

# Sensorët dhe Interfejsët

## Kapitulli 4 : Sensorët Optikë

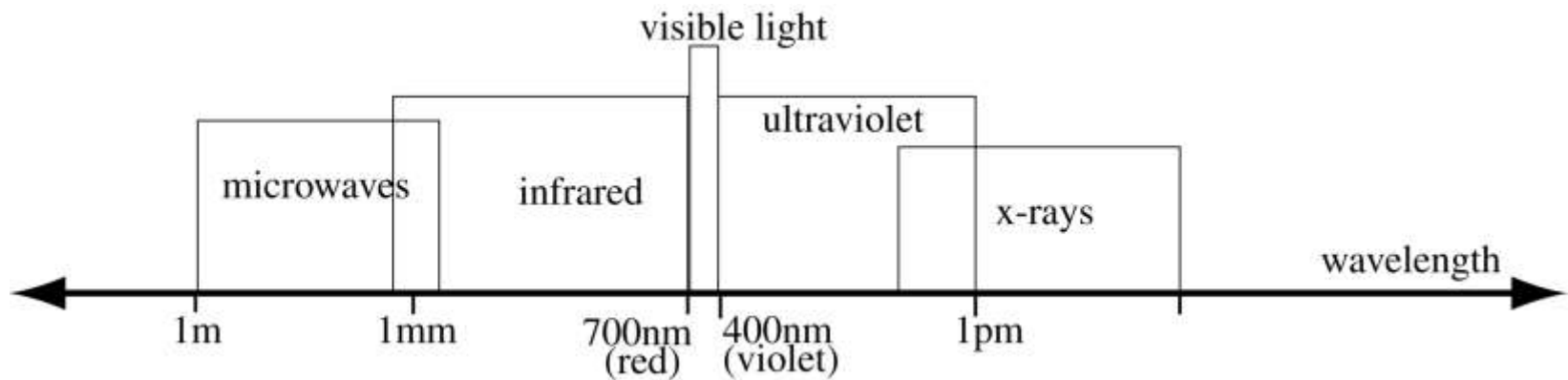
- Fotopërçuesi
- Fotodioda
- Fototranzistori
- Sensorët fotoelektrikë
- CCD sensorët dhe detektorët
- Sensorët optikë termikë

# Sensorët optikë

- Sensorët optikë janë ata sensorë që detektojnë rrezatim elektromagnetik në brezin e gjerë optik – prej infra të kuqes deri në ultravjollcë
- Brezi i përafërt i gjatësisë valore prej:
  - **1mm** ( $3 \times 10^{11}$  Hz apo infra e kuqe) deri në
  - **1 nm** ( $3 \times 10^{17}$  Hz apo brezi i epërm ultravjollcë).
- Metodave direkte të shndërrimit të dritës në elektricitet (sensorë fotovoltaikë apo sensorë fotopërçues)
- Metodave indirekte si shndërrimi në variacion të temperaturës dhe më pas në elektricitet (PIR sensorët)

# Spektri i rrezatimit "optik"

- Nomenklatura:
  - Drita e dukshme
  - Rrezatimi infra i kuq (jo "drita" infra e kuqe)
  - Rrezatimi ultravjollcë (jo "drita" UV)
- Brezat e treguar janë të përafërt dhe disi arbitrare



## Rrezatimi infra i kuq

- Spektri i përfaqësuar
  - 1mm (300 GHz) deri 700nm (430 THz)
- Domethënë: përfundi të kuqes
- Afër infra të kuqes (më afër dritës së dukshme)
- Infra e kuqe e largët (më afër mikrovalëve)
- Rrezatim i padukshëm, ndryshe i njohur edhe si rrezatim “termik”
- $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$   $1\text{GHz}=10^9\text{ Hz}$ ,  $1\text{THz}=10^{12}\text{ Hz}$

# Drita e dukshme

- Spektri i përafërt
  - 700nm (430 THz) deri në 400nm (750 THz)
- Bazuar në reagim e syrit të njeriut
- Prej të kuqes (frekuanca e ultë, gjatësia e valore e gjatë)
- Në të vjollcë (frekuanca e lartë, gjatësia valore e shkurtë)
- Syri i njeriut është më i ndjeshëm në mes (gjelbërt në të verdhë)
- Sensorët optikë mund të mbulojnë tërë brezin, mund ta tejkalojnë atë apo të kenë brez më të ngushtë

# Rrezatimi ultravjollcë (UV)

- Spektri i përafërt
  - 400nm (750 THz) deri në 400pm (300 PHz)
- Domethënë – mbi të vjollcen
- E kuptuar si rrezatim “depërtues”
- Zakonisht vetëm spektri i ultë UV detektohet
- Përrjashtimet: sensorë të rrezatimit të bazuar në jonizim (kap. 9)

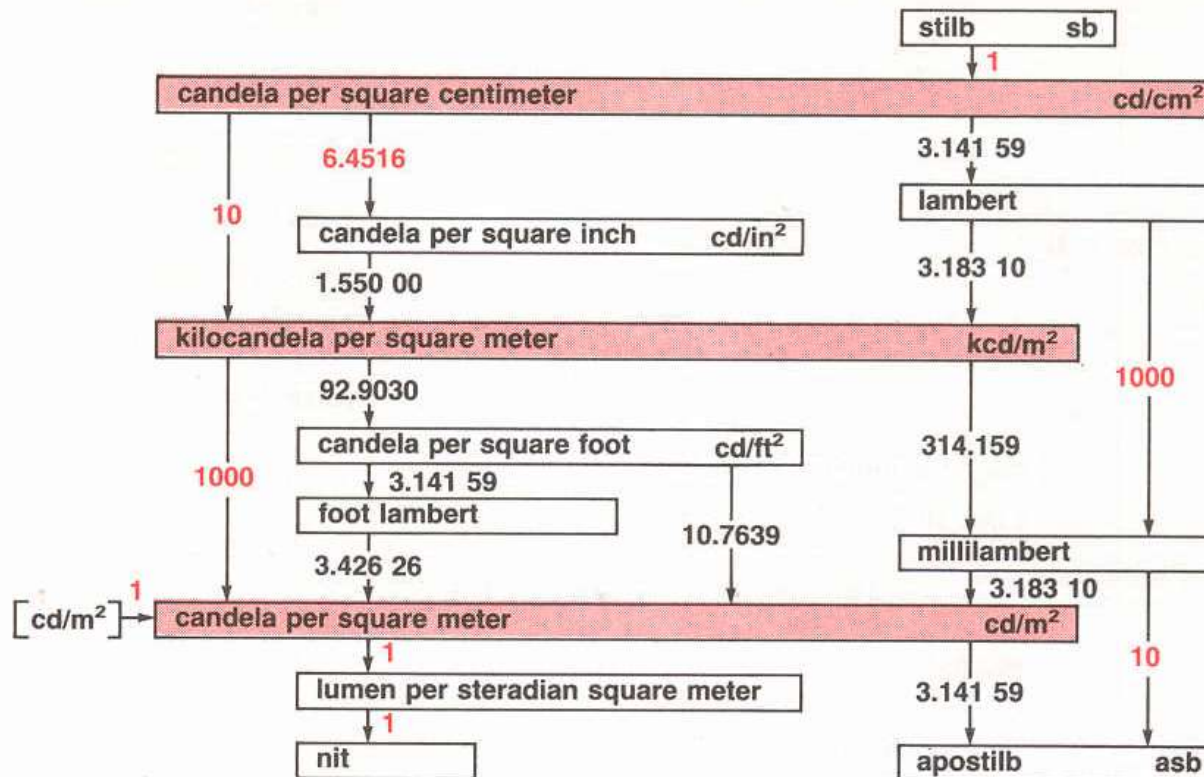
1 PHz =  $10^{15}$  Hz (PHz = Peta-Hertz)

## Pak fjalë për njësitë

- Njësitë SI përfshijnë: metrin, kg, sekondën, amperin, **kandela**, temperatura në kelvin dhe moli
- Të gjitha njësitë tjera janë të derivuara
- **Kandela**
  - “Intensiteti i ndriçimit (luminous), në drejtim të dhënë, i burimit i cili emiton rrezatim monokromatik në frekuencë prej  $540 \times 10^{12}$  Hz dhe që ka një intensitet të rrezatimit prej  $1/683$  watt për steradian”

# Njësitë e ndriçimit (luminosity)

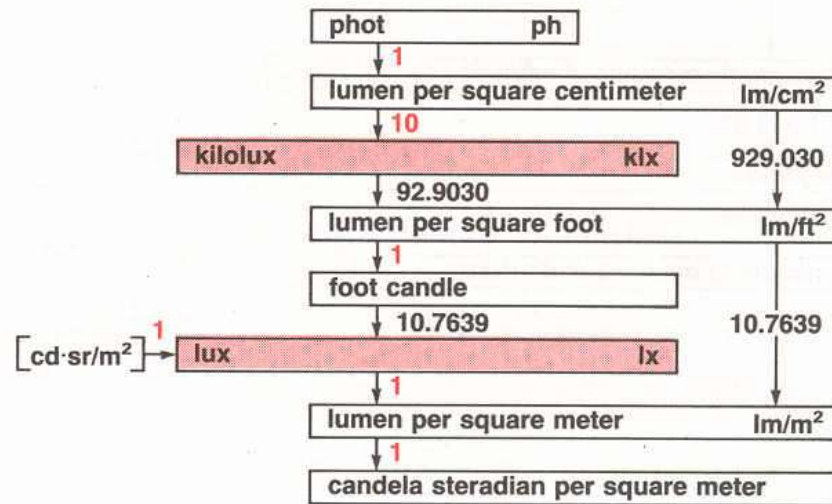
## LUMINANCE



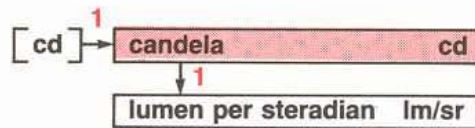


# Njësitë e ndriçueshmërisë (illuminance)

## ILLUMINANCE



## LUMINOUS INTENSITY



## LUMINOUS FLUX



# Detektimi optik

- Bazuar në dy principe
  - **Efektet termike** të rrezatimit
  - **Efektet kuantike** të rrezatimit
- Efektet termike: absorbimi i rrezatimit përmes lëvizjes së rritur të atomeve. Kjo mund të lirojë elektronet (nxehësia)
- Efektet kuantike: interaksioni i fotoneve me atomet dhe efektet rezultuese, përfshirë këtu edhe lirimin e elektroneve.

# Efekti fotoelektrik

- Ekuacioni i Plank-ut:

$$e = hf \quad [\text{ev}]$$

$h = 6.6262 \times 10^{-14}$  [J/s] (konstanta e Plankut)

$f$  = frekuenca

$e$  = energjia e fotonit në frekuencë rrezatimi  $f$ .

- Ndryshe njihet edhe si **energji kuantike**
  - E lartë për frekuenca të lartë
  - Mund t'i jepet elektroneve si energji kinetike

Shënim: kjo energji quhet **energji jonizuese** dhe përdoret për të dalluar mes rrezatimeve "të rrezikshme" dhe "jo të rrezikshme"

# Efekti fotoelektrik

- Fotonet ndeshen me elektronet në sipërfaqe të materialit
- Elektronet (acquire) kërkojnë energji dhe kjo energji i lejon elektroneve të:
  - Lirohen nga sipërfaqja e materialit duke tejkaluar **funksionin punues** të substancës.
  - Energjia e tepërt i shtohet elektroneve në formë të energjisë kinetike.

# Efekti fotoelektrik

- Që elektronet të lirohen, energjia e fotoneve duhet të jetë më e lartë se funksioni punues i materialit. Do të thotë:
  - Frekuenca duhet të jetë mjaftë e lartë apo:
  - Funksioni punues duhet të jetë i ultë
- Frekuenca në të cilën energjia e fotoneve është baraz me funksionin punues është **frekuenca e ndërprerjes**
  - Përfundi kësaj frekuençe nuk mund të vërehen efektet kuantike (vetëm efektet termike)
  - Mbi të, efektet kuantike dhe termike janë preznte.
  - Në frekuenca më të larta (rrezatimi UV) efektet kuantike dominojnë.

## Disa shënime:

- Efekti fotoelektrik është efekt sipërfaqësor
- Më i pranishëm në përqës
- Grupi 1 (Alkaliet) ka vlera më të ulëta të funksionit punues – shpesh përdoret në celula fotoelektrike
- Sasia e elektroneve të liruara bëhet masë për intensitet të rrezatimit
- Elektronet mund të emitohen nga emitimi termionik – bazuar në efektin termik

# Efekti fotopërçues

- Efekt i gjendjes së fortë
- Më i dukshëm në gjysmëpërçues
- Bazuar në zhvendosje të elektroneve valente dhe/apo kovalente
- Elektronet valente: të lidhura në atome individuale të shtresave të jashtme
- Elektronet kovalente: të lidhura por të përdorura mes atomeve fqinje në kristal

# Efekti fotopërçues

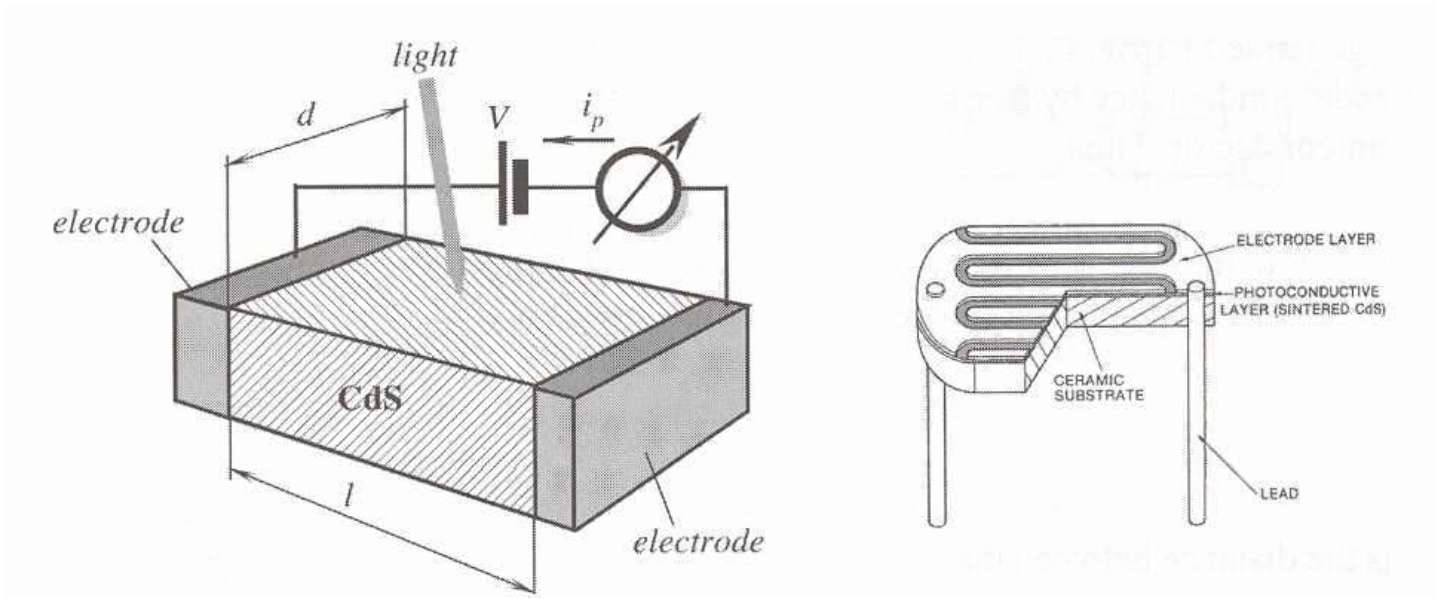
- Ky ndryshim në përçueshmëri apo në ndryshim rezultues të rrymës më pas është matje e drejtpërdrejtë e intensitetit të rrezatimit.
- Efekti fotopërçues është më i zakonshmi në gjysmëpërçues për arsye se hapësirat mes brezave janë relativisht të vegjël.
- Në përçues, shumica e elektroneve janë të lira të lëvizin (pasi që janë në brezin përçues dhe kështu janë tepër larg hapësirës së brezit energjetik) e që është tregues që fotonet do të kenë efekt minimal apo zero në përçueshmërinë e mediumit.
- Gjysmëpërçuesit janë zgjedhja logjike për sensorë që bazohen në efektin fotopërçues derisas shumica e përçuesve do të përdoren për sensorët e bazuar në efektin fotoelektrik



# Efekt i fotopërçues

- Përçueshmëria është si rezultat i ngarkesës, mobilitetit të elektroneve dhe vrimave dhe i koncentrimëve të elektroneve,  $n$  dhe  $p$  nga cilido burim.
- Në mungesë të dritës, materiali shfaq përçueshmëri të errët, e cila rezulton me rrymë të errët.
- Varësisht nga ndërtimi dhe materialet, rezistenca e pajisjes mund të jetë shumë e lartë (disa  $M\Omega$  apo disa  $k\Omega$ ).
- Kur të jetë i ndriçuar sensori, përçueshmëria e tij ndryshon varësisht nga ndryshimi i koncentrimëve të bartësve (koncentrimi i bartësve tepricë).

# Fotopërqesi - struktura



## Veçoritë fotopërçuese

- **Shembull: InSb (Indium Antimon):**
  - Gjatësia valore maksmale  $5.5 \mu\text{m}$
  - Detekton afër brezit infra të kuq
  - Hapësira e brezit është shumë e ultë – shumë i ndjeshëm.
  - Mirëpo elektronet mund të lirohen lehtë nga burimet termike
  - I papërdorshëm në temperaturë dhome ( $300^\circ\text{K}$ ) (shumica e elektroneve janë brezin përçues)
  - Për këtë arsye këta sensorë shpesh duhet të ftohen ashtu që të jenë të përdorshëm dhe të evitohen zhurmat termike.

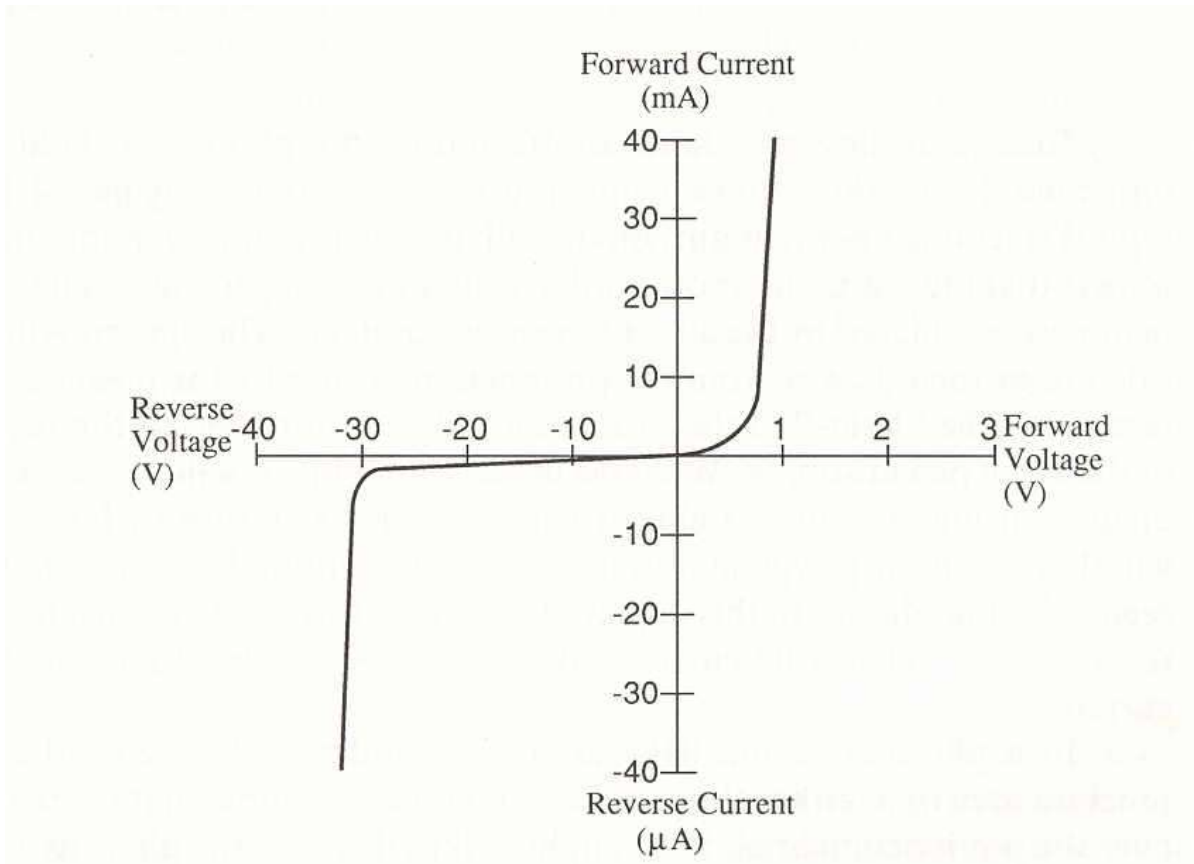
# Fotopërçues të ndryshëm (fotorezistorët)



## Fotodiodat

- Diodë gjysmëpërçuese e ekspozuar ndaj rrezatimit
- Bartësit tepricë si pasojë e fotoneve i shtohen ngarkesave aktuale në brezin përçues njëjtë si një gjysmëpërçues i pastër.
- Dioda mund të jetë e polarizuar drejtë, invers apo e jopolarizuar
- Polarizimi i drejtë i diodës nuk është i dobishëm në dioda fotosensorike
  - Numri i bartësve në modin përçues është i lartë
  - Numri i bartësve i shtuar nga rrezatimi është i vogël
  - Ndjeshmëria është shumë e ultë

# Veçoritë I-V të diodës



# Fotodioda – dy mode

---

- Dy mode të operimit si fotodiodë

## 1. Modi fotopërçues

- Dioda polarizohet invers
- Operon ngjashëm si fotopërçuesi

## 2. Modi fotovoltaik

- Dioda nuk polarizohet
- Operon si burim (celulat solare)

## Modi fotopërçues

- Në modin e “errët” disa bartës rrjedhin
- Fotonet lirojnë elektronet nga brezi i valencës si në anën p apo n të kalimit.
- Këto elektrone dhe vrimat rezultuese rrjedhin drejt polariteteve përkatëse (elektronet drejt polit pozitiv, vrimat drejt polit negativ)
- Fotorryma, e cila në mungesë të një rryme në diodë përbën të vetmen rrymë.

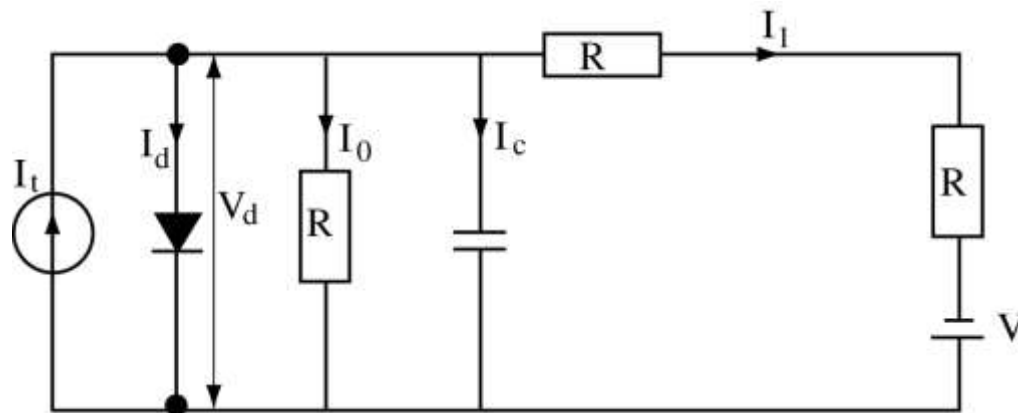


## Modi fotopërçues – efekti shtesë

- Polarizimi i madh inverz i përshpejton elektronet
- Elektronet mund të ndeshen me elektronet tjera dhe i lirojnë ato nëpër hapësirën e brezit
- Ky efekt quhet efekti i ortekut
  - Rezulton në shumëfishim të bartësve.
  - Sensorët që operojnë në këtë mod quhen sensorë fotomultiplikues

# Modi fotopërçues – qarku ekuivalent

- $I_t$  është rryma totale në ngarkesë
  - Si pasojë e fotoneve dhe e burimeve tjera
    - Termike
    - Rrjedhjes
    - Kapaciteteve, etj.



# Dioda fotopërçuese - funksionimi

- Rryma totale e jashtme është

- $I_0$  është zak. e vogël
- 10 nA apo më pak

$$I_l = I_d - I_p = I_0(e^{eV_d/KT} - 1) - \frac{\eta P A e}{hf}$$

- Duke neglizuar  $I_0$ , rryma totale e jashtme është

- Kjo rrymë jep një lexim direkt të fuqisë së absorbuar nga dioda
- Nuk është konstante sepse relacioni varet nga frekuenca dhe vetë fuqia e absorbuar varet nga frekuenca.

$$I_l \approx \frac{\eta P A e}{hf}$$

$I_d$  - Rryma e polarizimit invers:

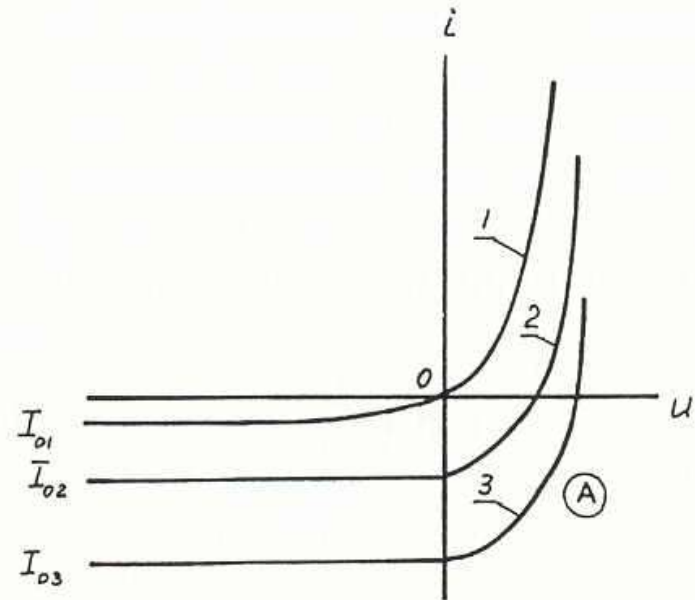
$I_0$  - rryma e rrjedhjes,  
 $V_d$  tensioni në kalimin p - n,  
 $k=8.62 \times 10^{-5}$  eV/°K (konst. e Bolcmanit)  
 T - temp. absolute

$I_l$  - Rryma e fotoneve:

P - Densiteti i fuqisë së rrezatimit ( $W/m^2$ )  
 f - frekuenca  
 $\eta$  - efikasiteti i absorbimit kuantik  
 A - hapësira e ekspozimit të diodës  
 ( $\eta P A$  = fuqia e absorbuar nga kalimi)  
 h - kontanta e Plankut  
 e - energjia e fotonit në frekuencë rrezatuese f

# Dioda fotopërçuese - funksionimi (vazhd.)

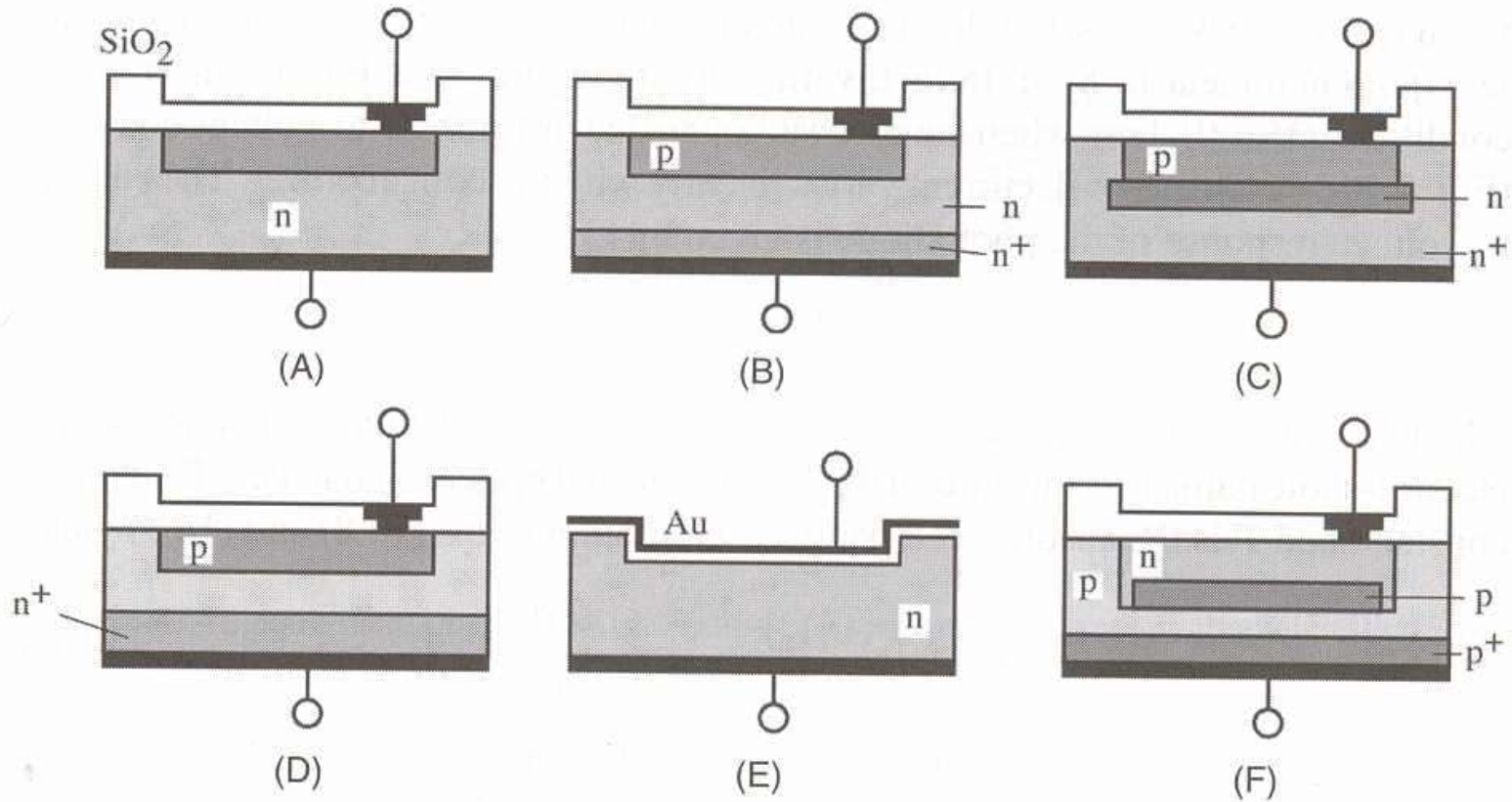
- Me rritjen e fuqisë hyrëse lakorja specifike e diodës ndryshon, duke rezultuar në rrymën e kundërt
- Kjo rrymë paraqet madhësinë e detektuar



## Fotodioda - ndërtimi

- Çdo diodë mund të shërbejë si fotodiodë nëse:
  - Regjioni n, regjioni p apo kalimi p-n i ekspozohen rrezatimit
  - Zakonisht ekspozimi bëhet përmes xhamit transparent apo thjerrzës
- Struktura specifike janë zhvilluar për të përmirësuar një apo më shumë specifika
  - Përmirësimi më me rëndësi është në rrymën e errët

# Strukturat e fotodiodave të rrafshëta



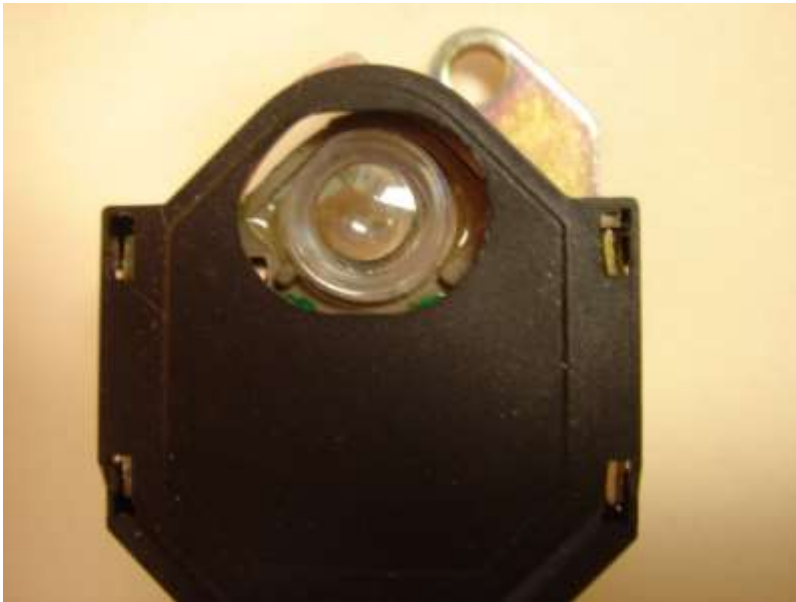
## Fotodiodat - ndërtimi

- A – Shtresë oksidi rrit rezistencën – zvogëlohet rryma e errët
- B - PIN dioda
  - Shtimi i shtresës së brendshme (intrinsic) p e rrit rezistencën
  - Zvogëlon rrymën e errët
- C - pnn+ dioda – një shtresë e n+ përçues shtohet
  - Zvogëlon rezistencën
  - Përmirëson reagimin në frekuenca të ulëta

# Fotodiodat - ndërtimi

- D - A kombinim i B dhe C
  - Shtimi i shtresës së hollë p e rrit rezistencën
  - Zvogëlon rrymën e errët dhe përmirëson reagimin në frekuenca të ulëta
- E - Schotky dioda (bashkimi metal-gysmëpërçues)
  - Reagim i përmirësuar infra i kuq (gjatësi e lartë valore)
  - Shtresa metalike duhet të jetë transparente (shtresë shumë e hollë)
- F - npp+ dioda – si në B





Fotodioda e përdorur në CD Player



Fotodioda fushë (512 elemente) në skener

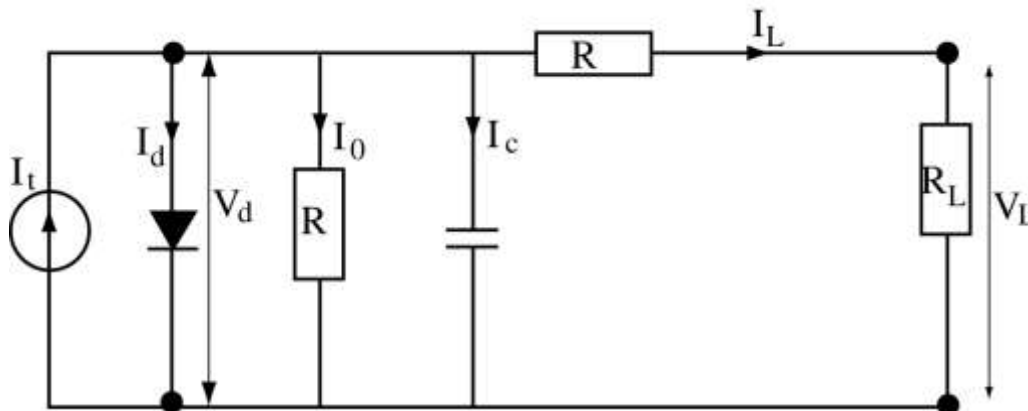
# Diodat fotovoltaike

---

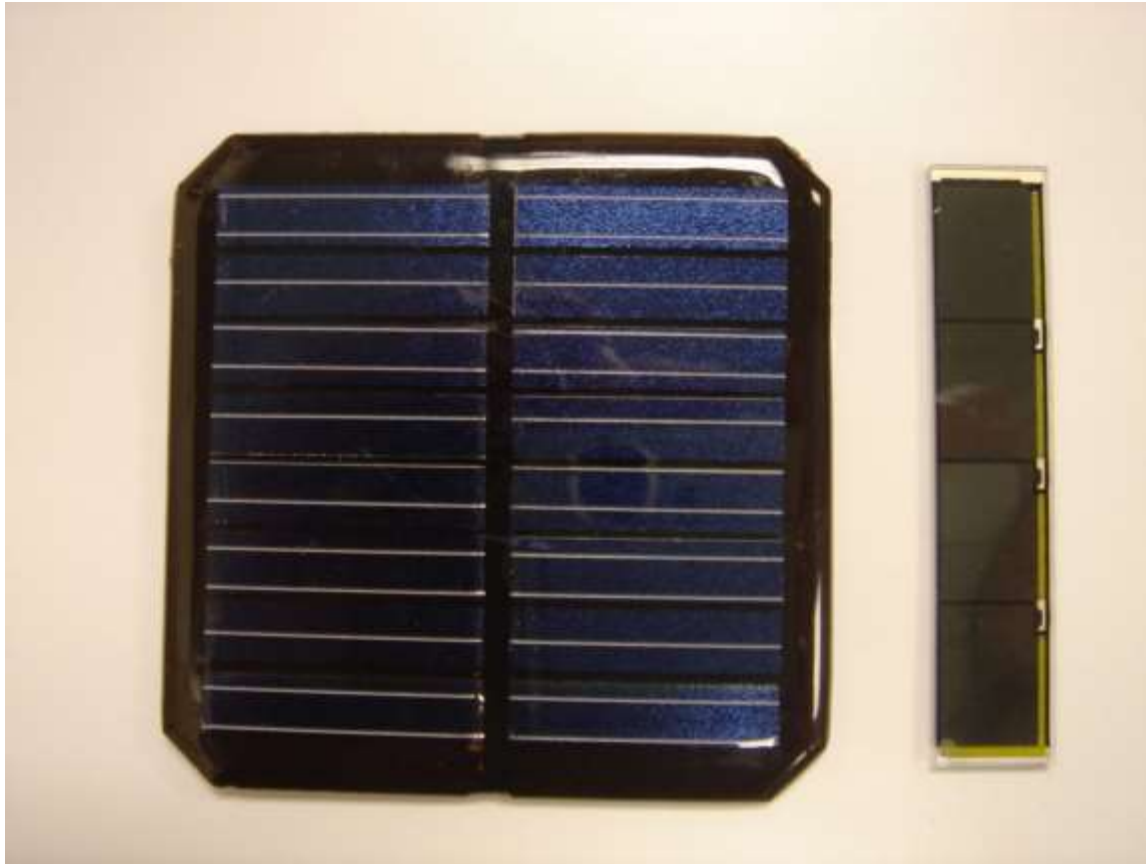
- Dioda nuk polarizohet
- Shërben si një gjenerator
  - Bartës të gjeneruar nga rrezatimi krijojnë një diferencë potenciali nëpër kalim
  - Secila fotodiodë mund të operojë në këtë mod
  - Celulat solare janë një shembull i veçantë i fotodiodave me sipërfaqe të madhe

# Modi fotovoltaik

- Qarku ekuivalent i fotodiodës në modin fotovoltaik
- Kapaciteti është zakonisht i madh
- Rryma e rrjedhjes është e vogël
- Reagimi i celulave solare është i ngadaltë si pasojë e kapacitetit të lartë

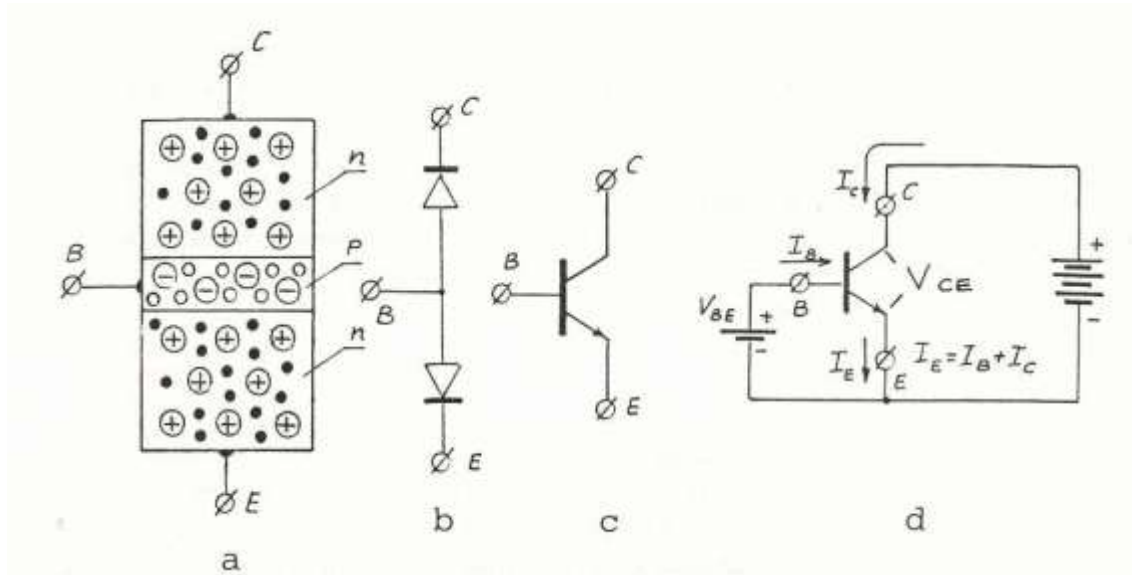


# Celulat solare



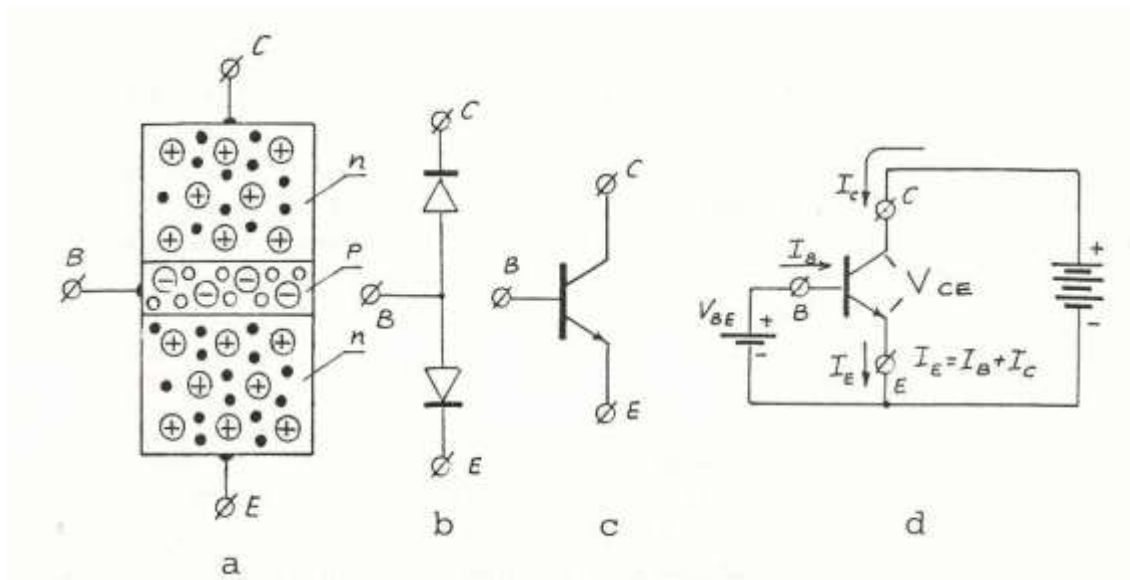
# Fototranzistori

- Dy bashkime
- Njëri i polarizuar drejtë, tjetri kundërt



# Fototranzistori

- Me polarizimin e treguar, dioda e epërme (kalimi kolektor-bazë) është e polarizuar kundërt derisa dioda përfundi (bazë-emiter) është polarizuar drejtë.
- Në tranzistor të zakonshëm, rryma  $I_B$  e injektuar në bazë amplifikohet me faktor amplifikues të tranzistorit



# Fototranzistori

- Në tranzistor të zakonshëm:

- $\beta$  = amplifikimi
- $I_b$  = rryma e bazës
- $I_c$  = rryma e kolektorit

$$I_C = \beta I_b$$

- Rryma e emiterit:

$$I_E = I_b(\beta + 1)$$

- Në fototranzistor, baza eliminohet. Rryma e errët ekziston:

- $I_0$  = rryma e rrjedhjes

$$I_C = I_0 \beta, \quad I_E = I_0(\beta + 1)$$

# Fototranzistori

- Me ndriçim të kalimit:

$$I_B = I_p = \frac{\eta P A e}{h f}$$

- Rryma e kolektorit:

$$I_C = I_p \beta = \beta \frac{\eta P A e}{h f}$$

- Rryma e emiterit:

- (rryma e rrjedhjes neglizhohet)

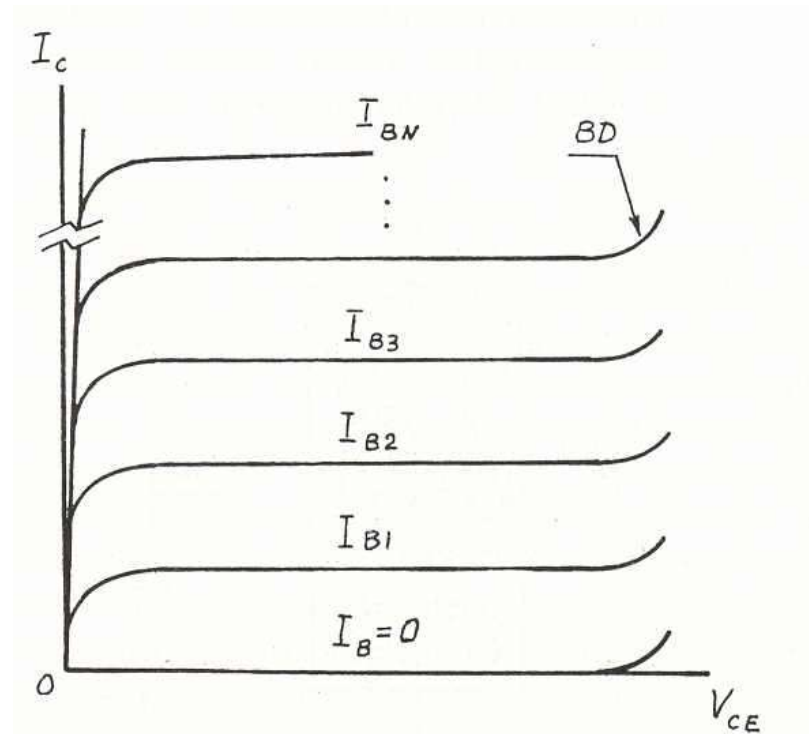
$$I_E = (\beta + 1) \frac{\eta P A e}{h f}$$

- Operimi i fototranzistorit është identik me atë të fotodiodës përveç amplifikimit  $\beta$  të ofruar nga struktura e tranzistorit.



# Fototranzistori (vazhd.)

- $\beta$  edhe për tranzistorë më të thjeshtë mund të jetë e vlerave 100 (dhe më shumë)
- Amplifikimi është linear në shumicën e brezit operues
- Fototranzistori është pajisje shumë e dobishme dhe e përdorur shpesh për detektim



## Fototranzistori - përmbledhje

- Amplifikimi i madh i lejon fototranzistorëve të operojnë në nivele të ulëta të ndriçimit
- Zakonisht janë shumë më të vogla se fotodiodat.
- Zhurma termike mund të jetë një problem i madh
- Reagimi është më i shpejtë se diodat
- Në shumicën e rasteve, një thjerrëz e thjeshtë ofrohet për të përqëndruar dritën në një bashkim, e cila për tranzistorë është shumë e vogël.

# Fototranzistori tipik



# Sensorët fotoelektrikë, fotomultiplikatorët

---

- Bazuar në efektin fotoelektrik
- Elektroda metalike
- Tuba të evakuuar
- Disa nga sensorët më të vjetër tipik optik
- Përdorimi:
  - Detektimi i prezencës, numërimi, siguria
  - Detektim i burimeve shumë të dobëta, pamja natën (fotomultiplikatorët)

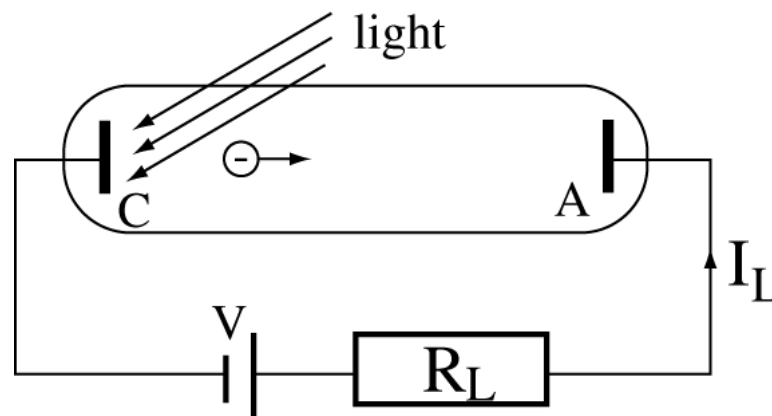
## Sensorët fotoelektrikë

---

- Ndryshe quhen edhe celula fotoelektrike
- Prodohen nga foto-katoda, foto-anoda në një gyp të evakuuar
- Foto-katoda – e krijuar nga materiale me funksione të ulëta të punës (të mbështjellura me alkalie)
- Elektronet përshpejtohen drejt foto-anodës
- Rryma nëpër pajisje është masë e intensitetit të rrezatimit

# Sensori fotoelektrik

- “Drita” përfaqëson rrezatimin
- Tensioni zakonisht është disa qindra voltë
- Foto-anoda dhe foto-katoda kanë forma të ndryshme për qëllime të performansave më të mira



## Sensorët fotoelektrikë

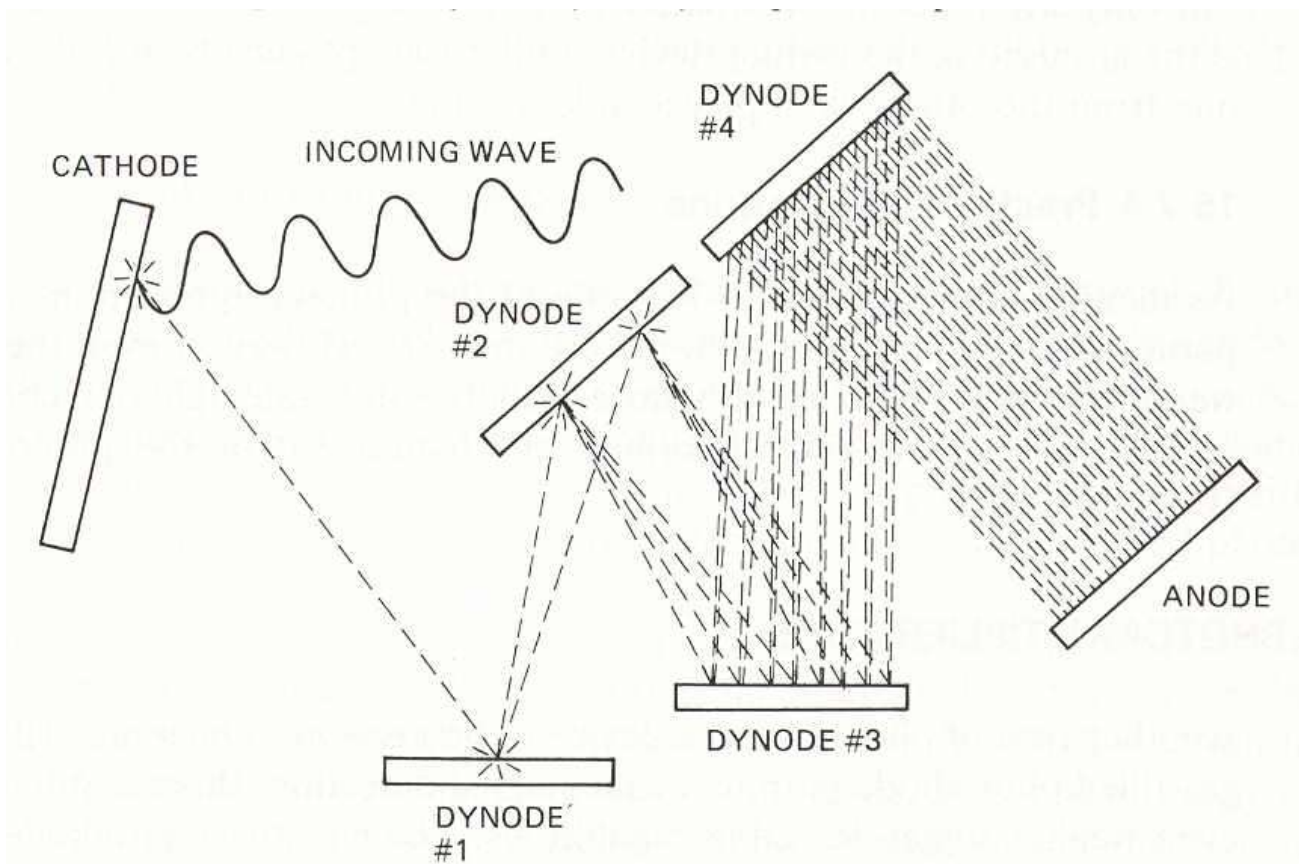
- Përforcim tipik prej 10 herë
- Sensorët më të ri fotoelektrikë:
  - Sipërfaqe NEA (negative electron affinity)
  - Të ndërtuara me avullim të oksidit të ceziumit në sipërfaqe të gjysmëpërçuesit
  - Operojnë njëjtë si pajisjet më të vjetra por kanë funksion më të ultë të punës dhe kërkjnë tensione më të ulëta të anodës

# Fotomultiplikatorët

- Zhvillim i sensorëve fotoelektrikë
- Dalja (numri i elektroneve) shumëzohet me një faktor të madh
  - Ka një foto-katodë dhe një foto-anodë
  - Katoda tjera shtesë të ndërmjetme, të quajtura dinoda shtohen mes foto-katodës dhe foto-anodës



# Fotomultiplikatori - principi



## Fotomultiplikatorët - funksionimi

- Katodat dhe dinodat prodhohen nga një materiale me funksion të ultë të punës si Berilium-Bakër (BeCu)
- Dinodat janë në potenciale të ngritura
  - Krijon diferencë potenciali ndaj dinodës paraprake
  - I përshpejton elektronet drejt dinodës tjetër

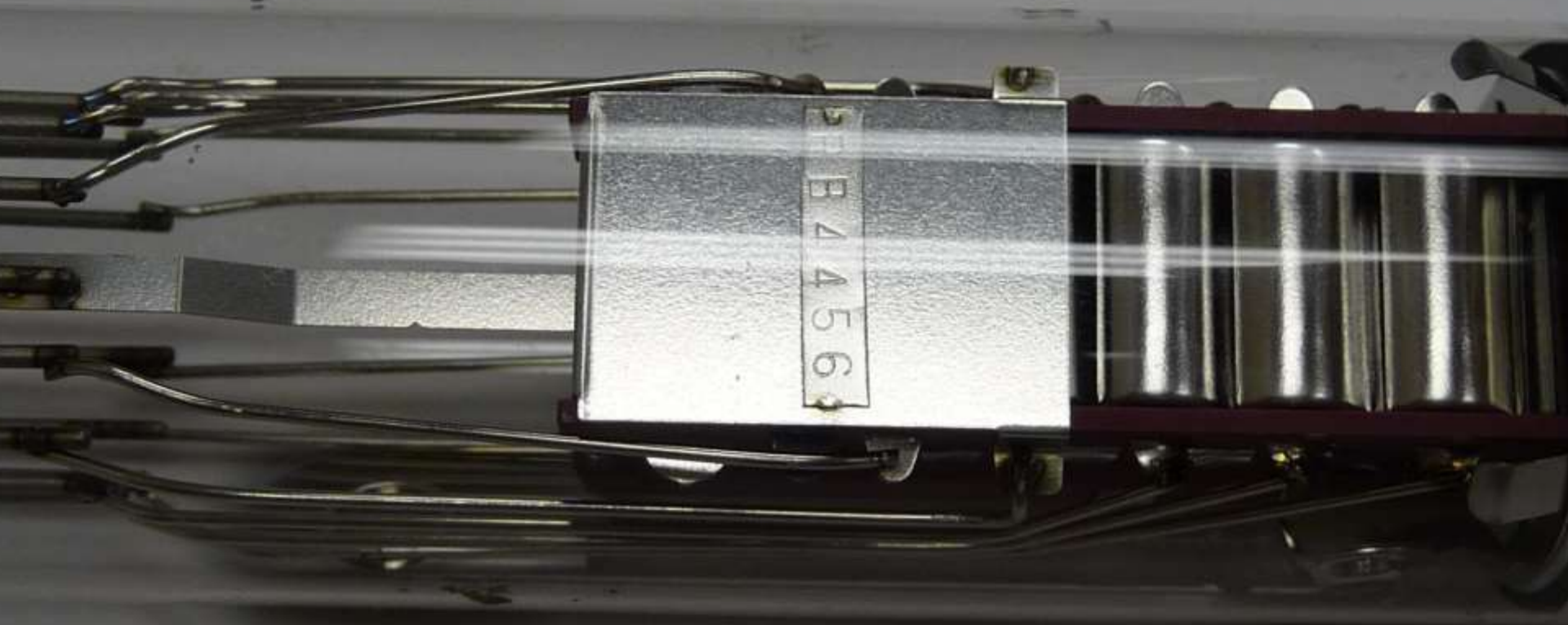
## Fotomultiplikatorët – funksionimi (vazhd.)

- Katoda:
  - Çdo foton liron  $n$  elektrone
  - Elektronet përshpejtohen drejt dinodës së 1-rë
- Dinodat:
  - Secili elektron hyrës liron  $n$  elektrone
  - Elektronet më pas përshpejtohen drejt dinodës tjetër
  - Numri i dinodave mund të jetë i madh (10 apo më tepër)

## Fotomultiplikatorët - aplikimet

- Përdoren në situata të ndriçimit shumë të ultë si në sistemet e vëzhgimit të natës.
- Sensorët fotomultiplikatorë vendosen në pikën fokale të teleskopëve për të vërejtur objekte jashtëzakonisht të zbehta në hapësirë.
- Fotomultiplikatorët janë pjesë e një klase më të gjerë të pajisjeve të quajtura intensifikatorë të fotografive që përdorin metoda të ndryshme (duke përfshirë thjerrëzat elektrike dhe magnetike për të rritur rrymën.
- Në përgjithësi janë zëvendësuar nga pajisjet CCD

5  
B  
7  
4  
5  
6



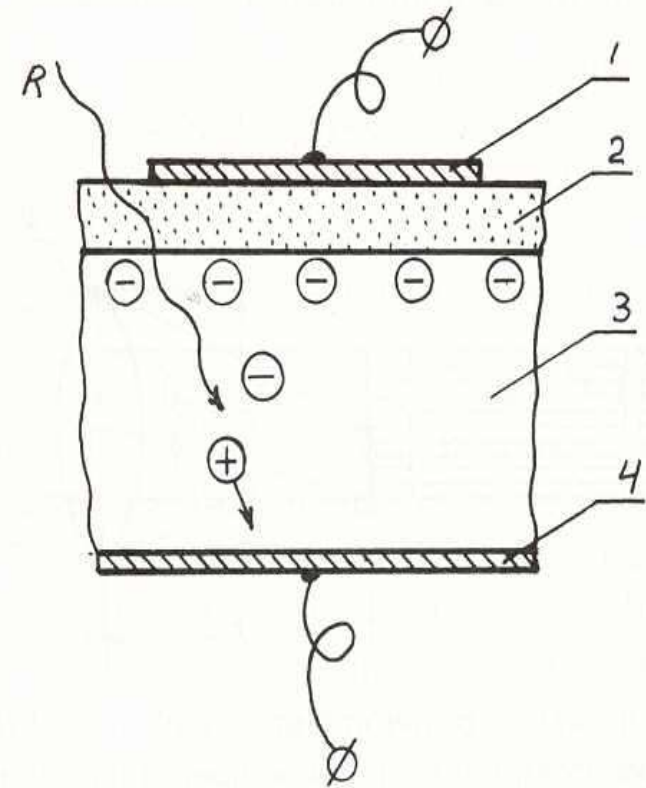


# CCD sensorët dhe detektorët

- CCD - Coupled Charge Device
- Shumë të përhapura në pajisjet optike
  - Kamerat
  - Video kamerat
- Kanë shumë veçori të fotomultiplikatorëve – por më të thjeshtë, më të lirë dhe me kualitet më të lartë të fotografisë
  - Tension të ultë, intensitet të ultë rrezatimi
  - Foto me ngjyra, ndërtim gjysmëpërçues
  - Pajisje shumë të vogla dhe plotësisht të integrueshme

# CCD - struktura

- Të prodhuara nga substrati përcgues
- Një shtresë gjysmëpërcuesi e llojit p apo n vendoset në maje.
- Mbi të një shtresë e hollë izoluese e përbërë nga oksidi i silicit
- Një shtresë transparente përcuese mbi  $\text{SiO}_2$  (porta):
  - Lejon depërtimin e fotoneve
  - Mund të caktohet në potencial përkatës në lidhje me substratin
- Kjo strukturë quhet Metal Oxide Semiconductor (MOS)





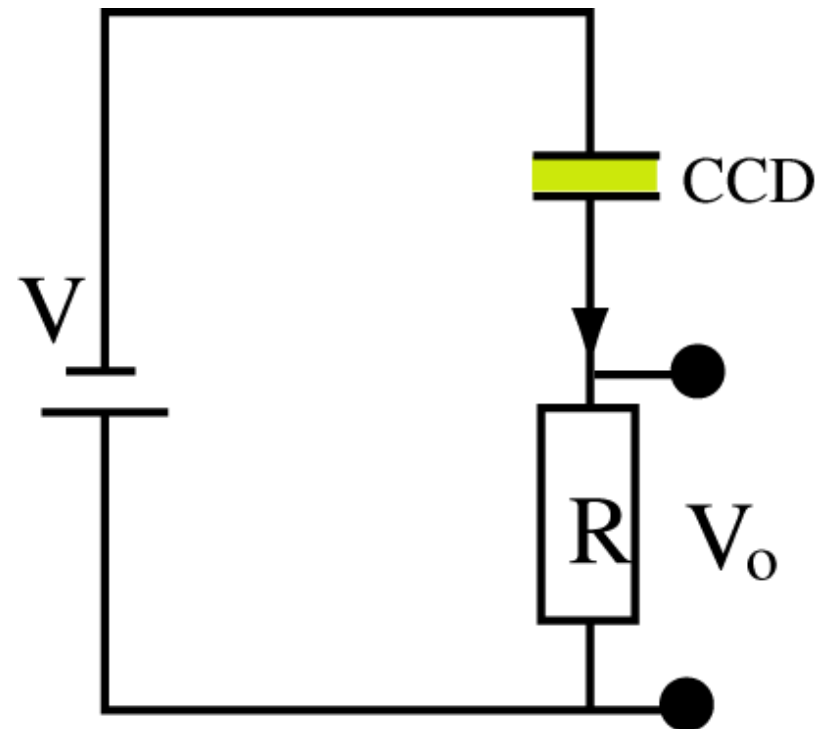
## CCD - funksionimi

---

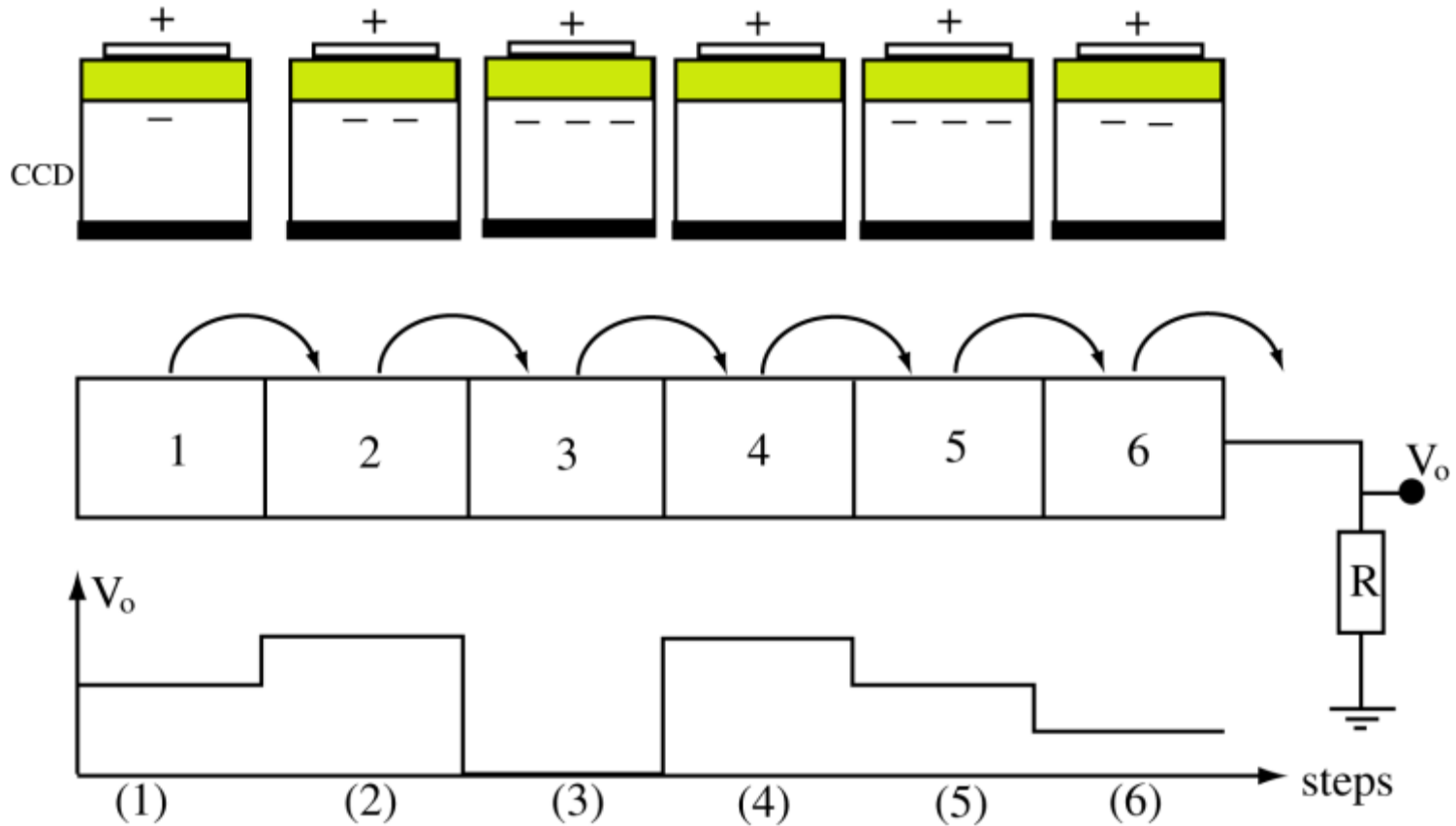
- Porta dhe substrati formojnë një kondenzator.
- Porta është e polarizuar në raport me substratin.
- Një regjion i varfëruar në gjysmëpërçues e shndërron këtë pajisje në pajisje me rezistencë shumë të lartë.
- Rrezatimi optik godet mbi këtë pajisje, depërton përmes portës dhe shtresës së oksiduar dhe kështu liron elektronet në shtresën e varfëruar

## CCD funksionimi (vazhd.)

- Për të matur ngarkesën:
- Pajisja MOS polarizohet kundër për të zbrazur elektronet nëpër një rezistor
- Rryma nëpër rezistor është masa kryesore e intensitetit të dritës



# CCD – metoda e detektimit të ngarkesës



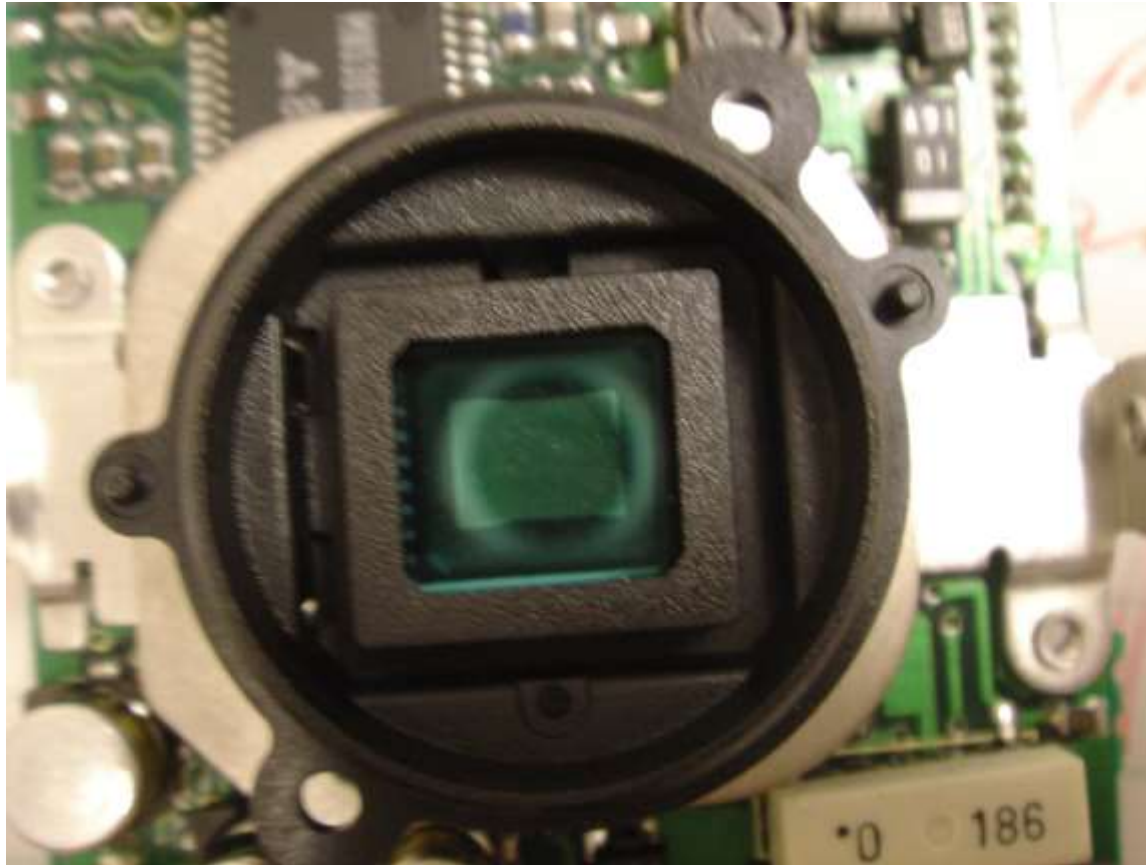
## CCD - 2-D fushat

- Rreshta të shumëfishtë në fushën dy dimensionale.
- Një fotografi fitohet në fund të secilit skenim.
- Sinjali i fituar zakonisht amplifikohet dhe digjitalizohet për të prodhuar fotografinë
- Fotografia më pas mund të paraqitet në një ekran (TV apo LCD).
- Ka shumë variacione të këtij procesi bazë:
  - Për të detektuar ngjyrë, filtrat mund të përdoren për të ndarë ngjyrat në komponentet e tyre bazike (RGB – Red-Green-Blue).
  - Çdo ngjyrë detektohet ndaras dhe formon një pjesë të sinjalit.
    - Kështu, një CCD me ngjyrë do të përmbajë tri celula për piksel secila me reagim në një ngjyrë.

## CCD - aplikimet

- CCD pajisjet janë thelbi i shumicës së kamerave elektronike dhe i video regjistruesve
- Po ashtu përdoren në skenerë
- Përdoren për aplikime me ndriçim shumë të ultë duke ftohur CCD-të në temperatura të ulëta.
  - Ndjeshmëria është më e lartë si pasojë e reduktimit të zhurmës termike.
  - Në këtë mod CCD ka zëvendësuar fotomultiplikatorët.

# Një fushë CCD për video kamerë



(500 linja x 625 piksela x 3 ngjyra)

## Sensorët optikë termikë

- Bazuar në efektet termike të rrezatimit
  - Më të theksuar në frekuenca të ulëta
  - Më të dobishëm në pjesës infra të kuqe dhe mikrovalore të spektrit.
  - Matet temperatura e ndërlidhur me rrezatimin.
  - Një shumëllojshmëri e sensorëve ekzistojnë
  - Në shumë raste, i vetmi opcion për matje (si në matje direkte të fuqisë në frekuenca mikrovalore dhe infra të kuqe - bolometrat)

## Sensorët optikë termikë (vazhd.)

- Sensorët e bazuar në këto principe kanë emërtime të ndryshme, disa tradicionale, disa përshkruese.
  - Sensorët e hershëm janë njohur si sensorë piroelektrikë (piro – zjarr, nga greqishtja).
  - Bolometrat janë sensorë të rrezatimit termikë, esencialisht janë termistorë dhe kanë aplikim në gjatësi valore mm dhe mikrovalore.
  - Emrat tjerë si PIR (Passive Infra Red) apo AFIR (Active Far Infra Red) janë më përshkrues por përfshijnë shumë lloje të sensorëve.
  - Gati çdo sensor temperature mund të përdoret për të matur rrezatim përderisa ekziston një mekanizëm për transformim të rrezatimit në nxehtësi.



## Llojet e sensorëve të rrezatimit termik

- Sensorët e rrezatimit termik ndahen në dy klasa – Sensorët
  - Passive InfraRed (PIR)
  - Active Far InfraRed (AFIR).
- PIR: rrezatimi absorbohet dhe konvertohet në nxehtësi.
  - Rritja e temperaturës matet përmes elementit detektues për të treguar rritje të fuqisë rrezatuese.
- AFIR: pajisja nxehet nga një burim i fuqisë
  - Variacionet e kësaj fuqie si pasojë e rrezatimit (p.sh., rryma apo tensioni i nevojshëm për të mbajtur temperaturën konstante të pajisje) tregojnë për rrezatim.

## PIR sensorët - struktura

- PIR sensori i ka dy komponente bazike
  - Pjesën absorbuese e cila konverton rrezatimin në nxehtësi
  - Një sensor temperature që konverton nxehtësinë në sinjal elektrik.
- Pjesa absorbuese duhet të jetë e aftë të
  - Absorbojë sa më shumë fuqi hyrëse rrezatuese në sipërfaqe të sensorit
  - Reagojë shpejtë ndaj ndryshimeve të fuqisë rrezatuese.

# Termoelementi PIR

- Struktura e një PIR termoelementi me sensor referencë të temperaturës

