



OPTOELEKTRONIKA

DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

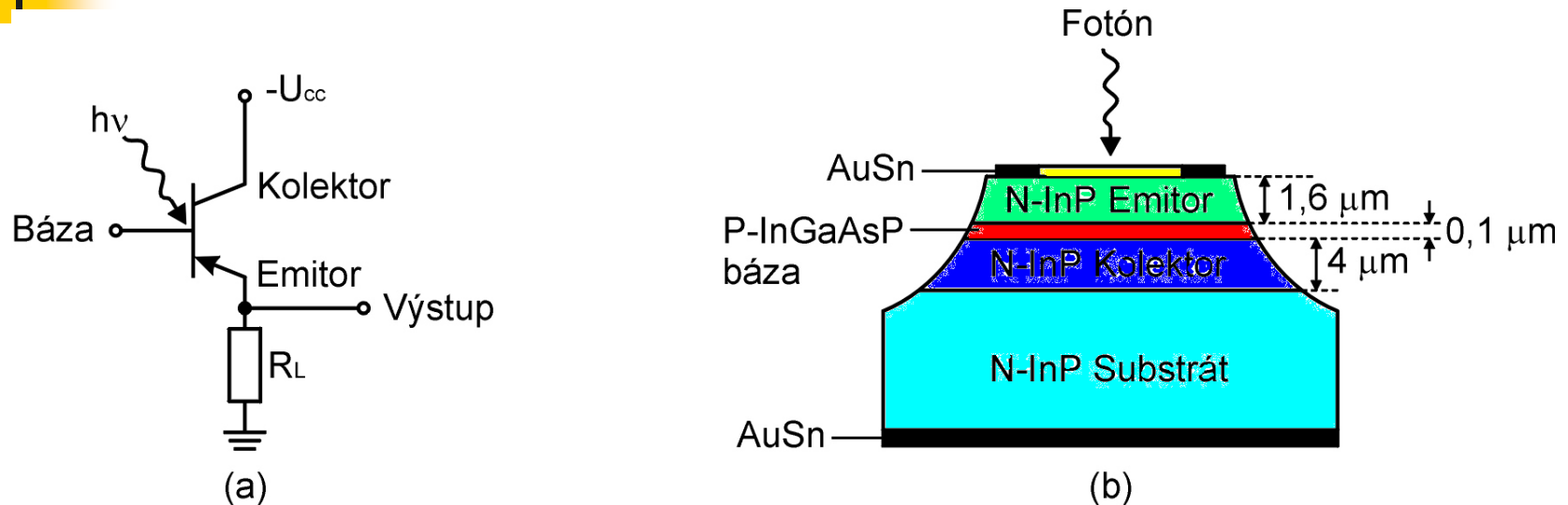
Dr.h.c. Prof.RNDr.Ing. Ján TURÁN, DrSc.

Department of Electronics and Multimedia Communications
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
University of Technology Košice, Letná 9, 042 00 Košice,
Slovakia

Tel. ++ 421 55 602 29 43, E-mail: jan.turan@tuke.sk

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.4 FOTOTRANZISTORY



Obr. 6.14 Symbolické znázornenie (a) a štruktúra (b) NPN fototranzistora.

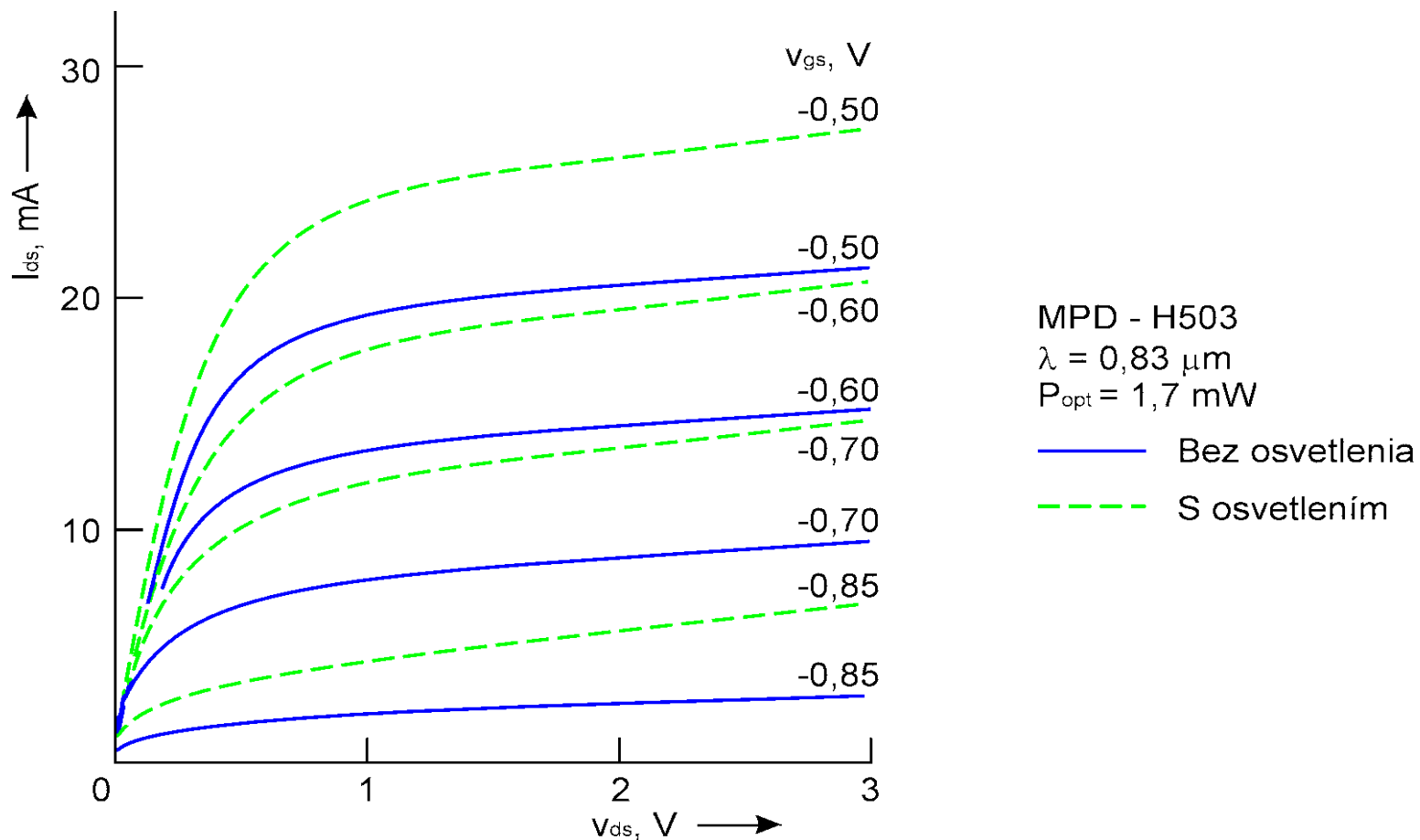
■ Zisk fototranzistora

$$G_o \cong \eta h_{SE} = \frac{\hbar\omega}{e} \frac{I_c}{P_o}$$

- **OPFET**om nazývame fotodetektor tvorený z **GaAs MESFET**u
- Tranzistory **MESFET** (Metal Semiconductor Field–Effect Tranzistors)
- **HEMT** (High Electron Mobility Transistors)

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.4 FOTOTRANZISTORY



Obr. 6.15 Závislosť I_{ds} od V_{ds} pre AlGaAs/GaAs HEMT fotodetektor.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

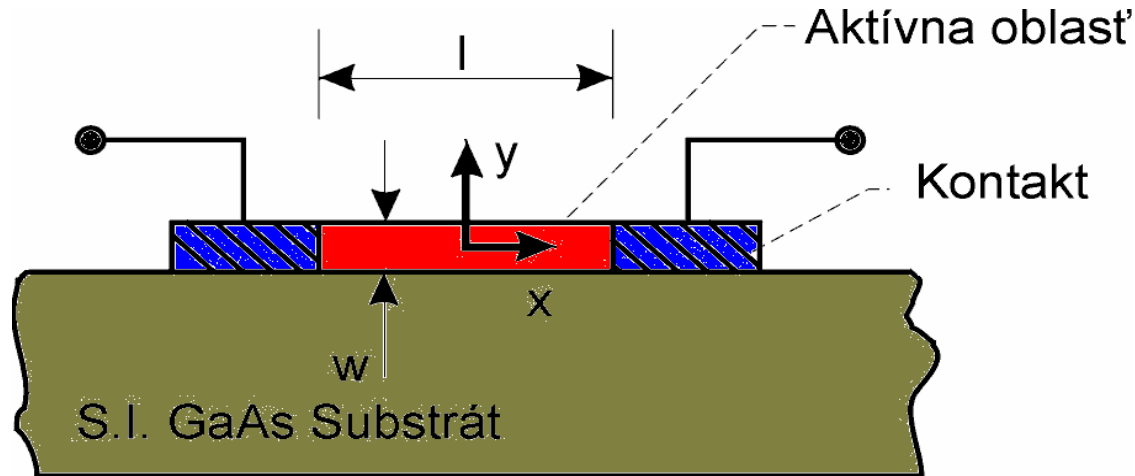
6.4 FOTOTRANZISTORY

POROVNANIE OPFET, APD A PIN FOTODETEKTOROV

Parameter	Typ fotodetektora		
	OPFET	APD	PIN
U_R (V)	3	100	20
R ($A W^{-1}$)	6 až 100	100	1
NEP ($W Hz^{-1/2}$)	10^{-13}	10^{-13}	10^{-14}

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.5 FOTOREZISTORY



Obr. 6.16 Planárny fotorezistor.

- **Pohyblivé nosiče**

$$N = \frac{\eta P_o}{h\nu} \tau_o$$

- **Celkový fotoprúd**

$$I_p = \frac{N_q}{t_t} = \frac{P_o q}{h\nu} \eta \mu \tau_o \frac{U}{d^2}$$

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.5 FOTOREZISTORY

- **Fotoelektrické zosilnenie (vnútorný zisk)**

$$G = \frac{I_p}{q} \cdot \frac{h\nu}{P_o} = \frac{\tau_o}{t_t}$$

Použitie až po vlnové dĺžky do 30 μm

- Potrebne ich chladenie
- Rekombinačný šum
- **Pomer S/N**

$$S/N = \frac{i_p^2}{i_t^2 + i_r^2} = \eta m^2 \frac{(P_o / h\nu)}{8B} \left[1 + \frac{kTt_t(1 + \omega^2 \tau_o^2)}{q \tau_o I_p R_d} \right]$$

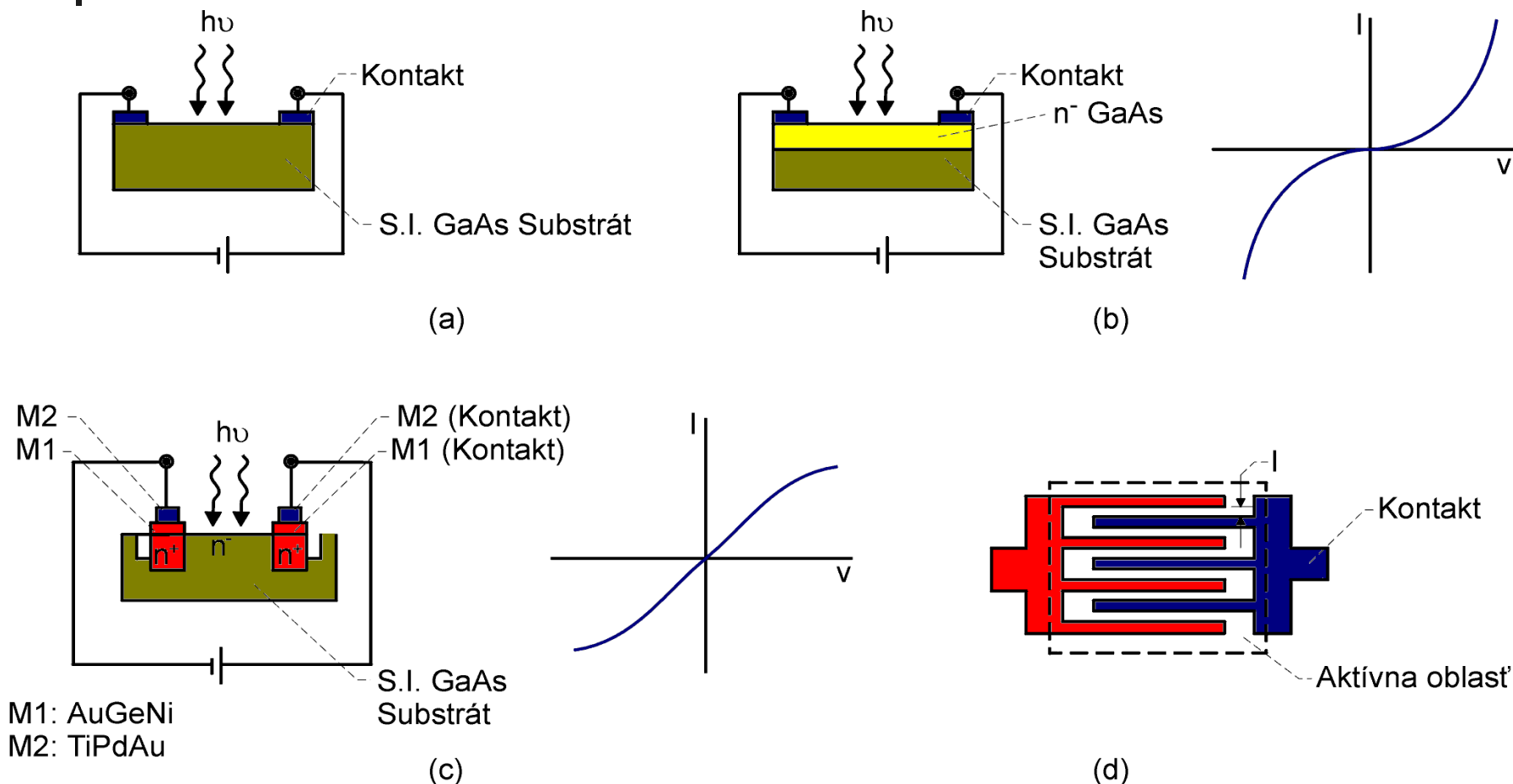
- **NEP**

$$NEP = \frac{mP_o}{\sqrt{2}} = \frac{h\nu 2^{2,5}}{\eta m} \left[1 + \frac{kTt_t(1 + \omega^2 \tau_o^2)}{q \tau_o I_p R_d} \right]$$

- Parametre : $\lambda = 0,83 \mu\text{m}$, $\eta = 60 \%$, $m = 1$, $P_o = 0,1 \text{ mW}$, $t_t = 30 \text{ ps}$, $\tau_o = 1 \text{ ns}$, $f = 10 \text{ GHz}$, $R_d = 50 \Omega$ je NEP = 1,03 fWHZ^{1/2}.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.5 FOTOREZISTORY



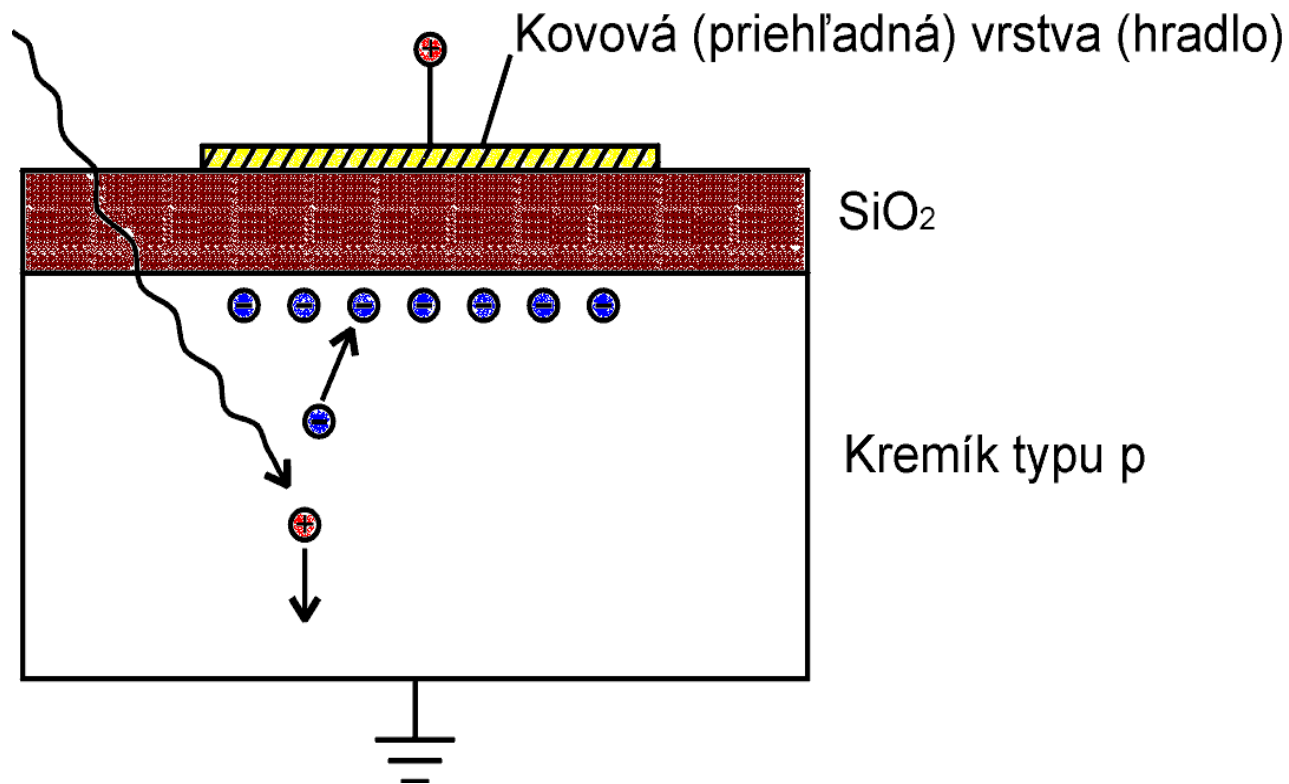
Obr. 6.17 Typické štruktúry fotorezistorov na báze GaAs: so Schottkyho kontaktom, N- epitaxná vrstva so Schottkyho kontaktom, ionovo implantovaná N- vrstva s ohmickým kontaktom, interdigitálna štruktúra elektród.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.6 FOTODEDEKTORY S NÁBOJOVOU VÄZBOU (CCD)

Fotodetektory s nábojovou väzbou

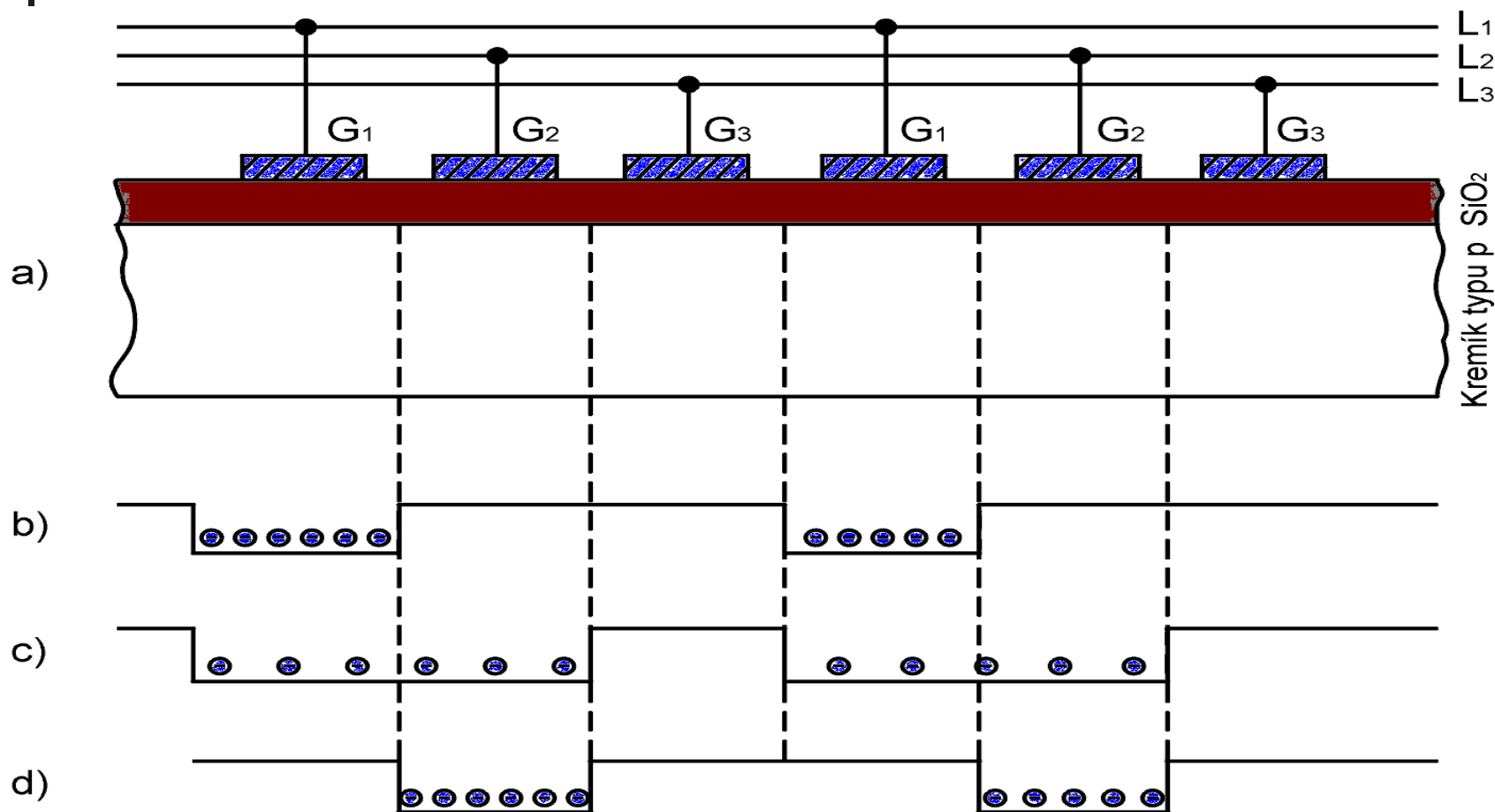
CCD (Charge Coupled Devices)



Obr. 6.18 Štruktúra MOS kapacitora.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.6 FOTODEDEKTORY S NÁBOJOVOU VÄZBOU (CCD)



Obr. 6.19

Lineárny rad prvkov CCD (a) a rozloženie náboja keď (b) $G_1 = v_{gr}$, $G_2 = G_3 = 0$;
(c) $G_1 = G_2 = v_{gr}$, $G_3 = 0$; $G_1 = 0$, $G_2 = v_{gr}$, $G_3 = 0$.

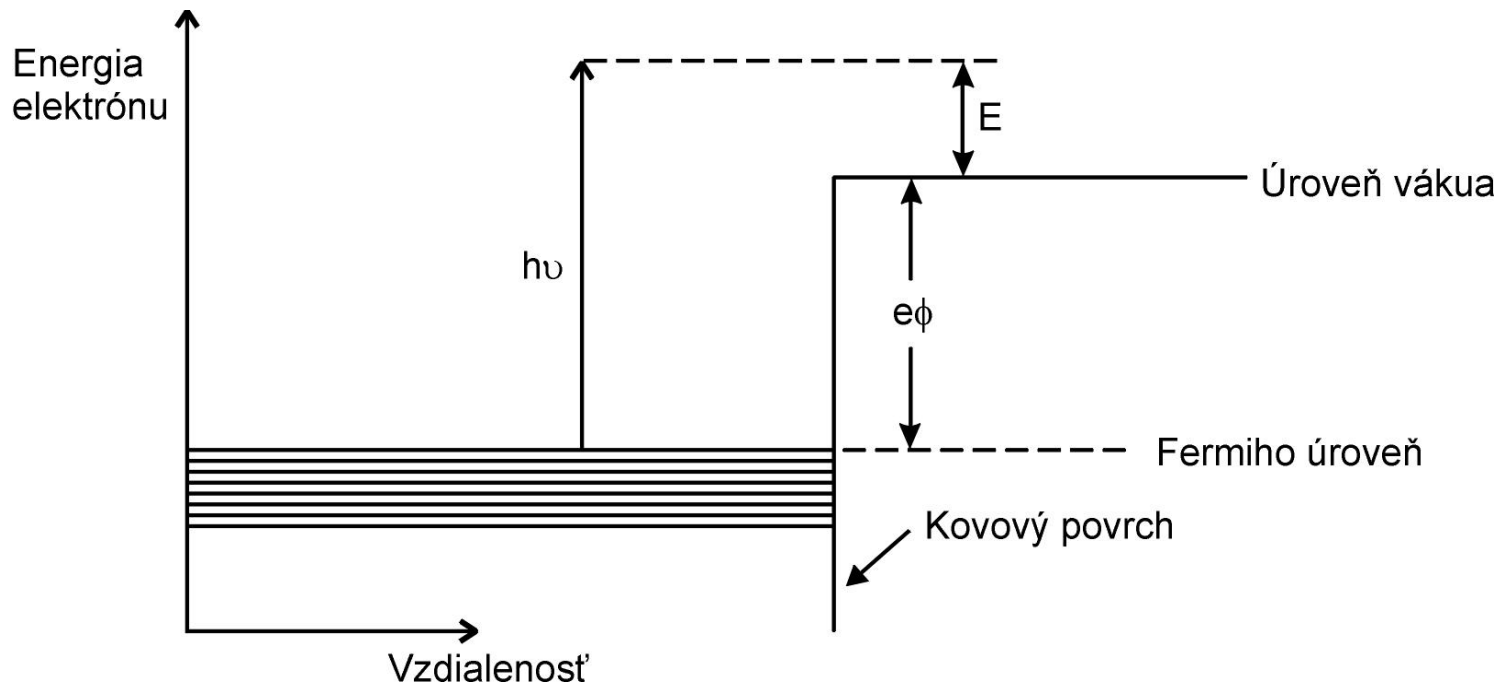
6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.7 FOTONÁSOCIČE

- **Fotonásobič je najcitlivejší fotodetektor**

- **Výstupná práca**

$$E_{kin} = h\nu - e\phi$$

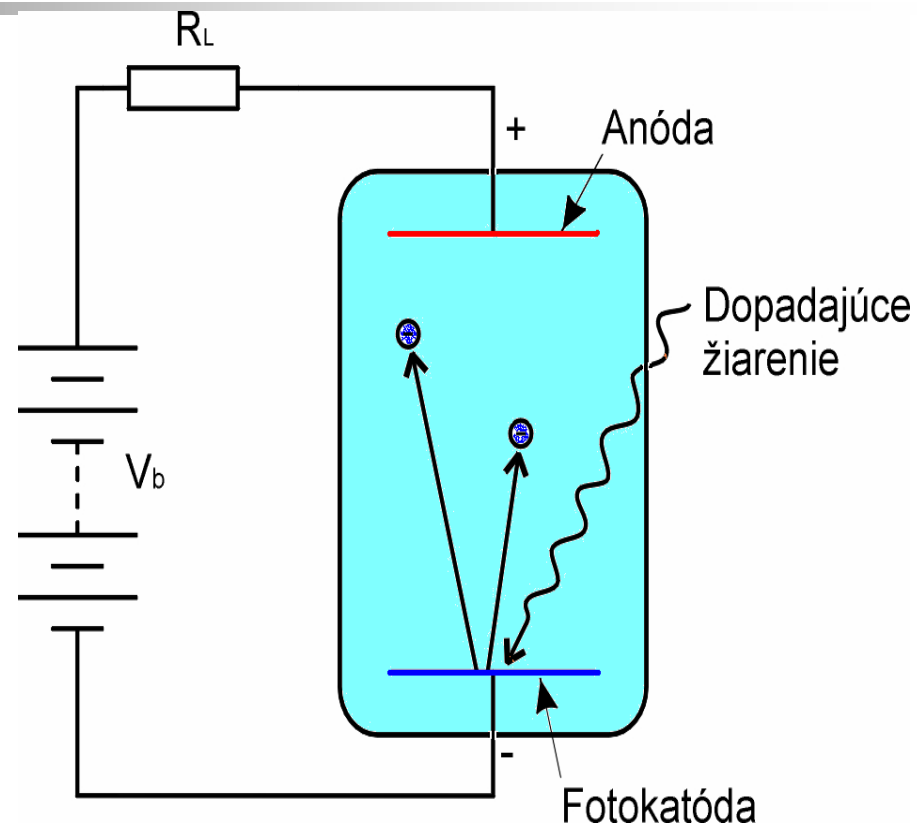


Obr. 6.20 Energetický diagram rozhrania kov-vákuum.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.7 FOTONÁSOCIČE

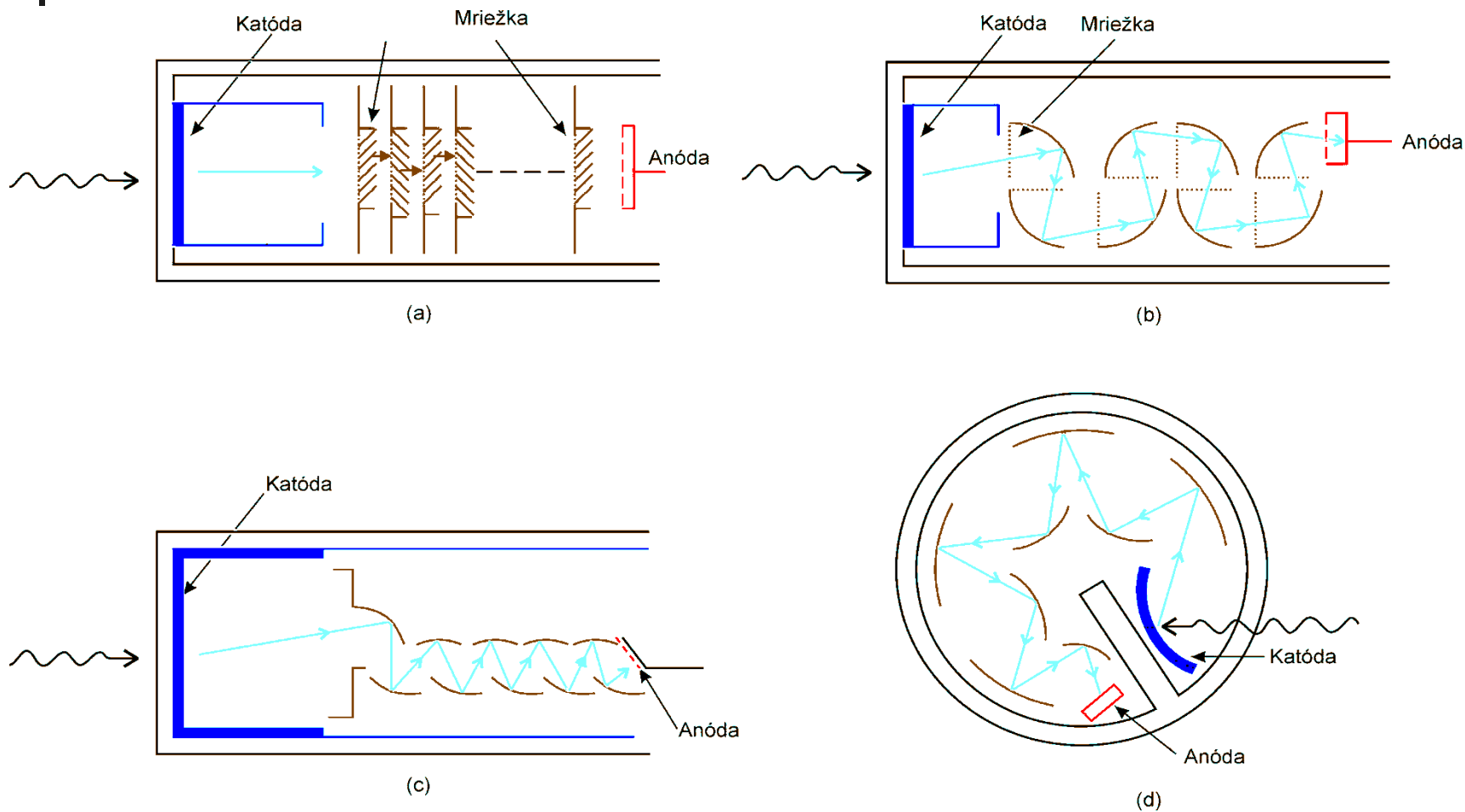
- **Vákuová fotodióda**
- **Pridanie dynód**
- **GaAs – Cs₂O**
- 100 V na stupeň
- **Multiplikácia**
- Zisk N^M
- Zisk N na jeden stupeň dynódy = 3 až 5 (pre dynódy z **CsAt**, **MgO** a **BeO**) a 20 až 50 (pre dynódy z **GaP**, **GaAs – Cs₂O**), čo pre 8 až 10 stupňov
- **Zisk fotonásobiča** = $4 \cdot 10^5$ až 10^8



Obr. 6.21
Jednoduchý fotodetektor s využitím vonkajšieho fotoefektu.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.7 FOTONÁSOCIČE



Obr. 6.45
Štruktúry dynód pre štyri typy fotonásobičov:
(a) žaluzie; (b) krabica; (c) lineárny a (kruhový fokusačný systém)

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.7 FOTONÁSOCIČE

- **Úroveň šumu** fotonásobiča určená **výstrelovým šumom**

$$\overline{i_s^2} = 2q(I_c + I_d)G^2 B$$

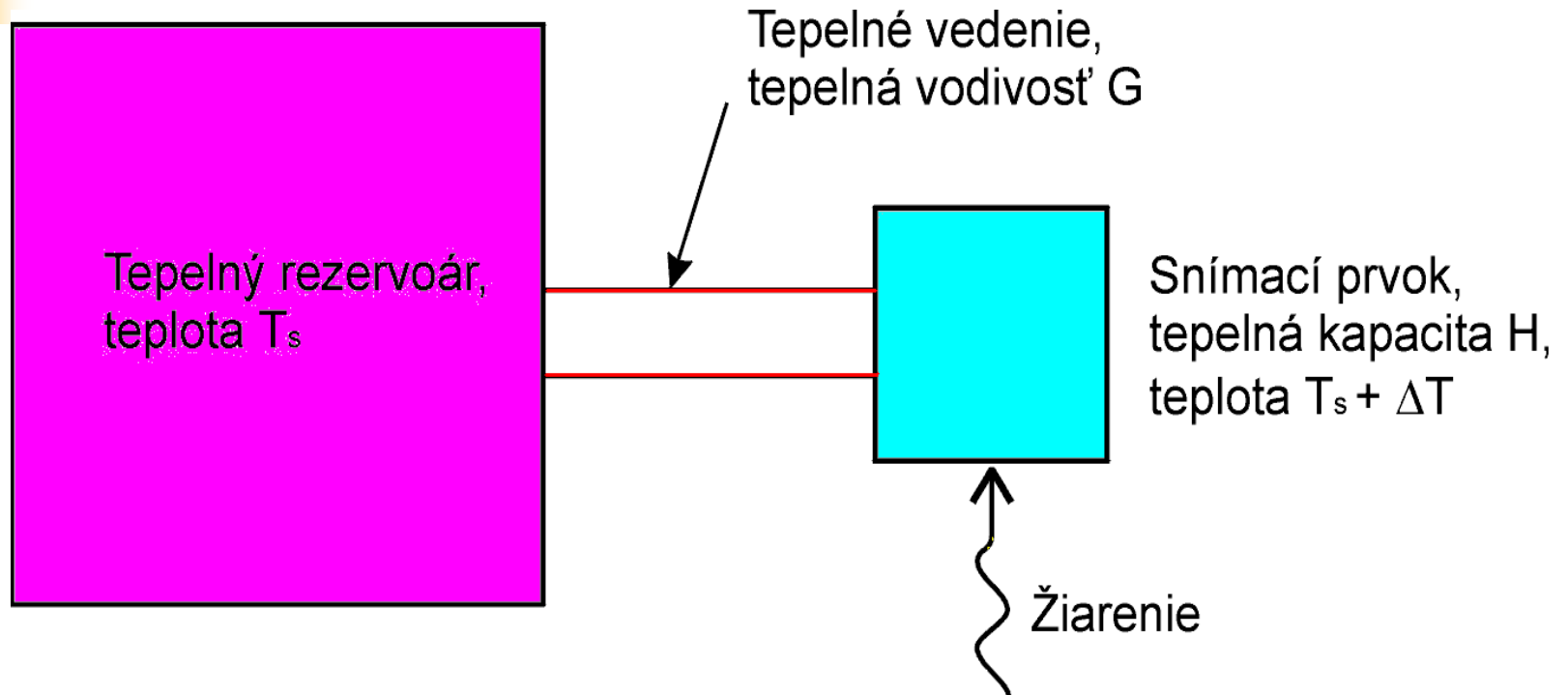
- **Tepelným šumom**

$$\overline{i_t^2} = \frac{4kTBF}{R_L}$$

- **Počítanie (sčítavanie) fotónov (Photon counting)**
- **Mnohokanálový analyzátor**

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.8 TEPELNÉ FOTODETEKTORY



Obr. 6.23 Model tepelného fotodetektora.

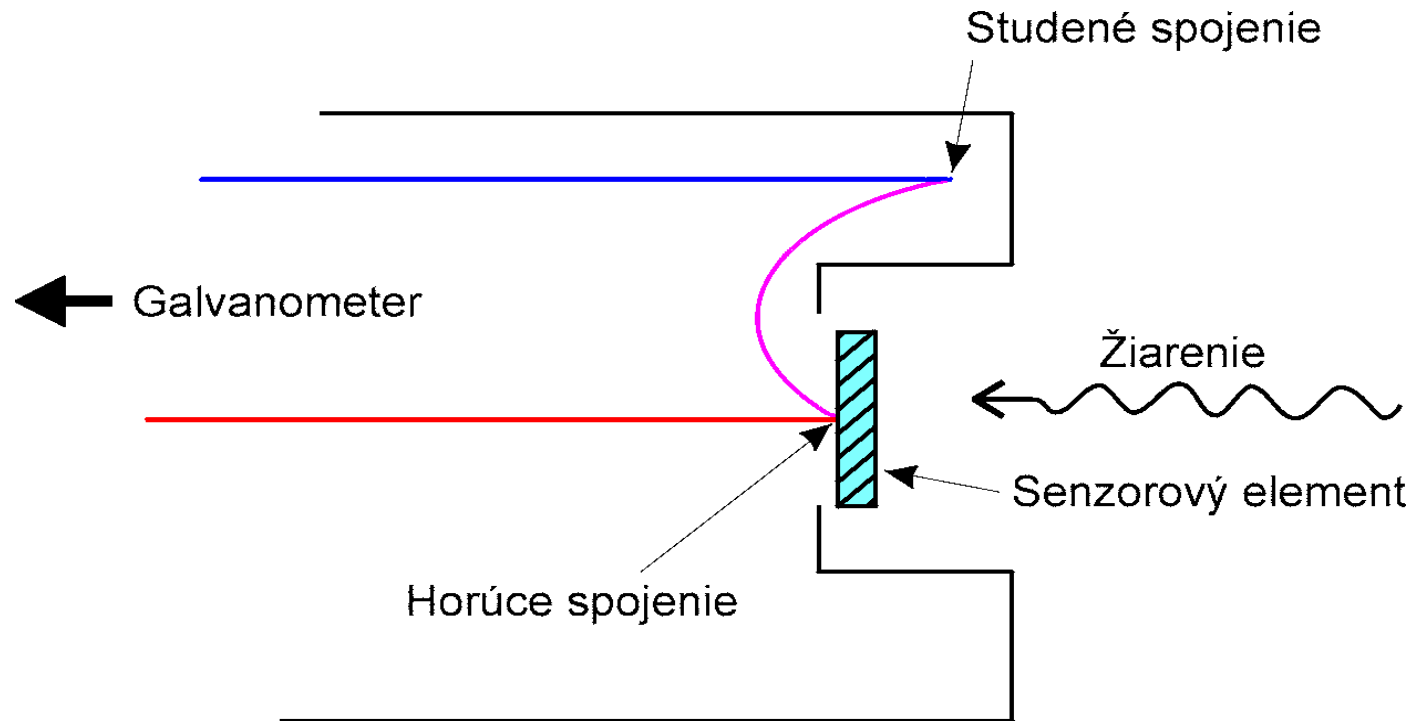
Tepelný fotodetektor

$$\Delta T_f = \frac{W_f}{(G^2 + 4\pi f^2 H^2)^{1/2}}$$

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.8 TEPELNÉ FOTODETEKTORY

- **Termoelektrický fotodetektor** – využíva Seebeckov jav

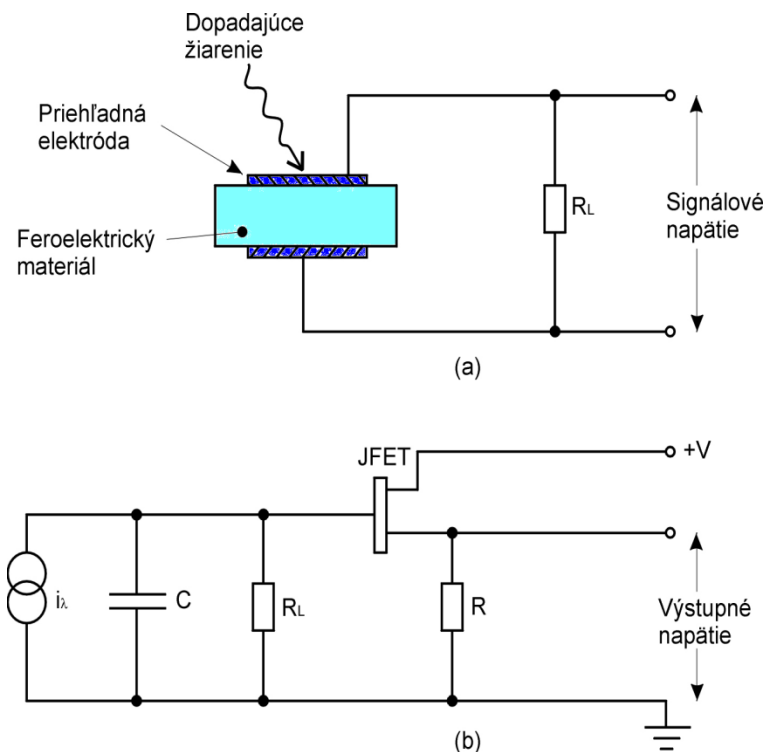


Obr. 6.24 Termoelektrický fotodetektor.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.8 TEPELNÉ FOTODETEKTORY

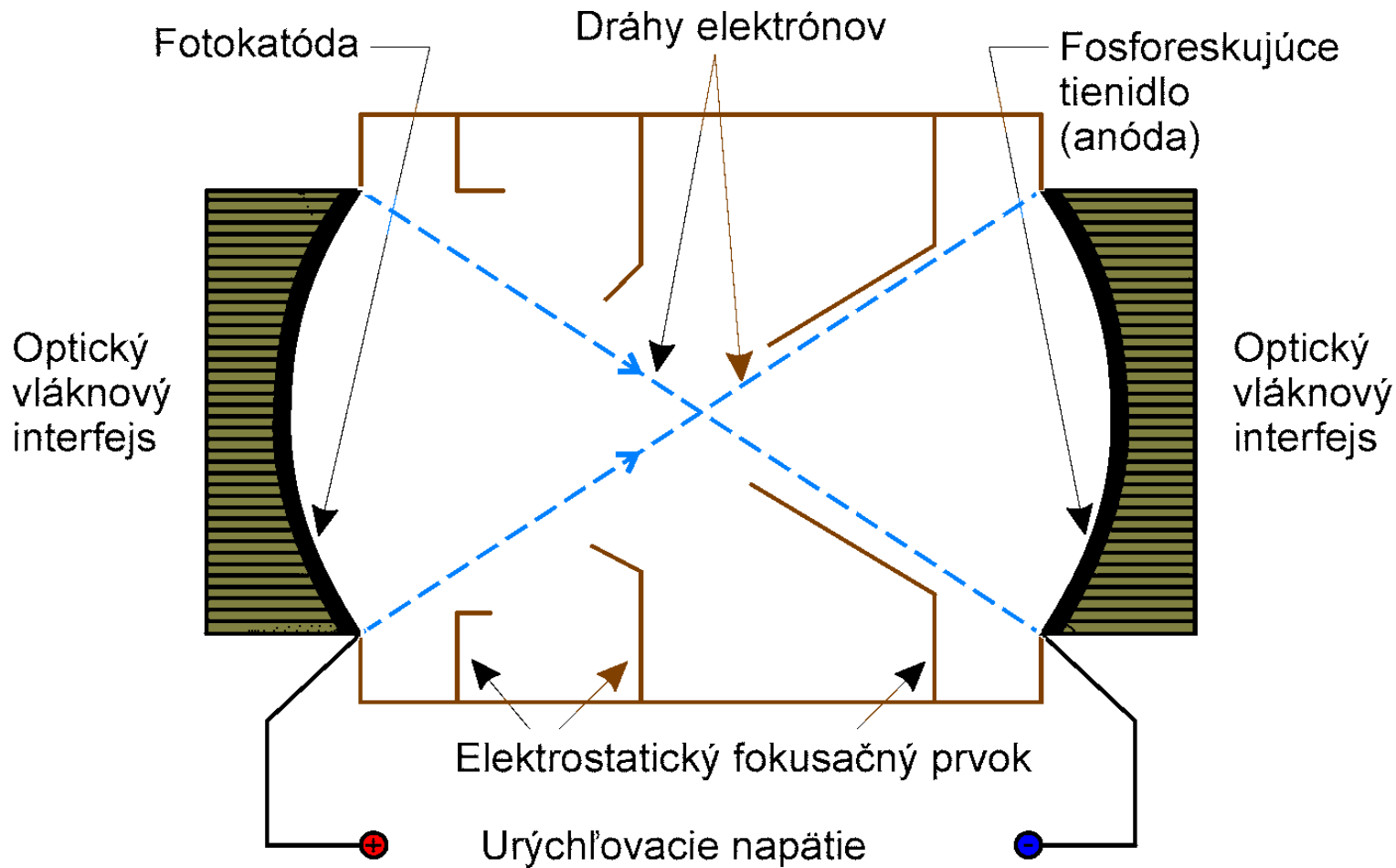
- **Bolometre** - platina a nikel ($\alpha \sim 0,005 \text{ K}^{-1}$)
polovodičové materiály na báze oxidov mangánu, kobaltu a niklu ($\alpha \sim -0,06 \text{ K}^{-1}$)
- **Pneumatický** tepelný fotodetektor – detekcia žiarenia pod 10^{-11} W
- **Pyroelektrické** fotodetektory – detekcia žiarenia pod 10^{-8} W



Obr. 6.25
Pyroelektrický fotodetektor :
konštrukcia, elektrické zapojenie.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

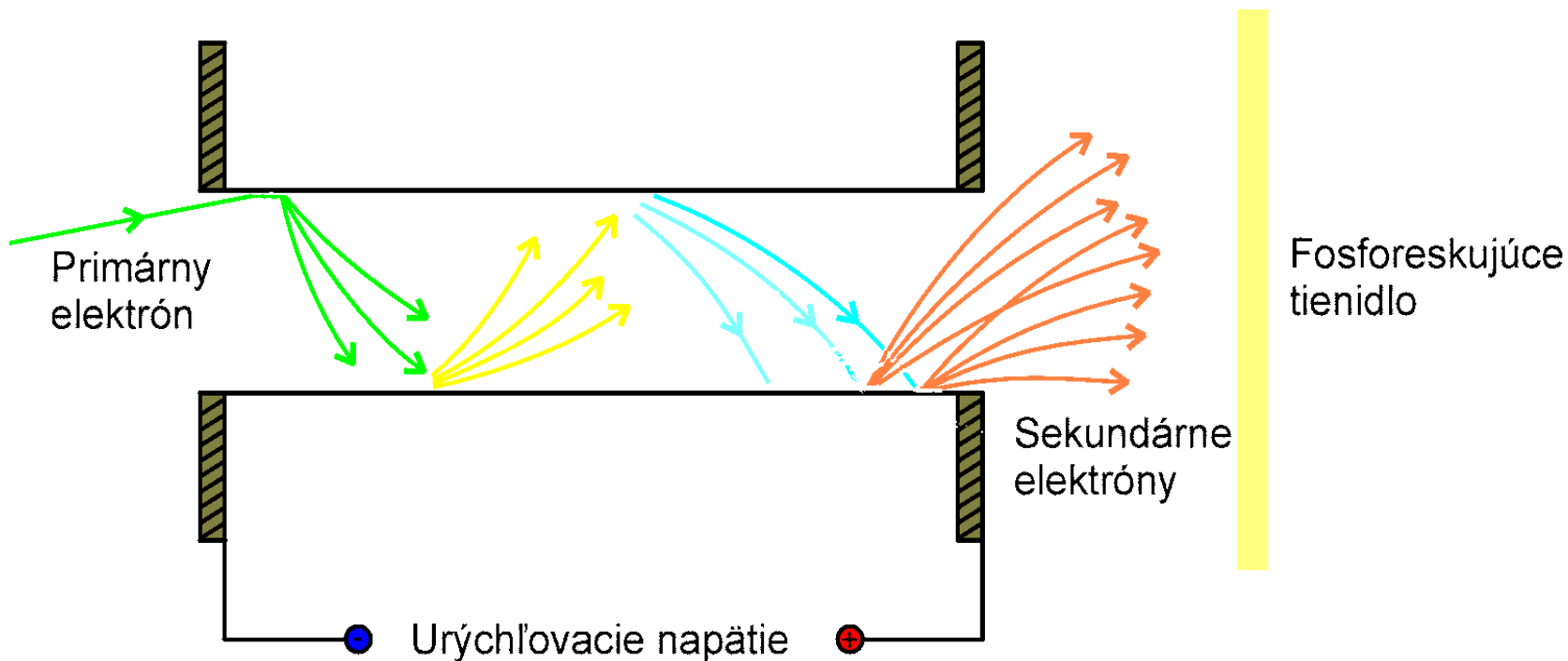
6.9 OBRAZOVÉ OPTICKÉ ZOSILŇOVAČE



Obr. 6.26 Konštrukcia obrazového optického zosilňovača prvej generácie.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

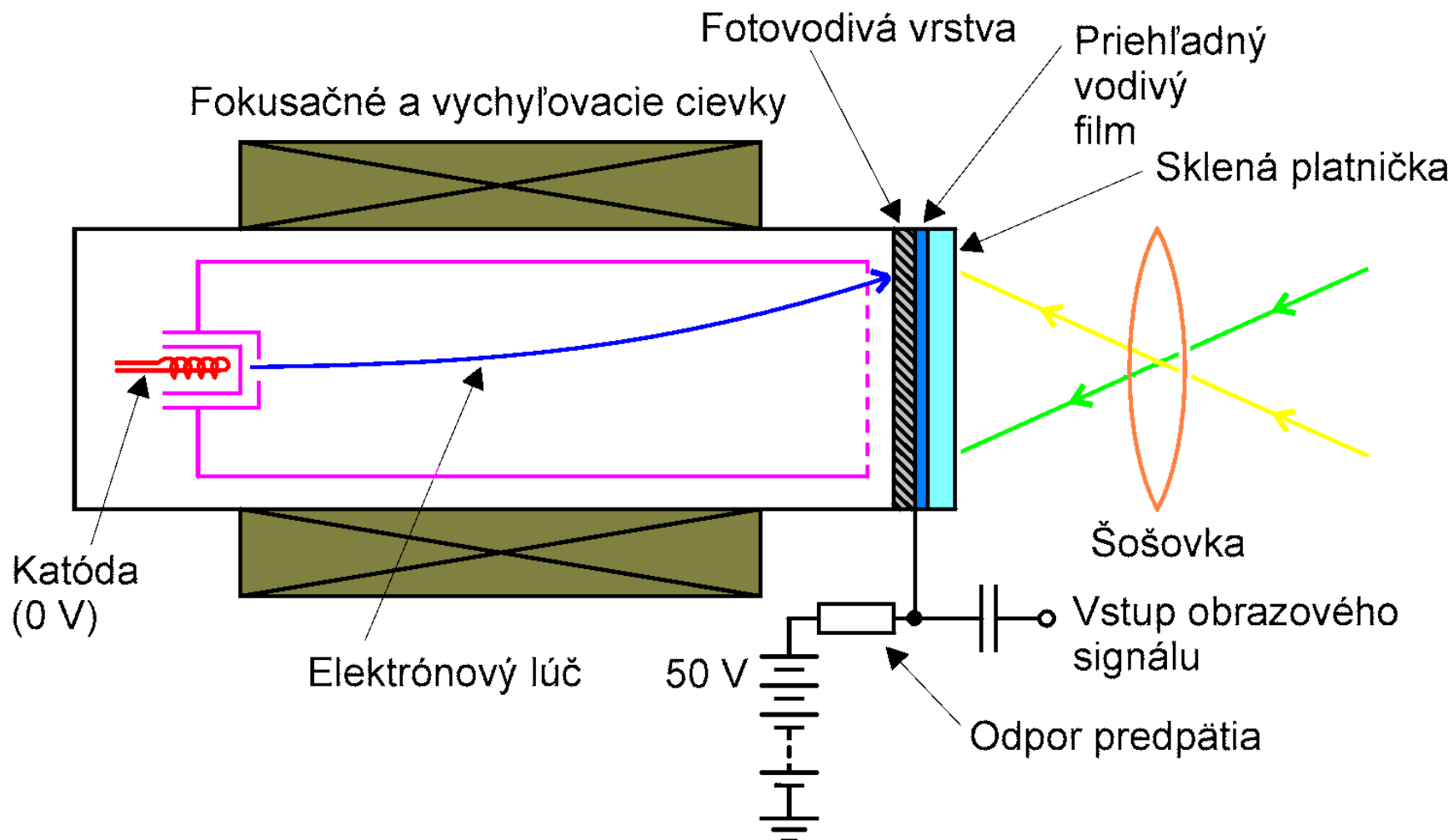
6.9 OBRAZOVÉ OPTICKÉ ZOSILŇOVAČE



Obr. 6.27 Multiplikácie elektrónov v kanáliku mikrokanálikovej platničky.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

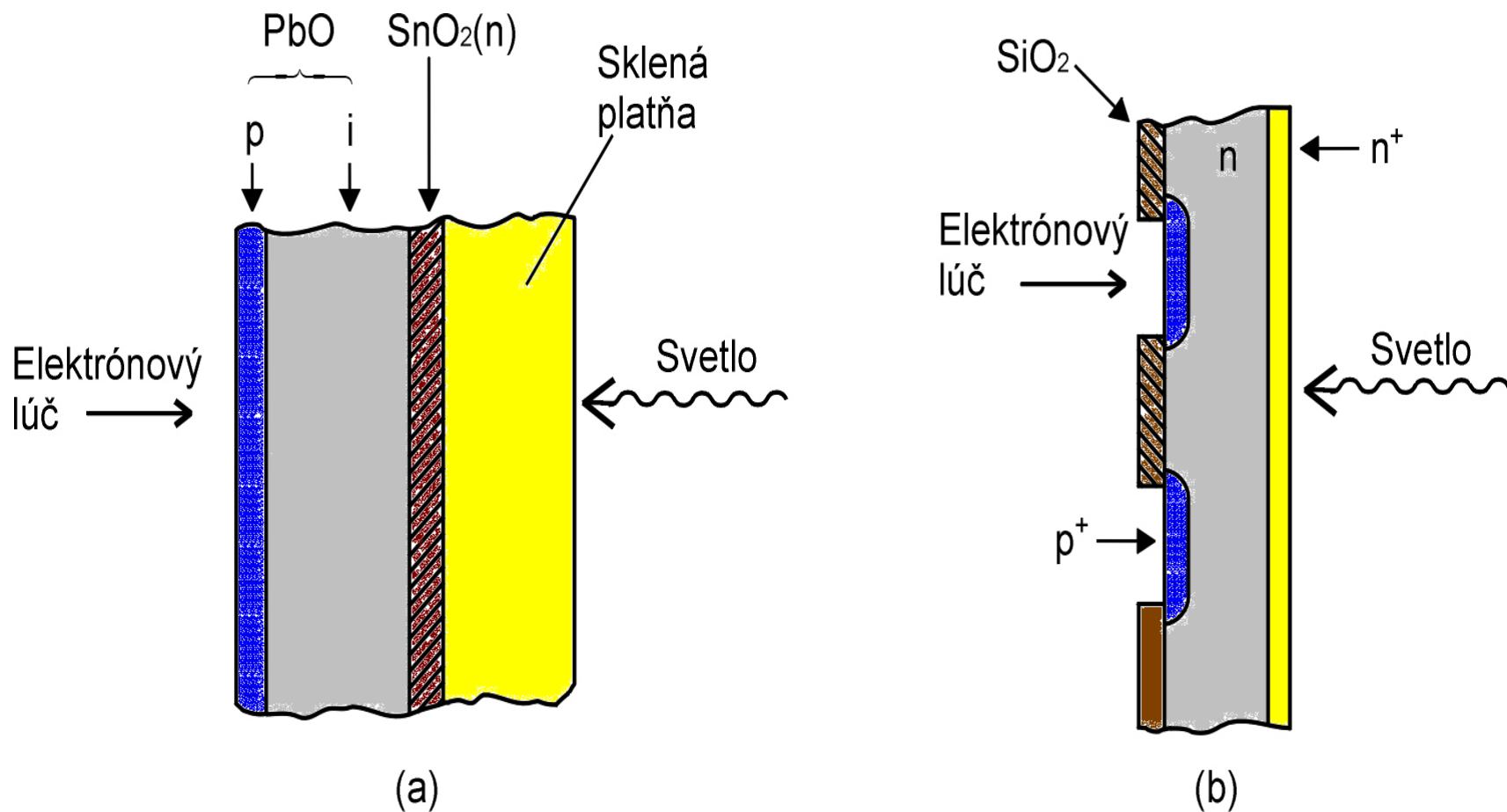
6.10 VIDIKÓNY A PLUMBIKÓNY



obr. 6.28 Konštrukcia vidikónu.

6. DETEKTORY SVETLA (FOTODETEKTORY)

6.10 VIDIKÓNY A PLUMBIKÓNY



Obr. 6.28 Konštrukcia tienidla : plumbikónu; matice kremíkových fotodiód.