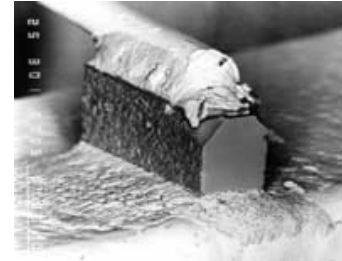
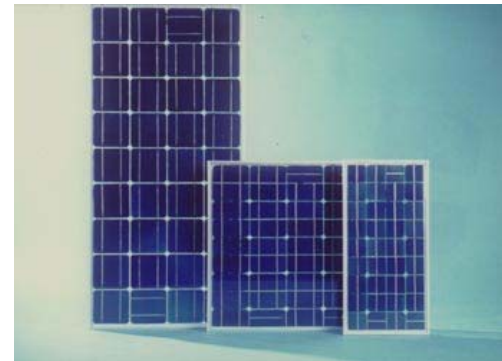
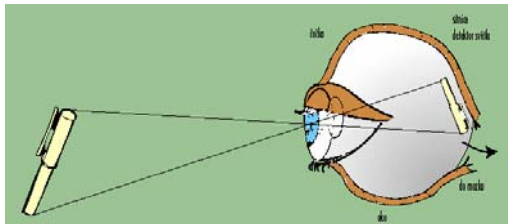


Optoelektronika



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 |

.....



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

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

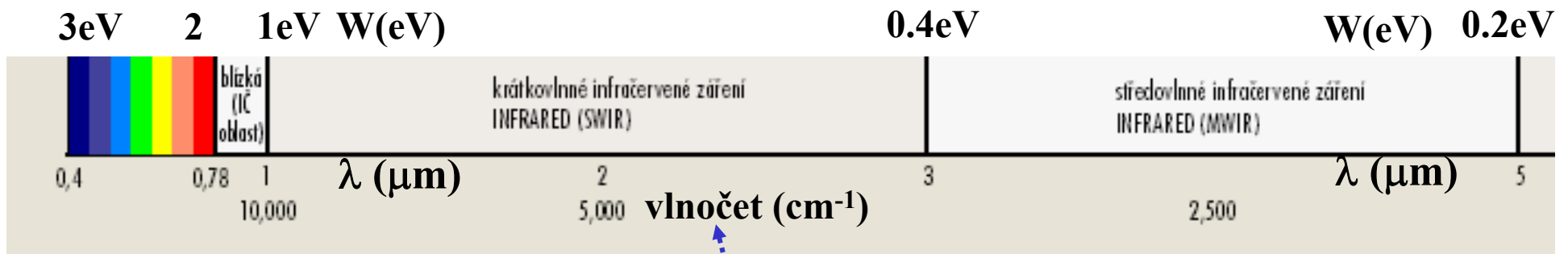
e - Náboj elektronu ($e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C)

Záření

Planckův zákon

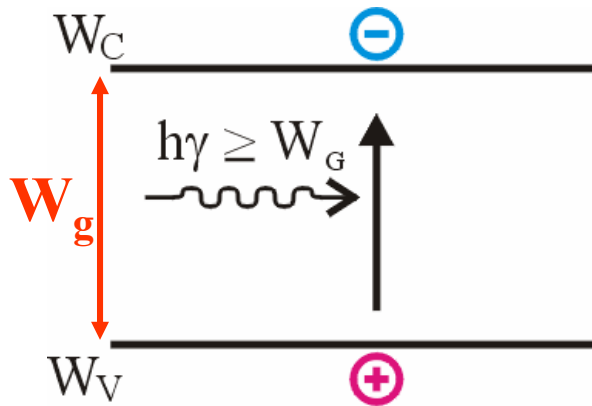
$$W = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e}$$

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



počet vln na cm

Interakce záření a polovodiče



absorpce
a)

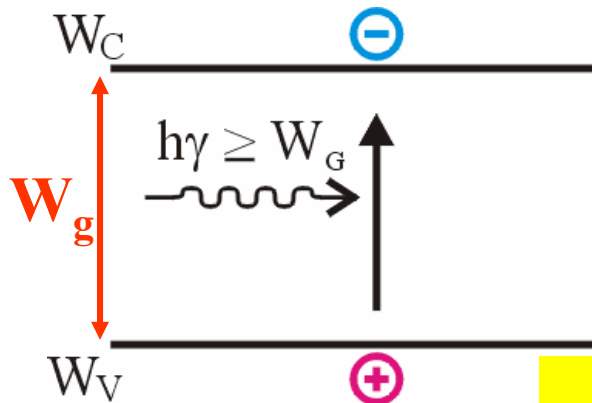
$W > W_g \Rightarrow$ ABSORPCE (fotoelektrický jev)

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

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)

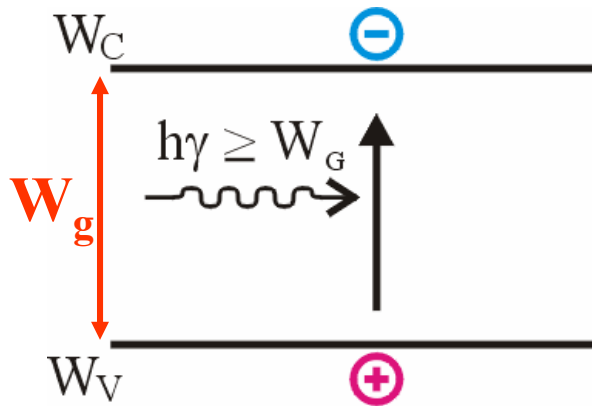
$$\lambda \leq \frac{1,24}{W_g} [\mu m; eV]$$

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)

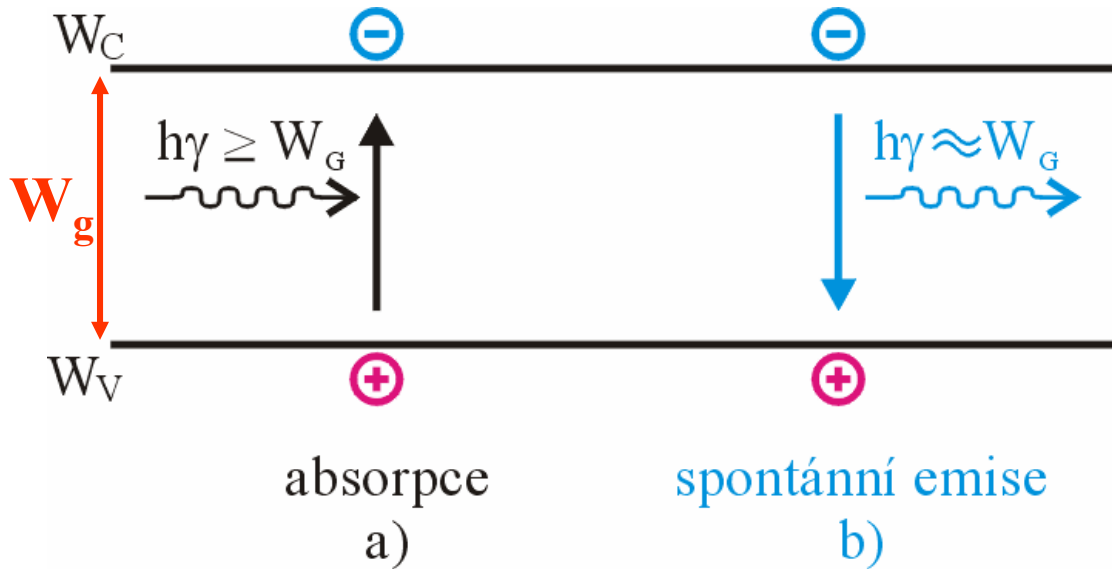
Absorpční hrana ($T=300$ K) :

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

Pro delší vlnovou délku je polovodič průhledný (neabsorbuje).

Pro danou vlnovou délku musíme vybírat detektor podle materiálu!

Interakce záření a polovodiče



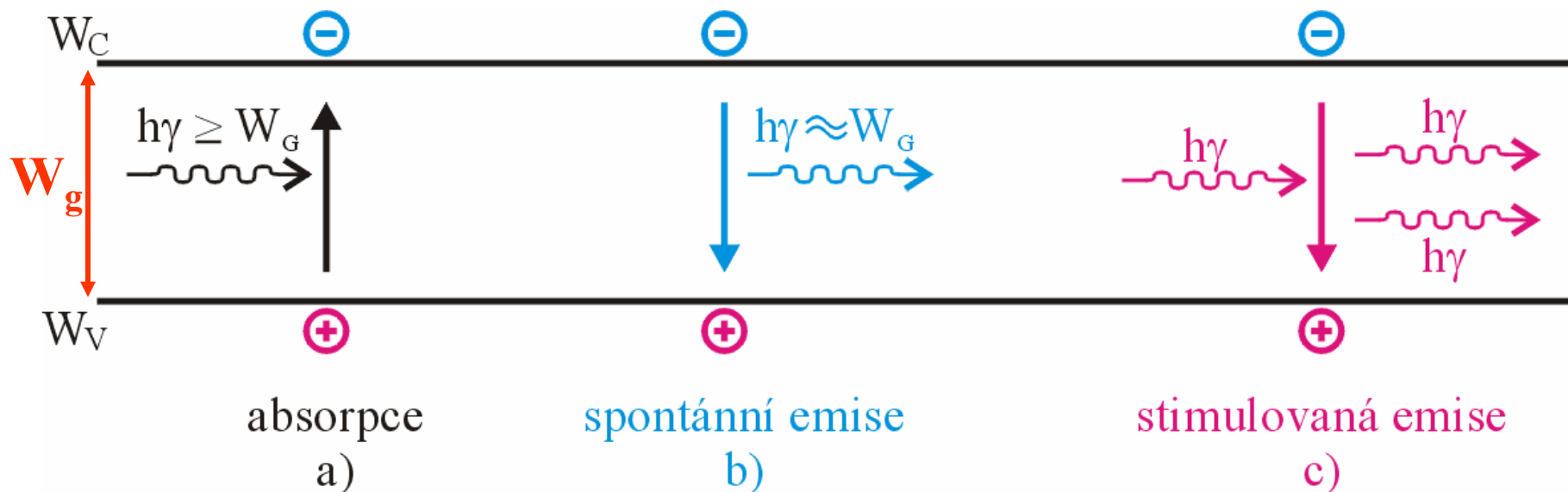
Elektron samovolně (spontánně) rekombinuje s dírou.



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

Aplikace: LED (Light Emitting Diode)

Interakce záření a polovodiče



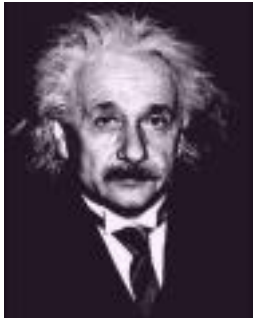
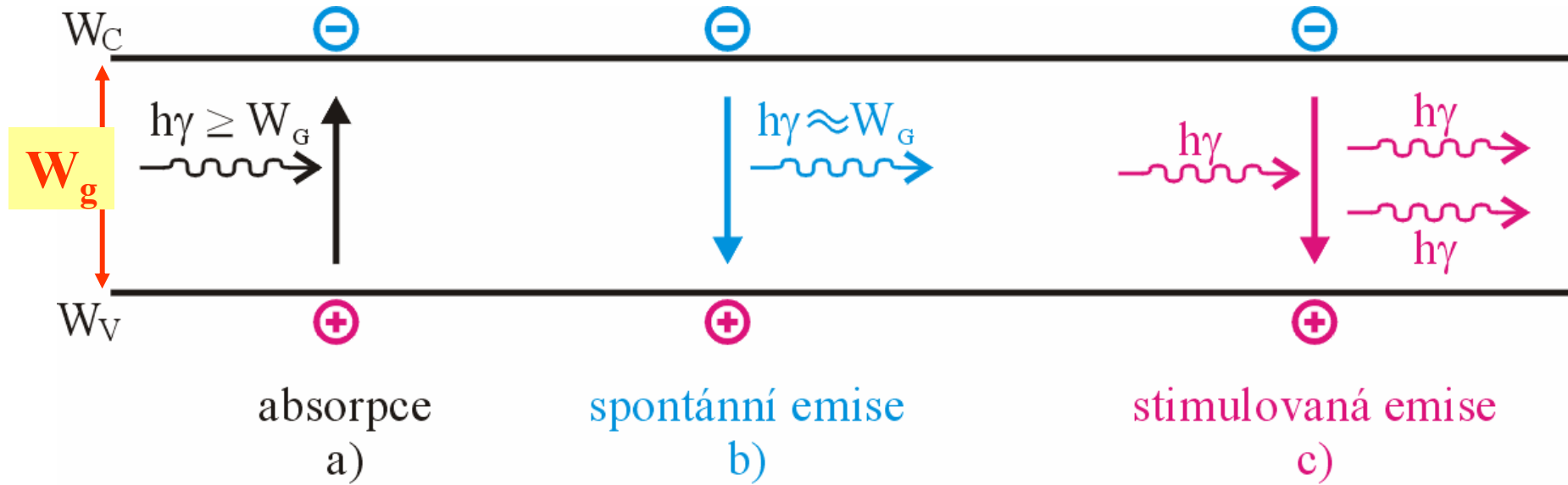
Rekombinace elektronu s dírou je stimulována přilétajícím fotonem, jehož frekvence, polarizace a fáze je shodná jako u vyzářeného fotonu.



Vznikající záření je **koherentní**.

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

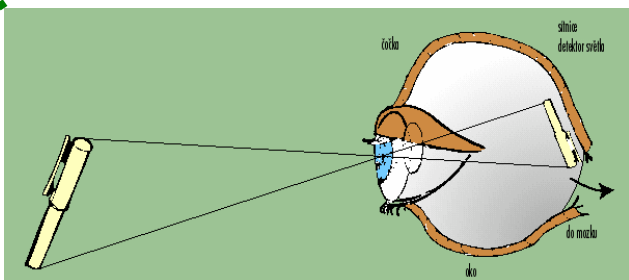
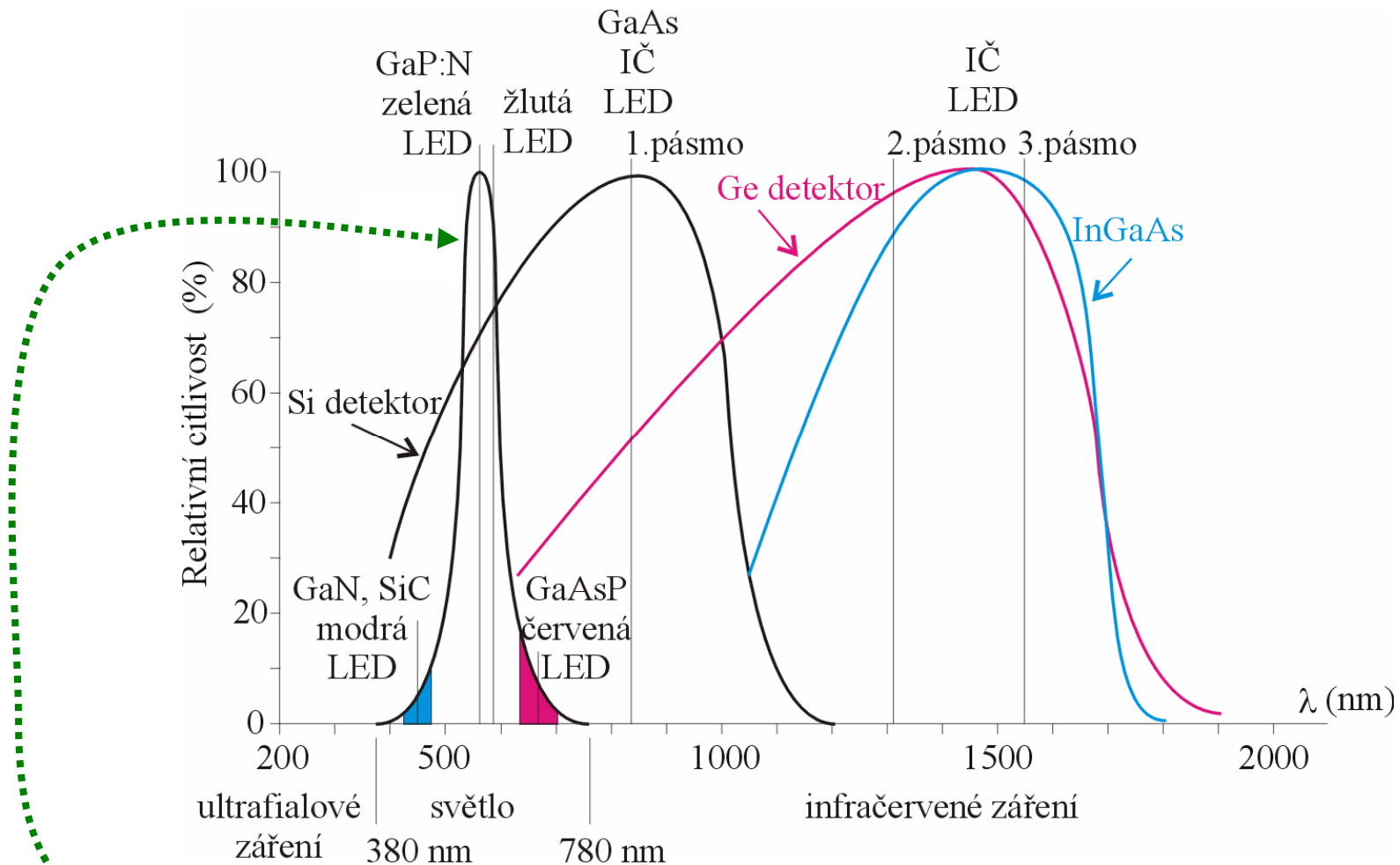
Interakce záření a polovodiče



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

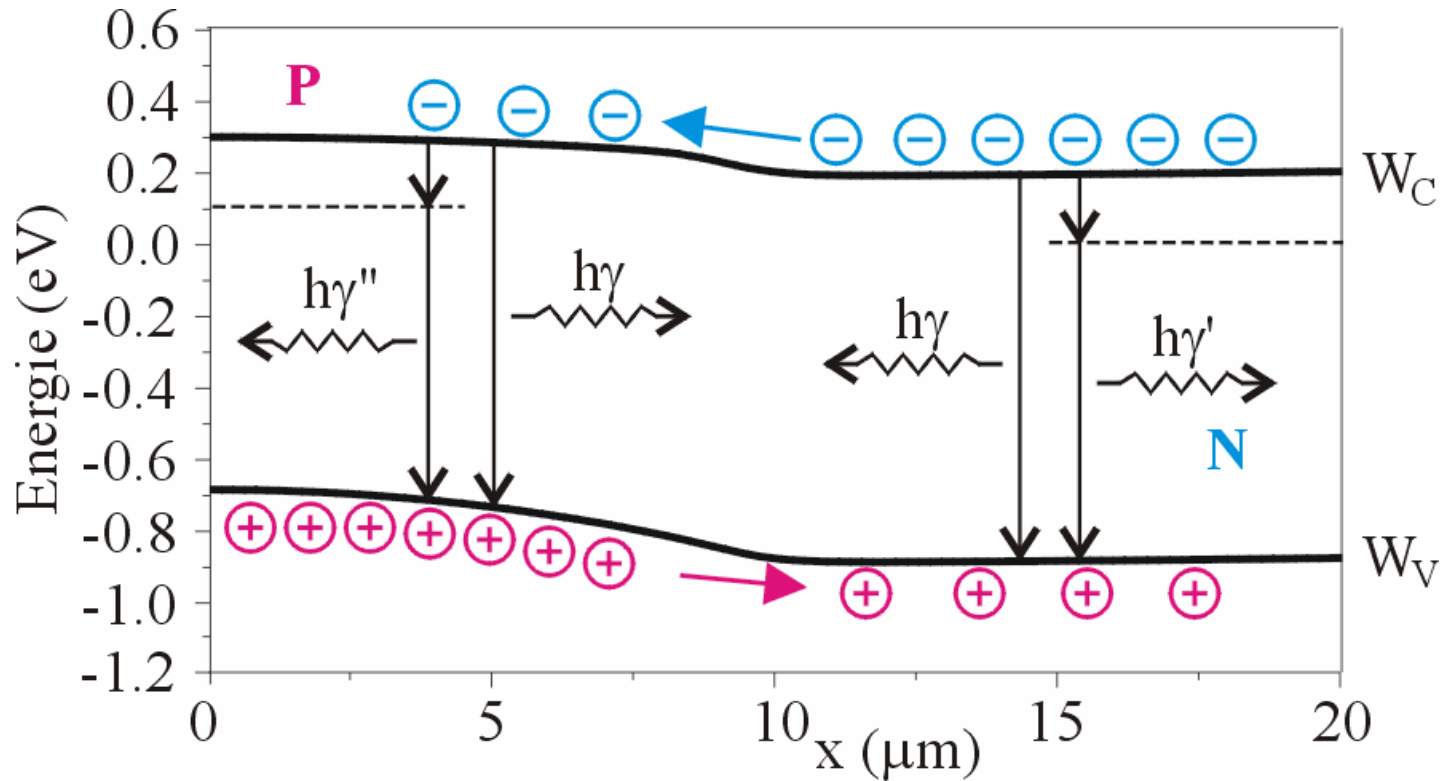
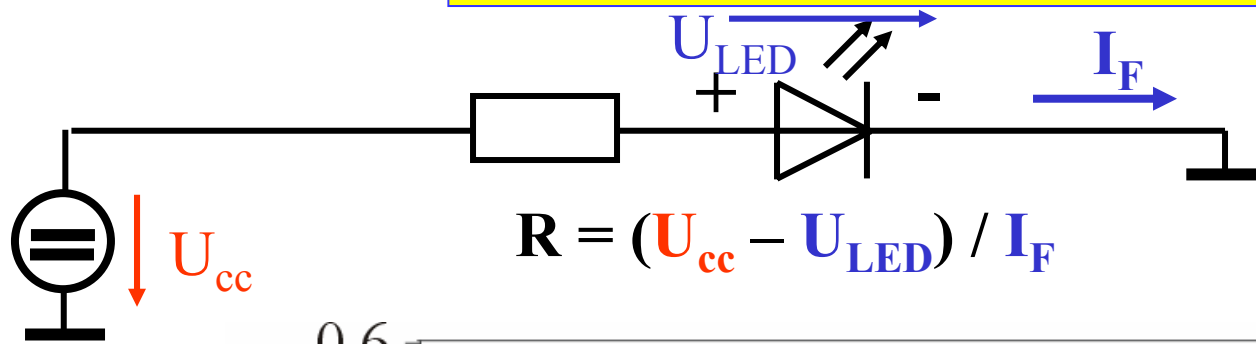
Předpověď stimulované emise \Rightarrow Počátek fyziky laserů

Zdroje a detektory záření



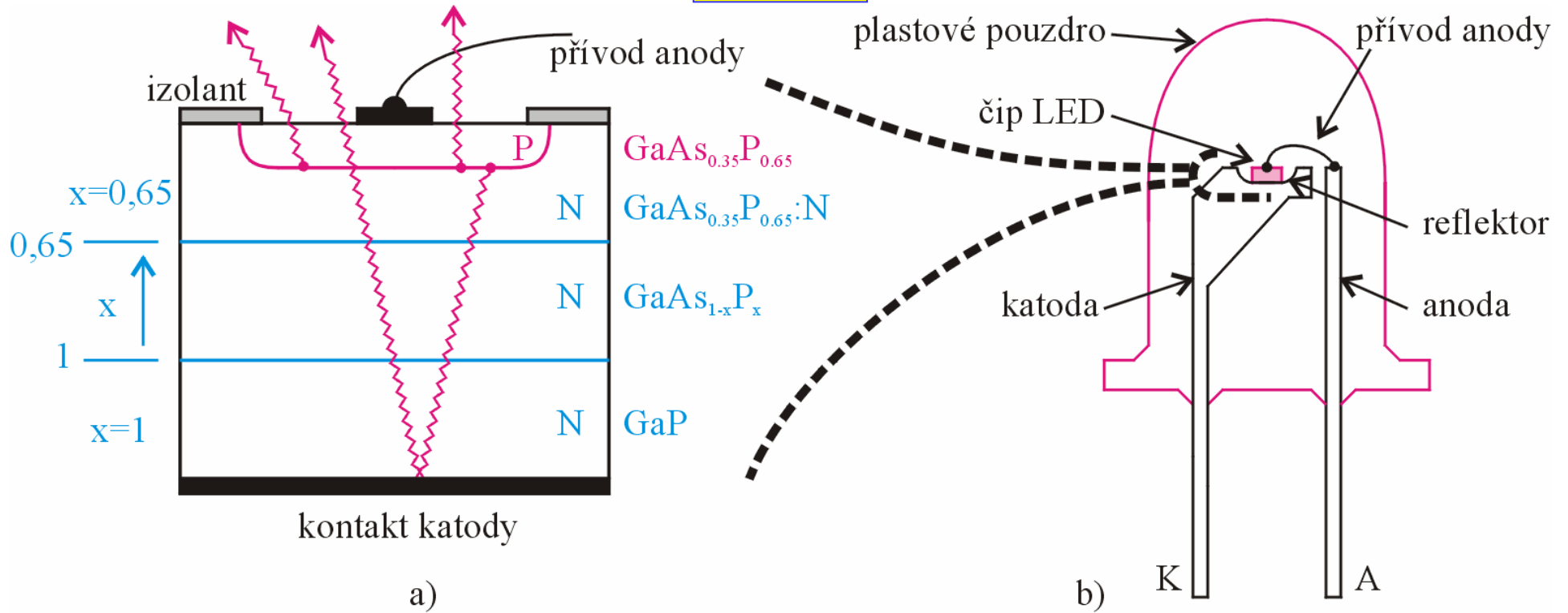
FOTONOVÁ VAZBA
zdroj - detektor

Zdroje nekoherentního záření



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 ⁺	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

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

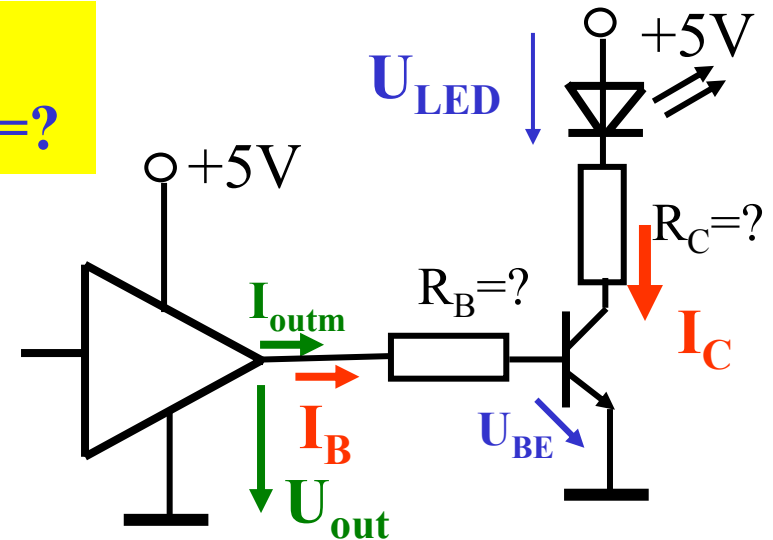
$$R_C = (U_{CC} - U_{CE\text{sat}} - U_{LED}) / I_{LED} = (5 - 0,2 - 2,2) / 0,02 = 130 \Omega$$

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



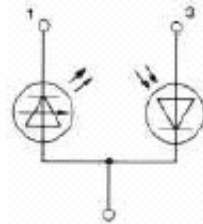
Infrared Laserdiode

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

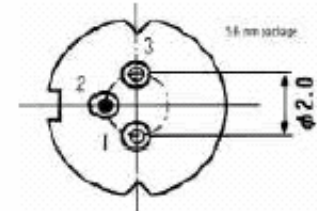
NOTE!
LASERDIODE
MUST BE COOLED!

ATTENTION
 OBSERVE PRECAUTIONS
 FOR HANDLING
 ELECTROSTATIC SENSITIVE DEVICE

PIN CONNECTION:



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



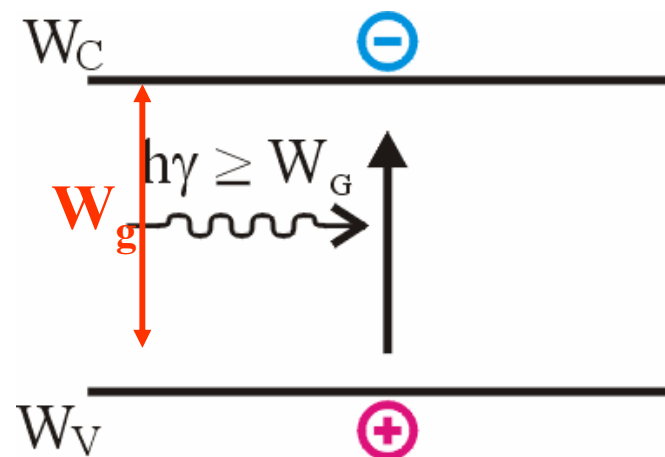
Maximum Ratings (Tc=25°C)

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}	-10 .. +40	°C
Storage Temperature	T_{sta}	-40 .. +85	°C

Optical-Electrical Characteristics (Tc = 25°C)

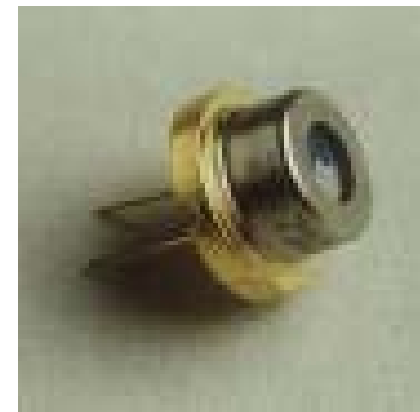
CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNIT
Threshold Current	I_{th}	cw	5	10	15	mA
Operation Current	I_{op}	$P_o = 5 \text{ mW}$	15	20	25	mA
Operation Voltage	V_{op}	$P_o = 5 \text{ mW}$	1.8	1.9	2.0	V
Lasing Wavelength	λ_p	$P_o = 5 \text{ mW}$	845	850	855	nm
Beam Divergence	$\theta_{//}$	$P_o = 5 \text{ mW}$	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	$P_o = 5 \text{ mW}, V_f = 5\text{V}$	0.3	0.5	1.0	mA

Detektory záření - fotodioda

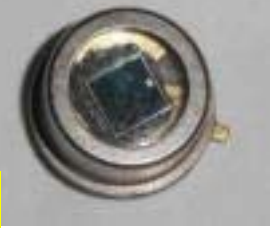


absorpce

a)



Detektory záření - fotodioda



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

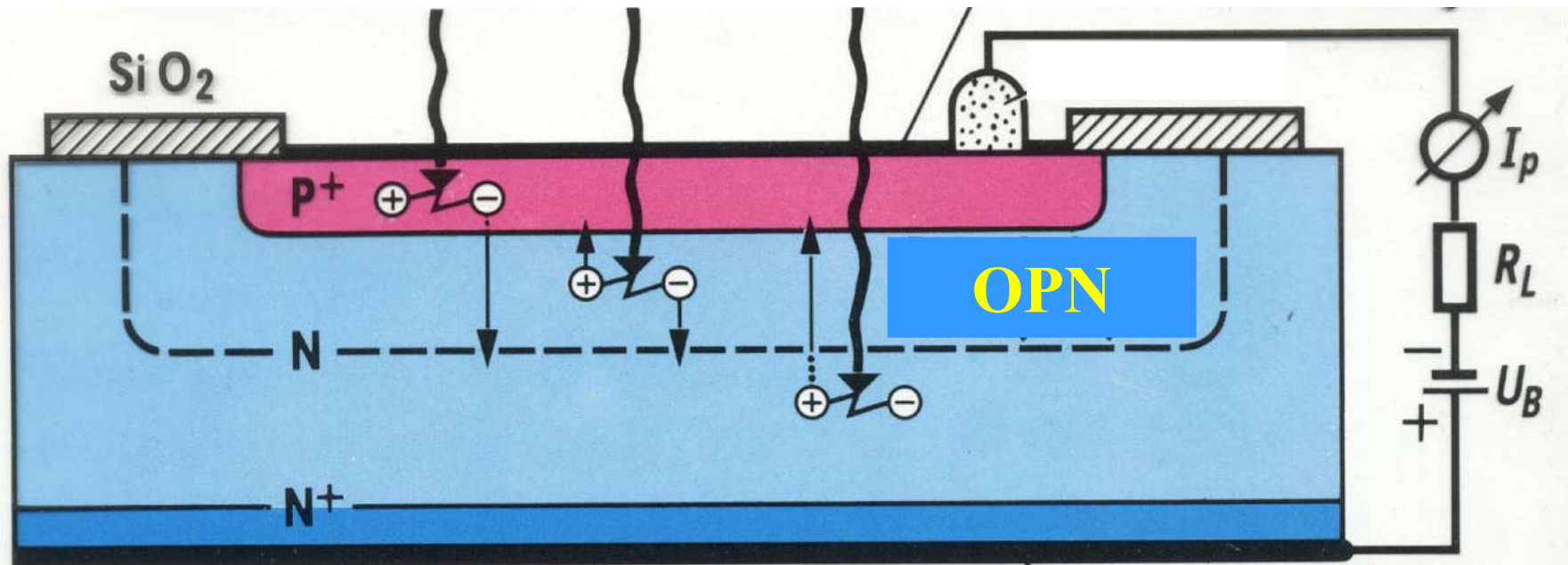


OPN svým elektrickým polem separuje elektrony a díry

⇒ VZNIKÁ FOTOPROUD

závěrný směr

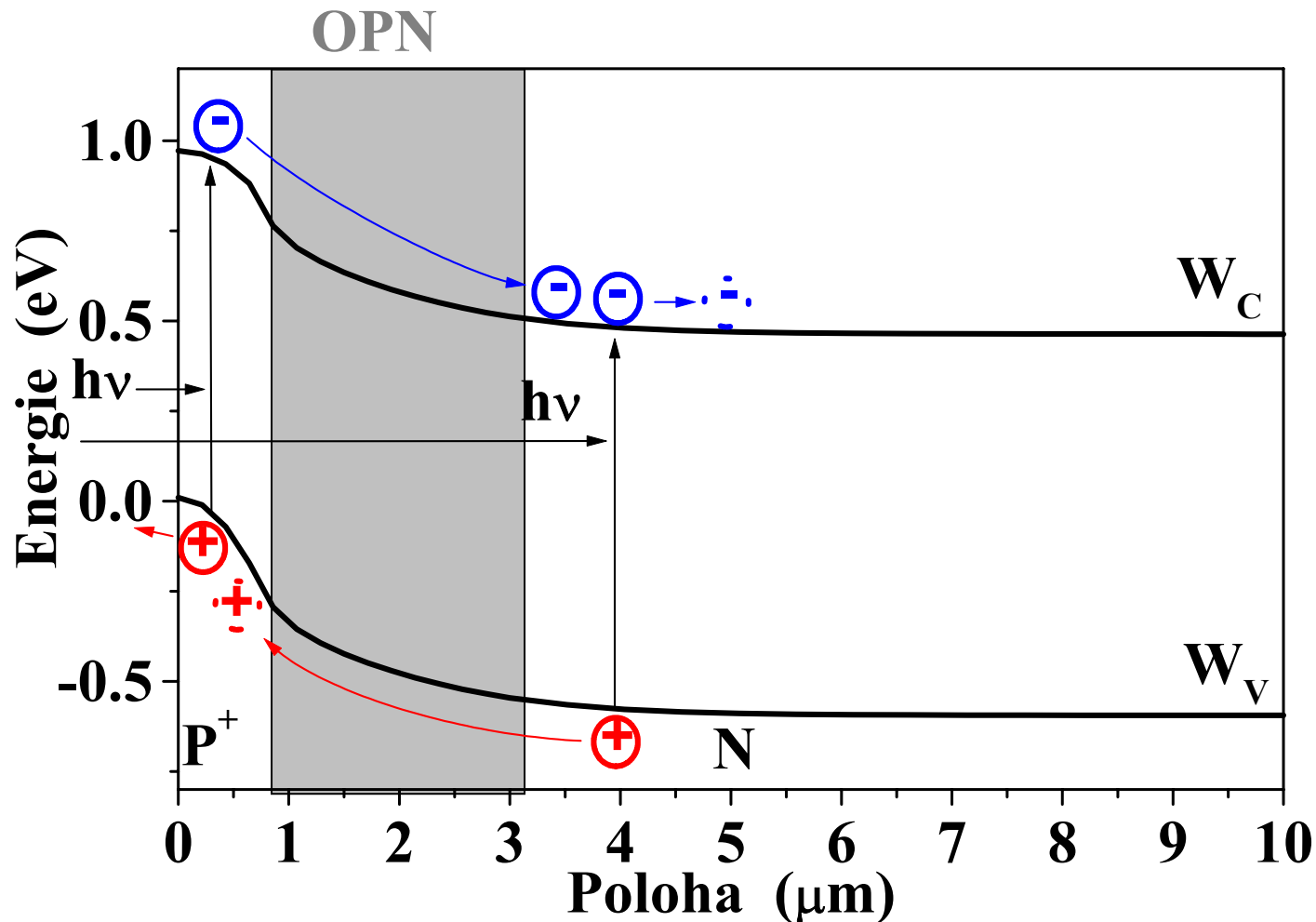
foton foton foton



Detektory záření - fotodioda

Záření absorbováno v OPN s velkou intenzitou elektrického pole.

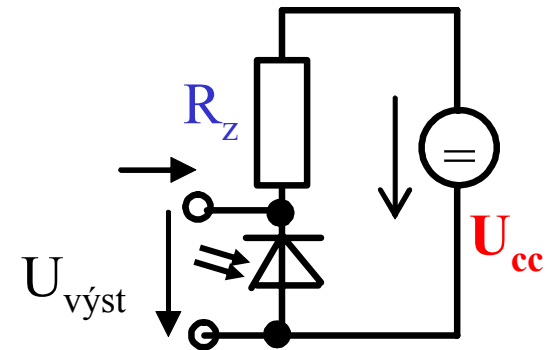
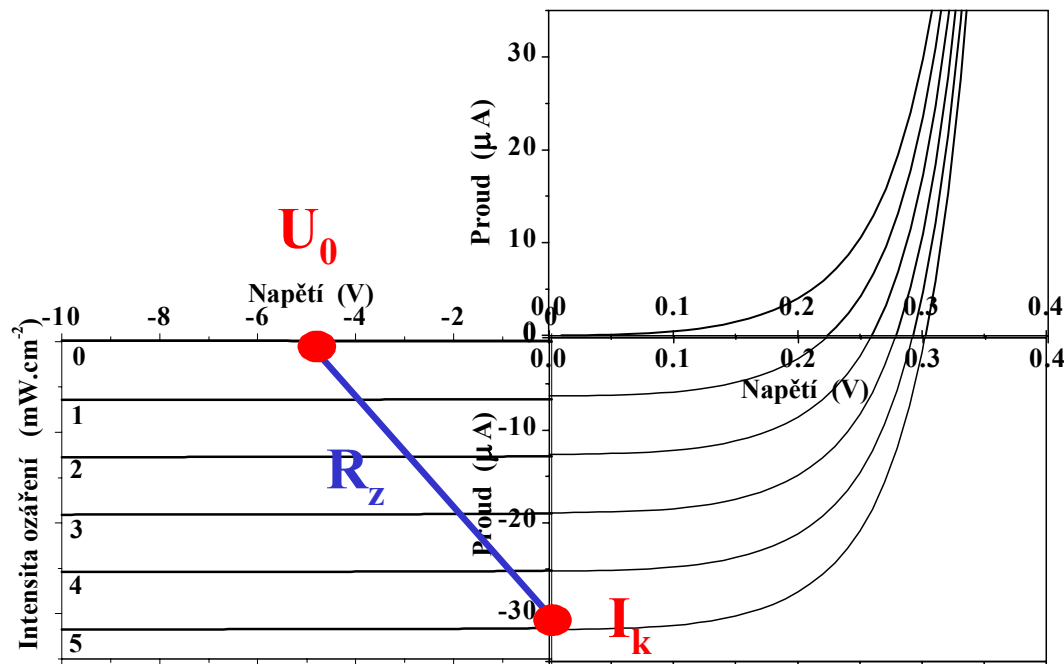
OPN je široká \Rightarrow parazitní kapacita je malá \Rightarrow odezva je rychlá



Fotodioda - fotovodivostní režim



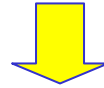
Se změnou intenzity dopadajícího záření se mění napětí $U_{\text{výst}}$ na fotodiodě.



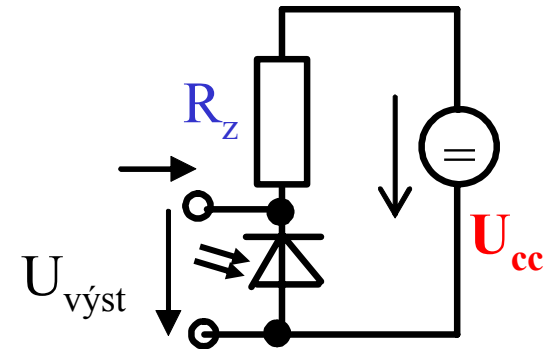
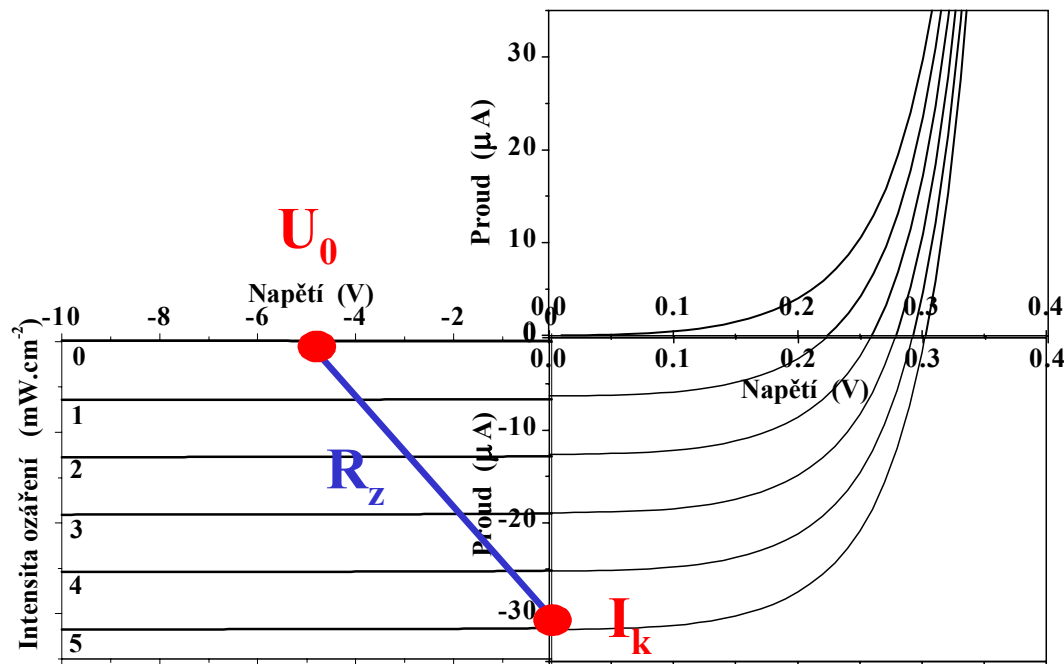
Fotodioda - fotovodivostní režim



Fotodioda zapojena jako spotřebič \Rightarrow zdroj napětí + R_z

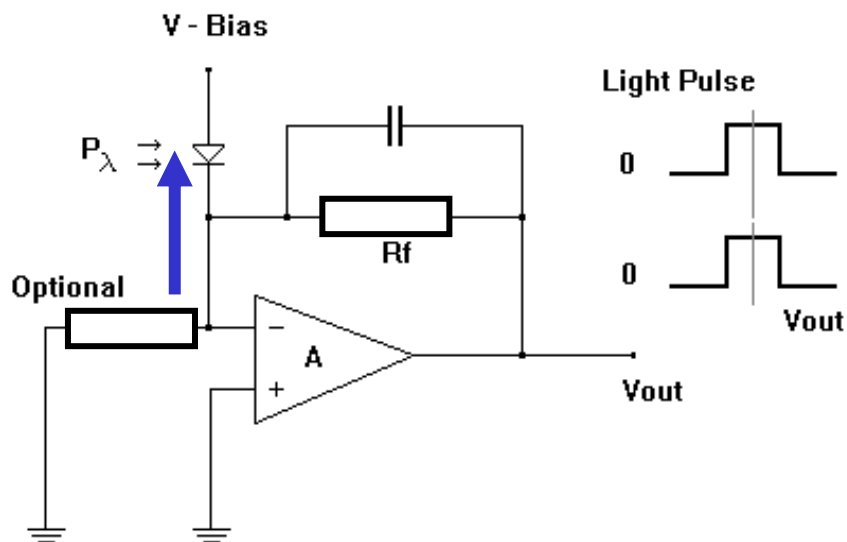


Zdroj napětí \Rightarrow existuje proud za tmy \Rightarrow menší citlivost

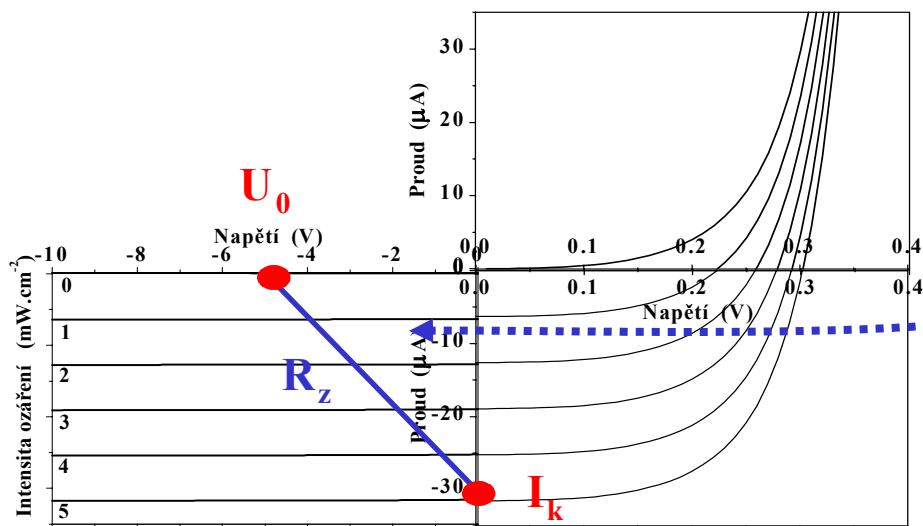
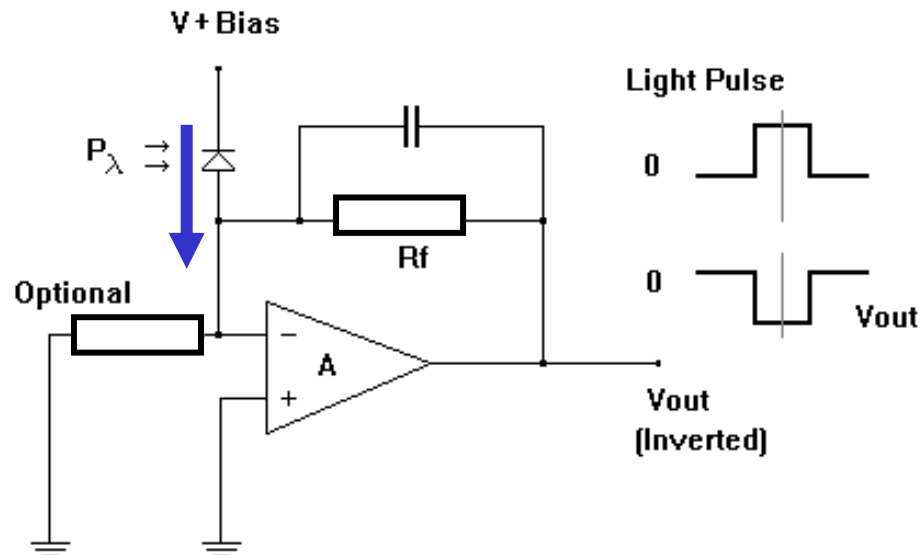


Fotovodivostní režim - zapojení

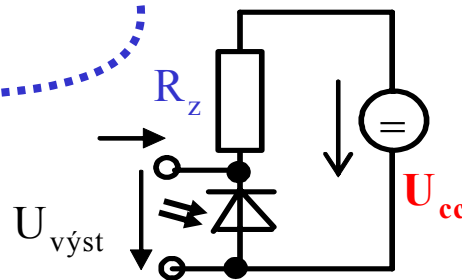
Negative Bias Circuit



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.

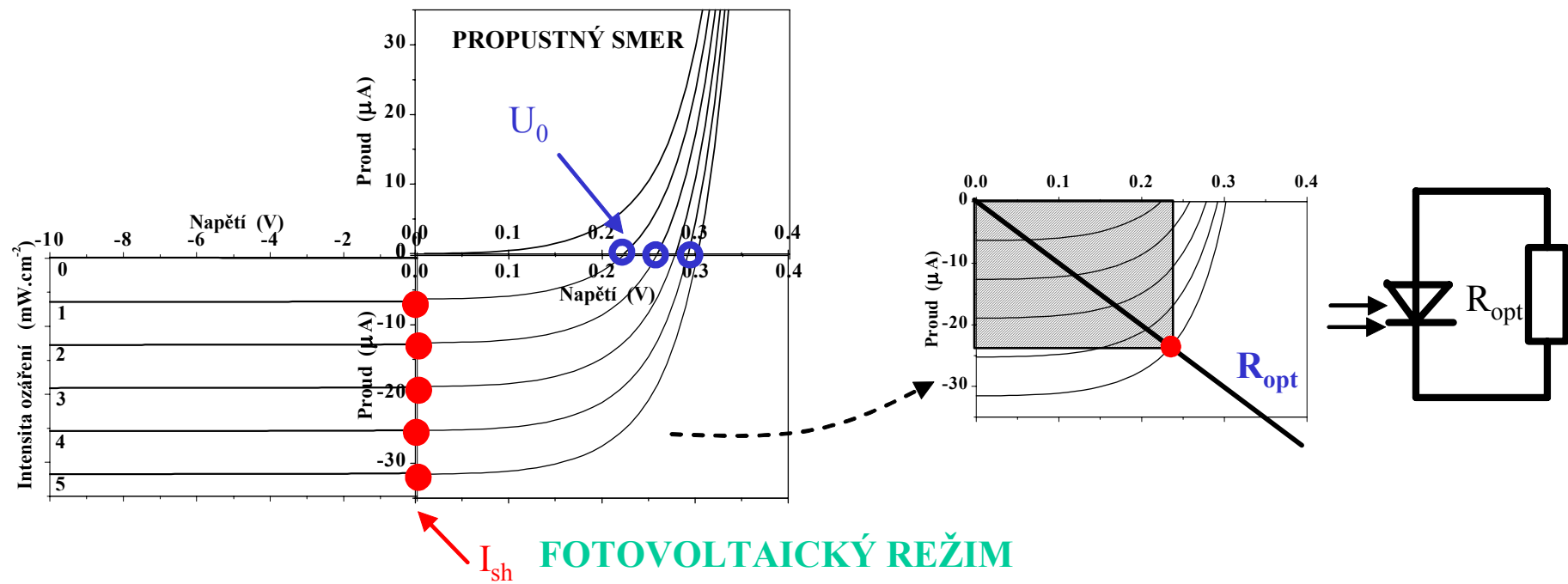
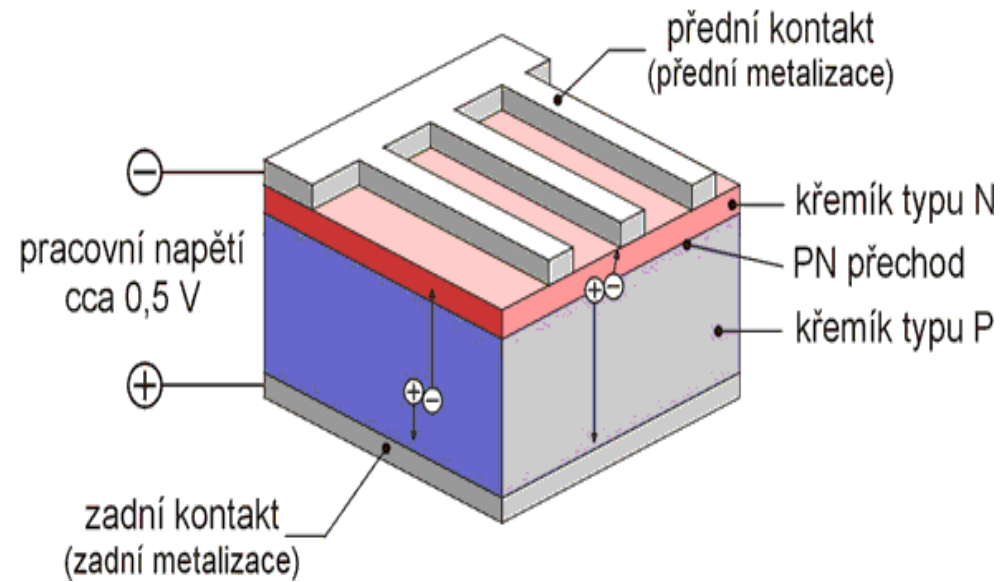
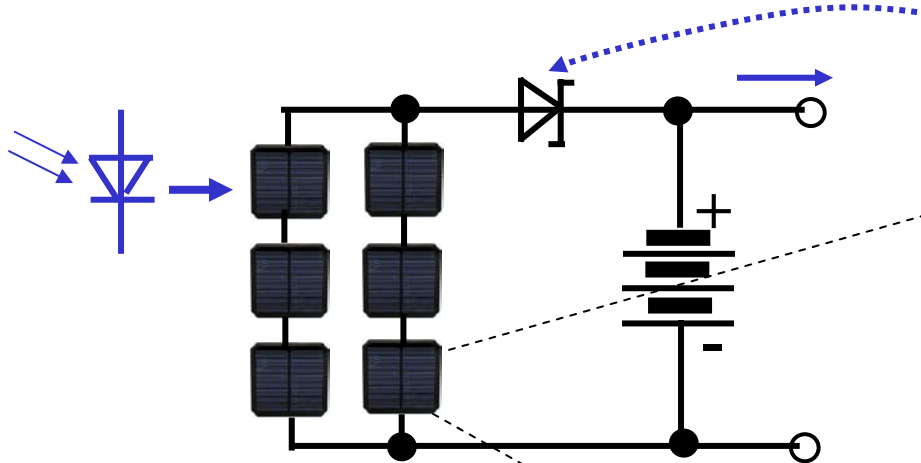
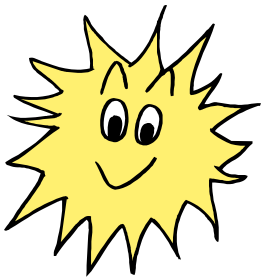


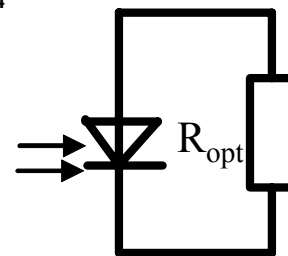
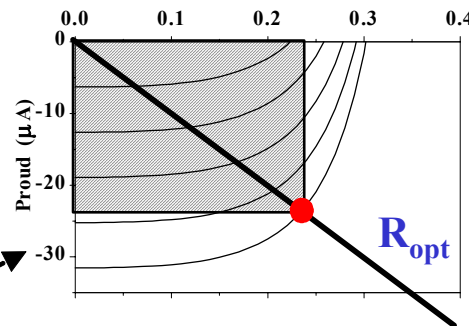
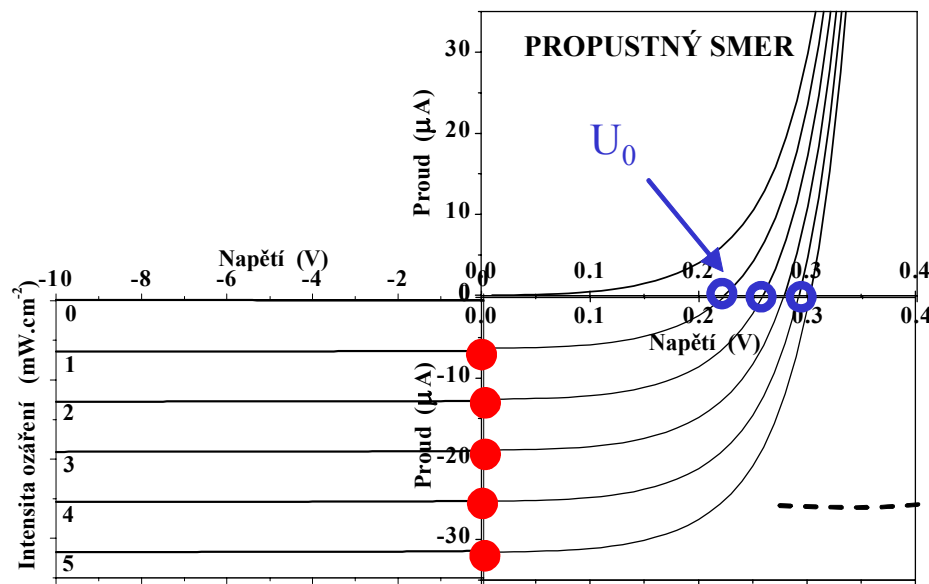
Schéma slunečního článku



Fotovoltaický režim – sluneční článek

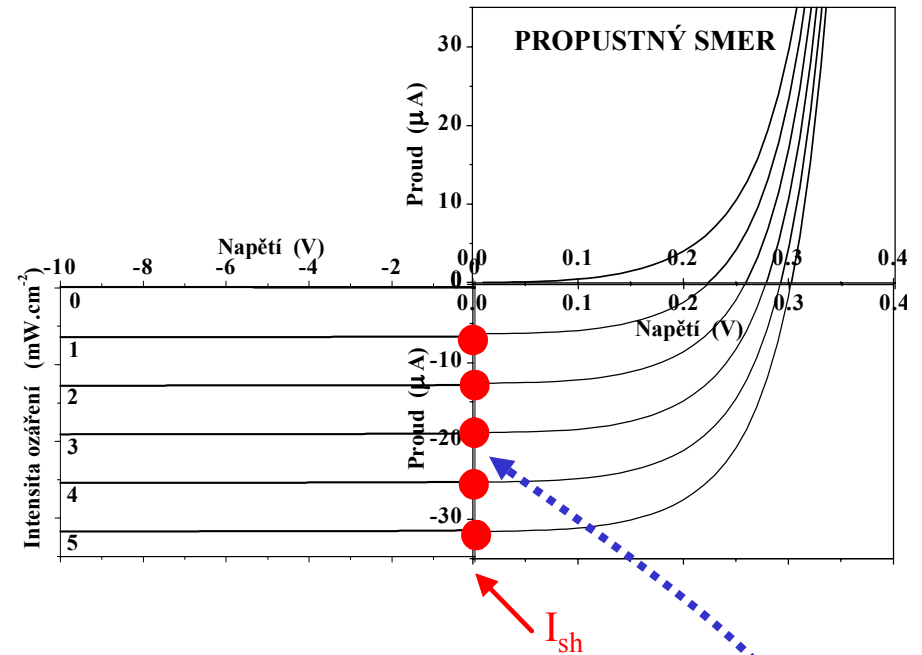
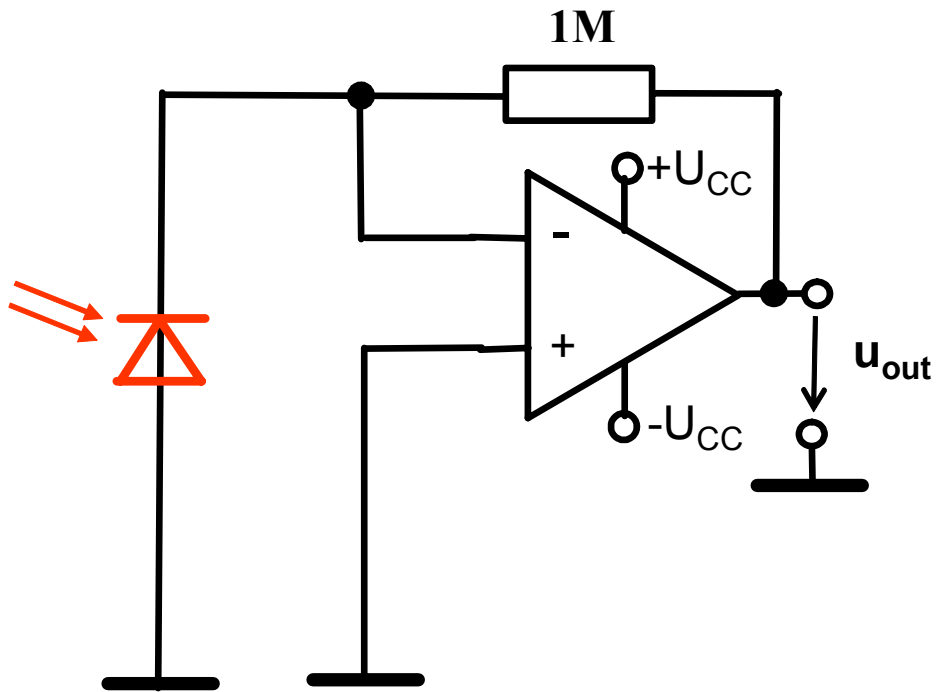


dioda brání vybíjení baterie



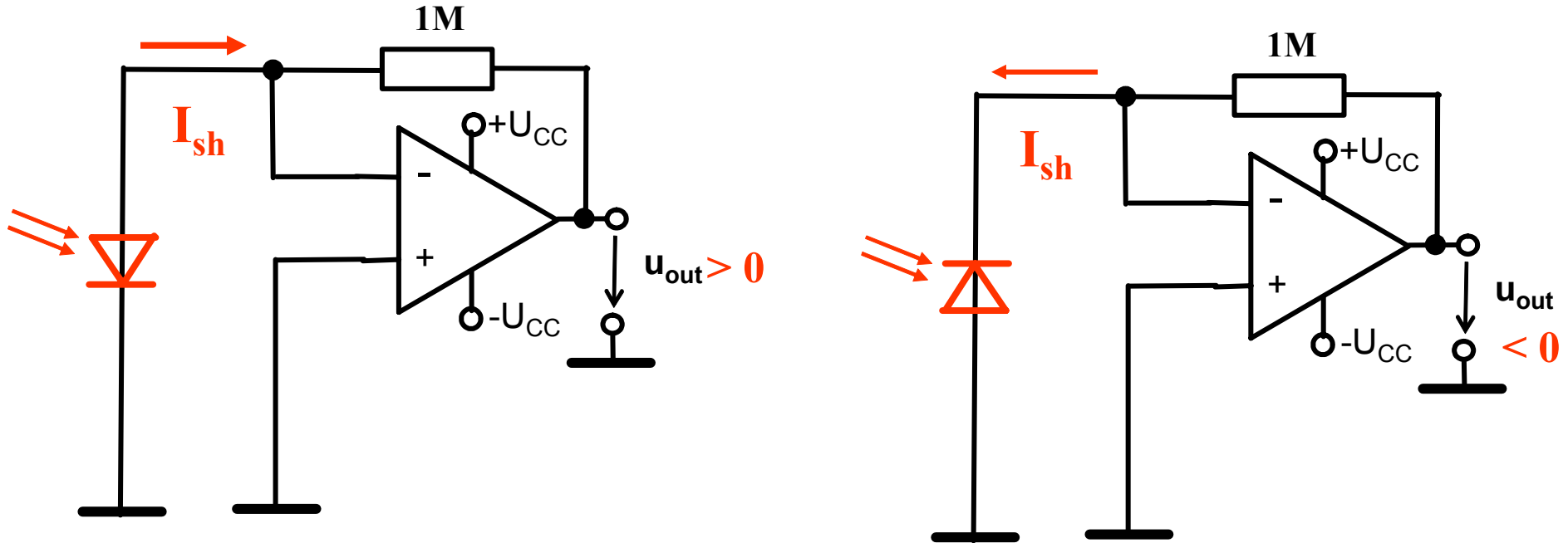
FOTOVOLTAICKÝ REŽIM

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 $1 \mu A$ fotoproudu 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