

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

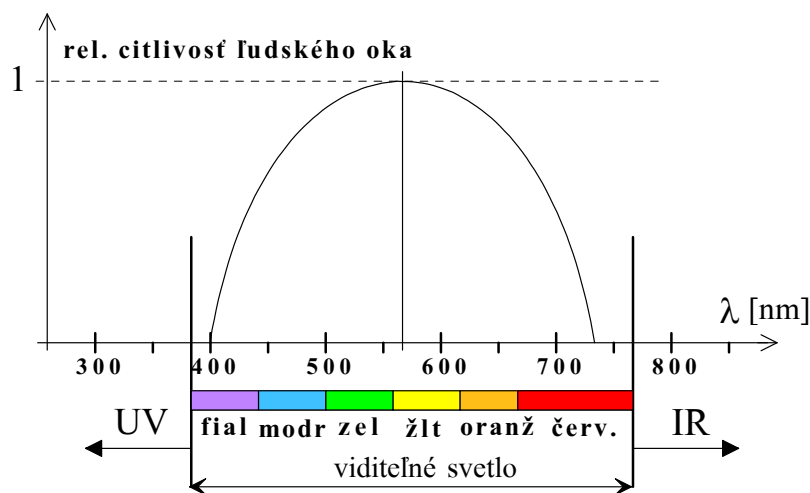
Veličina	Jednotka	Definícia	Rovnica
Svietivosť I	kandela [cd]	svietivosť v smere zdroja, monožiarenie $540 \cdot 10^{12}$ Hz žiarivosť $1/683$ [W/sr]	základná veličina
Svetelný tok Φ	lumen [lm] = cd.sr	bodový zdroj svietivosti 1 cd do uhla 1 steradián	$\Phi = I \cdot \Omega$ Ω - priest. uhol
Intenzita 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 → spriemernenie (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 monochromaticnosť žiarenia
- ♦ **polarizované žiarenie** (svetlo) - obsahuje kmitanie len v jednej rovine



Obr. 33.

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 zlučiny (**W + halogény**) \rightarrow pohyb zlučín 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.

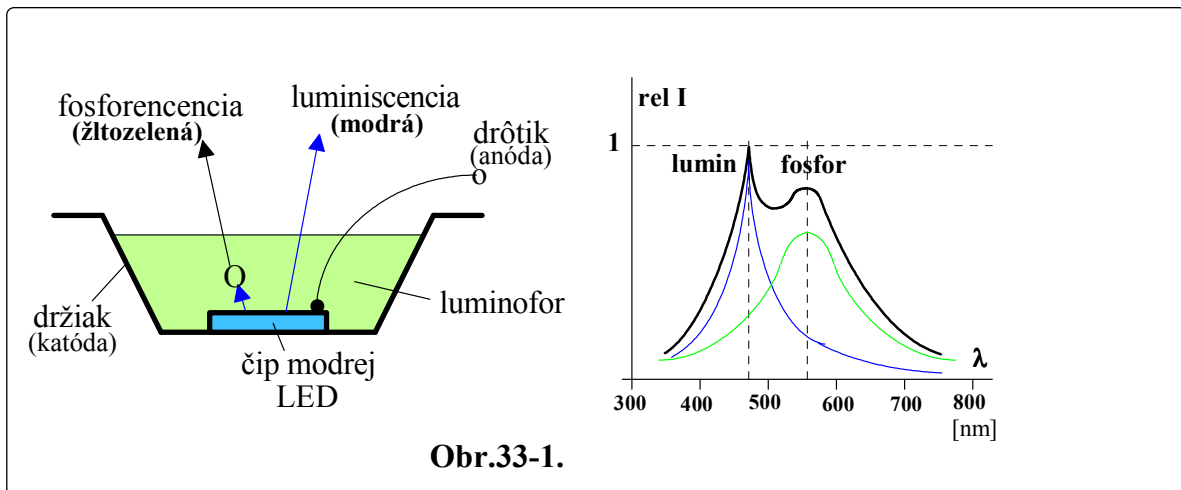
Poznámka: Xenónové výbojky (auto) - zdroj ziarenia je výboj v plyne, vyzadujú vysoké napätie - menič

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 (svietivosť) je úmerný prúdu
- Životnosť, (pokles svietivosti na polovicu), je $10^5 \div 10^6$ hod (11 ÷ 114 rokov).
- Spínacie časy < 100ns, Svetlo je monochromatické.
- V sensorovej 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).

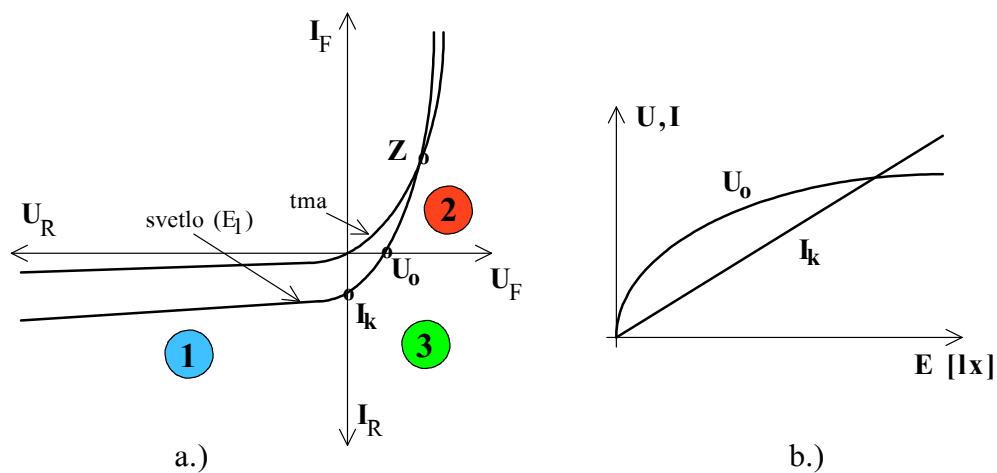
Existujú už i 3W a viac diódy, kde sú prúdy patrične vyššie a treba chladenie

Poznámka: Charakteristika je strmá, treba obmedzenie:

- R
- regulátor
- mäkký zdroj.

3.3. Fotodetektory

3.3.1. Fotodiódy - rýchle, málo citlivé



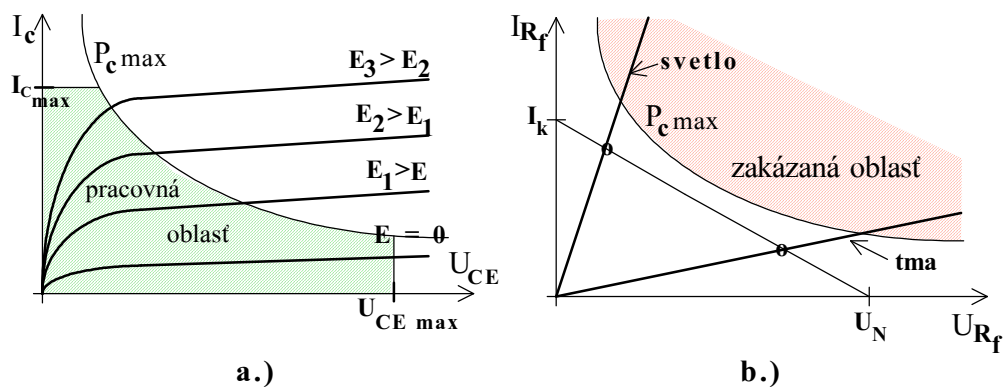
Obr. 34.

- 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).



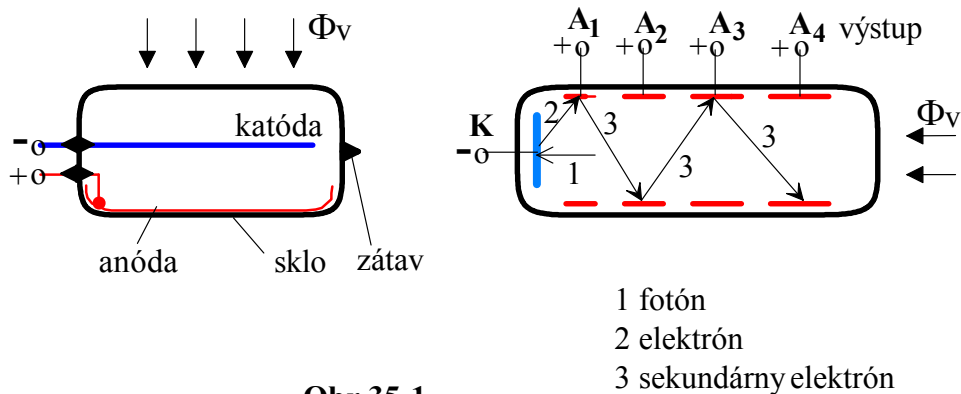
Obr.35.

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).

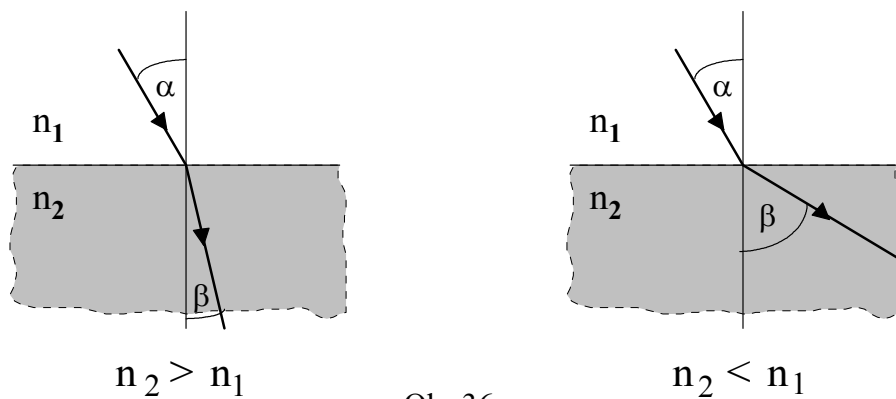
Fotónky, fotonásobiče



Obr.35-1

3.4. Optické členy obvodov

3.4.1. Šošovky



Obr.36.

3.4.2. Základné typy šošoviek

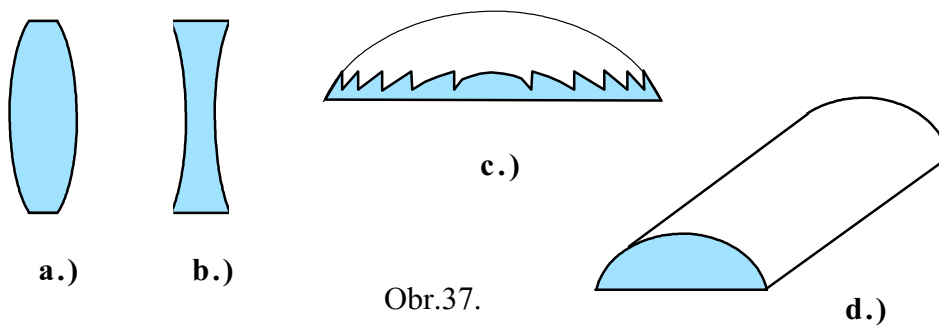
- ♦ spojné - i samostatne (konvexné)
- ♦ rozptylné - doplnok spojných (konkávne)

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

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

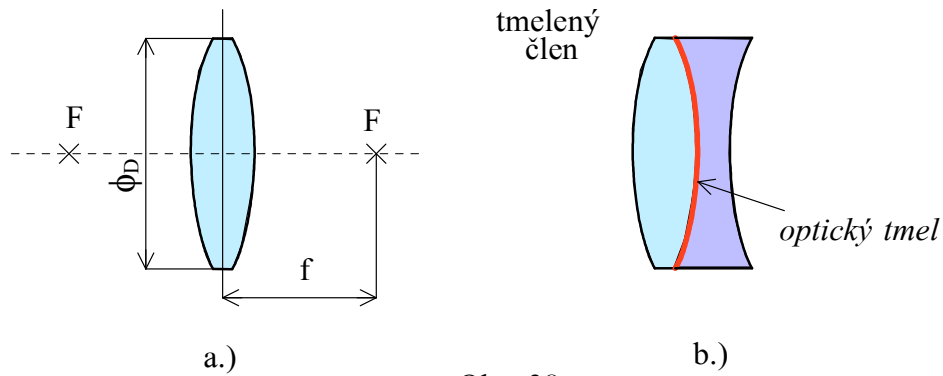
Základné používané tvary šošoviek sú na obr. 37, kde máme :

- spojná šošovka
- rozptylná šošovka
- Fresnelova šošovka
- valcová šošovka



Obr.37.

Parametre šošovky sú znázornené na obr. 38a.



Obr. 38.

Sú to :

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

Optická mohunosť M :

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

jednotka je *dioptria* D, pričom:

- + D spojná
- - D rozptylná

Relatívny otvor, pri objektívoch svetelnosť "s".

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

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)

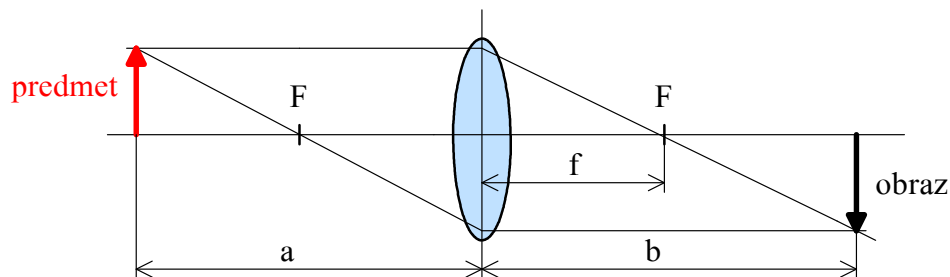
Premenlivá f - ZOOM. (24 - 90/2,8 - 3,5)

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 spojné šošovky. Princíp je na obr.39.



Obr.39.

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

Ostrý obraz - platí zobrazovacia rovnica :

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (6 - 1) \quad \text{zväčšenie} \quad z = \frac{b}{a} \quad (6 - 2)$$

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

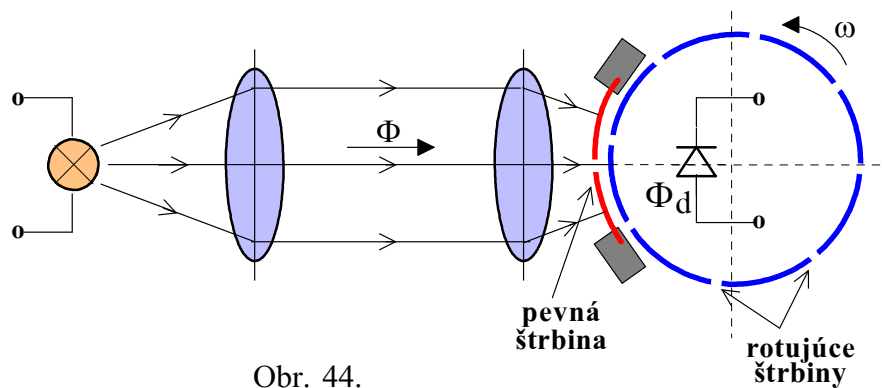
Polarizačné filtre - lineárna, kruhová polarizácia

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

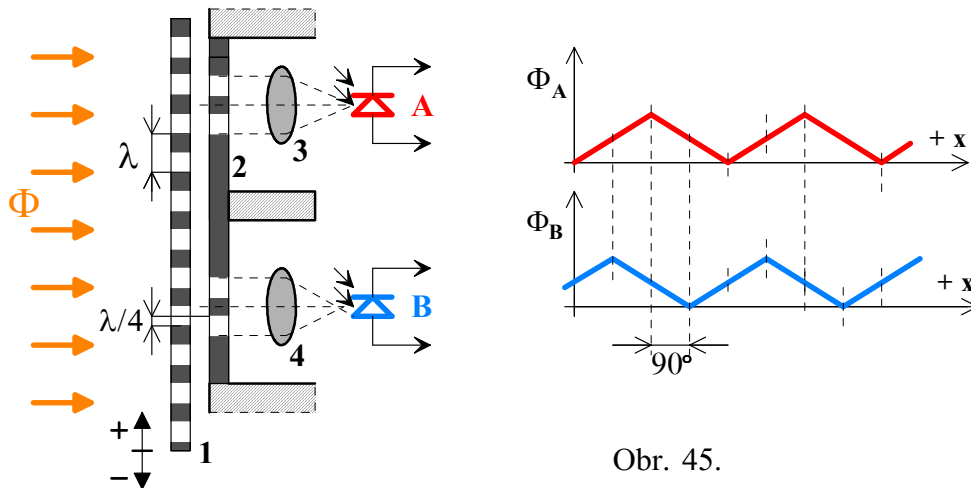
3.4.6. Ostatné prvky

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

Príklad na štrbiny



Príklad na optické mriežky



Obr. 45.

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

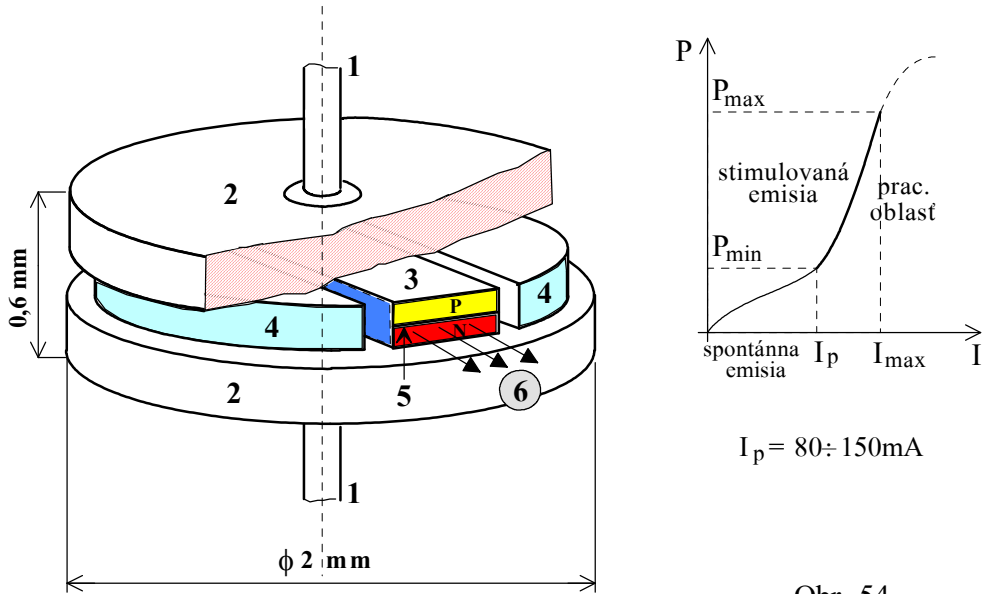
- ♦ LED - menej náročné účely
- ♦ laserová dióda - čiastočne monochromatické, náročnejšie úlohy,
- ♦ lasery (plynové) - monochromatické a koherentné svetlo

4.1.1. LED - diódy

- v sensorovej 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. 54.

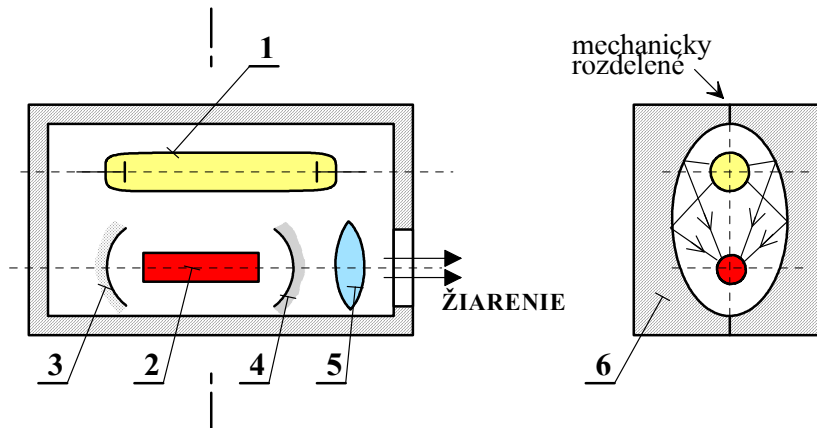
- ♦ strmá charakteristika, veľké prúdy - regulácia (spätná väzba od fotodiódy)
- ♦ farba červená (nové zelená, modrá)

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. 55.

- 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.

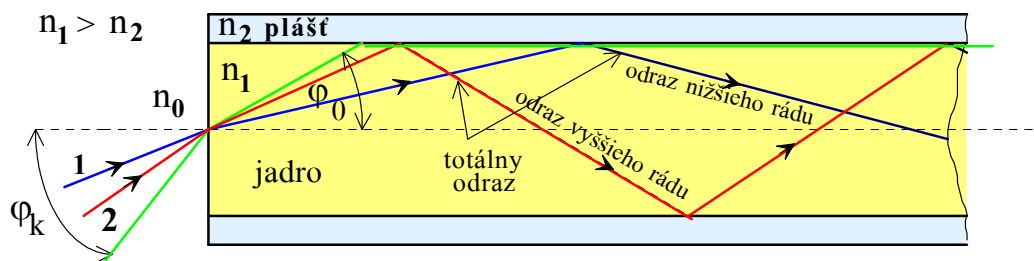
4.2. Vlákňová optika

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. 56.

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

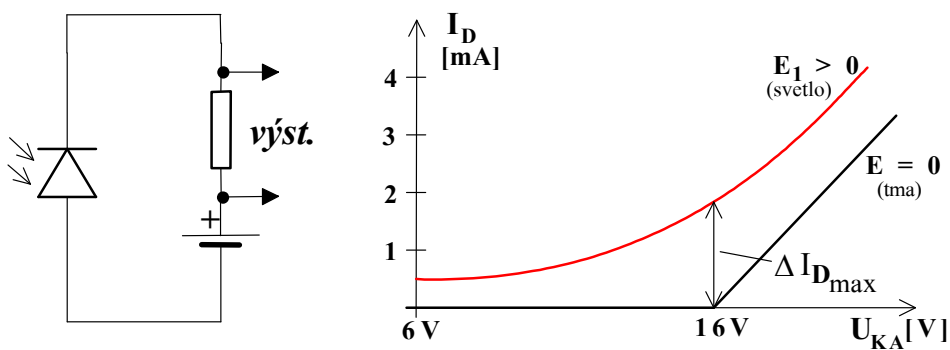
V optoelektronike : ▶ fototranzistory
 ▶ fotodiódy

Fototranzistory menej náročné účely (optočleny)

Fotodiódy sú menej citlivé, ale rýchlejšie prvky.

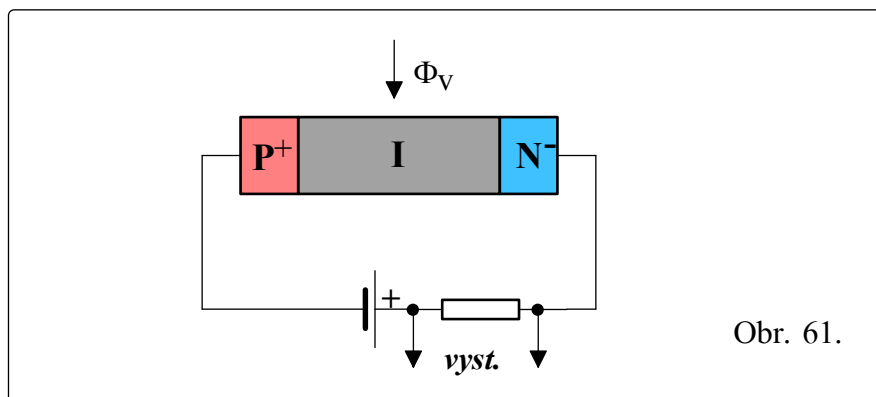
- normálna (názov len *fotodióda*)
- **lavínová fotodióda** - závernom smere, kde sa otvára svetlom.
- **PIN fotodióda**, medzi P a N má odporovú vrstvu I.

Lavínová fotodióda - zapojenie a charakteristika



Obr. 61.

PIN fotodióda - štruktúra a zapojenie



Obr. 61.

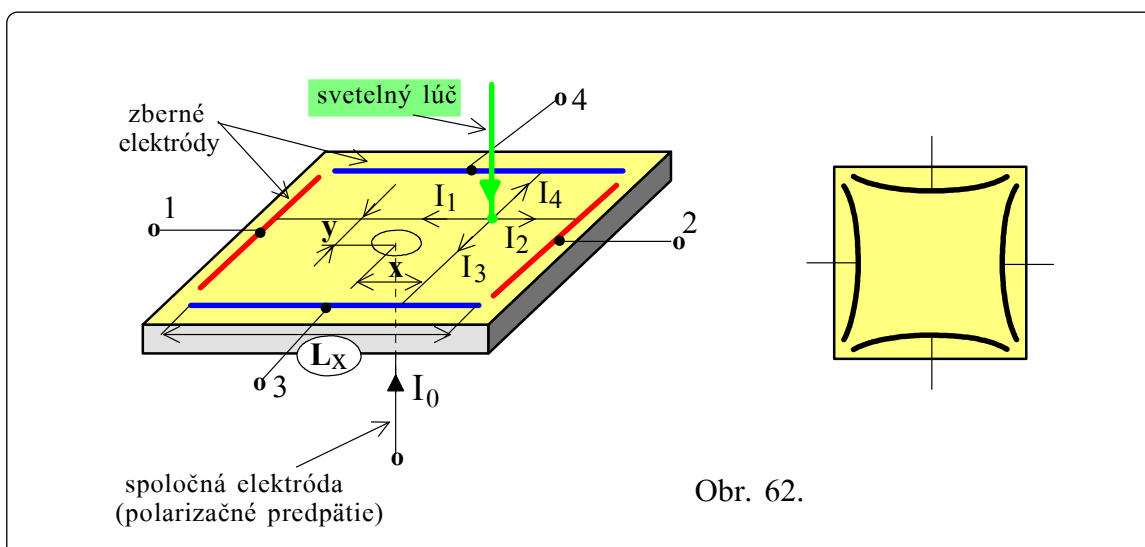
spoločné znaky:

- ♦ 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.



Obr. 62.

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 :

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

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.