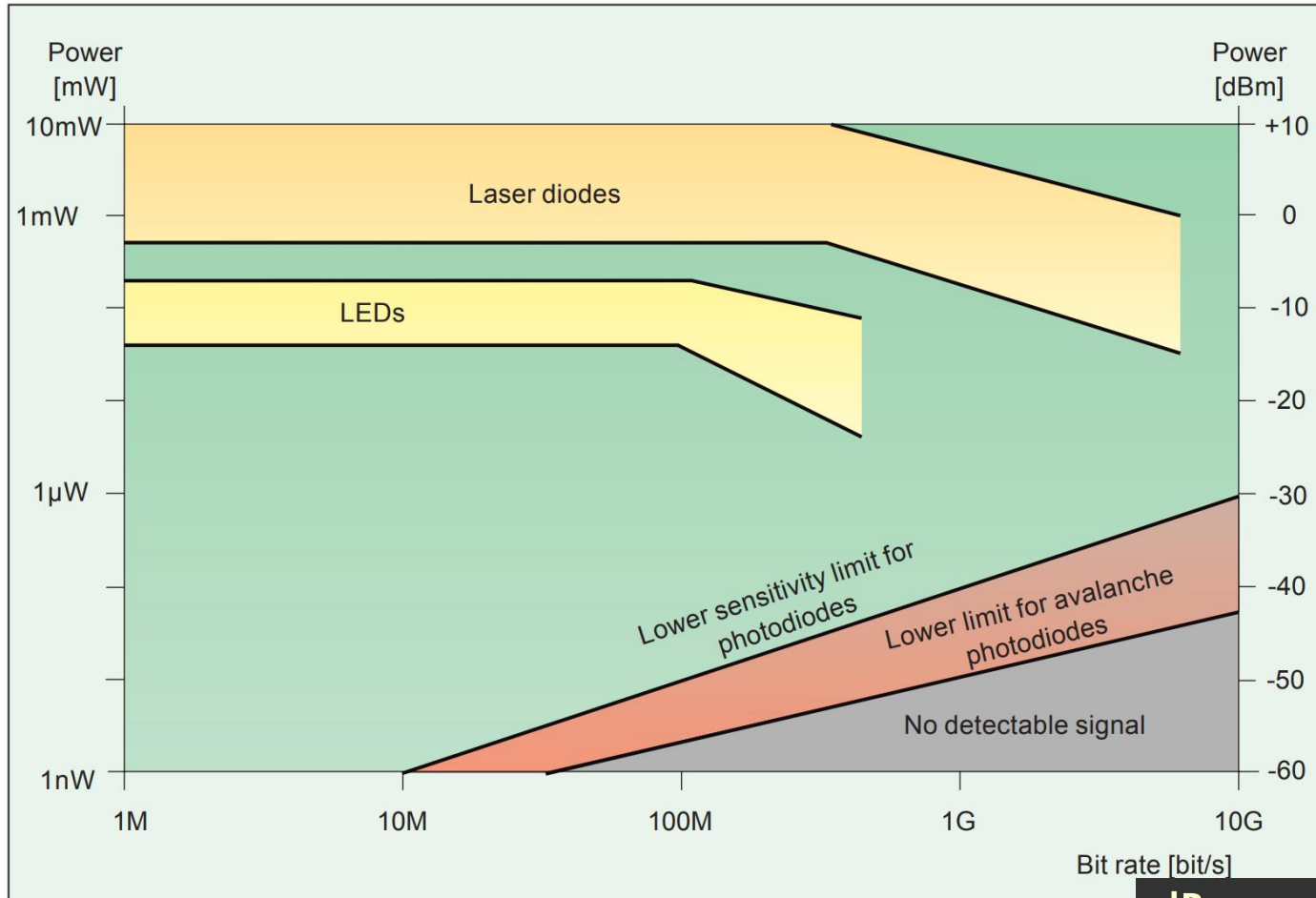
# Dimensionarea unei legături pe fibra optică

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

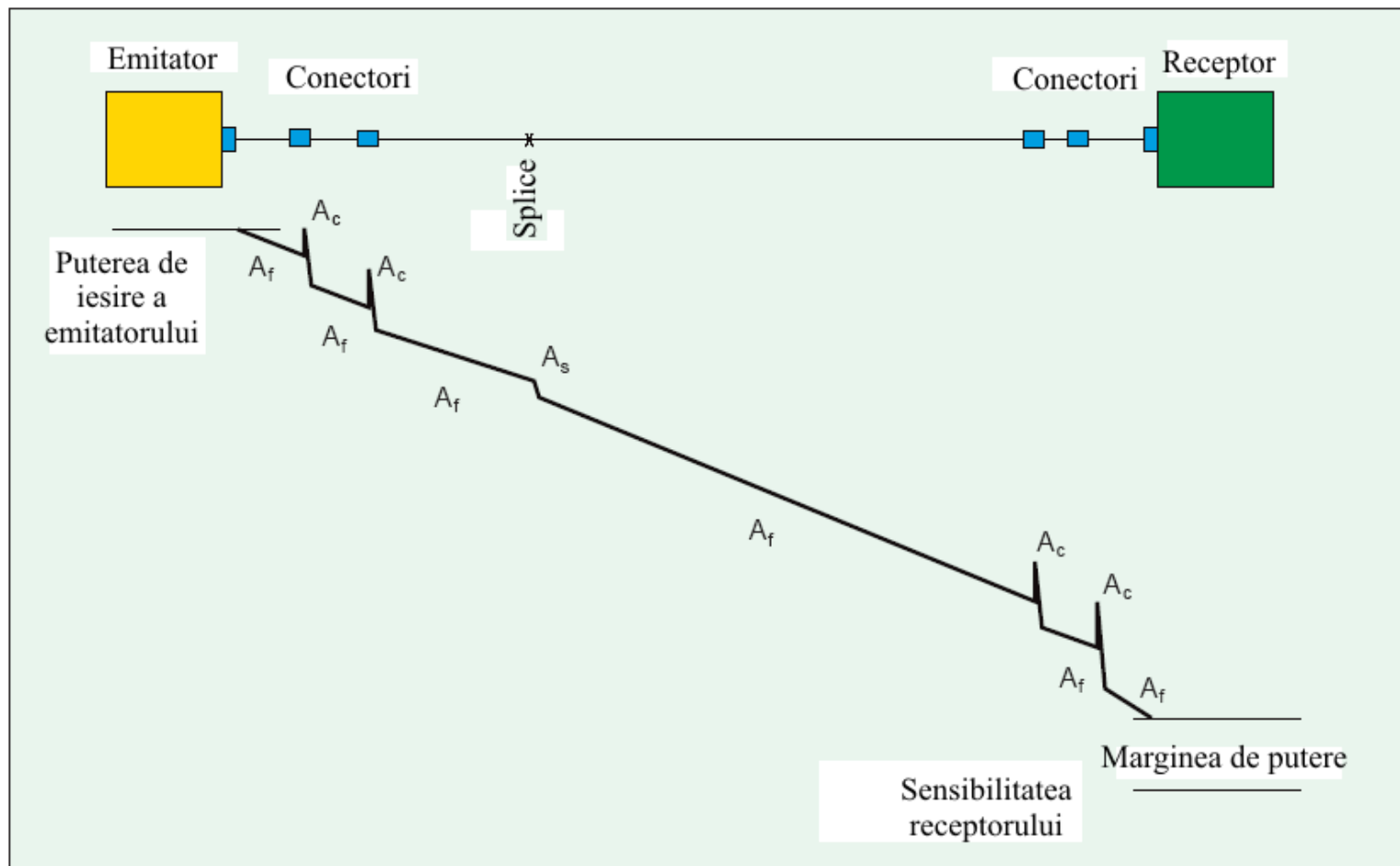


$$\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} (P_2 / P_1)$$

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

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

# Legatura pe fibra optica

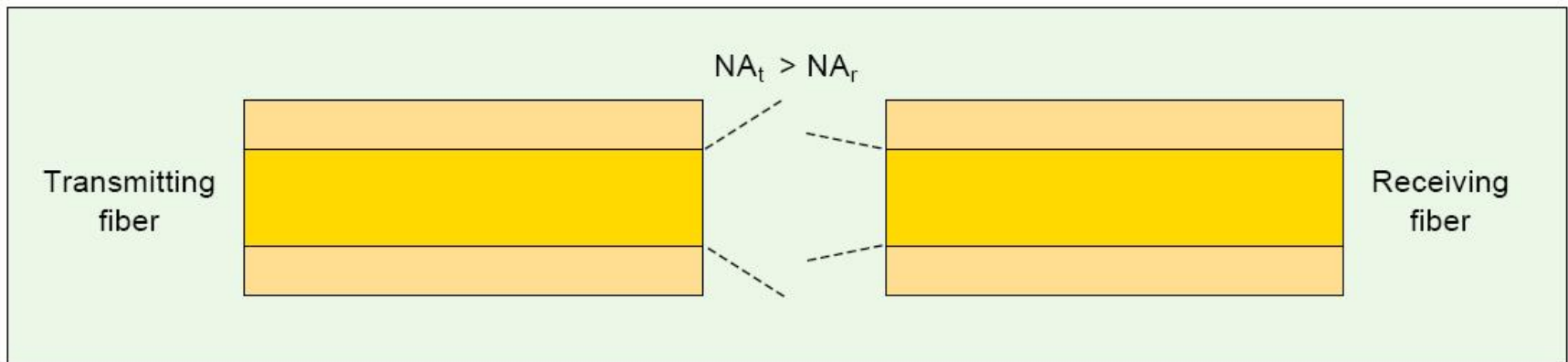


# Atenuare

- ▶ 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



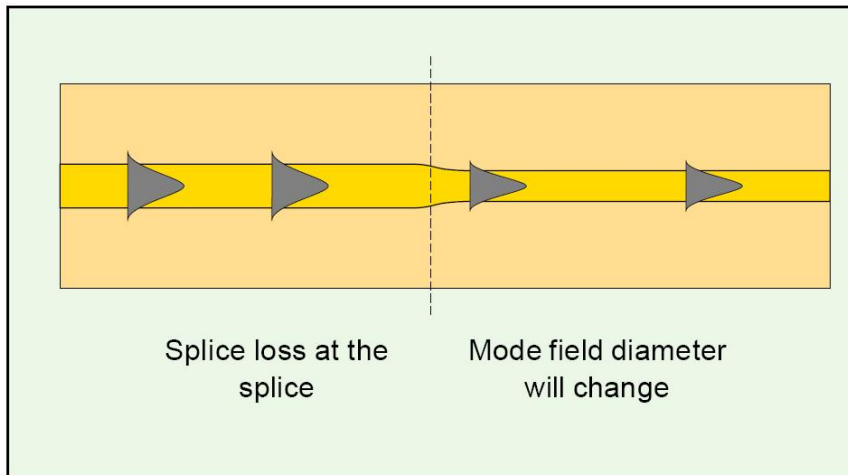
$$\text{Atenuare}_{\text{NA}} [\text{dB}] = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\text{NA}_r}{\text{NA}_t} \right)^2$$

numai pentru  $\text{NA}_r < \text{NA}_t$

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

# 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  $\forall w_1, w_2$

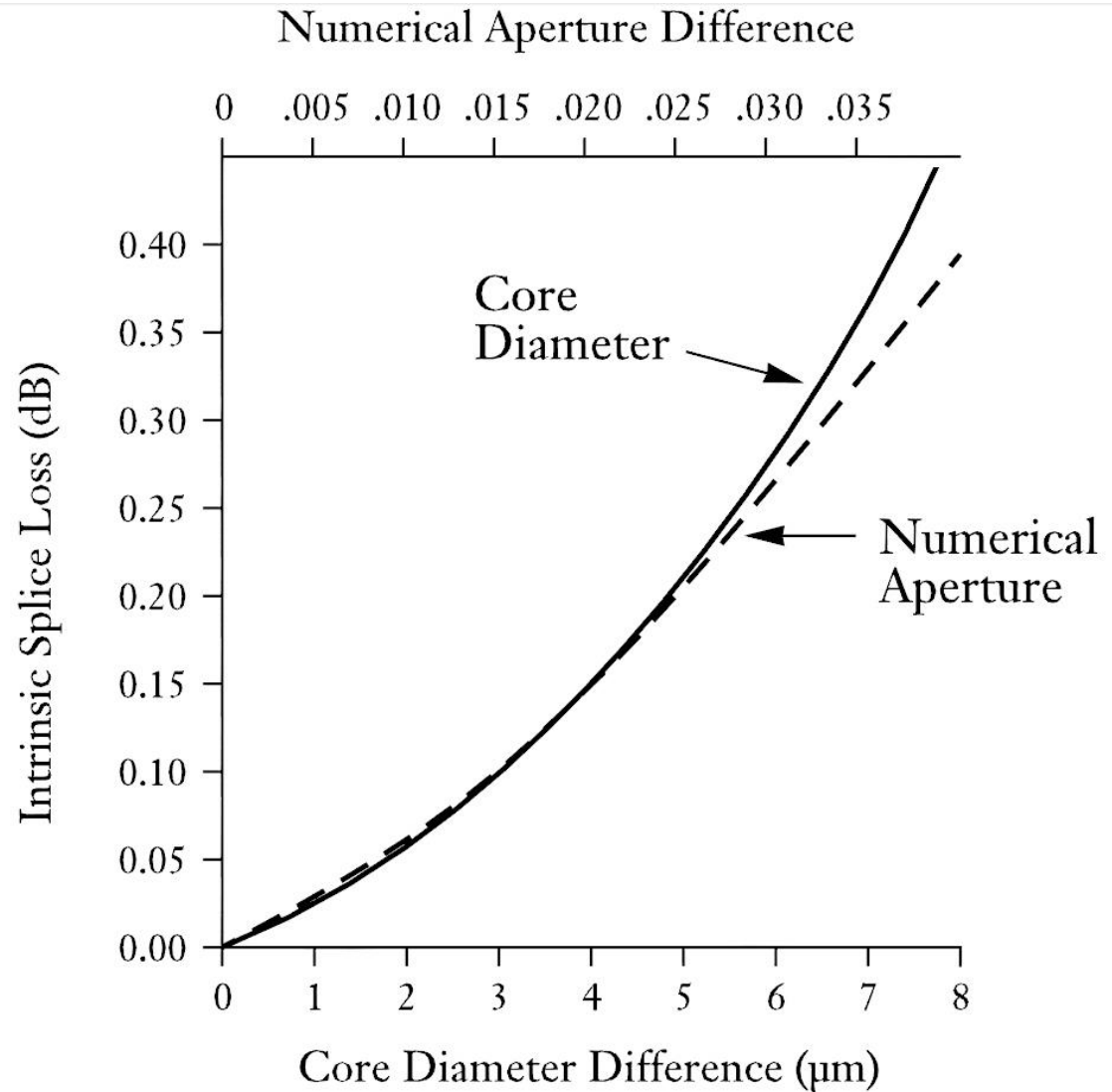
**w = MFD !!**

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



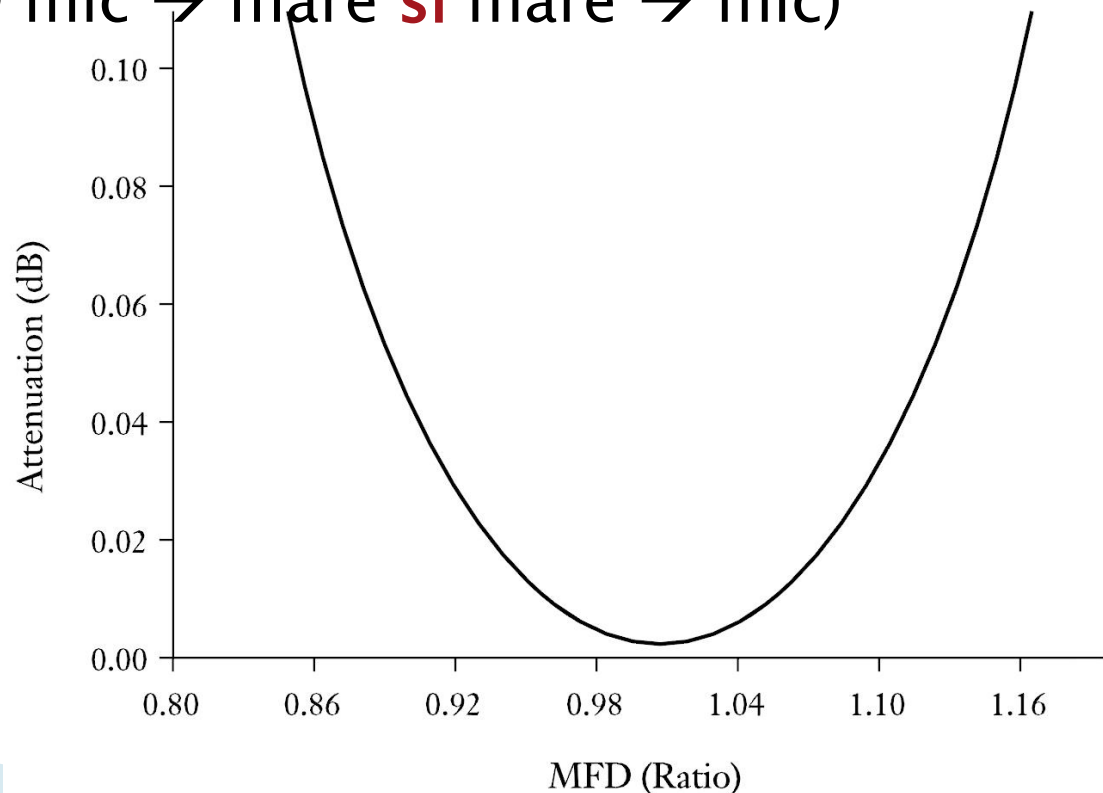
# Pierderi

- ▶ multimod



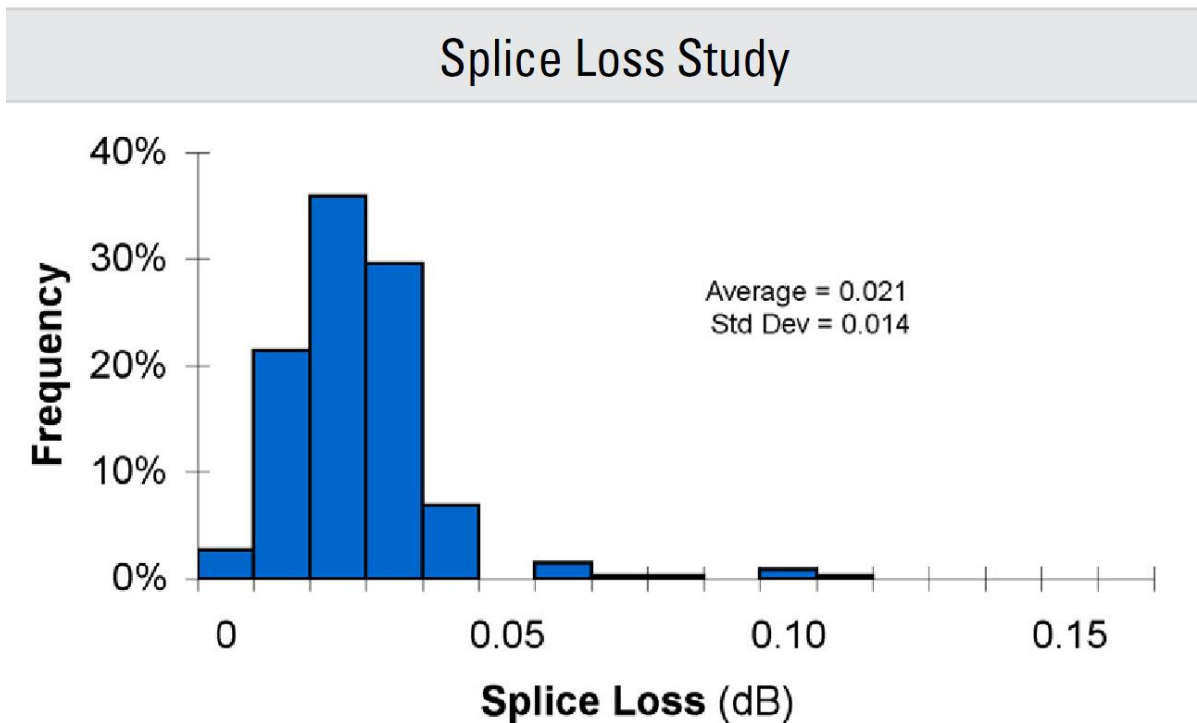
# Pierderi

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

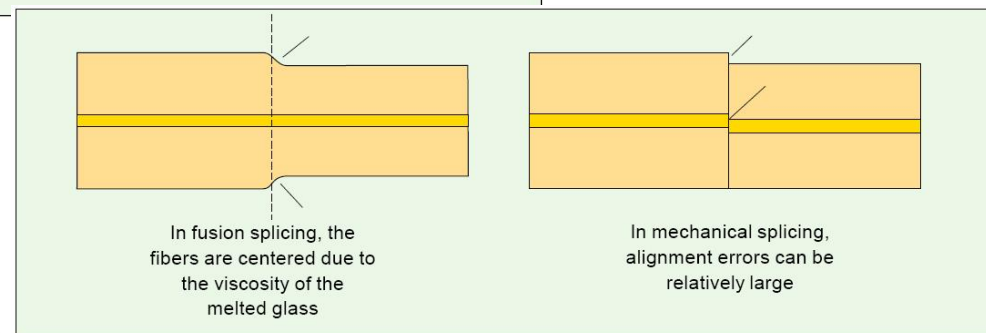
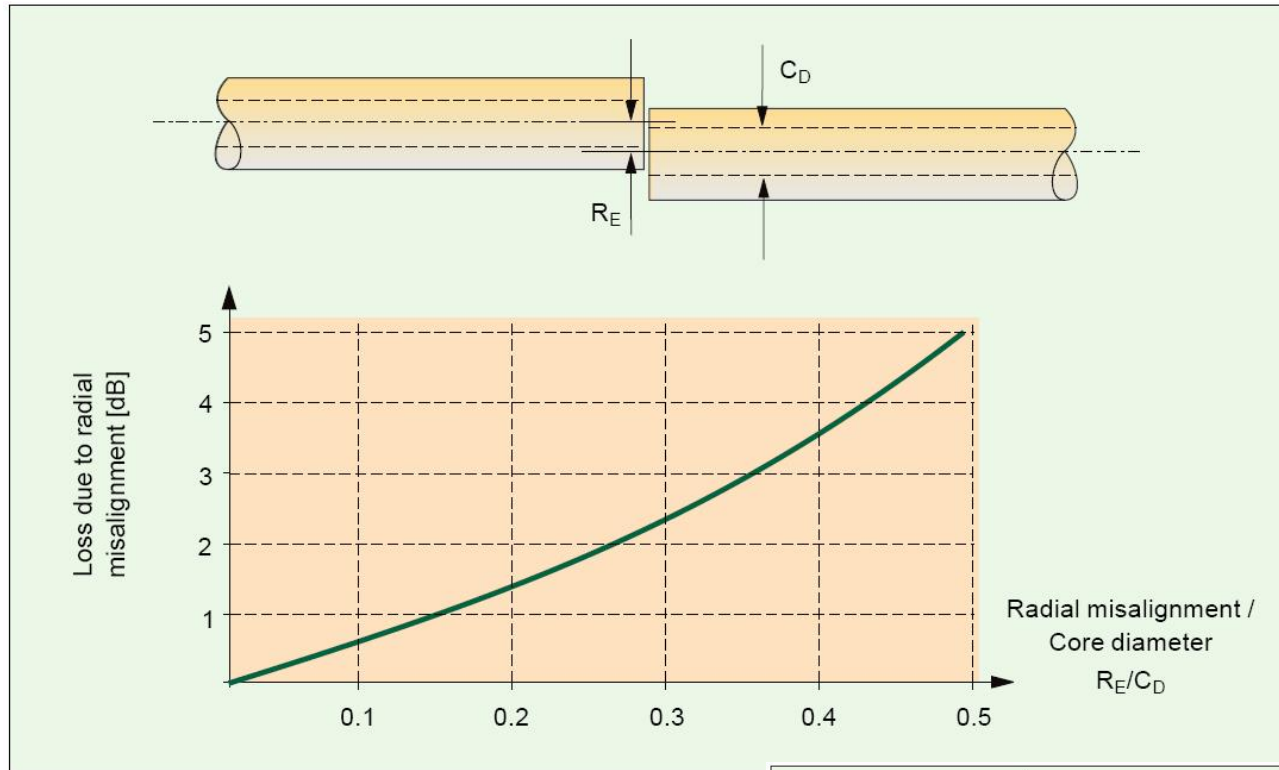


# Pierderi

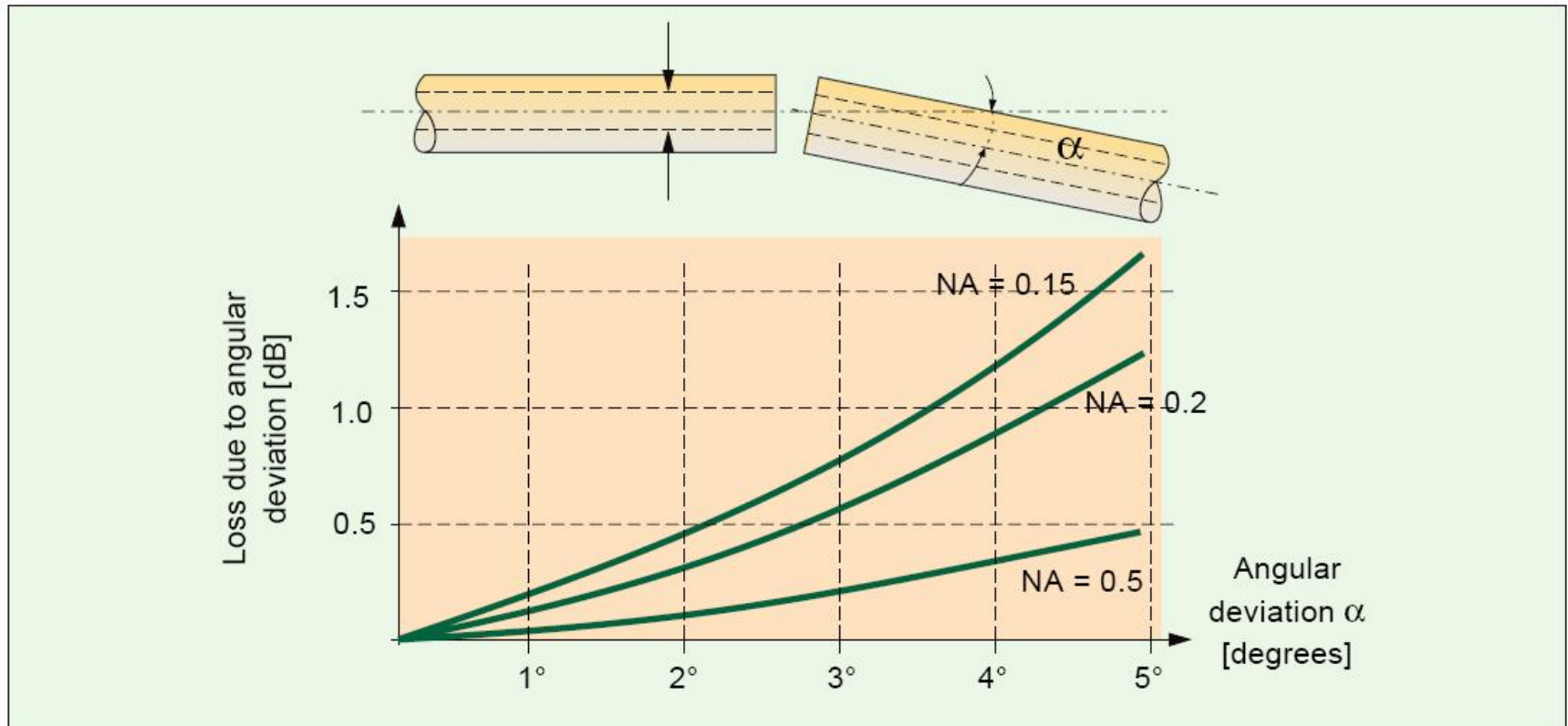
- ▶ monomod
- ▶ tipic: cel mai dezavantajos pentru MFD =  $9.3 \pm 0.5 \mu\text{m}$   $\rightarrow A = 0.04\text{dB}$



# Pierderi – Nealinierarea axelor

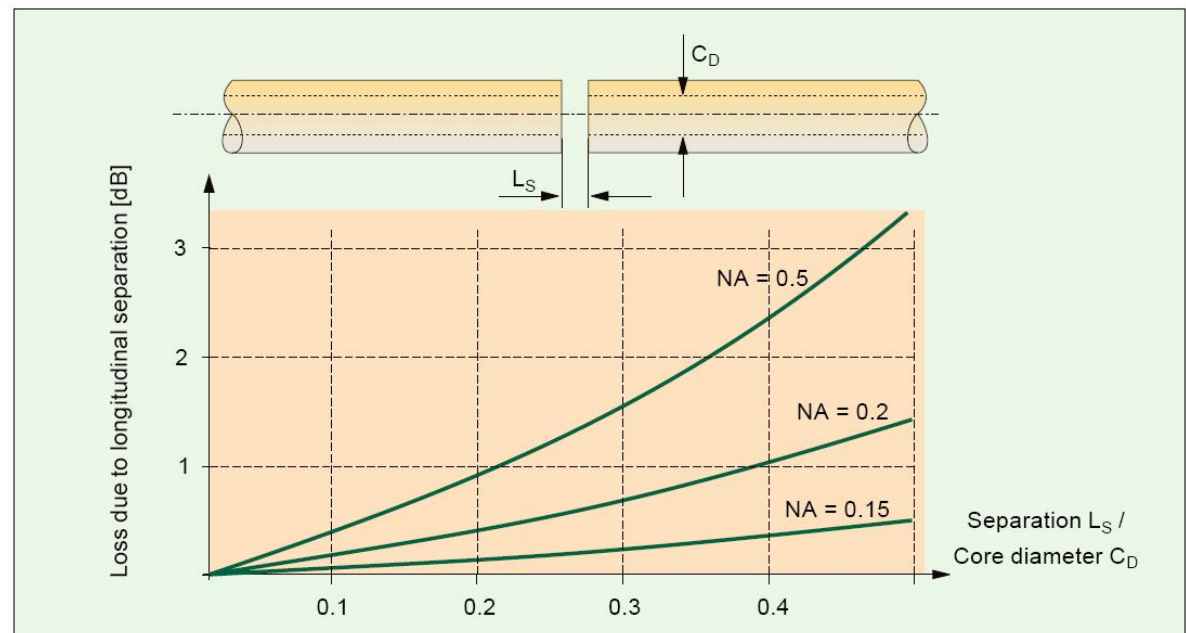


# Pierderi – unghi



# 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.

Emițători: = 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  $\geq 100$  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 ns Pulse Width)	1310 nm: -77 dB 1550 nm: -82 dB
Stimulated Brillouin Scattering Threshold	20 dBm <sup>†</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

$$Dispersion = D(\lambda) = -\frac{S_0}{4} \left[ \lambda - \frac{\lambda_0}{\lambda} \right] \text{ ps/(nm}\cdot\text{km)}$$

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@orning.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)  
 Fax: 800-539-3632 (U.S. and Canada)  
 607-786-8344 (International)  
 Email: cofc@orning.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)  
 Fax: +1 607 786 8344

Asia Pacific  
 Australia  
 Ph: 1-800-148-690  
 Fax: 1-800-148-568  
 Indonesia  
 Ph: 001-803-015-7211-1261  
 Fax: 001-803-015-7211-1262

Malaysia  
 Ph: 1-800-80-3156  
 Fax: 1-800-80-3155  
 Philippines  
 Ph: 1-800-1-116-0338  
 Fax: 1-800-1-116-0339

Singapore  
 Ph: 800-1300-955  
 Fax: 800-1300-956  
 Thailand  
 Ph: 001-800-1-1-721-1261  
 Fax: 001-800-1-1-721-1264

Latin America  
 Brazil  
 Ph: 00817-762-4732  
 Fax: 00817-762-4996  
 Mexico  
 Ph: 001-800-235-1719  
 Fax: 001-800-339-1472

Venezuela  
 Ph: 800-1-4418  
 Fax: 800-1-4419  
 Greater China  
 Email: CCcofc@orning.com

Beijing  
 Ph: (86) 10-6505-5066  
 Fax: (86) 10-6505-5077  
 Hong Kong  
 Ph: (852) 2807-2723  
 Fax: (852) 2807-2152

Shanghai  
 Ph: (86) 21-3222-4668  
 Fax: (86) 21-6288-1575  
 Taiwan  
 Ph: (886) 2-2716-0338  
 Fax: (886) 2-2716-0339

NexCor is a trademark, and Corning and SMI-216 are registered trademarks, of Corning Incorporated, Corning, N.Y.

Any warranty or any claims relating to any Corning optical fiber is only contained in the written agreement between Corning Incorporated and the direct purchaser of such fiber.

©2003 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

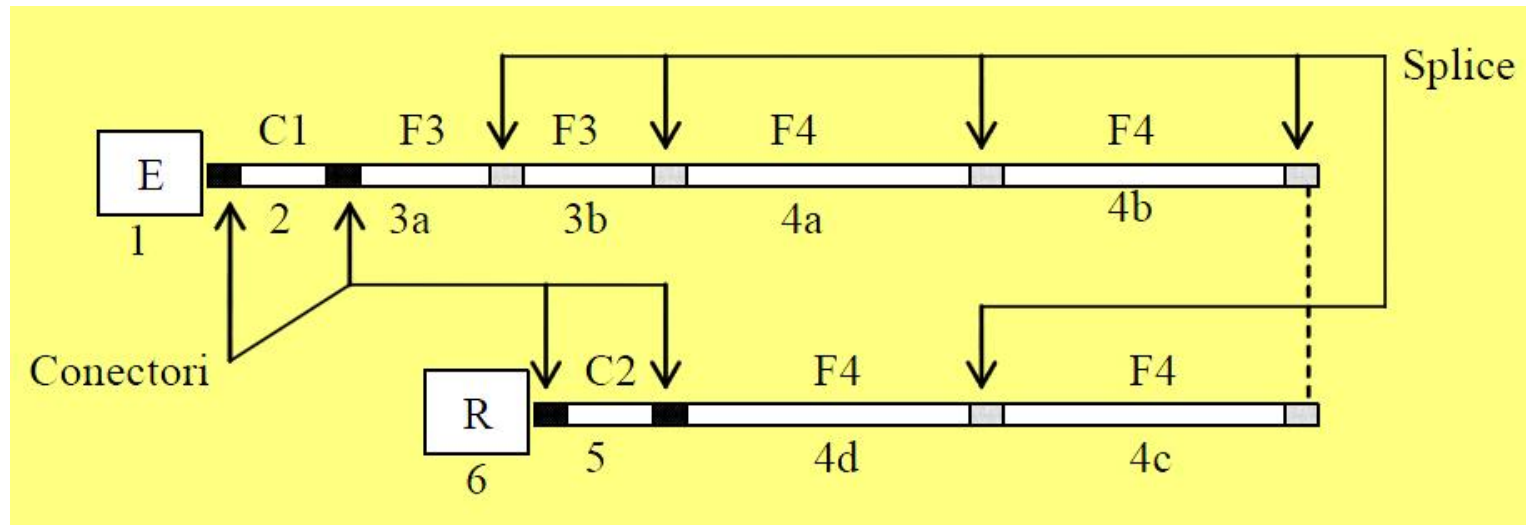
## ► Bilantul puterilor

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

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

*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

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

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

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

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

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

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

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

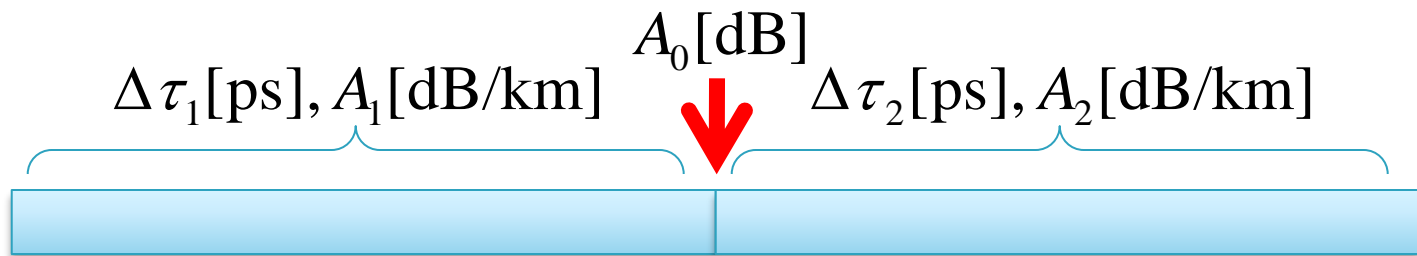
$$V [Gb/s] \cong 2 \cdot B_{el}$$

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

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

# Sisteme cu mai multe tipuri de fibra

- ▶ Fibra tip 1 conectata/sudata cu fibra tip 2
- ▶ efecte **successive** 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)

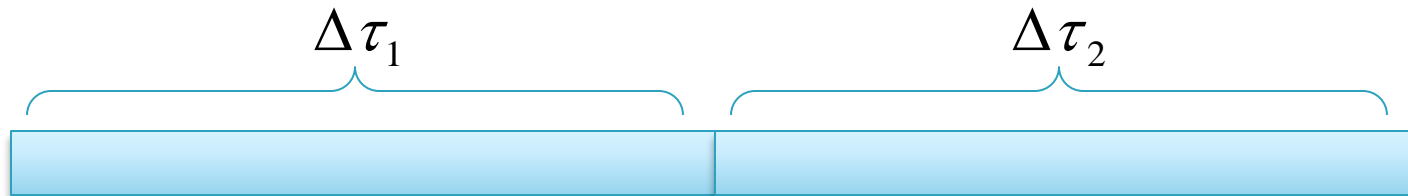


$$A_{tot} [\text{dB}] = A_1 [\text{dB/km}] \cdot L_1 [\text{km}] + A_2 [\text{dB/km}] \cdot L_2 [\text{km}] + A_0 [\text{dB}]$$

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

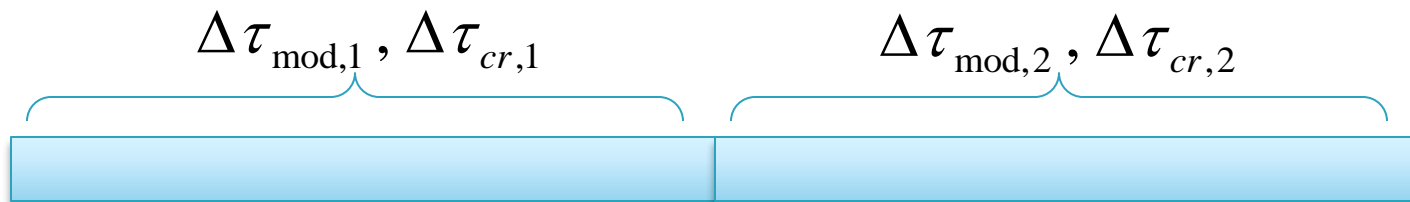
# Sisteme cu mai multe tipuri de fibra

- ▶ 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



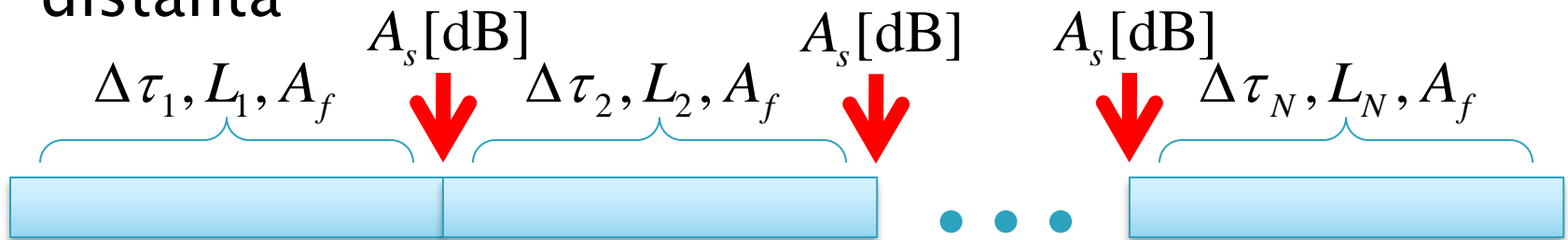
$$\Delta\tau_1 = \sqrt{\Delta\tau_{cr,1}^2 + \Delta\tau_{mod,1}^2}$$

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



# Sisteme cu același tip de fibra

- ▶ N tronsoane cu același tip de fibra conectate/sudate
  - atenuare datorită NA **nula (același tip)**
  - atenuare datorită  $\Phi$  **nula (același tip)**
  - atenuare pe splice/conector: N-1 conectori
  - lungime totală:  $L_{tot} [\text{km}] = \sum_1^N L_i [\text{km}]$
- ▶ efecte **sucsesive** se adună liniar
- ▶ efectele (dispersie și atenuare) proporționale cu distanța



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

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

# 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]

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

$$\Delta\tau_{tot\ max} [ns]$$

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

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

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

$$B \times L [MHz \cdot km]$$

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

# 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

# Calculul atenuarii

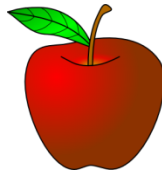
$$\text{Pierderi} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

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

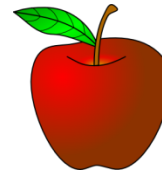
$$\text{Pierderi[dB]} = [-] (P_{out} [\text{dBm}] - P_{in} [\text{dBm}])$$



=



-



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

# 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

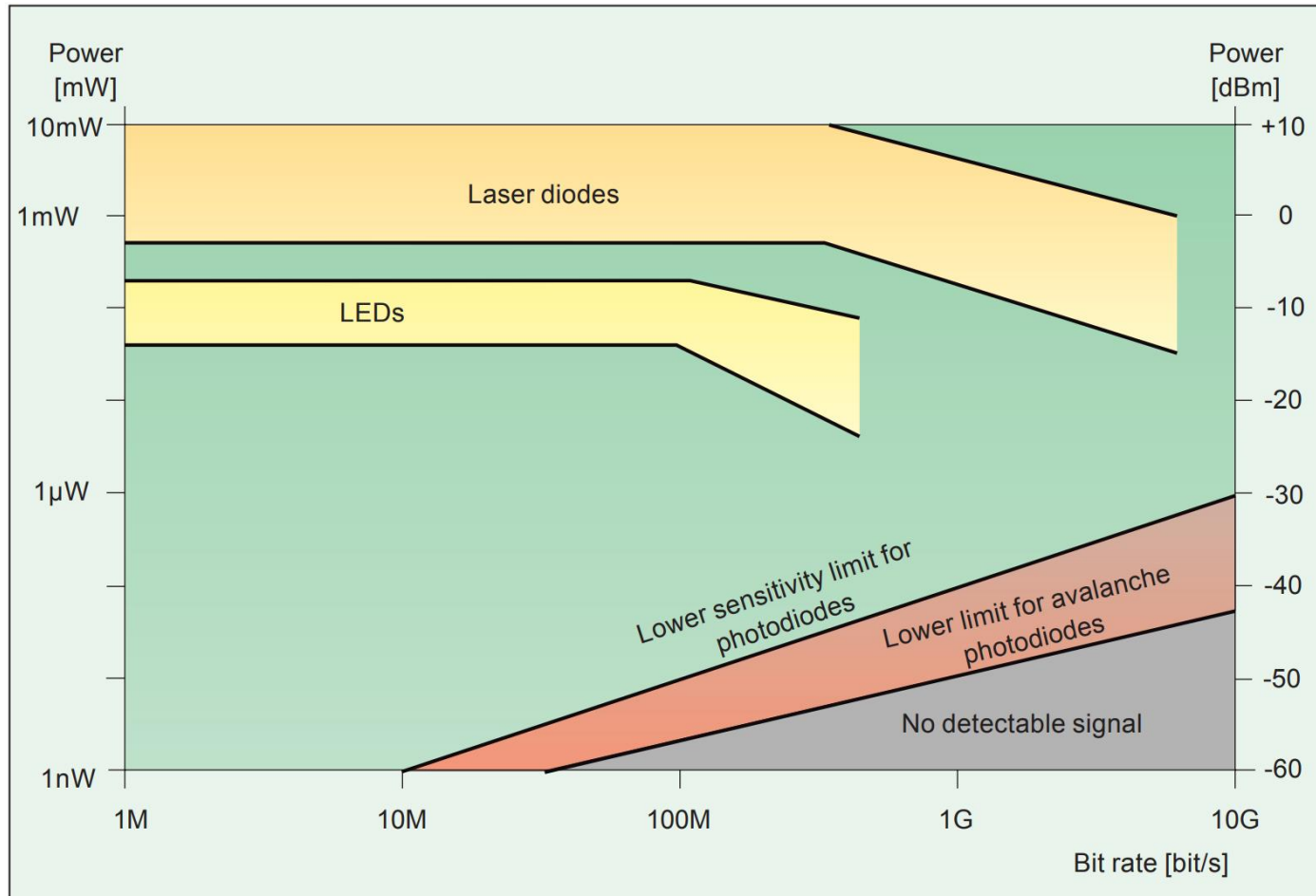
## ▶ Logaritmic

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

## ▶ Liniar

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

# 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)

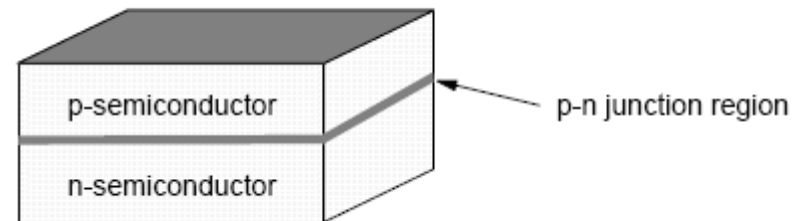
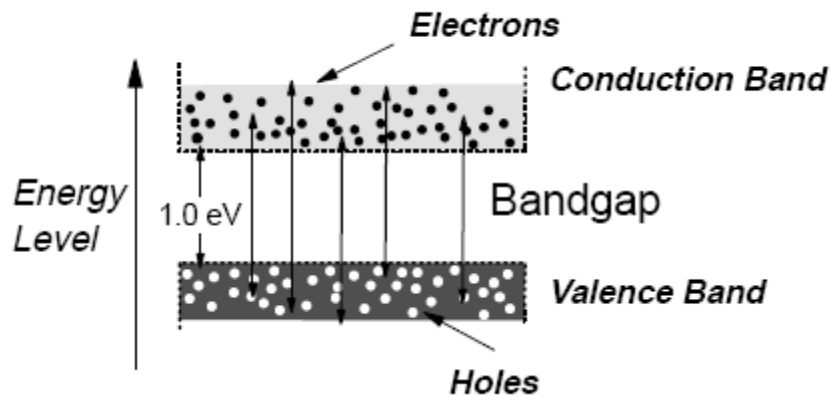
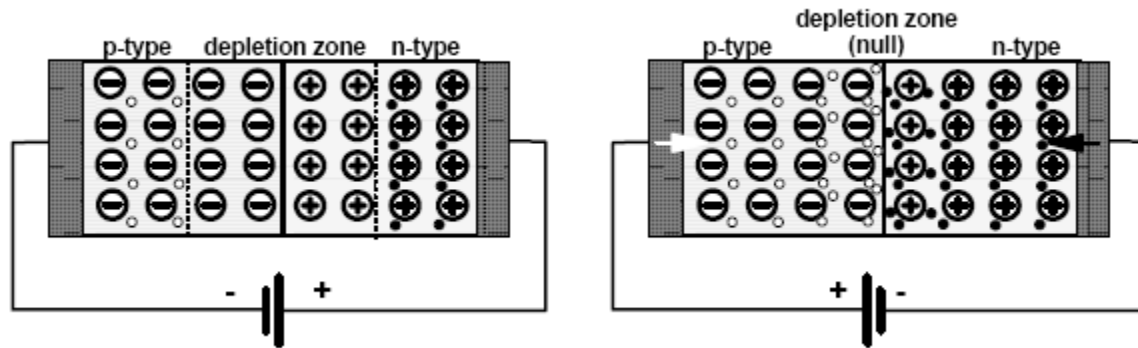
# Caracteristici LED

- ▶ 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 (GaInN)

# 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

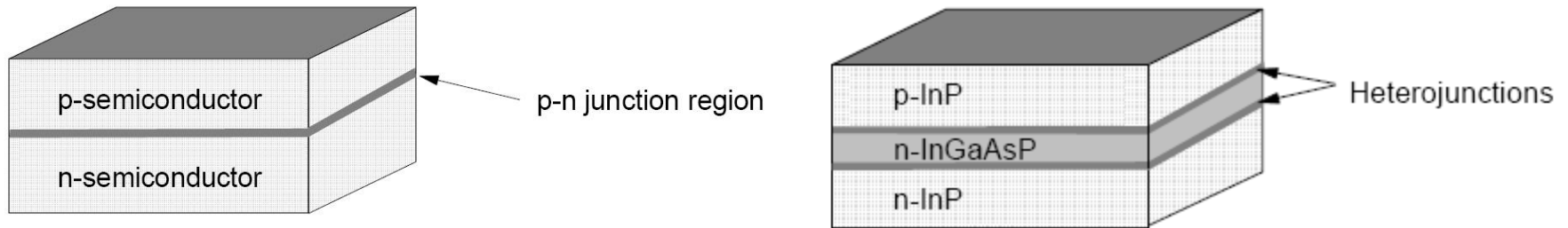
$$E_g = h\nu; \quad \lambda = \frac{hc}{E_g}; \quad \lambda[\mu\text{m}] = \frac{1.240}{E_g[\text{eV}]}$$

- ▶  $h$  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

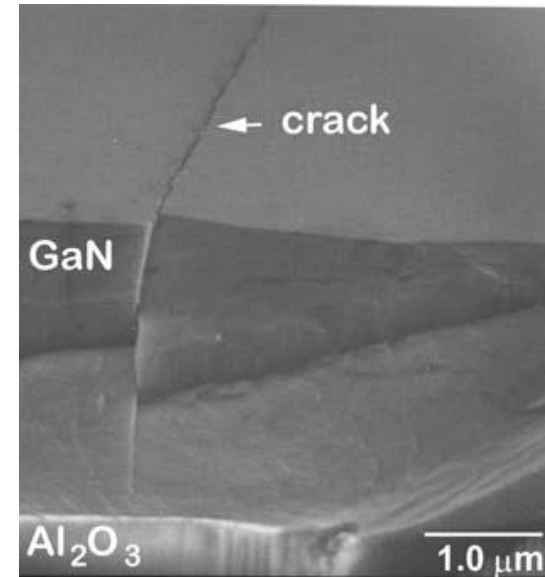
# LED cu heterojunțiuni – preview



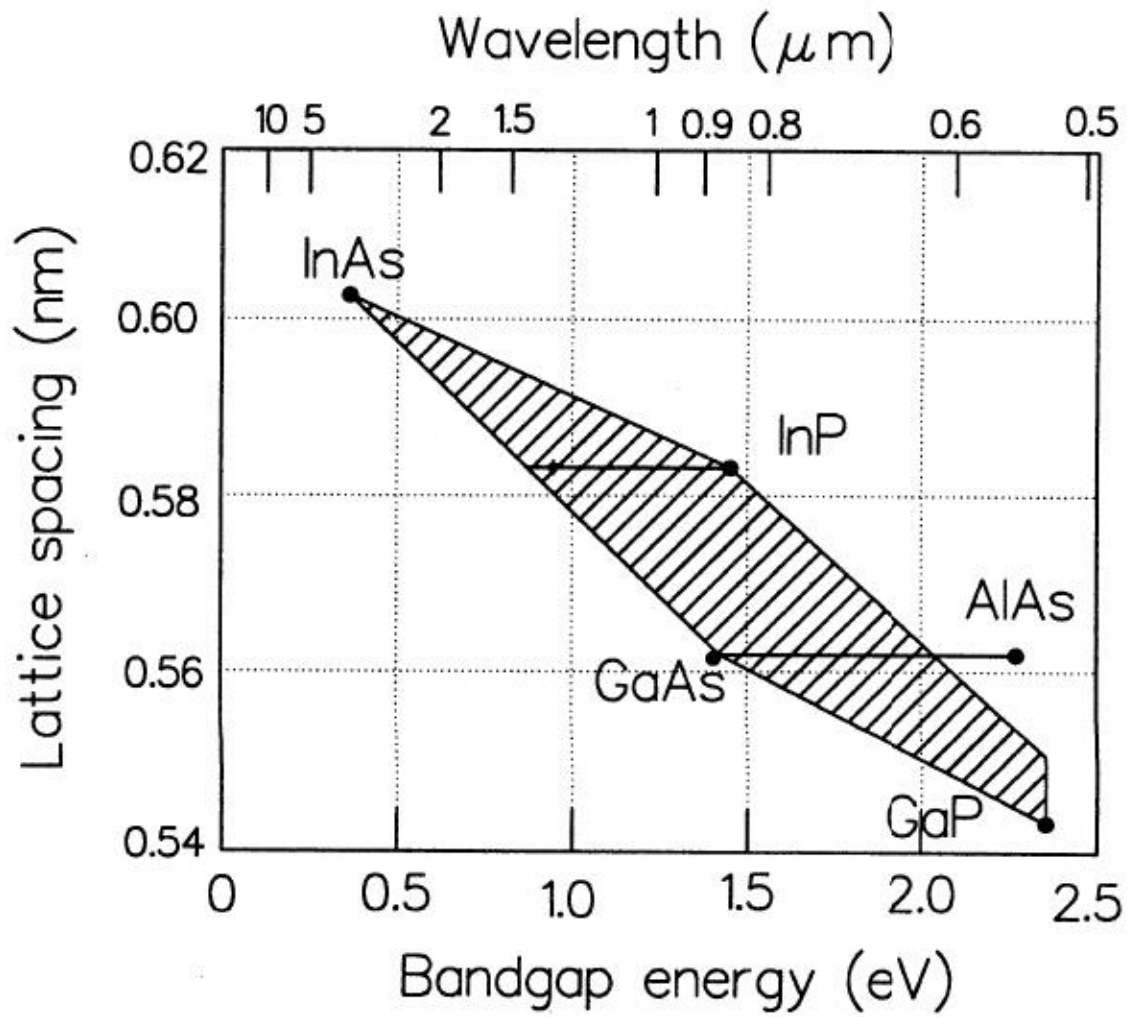
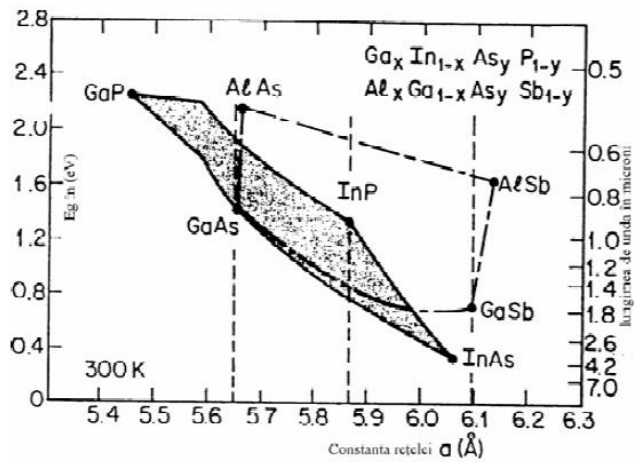
- ▶ **Orice** jonctiune p–n emite lumina
- ▶ O jonctiune p–n obisnuita este foarte subtire
  - volumul in care apar recombinari este foarte mic
  - eficienta luminoasa, redusa
- ▶ lumina este emisa in toate directiile
  - cantitatea de lumina utilizabila (intr–o anumita directie) este redusa

# 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 – 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

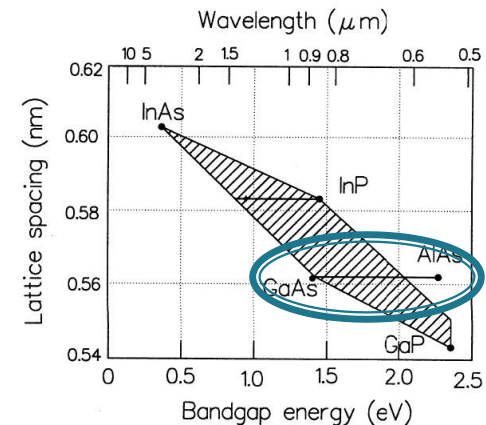
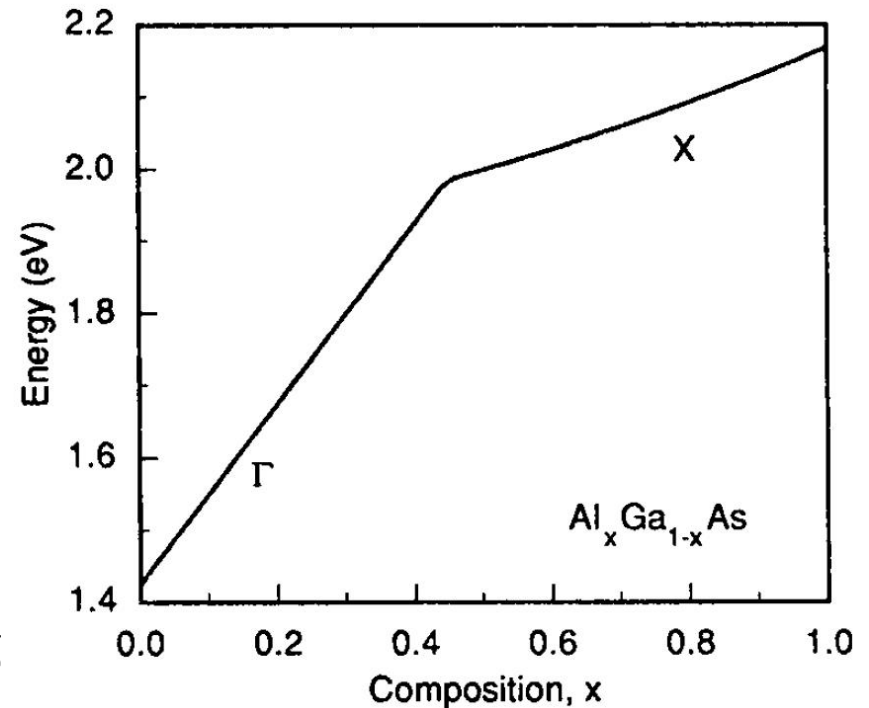


# Materiale

- ▶ 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

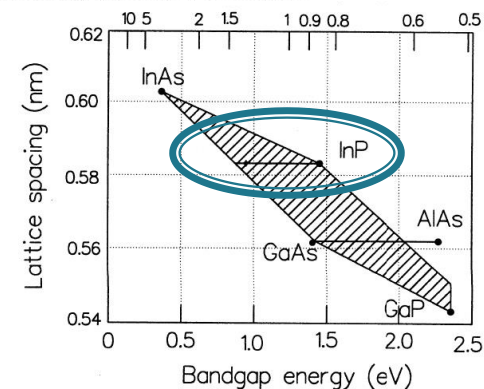
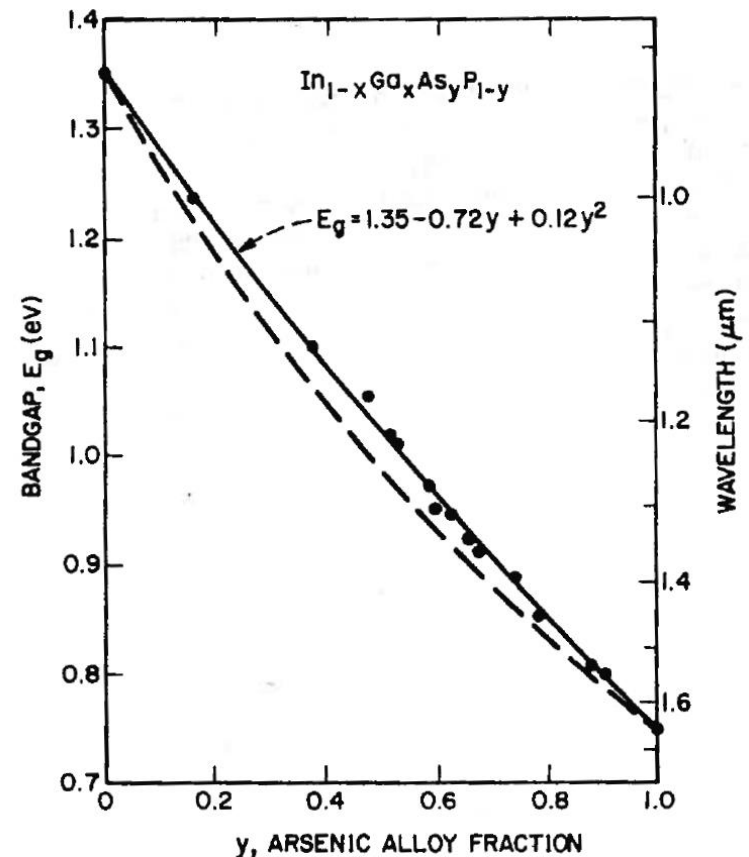
$$x = \frac{0.4526 \cdot y}{1 - 0.031 \cdot y}$$

- $E_g$  (in eV)

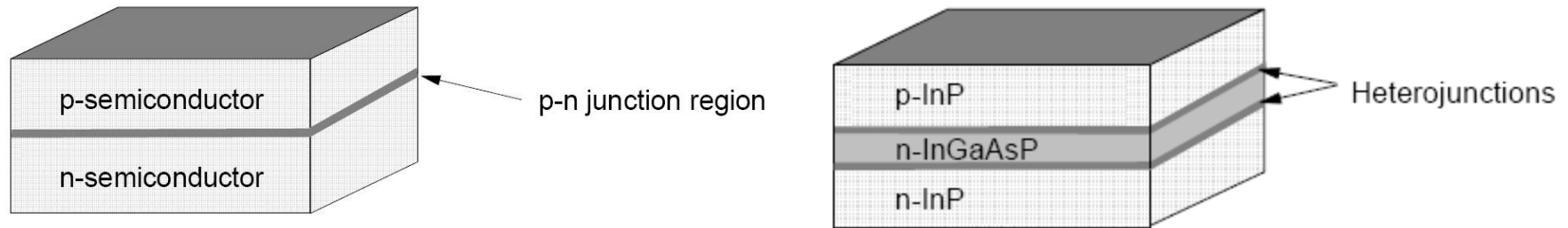
$$E_g = 1.35 - 0.72 \cdot y + 0.12 \cdot y^2$$

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

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

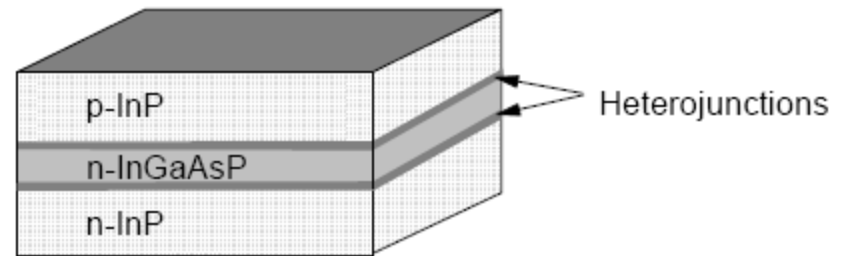
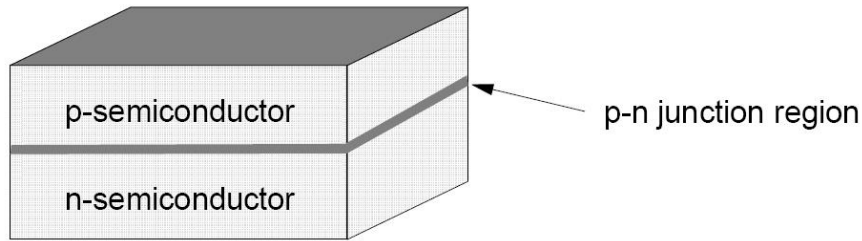


# LED cu heterojunțiuni – principiu

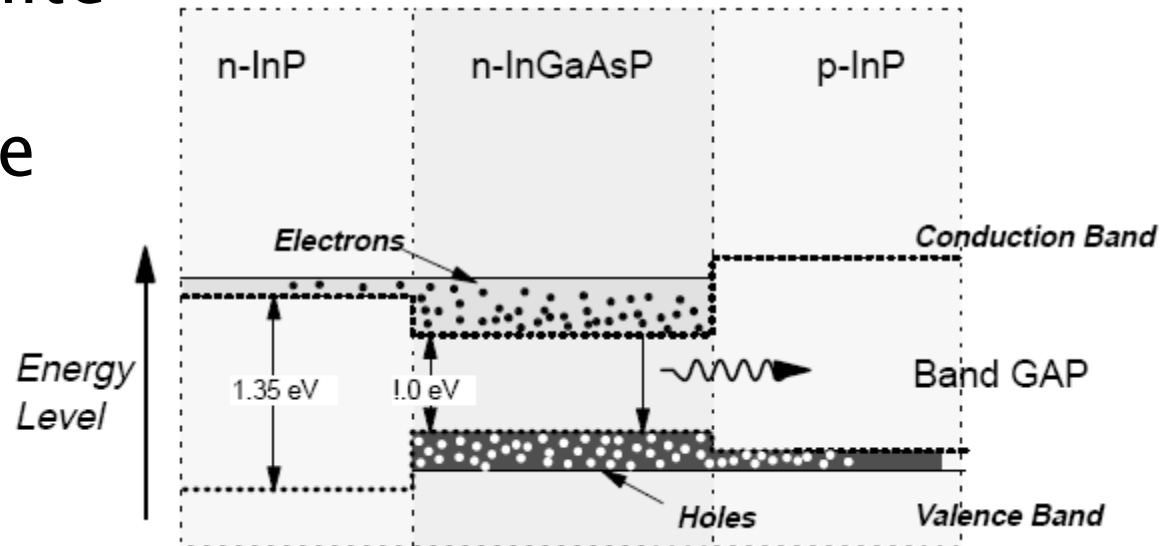


- ▶ **Orice** jonctiune p–n emite lumina
- ▶ O jonctiune p–n obisnuita este foarte subtire
  - volumul in care apar recombinari este foarte mic
  - eficienta luminoasa, redusa
- ▶ lumina este emisa in toate directiile
  - cantitatea de lumina utilizabila (intr–o anumita directie) este redusa

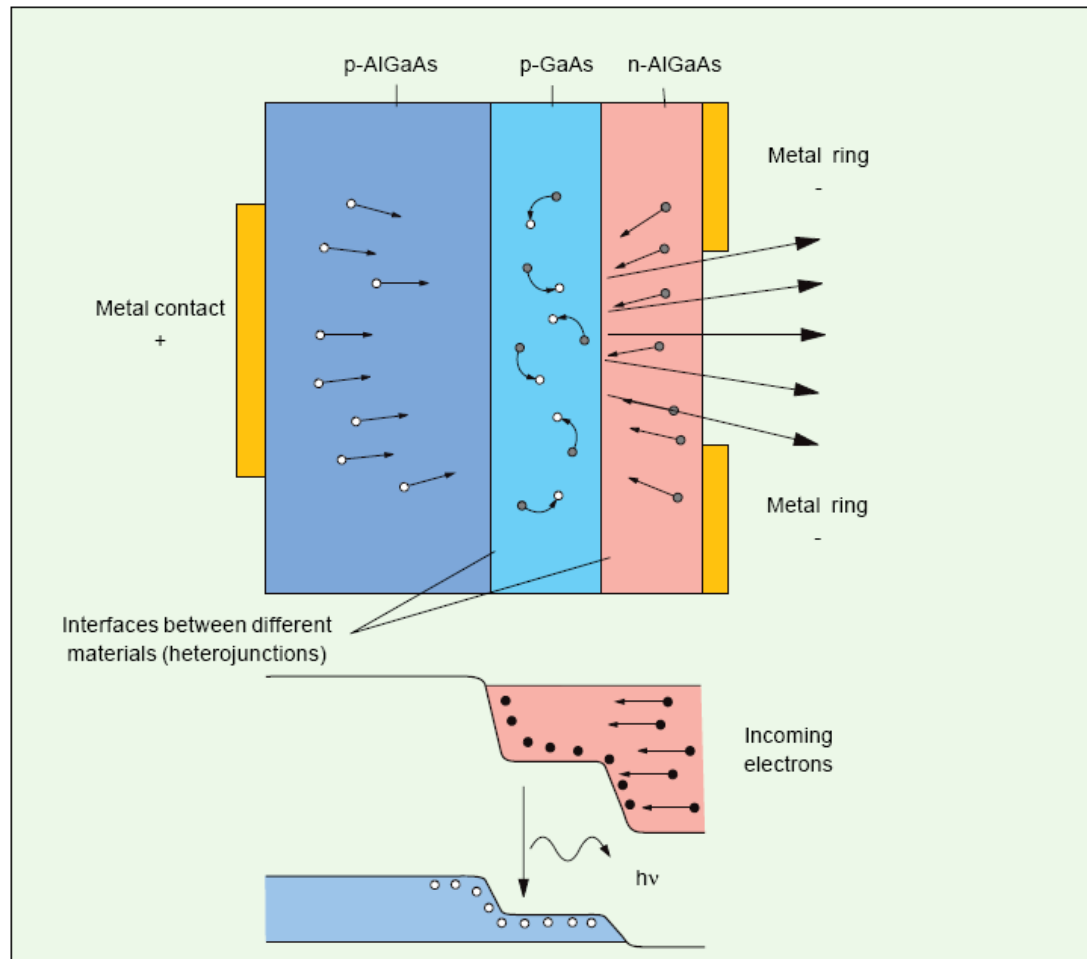
# LED cu heterojunțiuni – principiu



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



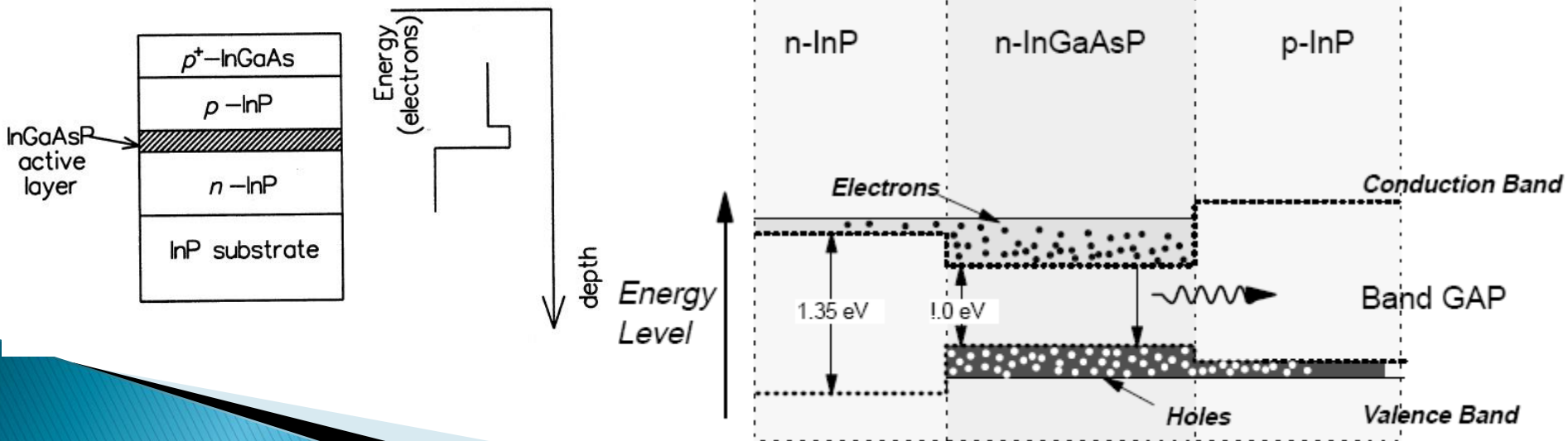
# LED cu heterojunțiuni – principiu



# LED cu heterojunțiuni – principiu

## ▶ Concentrare verticală a purtătorilor

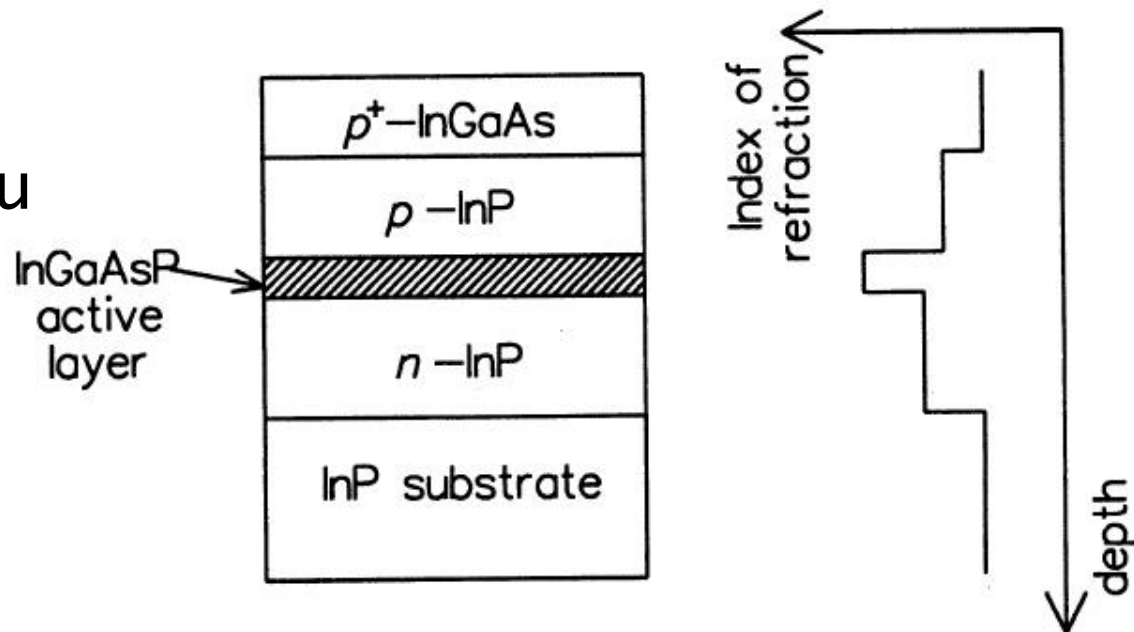
- Electronii sunt atrași din zona n în zona activă
- O barieră energetică existentă între zona activă și zona n concentrează electronii în zona activă
- Situație similară corespunzătoare golurilor
- Purtătorii sunt concentrați în zona activă, crescând eficiența



# 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

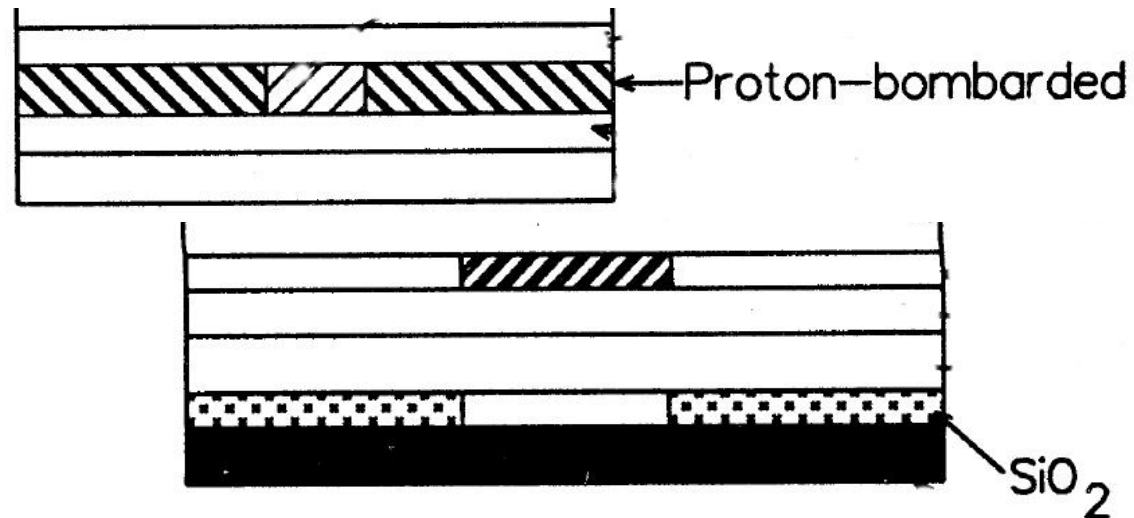
- ▶ Straturile din materiale diferite au indici de refracție diferiți formând un ghid dielectric



# LED cu heterojunțiuni – principiu

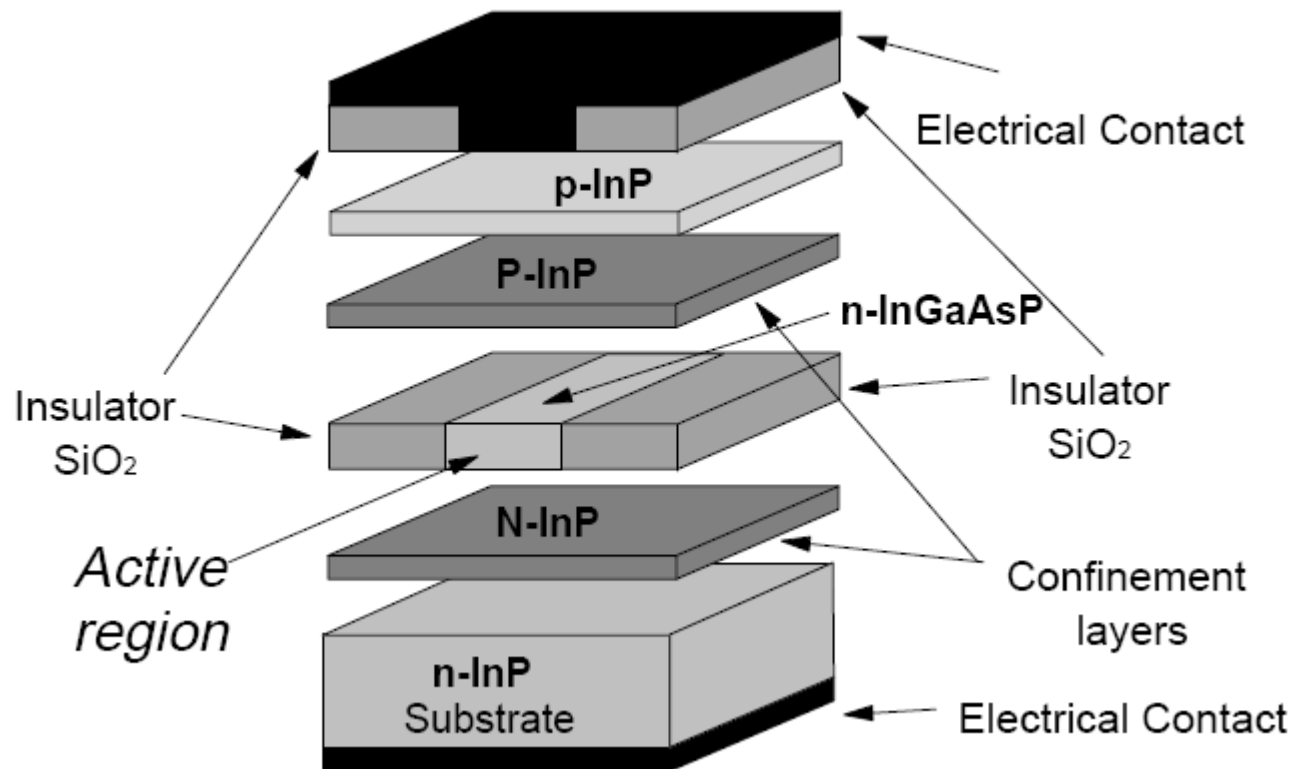
## ► Concentrare orizontală a curentului

- 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



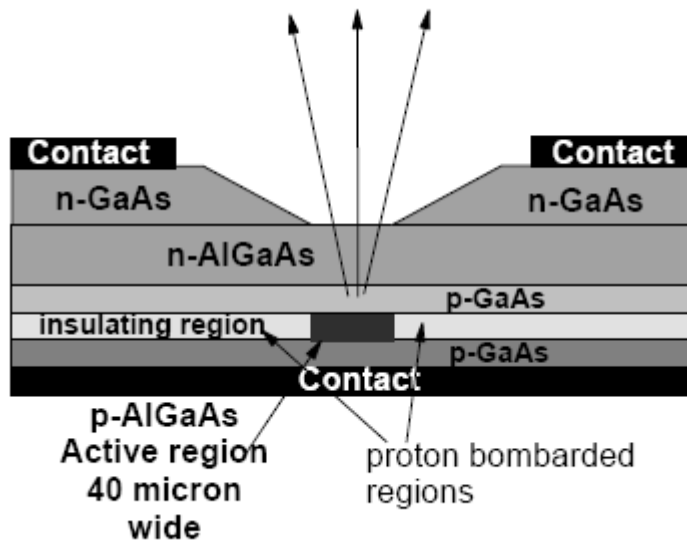


# LED cu heterojunțiuni – detalii

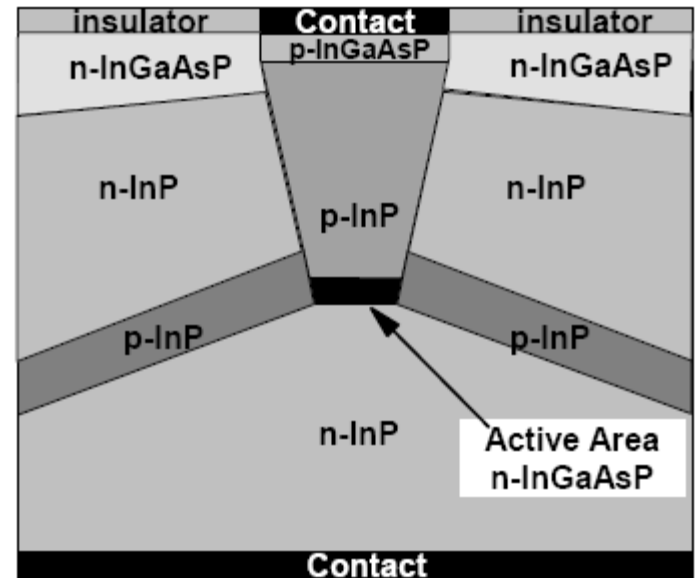




# Structuri constructive pentru LED

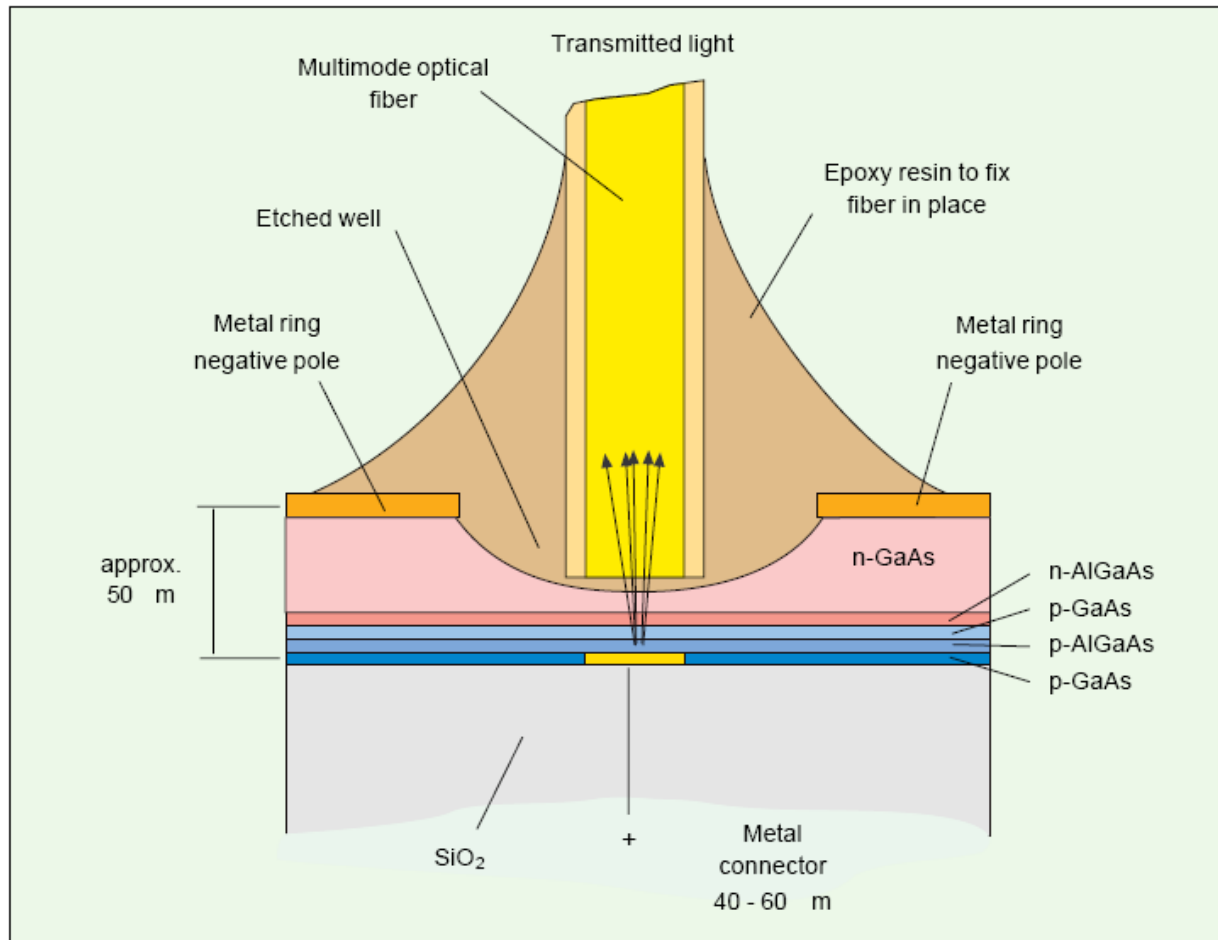


Burrus Surface Emitting LED (SLED)



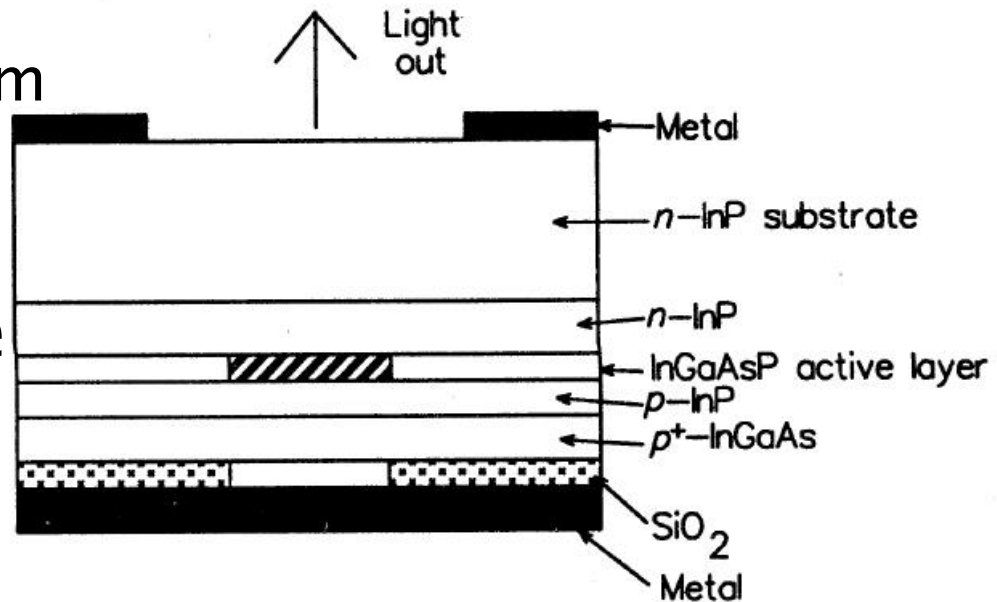
Edge Emitting LED (ELED)

# LED cu emisie de suprafață



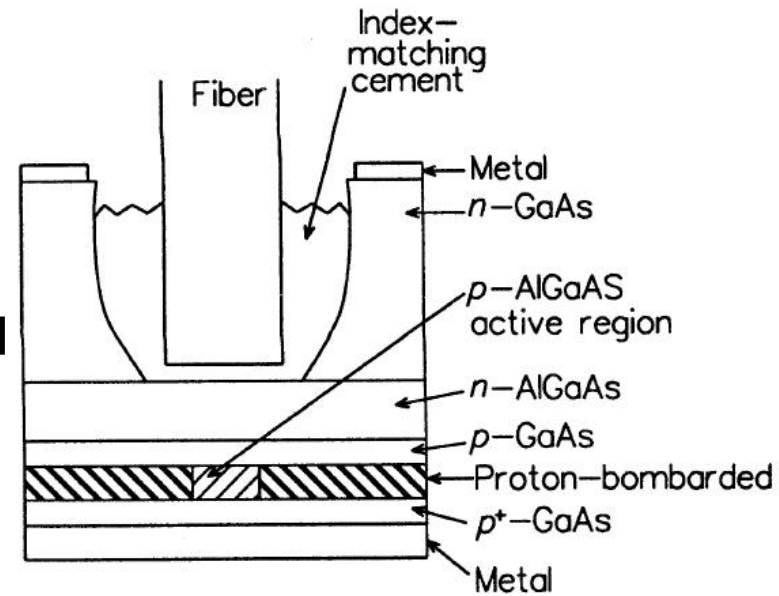
# SLED InGaAsP – constructie

- ▶ 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

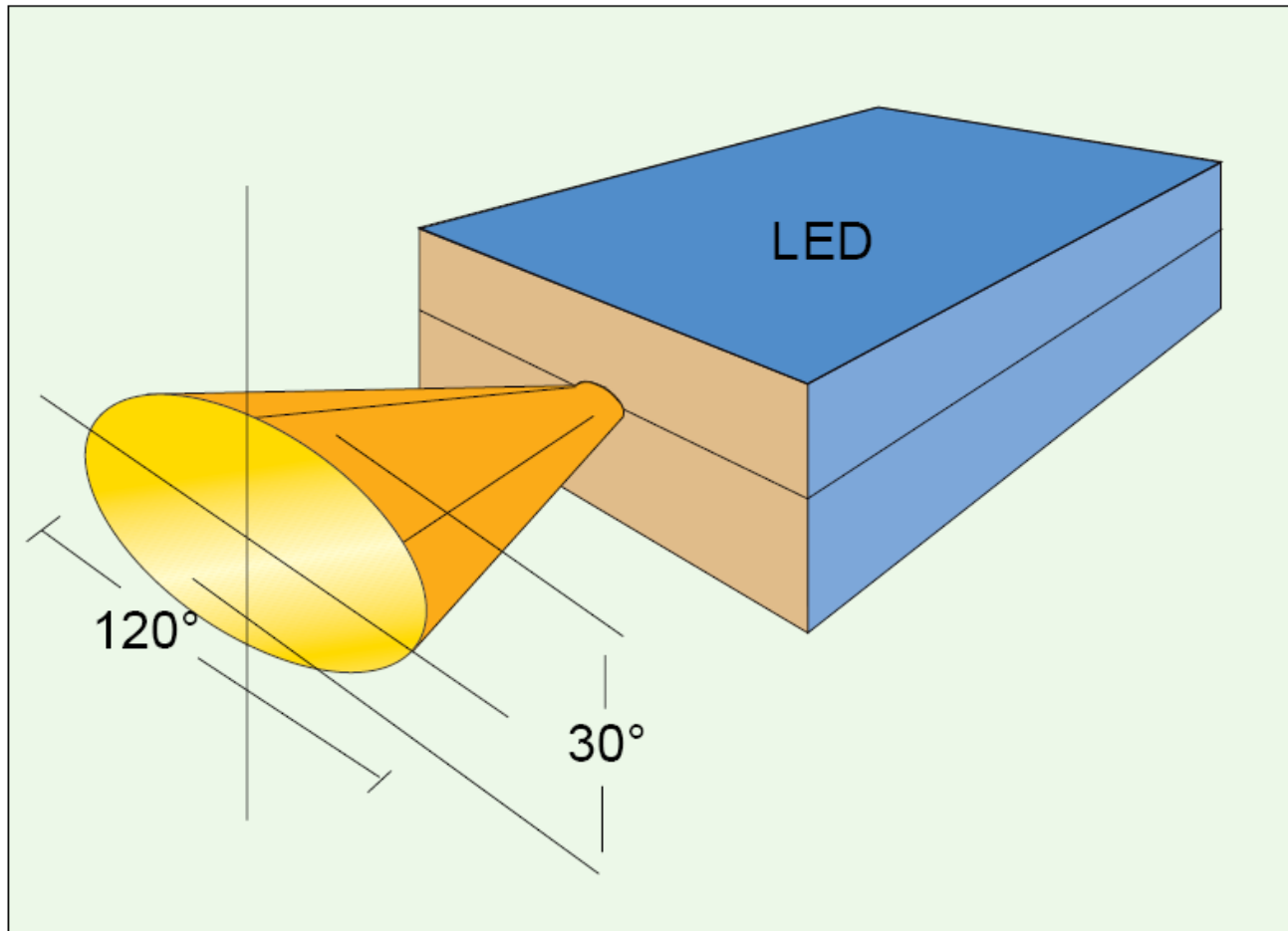


# SLED GaAlAs – constructie

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

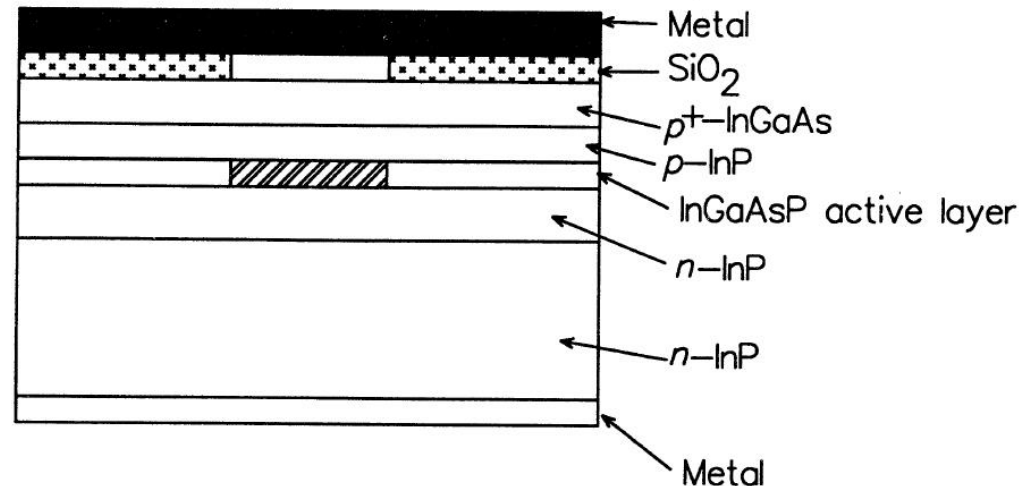


# LED cu emisie laterală



# 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

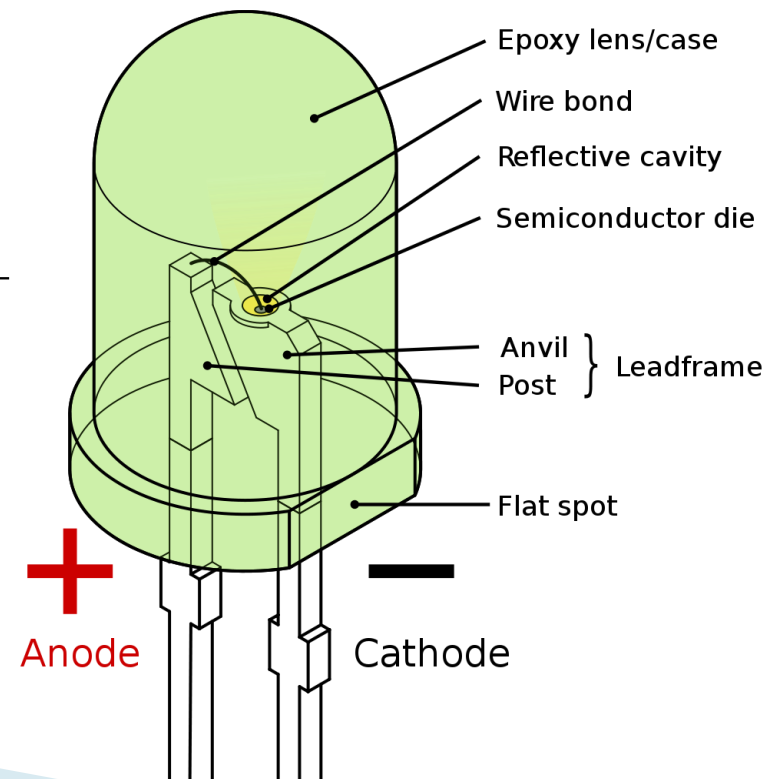
- utilizarea unui material intermediar pentru adaptarea indicelui de refractie (rasina epoxidica)
- adaptarea formei de iesire din dispozitiv – forma de dom
  - eficienta de cuplaj

interfata plana  
semiconductor  
aer

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

dom

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





# Contact

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