

3. SENZORY S OPTICKÝM PRINCÍPOM

Využívajú svetelný tok v rôznej podobe na vytvorenie výstupného signálu.

Základné skupiny sú :

- ♦ **fotoelektrické** - geometrická optika a ovplyvňovanie svetelného toku meranou veličinou, menšia dynamika
- ♦ **optoelektronické** - i vlnová podstata svetla, vysoká dynamika, väčšie nároky na zdroje a snímače svetla
- ♦ *ostatné - spolupracujú s inými princípmi (akustooptika)*

Podľa činnosti :

- **spojité** - spojitá zmena výstupu
- **dvojhodnotové** - len "svetlo - tma" (max. a min.)
- **impulzné** - periodický dvojhodnotový režim

3.1. Vlastnosti svetla

Môžeme opísať :

- kvantita - fotometria
- kvalita - spektrum, polarizácia, koherencia...

3.1.1. Základné fotometrické veličiny

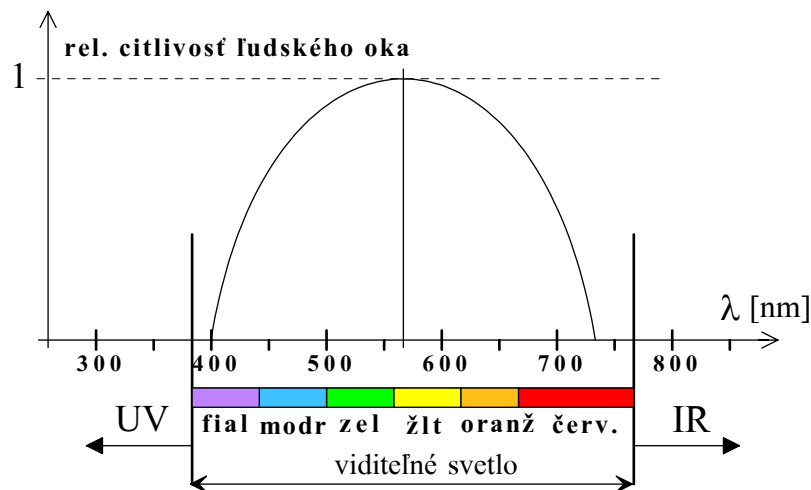
| Veličina | Jednotka | Definícia | Rovnica |
|---------------------------|-------------------------------------|---|--|
| Svietivosť I | kandela [cd] | svietivosť v smere zdroja, monožiarenie $540 \cdot 10^{12}$ Hz žiarivosť $1/683$ [W/sr] | základná veličina |
| Svetelný tok Φ | lumen [lm] = cd.sr | bodový zdroj svietivosti 1 cd do uhla 1 steradián | $\Phi = I \cdot \Omega$ Ω - priest. uhol |
| Intenzita osvetlenia E | lux [lx] = lm/m ² | podiel svetelného toku a plochy, na ktorú dopadá | $E = \Phi / A$ A - plocha |
| Jas L | [cd/m ²] stará [nit] | podiel svietivosti a zdanlivej plochy (kolmý priemet na primárny tok) v danom smere | $L = I / A$ |

Pozn. "ANSI Lumen" merané na viac miestach → priemernenie (projektory)

3.1.2. Spektrálna charakteristika

Vlnová podstata → niekoľko definícií :

- ♦ **monochromatické žiarenie** - LED a laserové diódy
- ♦ **koherentné žiarenie** - všetky elementárne lúče sú navzájom vo fáze, vznikajú v rovnakom čase v rovnakom mieste (lasery), nutná podmienka je monochromatickosť žiarenia
- ♦ **polarizované žiarenie** (svetlo) - obsahuje kmitanie len v jednej rovine



Obr. 11.

IR - Infrared - časté využitie pre senzory (760nm)

UV - Ultraviolet - výbojky, špeciálne oblasti (380nm)

Teplota chromatičnosti (farebná teplota)

Fiktívna teplota zdroja svetla v [K] :

| | |
|---------------------|---------------|
| sviečka | 1900 K |
| žiarovka (tungsten) | 2400 - 3000 K |
| slnko | 5500 - 6000 K |
| zamrač. obloha | 6400 - 7000 K |
| biele LED | 6500 - 8000 K |
| modrá obloha | 13 000 K |

Poznámka: Paradoxne sa "teplými farbami" nazývajú tie, ktoré majú nízku farebnú teplotu.

Základné časti optických - fotoelektrických systémov sú :

- ♦ **zdroje svetla** - žiarovky, LED, výbojky, oblúkovky
- ♦ **snímače svetla** - fotodiódy, fototranzistory, fotoodpory
- ♦ **optická cesta** - šošovky, zrkadlá, filtre, clony, štrbiny

3.2. Zdroje svetla

3.2.1. Žiarovky

80 % výkonu sa mení na teplo. Svetelná účinnosť η je definovaná :

$$\eta = \frac{\text{svetelný výkon}}{\text{elektrický príkon}}$$

a stúpa s teplotou vlákna

Poznámka: Praktické je vyjadrenie v lm/W

Normálne žiarovky sú plnené :

- vákuum (3V / 0,2-0,3A)
- dusík + argón - znížený tlak (klasické 230 V)
- krytón, xenón - atmosférický tlak (0,7-0,9A)

Wolfrámové (wolfrám - tungsten) vlákno má teplotu 2900 K , η je cca 5-18 lm/W, úbytok počas životnosti asi 15 %. Striedavá zložka svetla pre 220 V/50 Hz je asi 7 %.

Poznámka: podžeravené žiarovky, dlhšia životnosť.

Halogénové žiarovky (tzv. halogénový regeneračný proces.)

Banka - kremičité sklo , wolfrámové vlákno + plyny J, Br, Cl, F

W vlákno ($> 900^{\circ}\text{C}$) \rightarrow odparovanie **W** \rightarrow usadenie na vnútornej stene banky ($250 - 900^{\circ}\text{C}$) \rightarrow zlúčeniny (**W + halogény**) \rightarrow pohyb zlúčenín v priestore \rightarrow usadenie na **W** vlákne \rightarrow ak teplota je $> 900^{\circ}\text{C}$ \rightarrow **disociácia** \rightarrow halogény do priestoru, **W zostáva na vlákne**.

Vlákno je žeravené až na 3100 K pri životnosti 1000 hodín.

Výkon (účinnosť) je cca 20-35 lm/W.

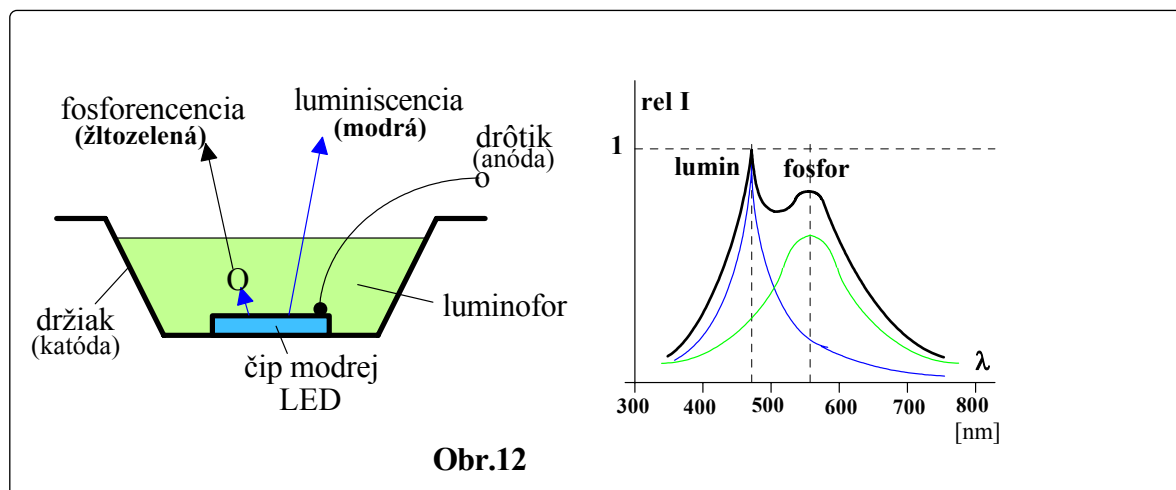
Poznámka: Xenónové výbojky (auto) - zdroj ziarenia je výboj v plyne, vyzadujú vysoké napätie - menič

Poznámka: Pri AC zaradená dióda: U na 50%, spotreba na 60%, svet. výkon na 30%.

3.2.2. Svetlo emitujúce diódy (LED)

- Viditeľný P - N prechod.
- V - A charakteristika je ako dióda, U_{prah} je podľa typu 1,5 ÷ 3,5 V
- Jas (svetivosť) je úmerný prúdu
- Životnosť, (pokles svetivosti na polovicu), je $10^5 \div 10^6$ hod (11 ÷ 114 rokov).
- Spínacie časy < 100ns, Svetlo je monochromatické.
- V senzorovej technike - IR diódy. (800 - 1000 nm)

Biele LED: - s luminoforom (konverzia žiarenia)
- multiprechodové (multichip) MO + ŽL, RGB



- U_{prah} 3,3-3,6 V.
- Záverný smer - LEN jednotky V !!
- Účinnosť: malé (120mW) → 5-20 lm/W, 1W → 15-25 lm/W, 3W a viac → až 80 lm/W
- Prúdy : ▶ 20-30 mA pre tzv. malé (140mW)
▶ 350 mA pre 1,2 W (Luxeon).

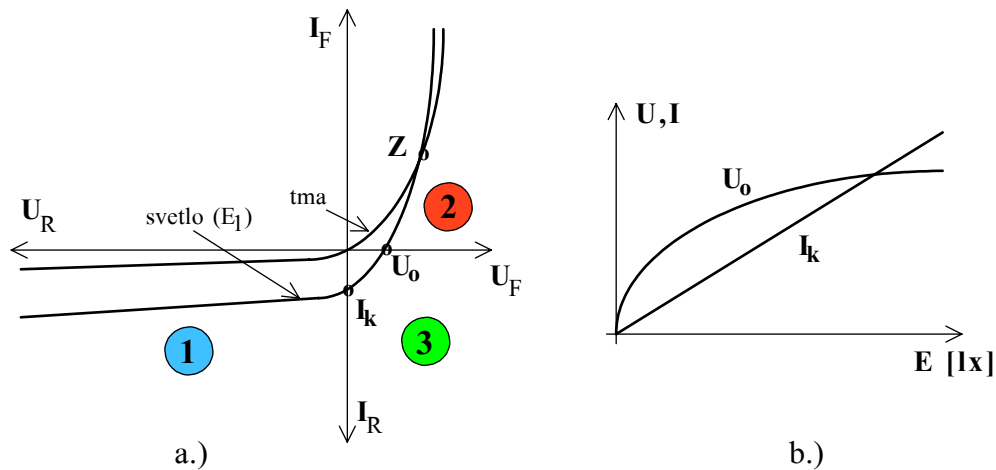
Existujú už i 3W a viac diódy, kde sú prúdy patrične vyššie a treba chladenie

Poznámka: Charakteristika je strmá, treba obmedzenie:

- R
- regulátor
- mäkký zdroj.

3.3. Fotodetektory

3.3.1. Fotodiódy - rýchle, málo citlivé



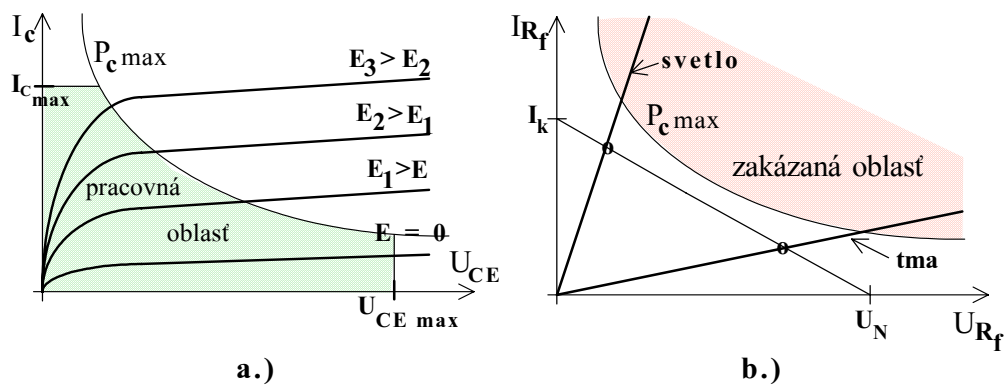
Obr. 13

- 2 - odporový režim v priepustnom smere (rastie $E \rightarrow$ klesá I_R)
- 3 - hradlový režim (U_0 je výst. napätie naprázdno, I_k je výst. prúd nakrátko)
- Z - pracovný bod necitlivý na svetlo

3.3.2. Fototranzistory

Sú citlivejšie, ale i zotrvačnejšie ako fotodiódy.

- ♦ V obvodoch samostatne, alebo s diódami, prípadne Darlington.
- ♦ Hodnotu P_{Cmax} treba dodržať, kritická pri "polootvorenom" tranzistore.
- ♦ Spektrálne skôr v IR oblasti (800 ÷ 1000 nm).



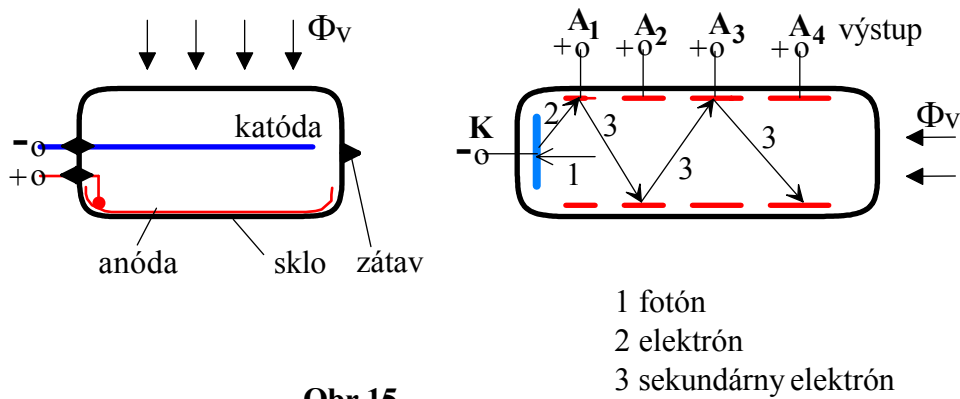
Obr.14.

3.3.3. Fotoodpory

Najcitlivejšie, ale súčasne najzotrvačnejšie prvky.

- ♦ Spektrálne skôr do viditeľnej oblasti (500 ÷ 600 nm).
- ♦ V - A charakteristiky sú na obr. 35b. U_{Rf} a I_{Rf} sú napätie a prúd fotoodporu.
- ♦ Priamka - obvod, v sérii je R s fotoodporom. Napájanie sústavy U_N ,
- ♦ $I_k = U_N/R$.
- ♦ Časovo a teplotne závislé.
- ♦ Odpor sa mení cca $100 \Omega \div 10 M\Omega$ (úplná tma).

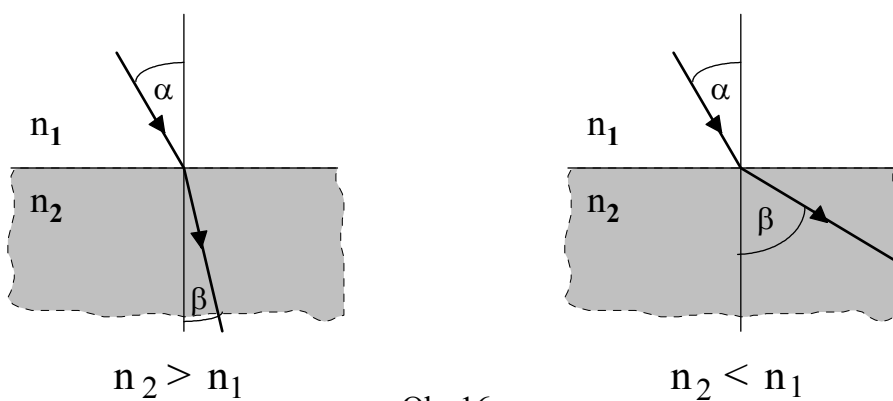
Fotónky, fotonásobiče



Obr.15

3.4. Optické členy obvodov

3.4.1. Šošovky



3.4.2. Základné typy šošoviek

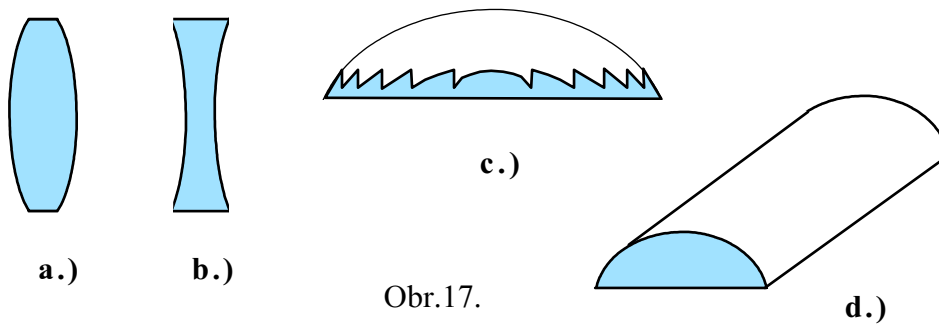
- ♦ spojné - i samostatne (konvexné)
- ♦ rozptylné - doplnok spojných (konkávne)

Reálny obraz - dá sa zachytiť na priemetňu, napr. papier, prevrátený

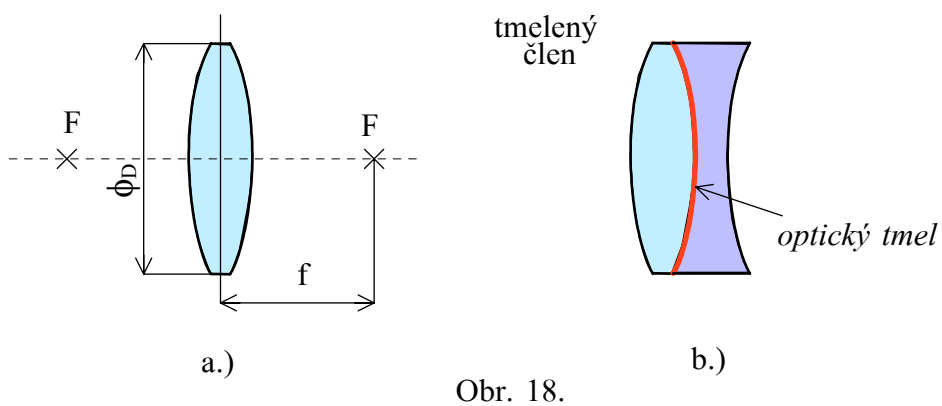
Zdanlivý obraz - nedá sa zachytiť na priemetňu, neprevrátený a zväčšený

Základné používané tvary šošoviek sú na obr. 17, kde máme :

- a.) spojná šošovka
- b.) rozptylná šošovka
- c.) Fresnelova šošovka
- d.) valcová šošovka



Parametre šošovky sú znázornené na obr. 18a.



Sú to :

- ohnisková vzdialenosť f , udáva sa v [mm].
- priemer šošovky ϕ_D , (svetelnosť)

Optická mohutnosť M :

$$M = \frac{1}{f} \quad [D; m;]$$

jednotka je *dioptria* D, pričom:

- + D spojná
- - D rozptylná

Relatívny otvor, pri objektívoch svetelnosť " s ".

$$s = \frac{f \text{ [mm]}}{\phi_D \text{ [mm]}} \quad s \geq 1 \quad (1; 1,4; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22; \textit{atd.})$$

Každý ďalší člen prepúšťa 1/2, alebo dvojnásobok svetla oproti susednému členu.

Najznámejšie sústavy sú :

- ♦ kondenzor : 2 až 3 šošovky (jednoduchšie len 1)
- ♦ objektív : 3 ÷ 20 šošoviek, zobrazovanie

Objektív

Korigované opti. vady

- ♦ astigmatizmus (bod nie je bod mimo osi)
- ♦ koma (bod je "kométa" mimo os)
- ♦ aberácia: ➤ chromatická - iné λ , iný lom (farebné lemovanie hrán)
 - sférická - na guľ. ploche sa lámu lúče na okraji inak ako v strede (neostrosť), spojky a rozptylky majú iné znamienko
- ♦ skreslenia - súdkovité, poduškovité

Korekcie : ➤ kombinácia spojky - rozptylky

- rôzne typy skla (index lomu)
- asférické šošovky (neguľové plochy)

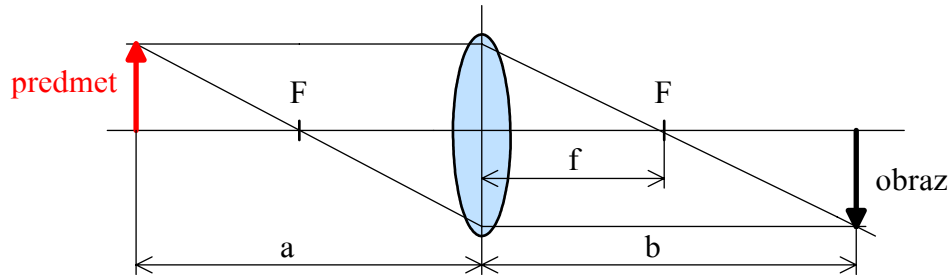
Premenlivá f - ZOOM. (24 - 90/2,8 - 3,5)

Údaje na obrube :

- výrobca, typ
- f a s , napr. $f = 50 \text{ mm}$, $1 : 2,8$
- alebo formou zlomku 2,8/50 (niekedy 50/2,8)
- zoom a jeho rozsah (reálny) 2,8 - 3,3/6 - 72 (rozumie sa v mm)
- ASPHERICAL - obsahuje asf. členy
- IS - image stabilizer (optická stab. obrazu proti rozhýbaniu)
- $\phi 68$ - priemer príslušenstva (filtre)

3.4.3. Optické zobrazenie šošovkou

reálny obraz, len spojná šošovka. Princíp je na obr.19.



Obr.19.

f - ohnisková vzdialenosť
a - predmetová vzdialenosť
b - obrazová vzdialenosť

Ostrý obraz - platí zobrazovacia rovnica :

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (3 - 1) \quad \text{zväčšenie} \quad z = \frac{b}{a} \quad (3 - 2)$$

Zaostrovanie

a i *f* sú dané, zaostrenie *zmenou b*

Pre predmet v ∞ je $b = f$, pre všetky ostatné *a* je *b väčšie*

3.4.4. Zrkadlá

- rovinné
- duté - majú ohnisko
- vypuklé - zdanlivý obraz
- polopriepustné - problémy s polarizovaným svetlom

3.4.5. Filtre

Selekcia vlnových dĺžok

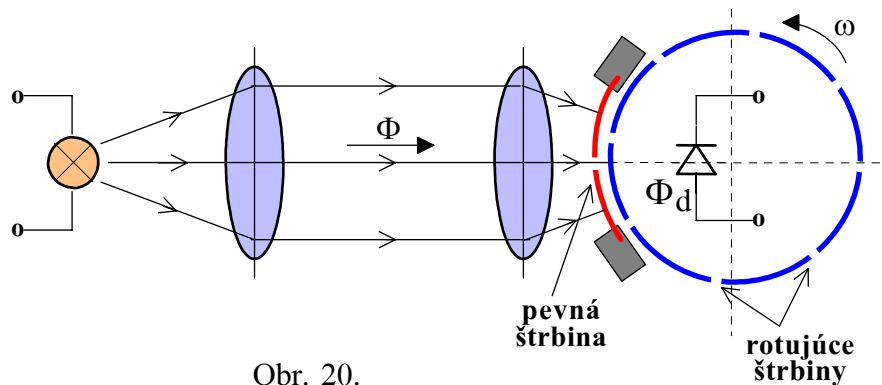
Polarizačné filtre - lineárna, kruhová polarizácia

Poznámka: Filtre sa musia aplikovať v rovnobežnom zväzku lúčov, inak pôsobia ako opt. klin - posúvajú priesečník lúčov.

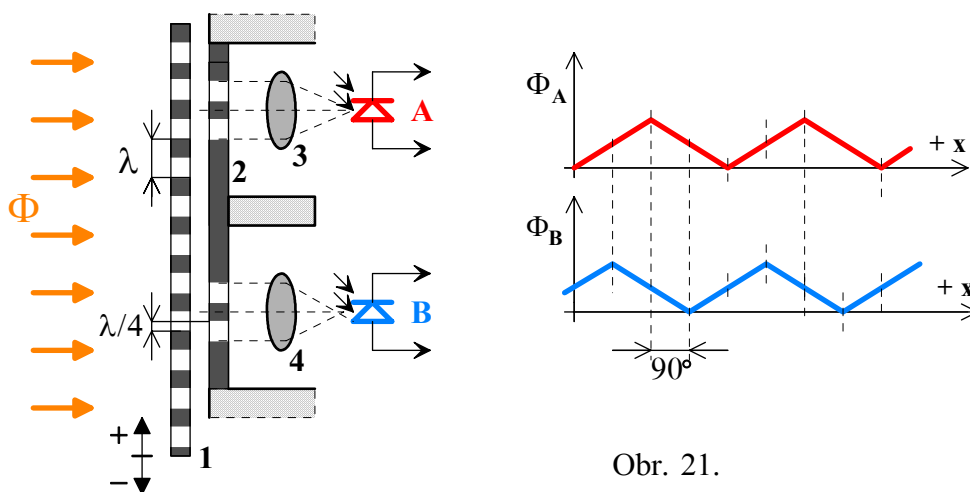
3.4.6. Ostatné prvky

Hranoly (trojboký, pentagonálny), clony, štrbiny, tieniace krídelká, optické mriežky, šedý klin

Príklad na štrbiny



Príklad na optické mriežky



4. OPTOELEKTRONIKA

Skôr vlnová podstata žiarenia.

λ v IR oblasti 850 ÷ 1100 nm. Vláknová optika až 1400 nm (ideálne).

Využitie princípov je približne v oblastiach :

- displeje
- vláknová optika : prenos informácií, senzorová technika
- laserová technika - interferenčné merania, holografia, prenos a záznam informácií

- **optočleny** - oddelenie obvodov
- **zobrazovacia technika - PSD, CCD prvky**
- spolupráca s inými odbormi - akustooptika

4.1. Zdroje žiarenia

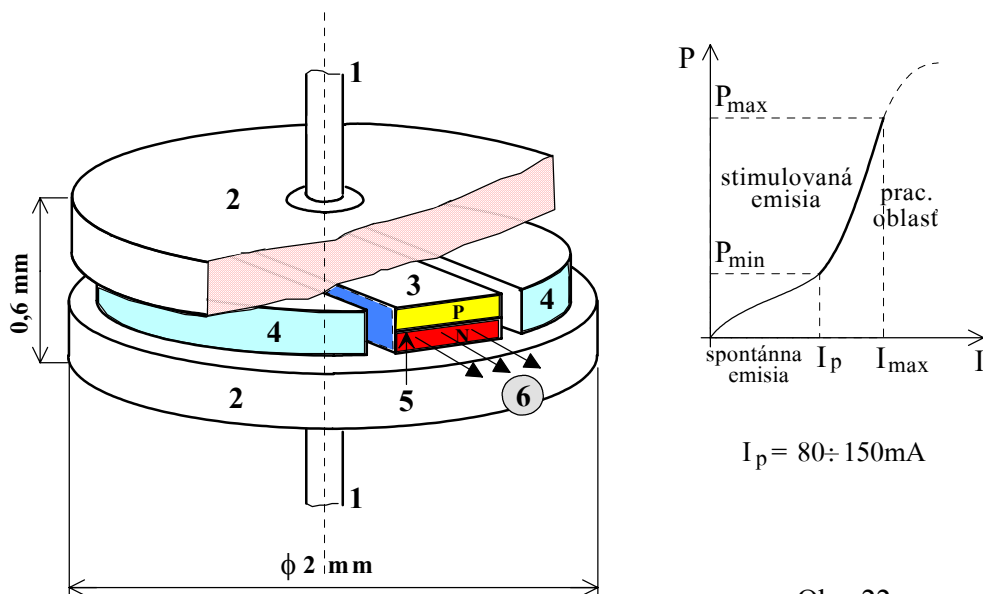
- ♦ LED - menej náročné účely
- ♦ laserová dióda - čiastočne monochromatické, náročnejšie úlohy,
- ♦ lasery (plynové) - monochromatické a koherentné svetlo

4.1.1. LED - diódy

- v senzorovej technike takmer výlučne v IR oblasti
- rýchle prvky, 10 ns impulzy
- spolupráca so svetlovodmi

4.1.2. Laserové diódy

Stimulovaná emisia - zosilnenie optickým rezonátorom (Fabry - Perotov)



Obr. 22.

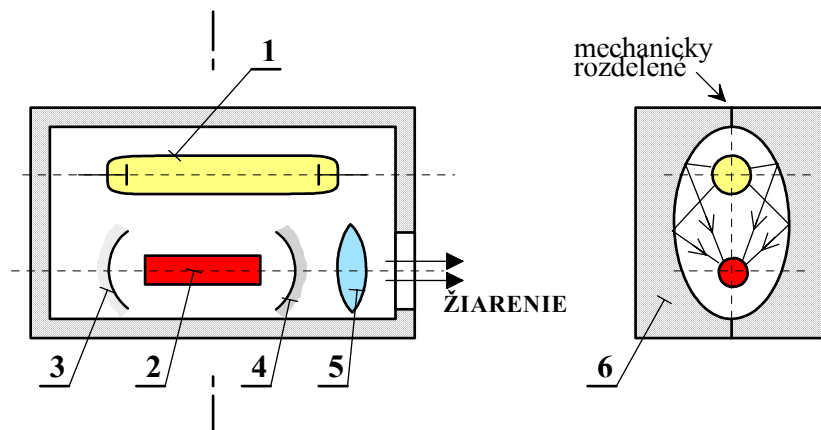
- ♦ strmá charakteristika, veľké prúdy - regulácia (spätná väzba od fotodiódy)
- ♦ farba červená (nové zelená, modrá)

4.1.3. Lasery

- lasery v pevnej fáze - žiarenie produkuje tuhá látka
- kvapalinové - možnosť preladenia
- plynové - menšia účinnosť, vysoká koherentnosť

Lasery pracujú s čerpaním pomocnej energie, najčastejšie svetelnej, zdroje:

- výbojky
- laserové diódy (často IR)



Obr. 23.

1 - výbojka (zdroj svetelnej energie)

2 - aktívna (svetlo emitujúca) látka

3 - odrazné, nepriepustné zrkadlo

4 - polopriepustné zrkadlo

5 - šošovka (kolimačná)

6 - delené eliptické zrkadlo

Optický rezonátor (2-3-4)

Nevýkonové využitie laserov je pre :

- prenos informácií (optovláčna)
- holografia
- meranie vzdialeností (geometrické, interferenčné)

Poznámka: Koherentnosť charakterizuje tzv. "koherenčná dĺžka". Na tejto vzdialenosti (rádovo 1 m), je s určitou presnosťou fáza zaručená.

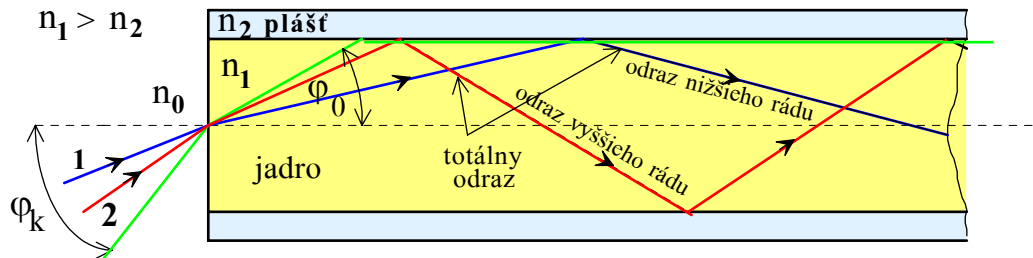
4.2. Vlákňová optika

obvykle 4 oblasti využitia :

- ♦ prenos obrazov - zväzkom elementárnych svetlovodov,
- ♦ prenos analógových signálov - náročný, málo používaný
- ♦ prenos číslicových signálov - najčastejšia aplikácia
- ♦ optovláknové senzory

4.2.1. Elementárny svetlovod

Princíp **absolútneho odrazu od rozhrania dvoch prostredí.**



Obr. 24.

Multimódové (mnohovidové) vlákna

Priemer jadra je $> 10 \mu\text{m}$

Jednovidové (monomódové) vlákna majú menší priemer jadra ($1 \div 5 \mu\text{m}$),

Ak $R > 20r$ (R je polomer zakrivenia, r je polomer vlákna) nenastáva zmena

Straty - viac zložiek, súhrnne v dB/km.

Pracovné λ zatiaľ okolo $1 \mu\text{m}$, perspektívne (min. straty) okolo $1,2 \mu\text{m}$ a $1,5 \div 1,6 \mu\text{m}$.

4.2.2. Konštrukcia optovláken a káblov

Nevyhnutné sú dve základné časti, jadro a plášť.

PCS (Polymer Clad Silica). Jadro z kremičitého skla (n_1) obal polymér (n_2).

4.3. Snímače žiarenia

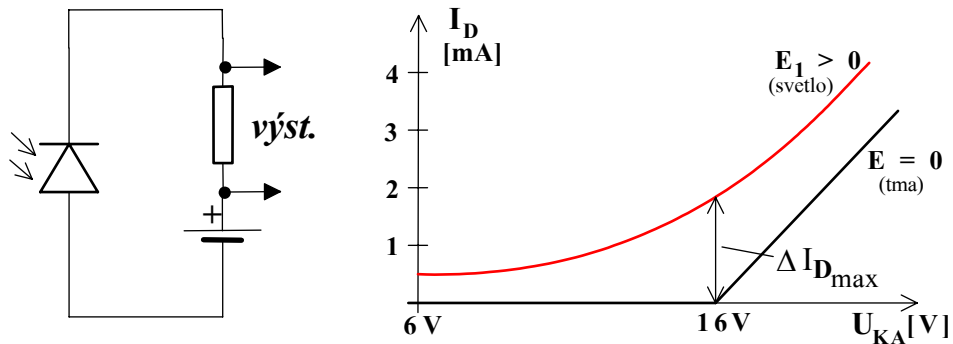
V optoelektronike :
▶ fototranzistory
▶ fotodiódy

Fototranzistory - menej náročné účely (optočleny)

Fotodiódy sú menej citlivé, ale rýchlejšie prvky.

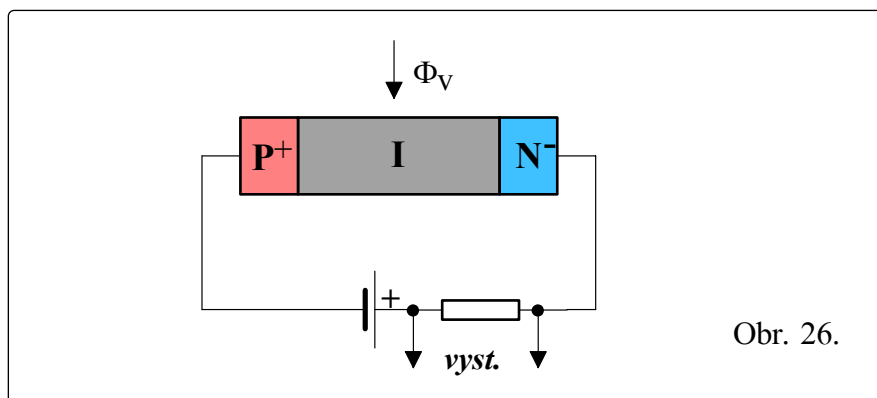
- normálna (názov len *fotodióda*)
- **lavínová fotodióda** - závernom smere, kde sa otvára svetlom.
- **PIN fotodióda**, medzi P a N má odporovú vrstvu I.

Lavínová fotodióda - zapojenie a charakteristika



Obr. 25.

PIN fotodióda - štruktúra a zapojenie



Obr. 26.

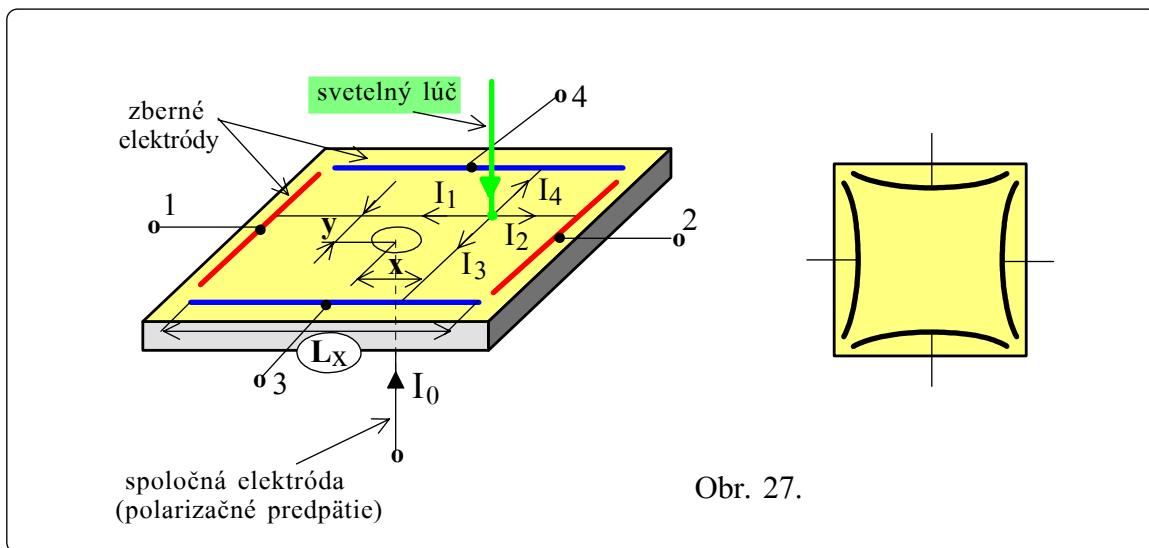
spoločné znaky:

- ♦ rýchle deje [ps]
- ♦ malý vst otvor pre svetlo (svetlovod)
- ♦ odporový režim - pomocný zdroj

4.3.1. Snímače pre špeciálne účely

PSD prvky (Position Sensitive Device)

- lineárne - pre jednu súradnicu
- plošné - pre dve súradnice.



Poznámka: PSD vyhodnocujú **polohu** lúča , nie informáciu o intenzite lúča, čím sa líšia od CCD

Z miesta dopadu lúča tečú 4 prúdy k zberným elektródam. Vyhodnotenie súradníc je podľa vzťahov :

$$x = \frac{I_2 - I_1}{I_1 + I_2} \frac{L_x}{2} \quad y = \frac{I_4 - I_3}{I_3 + I_4} \frac{L_x}{2}$$

Príklad parametrov :

- ♦ rozmery akt. plochy 30 x 30 mm
- ♦ celkový prúd $I_0 = 1 \mu\text{A} !!$ (cez spoločnú elektródu)
- ♦ rozlíšenie 12 μm , chyba $\pm 0,9 \%$

CCD prvky (Charge Coupled Device)

Pri kamerových systémoch.