

# SNÍMÁNÍ OBRAZU



**Kurz:**       **VIDEOTECHNIKA A MULTIMÉDIA**

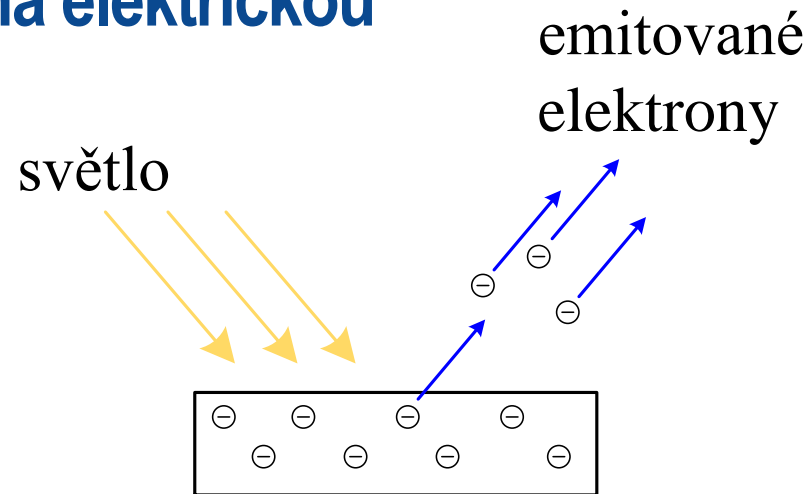
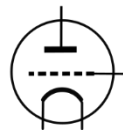
---

**Lektor:**     Kamil Říha

# Princip převodu světelné energie na elektrickou

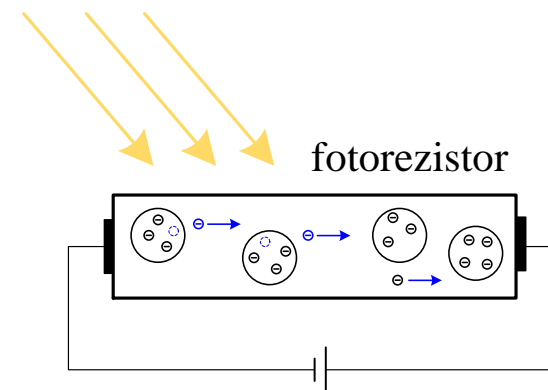
## Vnější fotoelektrický jev:

- při dopadu fotonu na povrch některých kovů jsou z povrchu tohoto materiálu emitovány elektrony
- využito u snímacích elektronek ve formě fotoemisní vrstvy na anodě



## Vnitřní fotoelektrický jev:

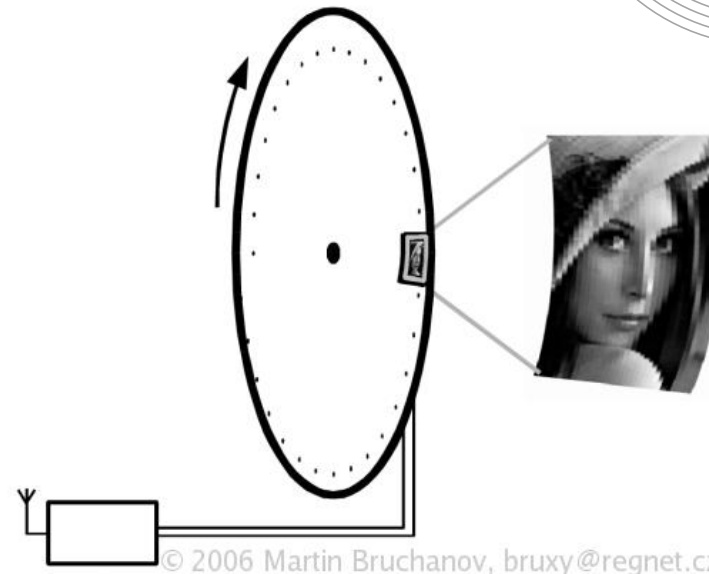
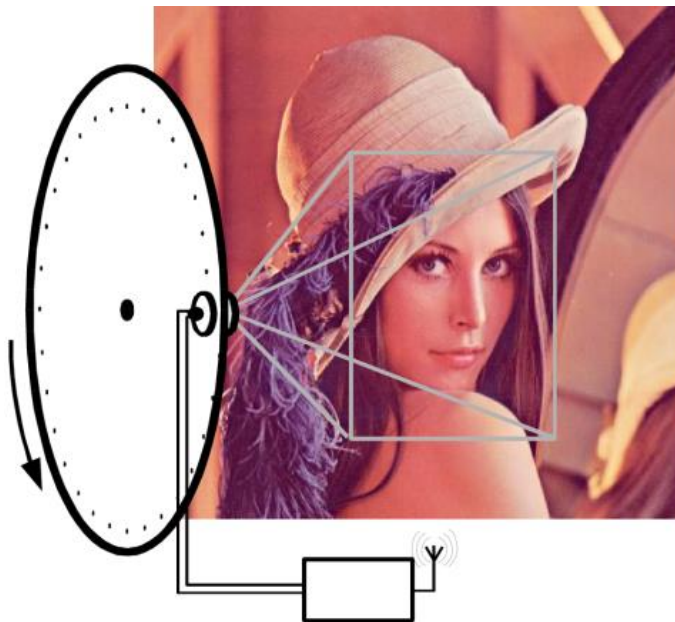
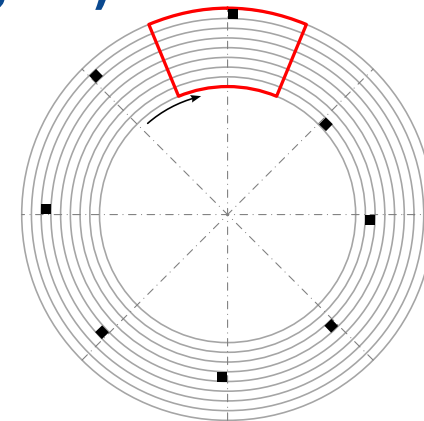
- uvolněné elektrony zůstávají v materiálu jako vodivostní elektrony
- zejména polovodiče, v nichž jsou tímto způsobem uvolňovány elektrony
- typicky z přechodu PN (solární články)



# První řádkový rozklad (převod obrazu na 1D signál)

Nipkowův kotouč (1884):

- využívá jeden senzor (neakumulační princip)
- počet otvorů odpovídá počtu řádků



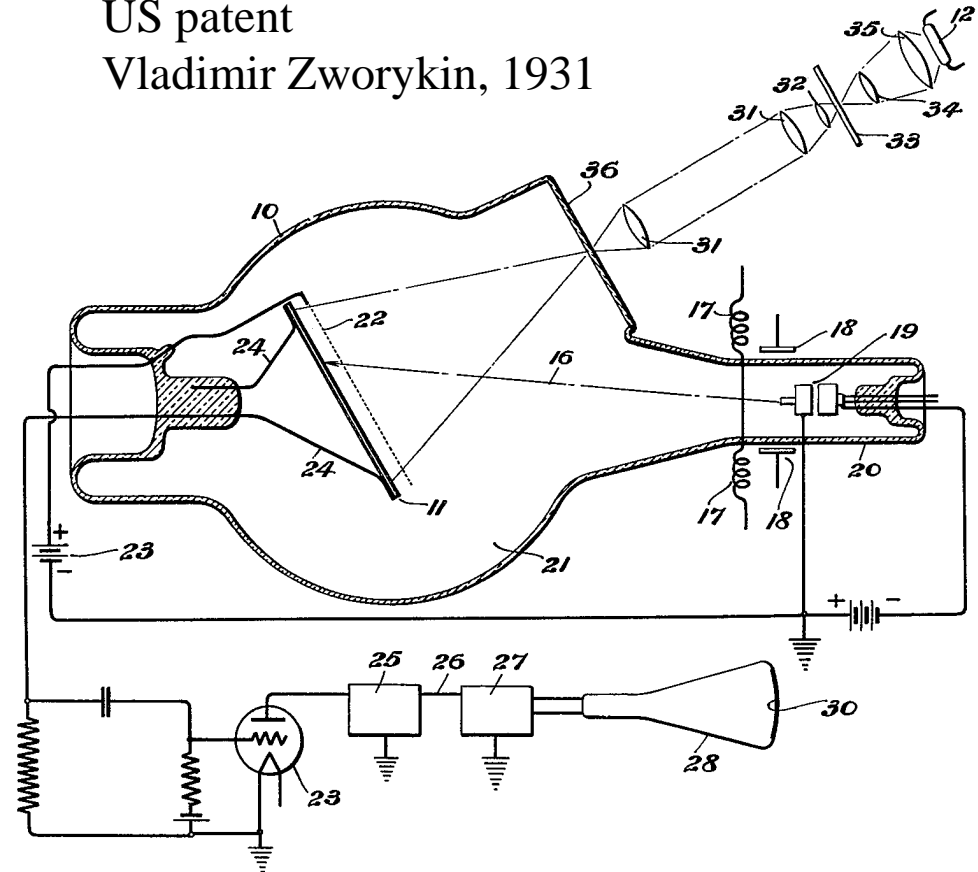
© 2006 Martin Bruchanov, bruxy@regnet.cz

# Snímací elektronky

## Ikonoskop (fotoemisní):

- první širěji využívaná
- akumulační princip
- diskrétní pole fotocitlivých prvků (kapacitorů) se postupně nabíjí elektronovým paprskem
- za dobu jednoho snímku se buňky ve tmě vybijí
- osvětlená buňka zůstává nabitá díky fotoemisi
- nabíjecí proud inverzně definuje osvětlení elementu

US patent  
Vladimir Zworykin, 1931

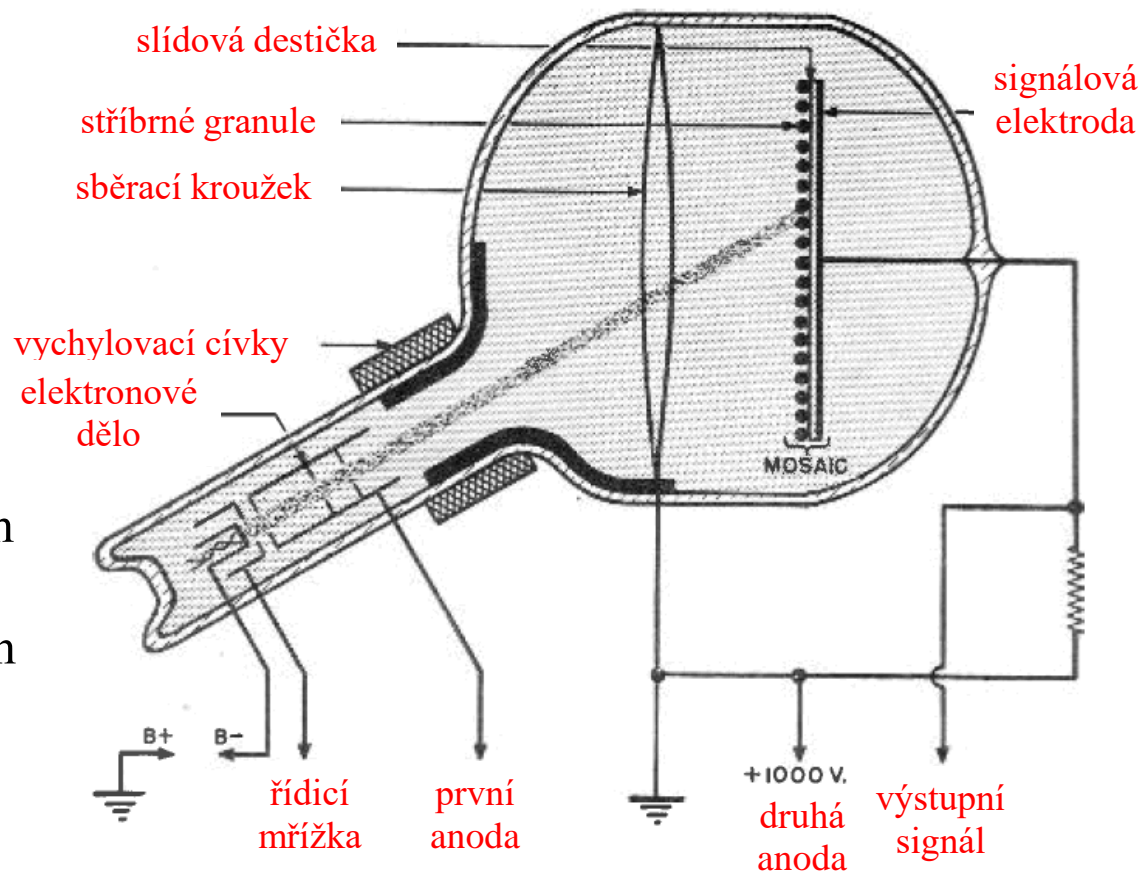


By Vladimir Zworykin (US patent 2021907, Fig. 1) [Public domain], via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

# Snímací elektronky

## Ikonoskop - princip:

- slídová destička s rastrem fotosenzitivních granulí - pixelů
- buňka ze stříbra s vrstvou cesia
- stříbrná signálová elektroda
- elektronové dělo dodává buňkám konstantní množství náboje
- světlo emituje náboj, který při opětovném nabití buňky paprskem zůstává nevyužit a odráží se do trubice, kde je zachycen kroužkem
- náboj odpovídá osvětlení dané buňky a způsobí anodový proud, který je invertován jako výstup

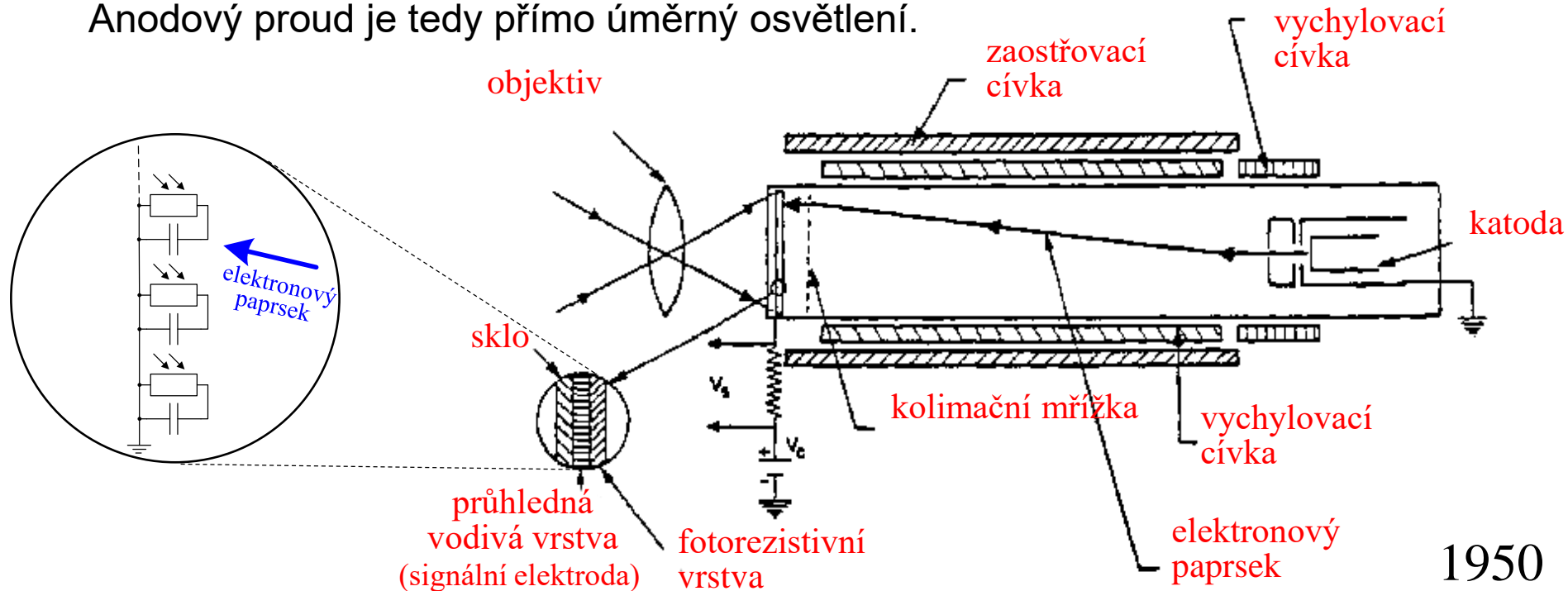


By Edward M. Noll [Public domain], via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

# Snímací elektronky

**Vidikon (fotorezistivní):** akumulární princip, speciální fotorezistivní vrstva (spojitá, ale s potlačenou podélnou vodivostí s příčnou kapacitou) vybíjí síť paralelních kapacitorů, která je nabíjena elektronovým paprskem.

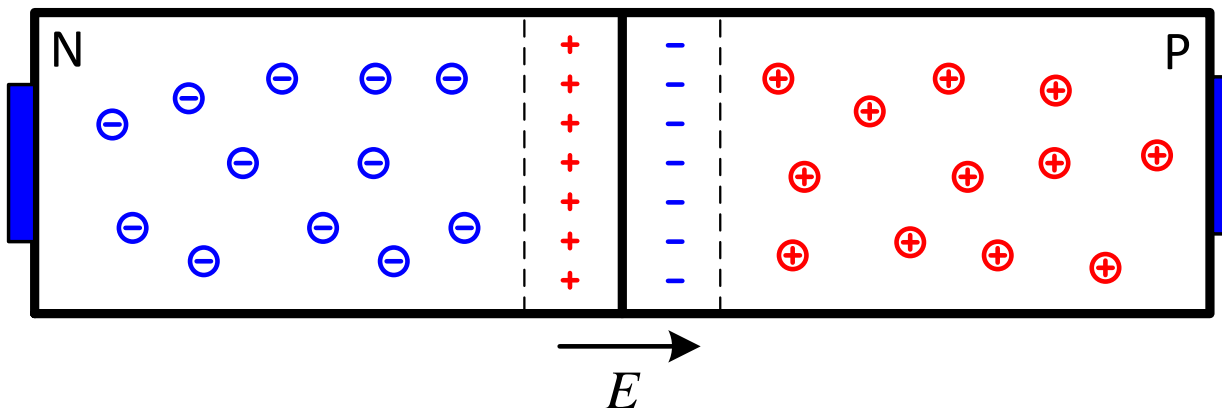
Anodový proud je tedy přímo úměrný osvětlení.



1950

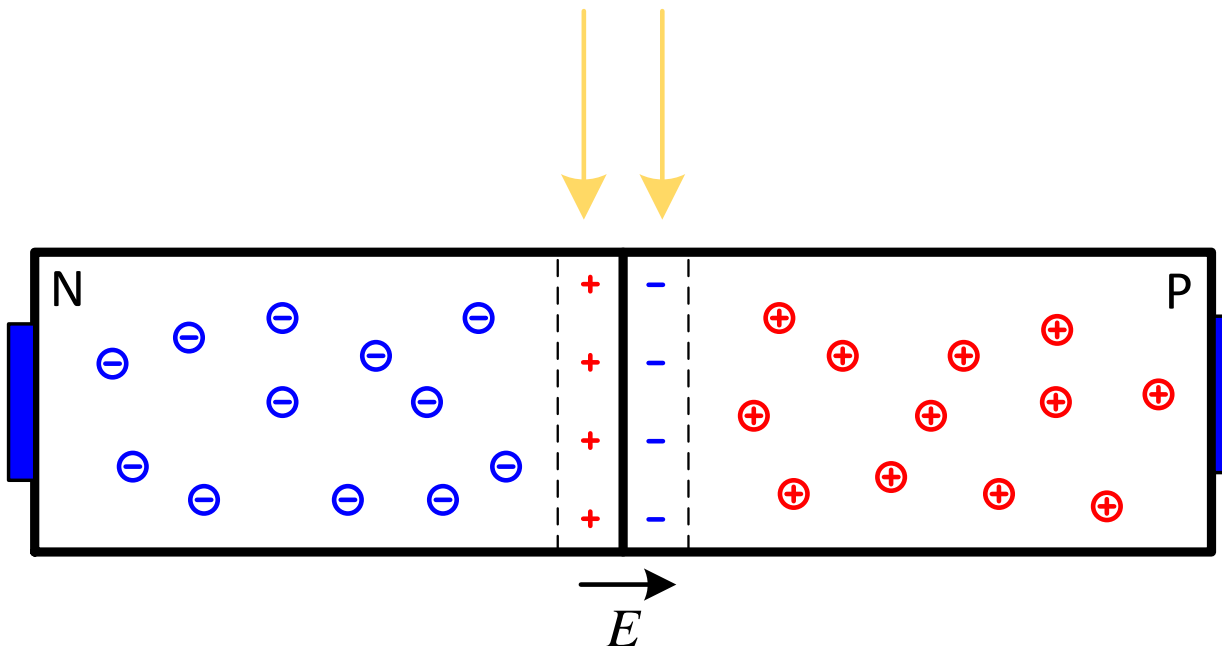
# Fotoelektrický jev na PN přechodu: fotodioda

(opakování)



# Fotoelektrický jev na PN přechodu: fotodioda

(opakování)

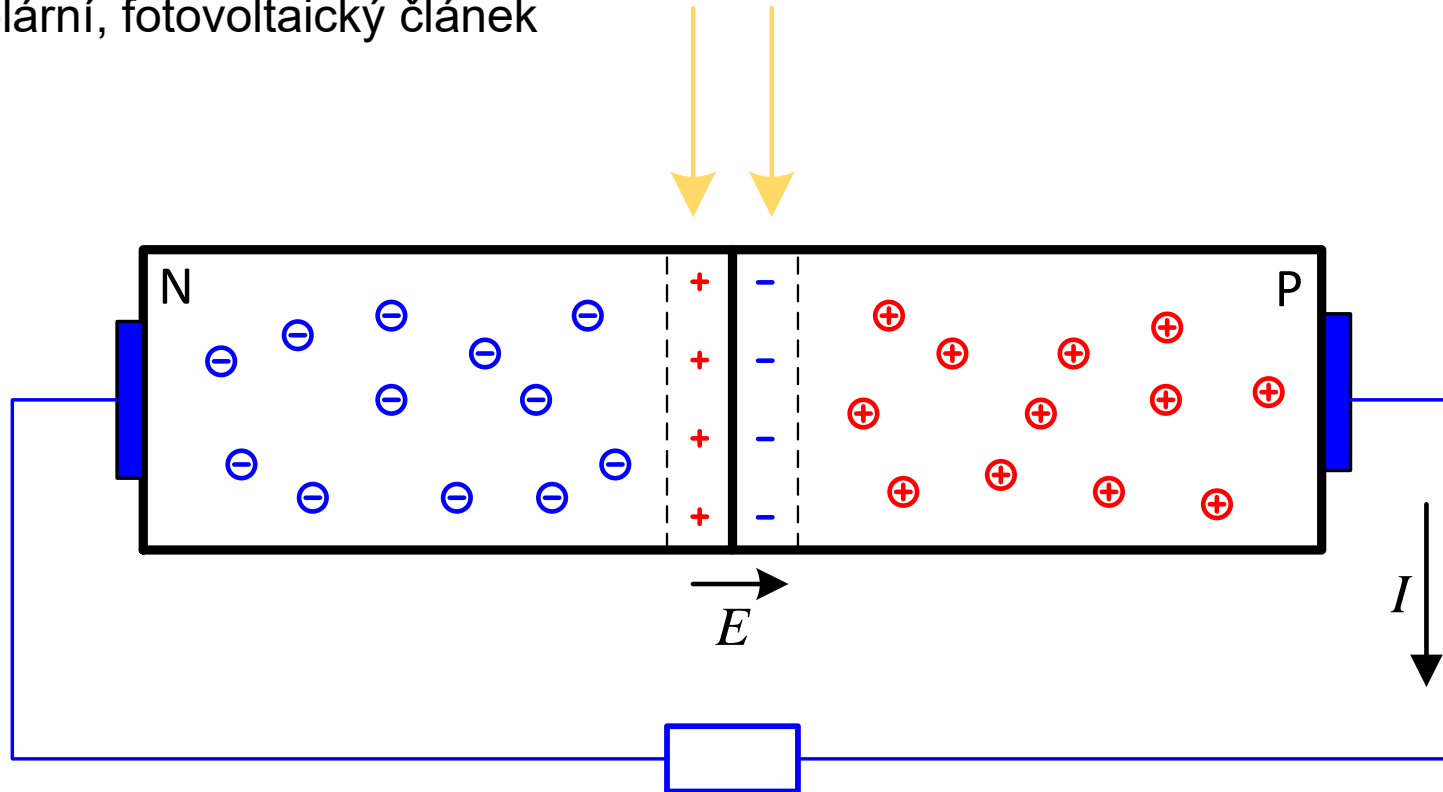




# Fotoelektrický jev na PN přechodu: fotodioda

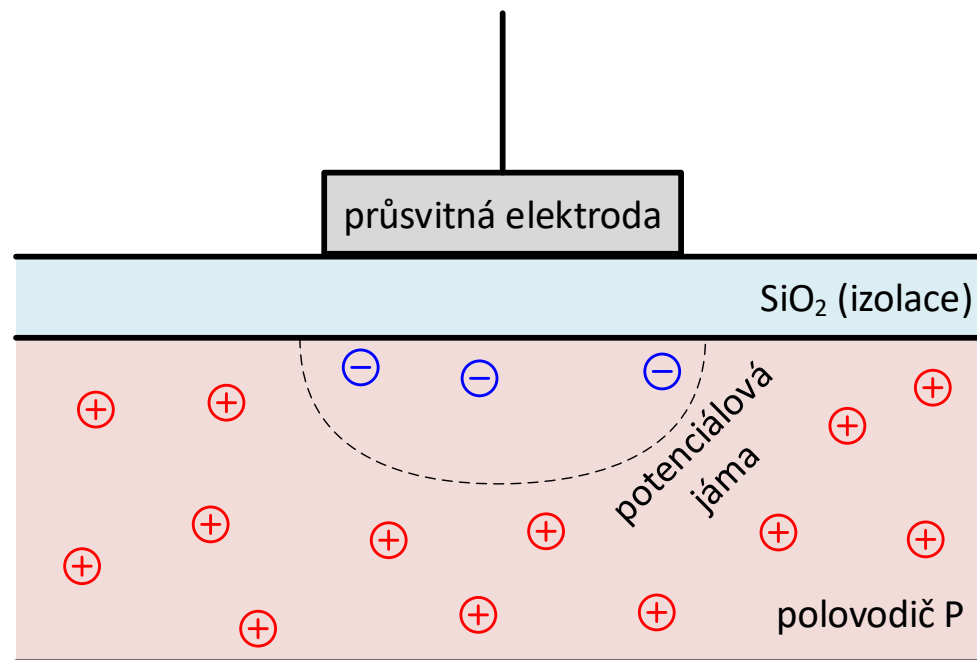
(opakování)

- solární, fotovoltaický článek



# CCD (Charge Coupled Devices)

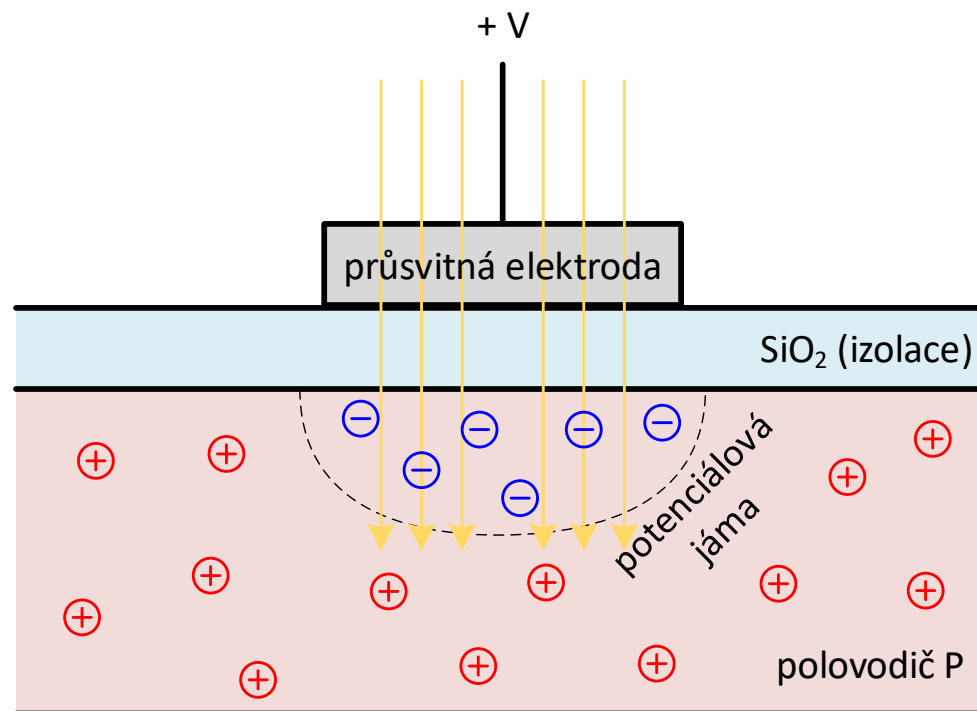
## Princip elementární buňky



# CCD (Charge Coupled Devices)

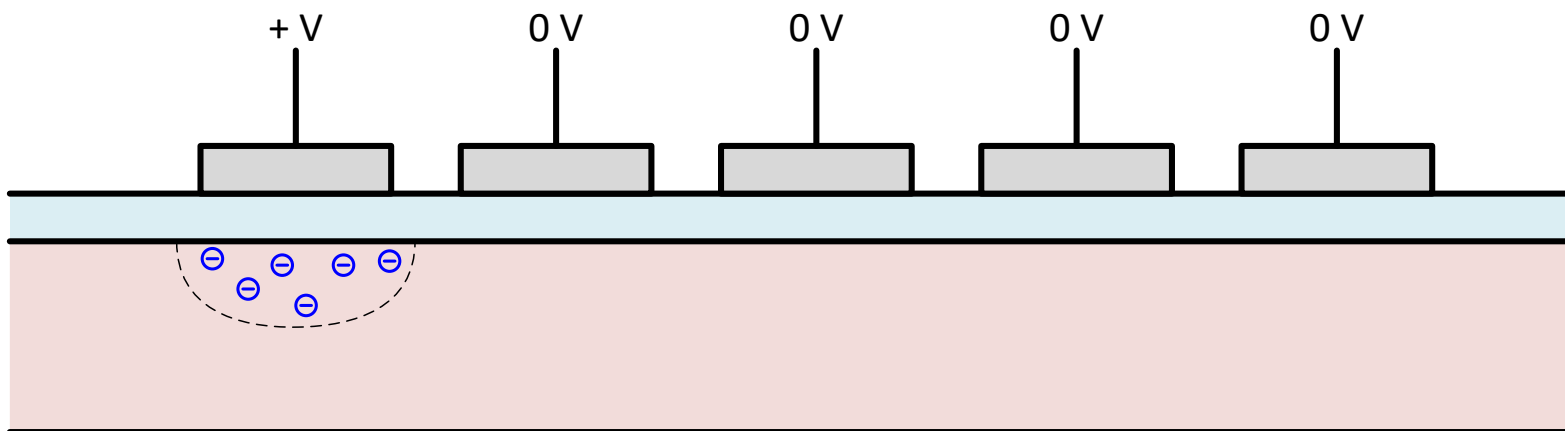
Princip elementární buňky:

- světelná energie uvolňuje elektrony
- elektrony se shromažďují pod elektrodou
- množství elektronů v potenciálové jámě je přímo úměrné intenzitě a době osvětlení polovodiče
- po naplnění jámy na maximum dojde saturaci („přepal“)
- problémem je „čtení“ náboje z pole elementárních buněk

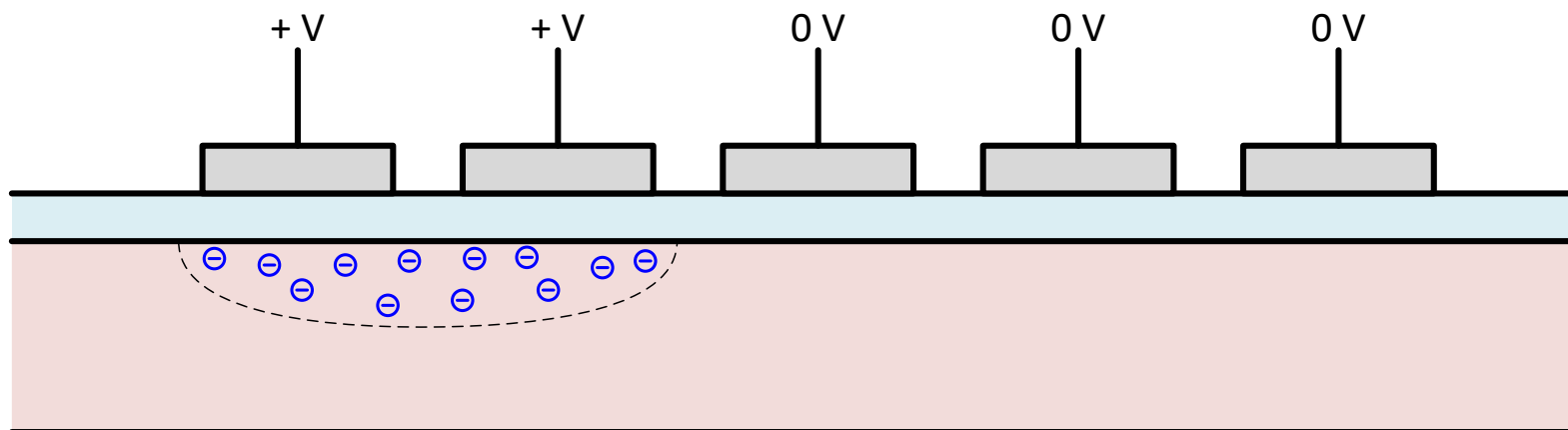


# Princip čtení z nábojově vázaného registru

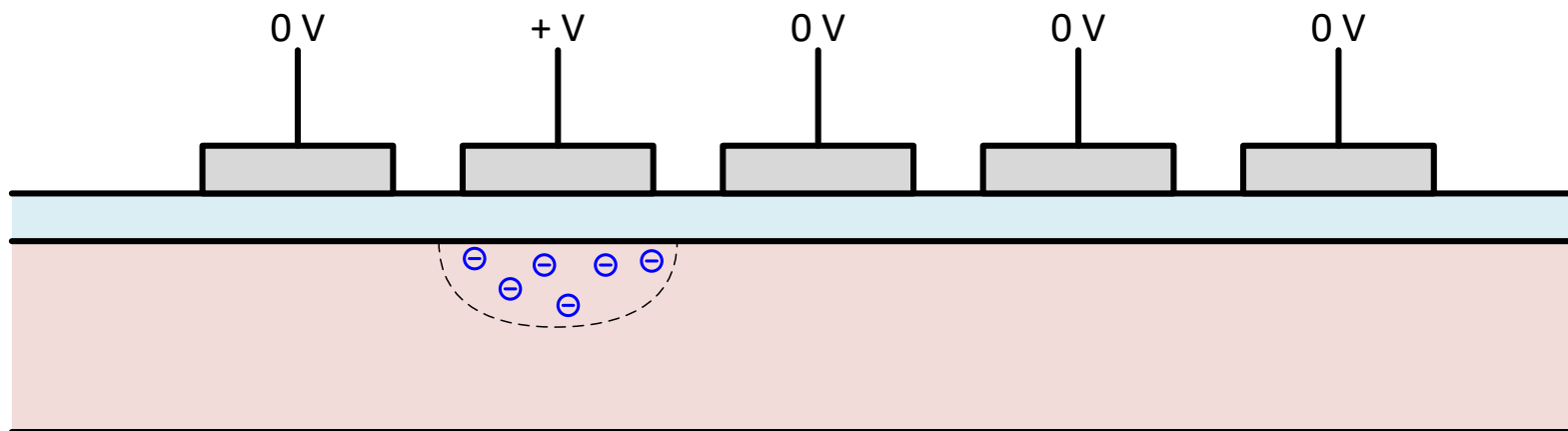
fáze integrace náboje pod elektrodou



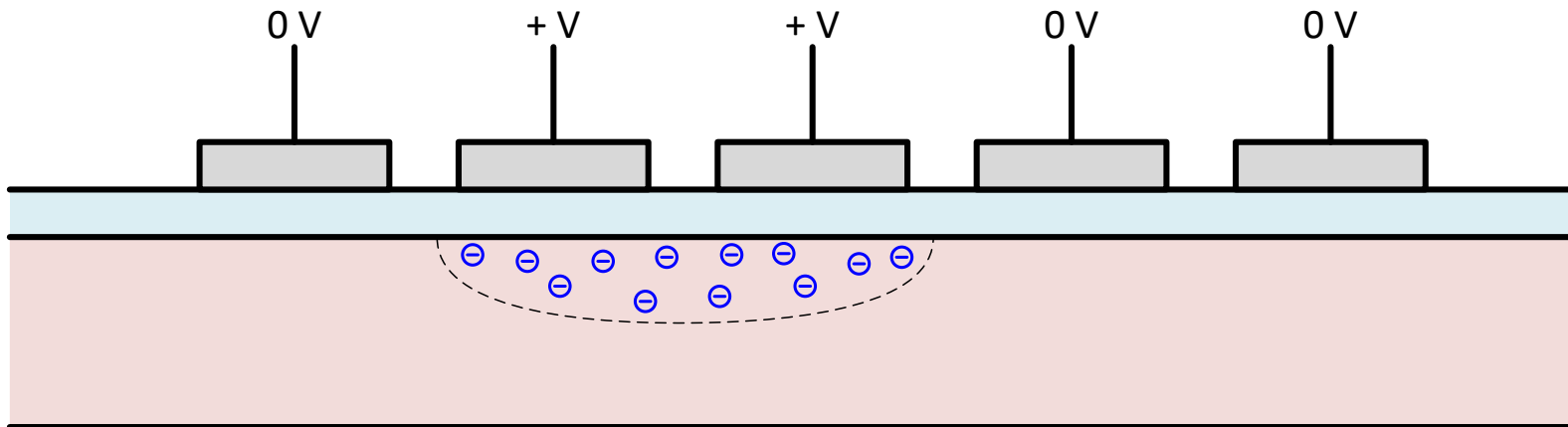
# Princip čtení z nábojově vázaného registru



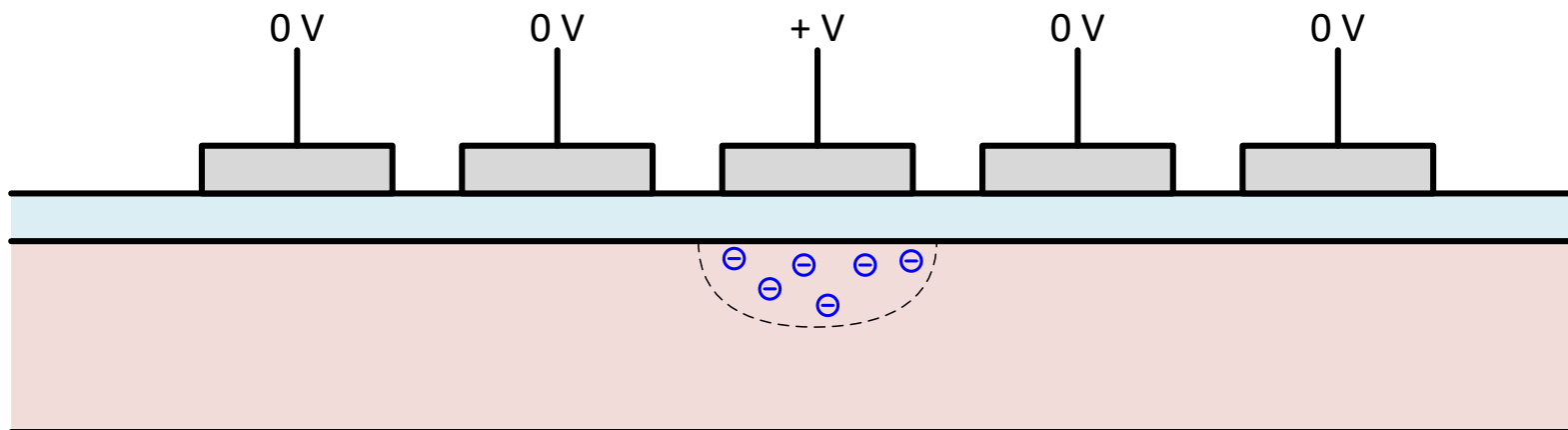
# Princip čtení z nábojově vázaného registru



# Princip čtení z nábojově vázaného registru

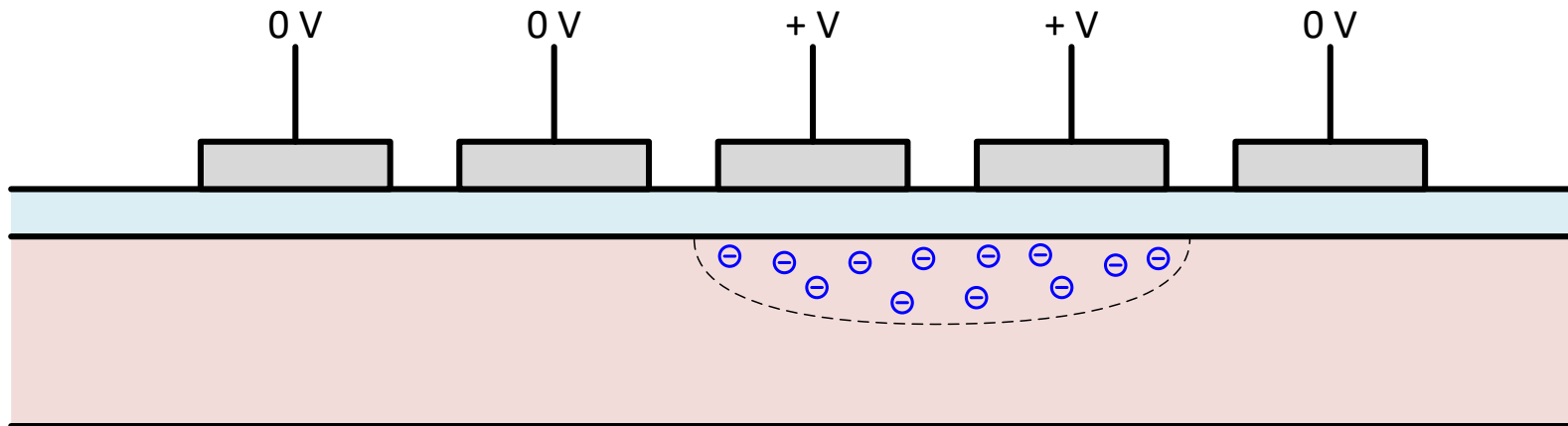


# Princip čtení z nábojově vázaného registru

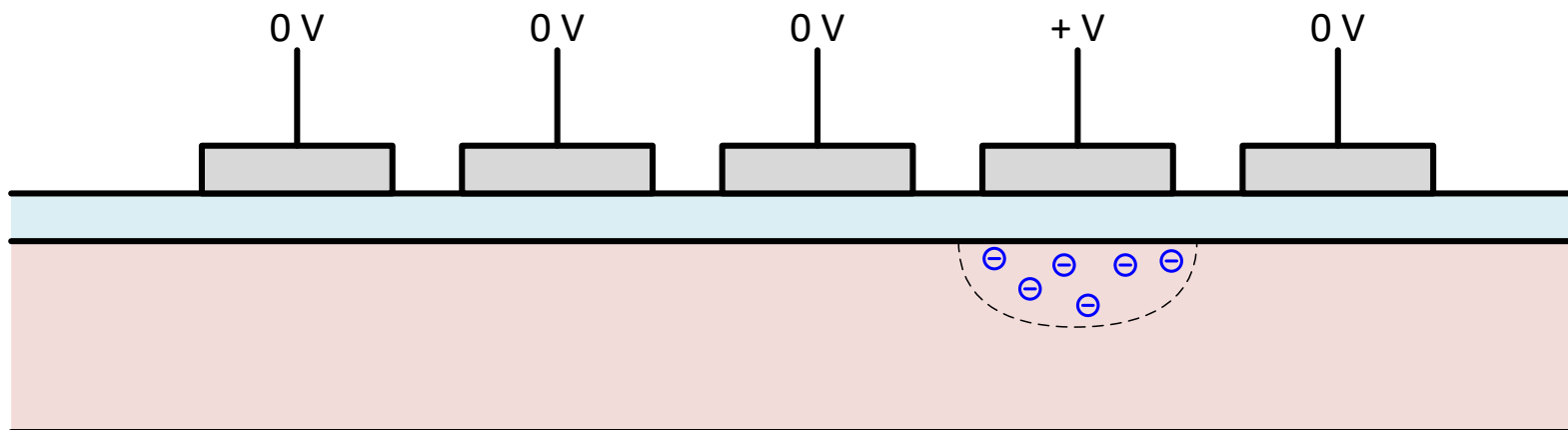




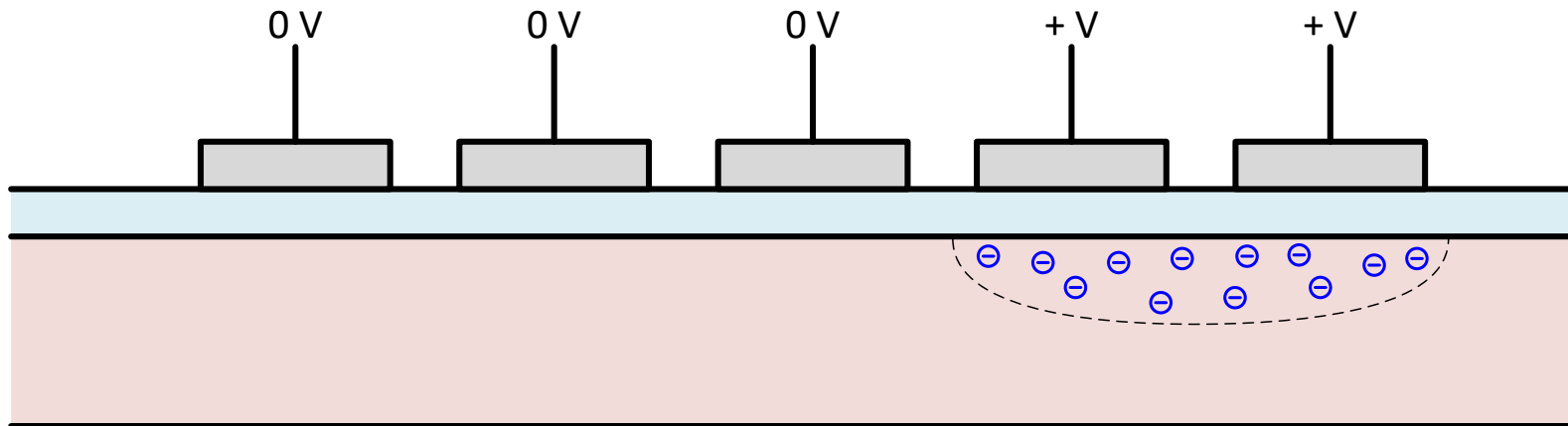
# Princip čtení z nábojově vázaného registru



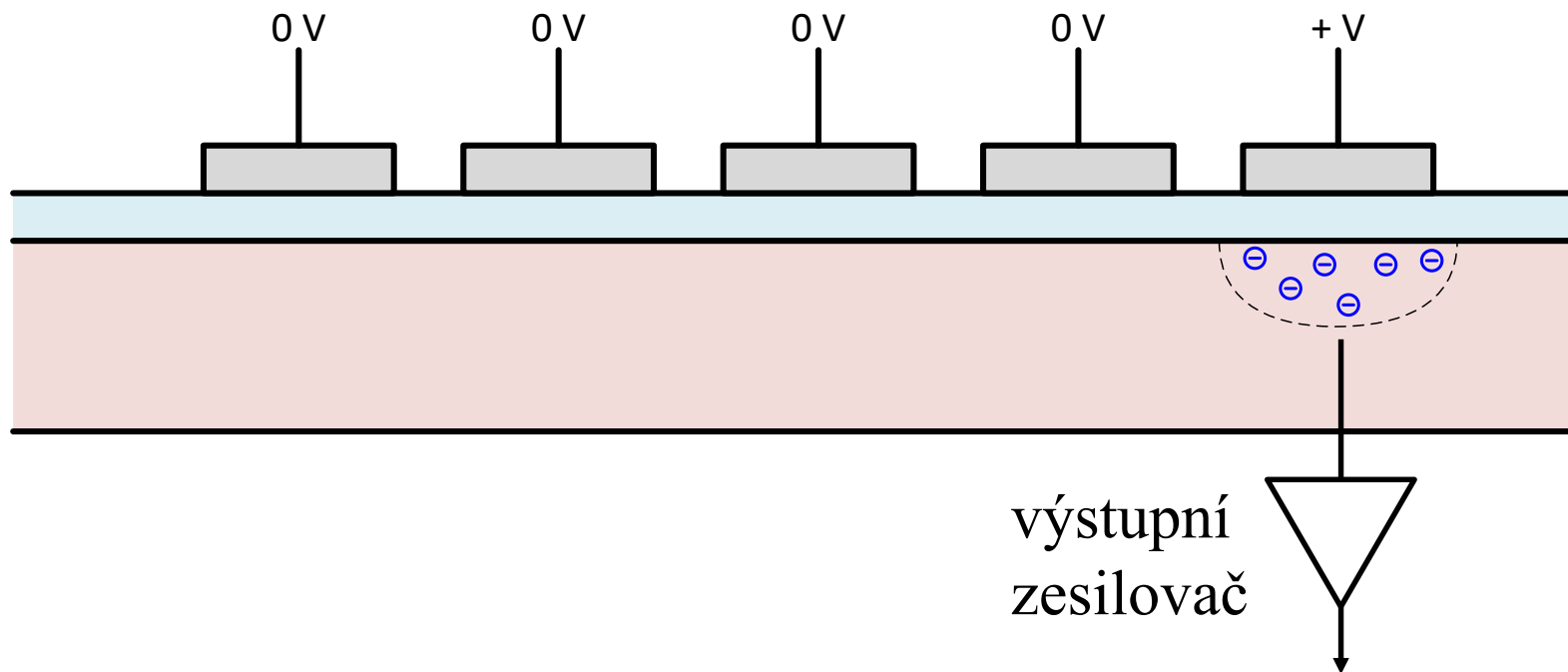
# Princip čtení z nábojově vázaného registru



# Princip čtení z nábojově vázaného registru



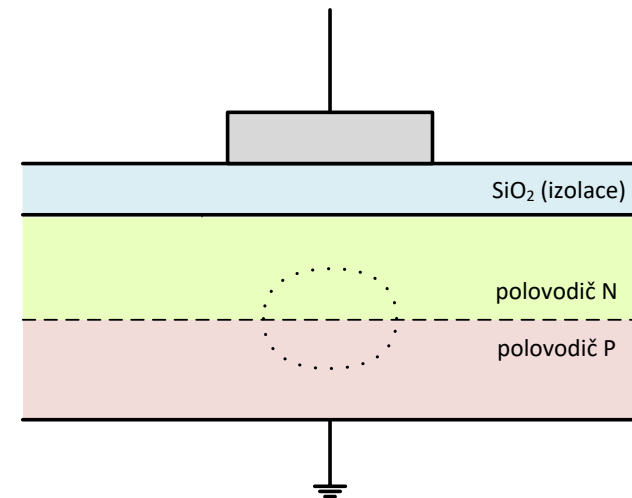
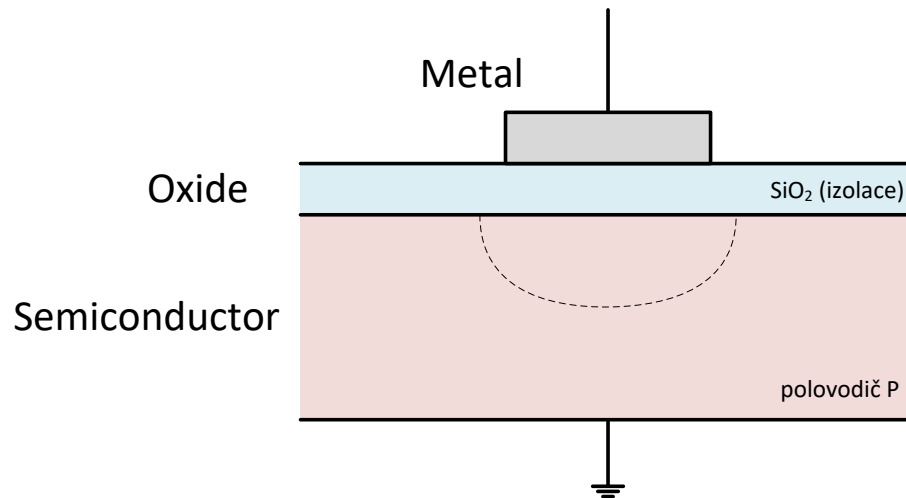
# Princip čtení z nábojově vázaného registru

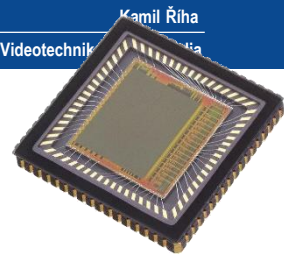


# Konstrukce CCD prvků

- MOS kapacitor
- náboj blízko k elektrodě (k izolaci)
- větší ztráty při přesunu

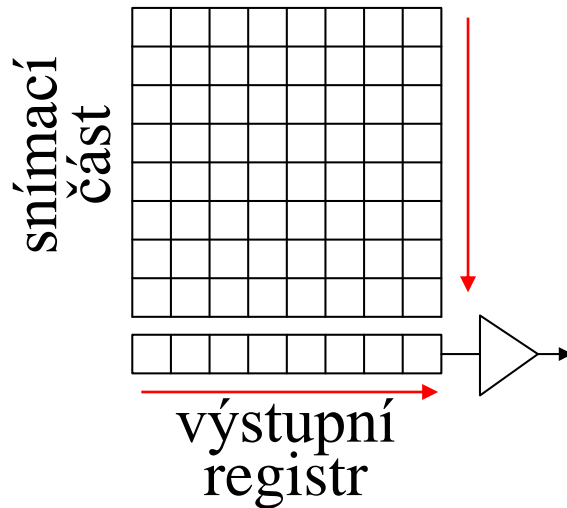
- MOS kapacitor s tzv. pohřbeným kanálem (buried channel)
- přesouvaný náboj je v depletiční oblasti PN přechodu (fotodioda)



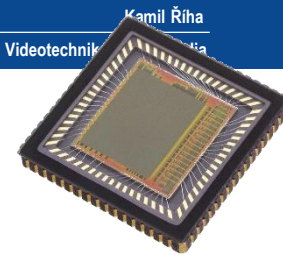


# Architektura čtení CCD buněk

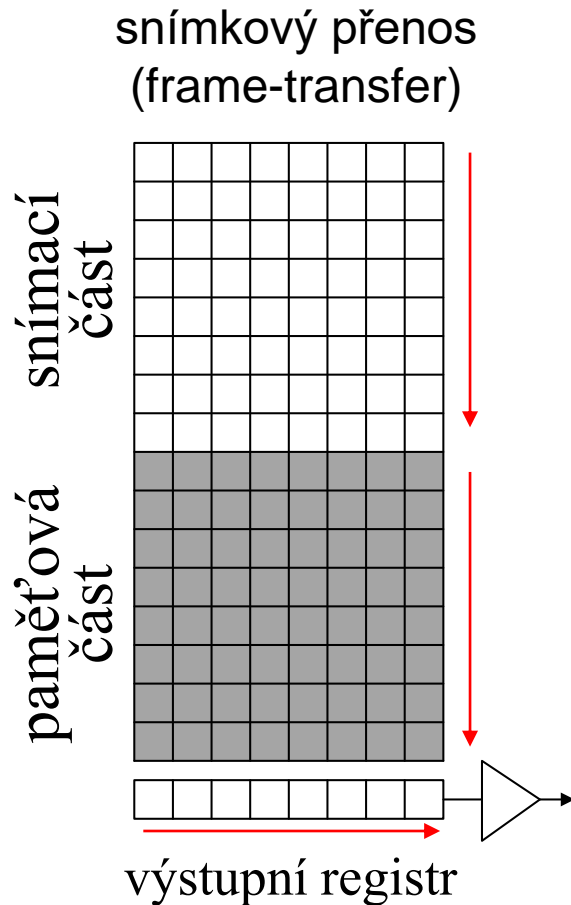
celosnímkový přenos  
(full frame)



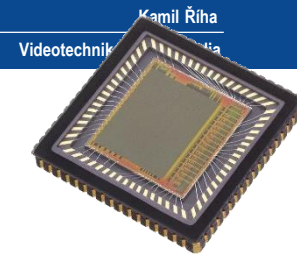
- nejjednodušší princip
- každý řádek musí být postupně přesunut vertikálně do výstupního registru a poté ještě čten v horizontálním směru
- relativně pomalé čtení
- integrace jasu a vyčítání dat může probíhat současně bez oddělení obou etap závěrkou, za dobu čtení se však obrazy prolínají (rozmazání zejména vysokých jasů)
- odstranění prolínání vyžaduje mechanickou závěrku, která zabrání osvitě v době čtení
- závěrka jako mechanický prvek je problematická (poruchová, drahá...)



# Architektura čtení CCD buněk

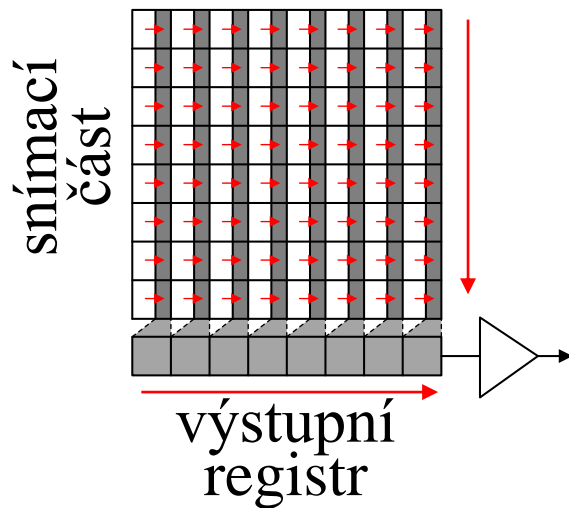


- rychlý přesun ( $< 1$  ms) dat do zakryté paměťové části
- následné vyčítání z paměťové části do výstupního registru a výstupního zesilovače (převodníku náboj/napětí) může probíhat už ve fázi osvitů (integrace) snímací části
- vyšší pořizovací náklady než u dalších architektur (dvojnásobná plocha snímače)
- současná integrace jasu a vyčítání dat bez oddělení obou etap závěrkou vede k částečnému prolínání dvou snímků (lehké rozmazání zejména vysokých jasů)
- odstranění prolínání vyžaduje mechanickou závěrku, která zabrání osvitů v době čtení



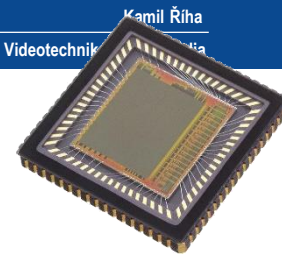
# Architektura čtení CCD buněk

meziřádkový přenos  
(interline-transfer)



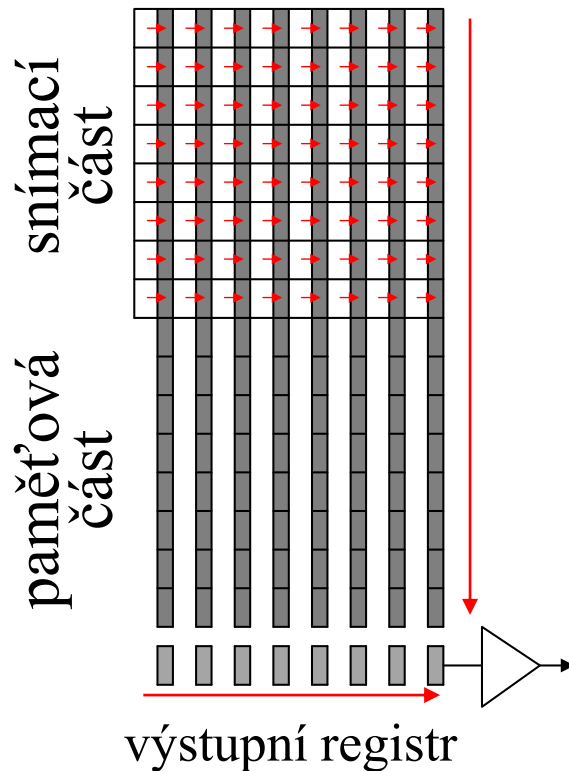
- každý fotocitlivý element má přiřazený paměťový prvek
- velmi rychlý přesun z osvětlené do paměťové části po skončení integrační fáze
- fotocitlivá plocha je snížena o plochu paměťových buněk → méně dopadající světelné energie → menší citlivost
- nevýhoda malé citlivosti se dá kompenzovat použitím mikro čoček přímo na čipu: problematické pro paprsky, které nedopadají na čip kolmo
- při přesvětlení vzniká rozmazání, kdy fotony vnikají do přilehlých registrů





# Architektura čtení CCD buněk

kombinace meziřádkového  
a snímkového přenosu



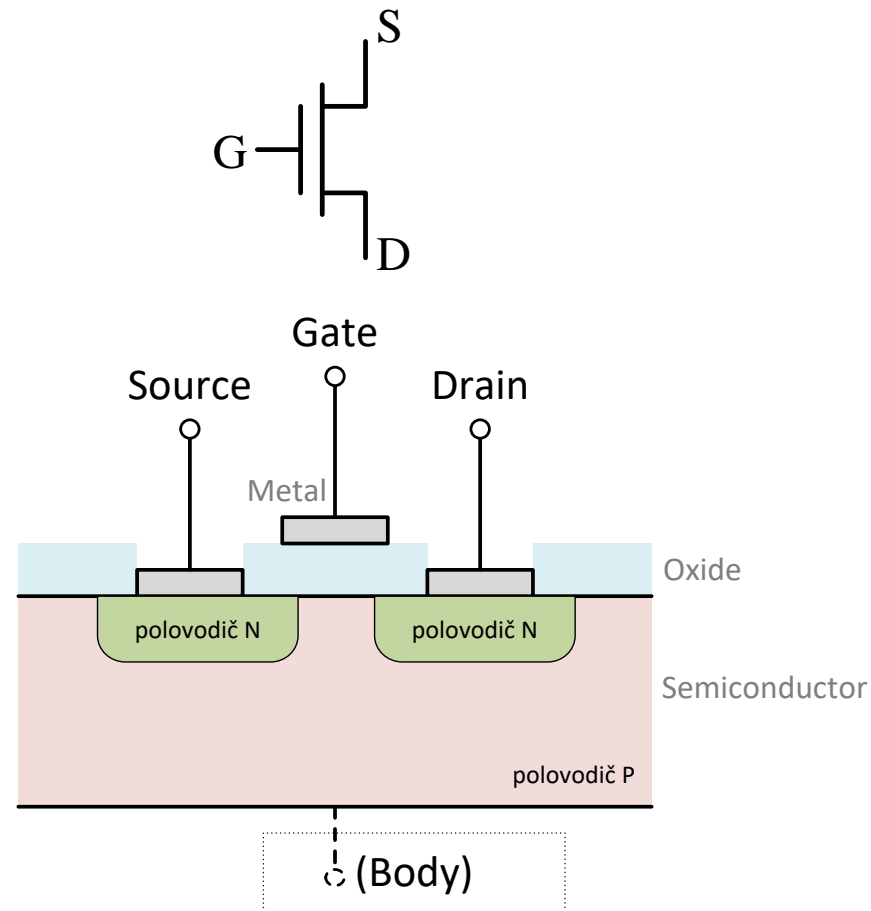
- téměř okamžitý přenos náboje z osvětlené oblasti → odstranění vertikálního rozmazání
- stejně jako při snímkovém přenosu: vyčtená data jsou zpracovávána v době integrace osvětlení

## ELEKTRONICKÁ ZÁVĚRKA:

- řízení doby osvitu nezávisle na délce trvání jednoho snímku
- na rozdíl od mechanické závěrky snadno dosáhne velmi krátkých expozičních časů
- problémem je zkreslení při postupném vyčítání pixelů zachycujících velmi rychlé děje

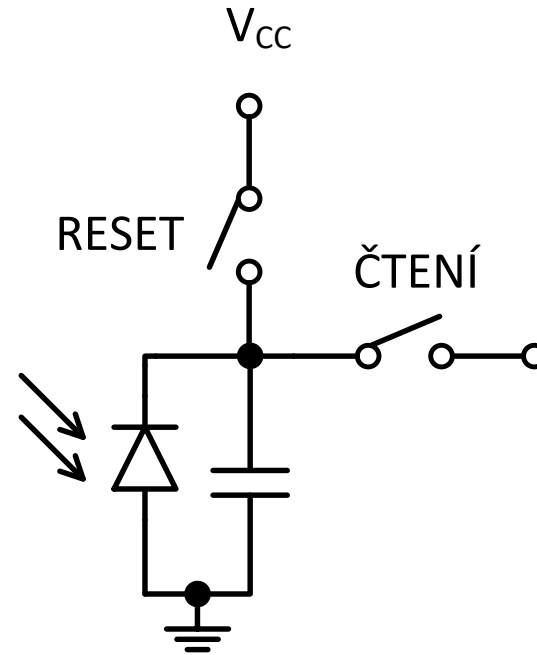
# Technologie CMOS

- Complementary metal-oxide-semiconductor, též Active Pixel Sensor
- každý pixel obsahuje několik MOSFET tranzistorů s komplementární funkcí
- MOSFET: MOS Field-Effect Transistor, též unipolární tranzistor – tranzistor řízený polem
- vysoký vstupní odpor umožňuje řídit otvírání kanálu S/D čistě napětově
- nízká spotřeba
- snadná integrace: výrobní technologie podobná výrobě mikroprocesorů



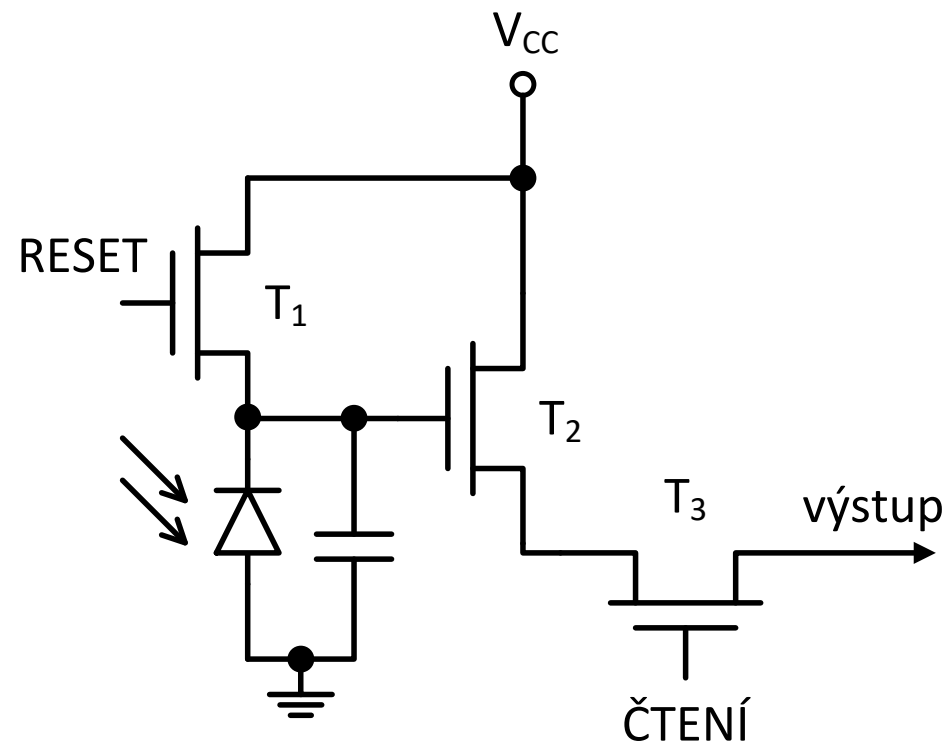
# Technologie CMOS – základní princip

- hlavní fotocitlivý prvek je fotodioda v závěrném směru
- na začátku je po sepnutí spínače RESET nabit kondenzátor na referenční hodnotu
- v průběhu expoziční fáze je spínač RESET rozepnut a fotodioda vybíjí kapacitor: více světla → menší napětí na kapacitoru
- spínač ČTENÍ připojuje na výstupní svorku napětí na kondenzátoru
- výstupní napětí je nepřímo úměrné množství světla a době expozice



# Technologie CMOS – 3T pixel

- hlavní fotocitlivý prvek je fotodioda v závěrném směru
- na začátku je po sepnutí  $T_1$  nabit kapacitor na referenční hodnotu
- v průběhu expoziční fáze je  $T_1$  rozepnut a fotodioda vybíjí kapacitor: více světla → menší napětí na kapacitoru
- $T_2$  (sledovač) zabraňuje vybití kapacitoru během čtení
- $T_3$  je sepnut → na výstupu je napětí úměrné napětí na kapacitoru
- existují složitější varianty s větším počtem tranzistorů (4 – 6T)



# Dynamický rozsah

- jednotka: expoziční stupeň EV (Exposure Value)

$$EV = \log_2 \frac{N^2}{t}, \text{ kde } N \text{ je clonové číslo a } t \text{ je expoziční doba}$$

pro  $N = t = 1$  je tedy  $EV = 0$

- změny clonového čísla v řadě 1; 1,4; 2, 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32

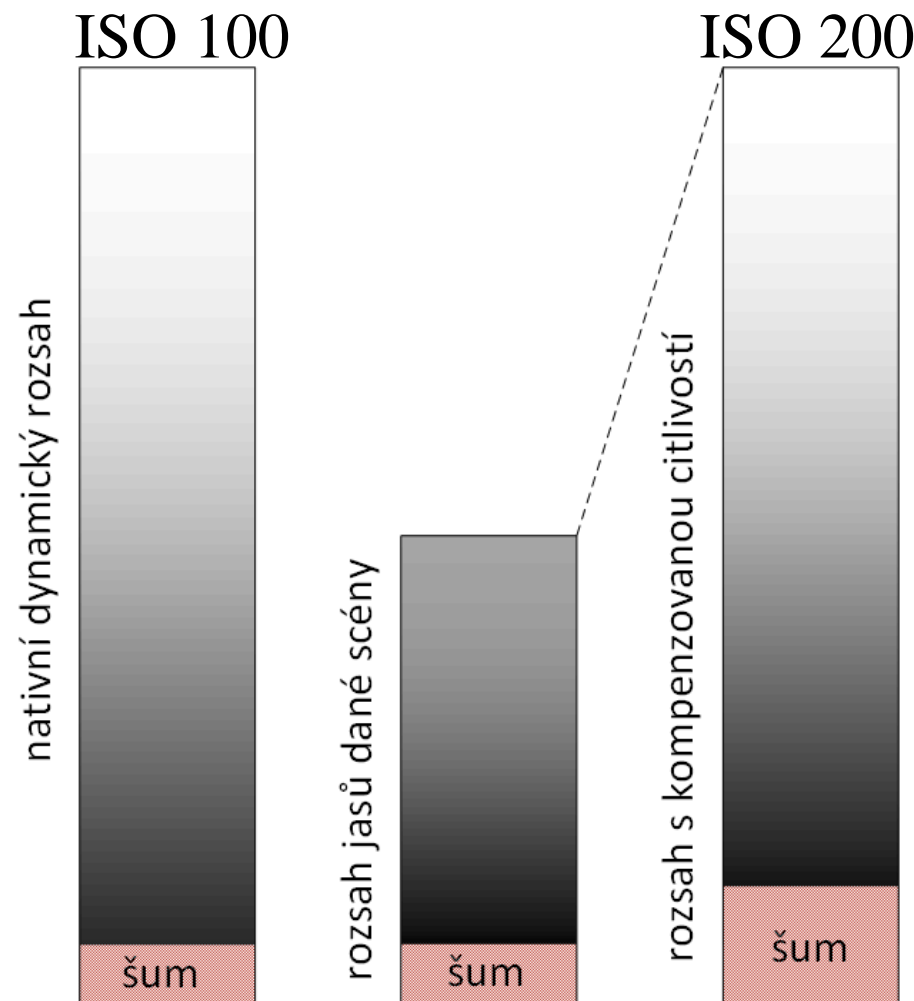
a

oktávové změny expozičních dob tedy vedou k jednotkovým skokům EV

- častěji používáno jako relativní korekce expozice např. vůči hodnotě vypočtené automatikou fotoaparátu/kamery
- celkový rozsah čipu je obtížně měřitelný, protože je spjatý s pojmy ISO a šum
- ISO: nastavitelná citlivost čipu, většinou od 100, končí typicky např. 6400
- změna ISO na dvojnásobek znamená zvýšení expozice o 1 EV
- změna ISO na polovinu znamená snížení expozice o 1 EV
- (zdvojnásobnění citlivosti umožní použití polovičního expozičního času)

# Dynamický rozsah

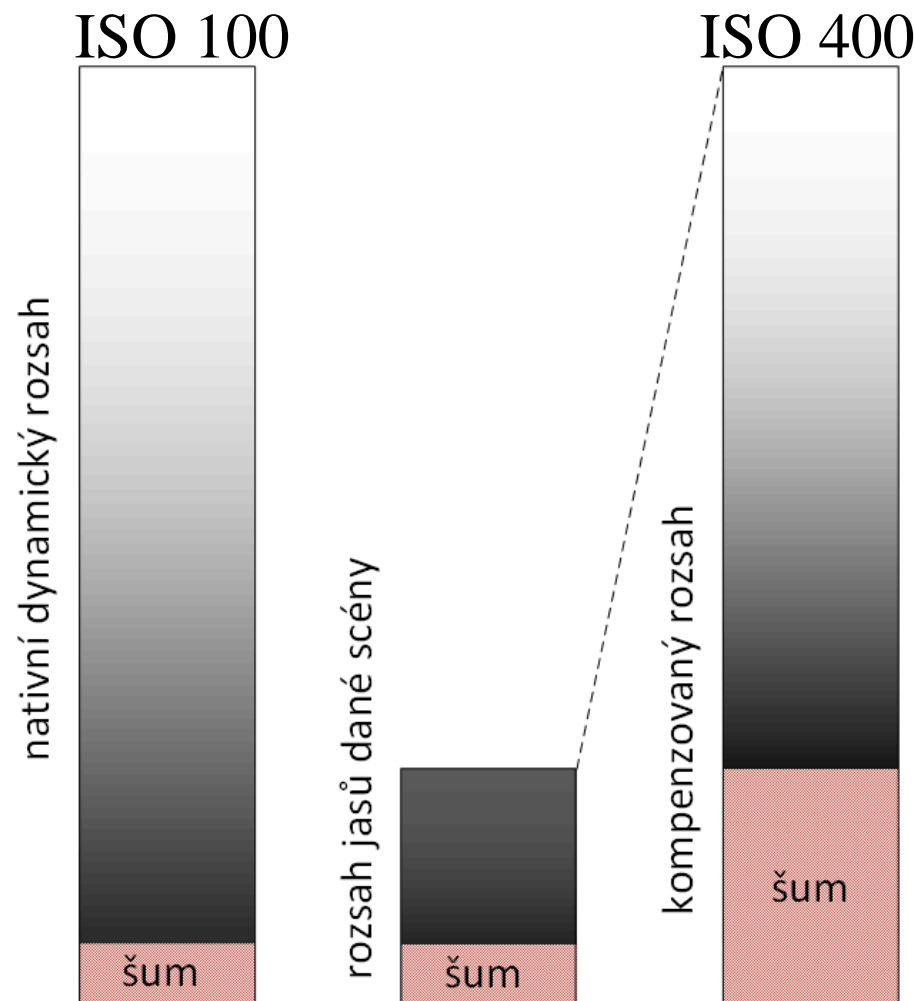
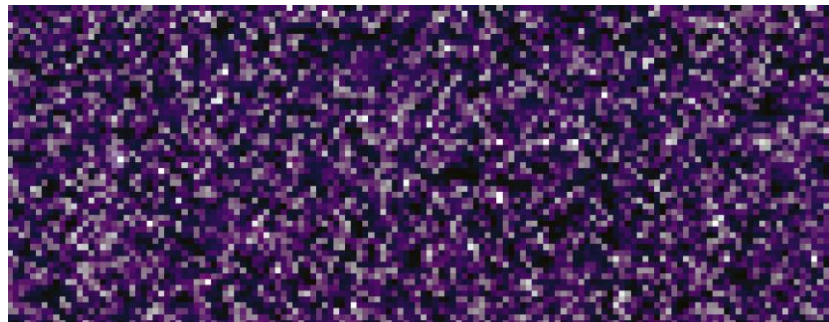
- změna citlivosti u digitálního aparátu znamená pouze jiné využití dat ze snímače
- zvýšení ISO znamená zvýšení oblasti zatížené šumem



# Dynamický rozsah

- změna citlivosti u digitálního aparátu znamená pouze jiné využití dat ze snímače
- zvýšení ISO znamená zvýšení oblasti zatížené šumem
- využitelný jasový rozsah tedy souvisí s únosnou mírou šumu a s možnostmi expozice: např. čas, či clona, které mohou být podmíněny záměrem fotografa

ISO 6 400



# CCD vs. CMOS

## CCD

- + využívá větší plochu pro integraci osvětlení → větší citlivost
- + menší úroveň šumu
- vyšší spotřeba energie
- pixely se mohou navzájem ovlivnit, typicky při vysokých jasech
- limitovaná rychlost čtení
- malý dynamický rozsah
- v současnosti využívány hlavně v průmyslových aplikacích a pro astronomické snímky

## CMOS

- + každý pixel je zpracováván samostatně
- + izolované pixely → větší odolnost proti vzájemnému ovlivnění
- + nižší spotřeba energie
- + výrobní technologie umožňuje kombinaci snímání a zpracování na jednom čipu, více pixelů na čipu
- fotocitlivá plocha zmenšena kvůli dodatečné elektronice → menší citlivost (možnost umístit elektroniku za světlocitlivou vrstvu)
- vyšší úroveň šumu
- malý dynamický rozsah



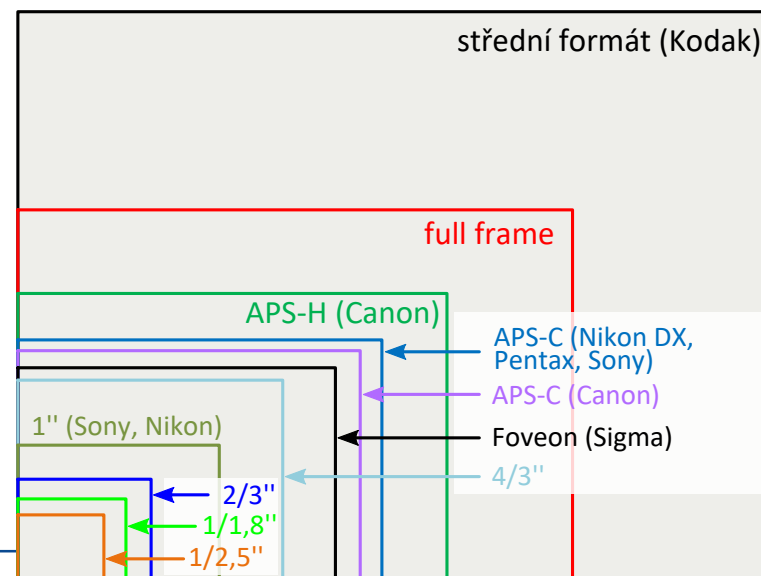
# Možnosti, jak se vyhnout zašuměným snímkům

- snažit se vždy maximálně využívat nativní dynamický rozsah snímače
- pokud to záměr a světelné podmínky dovolí, používat co nejnižší hodnoty ISO
- problém: delší expozice → možnost rozmazání pohybu, chvěním
- problém: menší clona (otevřený objektiv) → malá hloubka ostrosti
- pracovat s dostatečně velkým snímačem (s dostatečně velkými fyzickými rozměry pixelu) malý pixel → menší náboj → větší vliv šumu
- využít či dosáhnout dostatečného osvětlení snímané scény (zábleskové osvětlení, odrazové desky...)
- při velmi dlouhé době expozice se projeví tzv. temný proud – šum (generování náboje) za tmy
- ochlazením (vyhnutím se používání za vyšších teplot) čipu/aparátu např. v technických aplikacích

# Velikosti snímačů

		střední formát	full frame	APS-H	APS-C	4/3	1"
velikost senzoru	[mm]	53,7×40,2	36×24	28,7×19	22,2×14,8	17,3×13	13,2×8,8
crop faktor	[-]	0,64	1,0	1,3	1,6	2	2,7
plocha	[mm <sup>2</sup> ]	2 159	864	548	329	225	116

crop factor: koeficient pro přepočet ohniskové vzdálenosti, jakou by měl daný objektiv se stejným zorným polem pro snímač o velikosti full frame (kinofilmu)



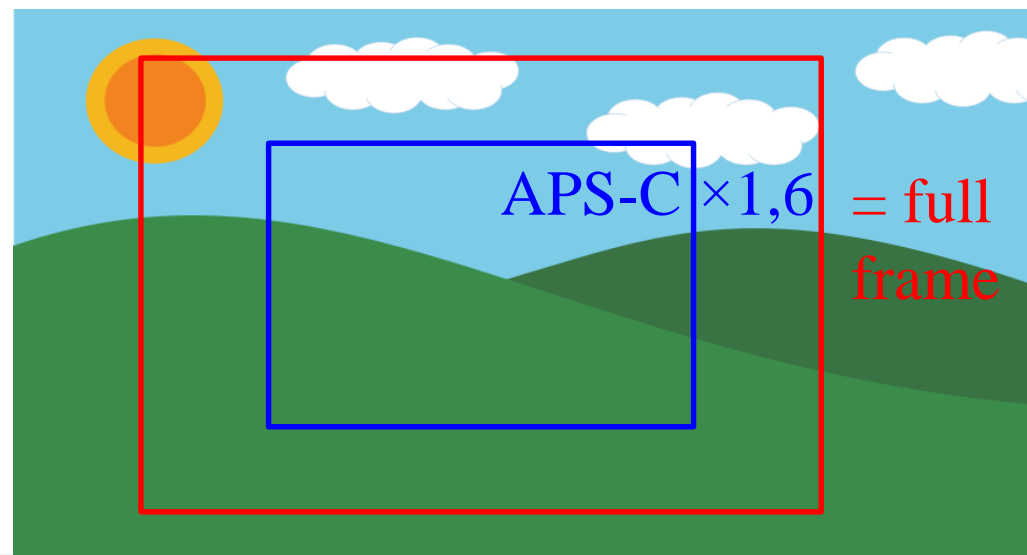
# Velikosti snímačů

		střední formát	full frame	APS-H	APS-C	4/3	1"
velikost senzoru	[mm]	53,7×40,2	36×24	28,7×19	22,2×14,8	17,3×13	13,2×8,8
crop faktor	[-]	0,64	1,0	1,3	1,6	2	2,7
plocha	[mm <sup>2</sup> ]	2 159	864	548	329	225	116

## crop factor:

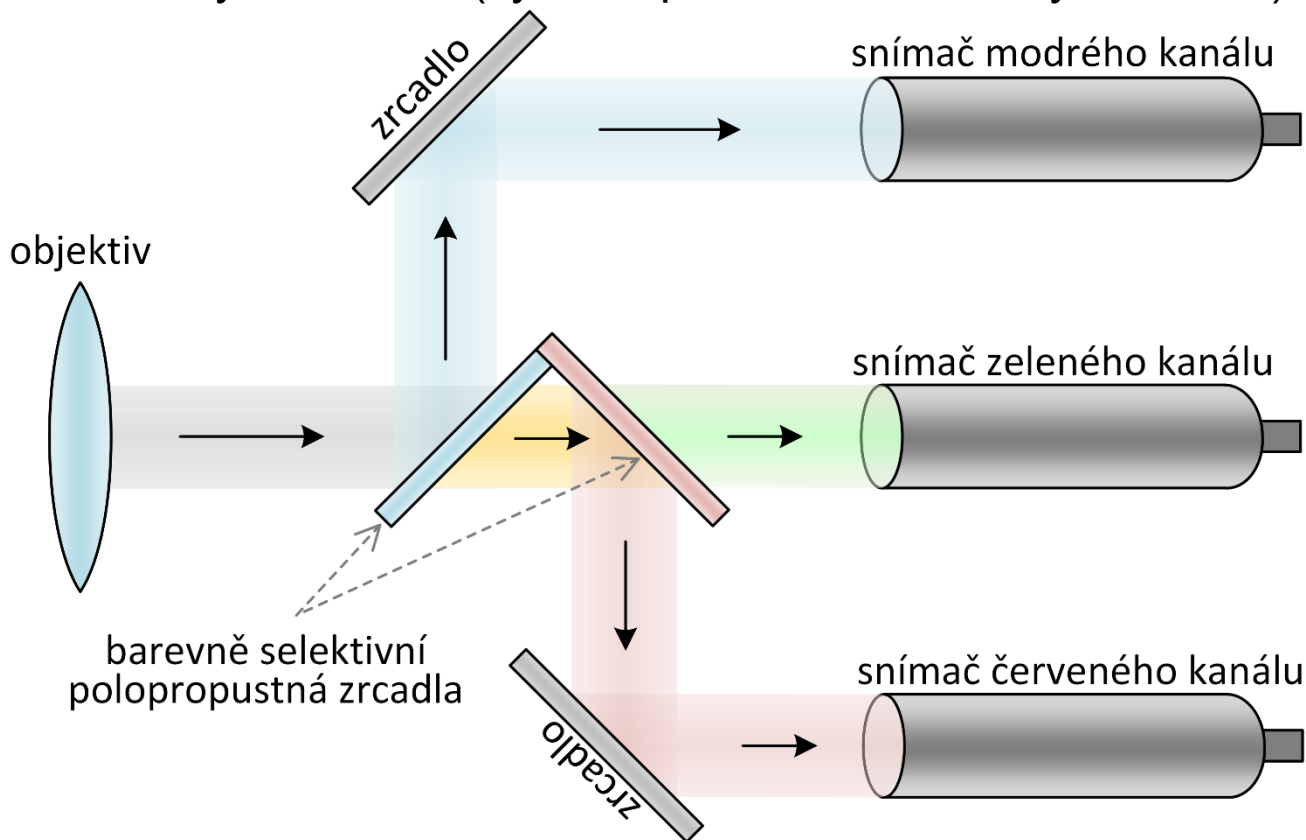
koeficient pro přepočítání ohniskové vzdálenosti, jakou by měl daný objektiv se stejným zorným polem pro snímač o velikosti full frame (kinofilmu)

Např. ohnisková vzdálenost  
100 mm (APS-C) = 160 mm (full frame)



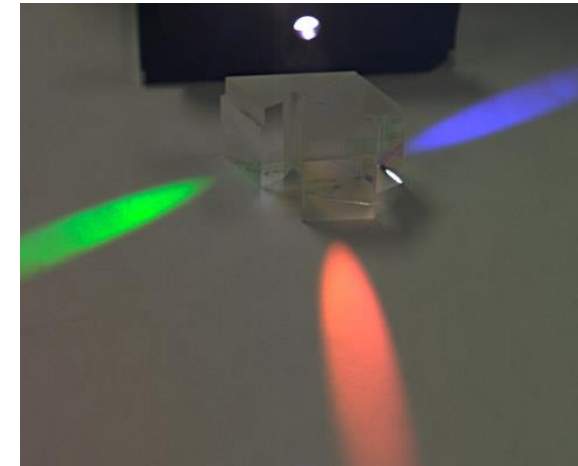
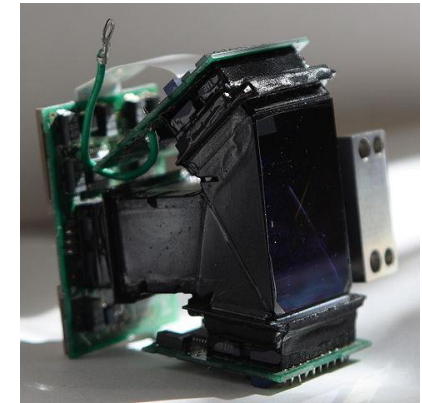
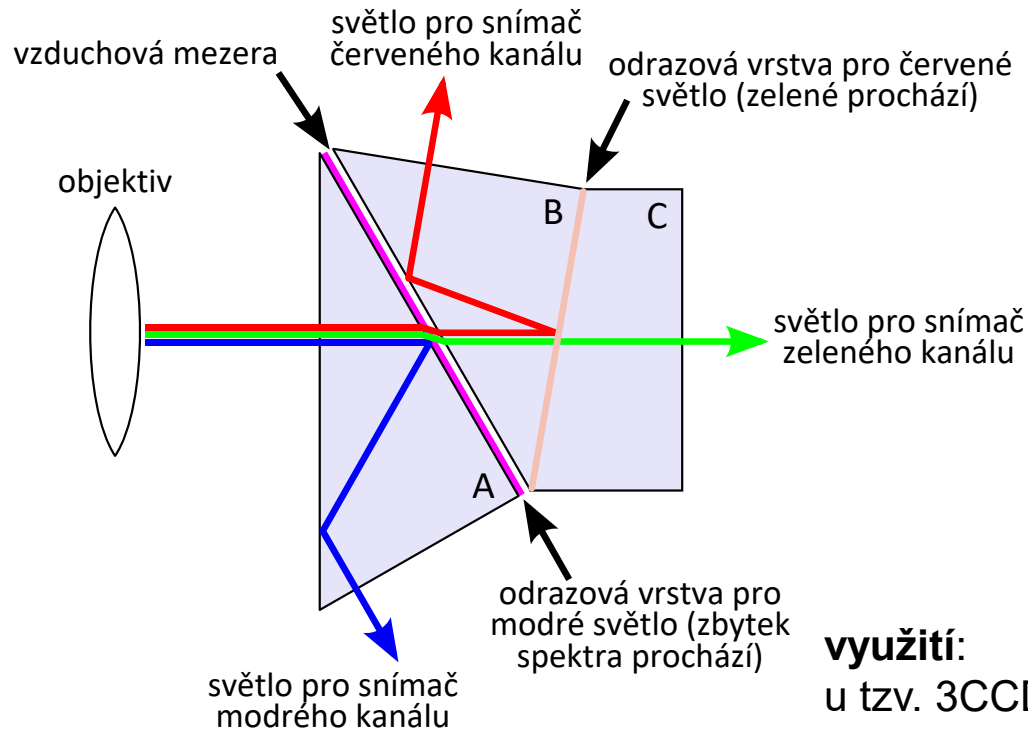
# Optické dělicí soustavy pro barevné snímání

Soustava dichroických zrcadel (využití spíše u elektronkových kamer)



# Optické dělicí soustavy pro barevné snímání

## Soustava dichroických hranolů (dichroický hranol)



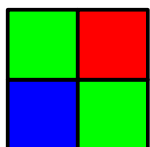
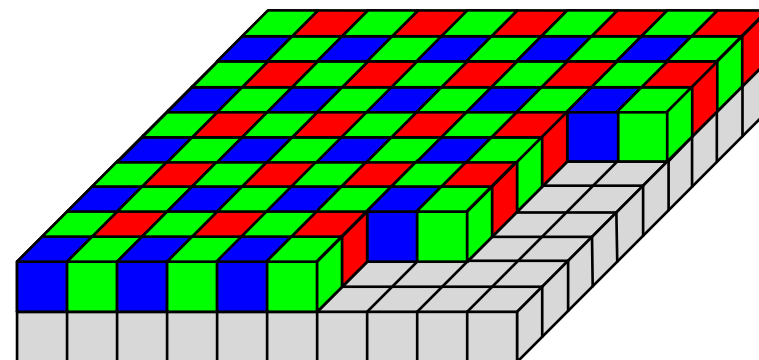
### využití:

u tzv. 3CCD, 3MOS, 3CMOS atp. kamer, kde je každý kanál snímán zvláštním monolitickým snímačem

By Dick Lyon, en:User:Cburnett, and Xingbo via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

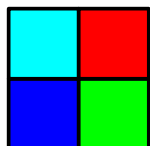
# Barevný filtr pro monolitické snímače

- existuje celá řada možností, jak filtrovat barevné složky pro matici subpixelů
- princip: filtrace barevných složek definujících barvu jednoho pixelu
- nejpoužívanější: Bayerova maska (1976)

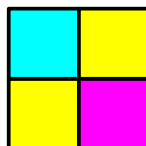


- další, méně často používané masky:

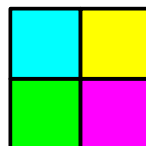
RGBE



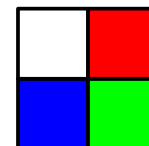
CYYM



CYGM



RGBW

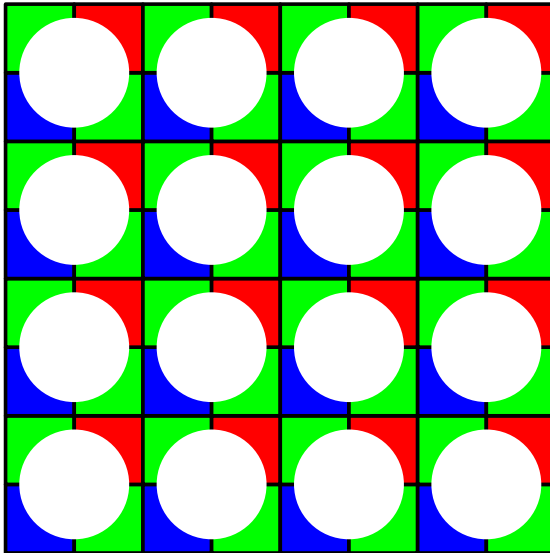


...

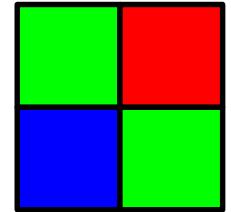
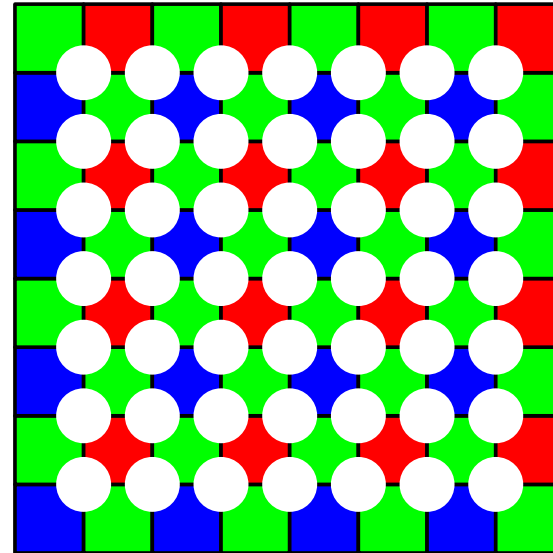
# Barevný filtr pro monolitické snímače

- interpolace - „odmozaikování“ (demosaicing)

čtvrtinové oproti  
počtu elementů



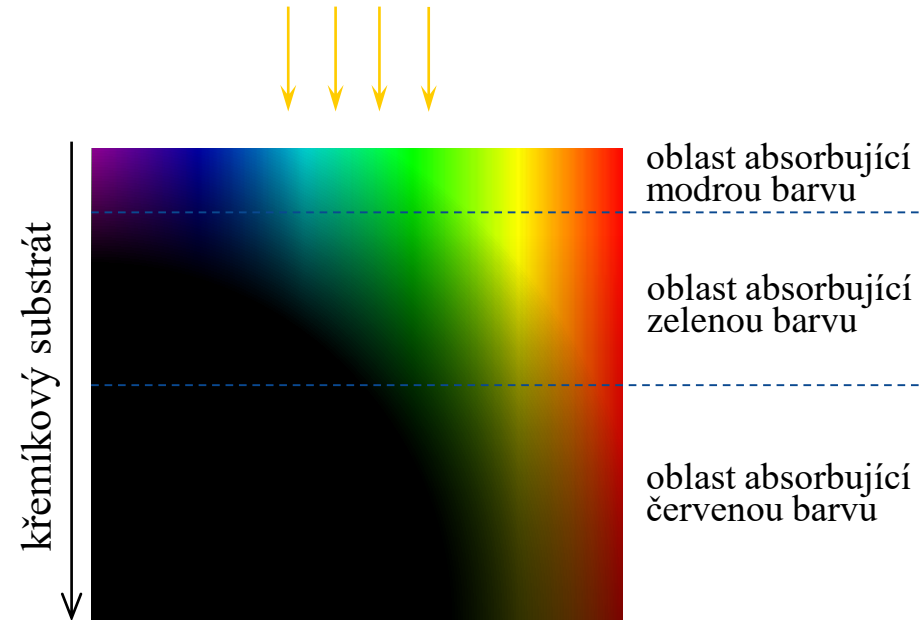
stejný počet pixelů  
jako elementů



- v praxi počítáno složitějšími technikami (lokální přizpůsobení, potlačení šumu...)

# Trendy vývoje nových snímacích technologií

- monolitické snímače bez mozaik snižujících kvalitu detailů ... ?
- např. Foveon X3 (Sigma): využívá fyzikálního principu, kdy světlo různých vlnových délek proniká do různé hloubky křemíkového substrátu (podle energie, tj. modrá nejméně, následuje zelená, nejhluběji proniká červená složka)
- náboje ze tří rozdílných vrstev jsou vyčítány samostatně
- plocha jednoho pixelu je definována třemi RGB hodnotami





**Děkuji za pozornost**