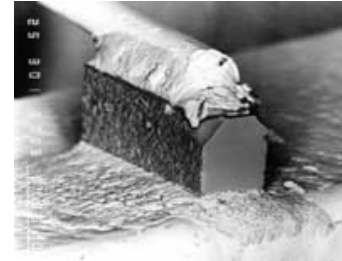
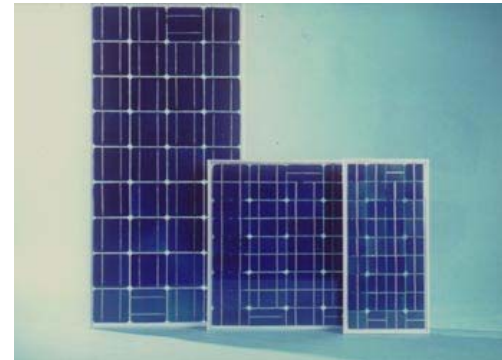
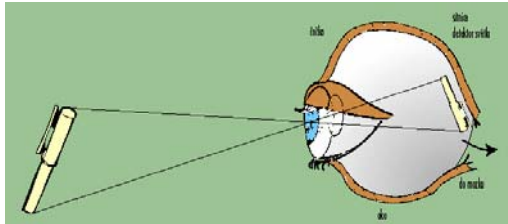


# Optoelektronika



Zdroje



Detektory



Systemy

# Optoelektronika

Optoelektronické součástky využívají interakce záření a elektricky nabitých částic v polovodičích.

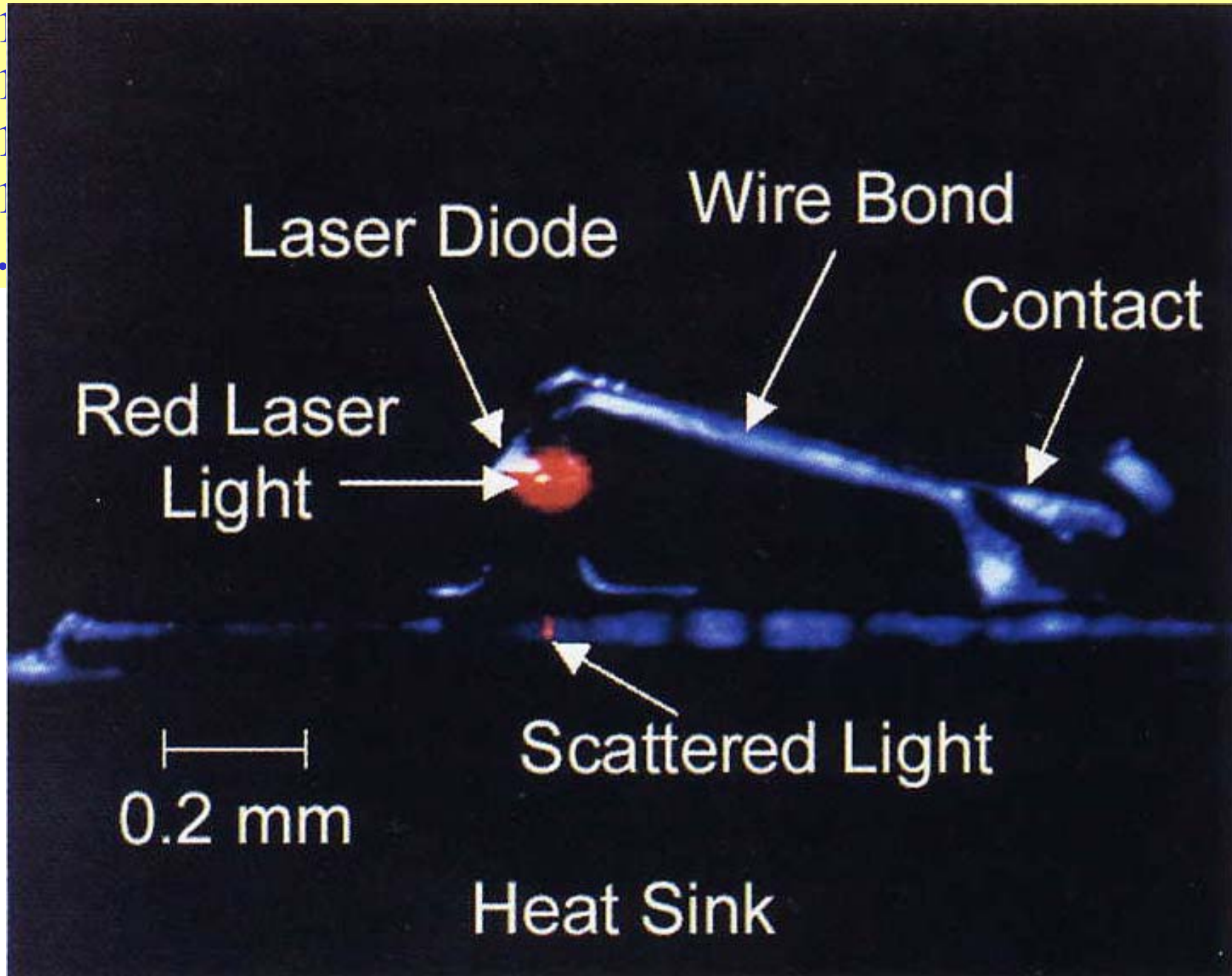
- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1839 E. Becquerel             | - Fotovoltaický jev              |
| 1873 W. Smith                 | - Fotovodivost selenu            |
| 1954 Chapin, Fuller, Pearson  | - Solární článek s pn přechodem  |
| 1962 Pankove, Berkeyheiser    | - GaAs LED                       |
| 1962 R. N. Hall, Nathan, .... | - GaAs LASER                     |
| 1962 N. Holonyak...           | - GaAsP <b>červený</b> LASER     |
| 1963 H. Kroemer, Alferov      | - návrh LASERu s heteropřechodem |
| 1963 Allen                    | - GaP <b>červená</b> LED         |
| 1965 Thomas, Hopfield         | - GaP:N <b>zelená</b> LED        |
| 1971 Pankove                  | - GaN modrá MIS dioda            |

.....



1962 N. Holonyak...

- GaAsP červený laser



# Záření

- elektromagnetické vlny s vlnovou délkou  $\lambda$
- množství fotonů (kvant) o energii  $W$

## Planckův zákon

$$W = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e}$$

$h$  - Planckova univerzální konstanta ( $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$  J.s )

$c$  - Rychlost světla ( $c = 3 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>)

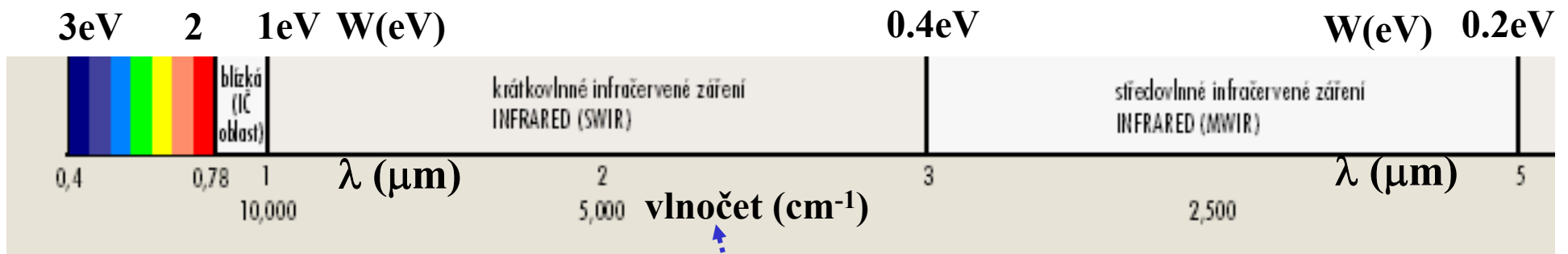
$e$  - Náboj elektronu ( $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C)

# Záření

## Planckův zákon

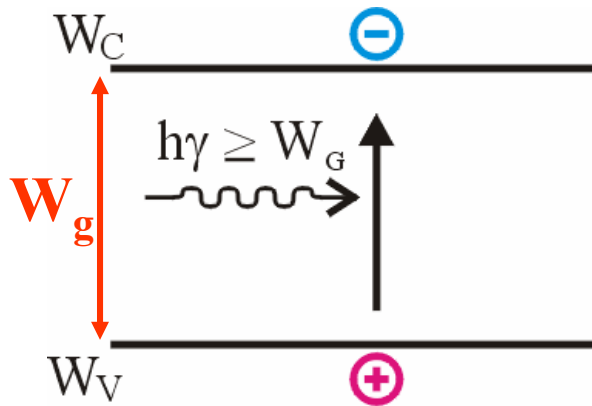
$$W = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e}$$

Čím kratší je vlnová délka fotonu, tím větší je jeho energie.



počet vln na cm

# Interakce záření a polovodiče



absorpce  
a)

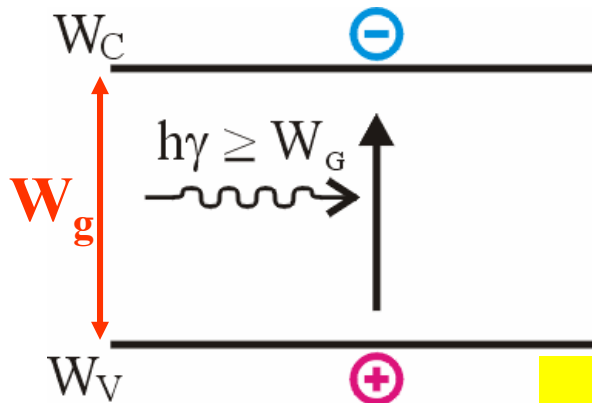
$W > W_g \Rightarrow$  ABSORPCE (fotoelektrický jev)

$$\lambda \leq \frac{1,24}{W_g} [\mu m; eV]$$

V polovodiči se může absorbovat jen záření, jehož vlnová délka je kratší než **ABSORPČNÍ HRANA**

Aplikace: FOTODETEKTORY

# Interakce záření a polovodiče



absorpce  
a)

$W > W_g \Rightarrow$  ABSORPCE (fotoelektrický jev)

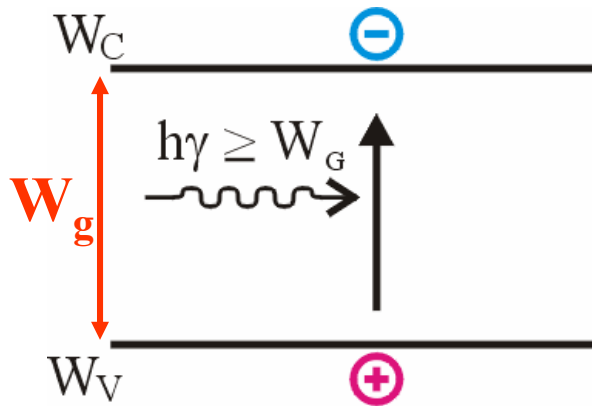
$$\lambda \leq \frac{1,24}{W_g} [\mu m; eV]$$

V polovodiči se může absorbovat jen záření, jehož vlnová délka je kratší než **ABSORPČNÍ HRANA**



1921 – Nobelova cena za fyziku  
– objev fotoelektrického jevu

# Interakce záření a polovodiče



absorpce  
a)

$W > W_g \Rightarrow$  ABSORPCE (fotoelektrický jev)

**Absorpční hrana ( $T=300$  K) :**

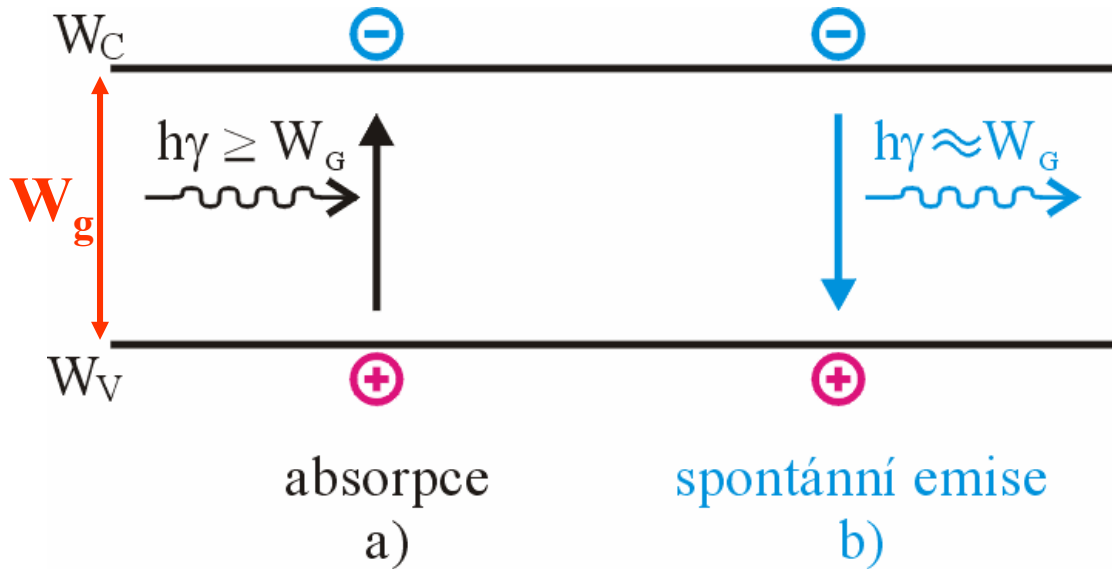
Ge:	$\lambda = 1.5 \mu\text{m}$	$W_{gg} = 0.84 \text{ eV}$
Si:	$\lambda = 1.1 \mu\text{m}$	$W_{gg} = 1.12 \text{ eV}$
GaAs:	$\lambda = 0.85 \mu\text{m}$	$W_{gg} = 1.42 \text{ eV}$

Pro delší vlnovou délku je polovodič průhledný (neabsorbuje).

**Pro danou vlnovou délku musíme vybírat detektor podle materiálu!**



# Interakce záření a polovodiče



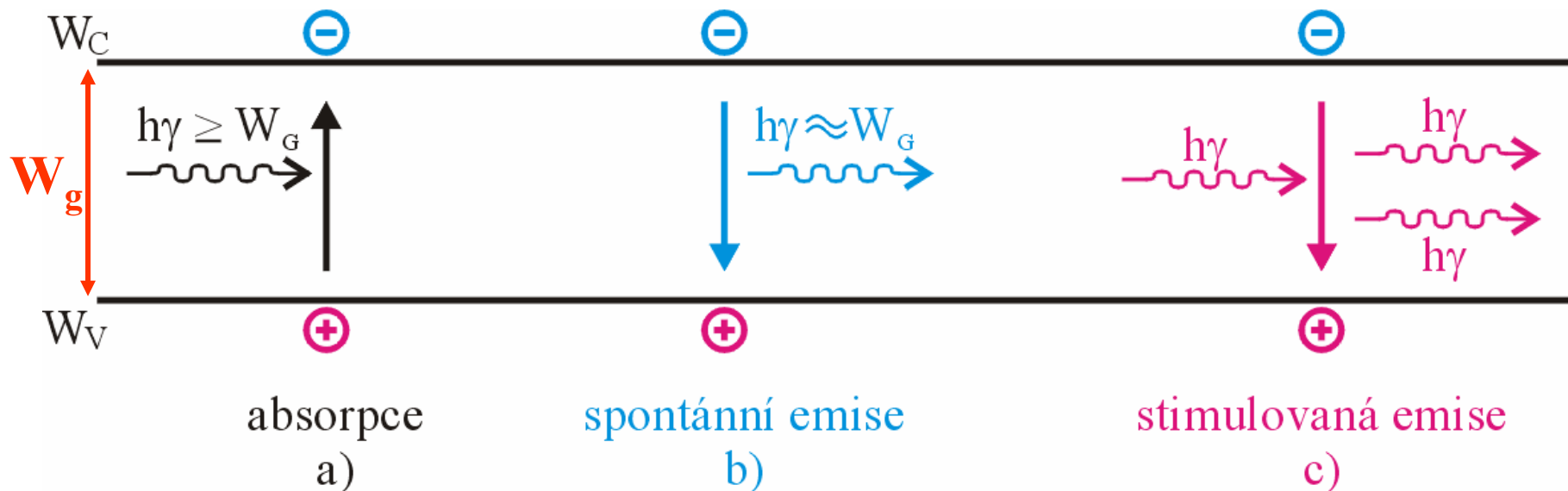
Elektron samovolně (spontánně) rekombinuje s dírou.



Uvolněná energie se vyzáří ve formě fotonu  
(zákon zachování energie).

Aplikace: LED (Light Emitting Diode)

# Interakce záření a polovodiče



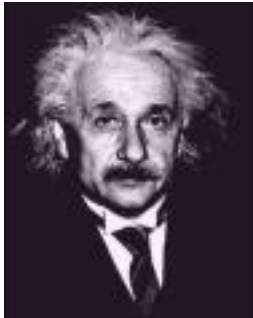
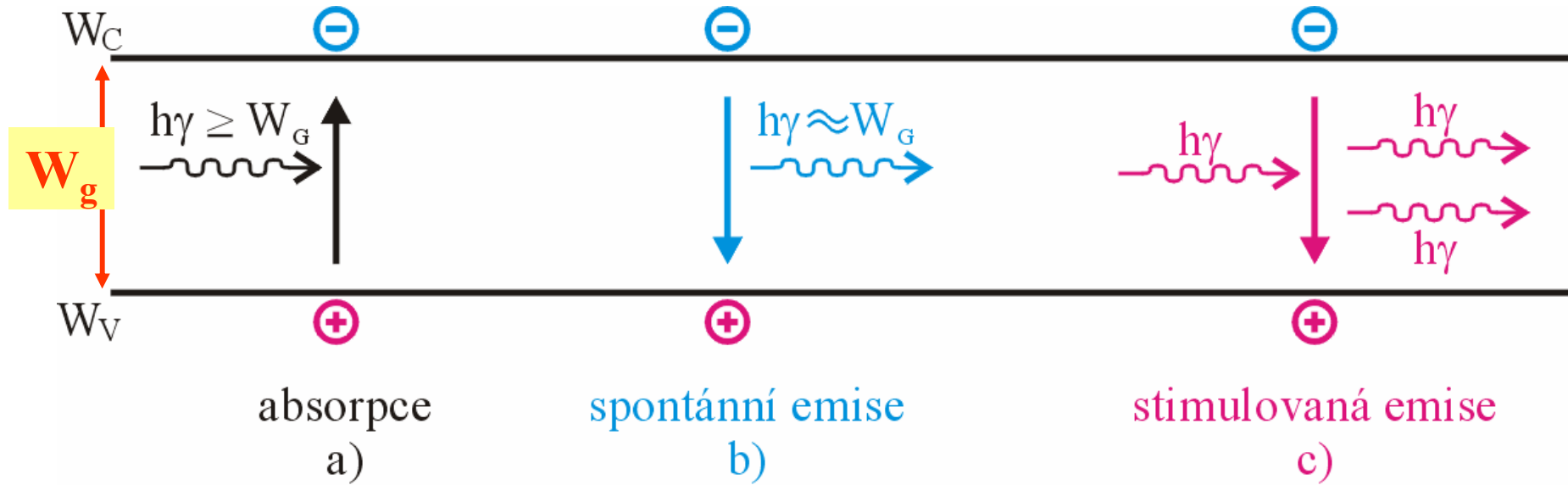
Rekombinace elektronu s dírou je stimulována přilétajícím fotonem, jehož frekvence, polarizace a fáze je shodná jako u vyzářeného fotonu.



Vznikající záření je **koherentní**.

**Aplikace: LASER** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

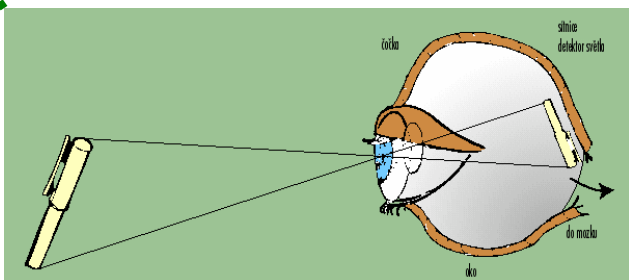
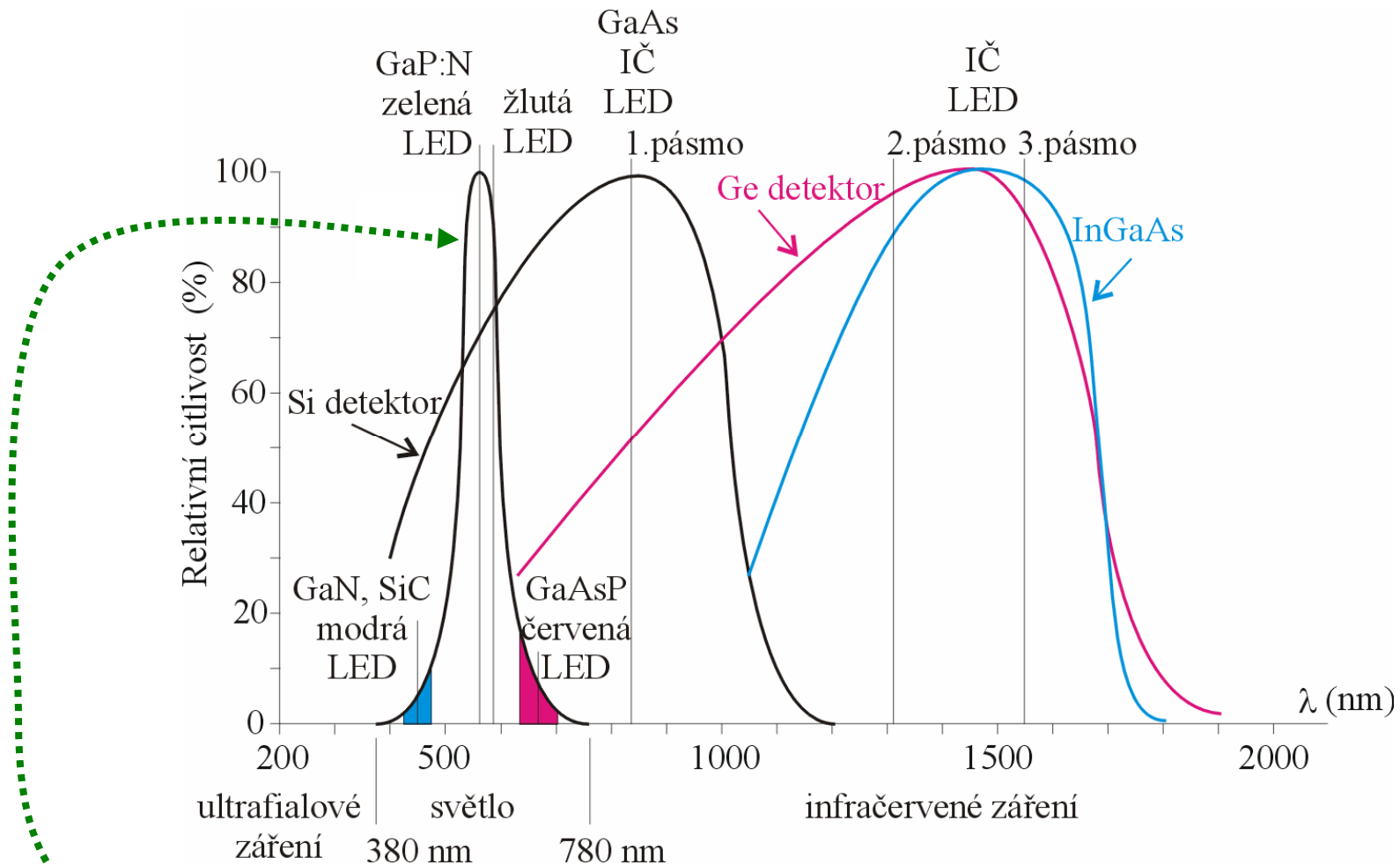
# Interakce záření a polovodiče



*Zur Quantentheorie der Strahlung, Physika Zeitschrift, Volume 18, pp. 121 – 128, 1917*

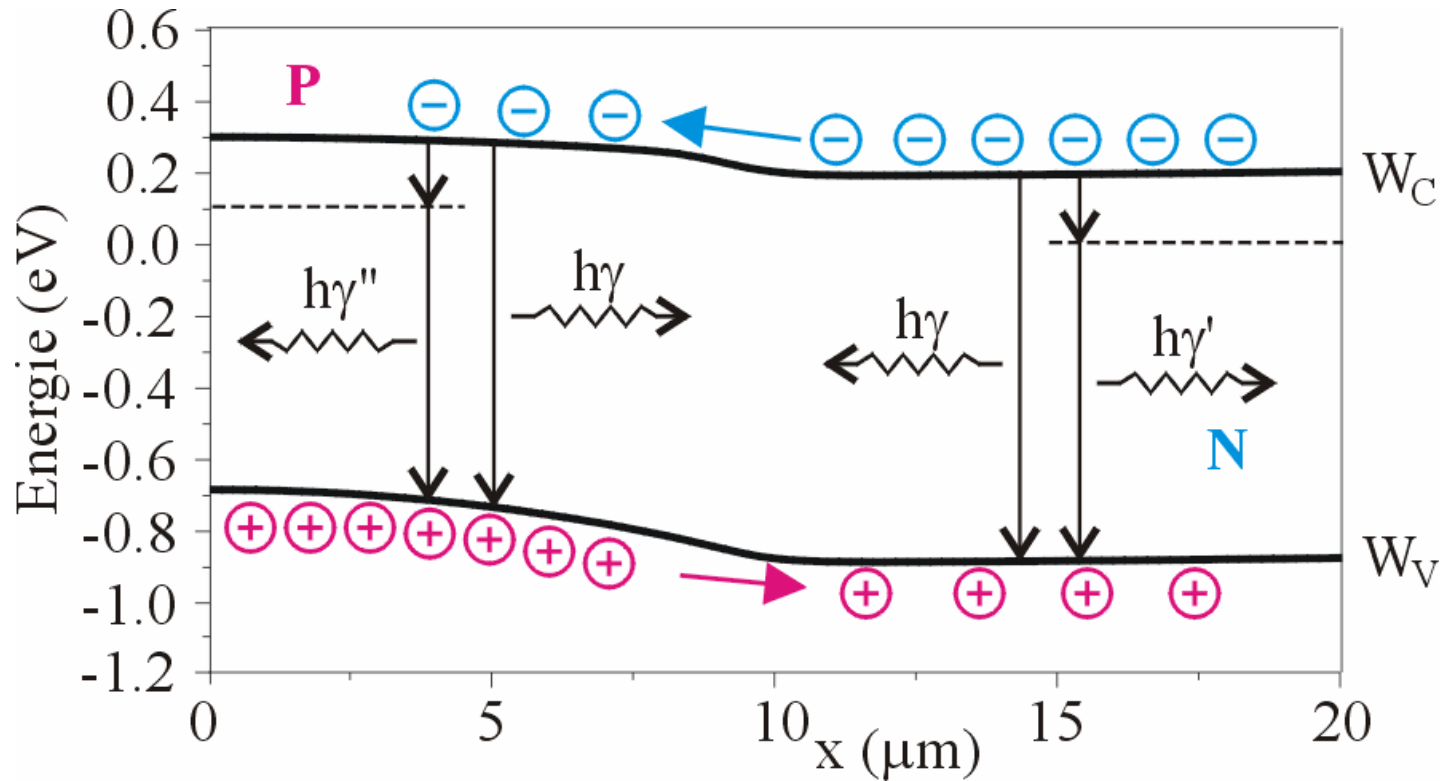
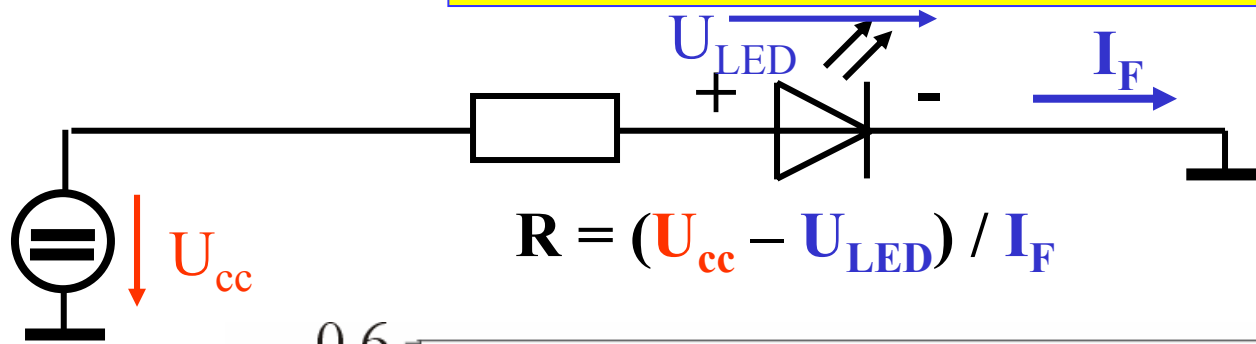
Předpověď stimulované emise  $\Rightarrow$  Počátek fyziky laserů

# Zdroje a detektory záření



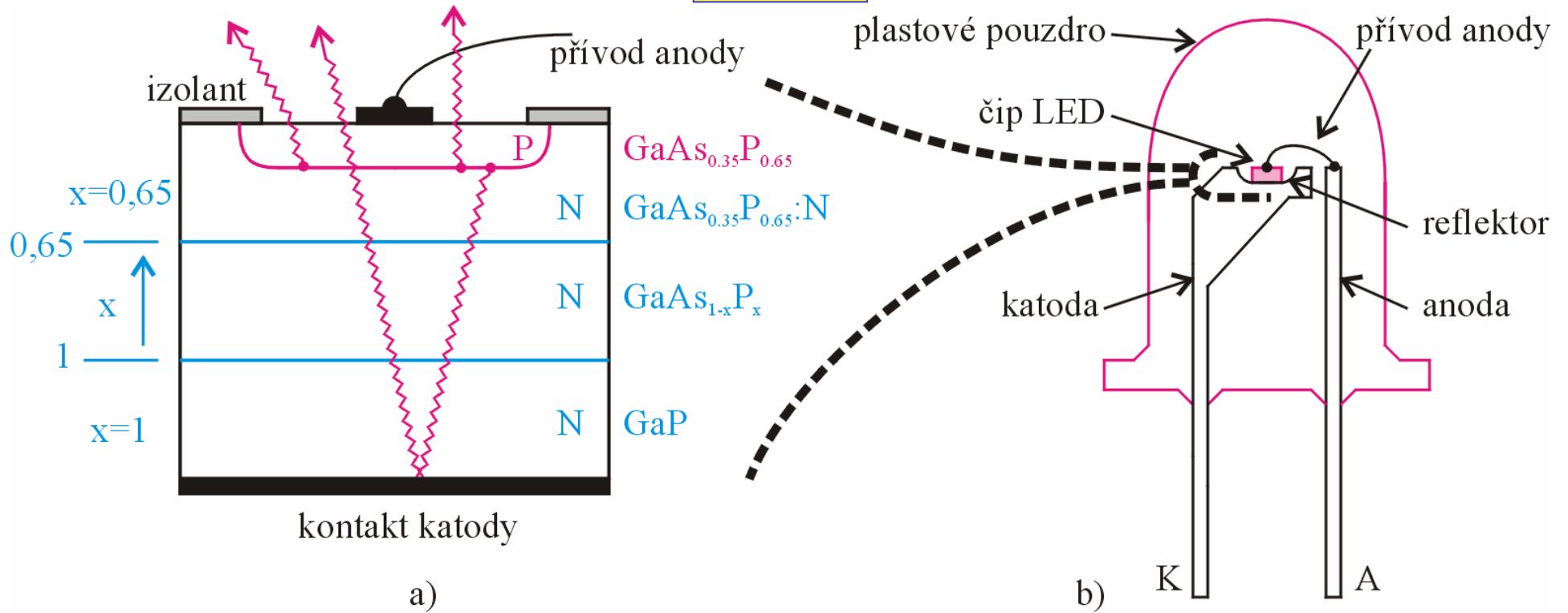
**FOTONOVÁ VAZBA**  
zdroj - detektor

# Zdroje nekoherentního záření



Injektované elektrony a díry rekombinují  $\Rightarrow$  spontánní emise.

# LED



Materiál	Barva světla/záření	Vlnová délka [nm]	Úbytek napětí @ $I_F=20\text{mA}$ [V]
SiC, GaN	Modrá	450	3,6
GaP	Zelená	565	2,2
$\text{GaAs}_{0,15}\text{P}_{0,85}:\text{N}$	Žlutá	585	2,1
$\text{GaAs}_{0,35}\text{P}_{0,65}:\text{N}$ , $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ , GaP:Zn-O	Červená	635	2,0
SiC/GaN + luminofor na povrchu čipu	Bílá	450 – 650 4500K <sup>+</sup>	3,6
GaAs:Si	Infračervené záření	820 / 900 / 950	1,5

# LED

Materiál	Barva světla/záření	Vlnová délka [nm]	Úbytek napětí @ $I_F=20\text{mA}$ [V]
SiC, GaN	Modrá	450	3,6
GaP	Zelená	565	2,2
$\text{GaAs}_{0,15}\text{P}_{0,85}\text{:N}$	Žlutá	585	2,1
$\text{GaAs}_{0,35}\text{P}_{0,65}\text{:N}$ , $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ , GaP:Zn-O	Červená	635	2,0
SiC/GaN + luminofor na povrchu čipu	Bílá	450 – 650 4500K*	3,6
GaAs:Si	Infračervené záření	820 / 900 / 950	1,5

## Příklad: zelená LED

$I_{\text{outm}} = 5 \text{ mA} @ 5\text{V}$ ,  $h_{21E}=100$ ,  $R_C=?$ ,  $R_B=?$

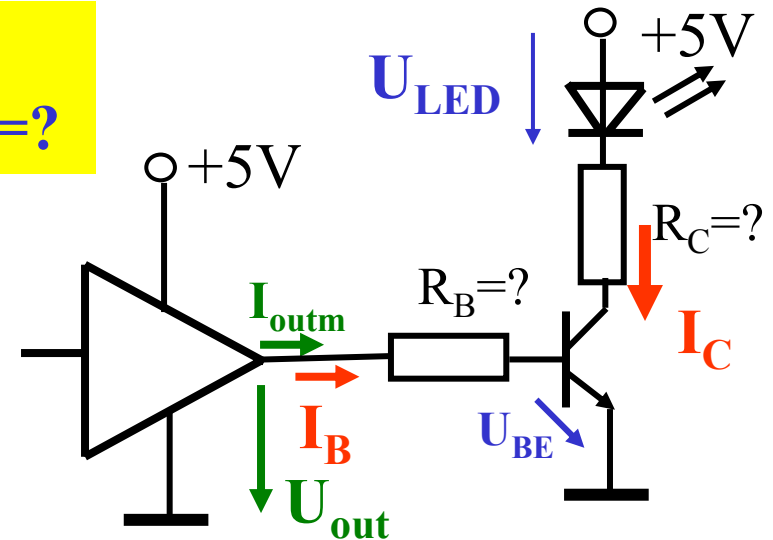
$$R_C = (U_{CC} - U_{CE\text{sat}} - U_{LED}) / I_{LED} = (5 - 0,2 - 2,2) / 0,02 = 130 \Omega$$

*katalog*

$$I_C = I_{LED} = 20 \text{ mA}$$

$$R_B = (U_{\text{out}} - U_{BE}) / I_B = (U_{\text{out}} - U_{BE}) \cdot h_{21E} / I_C = (5 - 0,7) \cdot 100 / 0,02 = 21,5 \text{ k}\Omega$$

volíme 22 k



# Elektronika - Elektronika a fotonika – magisterské studium na FEL

1. semestr	Matematika pro elektroniku	Struktury číslicových systémů	Struktury integrovaných obvodů	Elektronika polovodičů	Ekonomika Právo volitelně
2. semestr	Syntéza integrovaných el. systémů	Analogové diskrétní soustavy	TCAD	Výkonové polovodičové součástky	Projekt v týmu Humanitní volitelně
3. semestr	Návrh vlf a mikrovln. obvodů	Součástky integrované a vláknové optiky	Povinně volitelný předmět	Projekt individuální	Humanitní volitelně
4. semestr	Nano technologie	Volitelný předmět	Diplomová práce	Diplomová práce	Ekonomika & management

Elektronika od DC přes RF do OPTO.

Garant: J. Vobecký



# LASER

## Podmínky činnosti:

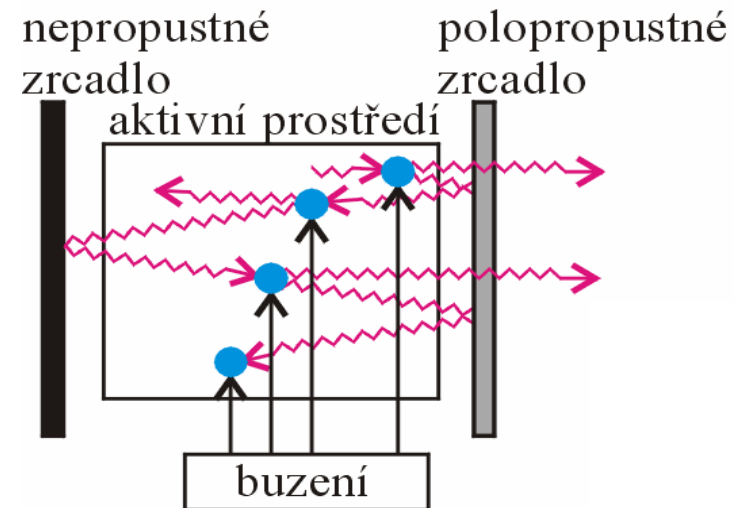
1. Existence aktivního prostředí, kde nastává stimulovaná emise.

2. Existence kladné zpětné vazby.

3. Zajištění inverzního obsazení hladin.

Normální obsazení:

$$\frac{n_2}{n_1} \approx \exp \frac{-(W_2 - W_1)}{k \cdot T}$$



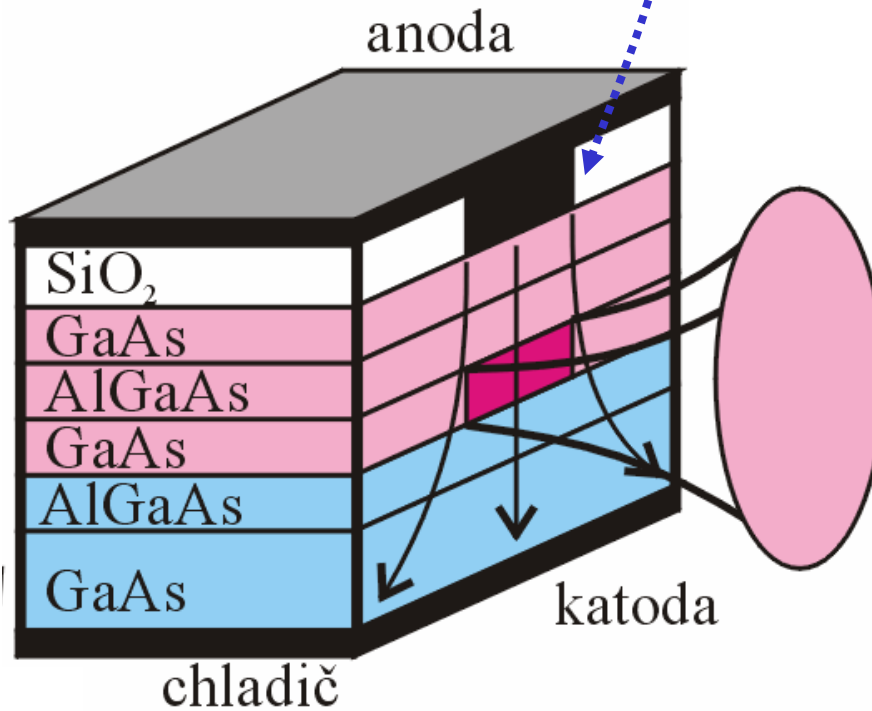
Inverzní obsazení ( $n_2 > n_1$ )



⇒ stim. emise převáží nad absorpcí

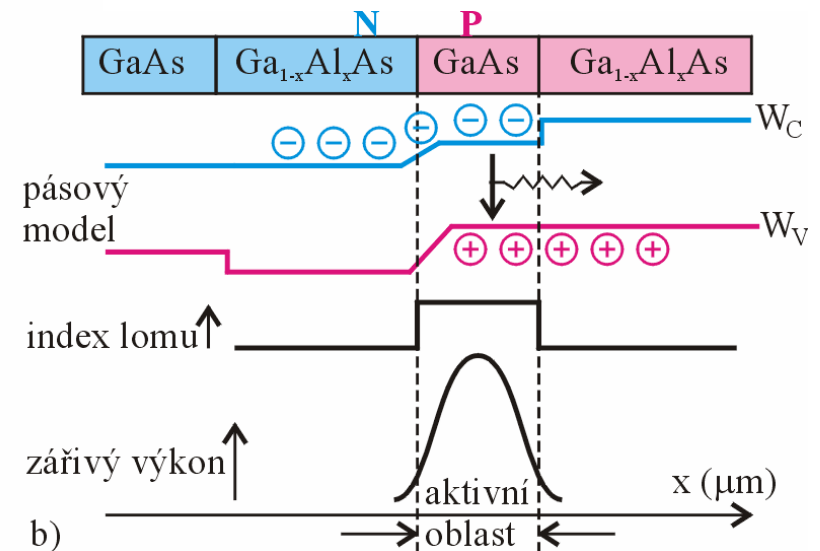
# Polovodičový LASER- Metody zvýšení účinnosti

## 1. Mikropáskový kontakt



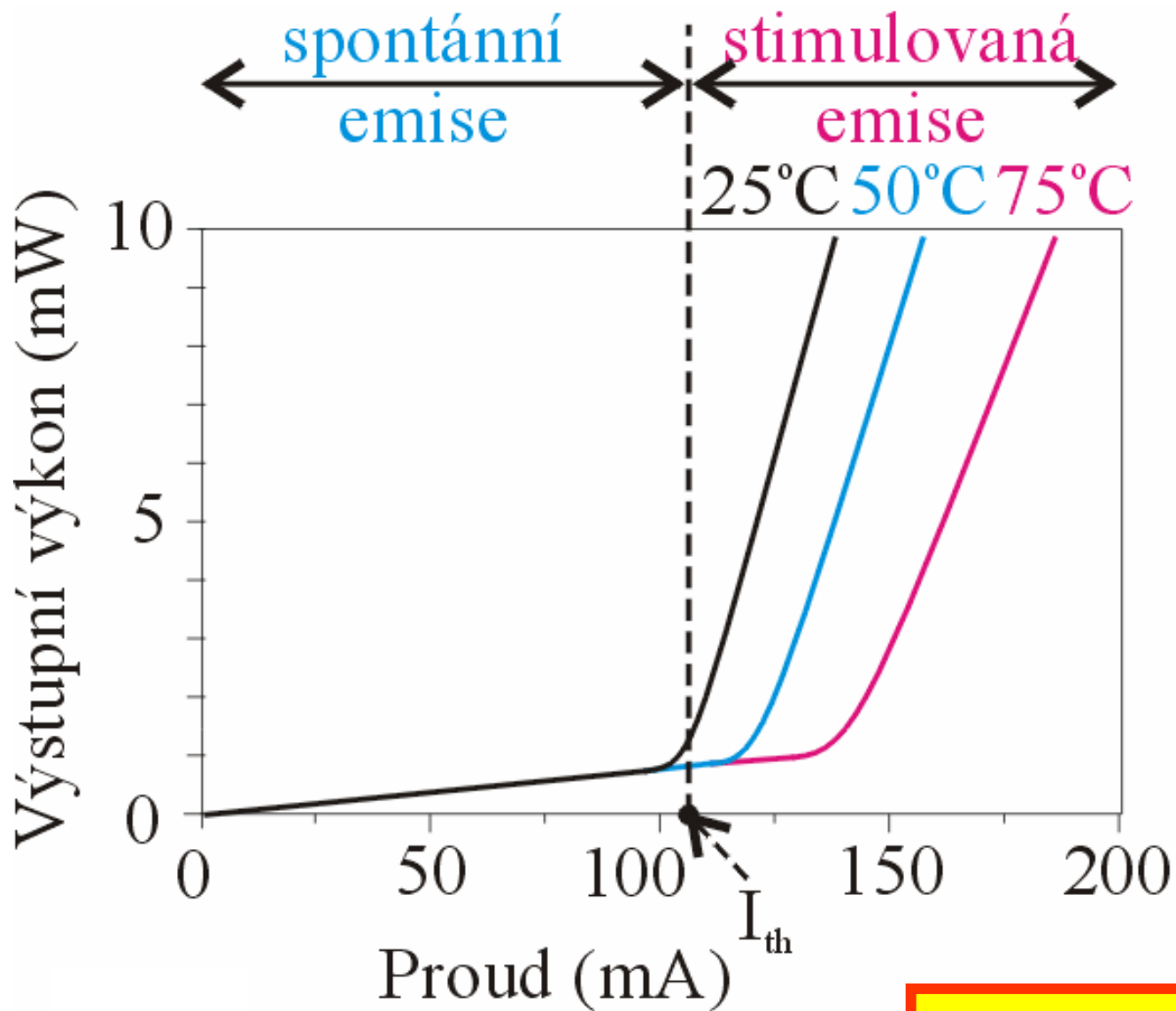
b)

## 2. Dvojitá heterostruktura



# Polovodičový LASER

Watt-ampérová charakteristika



propustný směr !!!

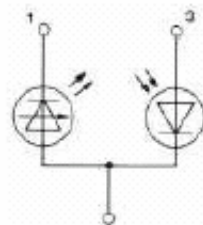
# Infrared Laserdiode

Structure: **AlGaAs double heterostructure**  
 Lasing wavelength: **850 nm typ.**  
 Max. optical power: **5 mW**  
 Package: **5.6 mm**

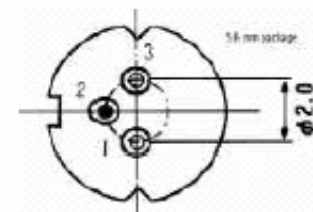
**NOTE!**  
**LASERDIODE**  
**MUST BE COOLED!**

**ATTENTION**  
 OBSERVE PRECAUTIONS  
 FOR HANDLING  
 ELECTROSTATIC SENSITIVE DEVICE

## PIN CONNECTION:



- 1) Laserdiode cathode
- 2) Laserdiode anode and photodiode cathode
- 3) Photodiode anode



## Maximum Ratings (Tc=25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Optical Output Power	$P_o$	5	mW
LD Reverse Voltage	$V_{R(LD)}$	2	V
PD Reverse Voltage	$V_{R(PD)}$	30	V
Operating Temperature	$T_{op}$		
Storage Temperature	$T_{sto}$		

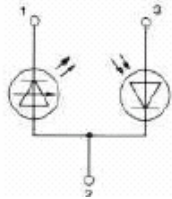
**Průrazné napětí je minimální!**

## Optical-Electrical Characteristics (Tc = 25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNIT
Threshold Current	$I_{th}$	cw	5	10	15	mA
Operation Current	$I_{op}$	$P_o = 5 \text{ mW}$	15	20	25	mA
Operation Voltage	$V_{op}$	$P_o = 5 \text{ mW}$	1.8	1.9	2.0	V
Lasing Wavelength	$\lambda_p$	$P_o = 5 \text{ mW}$	845	850	855	nm
Beam Divergence	$\theta_{//}$	$P_o = 5 \text{ mW}$	8	10	11	°
Beam Divergence	$\theta_{\perp}$	$P_o = 5 \text{ mW}$	25	30	40	°
Differential Efficiency	$\eta$	$P_o = 5 \text{ mW}$	400	500	550	$\mu\text{W}/\text{mA}$
Monitor Current	$I_m$	$P_o = 5 \text{ mW}, V_f = 5\text{V}$	0.3	0.5	1.0	mA

Structure: **AlGaAs double heterostructure**  
 Lasing wavelength: **850 nm typ.**  
 Max. optical power: **5 mW**  
 Package: **5.6 mm**

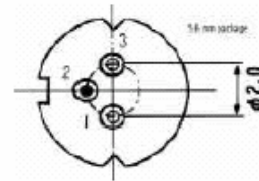
**PIN CONNECTION:**



- 1) Laserdiode cathode
- 2) Laserdiode anode and photodiode cathode
- 3) Photodiode anode

**NOTE!**  
**LASERDIODE**  
**MUST BE COOLED!**

**ATTENTION**  
 OBSERVE PRECAUTIONS  
 FOR HANDLING  
 ELECTROSTATIC SENSITIVE DEVICE



C2, L1: Blokuje ss složku  
 R5: Impedanční přizpůsobení  
 R4: Nastavení  $P_{avg}$  laseru

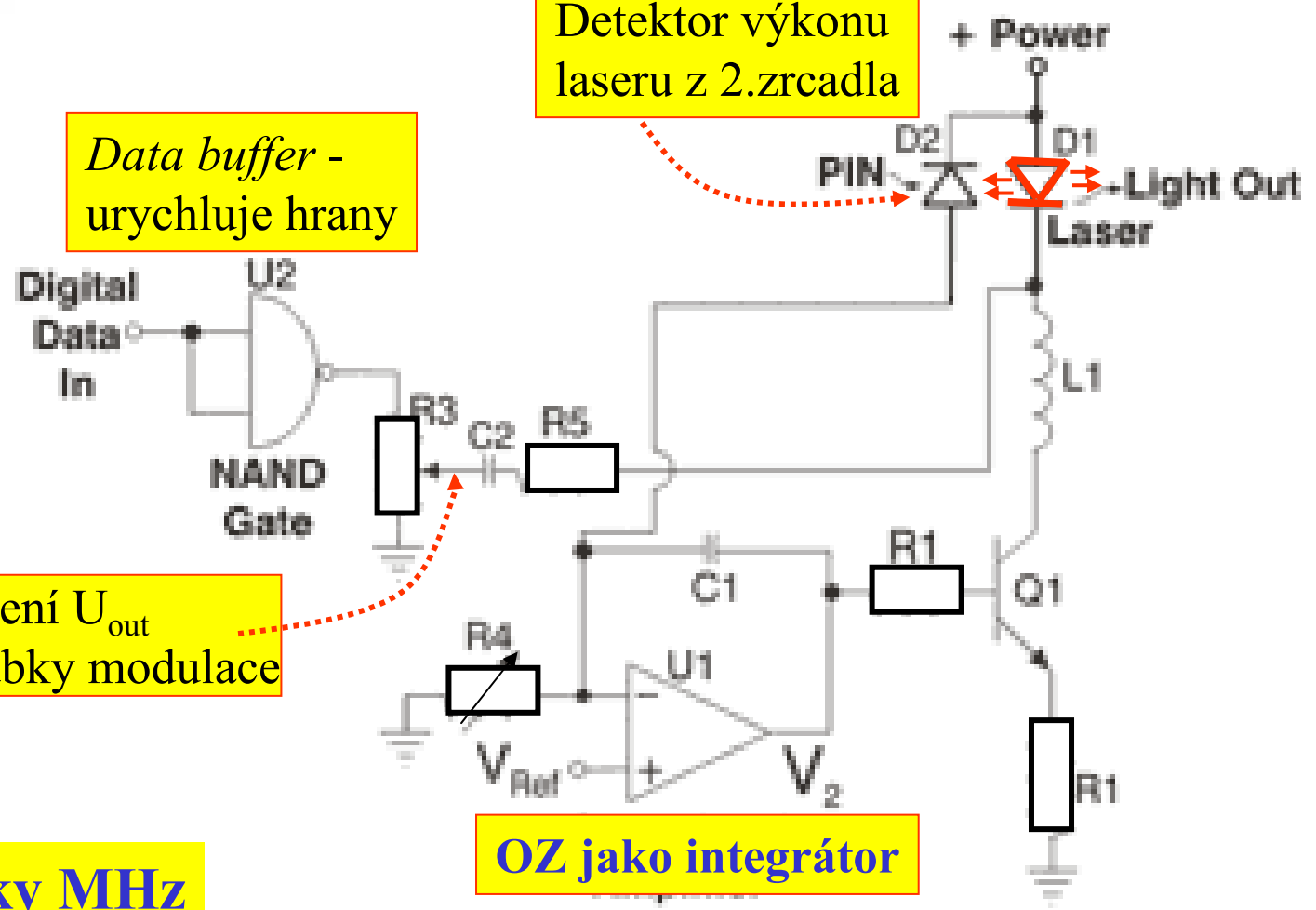
Detektor výkonu laseru z 2.zrcadla

Data buffer -  
 urychluje hrany

nastavení  $U_{out}$   
 = hloubky modulace

OZ jako integrátor

**Přenos dat  $\approx$  stovky MHz**

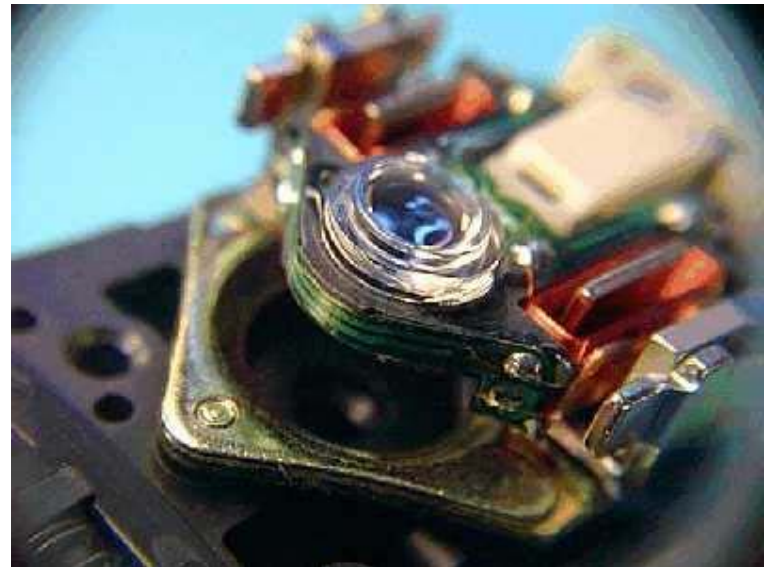


# Aplikace

**Datové přenosy**



**Paměťová média (CD)**

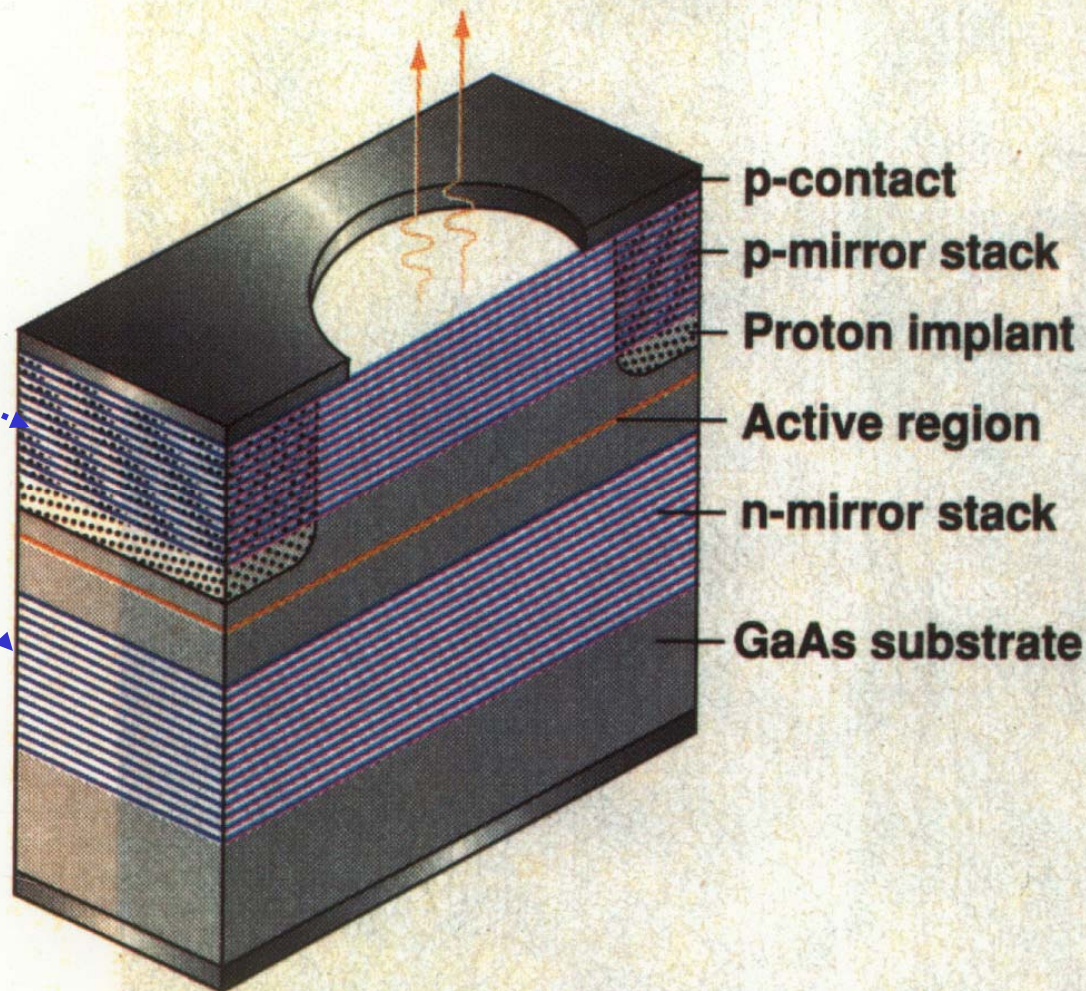


# Polovodičový LASER

Distributed  
Bragg  
Reflector

- Libovolný tvar a plocha
- Možnost 2-D integrace
- Nízký prahový proud
- Snadné pouzdření
- Malá divergence svazku

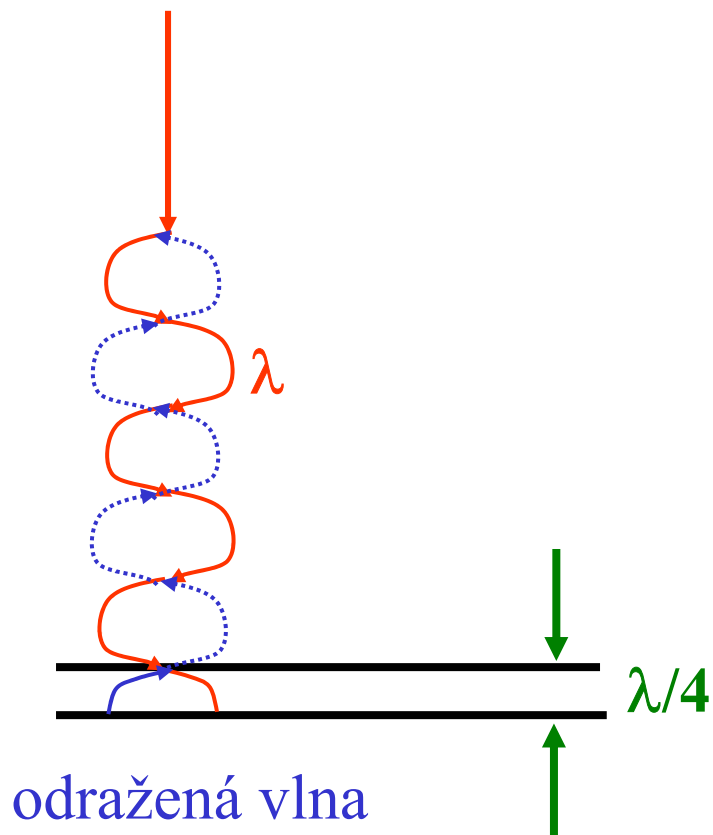
## Vertical Cavity Surface Emitting Laser



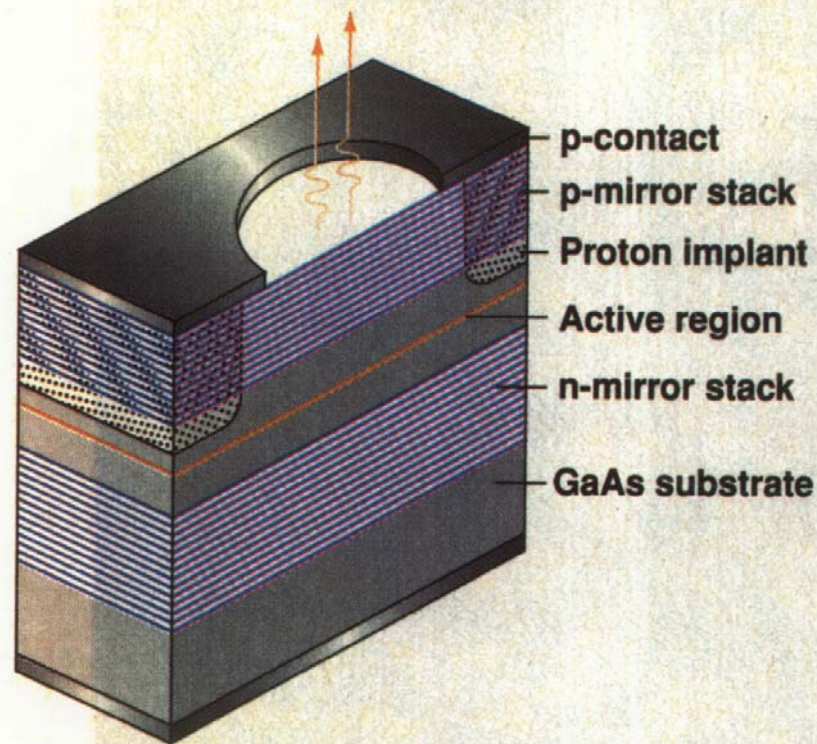
1. VCSELs may require  $\sim 50$  epitaxial layers for the semitransparent mirrors that form the vertical optical cavity. (Source: Honeywell)

# Distributed Bragg Reflector

dopadající vlna



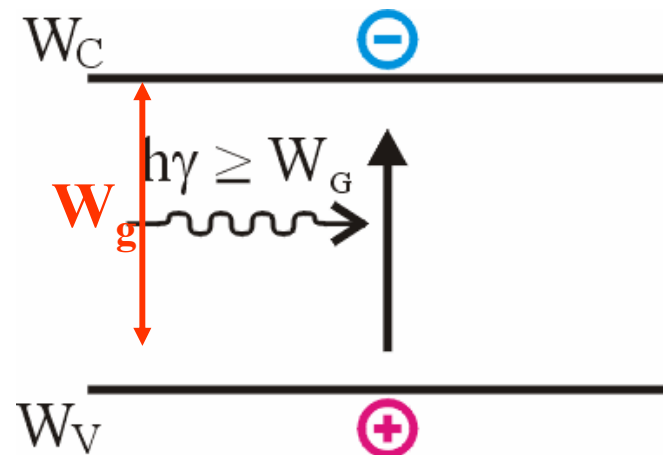
# Vertical Cavity Surface Emitting Laser



vlna s vlnovou délkou  $\lambda/4$   
rovnou tloušťce vrstvy  
se odrazí v protifázi

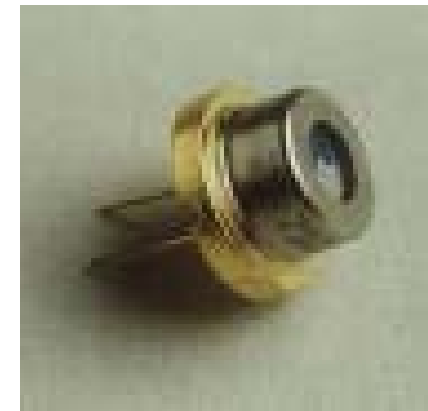


# Detektory záření - fotodioda

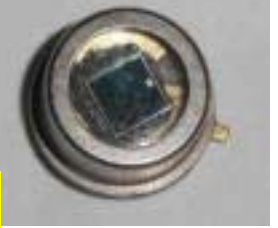


absorpce

a)



# Detektory záření - fotodioda



Záření o energii  $h \cdot \nu > W_g$  je absorbováno v OPN

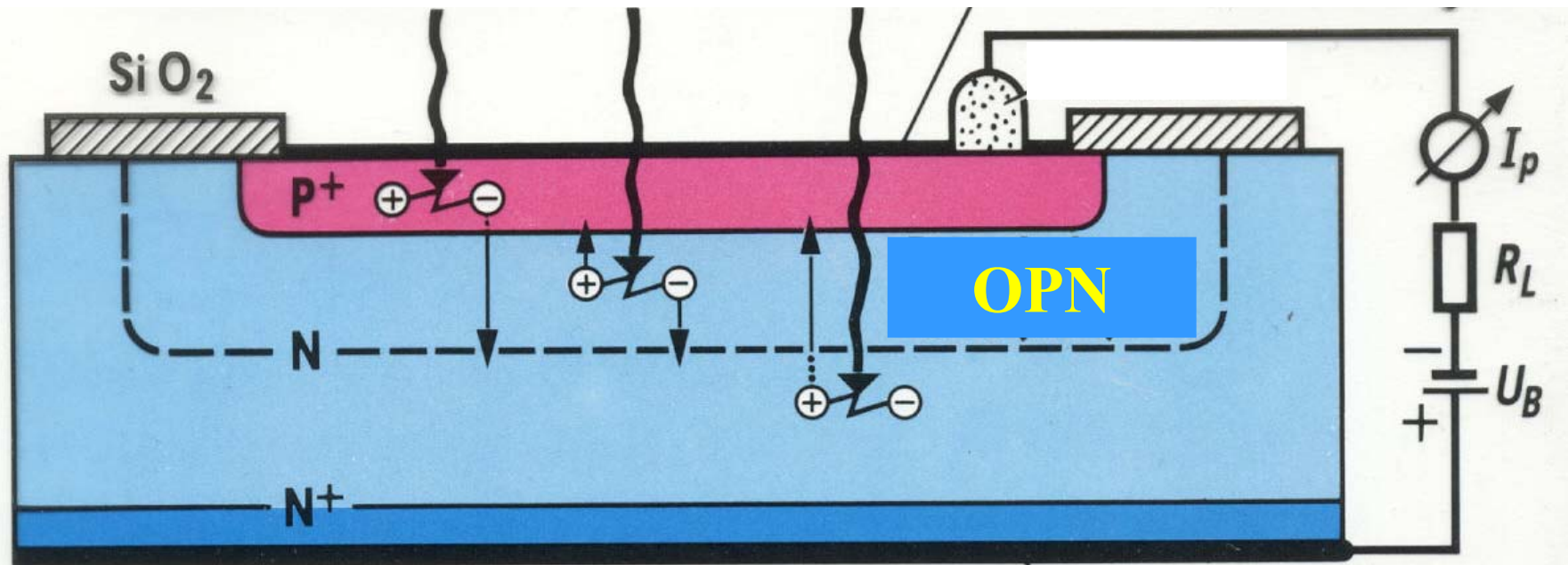


OPN svým elektrickým polem separuje elektrony a díry

⇒ VZNIKÁ FOTOPROUD

závěrný směr

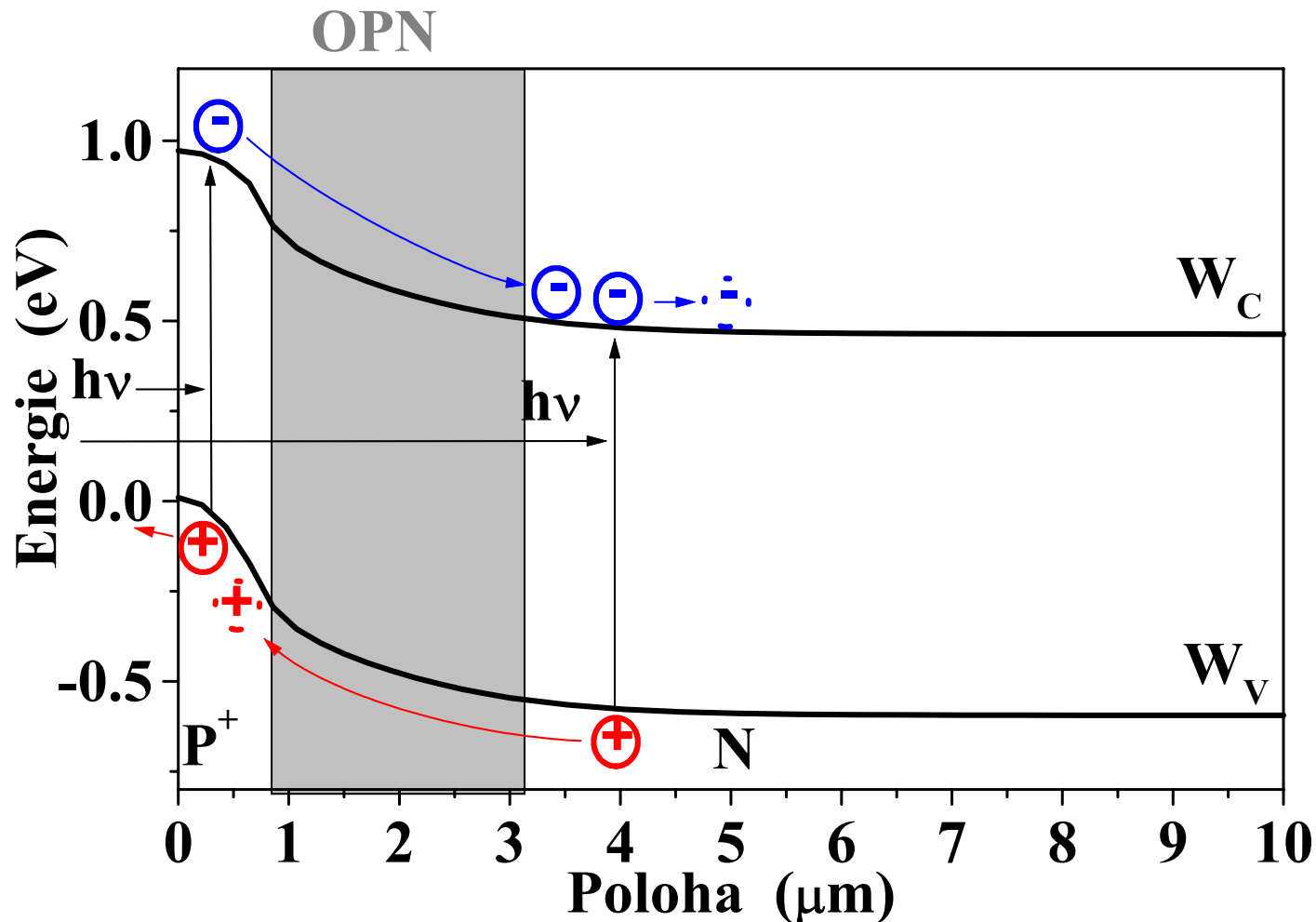
foton foton foton



# Detektory záření - fotodioda

Záření absorbováno v OPN s velkou intenzitou elektrického pole.

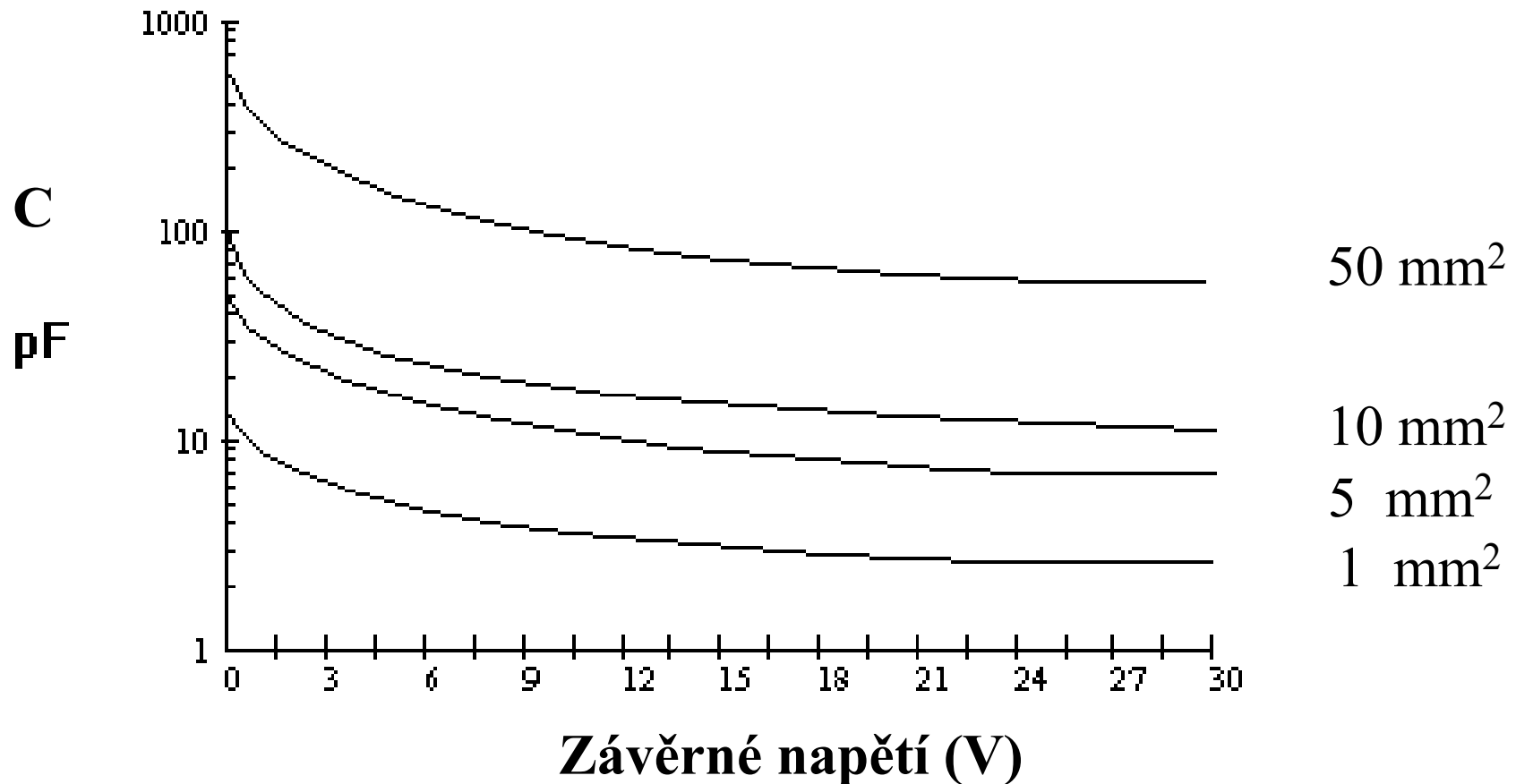
OPN je široká  $\Rightarrow$  parazitní kapacita je malá  $\Rightarrow$  odezva je rychlá



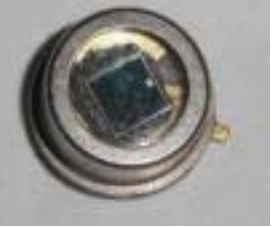
# Fotodioda

OPN je široká  $\Rightarrow$  parazitní kapacita je malá  $\Rightarrow$  odezva je rychlá

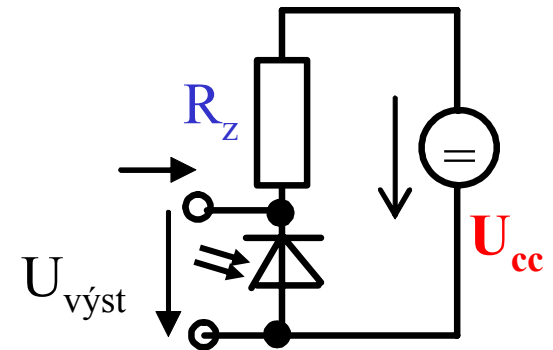
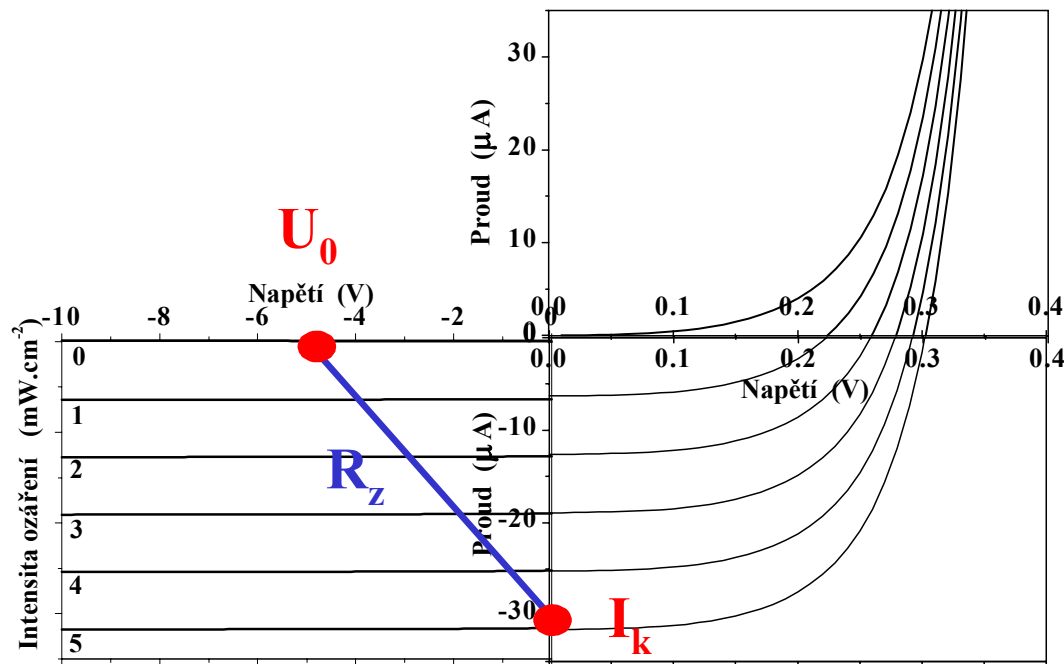
Parazitní kapacita klesá s rostoucím  $U_R \Rightarrow$  rychlost odezvy roste



# Fotodioda - fotovodivostní režim



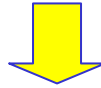
Se změnou intenzity dopadajícího záření se mění napětí  $U_{\text{výst}}$  na fotodiodě.



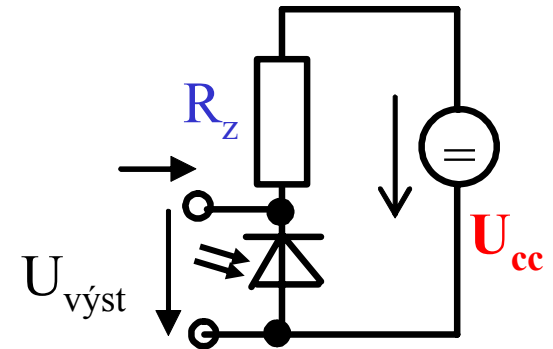
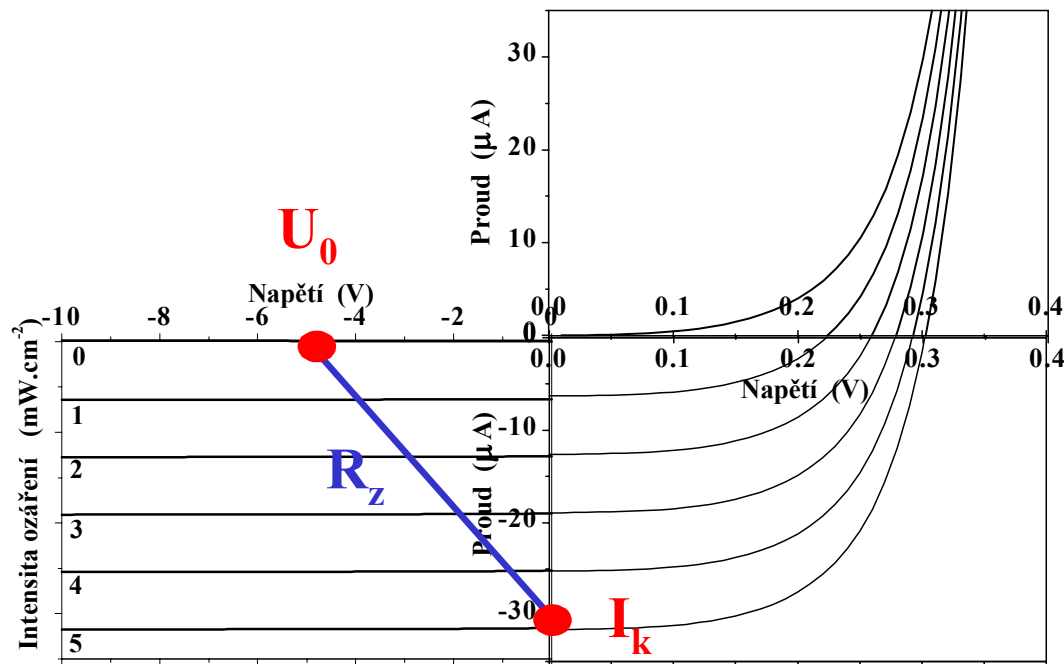
# Fotodioda - fotovodivostní režim



Fotodioda zapojena jako spotřebič  $\Rightarrow$  zdroj napětí +  $R_z$

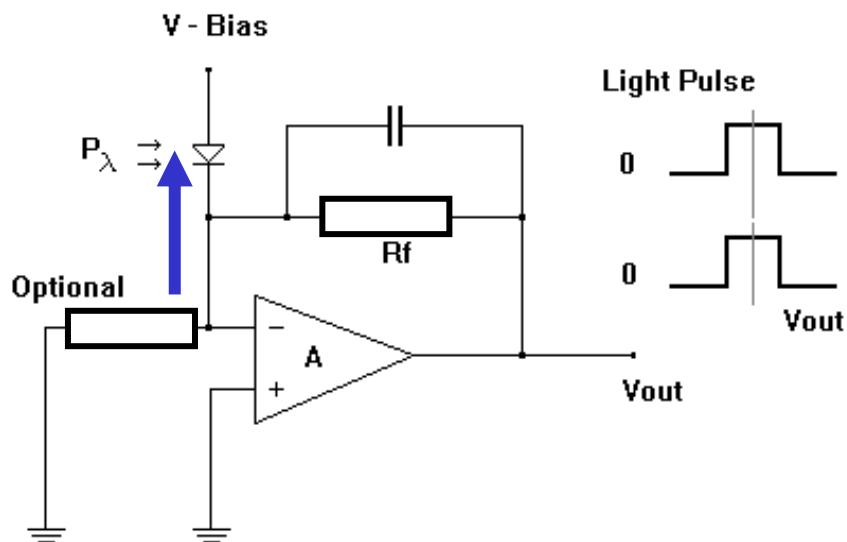


Zdroj napětí  $\Rightarrow$  existuje proud za tmy  $\Rightarrow$  menší citlivost

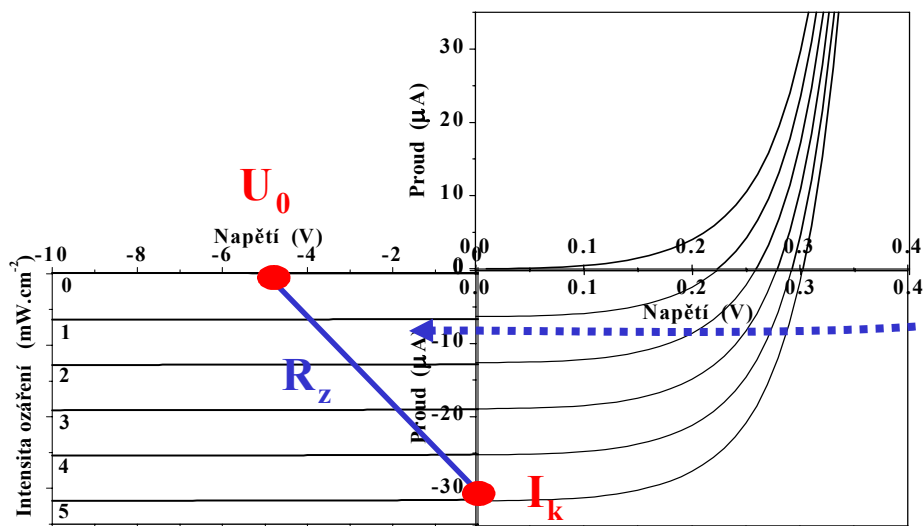
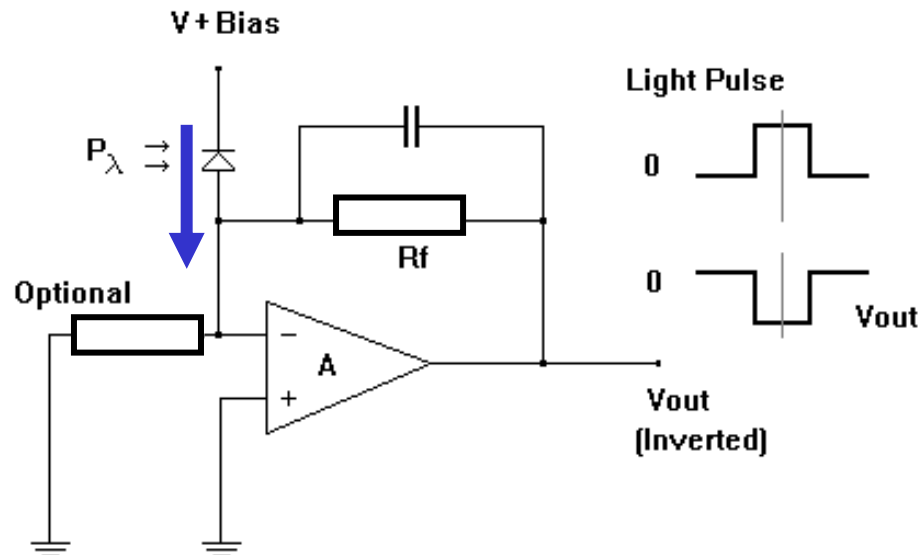


# Fotovodivostní režim - zapojení

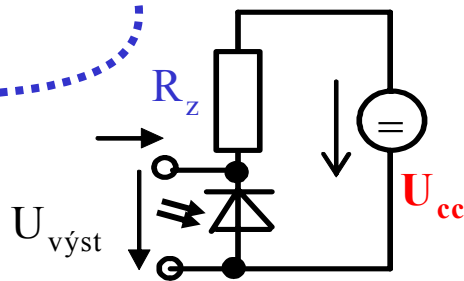
Negative Bias Circuit



Positive Bias Circuit



**Fotodioda se chová jako zdroj proudu závislý na osvětlení**

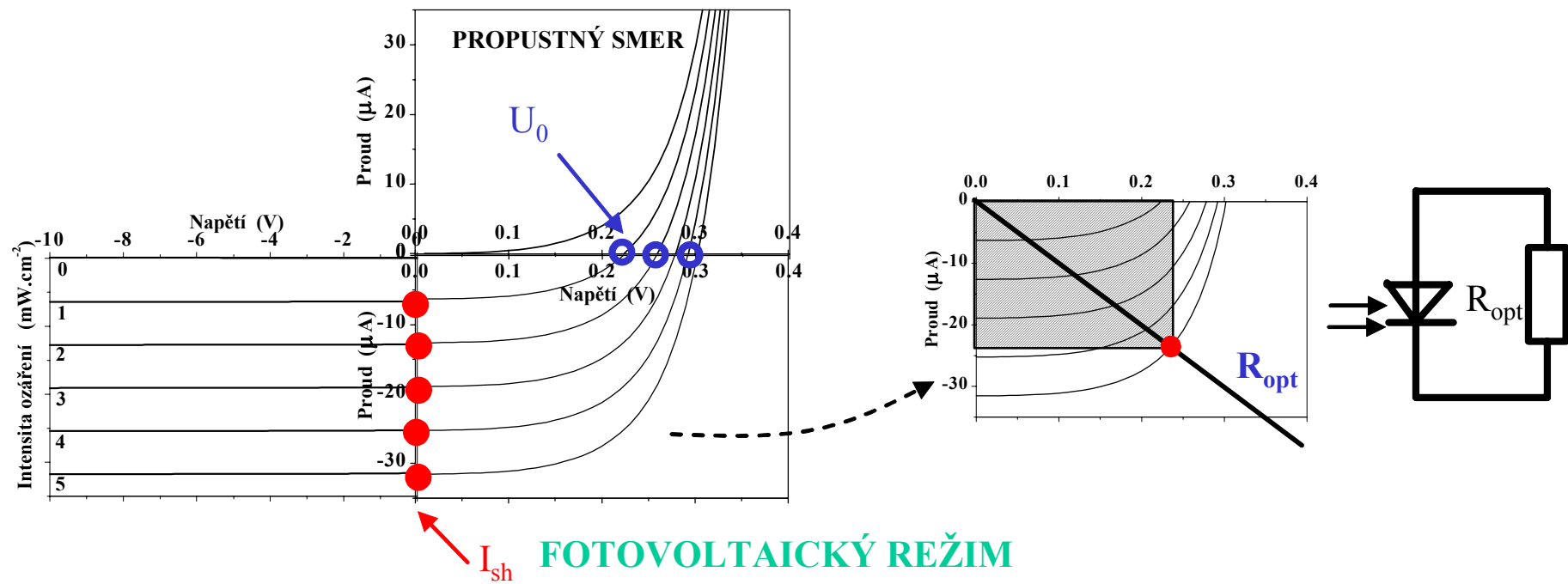


# Fotovoltaický režim – 4.kvadrant

1. Fotodioda se chová jako zdroj  $\Rightarrow$  sluneční články.

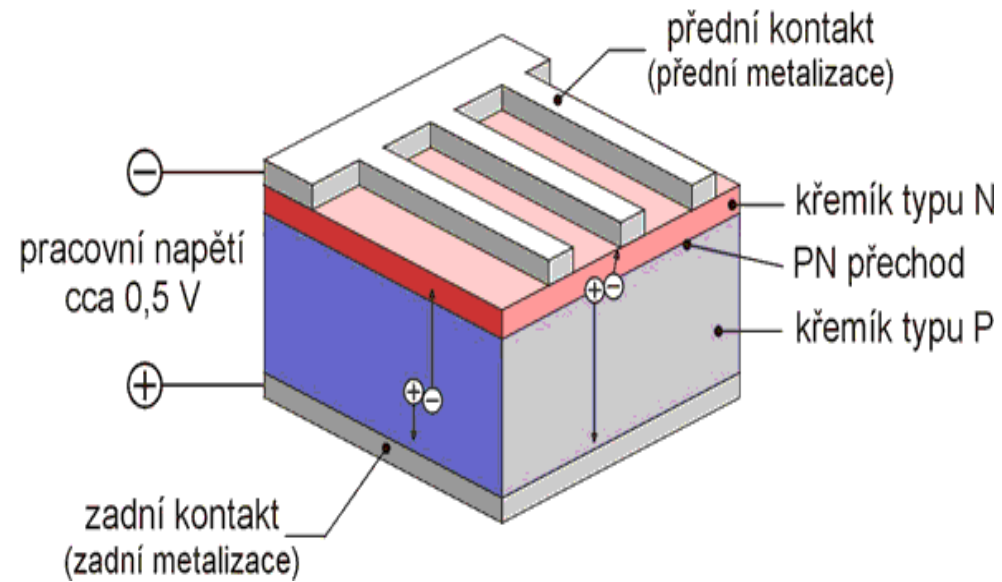


2. V obvodu není zapojen žádný zdroj  
 $\Rightarrow$  za tmy neteče proud!  
 $\Rightarrow$  vhodné pro měření nízkých intenzit záření.



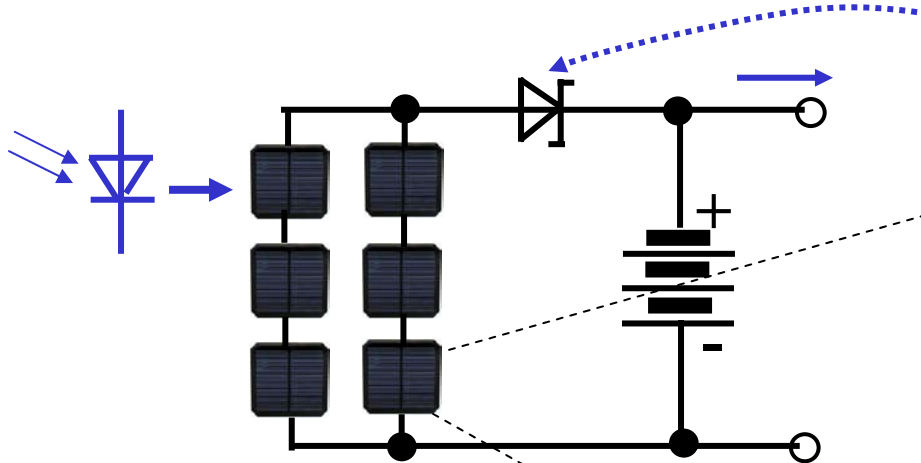
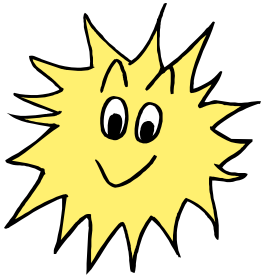


# Schéma slunečního článku

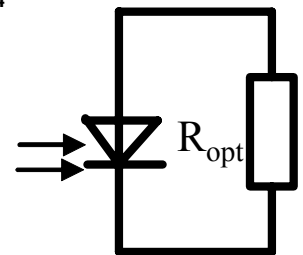
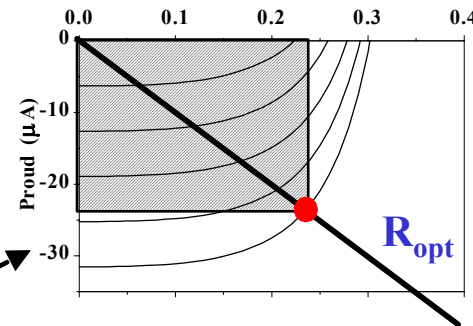
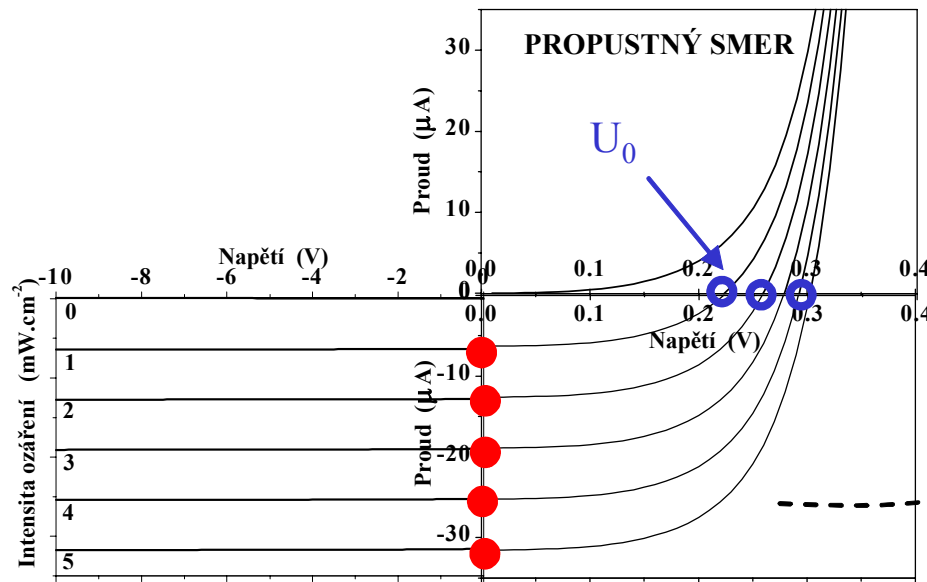




# Fotovoltaický režim – sluneční článek

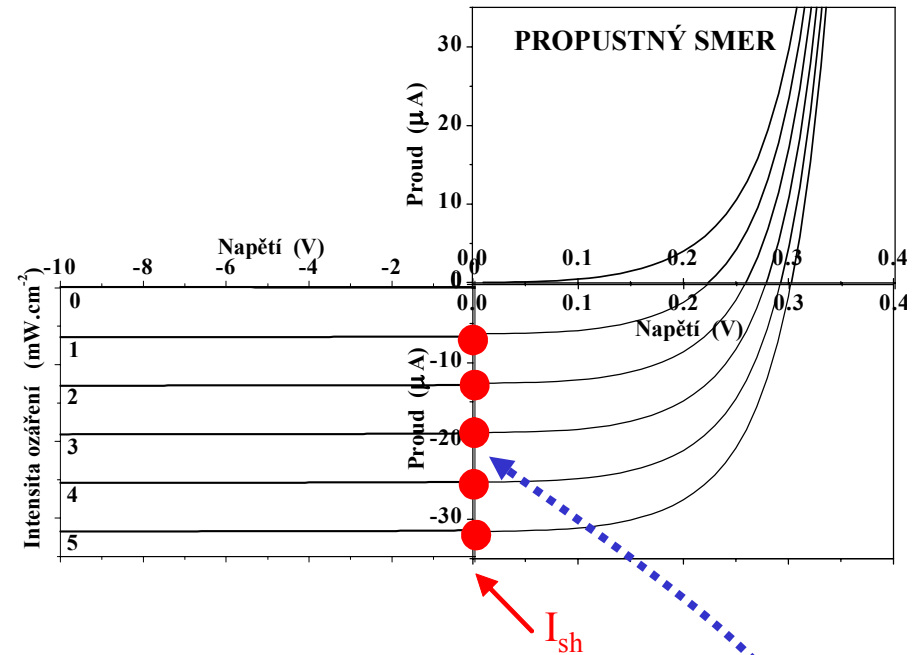
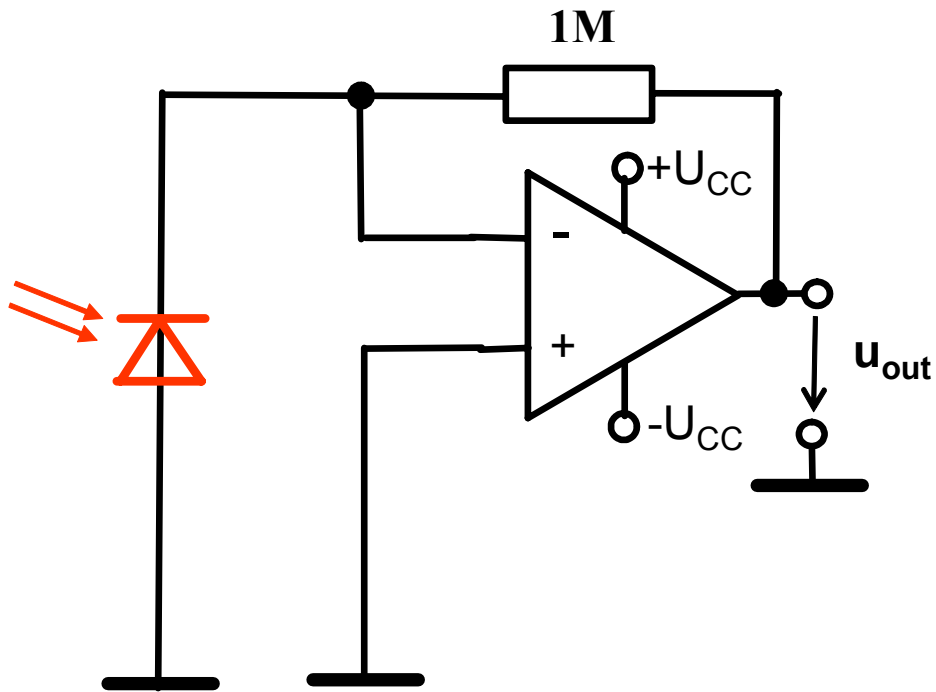


dioda brání vybíjení baterie



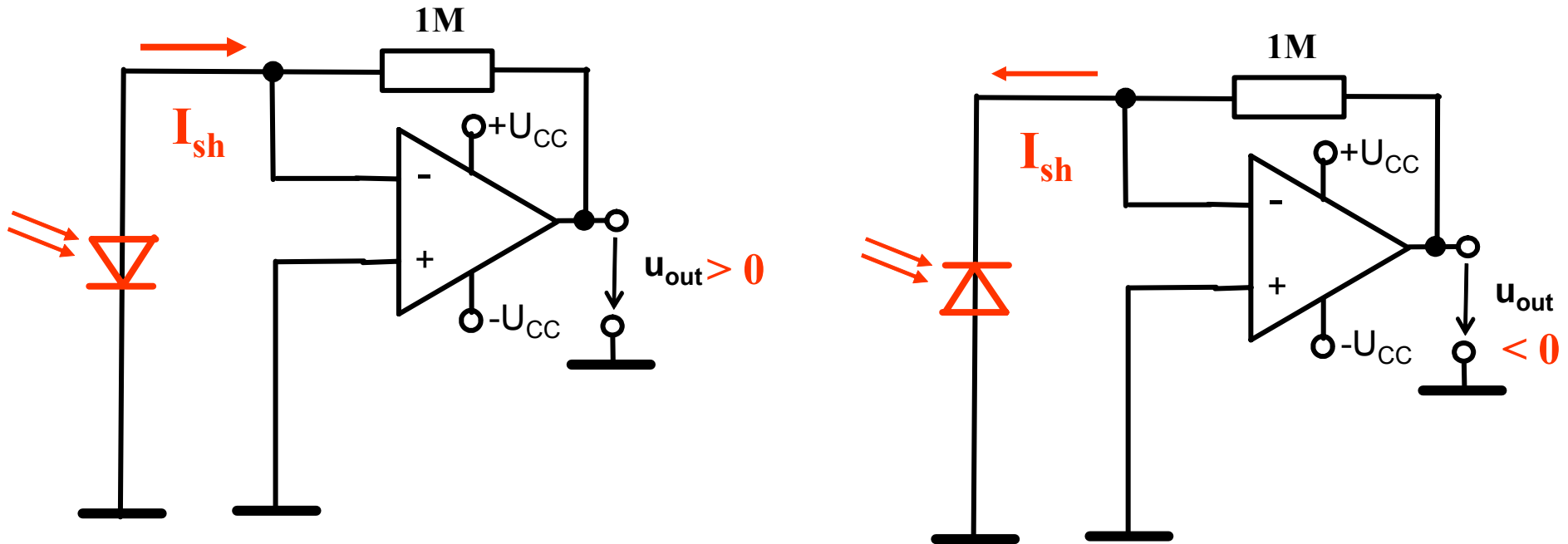
FOTOVOLTAICKÝ REŽIM

# Fotovoltaický režim - transimpedanční zapojení



Mezi vstupy operačního zesilovače je nulové napětí  
⇒ dioda pracuje do zkratu ( $I_{sh}$ )  
⇒ **lineární** závislost  $u_{out} = f(\text{fotoproud})$

# Fotovoltaický režim - transimpedanční zapojení



Fotodioda se chová jako zdroj proudu  $I_{sh}$ .

OZ (zapojen jako převodník proud-napětí) konverguje  $I_{sh}$  na napětí  $U_{out}$   
 $\Rightarrow$  Transimpedanční zapojení

Na výstupu je napětí  $U_{out} = 1V$  na  $1 \mu A$  ftoproudu  $I_{sh}$ .

# Fotovodivostní vs. fotovoltaický režim

## Fotovodivostní režim:

použijeme, pokud  
je prioritou maximální rychlost

## Fotovoltaický režim:

použijeme, pokud  
je prioritou nízký šum  
nebo energetická účinnost