

The image features a blue background with a red gradient at the top and bottom. On the left, there are five small, cylindrical photodetectors mounted on metal stands. On the right, there is a larger, circular detector assembly with a dark, diamond-shaped central element. The text 'Rimtautas Piskarskas' is centered in yellow, and the title 'Fotodetektoriai' is prominently displayed in large, bold, yellow letters with a white outline across the middle of the image.

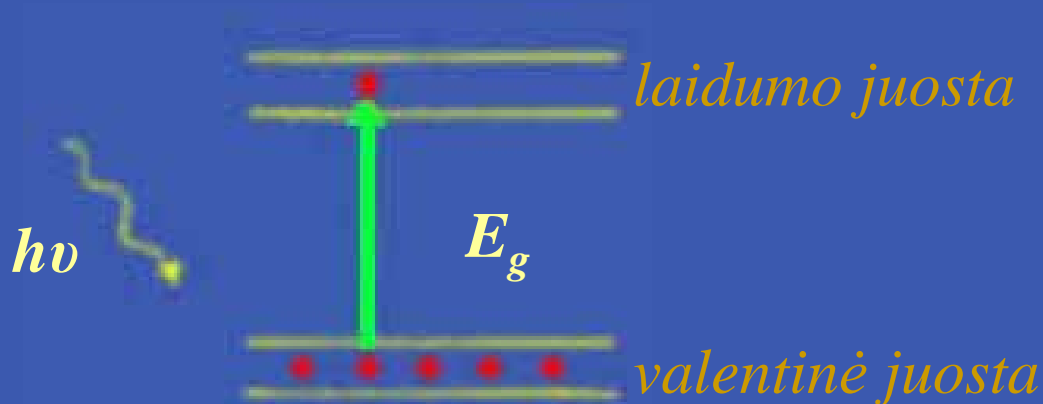
Rimtautas Piskarskas

Fotodetektoriai

Vilnius 2003

Fotodetektorius – kas tai?

Fotodetektorius – tai kietakūnis jutiklis, šviesos energiją paverčiantis elektros energija.



Esant net ir silpam išoriniam elektriniam laukui, fotoelektronai priverčiami judėti tam tikra kryptimi.

Tai ir yra fotodetektoriaus pagrindinis principas!

Minimalią fotono energiją, kuria gali sugerti medžiaga, parodo tarpjuostinė energija E_g

$$\lambda_c = \frac{1.24 \times 10^3 \text{ (nm)}}{E_g \text{ (eV)}}$$

Skirtingos medžiagos – skirtingos E_g

Kuo mažesnė E_g vertė, tuo platesnį spektrinį ruožą (į ilgujų bangų pusę) fotodetektorius mato.

MEDŽIAGA	E_g (eV)	λ_c (nm)	SPEKTRINĖ SRITIS
Silicis	1,12	1100	REGIMOJI
Galio arsenidas	1,42	875	REGIMOJI
Germanis	0,66	1800	ARTIMA INFRARAUDONA
Indžio galio arsenidas	0,73-0,47	1700-2600	ARTIMA INFRARAUDONA
Indžio arsenidas	0,36	3400	ARTIMA INFRARAUDONA
Indžio stibidis	0,17	5700	CENTRINĖ INFRARAUDONA
Gyvsidabris-Kadmis	0,7-0,1	1700-12500	ARTIMA-TOLIMA INFRARAUDONA

Fotodetektoriu panaudojimas:

- Optinėse šviesolaidinėse ryšio sistemose (800 – 1600 nm);
- Spektroskopijoje (400 – 6000 nm);
- Lazerio veikimo diapazono nustatymui (400 – 10 600 nm);
- Fotonų skaičiavimui (400 – 1800 nm);
- Astronomijoje (200 – 1200 nm);
- Skaitmeninėse foto/video kameroje (400 – 800 nm).

Fotodetektorių apibūdinimas

Kvantinis efektyvumas

parodo kaip efektyviai prietaisas konvertuoja krintancius fotonus i laidumo elektronus

(nuo 1% (PtSi Schottky barjero infraraud. sr. detektoriai) iki 90% (InGaAs p-i-n opt. šviesol. detektoriai))

Detektavimo jautris

tai ne tik šviesos konvertavimo efektyvumas, bet ir galimybė detektuoti silpną šviesos signalą

Atsako trukmė

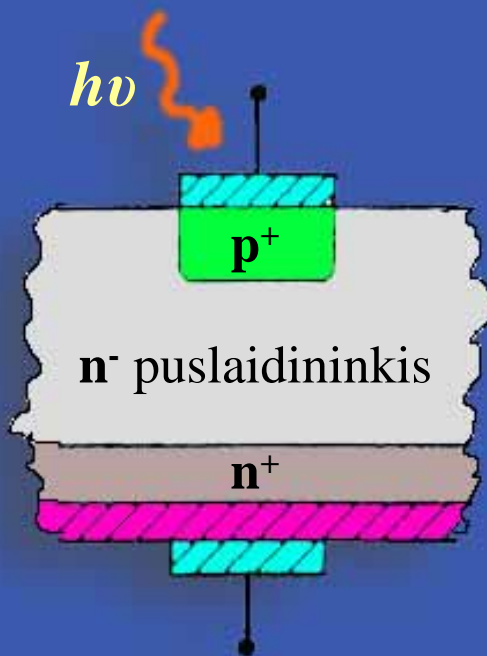
Parodo, kaip greitai detektorius gali reaguoti i šviesos pasikeitimus

(nuo ms (PbS fotolaidininkams) iki ps (GaAs puslaidininkiniams detektoriams))

Puslaidininkinių fotodetektoriu tipai



FOTOLAIDININKAS
(photoconductor)



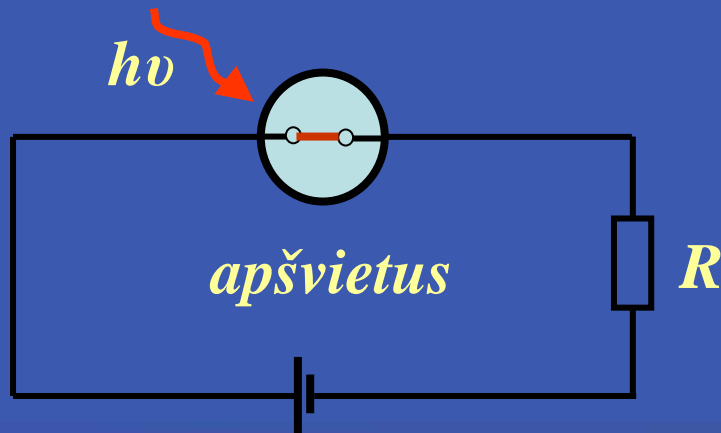
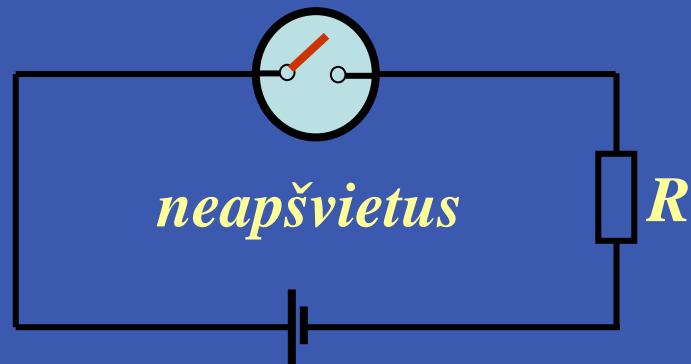
p-i-n FOTODIODAS



FOTOUŽTVARA (MOP)
(photogate)

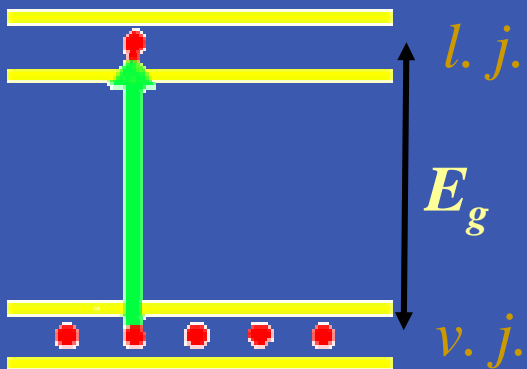
Fotolaidininkas

Tai įrenginys, kurio laidumas didėja priklausomai nuo pašvietimo



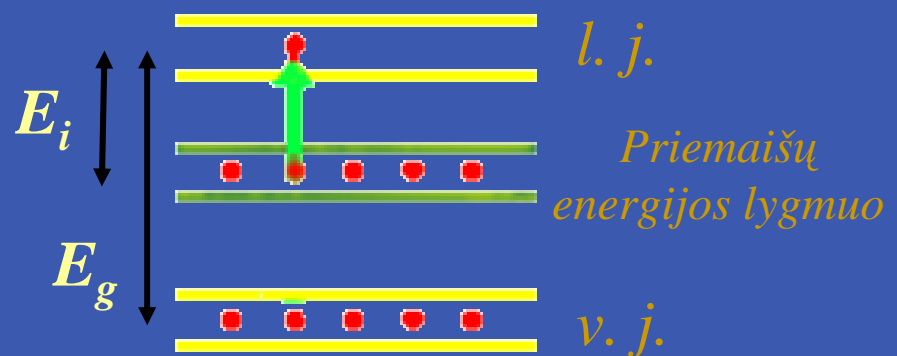
Fotokonduktorių tipai

Natūralus
(intrinsic)



$$h\nu < E_g$$

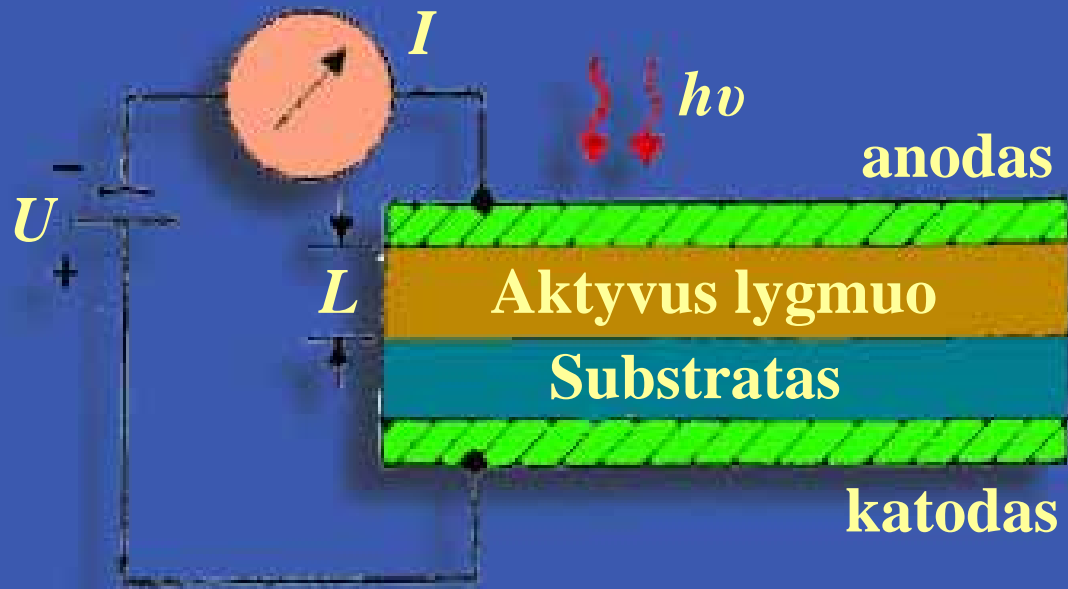
Priemaišinis
(extrinsic)



$$E_i < E_g$$

$$h\nu < E_i$$

Fotokonduktoriaus stiprinimas



Kruvininkų tranzito laikas:

$$t = \frac{L^2}{\mu U}$$

μ – krūvininkų mobilumas

Fotokonduktoriaus stiprinimas:

$$M = \frac{t_p}{t_n}$$

p-i-n fotodiodai

Sudaryti iš n ir p tipo puslaidininkinių medžiagų tarp kurių susikuria tam tikras elektrinis laukas (V_{bi}), kuris priklauso nuo energetinio tarpo tarp lygmenų.

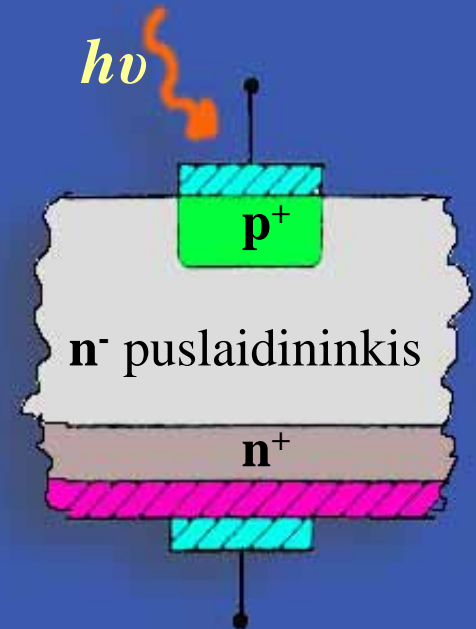
$$V_{bi} \sim E_g$$

Nuskurdintos srities plotis:

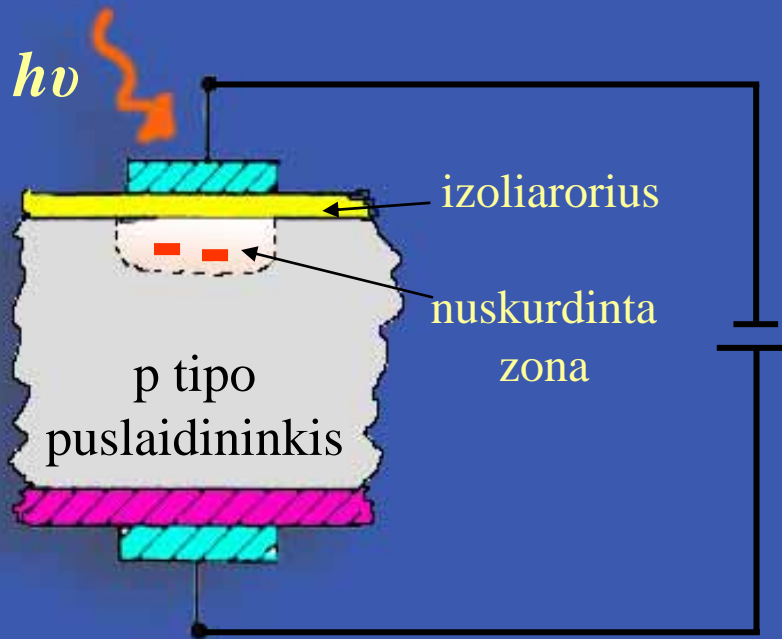
$$W = \sqrt{\frac{\epsilon_s (N_A + N_D)}{q(N_A N_D)} (V_{bi} - U)}$$

N_A ir N_D – priemaišų koncentracijos p ir n sričių;

U – pridėta išorinė įtampa



MOP kondensatorius



Metalas-oksidas-puslaidininkis kondensatoriuje pridėta įtampa sukuria nuskurdintą sritį teigiamai legiruotame puslaidininkyje.

Fotoelektronai, sugeneruoti fotoekspozicijos metu, sugaudomi nuskurdintos srities teigiamo potencialo.

Nuskurdintos zonos plotis:

$$W \sim \frac{\Phi_s}{N_D}$$

Tamsiosios srovės

Difuzinė srovė

Terminiu būdu sugeneruoti nešėjai, nuskurdintose srityse, difunduoja link nuskurdintosios srities ir tokiu būdu sukuria difuzinę srovę

$$I_{dif} \sim e^{-\frac{E_g}{kT}}$$

$$I_{g-r} \sim W e^{\frac{E_g}{2kT}}$$

Generacijos-rekombinacijos srovė

Atsiranda nuskurdintoje srityje

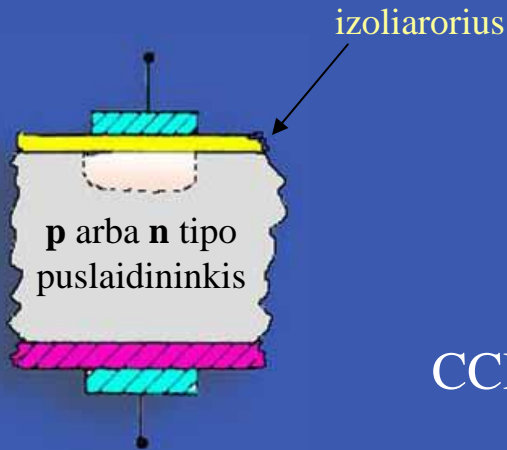
Tuneliavimo srovė

Kai elektrinis laukas p-n sandūroje viršija $\sim 10^5$ V/cm, valentinėje juostoje esantis elektronas gali peršokti į laidumo juostą – tuneliuoti

$$I_{tun} \sim EU e^{\frac{\Theta \sqrt{m}}{E} E_g^{\frac{3}{2}}}$$

CCD

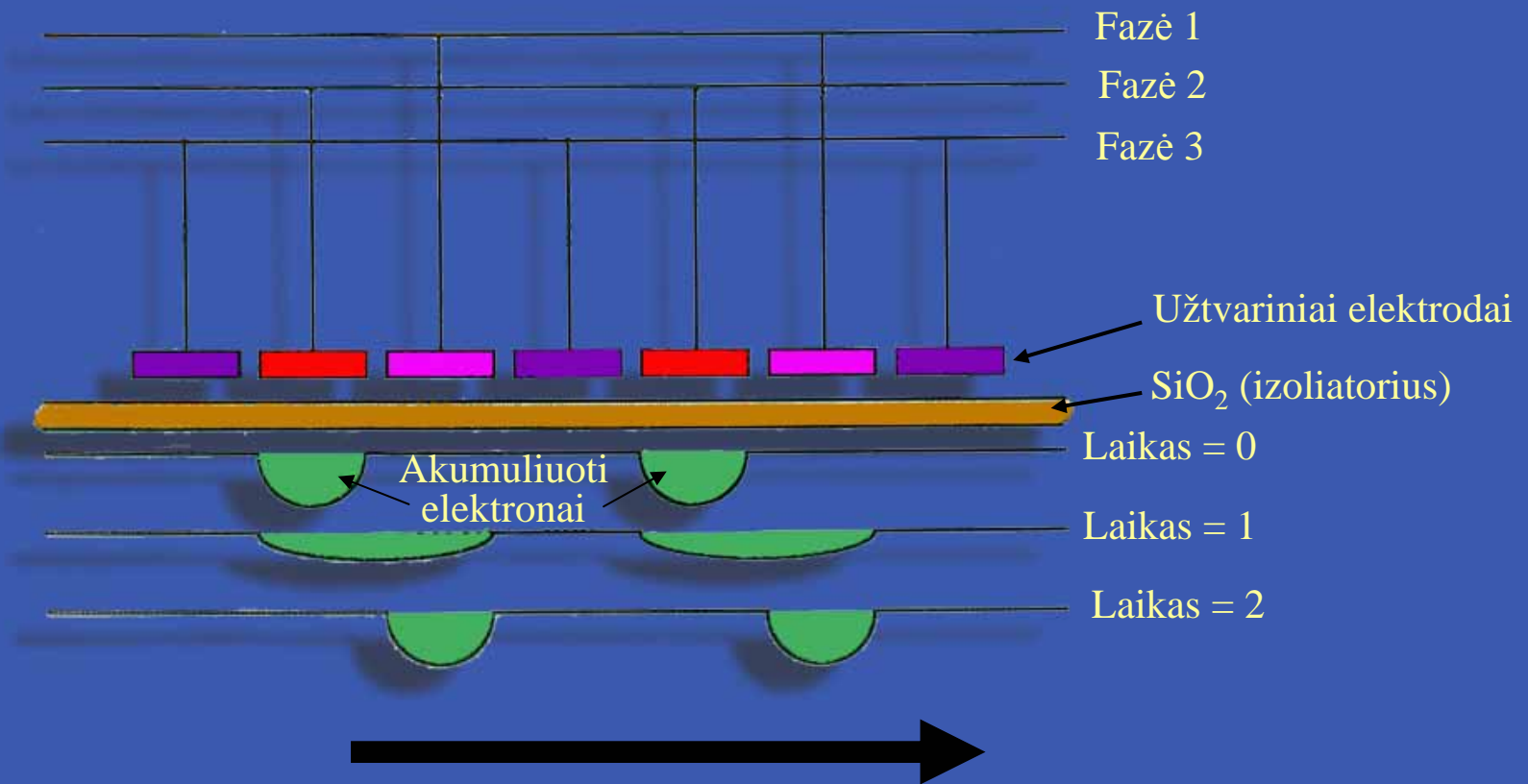
Charge-Coupled Device – surištųjų krūvių įrenginys



CCD - tai matrica (liniuotė) sudaryta iš daugelio MOP

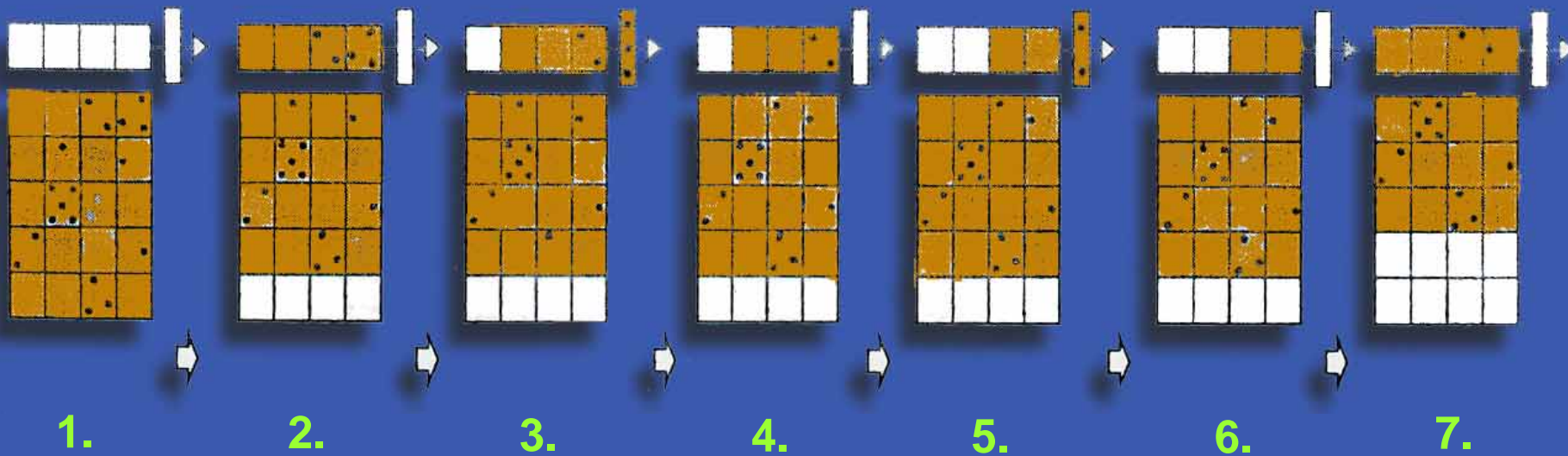


CCD krūvių pernešimas

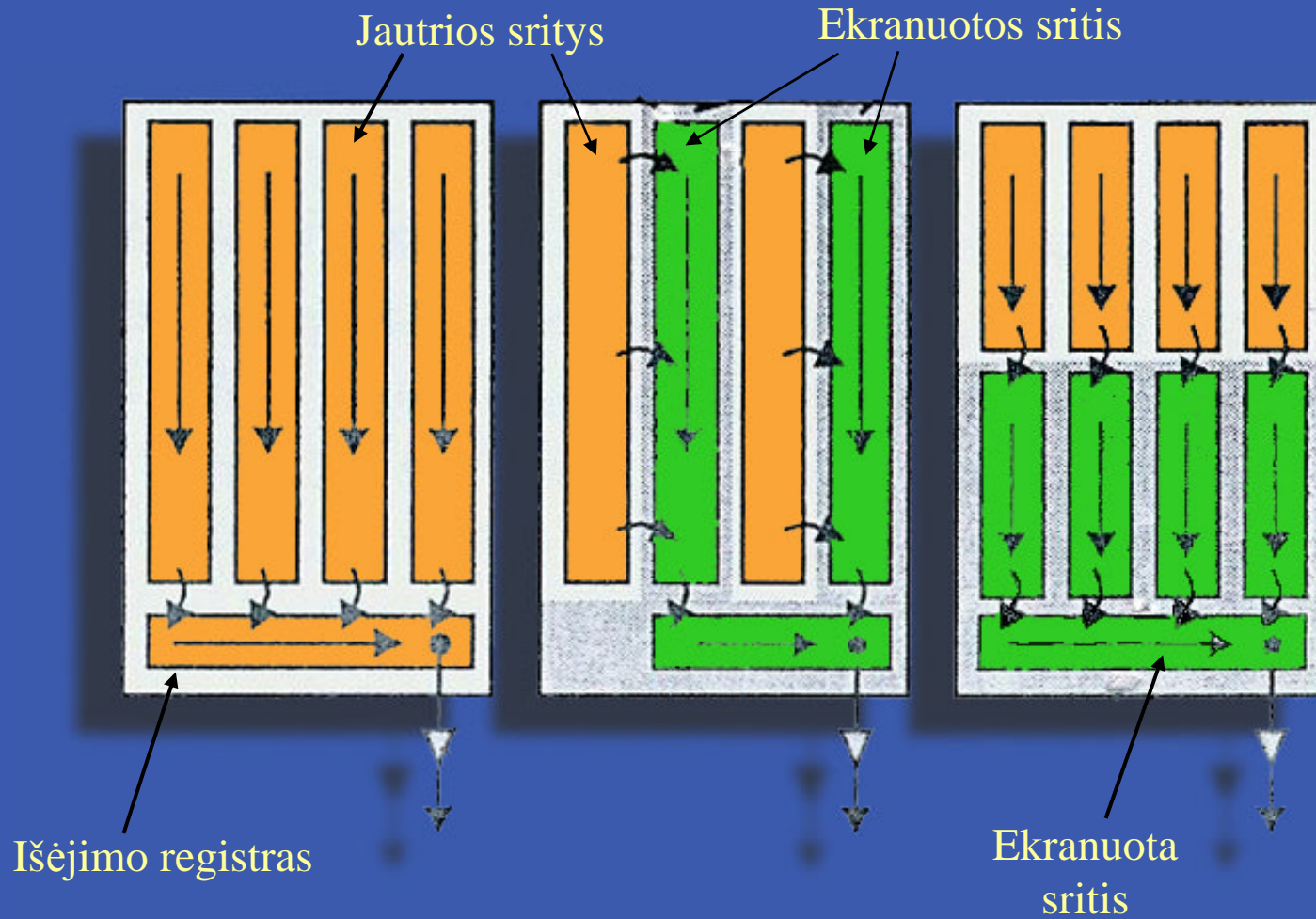


2D CCD masyvas

Nuoseklus krūvio pernešimas tarp potencinių duobių įgalina elektroninį vaizdą nuskaityti detektavimo metu iš dvimačio pikselių išdėstymo matricoje.



CCD izoliavimas

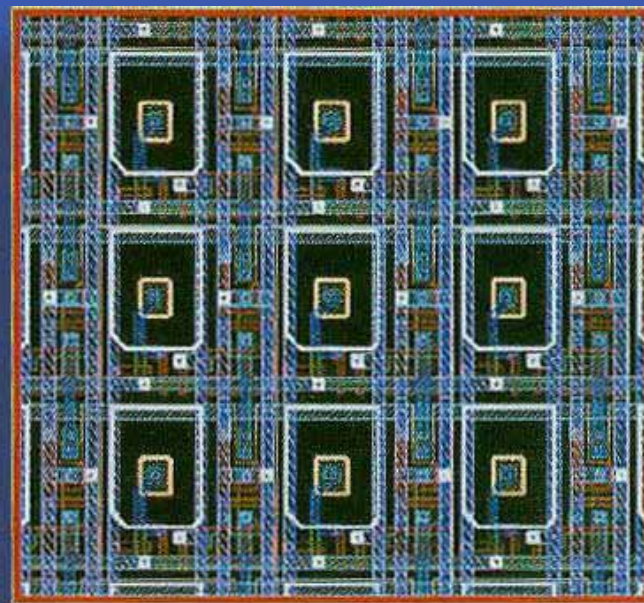


CMOS vaizdo sensorius

(complimentary metal-oxide semiconductor)

CMOS vaizdo sensorius sudarytas iš pikselių masyvo, kurių kiekvienas turi savo stiprintuvą bei A/D keitiklį. Visi šie matricos elementai sujungti į didelį multipleksorių.

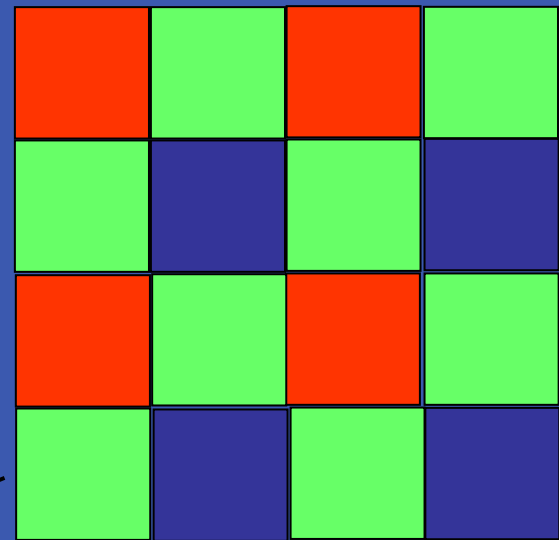
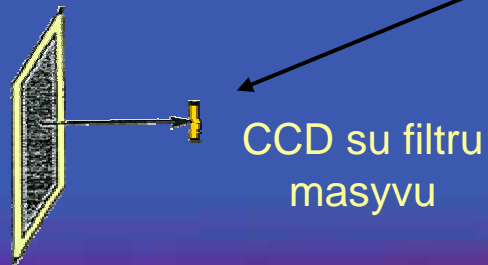
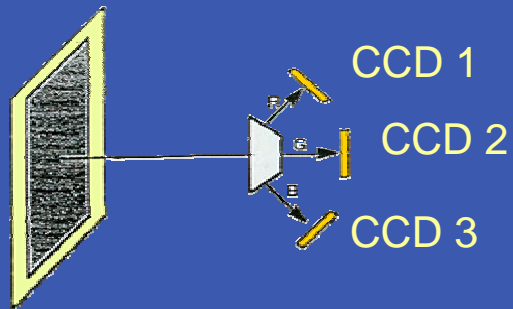
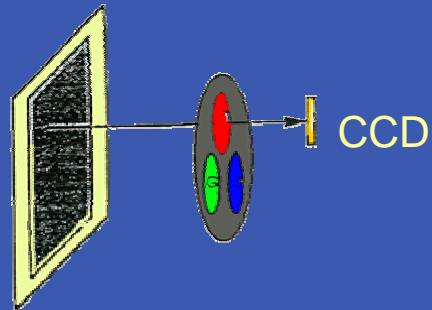
Pačių fotosensorių veikimas analogiškas CCD.



CCD ir CMOS palyginimas

- CCD mažiau triukšmauja
- CMOS mažiau jautrūs – efektingas plotas iki 50%
- CMOS suvartoja iki 100 kartų mažiau energijos
- CMOS greitesni
- CMOS leidžia nuskaityti visą, bet ir tik dalį matricos
- CMOS pigesni
- CCD šiandien yra geresnės kokybės

Kaip gaunamos spalvos



Dinaminis diapazonas



trumpas išlaikymas



Ilgas išlaikymas

Bitai imtyje	Galimų verčių skaičius	Dinaminis diapazonas
2	4	12dB
3	8	18dB
4	16	24dB
8	256	48dB
12	4096	72dB
16	65536	96dB
24	1677216	145dB
32	4294967296	193dB

Ar didindami bitų skaičių padidinsime dinaminį diapazoną?

Kiek norėtumėt bitų?

O kiek reikia?

$$\text{Bitų kiekis} = \left(\frac{\text{dinaminis diapazonas}}{6.02} \right) \text{bitų}$$

$$\text{Dinaminis diapazonas} = -20 \log_{10} \left(\frac{\text{triukšmo lygis rms}}{\text{maksimalus lygis rms}} \right) \text{dB}$$

Norint išplėsti dinaminį diapazoną reikia:

- Mažinti triukšmų lygį;
- Didinti maksimalų lygį.

Kaip padidinti dinaminį diapazoną?

- **Šaldyti!**

Taip sumažinsime tamsiasias sroves – taigi ir triukšmų lygis sumažės

- **Didinti pikselio potencinio šulinio talpą.**

Šiandien gaminami iki 200 000 elektronų palaikantys (skersmuo apie 1 mikrometras).

Galima didinti pikselio skersmenį, tačiau taip sumažės raiška arba prireiks specialios optikos ištaisančios “tamsius kampus” (vignetting).