

# Cvičenie 10: Zdroje optického žiarenia (1.časť)

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

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE\\_Optoelektronika/\\_materialy/  
Cvicenia/Cv10](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv10)

# Typy zdrojov žiarenia

- Pre OKS zo všeobecného hľadiska možno ako zdroj svetla (žiarenia) použiť jeden z týchto typov:
  - širokopásmový zdroj svetla so „spojitým spektrom“ (žiarovky, výbojky a pod.),
  - úzkopásmový (čiastočne monochromatický) nekoherentný zdroj svetla (LED),
  - monochromatický koherentný zdroj svetla (plynový, polovodičový, tuholátkový, farbivový či chemický laser).

# Charakterizovanie zdrojov žiarenia

- **Geometrické vlastnosti** emitovaného svetla:
  - Dosah optického vláknového spoja závisí od použitej vlnovej dĺžky svetla (čo určuje tlmenie OV) a od optického výkonu naviazaného do OV (presnejšie od plochy svetlovodivej oblasti OV) a od vstupnej numerickej apertúry OV. Veličina, ktorá určuje veľkosť naviazaného optického výkonu zdroja svetla, je výkon vyžiarený na jednotku plochy a na jednotku priestorového uhla. Táto veličina je známa ako jas (alebo žiara) zdroja svetla (žiarenia). Pre vysokú účinnosť naviazania optického výkonu do OV sú potrebné zdroje svetla s vysokým jasom. V tab. sú požadované jasové parametre zdrojov svetla pre naviazanie optického výkonu 1mW do rôznych typov OV. Tabuľka poukazuje na ťažkosti naviazania svetla do OV a na nutnosť dodržania kompatibility medzi jasom zdroja svetla a typom OV.

**Tab.1:** Požadovaný jas zdrojov svetla pre rôzne typy OV

POŽADOVANÝ JAS ZDROJOV SVETLA PRE RÔZNE TYPY OV

Typ OV	NA	Plocha jadra (cm <sup>2</sup> ).10 <sup>-8</sup>	Plocha x priestorový uhol (cm <sup>2</sup> .sr).10 <sup>-8</sup>	Jas zdroja na mW (W cm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> )
Jednovidové	0,15	50	0,28	3,6.10 <sup>5</sup>
Mnohovidové	0,2	1960	19,6	5.10 <sup>3</sup>
PCS (jadro 250μm)	0,5	4,9.10 <sup>4</sup>	3070	33
Zväzok OV	0,5	7,8.10 <sup>5</sup>	50000	2

## ■ **Spektrálne vlastnosti** emitovaného svetla

- **Stredná vlnová dĺžka** emitovaného svetla;
- **Spektrálna šírka** emitovaného svetla (**tzv. šírka spektra**);
- **Úroveň šumu**, ktorá rozhodujúcim spôsobom vplýva na vlastnosti celého komunikačného systému;
  - minimálna úroveň šumu je určená **kvantovým (výstrelovým) šumom**, ktorý je dôsledkom korpuskulárnej (fotónovej) podstaty svetla;
  - **plazmový šum** v He-Ne (alebo v iných plynových laseroch);
  - **samopulzácia** v polovodičových laseroch;
- nehomogenity v aktívnej látke a fluktuácie optickej (fázovej) dĺžky rezonátora laserov
  - **fázový alebo frekvenčného šumu**;
  - tiež malého **amplitúdového šumu**;
- **Koherencia**
  - **priestorová a časová koherencia**
    - spôsobuje vznik **interferenčných javov, vidového šumu a pod.**

## ■ Elektro-optické prenosové charakteristiky

- Väčšina zdrojov svetla pracuje s elektrickým budením. Elektrické budenie spôsobí v prvom priblížení generáciu svetla. Vzniká však aj celý rad sekundárnych javov. Z nich najdôležitejší je vzrast teploty zdroja svetla, ktorého dôsledkom je zmena vlastností generovaného svetla (zmena optickej frekvencie, výstupnej intenzity, spektrálneho rozloženia, šumových vlastností a pod.). Dôležitou vlastnosťou (najmä z hľadiska modulácie) je linearita zdroja svetla, t.j. linearita vzťahu medzi úrovňou emitovaného svetla a aplikovaným elektrickým budením.



## ■ Vplyv okolitého prostredia

- Okolité prostredie, teplota, tlak, žiarenie a pod. vplýva na zdroje svetla. Väčšina zdrojov svetla (okrem polovodičových zdrojov svetla) má relatívne veľmi malú životnosť, ktorá je rádovo niekoľko tisíc hodín. Existuje málo preskúmané postupné zhoršovanie vlastností zdrojov svetla, silná teplotná závislosť rôznych parametrov. Preto sa v praxi často predpisuje periodická výmena zdrojov svetla.
- Nároky na vlastnosti zdroja svetla sú určené požiadavkami na úroveň prenosovej charakteristiky celého optického komunikačného systému. Na zdroje optických vláknových komunikačných systémov (OVKS) kladieme tieto hlavné požiadavky:
  - Čo najväčšia účinnosť konverzie elektrickej energie na optickú (svetelnú) energiu ( $\sim 10\%$ ), výstupný optický výkon  $> \text{mW}$ .
  - Malé rozmery a hmotnosť.
  - Jednoduchá modulovateľnosť v širokom rozsahu (až stovky MHz), a to buď priama, alebo vonkajšia.
  - Vysoká monochromatickosť (malá šírka spektra), resp. koherencia generovaného svetla.

- Generácia svetla v oblasti takých vlnových dĺžok, kde je tlmenie OV najmenšie ( $\sim 0,85\mu\text{m}$ ,  $\sim 1,3\mu\text{m}$  a  $\sim 1,55\mu\text{m}$ ).
  - Čo najužšia smerová charakteristika vystupujúceho svetelného lúča.
  - Jednoduché naviazanie generovaného svetla do OV, väzbových prvkov, resp. vonkajších modulátorov.
  - Teplotná stabilita parametrov zdroja svetla
  - Vysoká spoľahlivosť (pre priemyslové aplikácie sa vyžaduje čas života  $10^5$  až  $10^6$  hod.).
  - Nízka cena.
- Týmto požiadavkám najlepšie vyhovujú polovodičové lasery (LD), svetloemitujúce diódy (LED) a tuholátkové lasery Nd : YAG, resp. Nd: sklo čerpané pomocou LED.



**Tab.2: Zdroje svetla pre optické vláknové komunikačné systémy**

ZDROJE SVETLA PRE OPTICKÉ VLÁKNOVÉ KOMUNIKAČNÉ SYSTÉMY

Vlnová dĺžka (μm)	0,85		1,05	1 až 1,7	
Zdroje svetla	LED AlGaAs	LD AlGaAs	YAG : Nd <sup>3+</sup>	LED InGaAsP InGaAsSb	LD alebo
Čerpanie	El. prúd	El. prúd	Opticky (LED)	El. prúd	
Vlnová dĺžka generovaného svetla (μm)	0,75 až 0,9	0,75 až 0,9	1,06	0,9 až 1,6	
Šírka spektra (nm)	35	3 až 0,1	< 0,1	55	3
Výstupný výkon (mW)	1	10	10	1	1 až 10
Účinnosť	niekoľko %	niekoľko %	< 1 %	niekoľko %	
Účinnosť naviazania	niekoľko %	50 %	100 %	~ 5 %	50 %
Modulácia	priama	priama	vonkajšia	priama	
Modulačná rýchlosť (Gbit s <sup>-1</sup> )	0,2	~ 0,5	1 až 3	0,1	100

# Príklad č. 1

Zadanie:

- Pre elektroluminiscenčný zdroj na báze GaSb vypočítajte potrebnú koncentráciu dier v P oblasti, aby žiarivý čas života bol 1ns. Rekombinančný koeficient pre GaSb je  $2,39 \cdot 10^{10} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Riešenie:

$$\tau_r = \frac{1}{B_r n}$$

- $n = 4,1841 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

## Príklad č. 2

Zadanie:

- Polovodičový GaAs laser má optický rezonátor s dĺžkou  $250\mu\text{m}$  a šírkou  $100\mu\text{m}$ . Pri prevádzkovej pracovnej teplote je faktor  $A = 21 \cdot 10^{-3} \text{ A}^{-1} \text{ cm}$  a koeficient strát  $\alpha_0 = 10 \text{ cm}^{-1}$ . Vypočítajte prahovú hustotu prúdu a potom prahový prúd pre tento laser, ak predpokladáte, že zrkadlá nie sú pokryté protiodraznou vrstvou a prúd je vstrekaný do optického rezonátora. Index lomu GaAs je 3,6.

Riešenie:

$$r_1 = r_2 = r = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2; J_P = \frac{1}{A} \left[ \alpha_0 + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{r_1 r_2} \right] = \frac{1}{A} \left[ \alpha_0 + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{(r)^2} \right] = 2,6465 \cdot 10^3 \text{ A cm}^{-2}$$

$$I_P = J_P \cdot S = J_P \cdot L \cdot d = 661,63535 \text{ mA}$$

## Príklad č. 3

Zadanie:

- Odrazivosť zrkadiel 350 $\mu\text{m}$  dlhého optického rezonátora polovodičového lasera je 0,5A  $\text{cm}^{-2}$  a faktor  $A = 22 \cdot 10^{-3} \text{ cm A}^{-1}$ . Vypočítajte koeficient strát optického rezonátora.

Riešenie:

- $$\alpha_0 = A J_P - \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{r_1 r_2} = 27,943855 \text{ cm}^{-1}$$

## Príklad č. 4

Zadanie:

- Injekčný polovodičový GaAs laser s dĺžkou optického rezonátora  $500\mu\text{m}$  má koeficient strát optického rezonátora  $\alpha_0 = 20\text{cm}^{-1}$ . Meraná vonkajšia diferenciálna kvantová účinnosť prvku je 45%. Vypočítajte vnútornú kvantovú účinnosť lasera, ak poznáte, že index lomu GaAs je 3,6.

Riešenie:

$$\eta_i = \eta_D \left[ 1 + \frac{2\alpha_0 L}{\ln \frac{1}{r_1 r_2}} \right] = \eta_D \left[ 1 + \frac{\alpha_0 L}{\ln \frac{1}{(r)^2}} \right] = 84,42\%$$

**Ďakujem za pozornosť**