

# Cvičenie 11: Zdroje optického žiarenia (2.časť)

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.  
(lubos.ovsenik@tuke.sk)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE\\_Optoelektronika/\\_materialy/  
Cvicenia/Cv11](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv11)

# Optické zdroje žiarenia

## ■ Žiarivý čas života:

$$\tau_r = \frac{1}{B_\tau (n + p)}$$

- kde  $n$  a  $p$  sú koncentrácie majoritných nosičov v oblasti N a P priechodu PN a  $B_\tau$  je rekombinačný koeficient

## ■ Rezonančná podmienka pre pozdĺžne (longitudiálne) vidy:

$$L = \frac{\lambda q}{2n}$$

- kde  $\lambda$  je vlnová dĺžka emitovaného svetla,  $n$  je index lomu aktívnej oblasti a  $q$  je celé číslo (tzv. vidové číslo)

■ Rezonančné frekvencie:

$$f = \frac{qc}{2nL}$$

- kde  $c$  je rýchlosť svetla

■ Tzv. frekvenčná vzdialenosť vidov:

$$\delta_f = \frac{c}{2nL}$$

■ Prahový zisk:

$$\gamma_p = \alpha_0 + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{r_1 r_2}$$

- kde  $\alpha_0$  sú straty,  $L$  - dĺžka a  $r_1, r_2$  - koeficienty odrazu zrkadiel rezonátora

## ■ Prahová hustota prúdu injekčného lasera:

$$J_p = \frac{1}{A} \left[ \alpha_0 + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{r_1 r_2} \right]$$

## ■ Externá kvantová účinnosť:

- kde  $P_0$  je optický výkon emitovaný z lasera
- $I$  – prúd
- $e$  - náboj elektrónu
- $hf$  - energia fotónu
- $E_g$  - šírka zakázaného pásma

$$\eta_D = \frac{\frac{dP_0}{dI}}{e} = \frac{edP_0}{\hbar\omega dI} = \frac{dP_0}{E_g dI}$$

■ Vnútorná kvantová účinnosť:

$$\eta_D = \eta_i \left[ \frac{1}{1 + \frac{2\alpha_0 L}{\ln \frac{1}{r_1 r_2}}} \right]$$

■ Celková kvantová účinnosť:

$$\eta_T = \frac{\frac{P_0}{\hbar\omega}}{\frac{I}{e}} = \frac{eP_0}{\hbar\omega I} = \frac{P_0}{E_g I}$$

■ potom

$$\eta_T = \eta_D \left( 1 - \frac{I_P}{I} \right)$$

■ kde  $I_P$  je prahový prúd

- Vonkajšia účinnosť polovodičového lasera ako prvku:

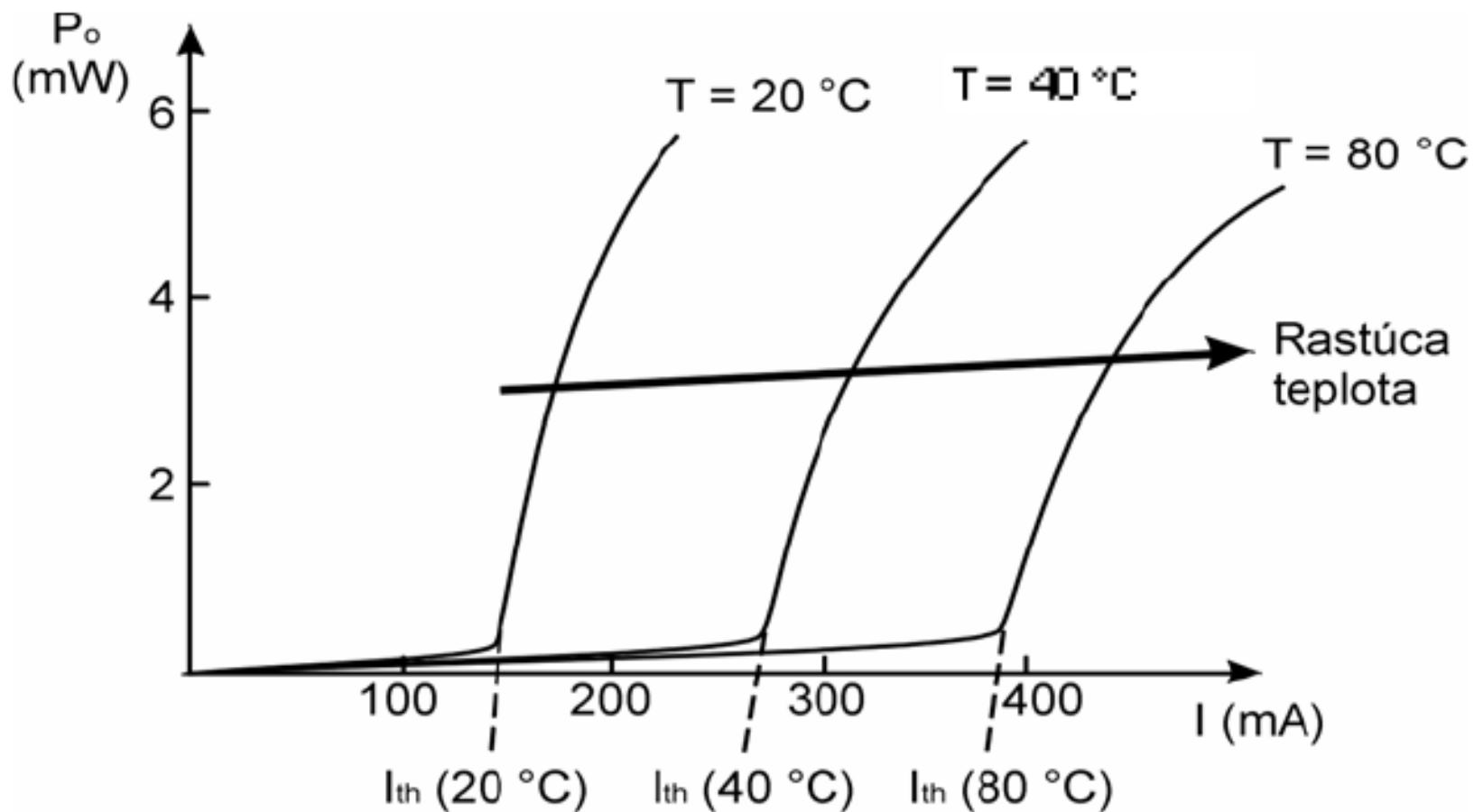
$$\eta_{ep} = \frac{P_0}{P} \cdot 100 \% = \frac{P_0}{IV} \cdot 100 \%$$

- kde  $P = IV$  je jednosmerný elektrický vstupný ( budiaci ) výkon
- potom

$$\eta_{ep} = \eta_I \left( \frac{E_g}{V} \right) \cdot 100 \%$$

**Obr.1:** Výstupné charakteristiky polovodičového lasera a ich závislosti od rastúcej teploty

$$J_p(T) = K \exp \left\{ \frac{T}{T_0} \right\}$$



■ Rozloženie intenzity vyžarovania Lambertovho žiariča:

$$I(\theta) = I_0 \cos \theta$$

- kde  $I_0$  je vyžarovanie kolmo na žiarivý povrch a  $I(\theta)$  – vyžarovanie v smere určenom uhlom  $\theta$

■ Emitovaný optický výkon z LED:

$$P_0 = \frac{P_{\text{int}} F n_0^2}{4 n_{\text{LED}}^2}$$

- kde  $P_{\text{int}}$  je vnútorne generovaný optický výkon,  $F$  je koeficient priechodu rozhrania polovodič – okolité prostredie a  $n_{\text{LED}}$  je index lomu materiálu, z ktorého je vyrobená LED



- Účinnosť naviazania optického žiarenia LED do SI MM:

$$\eta_c = \sin^2 \theta_a = (NA)^2$$

- Naviazaný optický výkon:

$$P_{oc} = \pi(1 - r) A R_D (NA)^2$$

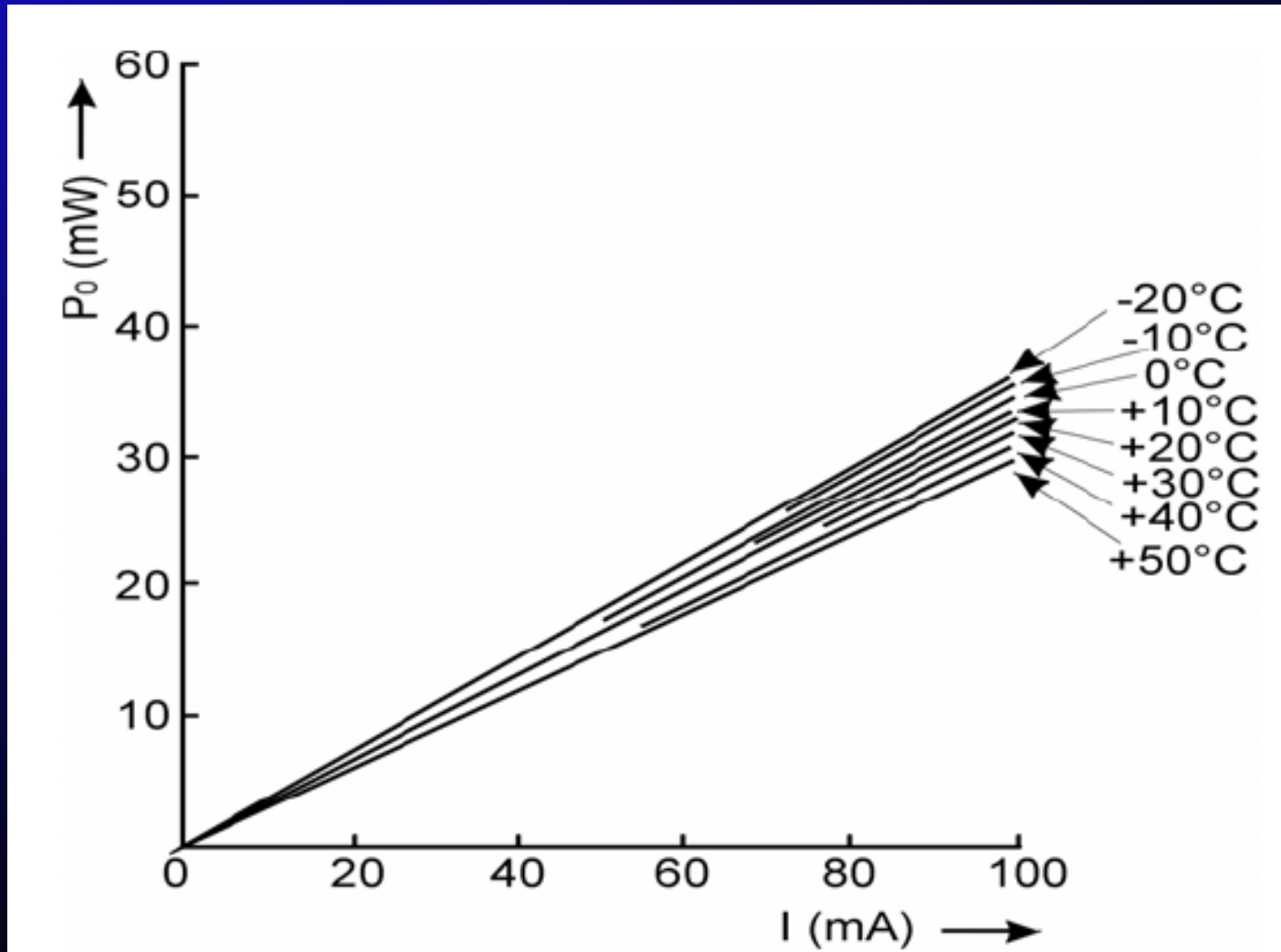
- kde  $r$  je Frenselov reflexný koeficient povrchu OV,  $A$  je minimum veličín {prierez optického vlákna, emisná plocha zdroja svetla} a  $R_D$  je jas zdroja svetla

- Celková účinnosť konverzie výkonu:

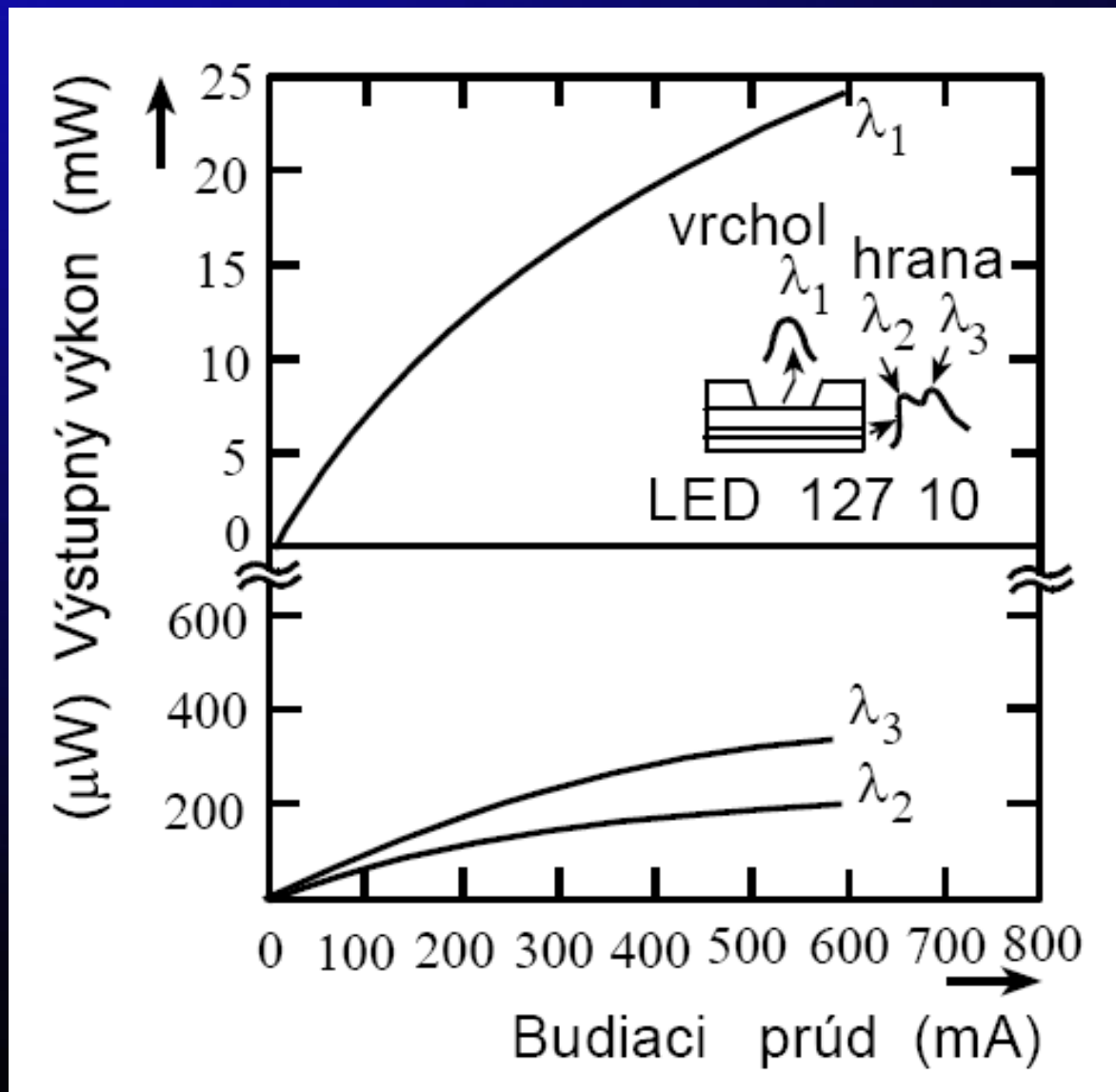
$$\eta_{pc} = \frac{P_{oc}}{P}$$

- kde  $P = IV$  je vstupný elektrický výkon

**Obr.2:** Výstupná charakteristika LED



**Obr.3:** Výstupné charakteristiky Burrusovej diódy



- Modulačná **šírka frekvenčného pásma pre LED** pre Gaussov tvar frekvenčnej charakteristiky:

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

- kde **B** je elektrická šírka frekvenčného pásma
- **Výstupný optický výkon** pri frekvencii:

$$P_0(\omega) = \frac{P_{odc}}{\sqrt{1 + (\omega\tau_i)^2}}$$

- kde  $\tau_i$  je čas života injektovaných (minoritných) nosičov v rekombinačnej oblasti,  $P_{odc}$  je jednosmerný výstupný optický výkon pri rovnakom budiacom prúde

- Postupný pokles vyžarovaného optického výkonu  $P_0$  s časom  $t$ :

$$P_0(t) = P_0(0) \exp(-\beta_r t)$$

- kde  $P_0(0)$  je počiatočný vyžarovaný optický výkon a  $\beta_r$  je rýchlosť degradácie
- Rýchlosť degradácie  $\beta_r$  závisí od aktivačnej energie pomalej degradácie  $E_a$  a od teploty  $T$ :

$$\beta_r = \beta_0 \exp\left\{-\frac{E_a}{K T}\right\}$$

- kde  $K$  je Boltzmannova konštanta a  $\beta_0$  je konštanta úmernosti
- $E_a$  závisí od materiálu a konštrukcie LED

# Príklad č. 1

Zadanie:

- Vypočítajte vonkajšiu výkonovú účinnosť planárnej GaAs elektroluminiscenčnej diódy, ak koeficient prechodu rozhrania GaAs – vzduch je 0,68 a vnútorne generovaný optický výkon je 30% napájacieho elektrického výkonu. Index lomu GaAs je 3,6.

Riešenie:

$$P_0 = \frac{P_{\text{int}} F n^2}{4 n_x^2} = \frac{P_{\text{int}} 0,68 \cdot 1^2}{4 (3,6)^2} = 13,1173 \cdot 10^{-3} P_{\text{int}}$$

$$\eta_{\text{ep}} = \frac{P_0}{P} \cdot 100\% = \frac{1,31 \cdot 10^{-2} P_{\text{int}}}{P} \cdot 100\% = \frac{1,31 \cdot 10^{-2} \cdot 0,3 P}{P} \cdot 100\% = 0,3935\%$$

## Príklad č. 2

Zadanie:

- Z povrchovo emitujúcej elektroluminisčenej diódy je pri použití väzobnej šošovky naviazaný do stupňovitého optického vlákna optický výkon  $190\mu\text{W}$ . Dióda je budená prúdom  $25\text{mA}$  a úbytok napätia na dióde je  $1,5\text{V}$ . Vypočítajte celkovú účinnosť konverzie výkonu v prvku.

Riešenie:

- $$\eta_{PC} = \frac{P_{OC}}{P} = \frac{P_{OC}}{I_P U_P} = 5,0666 \cdot 10^{-3} \cong 0,50666\%$$

## Príklad č. 3

Zadanie:

- Vypočítajte optické straty v dB pri naviazaní optického výkonu emitovaného z povrchovo emitujúcej LED do stupňovitého optického vlákna, pri naviazaní nie je medzera a akceptačný uhol meridionálnych lúčov je  $14^\circ$ .

Riešenie:

- účinnosť naviazania je  $\eta_c = \sin^2 \theta_a$

$$L_{co} (dB) = -10 \log \frac{P_c}{P_0} = -10 \log \eta_c = -10 \log 5,853 \cdot 10^{-2} = 12,3 dB$$



## Príklad č. 4

Zadanie:

- Pre LED vypočítajte účinnosť konverzie výkonu, ak napájací prúd je 100mA a úbytok napätia na dióde je 1,9V, pričom naviazaný optický výkon z LED do OV je 600 $\mu$ W.

Riešenie:

- $$\eta_{PC} = \frac{P_c}{P} = \frac{P_c}{I_p U_p} = 0,3145\%$$

## Príklad č. 5

Zadanie:

- Vypočítajte 3dB optickú šírku frekvenčného pásma zodpovedajúcu 3dB elektrickej šírke frekvenčného pásma 50MHz. Uvažujte Gaussov tvar frekvenčnej odozvy systému.

Riešenie:

- $$B_{opt} = \sqrt{2}B = 70,710678MHz$$

**Ďakujem za pozornosť**