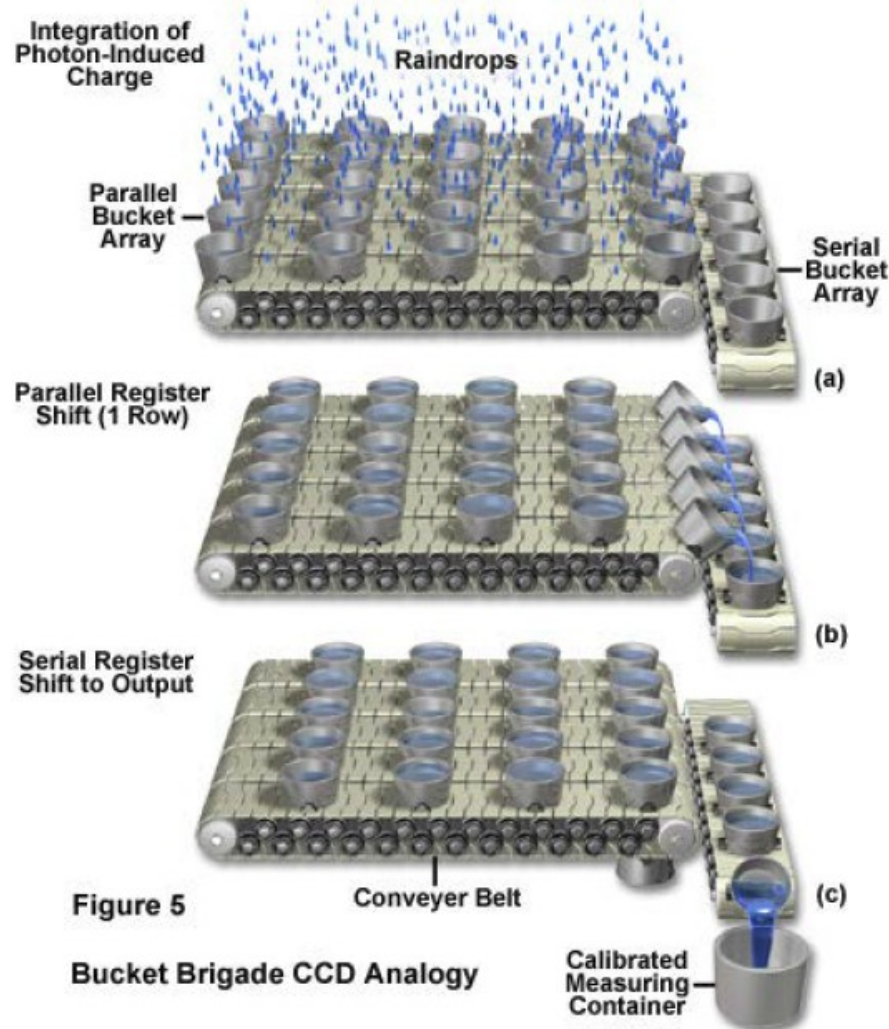


Jak funguje CCD

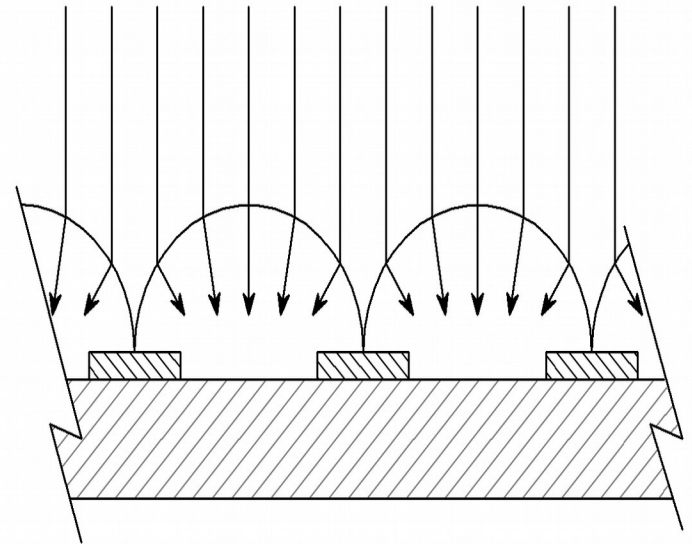
- Základní princip práce CCD je poměrně jednoduchý — přicházející **světlo vytváří v polovodiči elektrický náboj** (elektrony).
- Elektrony se nemohou volně pohybovat po čipu, neboť na čipu jsou vytvořeny svislé negativní potenciálové valy (odpuzející elektrony).
- Systém vodorovných elektrod, rovněž s negativním nábojem, vytváří na čipu mřížku tzv. **potenciálových studní**, z nich elektrony nemohou uniknout.

Charge Coupled Device (Nábojově vázané prvky)



mikročočky

- Prokládání aktivních a neaktivních sloupců omezuje plochu, kterou čip shromažďuje světlo. Tento efekt může být částečně kompenzován pokročilými výrobními postupy, např. aplikací tzv. **mikročoček**.
- Mikročočky soustředí světlo z oblastí CCD čipu necitlivých na světlo (zastíněné vertikální sloupce) na aktivní světlocitlivé oblasti.



CMOS a/nebo CCD senzory

- Zažité zkratky **CCD** a **CMOS** pro dva základní typy snímačů naneštěstí označují každá něco jiného:
 - **Charge Coupled Device** je označení principu práce.
 - **Complementary Metal Oxide Silicon** je označení konstrukce integrovaných logických obvodů s unipolárními FE tranzistory.
- Velice základní princip práce je identický – foton excituje atomy křemíku a uvolněné elektrony reprezentují míru osvětlení.
 - Vše další se ale liší – CCD je v principu analogový obvod, CMOS je digitální obvod (využívá výrobní linky pro digitální obvody).

CCD

- Dopadající fotony uvolňují elektrony.
- Elektrony jsou vázány v tzv. „nábojových pastích“ (pixelech).
- Akumulací roste počet elektronů v každé nábojové pasti.

CMOS

- Dopadající fotony uvolňují elektrony.
- Elektrony nabíjejí kondenzátory (diody v závěrném směru) v pixelech.
- Akumulací roste napětí na kondenzátorech.

CCD

- CCD je sériové zařízení.
 - K hodnotě pixelu se nelze dostat jinak než postupným posunem náboje po ploše čipu.
- Výstupem je analogové napětí, na číslo je převede až elektronika kamery.
- A/D převod je typicky 16 bitový (0-65535).

CMOS

- Jednotlivé pixely jde adresovat (jako paměť).
- Napětí se převádí na číslo přímo v čipu zpravidla řadou paralelních A/D převodníků.
- Rozlišení je mezi 8 a 12 bity (0-255 až 0-4095).
 - Výjimečně 14 a nově i 16 bitů.
- Výstupem je digitální datová sběrnice.

(ne) výhody CCD

- (-) Pomalé čtení
- ($\pm$) Citlivost
- ($\pm$) Dynamický rozsah
- (-) Vyšší čtecí šum
- (+)
Elektroluminiscence lze zcela eliminovat
- (-) Kosmetické vady (vadrné

(ne) výhody CMOS

- (+) Velmi rychlé čtení
- ($\pm$) Citlivost
- ($\pm$) Dynamický rozsah
- (+) Nižší čtecí šum
- (-) Artefakty v obraze (elektroluminiscence, ...)
- (+) Bez vadných

(ne) výhody CCD

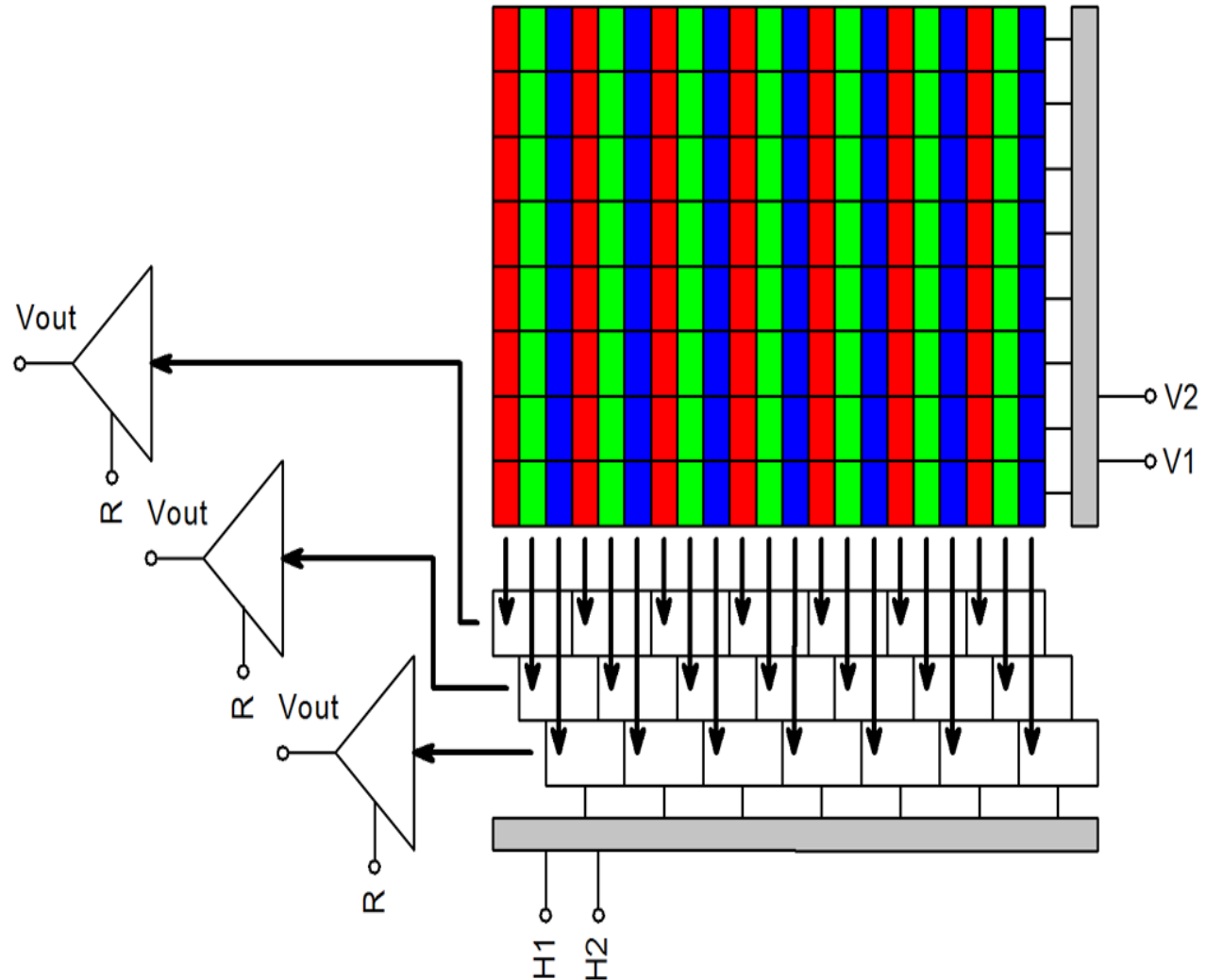
- (+) Během snímání je CCD jen pasivní kus křemíku
- (+) Minimální tepelné ztráty $\Rightarrow$ lepší chlazení $\Rightarrow$ menší temný proud
- (-) CCD je stále více okrajová a exotická technologie

(ne) výhody CMOS

- (-) CMOS je neustále (a zpravidla velmi rychle) pracující digitální obvod
- (-) Velké tepelné ztráty $\Rightarrow$ horší chlazení $\Rightarrow$ vyšší temný proud
- (+) Na další vývoj CMOS snímačů se soustřeďují největší polovodičové firmy a investují do něi

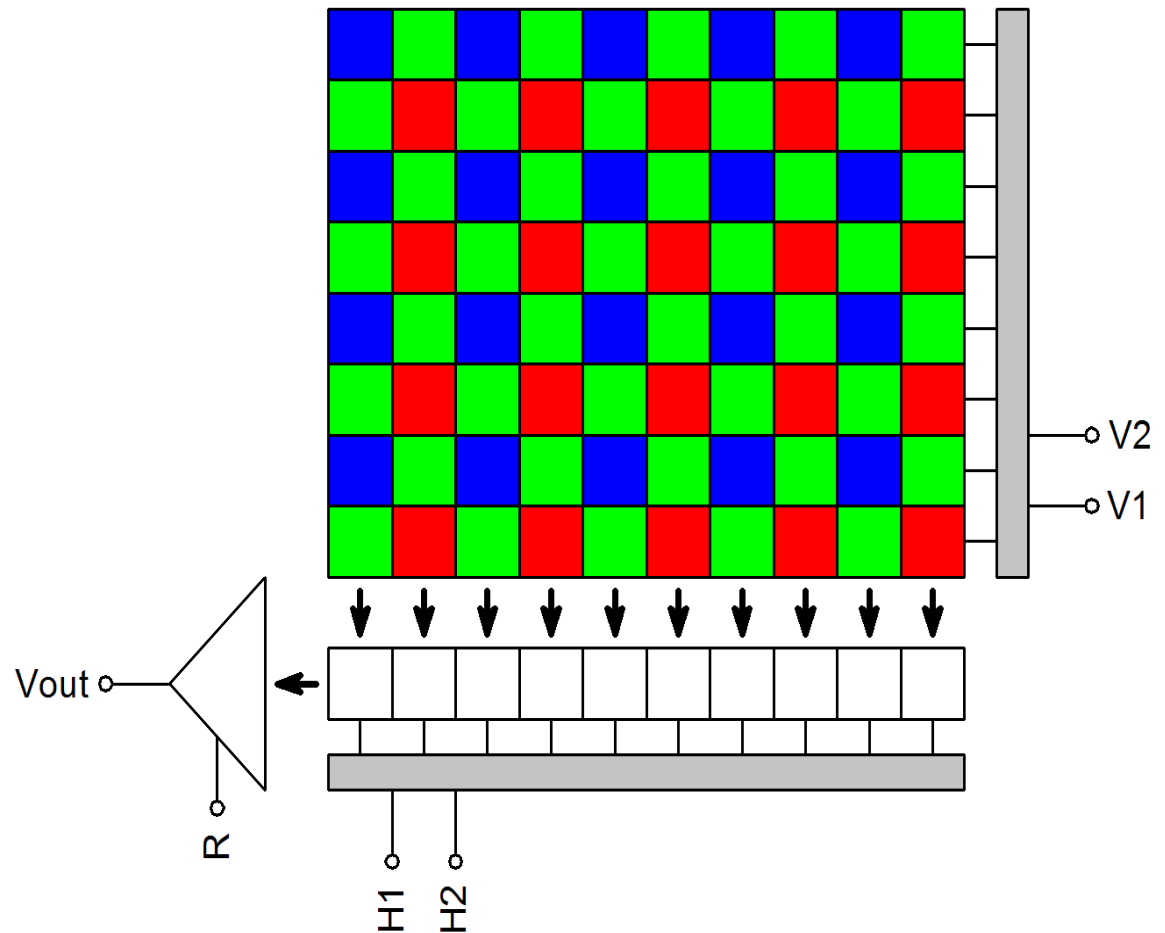
Barevné CCD snímače

- První barevné CCD snímače pracovaly s celým sloupcem pixelů zakrytým jednou barevnou maskou.
- Rozlišení senzoru v osách X a Y



Bayerova maska

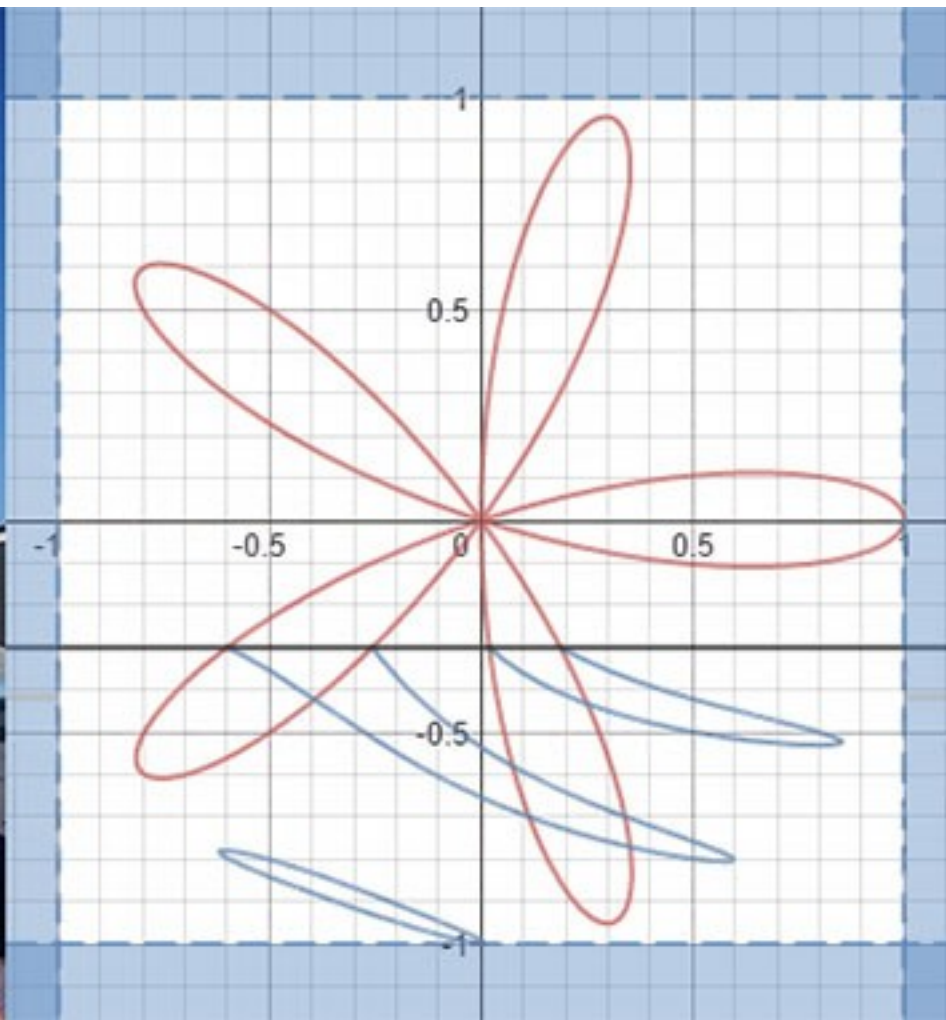
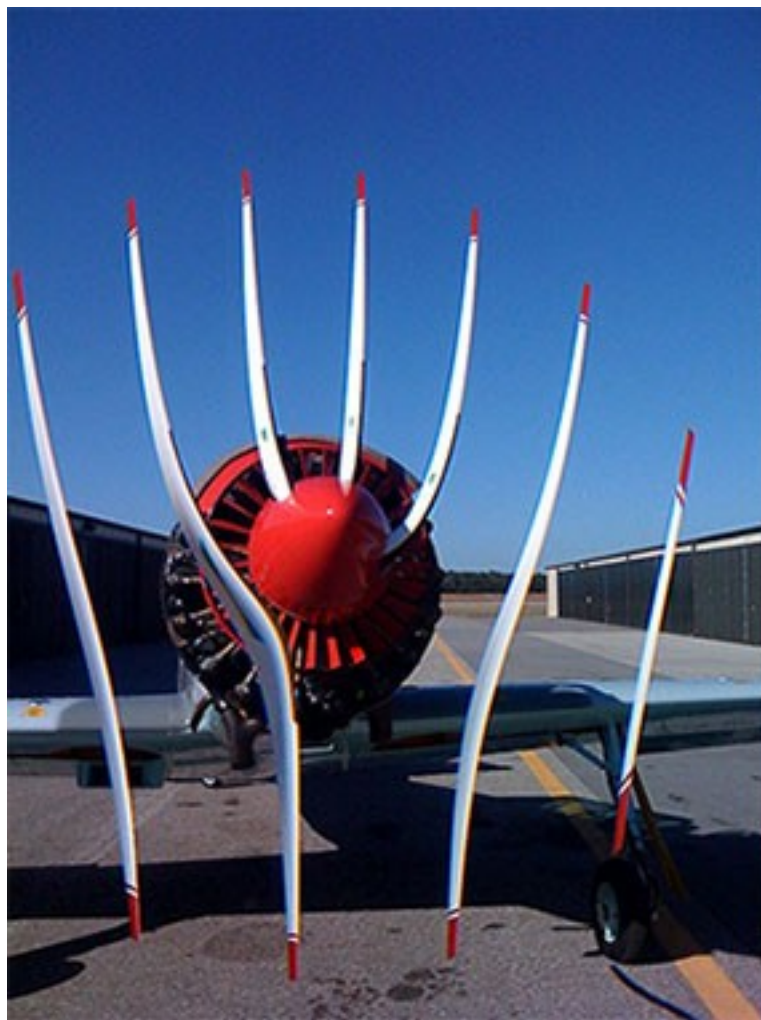
- Dnešní barevné CCD čipy používají tzv. **Bayerovy masky**.
- Bryce E. Bayer, zaměstnanec firmy Kodak, přišel s ideou barevné masky, která je dnes používána u prakticky všech barevných CCD a



Vyčítání dat z čipu









<https://www.desmos.com/calculator/yc9znckbcg>