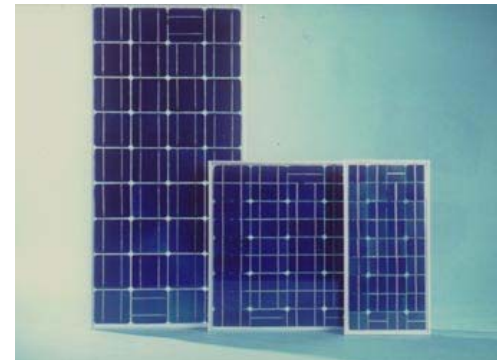
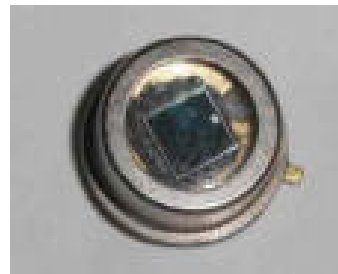
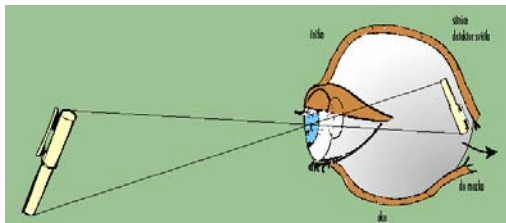


Optoelektronika



Zdroje



Detektory



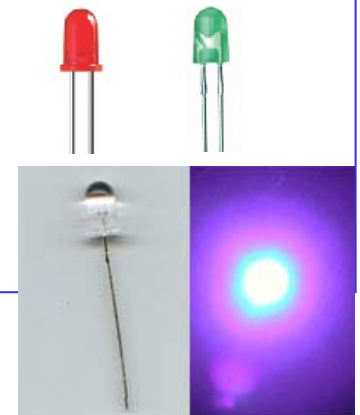
Systemy

Optoelektronika

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

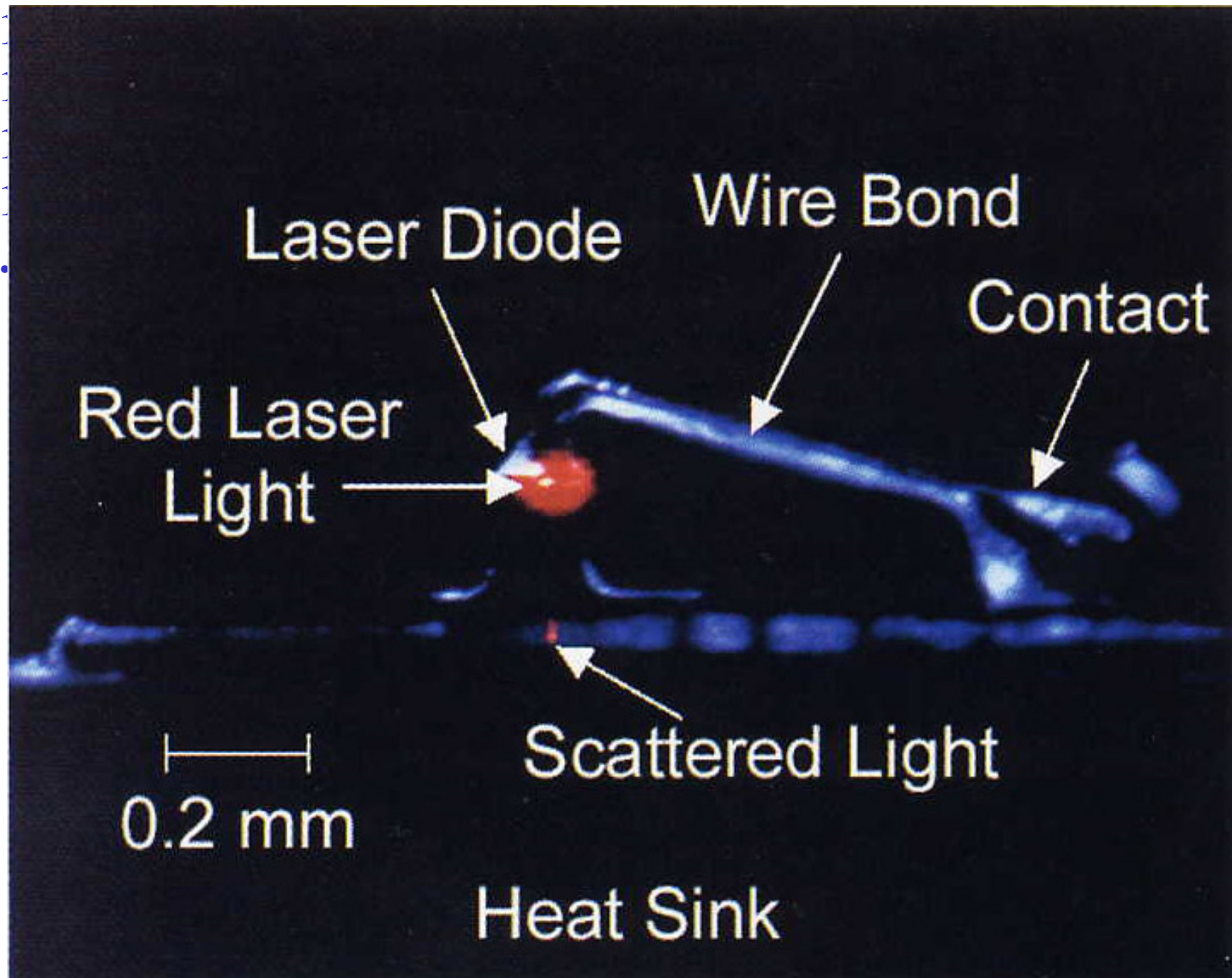
1839 E. Becquerel	- Fotovoltaický jev
1873 W. Smith	- Fotovodivost selenu
1954 Chapin, Fuller, Pearson	- Solární článek s pn přechodem
1962 Pankove, Berkeyheiser	- GaAs LED
1962 R. N. Hall, Nathan,	- GaAs LASER
1962 N. Holonyak...	- GaAsP červený LASER
1963 H. Kroemer, Alferov	- návrh LASERu s heteropřechodem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

.....



1962 N. Holonyak...

- GaAsP červený laser



Záření

- elektromagnetické vlny s vlnovou délkou λ
- 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 ($h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$)

c - Rychlost světla ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

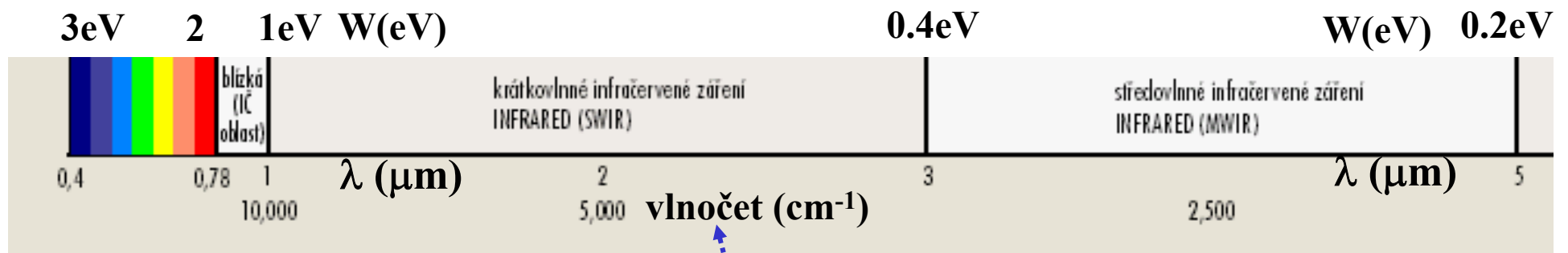
e - Náboj elektronu ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Záření

Planckův zákon

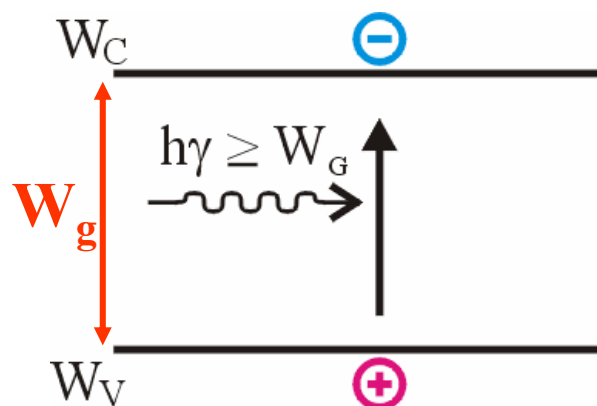
$$W = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e}$$

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



počet vln na 1 cm

Interakce záření a polovodiče



absorpce
a)

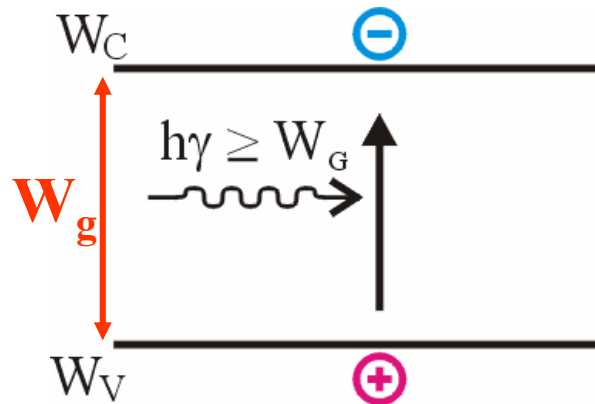
$W > W_g \Rightarrow$ ABSORPCE (fotoelektrický jev)

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

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

Aplikace: FOTODETEKTORY

Interakce záření a polovodiče



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

absorpce
a)

λ

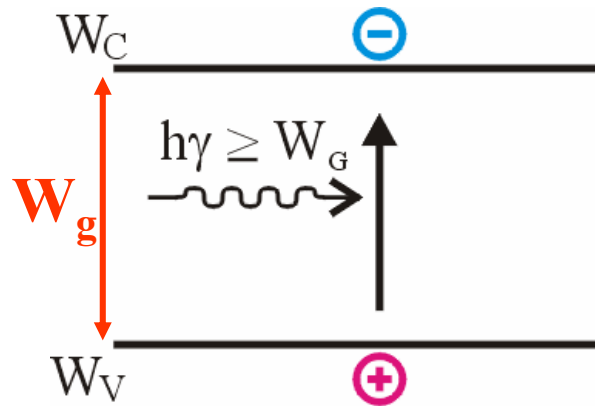
$$\leq \frac{1,24}{W_g} [\mu m; eV]$$

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



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

absorpce
a)

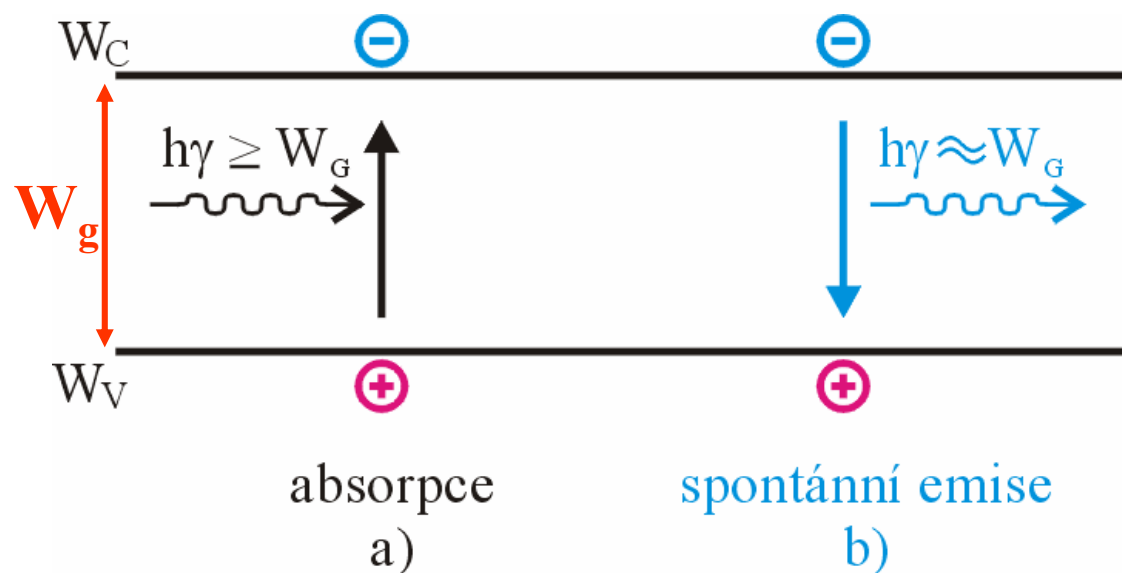
Absorpční hrana ($T=300$ K) :

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

Pro delší vlnovou délku je polovodič průhledný (neabsorbuje).

Pro danou vlnovou délku musíme vybírat detektor podle materiálu!

Interakce záření a polovodiče



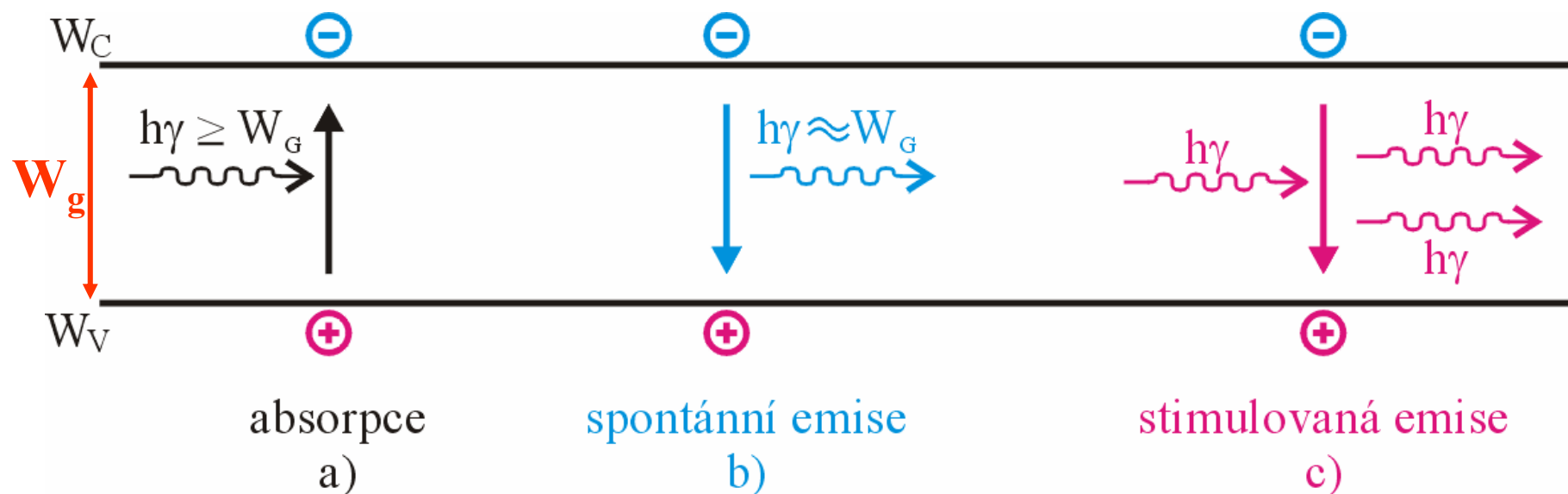
Elektron samovolně (spontánně) rekombinuje s dírou.



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

Aplikace: LED (Light Emitting Diode)

Interakce záření a polovodiče



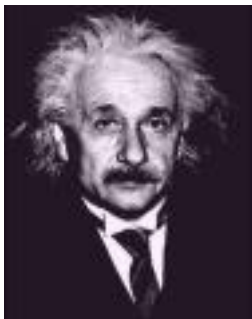
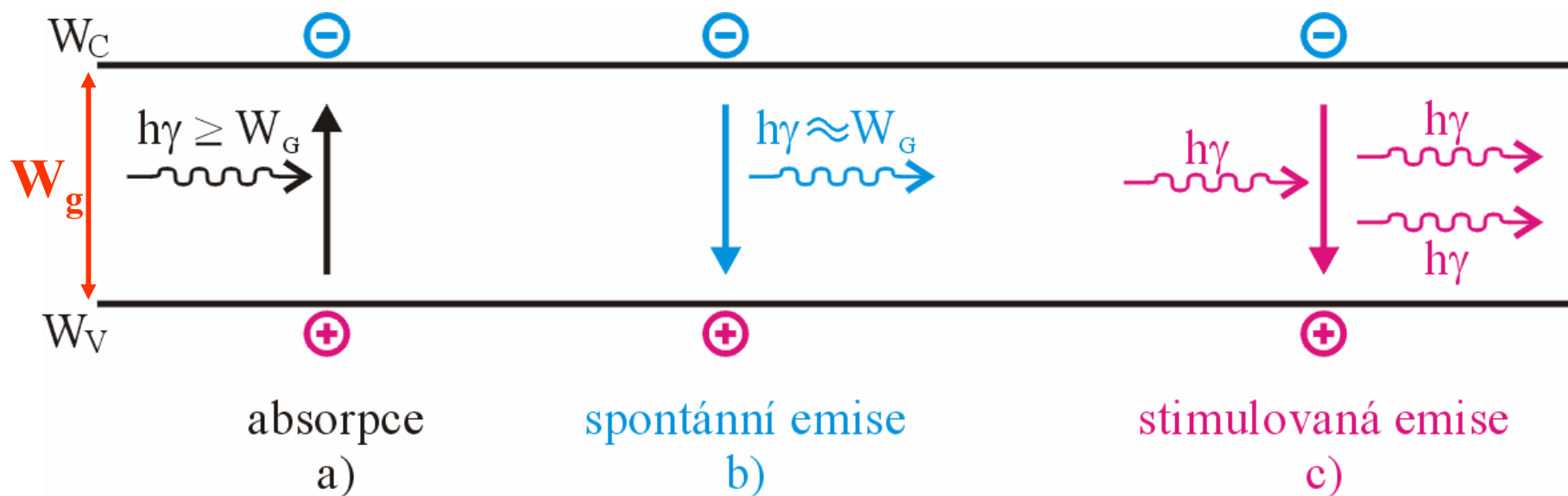
Rekombinace elektronu s dírou je stimulována přilétajícím fotonem, jehož frekvence, polarizace a fáze je shodná jako u vyzářeného fotonu.



Vznikající záření je **koherentní**.

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

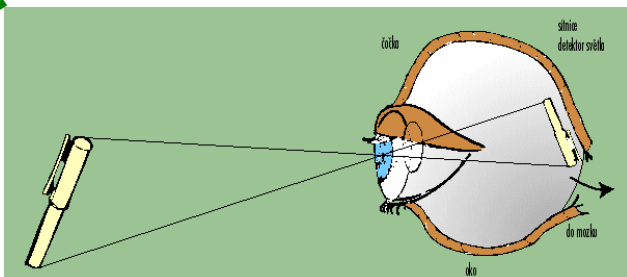
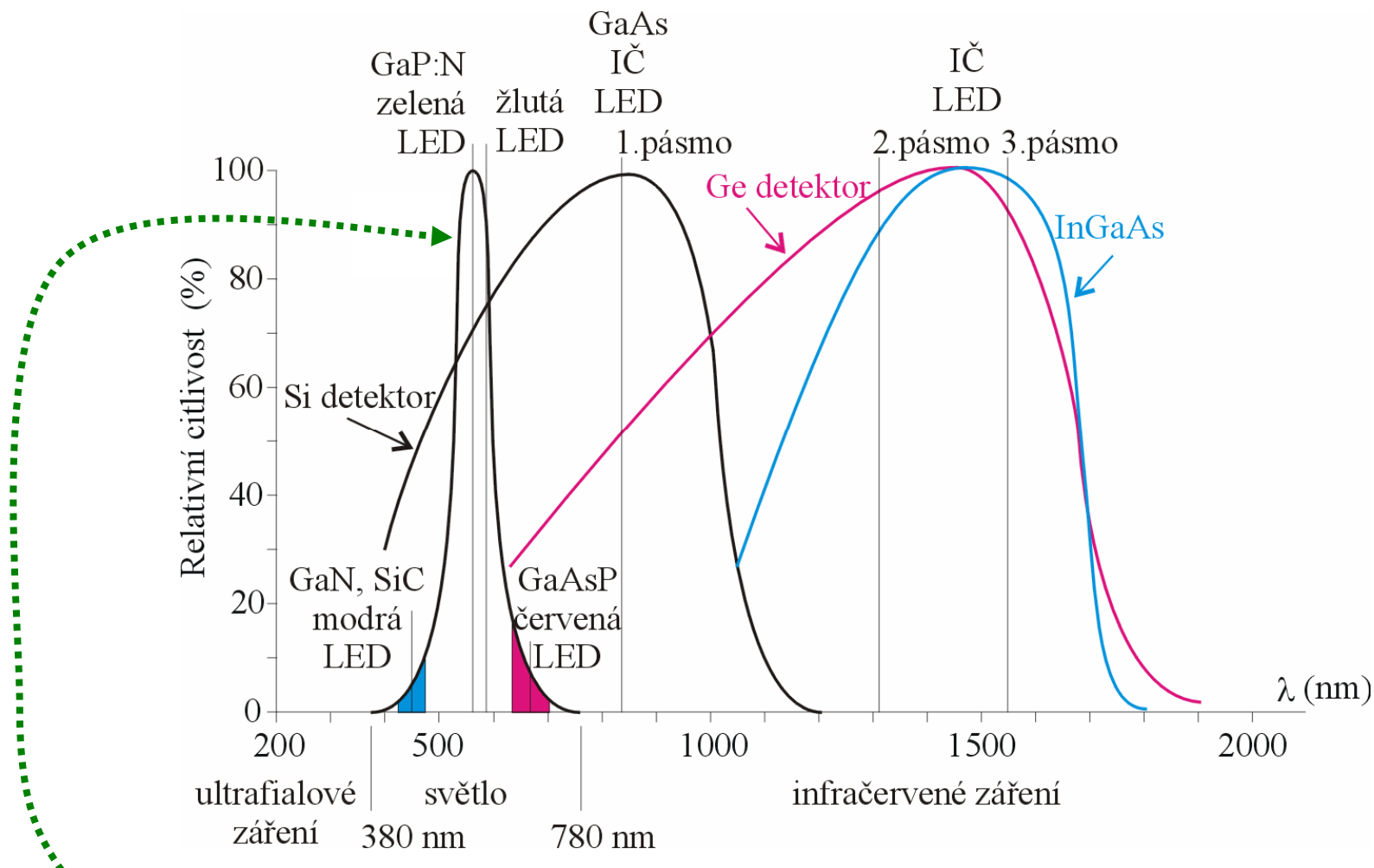
Interakce záření a polovodiče



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

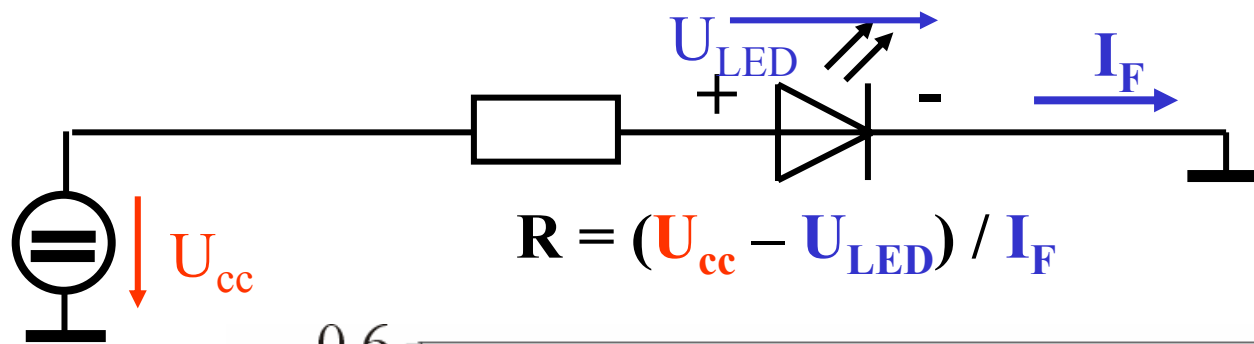
Předpověď stimulované emise \Rightarrow Počátek fyziky laserů

Zdroje a detektory záření

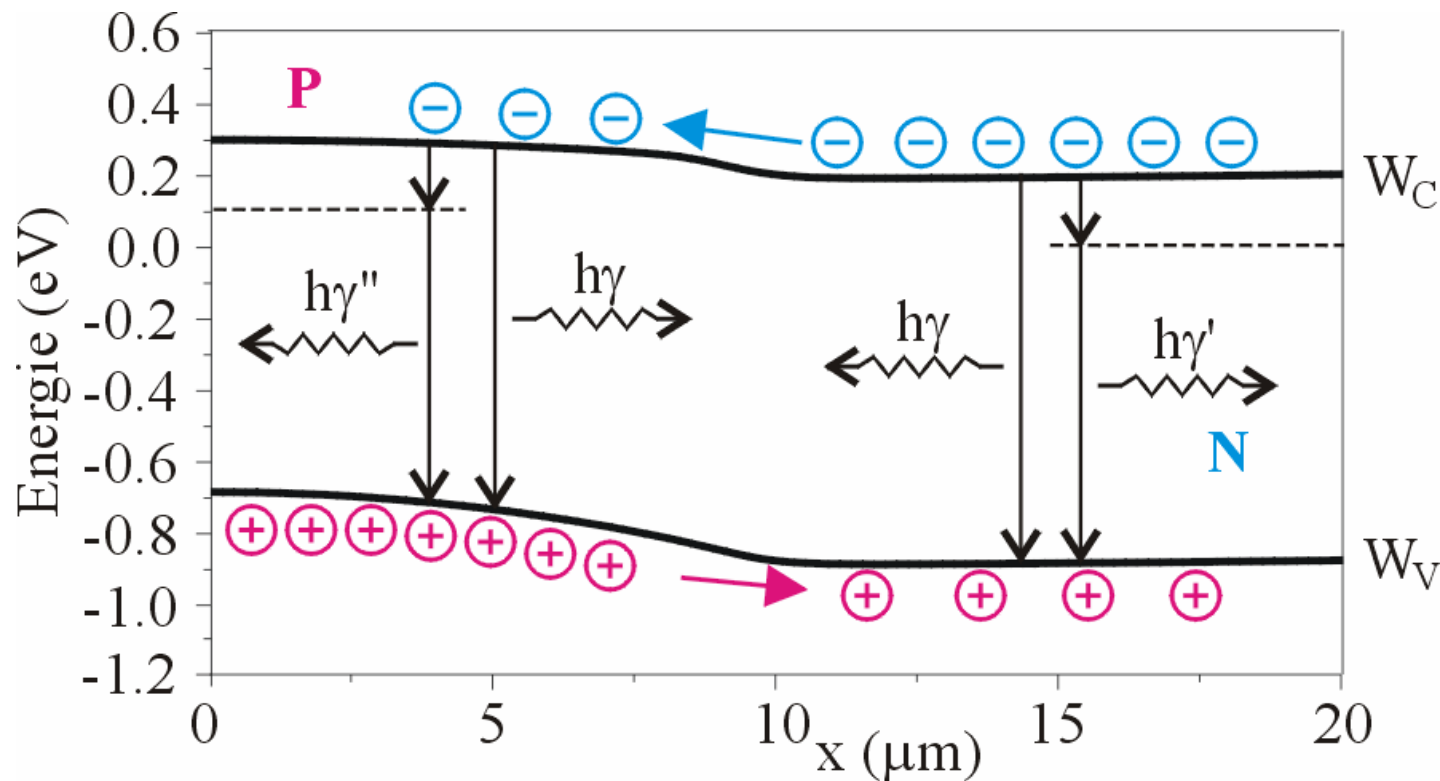


FOTONOVÁ VAZBA
zdroj - detektor

Zdroje nekoherentního záření

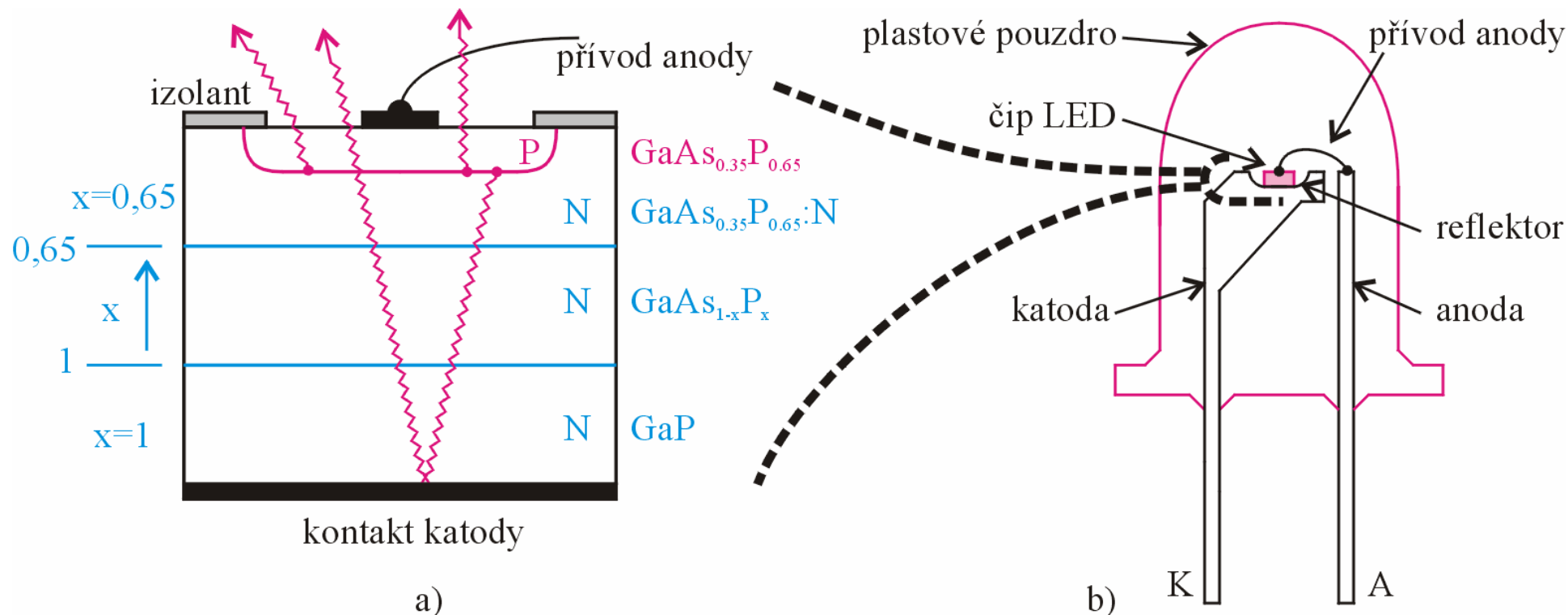


$$R = (U_{cc} - U_{LED}) / I_F$$



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
$\text{GaAs}_{0,35}\text{P}_{0,65}:\text{N}$, $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$, $\text{GaP}:\text{Zn-O}$	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

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

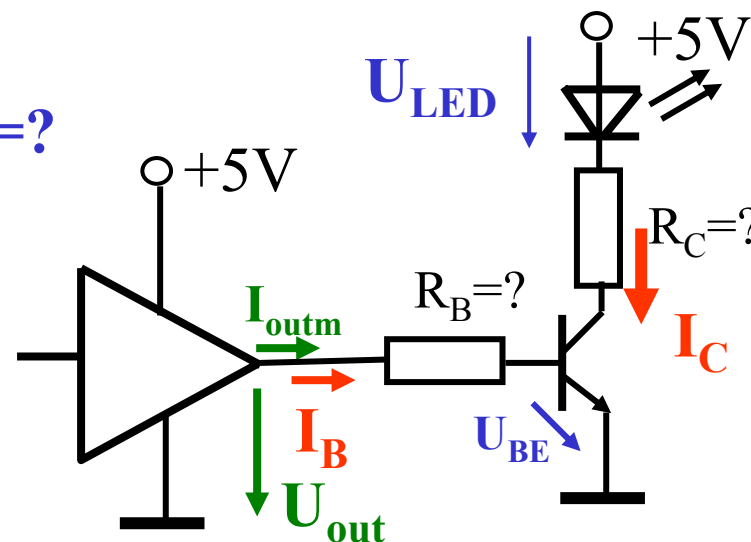
$I_{\text{outm}} = 5 \text{ mA}@5\text{V}$, $h_{21E}=100$, $R_C=?$, $R_B=?$

$$R_C = (U_{CC} - U_{CE\text{sat}} - U_{LED}) / I_{LED} =$$

$$= (5 - 0,2 - 2,2) / 0,02 = 130 \, \Omega$$

katalog

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

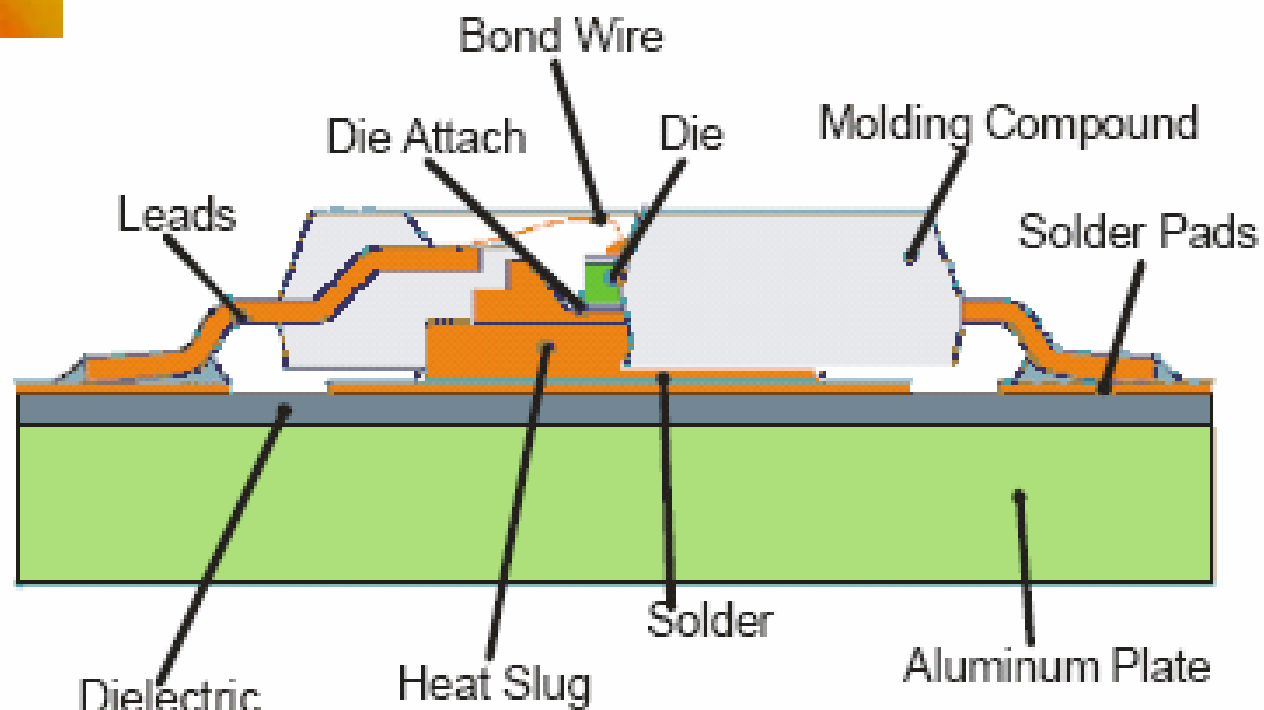


$$R_B = (U_{\text{out}} - U_{BE}) / I_B = (U_{\text{out}} - U_{BE}) \cdot h_{21E} / I_C = (5 - 0,7) \cdot 100 / 0,02 = 21,5 \text{ k}\Omega$$

volíme 22 k

Bílá LED

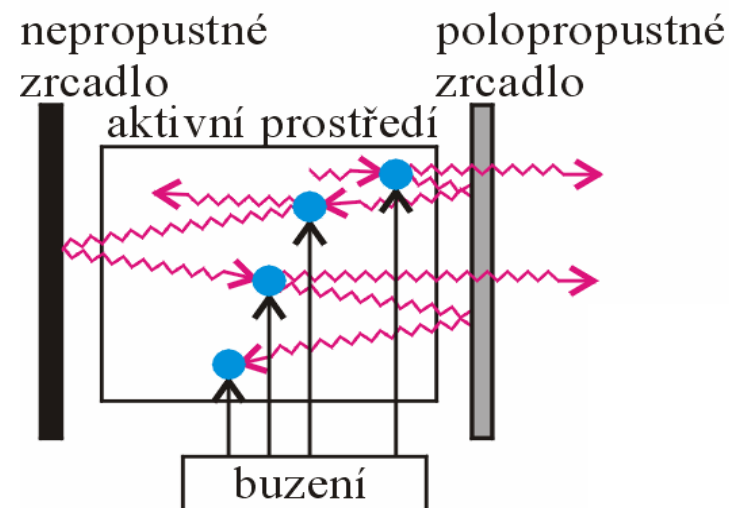
Materiál	Barva světla/záření	Vlnová délka [nm]	Úbytek napětí @ $I_F=20\text{mA}$ [V]
SiC/GaN + luminofor na povrchu čipu	Bílá	450 – 650 4500K*	3,6



LASER

Podmínky činnosti:

1. Existence aktivního prostředí, kde nastává stimulovaná emise.
2. Existence kladné zpětné vazby.



3. Zajištění inverzního obsazení hladin.

Normální obsazení:

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

$$n_2 \text{ } \overbrace{\text{oooooooooooooooo}} W_2$$

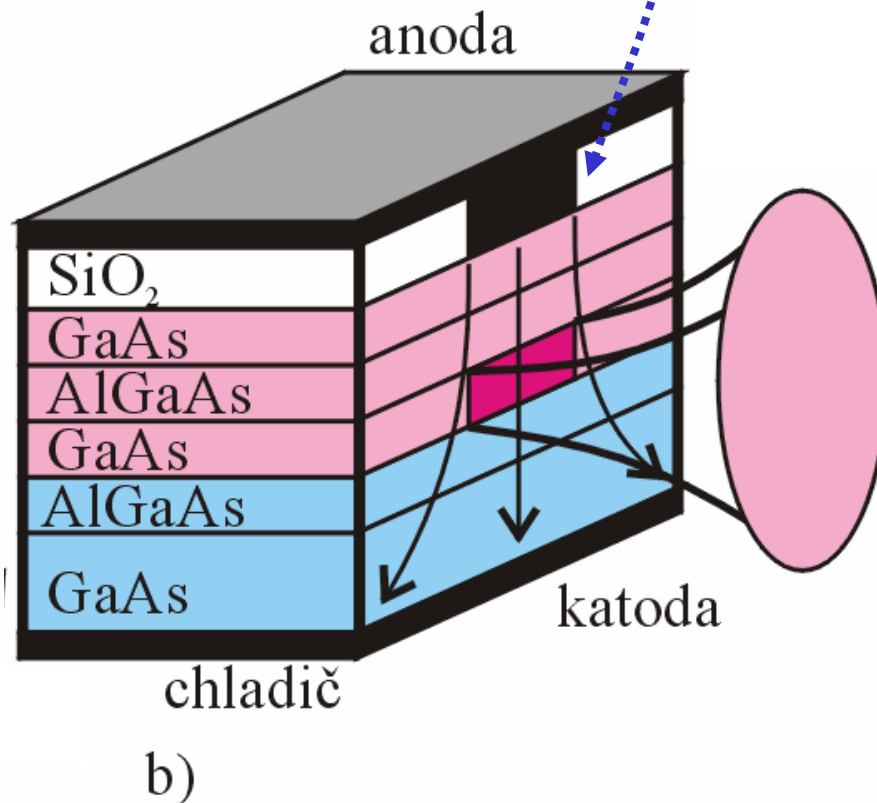
Inverzní obsazení ($n_2 > n_1$)

$$n_1 \text{ } \underbrace{\text{ooooo}} W_1$$

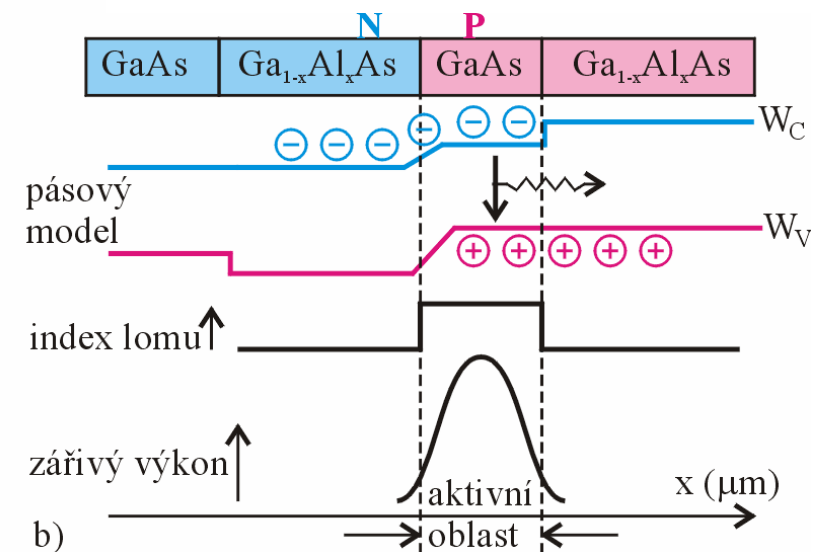
⇒ stim. emise převáží nad absorpcí

Polovodičový LASER- Metody zvýšení účinnosti

1. Mikropáskový kontakt

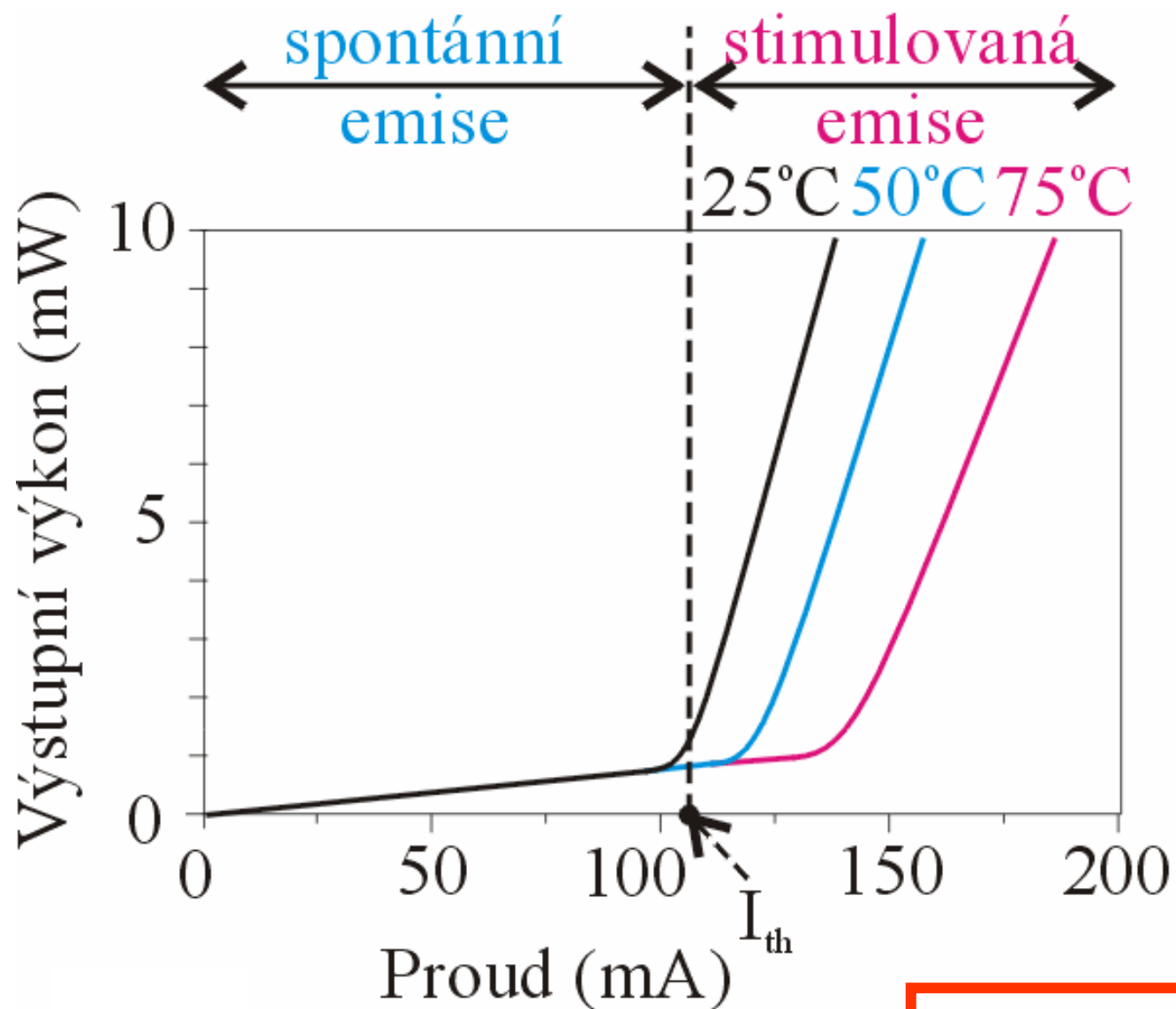


2. Dvojitá heterostruktura



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**

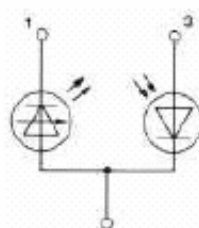
NOTE!

**LASERDIODE
MUST BE COOLED!**

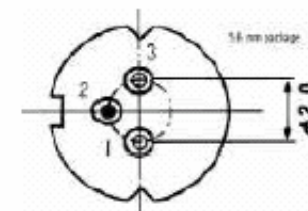


ATTENTION
OBSERVE PRECAUTIONS
FOR HANDLING
ELECTROSTATIC SENSITIVE DEVICE

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}		

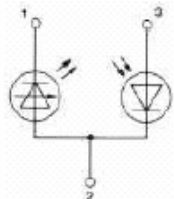
Průrazné napětí je minimální!

Optical-Electrical Characteristics (Tc = 25°C)

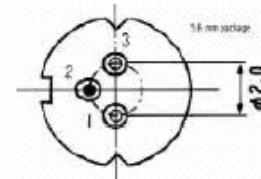
CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNIT
Threshold Current	I_{th}	cw	5	10	15	mA
Operation Current	I_{op}	$P_o = 5 \text{ mW}$	15	20	25	mA
Operation Voltage	V_{op}	$P_o = 5 \text{ mW}$	1.8	1.9	2.0	V
Lasing Wavelength	λ_p	$P_o = 5 \text{ mW}$	845	850	855	nm
Beam Divergence	$\theta_{ }$	$P_o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

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

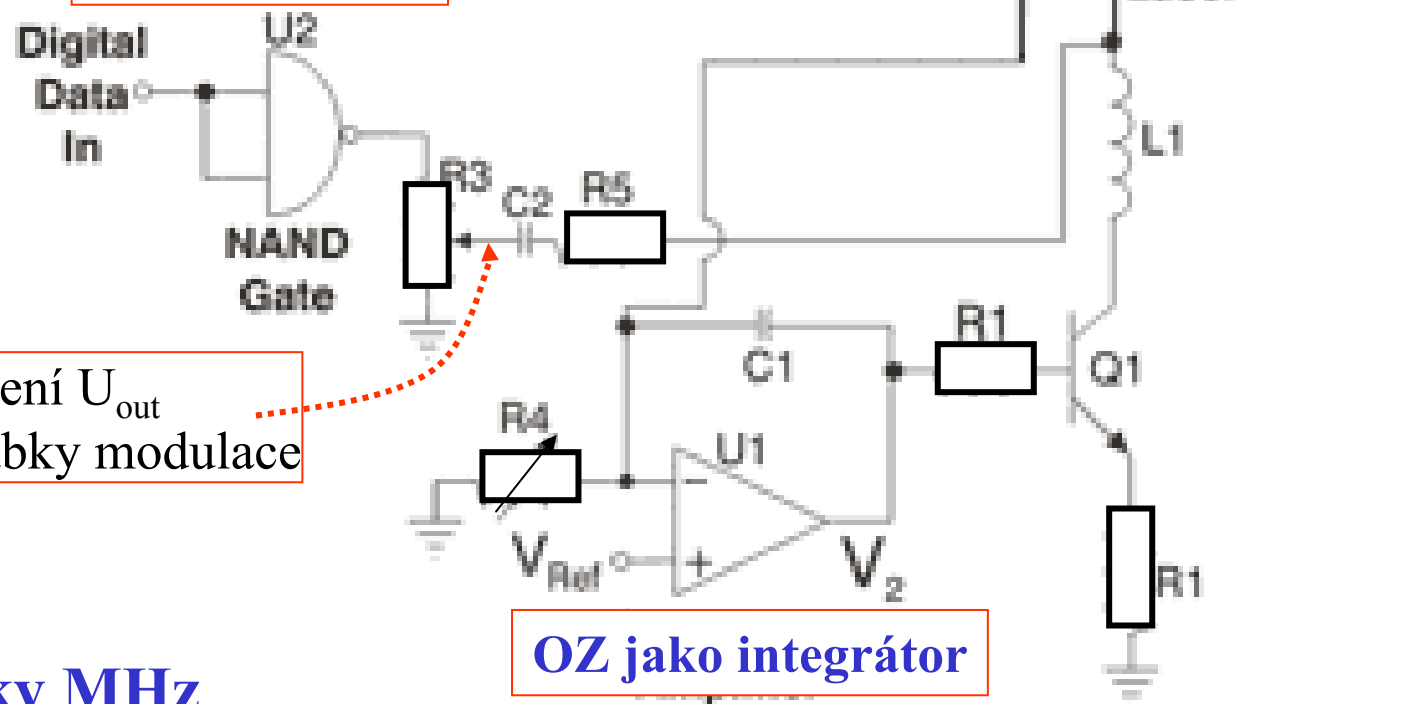
*Data buffer -
 urychluje hrany*

Detektor výkonu
 laseru z 2.zrcadla

nastavení U_{out}
 = hloubky modulace

OZ jako integrátor

Přenos dat \approx stovky MHz

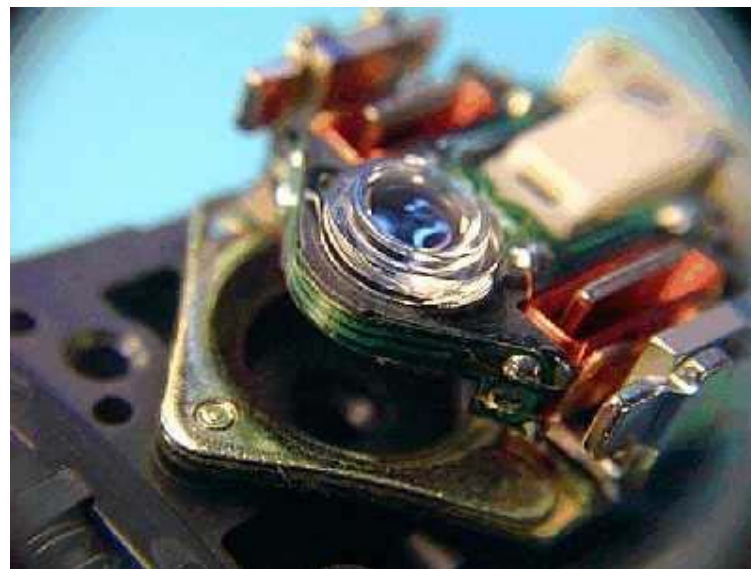


Aplikace

Datové přenosy



Paměťová média (CD)

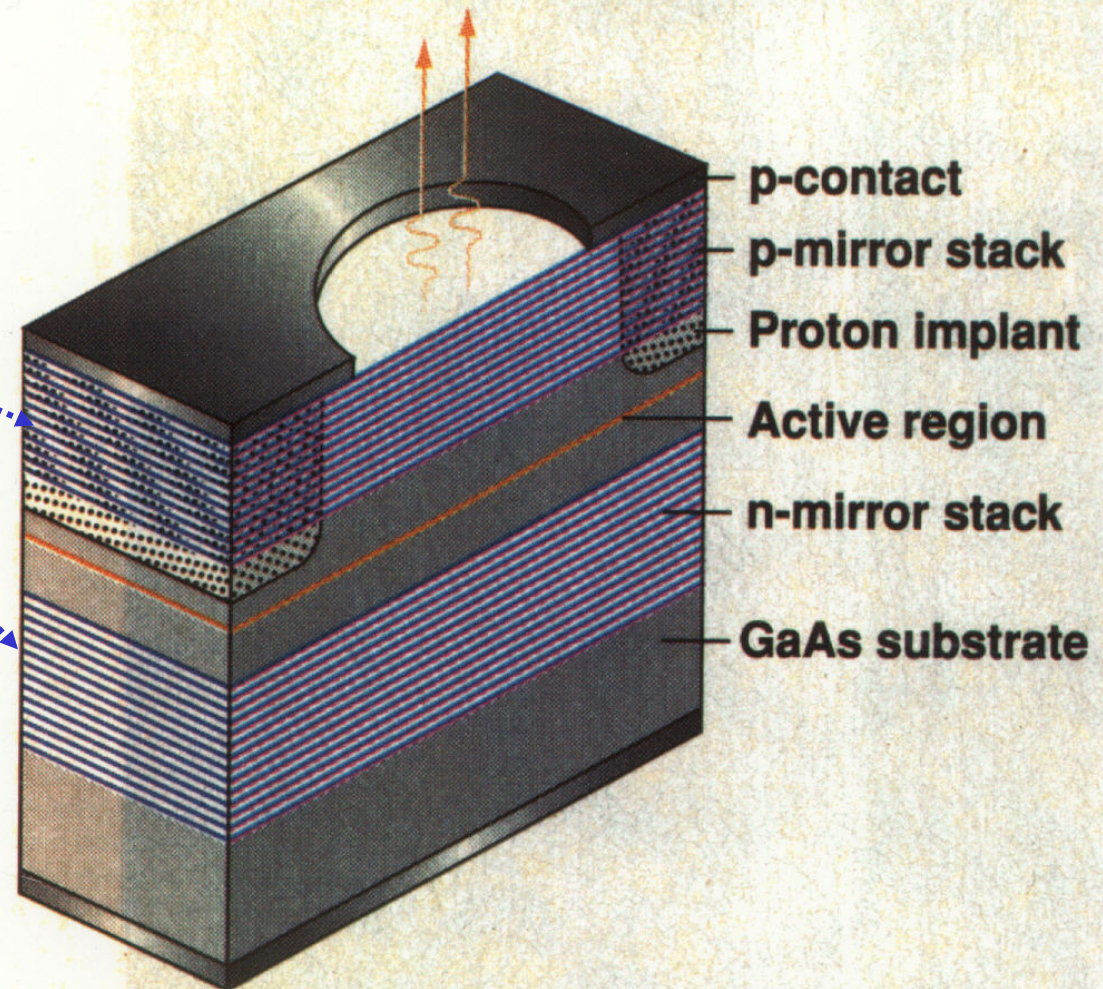


Polovodičový LASER

Distributed Bragg Reflector

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

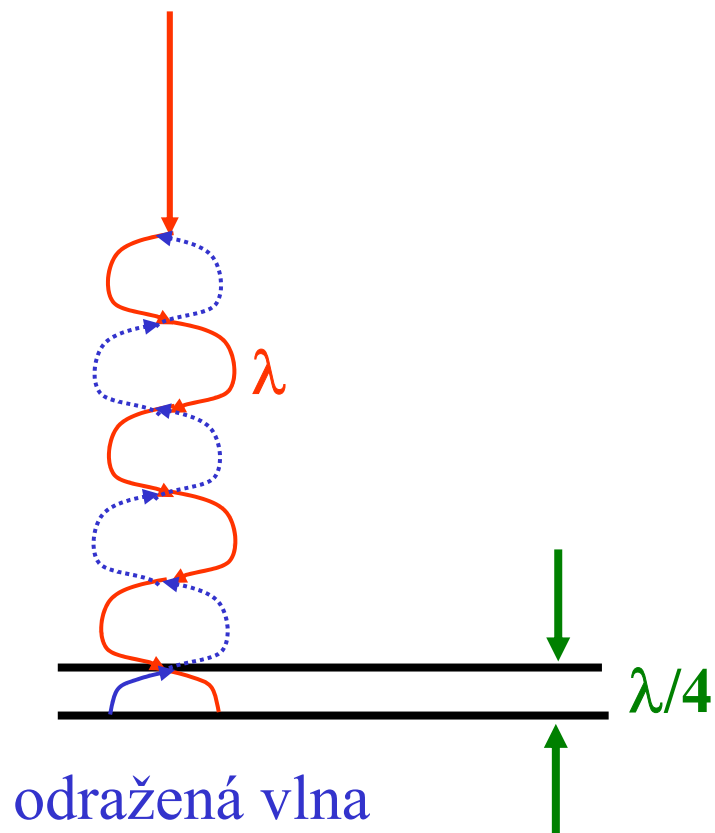
Vertical Cavity Surface Emitting Laser



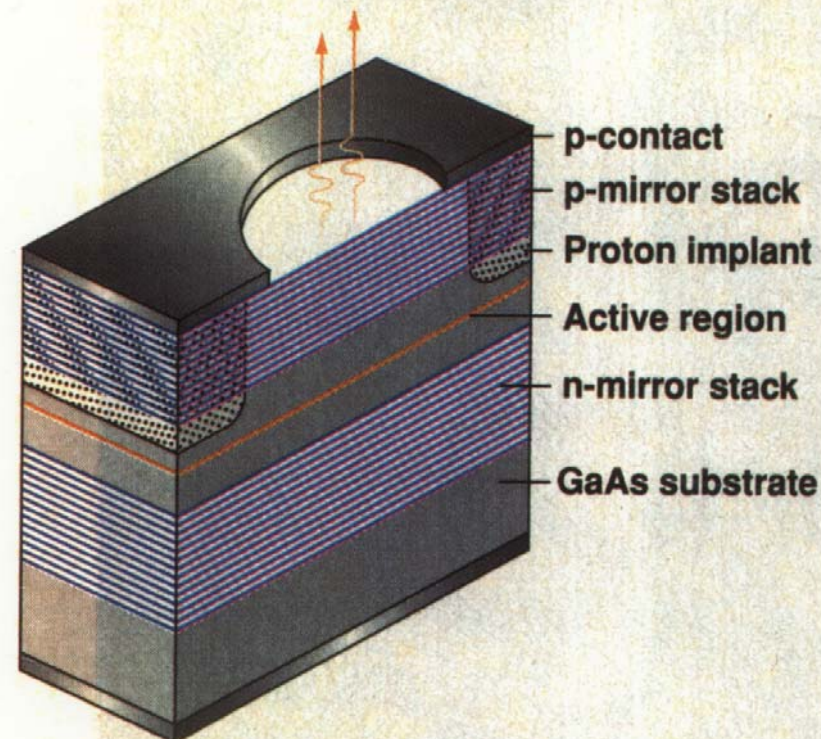
1. VCSELs may require ~50 epitaxial layers for the semitransparent mirrors that form the vertical optical cavity. (Source: Honeywell)

Distributed Bragg Reflector

dopadající vlna

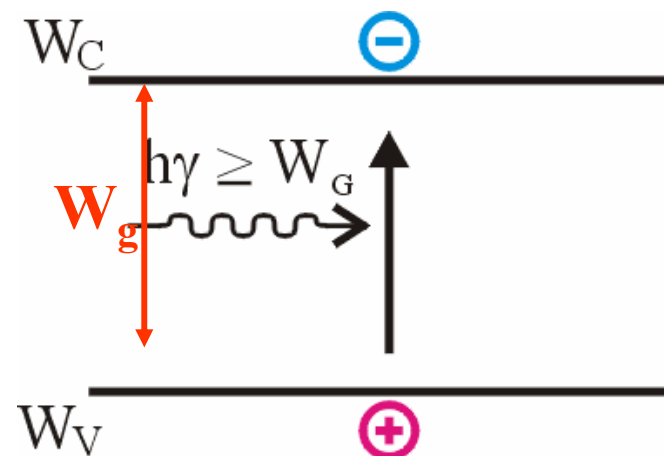


Vertical Cavity Surface Emitting Laser



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

Detektory záření - fotodiody



absorpce

a)



Detektory záření - fotodiody



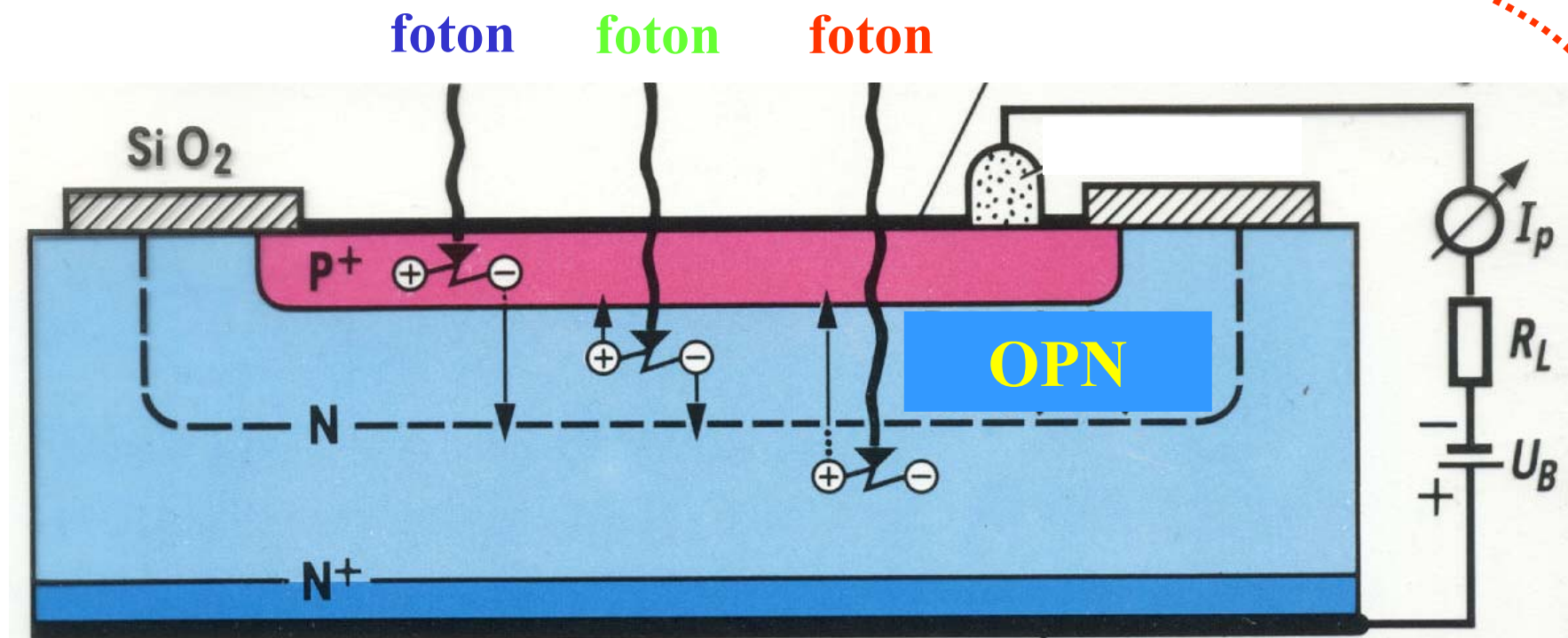
Záření o energii $h \cdot \nu > W_g$ je absorbováno v OPN



OPN svým elektrickým polem separuje elektrony a díry

⇒ VZNIKÁ FOTOPROUD

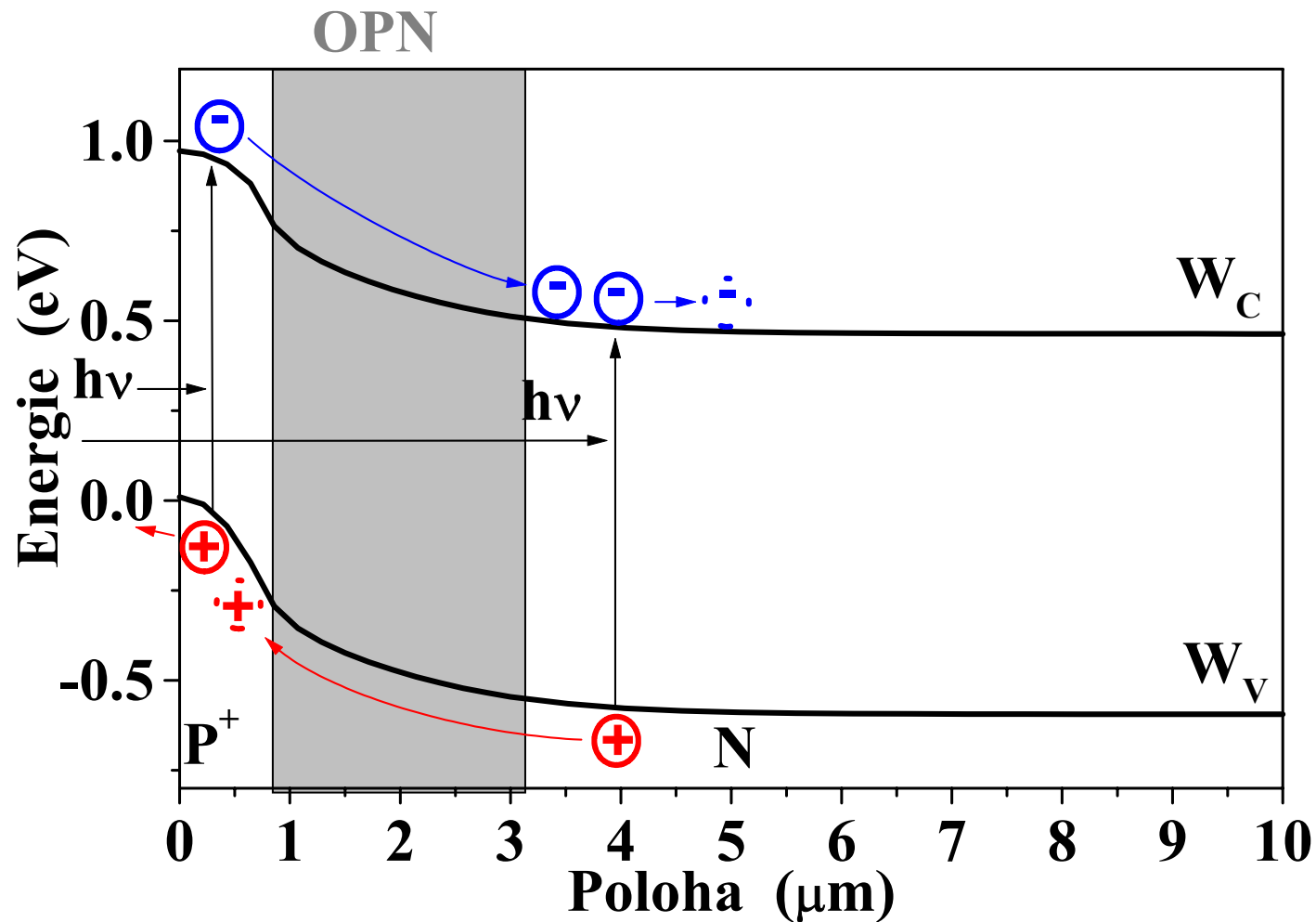
závěrný směr



Detektory záření - fotodioda

Záření absorbováno v OPN s velkou intenzitou elektrického pole.

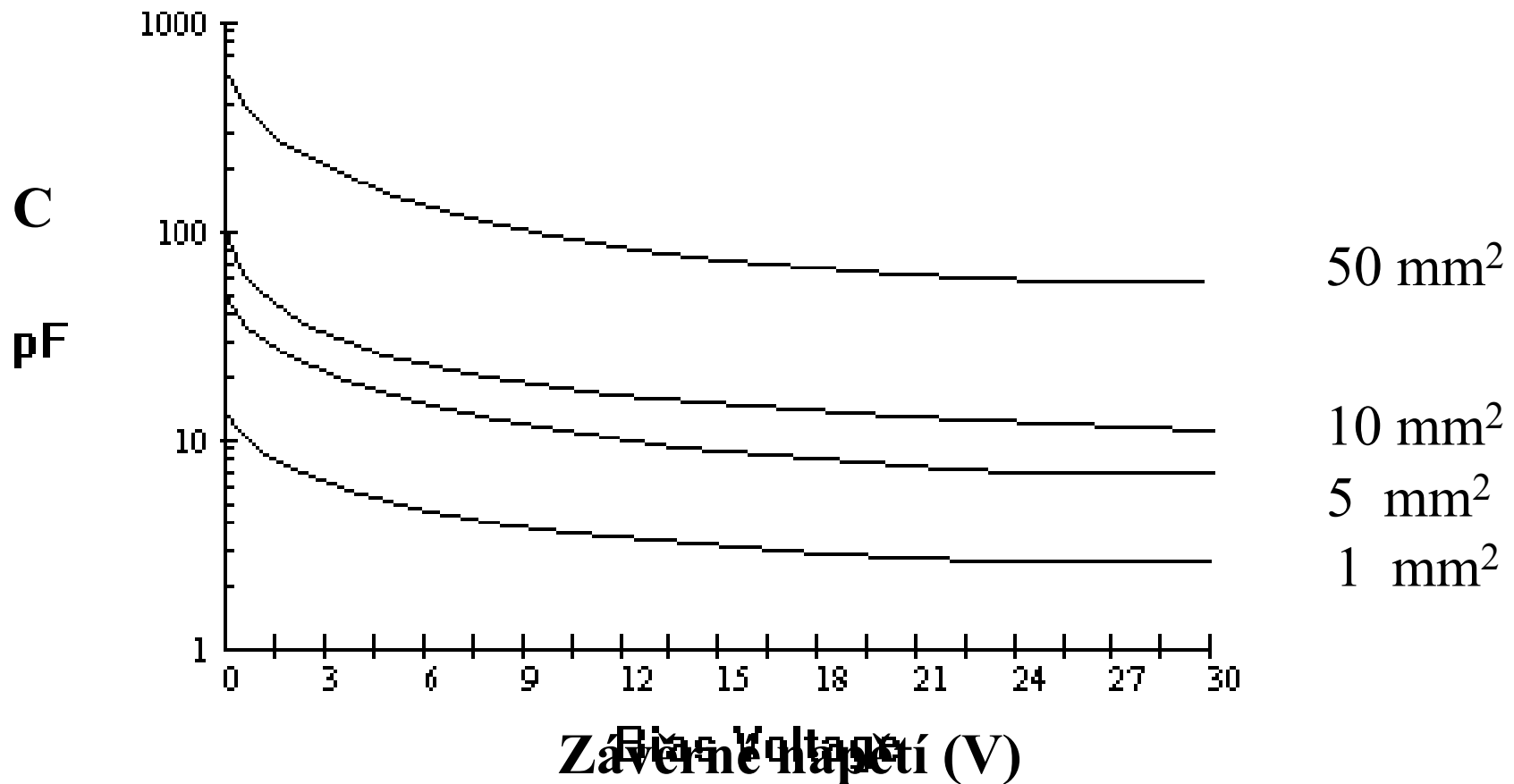
OPN je široká \Rightarrow parazitní kapacita je malá \Rightarrow odezva je rychlá



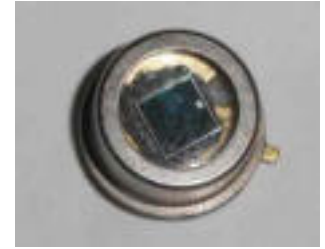
Fotodioda

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

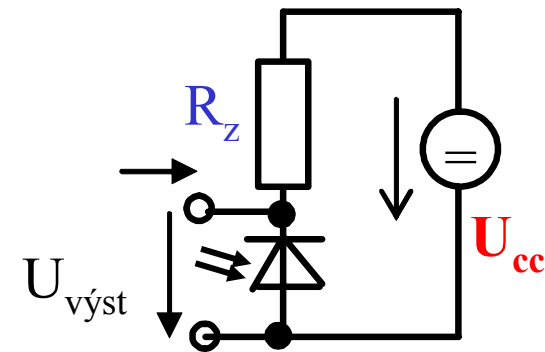
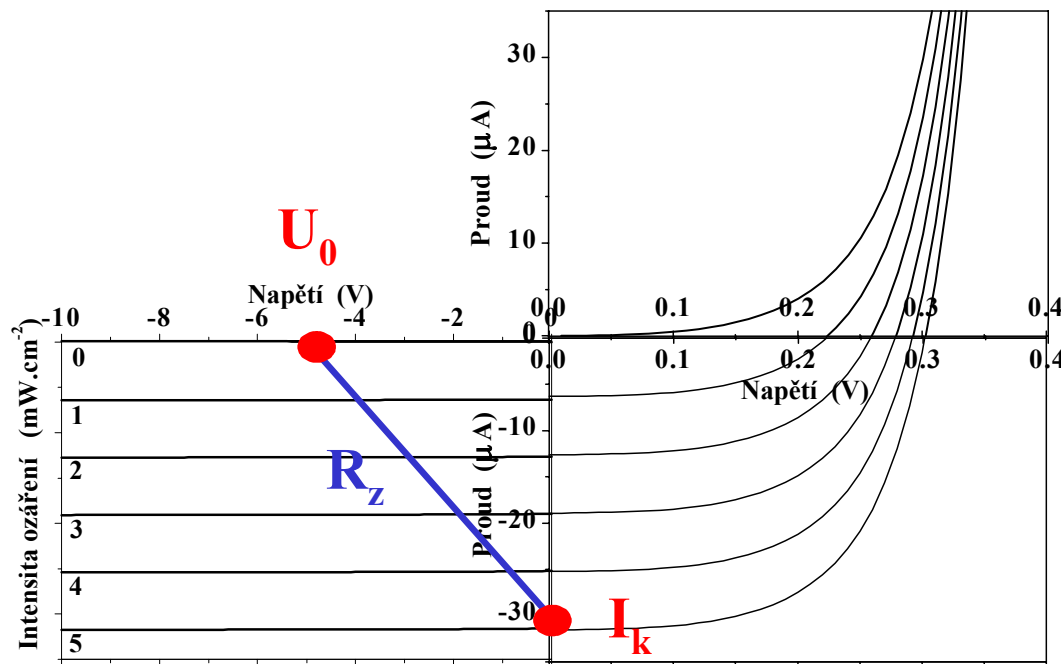
Parazitní kapacita klesá s rostoucím $U_R \Rightarrow$ rychlost odezvy roste



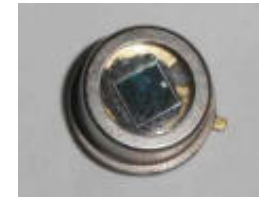
Fotodioda - fotovodivostní režim



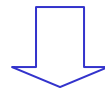
Se změnou intenzity dopadajícího záření se mění
napětí $U_{\text{výst}}$ na fotodiodě.



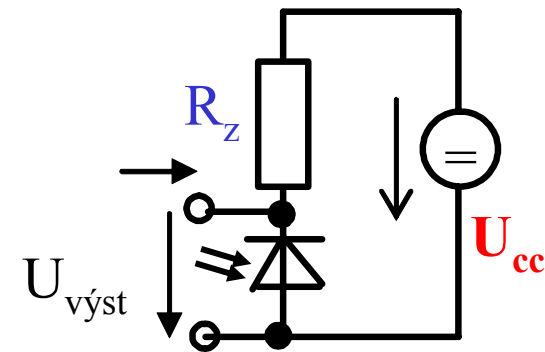
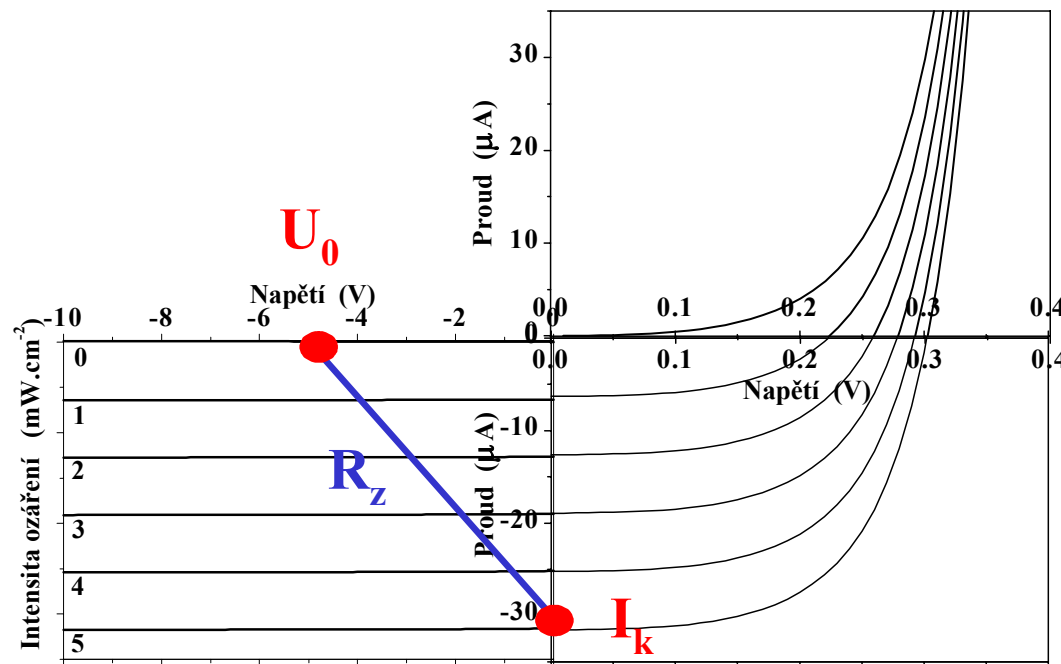
Fotodioda - fotovodivostní režim



Fotodioda zapojena jako spotřebič \Rightarrow zdroj napětí + R_z

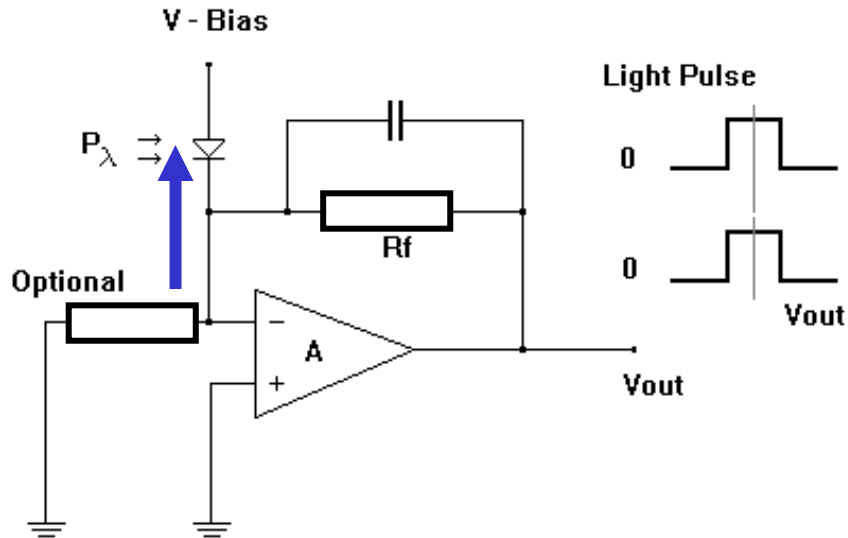


Zdroj napětí \Rightarrow existuje proud za tmy \Rightarrow menší citlivost

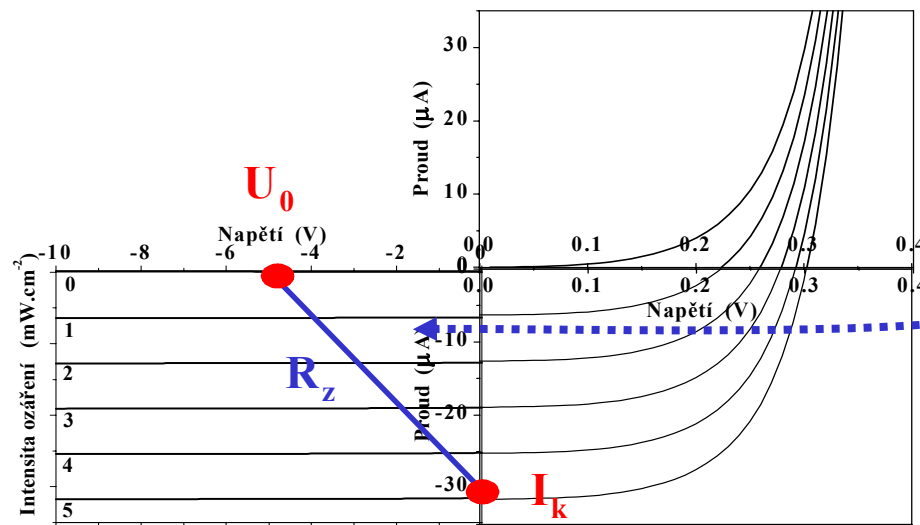
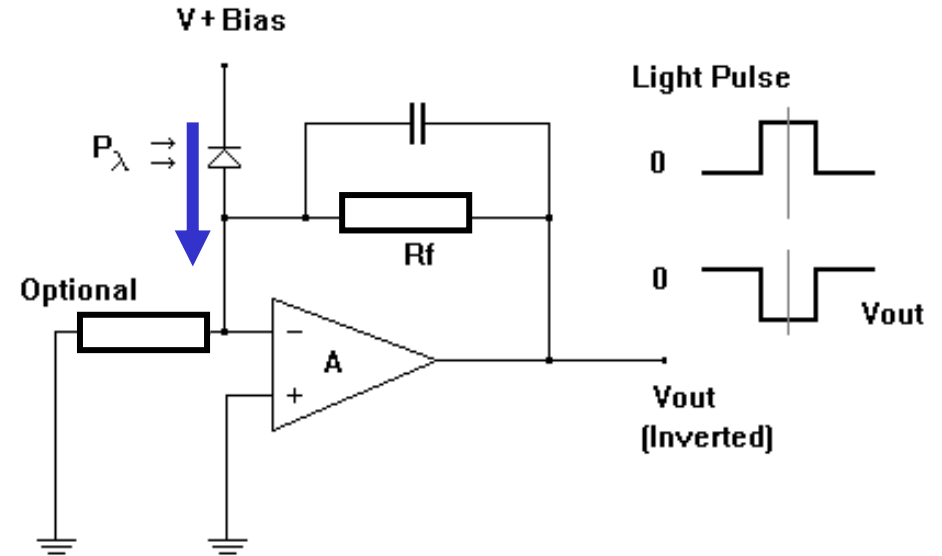


Fotovodivostní režim - zapojení

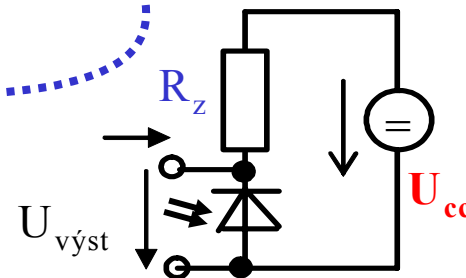
Negative Bias Circuit



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.

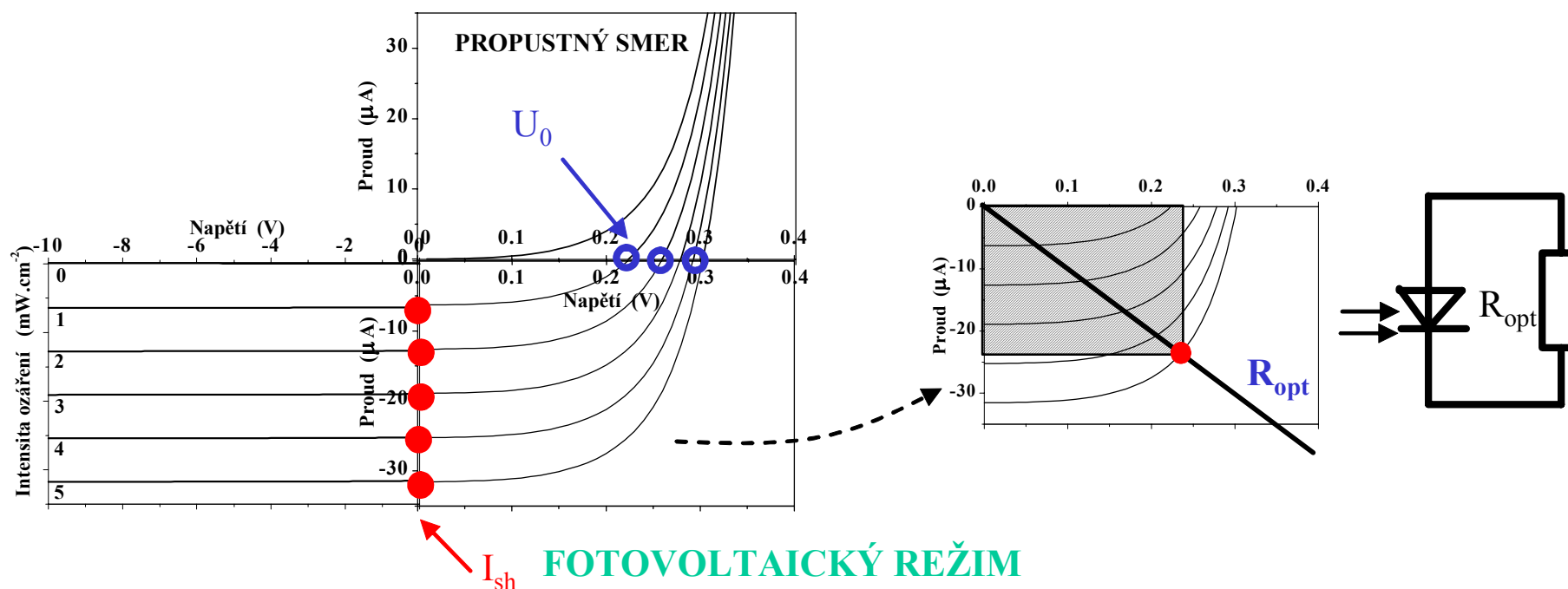
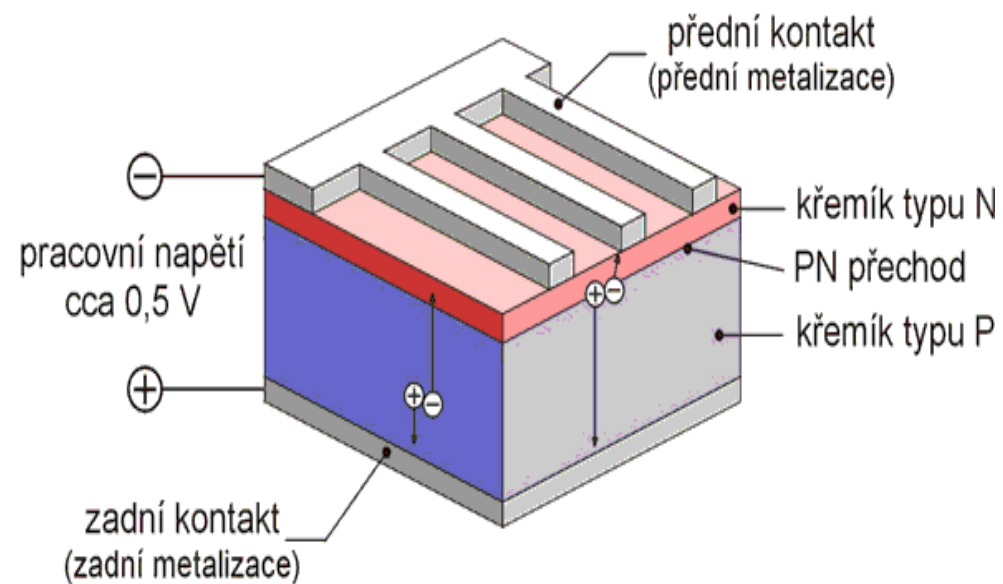
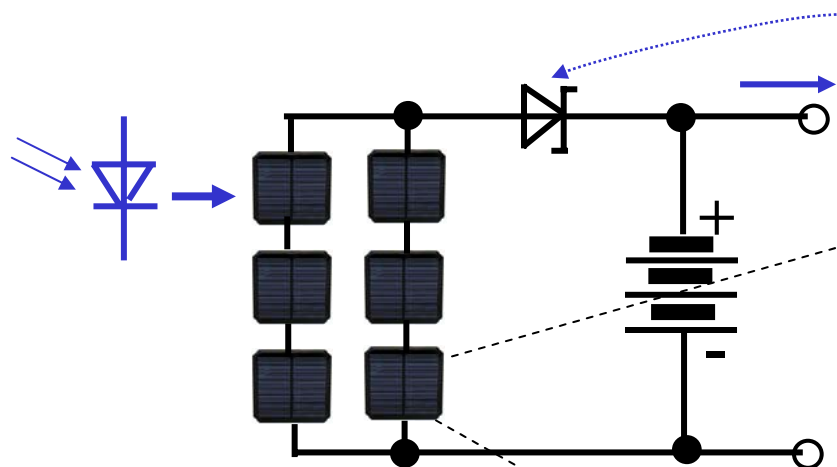
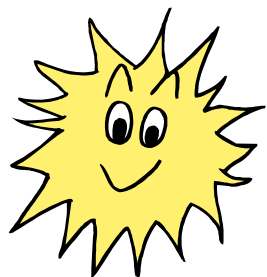


Schéma slunečního článku

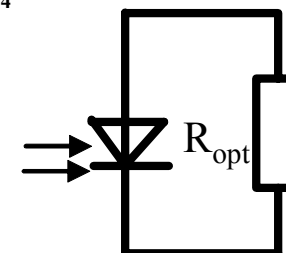
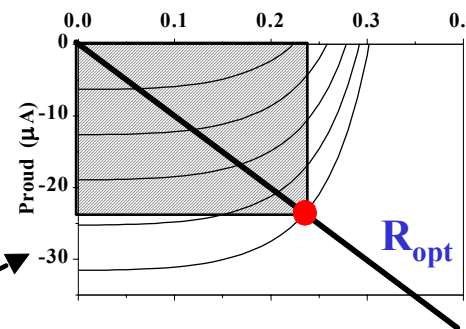
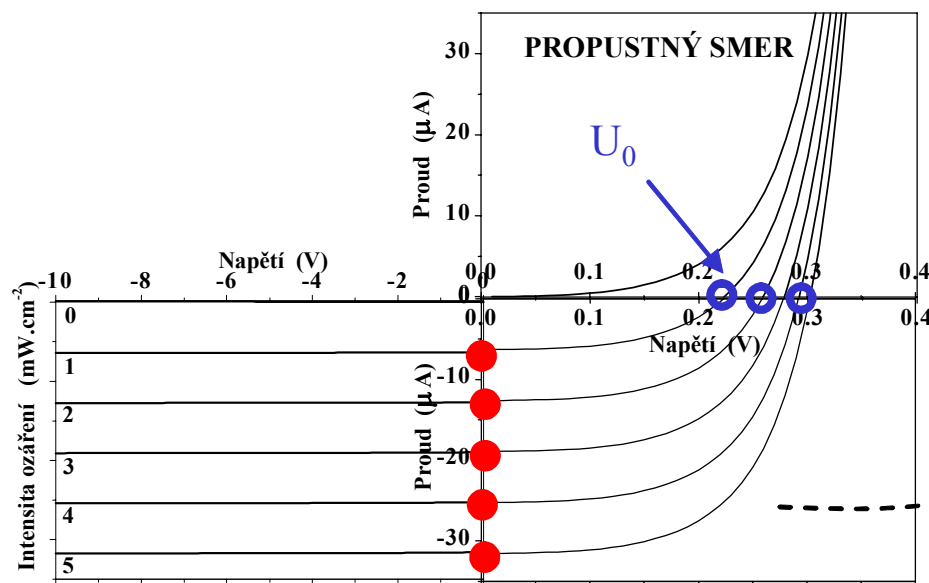




Fotovoltaický režim – sluneční článek

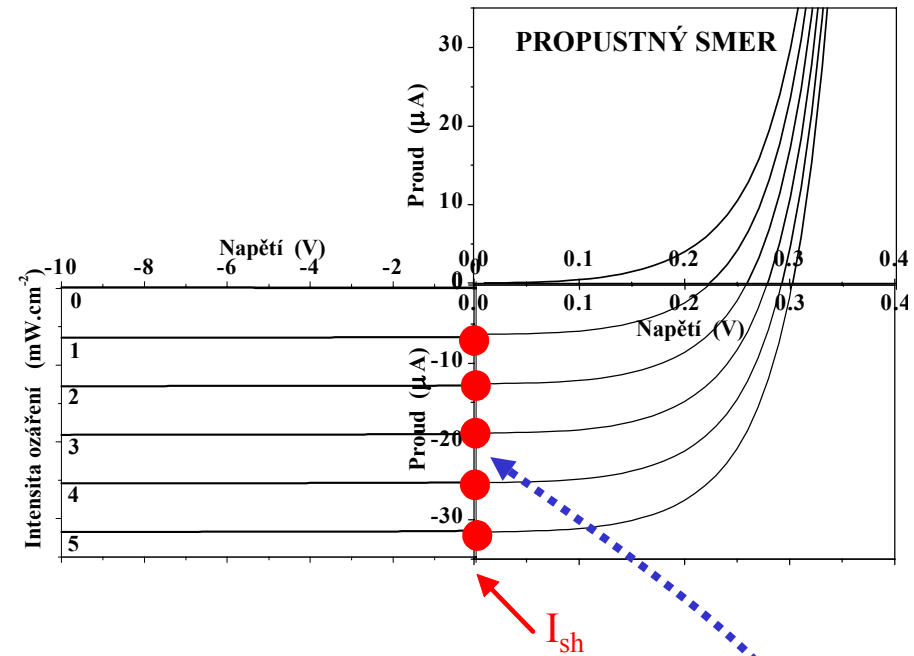
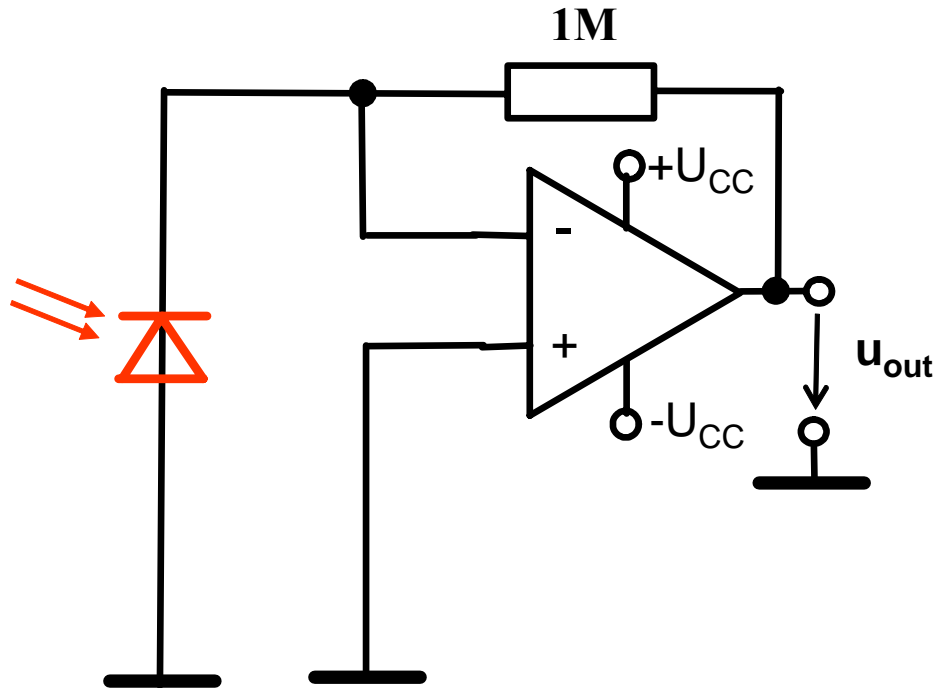


dioda brání vybíjení
baterie



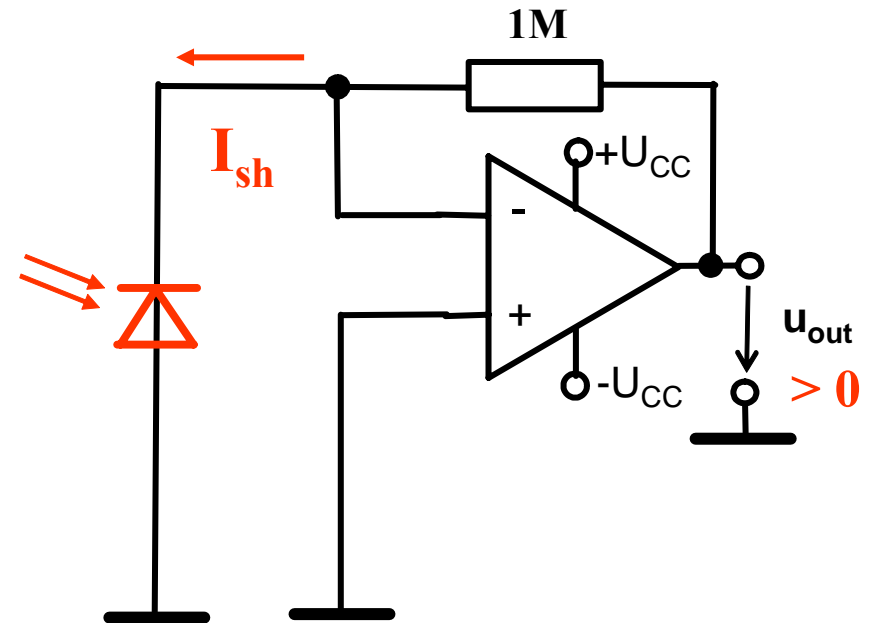
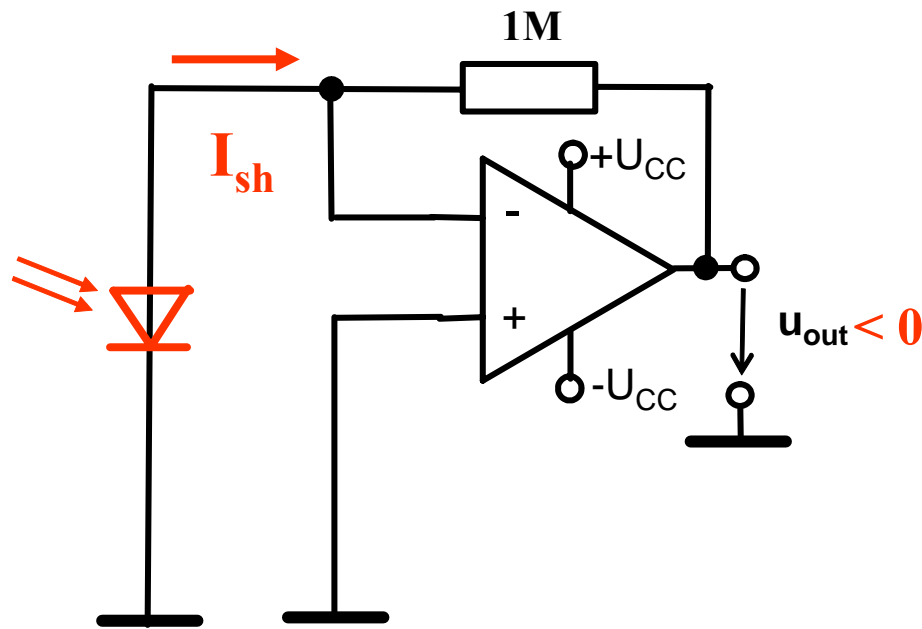
I_{sh} FOTOVOLTAICKÝ REŽIM

Fotovoltaický režim - transimpedanční zapojení



Mezi vstupy operačního zesilovače je nulové napětí
 \Rightarrow dioda pracuje do zkratu (I_{sh})
 \Rightarrow **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 $1 \mu A$ fotoproudu I_{sh} .

Fotovodivostní vs. fotovoltaiický režim

Fotovodivostní režim:
použijeme, pokud
je prioritou maximální rychlost

Fotovoltaiický režim:
použijeme, pokud
je prioritou nízký šum
nebo energetická účinnost