

## BESKONTAKTNO MJERENJE TEMPERATURE:

**Temperatura:** je statistička reprezentacija srednje kinetičke energije čestica. Predstavlja najvjerojatniju frekvenciju na kojoj čestice vibriraju.

Svako tijelo u prirodi zrači i apsorbira određenu toplinsku energiju u ovisnosti o temperaturi  $T$  na kojoj se nalazi.

Izračena toplinska energija predstavlja elektromagnetski val određene valne duljine  $\lambda$  i najvećim dijelom pripada području infracrvenog zračenja ( $\lambda > 0.77 \mu\text{m}$ ).

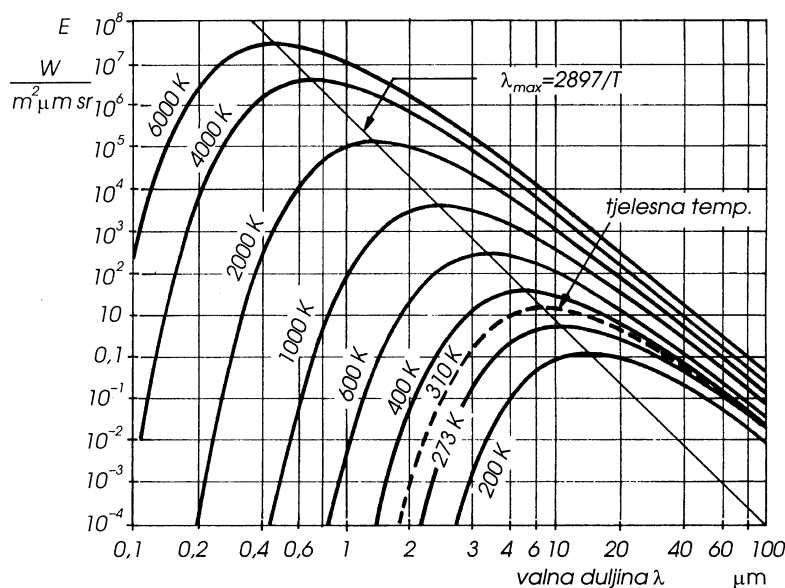
Razlikujemo tri područja infracrvenog zračenja:

- **blisko** (*engl. near*):  $0.77 \mu\text{m} \div 1.5 \mu\text{m}$
- **srednje**:  $1.5 \mu\text{m} \div 6 \mu\text{m}$
- **dalje** (*engl. far*):  $6 \mu\text{m} \div 100 \mu\text{m}$

**Planckov zakon:** ovisnost spektralne gustoće zračenja o valnoj duljini  $\lambda$  i apsolutnoj temperaturi crnog tijela  $T$ :

$$E(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left( e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1 \right)^{-1}$$

gdje je  $c$  brzina svjetlosti,  $k$  Boltzmanova konstanta ( $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ) i  $h$  Planckova konstanta ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ).



**Slika 15.1.** Ovisnost spektralne gustoće zračenja  $E$  o valnoj duljini  $\lambda$  prema Planckovu zakonu

Spektralna gustoća raste s temperaturom i za svaku temperaturu  $T$  ima maksimum pri nekoj valnoj duljini  $\lambda$ .

**Wienov zakon:** valna duljina maksimuma izračene energije na određenoj temperaturi  $T$  dana je izrazom:

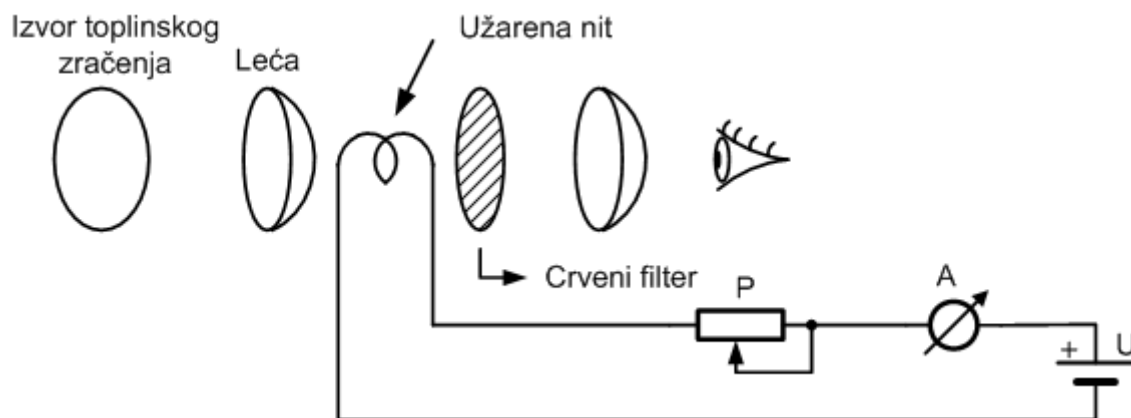
$$\lambda_m = \frac{2897}{T}$$

gdje je maksimalna gustoća zračenja postignuta pri valnoj duljini  $\lambda_m$  izraženoj u  $\mu\text{m}$ , uz apsolutnu temperaturu  $T$  izraženu u kelvinima.

**Npr:** maksimum zračenja ljudskog tijela pri  $T = 37^\circ\text{C}$  (310 K) odgovara valnoj duljini  $\lambda_m = 9.35 \mu\text{m}$ .

### Primjer: Optički pirometar

Termometar s iščezavanjem niti – koristi se u temperaturnom području od 600 do 3000°C. Metoda se temelji na činjenici da se intenzitet i boja (valna duljina) toplinskog zračenja mijenja s temperaturom.



Slika užarene niti superponira se na sliku mjerenog objekta. Struja žarenja mijenja se pomoću promjenjivog otpornika  $P$  dok boja užarene niti ne postane jednaka boji mjerenog objekta (tj. nit iščezne). Ampermetar koji mjeri struju žarenja baždaren je u °C.

**Stefan-Boltzmanov zakon:** energija izračena u sekundi iz crnog tijela površine 1 m<sup>2</sup> (intenzitet zračenja) iznosi:

$$I = \sigma T^4$$

gdje je  $I$  intenzitet zračenja izražen u W, a  $\sigma = 6.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  Stefan–Boltzmanova konstanta.

Ako crno tijelo površine  $S$  u m<sup>2</sup> zrači toplinu, izraz poprima oblik:

$$I_{uk} = \sigma T^4 S$$
$$\Delta I_{uk} = 4\sigma T^3 \Delta T$$

gdje je  $S$  površina tijela [m<sup>2</sup>]

Intenzitet zračenja jako ovisi o temperaturi. Već male promjene u temperaturi  $\Delta T$  vrlo su izražene jer se množe sa  $T^3$  i to više što je apsolutna temperatura  $T$  veća.

Može se mjeriti promjena temperature  $\Delta T = 0.1^\circ\text{C}$

U prirodi ne postoji idealno „crno tijelo“ - sva su tijela „siva“ (crno tijelo – idealno absorbira i zrači energiju).

Valna duljina izračene energije ovisi o temperaturi, dok njezin intenzitet ovisi i o svojstvu površine tijela.

**Koeficijent emisije** (engl. *emissivity*) predstavlja omjer toka izračene energije s površine "sivog" tijela ( $E_s$ ) prema toku izračene energije crnog tijela ( $E_c$ ) iste temperature.

$$\varepsilon = \frac{E_s}{E_c} \quad 0 < \varepsilon < 1$$

$\varepsilon = 0$  bijelo tijelo,  $\varepsilon = 1$  crno tijelo

Na sličan način se definira **koeficijent refleksije**  $\rho$  (engl. *reflectivity*) i **koeficijent prozirnosti**  $\gamma$  (engl. *transparency*)

$$\varepsilon + \rho + \gamma = 1$$

Za neprozirno tijelo :  $\varepsilon + \rho = 1$

Koeficijent emisije jednak je za izračenu i apsorbiranu energiju.

Jako ovisi o materijalu i svojstvima površine.

Metali imaju manji  $\varepsilon$  od izolatora, pogotovo ako im je površina ispolirana.

npr:

– oksidirani bakar	$0.6 < \varepsilon < 0.7$
– polirani bakar	$\varepsilon = 0.02$
– zlato	$\varepsilon = 0.02$
– crno zlato	$0.98 < \varepsilon < 0.99$

$\varepsilon$ ,  $\rho$ ,  $\gamma$  su ovisni o valnoj duljini zračenja.

Vodena para apsorbira valne duljine 1.4, 1.8, 2.7  $\mu\text{m}$  a transparentna je za valne duljine 1.6, 2.2, 4.0  $\mu\text{m}$ . Ta se činjenica koristi kod mjerenja vlage.

## DETEKTORI TOPLINSKOG ZRAČENJA:

Čine jedan dio šire skupine detektora svjetla tj. detektora elektromagnetskog zračenja u spektralnom opsegu od ultraljubičastog do infracrvenog.

Dijele se u dvije skupine:

**FOTOELEKTRIČKI** (kvantni, *engl. quantum*) detektori toplinskog zračenja pretvaraju upadno zračenje u električki signal na temelju unutarnjeg i vanjskog fotoelektričkog efekta.

**Unutarnji fotoelektrički efekt:** pojava stvaranja slobodnih nosilaca naboja u poluvodiču uslijed obasjavanja svjetlom. Ako je energija upadnog fotona  $E = h\nu$  veća od energije zabranjenog pojasa, dolazi do prebacivanja elektrona iz valentnog u vodljivi pojas pri čemu se stvaraju slobodni nosioci naboja.

- fotodiode
- fototranzistori
- fotootpornici

**Vanjski fotoelektrički efekt:**

- fotomultiplikator

**TERMIČKI** (*engl. thermal*) detektori toplinskog zračenja: energija upadnog zračenja mijenja temperaturu toplinskog detektora i na temelju toga se određuje intenzitet toplinskog zračenja. Kao detektori se koriste:

- bolometri
- thermopile detektori
- piroelektrički detektori

Izbor tipa detektora toplinskog zračenja ovisi prvenstveno o temperaturnom području koje se želi mjeriti.

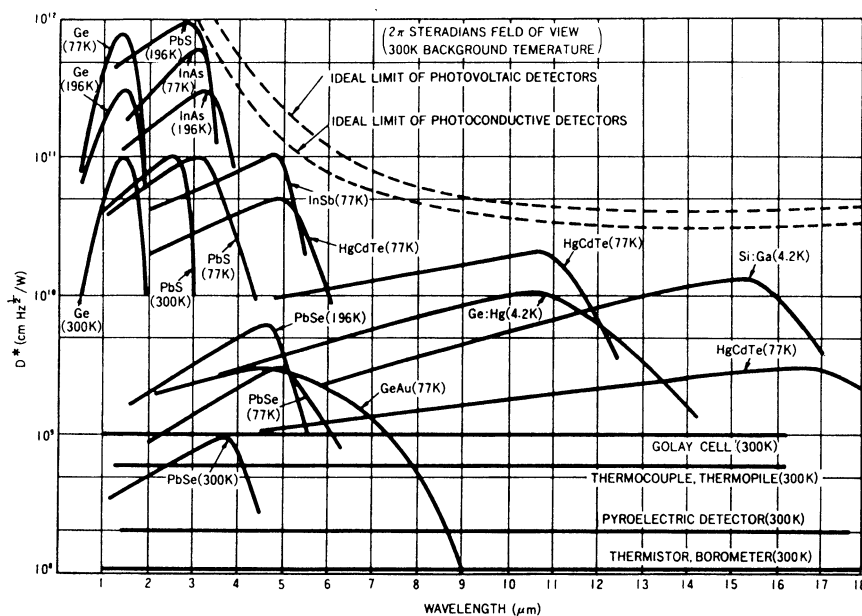
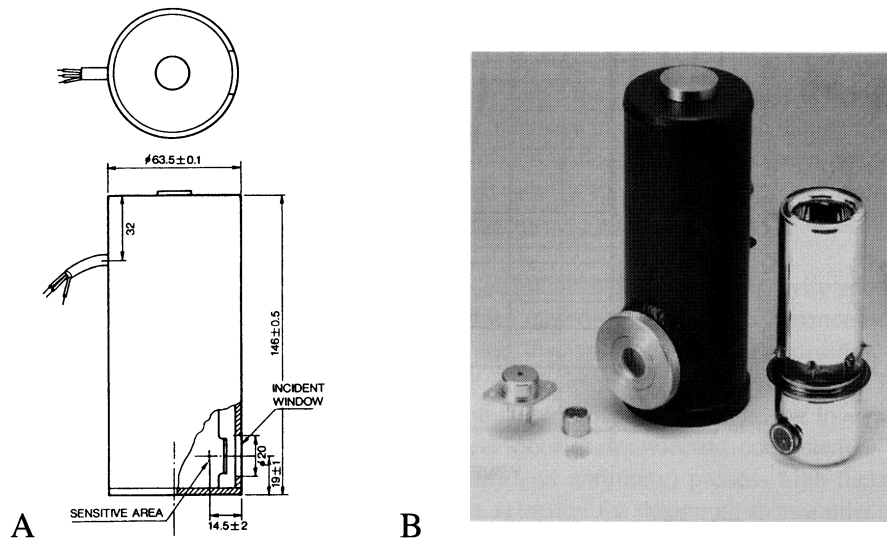


FIGURE 13.17. Operating ranges for some infrared detectors.

Termički detektori: manja osjetljivost, neovisna o valnoj duljini upadnog zračenja.

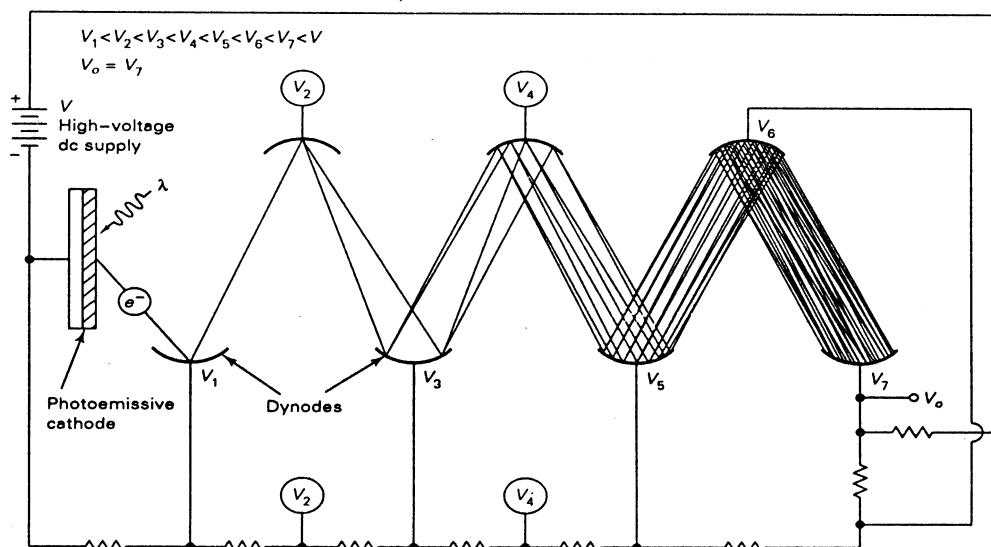
Fotoelektrički detektori: mnogostruko veća osjetljivost od termičkih detektora, ali vrlo ovisna o valnoj duljini upadnog zračenja.

Radi postizanja što boljeg odnosa signal-šum, tj. povećanja osjetljivosti, detektori toplinskog zračenja se pothlađuju na temperaturu tekućeg dušika 77 K. Dušik se nalazi u Dewarovoj posudi načinjenoj od dvostrukih stijenki između kojih je vakuum da bi se spriječilo odvođenje topline. Te posude treba povremeno mijenjati. Hlađenjem se smanjuje brzina odziva temperaturnog senzora.



**FIGURE 13.18.** Cryogenically cooled MCT quantum infrared detectors. A: Dimensional drawing of a Dewar type (in mm); B: outside appearances of canned and Dewar detectors. (Courtesy of Hamamatsu Photonics K.K.)

**FOTOMULTIPLIKATOR:** najosjetljiviji, linearan, dugotrajan, odziv manji od 1 ns, širok spektar (110 ÷ 1100 nm),  $f_g = 1$  GHz

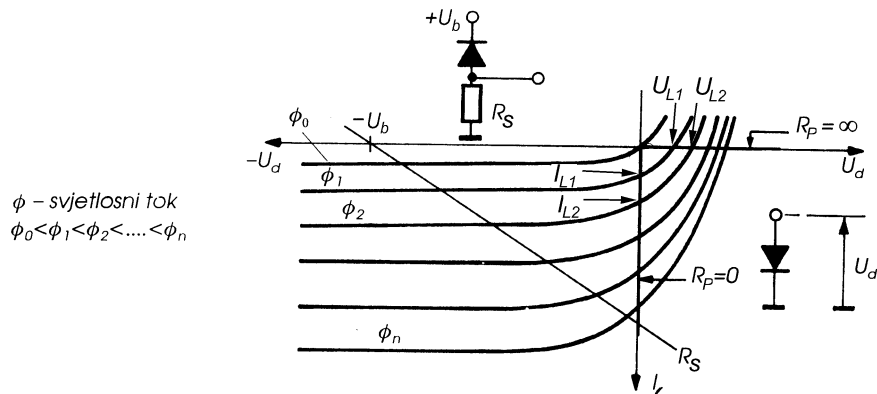


**Figure 12-8** Structure of the photomultiplier tube.

## FOTO-DIODE I FOTO-TRANZISTORI:

Poluvodičke komponente koje pretvaraju svjetlosnu energiju u električku. Njihov se rad temelji na pojavi fotoelektričkog efekta.

### I(U) karakteristika



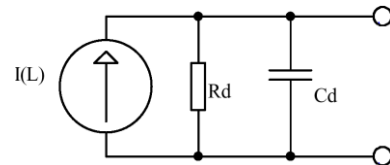
Slika 15.6. Fotodiode u strujnom i naponskom režimu kao fotodetektor

Karakteristika foto-diode obasjane svjetlom:

$$I = I_S \cdot \left( e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_L$$

pri čemu je  $I_S$  reverzna struja zasićenja, a  $I_L$  struja uslijed osvjtljenja.

Nadomjesna shema foto-diode:

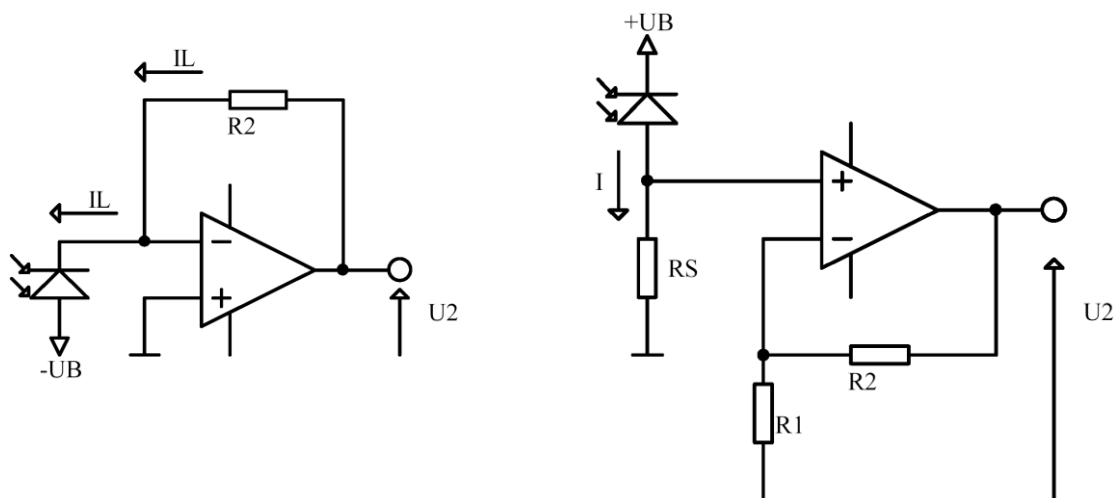


$R_d = 100 \text{ k}\Omega \text{ do } 100 \text{ G}\Omega$   
 $C_d = 2 \text{ pF do } 20000 \text{ pF}$   
 ovise o dimenzijama

Razlikujemo dva režima rada foto-dioda:

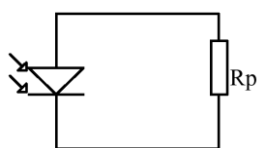
- strujni (*engl. photoconductive*) – prednapon reverzne polarizacije (*engl. reverse bias*)
- naponski (*engl. photovoltaic*) – bez prednapona (*engl. zero bias*)

**Strujni režim:** dioda je reverzno polarizirana, mjeri se struja



- linearna ovisnost struje  $I_L$  o osvjtljenju
- **brzi odziv** – manji  $C_d$  zbog reverzne polarizacije pn spoja
- široko dinamičko područje (60 dB)
- manja osjetljivost zbog reverzne struje zasićenja u mraku (*engl. dark current*)
- veći šum (termički šum + šum sačme)

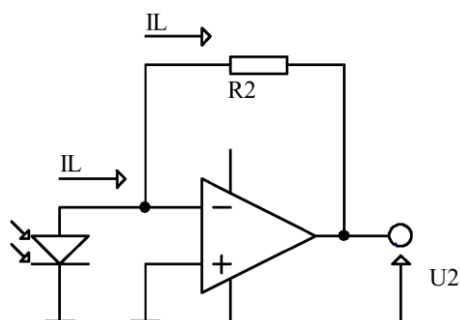
## Naponski režim – foto-dioda radi kao generator napona



Razlikujemo tri slučaja obzirom na  $R_p$ :

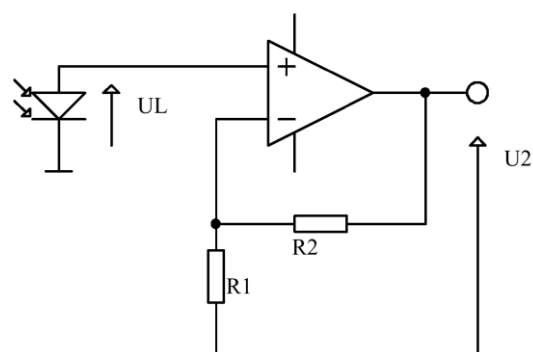
- $R_p = 0$
- $R_p = \infty$
- $R_p = R_{opt}$

**$R_p = 0$**  – mjeri se struja kratkog spoja – foto struja, proporcionalna je osvjetljenju



- linearna ovisnost napona  $U_2$  o osvjetljenju
- zadovoljavajuća frekvencijska karakteristika

**$R_p = \infty$**  – mjeri se napon praznog hoda foto-diode:



- nelinearan (logaritamski) odnos između napona i osvjetljenja.

$$U_L = U_T \ln \left( \frac{I_L}{I_S} + 1 \right)$$

- lošija frekvencijska karakteristika – sporiji odziv zbog velikog  $C_d$
- rijetko se koristi zbog velikog temperaturnog koeficijenta napona  $U_L$

- **velika osjetljivost** jer nema reverzne struje zasićenja u mraku
- prisutan je samo termički šum

**$R_p = R_{opt}$**  – kada se foto-dioda koristi kao foto-ćelija,  $R_p$  se izabire tako da dobijemo maksimalnu snagu:

$$U_p \cdot I_p = \max.$$

### Izvedbe foto-dioda:

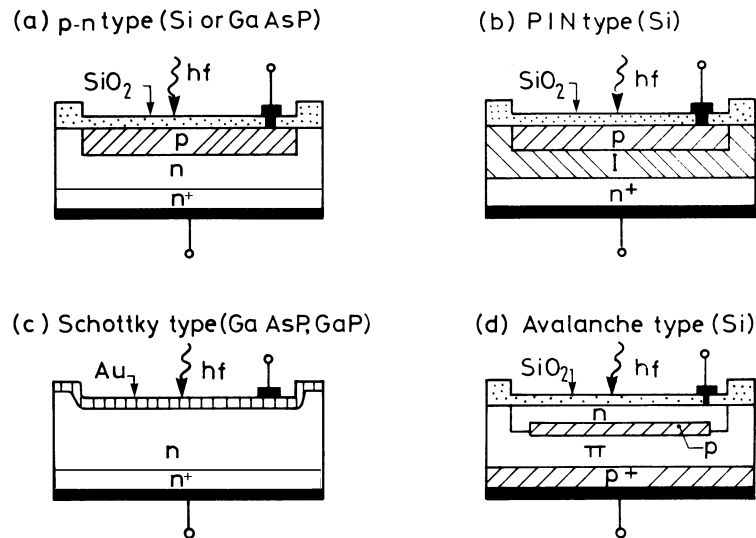


Figure 6.11 Structure of four types of photodiode.

#### (a) p-n foto-dioda

Si: 190 ÷ 1100 nm

Tanki sloj SiO<sub>2</sub> smanjuje struju tame. Samo mali dio površine je prekriven kontaktom.

Za infracrveno područje izvedba je ista, samo se koriste drugi materijali (Ge, InGaAs, InAs, InSb).

#### (b) PIN foto-dioda

Si: 320 ÷ 1100 nm

Umetanjem intrinzičnog sloja povećava se širina osiromašenog područja čime je smanjen kapacitet.

Imaju brži frekvencijski odziv (0.4 μs) i veću efikasnost.

#### (c) Schottky foto-dioda

GaAsP: 190 ÷ 680 nm

GaP: 190 ÷ 550 nm

f<sub>g</sub>=900 ÷ 1.3 GHz

Zlato (debljina 10 nm) čini Schottkey barijeru sa n poluvodičem. Za silicij je potrebno n<sup>+</sup> područje.

#### (d) Lavinska foto-dioda

Si: 400 ÷ 800 nm

Koriste se pri viskom (ne previsokom) reverznom naponu. Zbog jakog električnog polja obasjavanjem stvoreni slobodni nosioci naboja imaju dovoljno energije da stvaraju nove nosioce naboja – multiplikacija. Zato ova izvedba ima jako brzi odziv (GHz), povećanu osjetljivost i bolji odnos signal/šum.

Slabo dopirani p-sloj ima ulogu stvoriti jednoliko raspoređeno električno polje oko n<sup>+</sup> područja.



## Spektralni odziv nekih foto-dioda

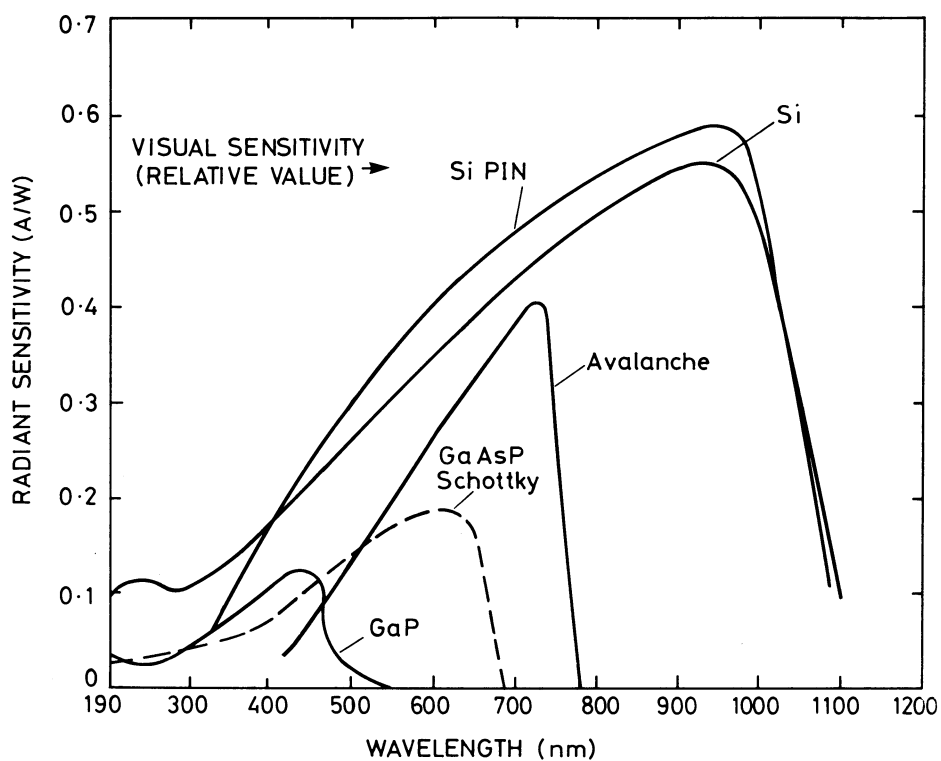
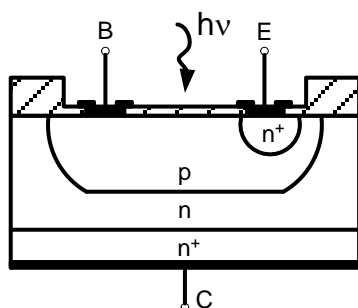
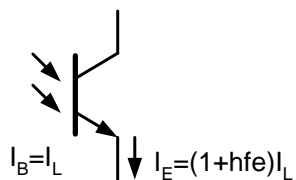


Figure 6.10 Spectral response of six photodiodes.

## Fototranzistor



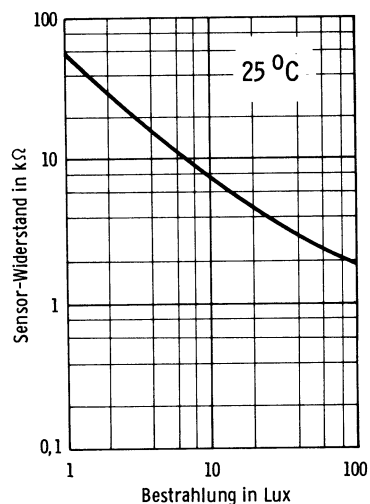
### Simbol



Fototranzistor ima osjetljivost od fotodiode veću za  $1+hfe$ .  
 Ima sporiji odziv ( $1 \div 5 \mu s$ ) od fotodiode zbog velike površine B-C.  
 Izvod baze nije nužan.

## FOTO-OTPORNICI:

Određeni materijali (npr. CdS, CdSe, PbS, PbSe) mijenjaju električki otpor pod utjecajem svjetla – povećanjem intenziteta osvijetljenja smanjuje se otpor.



Spektralna osjetljivost ovisi o materijalu foto-otpornika:

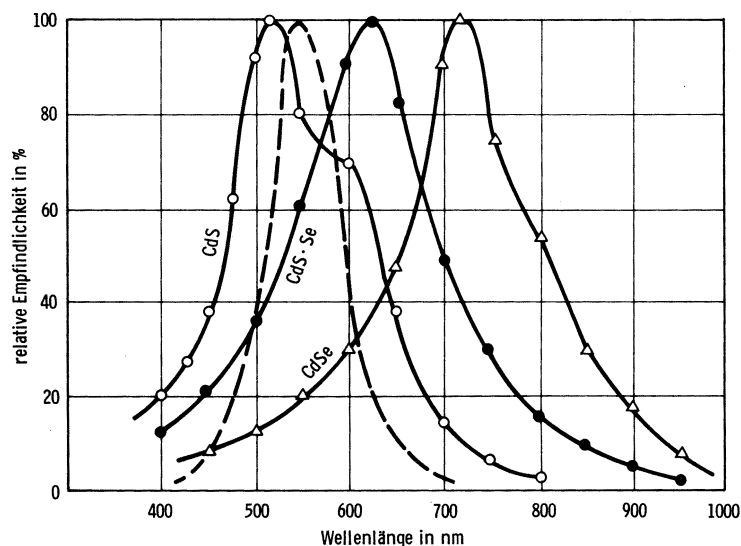


Abb. 8.0.8 Spektrale Empfindlichkeitsverteilung unterschiedlicher Fotoleiter

Izvedba foto-otpornika:

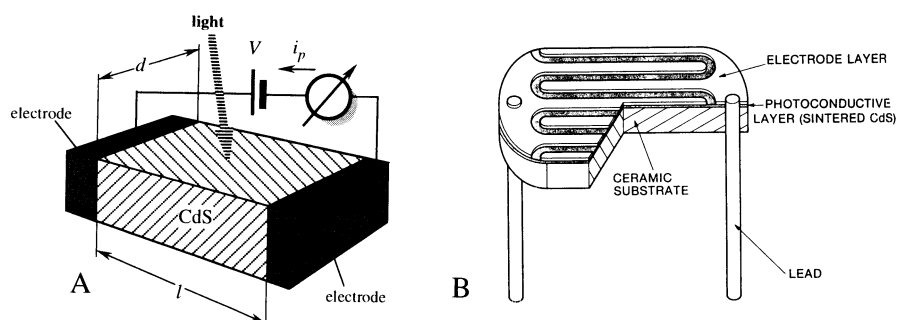
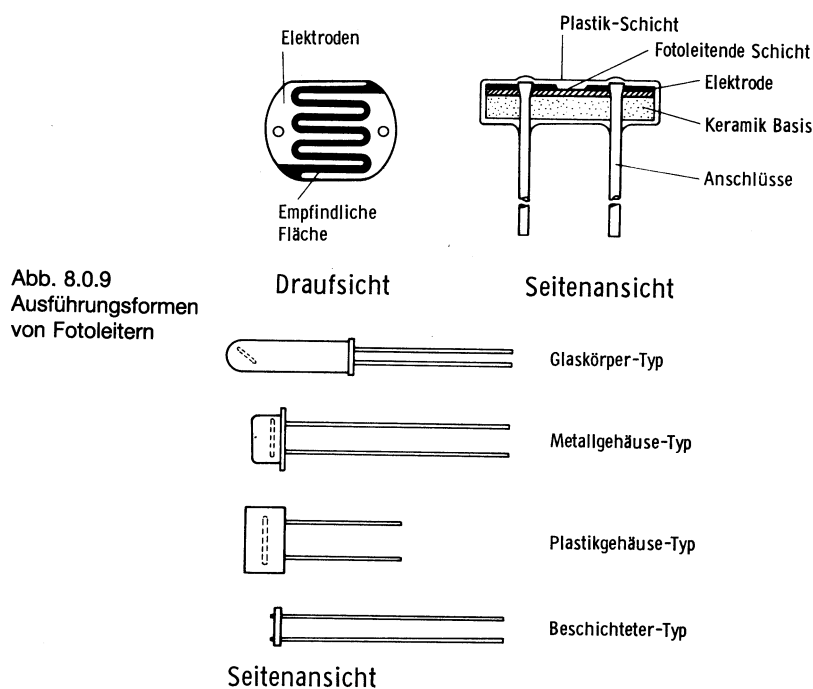


FIGURE 13.14. Structure of a photoresistor (A) and a plastic-coated photoresistor having a serpentine shape (B).

Veća osjetljivost se postiže smanjenjem  $l$  i povećanjem  $d$  – zbog toga se foto-otpornici proizvode u tzv. serpentinastom obliku.

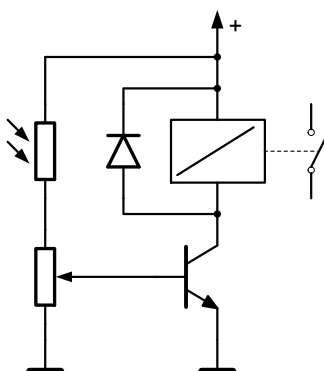


Radi poboljšanja odnosa signal/šum fotootpornici se hlade na više načina:

- Dewar-ova posuda u kojoj se nalazi: suhi led, tekući dušik (77K) ili tekući helij,
- termoelektrički hladnjak na temelju Peltierovog efekta.

Fotootpornici se također hlade za mjerenje fotona čija je energija manja od 2eV jer je termički šum sobne temperature prevelik.

Tipična primjena fotootpornika je u alarmnim i kontrolnim krugovima.



Povećanjem intenziteta svjetla koje pada na fotootpornik smanjuje se njegov otpor. Smanjenjem otpora tranzistor prelazi u vođenje i relej uključi sklopku.

## TERMIČKI DETEKTORI TOPLINSKOG ZRAČENJA

**BOLOMETAR** (grč. bolaí [hēlíu] – sunčane zrake + métron – mjera)

Izvedeni su od tankog sloja temperaturno osjetljivog otpornika (RTD) koji je presvučen crnom bojom radi poboljšanja apsorpcije toplinskog zračenja. Upadno toplinsko zračenje mijenja temperaturu RTD-a, a time i njegov otpor.

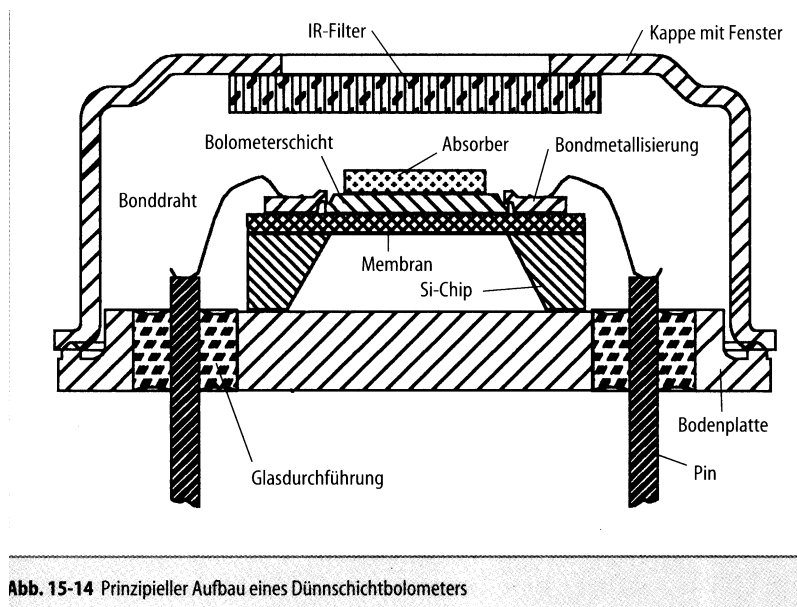
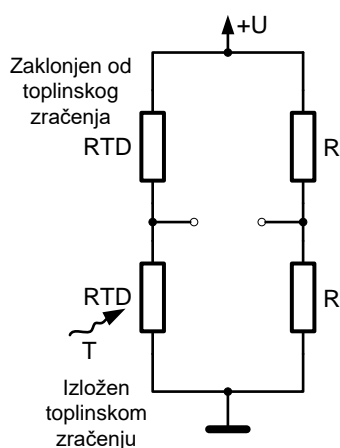


Abb. 15-14 Prinzipieller Aufbau eines Dünnschichtbolometers

Membrana ima mali toplinski kapacitet, i premazana je crnom bojom radi povećanja koeficijenta apsorpcije.

U jednom kućištu se obično nalaze dva RTD-a, od kojih je jedan izložen zračenju, dok je drugi zaklonjen i služi za kompenzaciju temperature okoline. Ova dva otpornika se vežu ili u neuravnoteženi most, ili se spajaju kao naponski djelitelj.



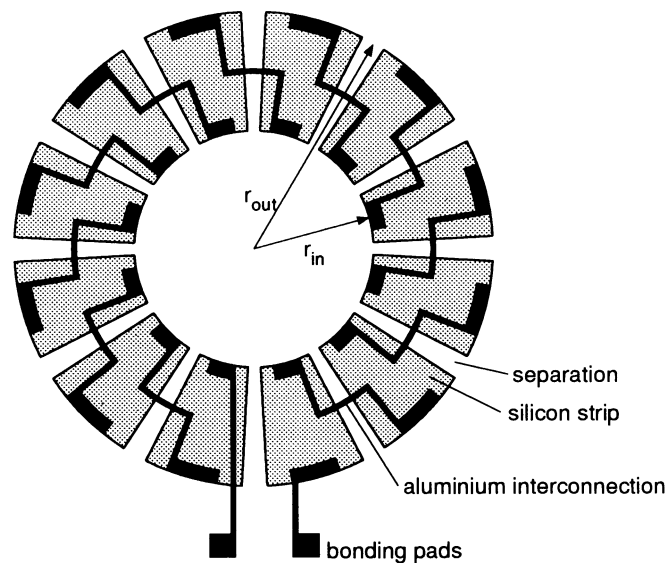
Slika prikazuje spoj dva RTD-a u neuravnoteženi most

Bolometri imaju spori odziv.

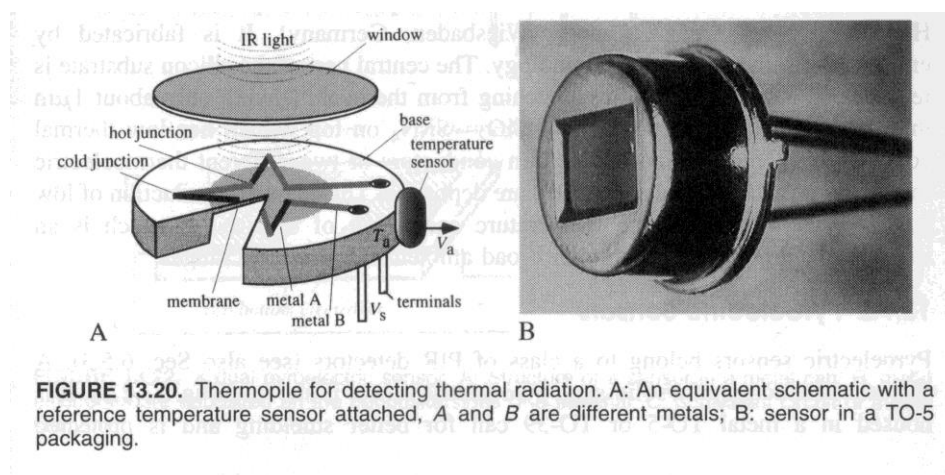
Mogu se koristiti u matrici, za termografiju (80000 pixela).

## THERMOPILE

Najčešće se koristi Si-Al thermopile kružnog oblika. "Vrući" spoj je presvučen crnom bojom radi bolje apsorpcije toplinskog zračenja i smješten na tanku membranu radi manjeg toplinskog kapaciteta.



**Fig. P3** Circular silicon thermopile integrated in a closed membrane, consisting of 12 Si-Al thermocouples.



**FIGURE 13.20.** Thermopile for detecting thermal radiation. A: An equivalent schematic with a reference temperature sensor attached, A and B are different metals; B: sensor in a TO-5 packaging.

Thermopile ima prsten velikog toplinskog kapaciteta i tanku membranu u sredini koja se grije upadnim zračenjem.

Brzina odziva ovisi o masi pretvornika (manja masa brži odziv).

DC senzor.

Razlika temperature između vrućeg i hladnog kraja generira napon.

Neke izvedbe hladni kraj održavaju na konstantnoj temperaturi.

### Karakteristike:

- velika osjetljivost
- niska razina šuma

### PIROELEKTRIČKI EFEKT

Svojstvo nekih materijala da generiraju električki naboj pod utjecajem toplinskog zračenja.

Piroelektrički materijal predstavljamo skupom velikog broja elementarnih kristalića koje možemo smatrati malim električkim dipolima. Ti dipoli su slučajno razmješteni i orijentirani. Iznad određene temperature ( $49^{\circ}\text{C} \div 618^{\circ}\text{C}$ ) koja se zove Curie temperatura ti elementarni kristali gube dipolni moment (gube se piroelektrička svojstva).

Promjenom temperature piroelektrički materijal se polarizira, tj. na njegovoj površini se javlja električki naboj. Polarizacija se ne javlja kao posljedica temperature već kao posljedica promjene temperature piroelektričkog materijala.

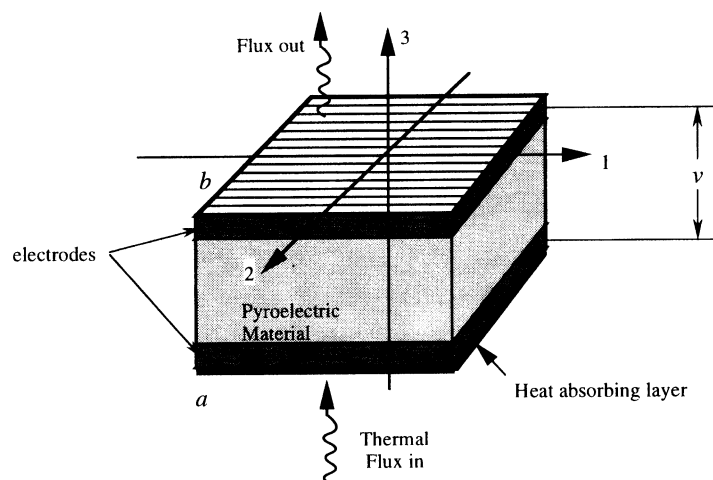
Piroelektrički materijali istovremeno pokazuju i piezoelektrička svojstva.

Postoje primarni i sekundarni piroelektrički efekt

- **Primarni** – promjena temperature uzrokuje skraćenje ili produljenje individualnih dipola. Također utječe na slučajnost njihovog razmještanja.
- **Sekundarni** – uslijed mehaničkih naprezanja materijala do kojih dolazi zbog protoka topline kroz materijal stvara se naboj kao posljedica piezoelektričkog efekta.

### PIROELEKTRIČKI SENZOR

Temelji se na piroelektričkom efektu.



**FIGURE 3.26.** Pyroelectric sensor has two electrodes at the opposite sides of the crystal. Thermal radiation is applied along axis 3.

Nadomjesna shema piroelektričkog senzora:

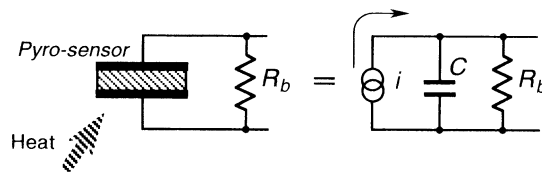


FIGURE 3.27. Pyroelectric sensor and its equivalent circuit.

Predstavlja punjenje kondenzatora  $C$  uslijed toplinskog toka  $\phi_T$ .

Otpor  $R_b = 50 \text{ G}\Omega$  se dodaje izvana budući da je paraziti  $R$  vrlo velik i nepredvidiv.

Za razliku od termopara kojem generirani napon ovisi o razlici temperature između dva kraja (DC senzor), piroelektrički senzor generira naboj samo kod promjene toplinskog toka (AC senzor).

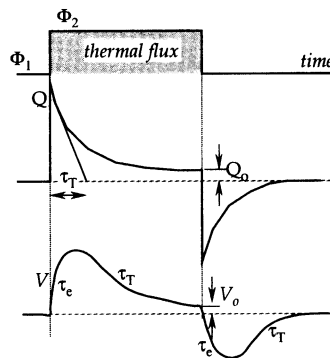


FIGURE 3.29. Response of a pyroelectric sensor to a thermal step function. The magnitudes of charge  $Q_0$  and voltage  $V_0$  are exaggerated for clarity.

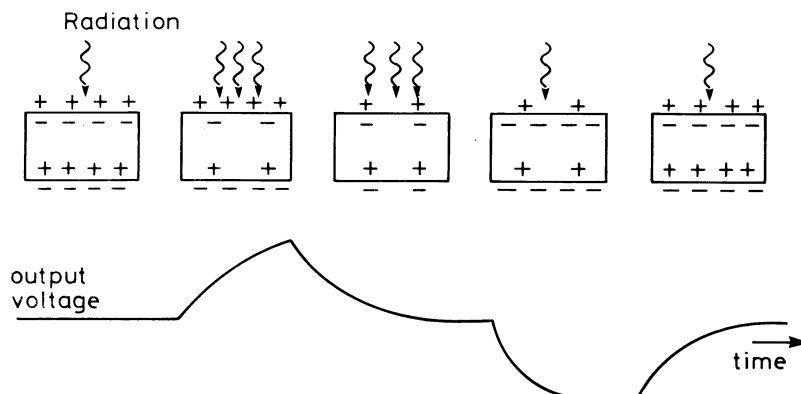


Figure 6.19 Principle of a pyroelectric radiation microsensor.

**Piroelektrički koeficijent ( $p$ ):**

$$\Delta Q = p \cdot A \cdot \Delta T$$

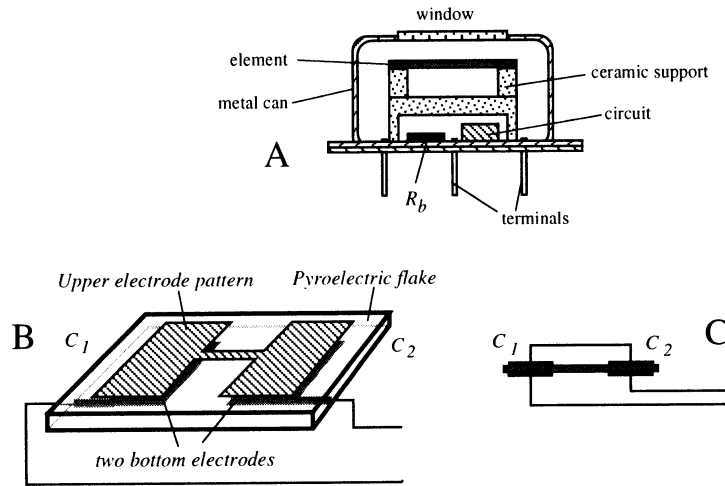
Gdje je:  $\Delta T$  promjena temperature

$A$  površina kroz koju prolazi toplinski tok

$p$  piroelektrički koeficijent materijala [ $\text{Cm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ] koji varira sa temperaturom

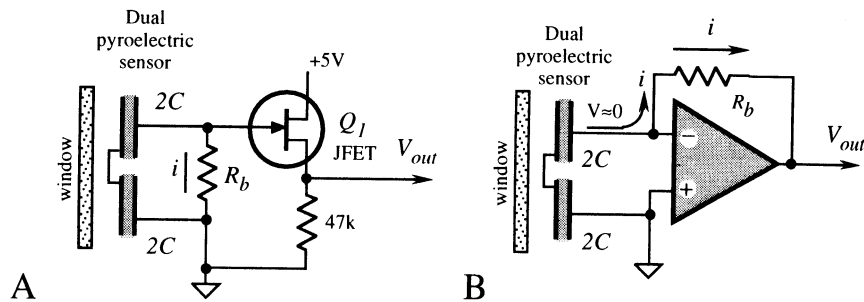
**Uobičajena izvedba:** dva senzora su serijski spojena – jedan je izložen toplinskom zračenju i prevučen crnom bojom radi bolje apsorpcije, dok je drugi zakriven od toplinskog zračenja i prevučen zlatom radi bolje refleksije toplinskog zračenja.

Serijski spoj dva senzora osigurava kompenzaciju promjena temperature okoline te piezoelektričkog efekta uslijed akustičkog šuma i vibracija.



**FIGURE 13.22.** A dual pyroelectric sensor. A: Structure of a sensor in a metal can; B: metal electrodes are deposited on the opposite sides of a material; C: equivalent circuit of a dual element.

Generirani naboj može se mjeriti na dva načina: naponski i strujni.



**FIGURE 13.23.** Impedance converters for pyroelectric sensors. A: A voltage follower with JFET; B: a current-to-voltage converter with operational amplifier.

### Naponski:

- jednostavnost
- niski šum
- sporiji odziv zbog velikog  $C$  (40 pF) – uz  $R_b = 50 \text{ G}\Omega$  izlazi  $f_g = 0.08 \text{ Hz}$
- veliki napon offseta na otporu  $R_b$

### Strujni:

- skuplji (kvalitetno operacijsko pojačalo)
- viša razina šuma od naponskog zbog šireg frekvencijskog pojasa
- brži odziv
- mali izlazni napon offseta

Primjer: Hamamatsu pyroelectric sensors



## IZVEDBE BESKONTAKTNIH MJERILA TEMPERATURE

### IZVEDBA S DC-PRETVORNIKOM

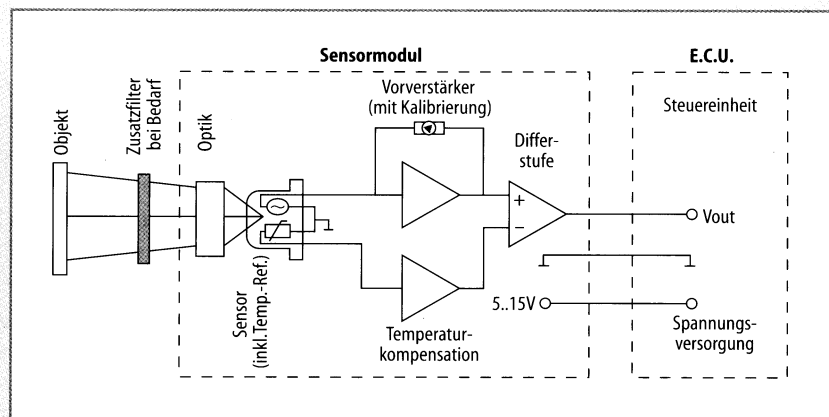


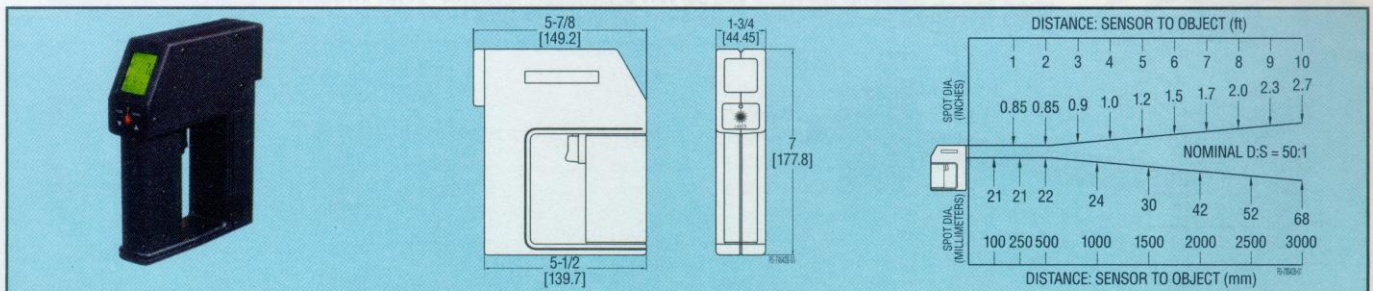
Abb. 15-33 Blockschaftbild eines einfachen IR-Gleichlicht-Sensormoduls [49]



Series  
IRP

## Infrared Thermometer Plus

Noncontact, Laser Sighting,  $\pm 0.1\%$  Accuracy, RS232 Output



**Reduce maintenance costs** by detecting temperature problems early with the Series IRP Infrared Thermometer Plus. Easily locate hot spots in electrical panels, pumps, motors, bearings, and pipes before they become a problem. Noncontact thermometer featuring precision laser sighting allows safe and accurate temperature measurement up to 100 ft (30 m) from the target. Units feature selectable °F or °C, low battery indication, tripod mounting, and backlit display for viewing in dimly lit areas.

#### STOCKED MODELS

MODEL NUMBER	DESCRIPTION
IRP301*	Fixed emissivity (0.95)
IRP411*	Adjustable emissivity, recall, RS232 and mV output
IRP421*	Adjustable emissivity, recall, RS232, mV output, Hi/Lo Alarm, MIN, DIF, AVG

\*Consult factory for subzero, intrinsically safe, or NIST certified units.

#### PHYSICAL DATA

**Temperature Range:** 0 to 1600°F (-18 to 870°C), selectable.

**Accuracy:**  $\pm 1\%$  of reading or  $\pm 1.5^\circ\text{F}$  ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), whichever is greater @  $73 \pm 9^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 5^\circ\text{C}$ ).

**Repeatability:**  $\pm 0.5\%$  of reading or  $\pm 1^\circ\text{F}$  ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ), whichever is greater.

**Resolution:**  $1^\circ\text{F}$  or  $^\circ\text{C}$ .

**Response Time:** 350 msec.

**Spectral Response:** 8 to 14 microns, thermopile detector.

**Distance-to-Target Size Ratio:** 50:1, nominal.

**Emissivity:** Model IRP301: fixed at

0.95, Models IRP411 & IRP421: adj. from 0.1 to 1.0.

**Laser Sighting:** 5mW, meets FDA Class IIIa requirements.

**Output:** 1 mV per degree or RS232 (selectable), models IRP411 and IRP421 only.

**Ambient Operating Temp.:** 32 to 120°F (0 to 50°C).

**Storage Temperature:** -4 to 120°F (-20 to 50°C).

**Tripod Mount:** 1/4-20 UNC. (included).

**Power:** one 9V alkaline battery (included).

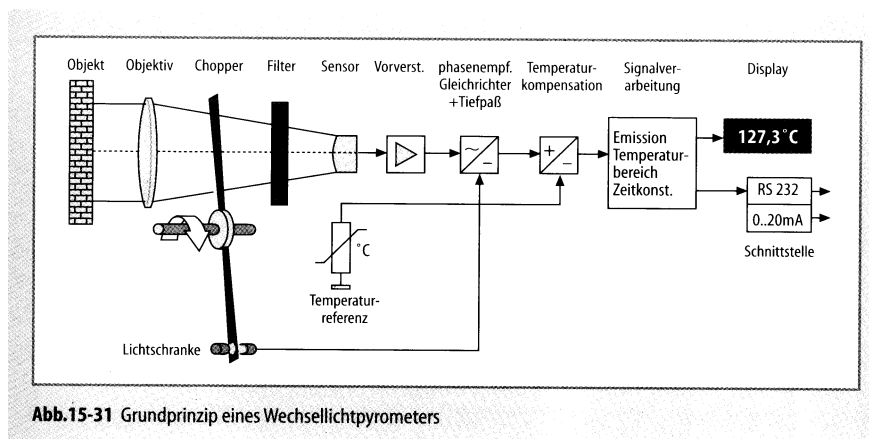
**Average Battery Life:** approximately 50 hours.


**Weight:** 1.25 lbs (0.6 kg).

#### APPLICATIONS

Ideal for checking temperatures of electrical components, automotive diagnostics, bearings, pumps, compressors, steam traps, insulation, roofing, concrete, predictive maintenance, commercial printing, food processing and food storage, or monitoring process temperatures.

## IZVEDBA S AC PRETVORNIKOM





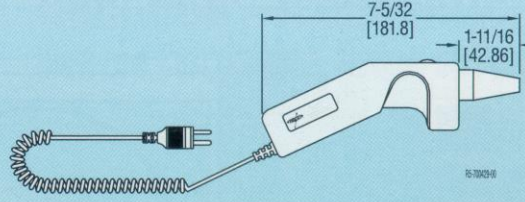
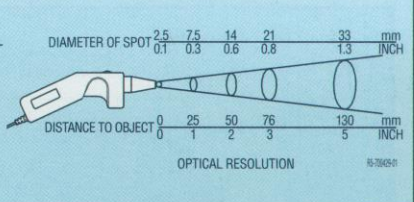


Series  
IT

# Infrared Temperature Probe

For Type J or K Thermocouple Meters, Noncontact



**Series IT Noncontact Infrared Probe** plugs directly into thermocouple meters, dataloggers, or chart recorders to measure the temperature of hot, hazardous, or moving objects without risk of injury or contamination. Measure spot sizes down to 0.1" (2.5 mm) in diameter—Ideal for circuit board troubleshooting or electrical maintenance applications. Units feature an internal switch for selecting °F or °C.

**STOCKED MODELS**

MODEL NUMBER	DESCRIPTION
IT1	Type J thermocouple connection
IT2	Type K thermocouple connection

**PHYSICAL DATA**

**Temperature Range:** 0 to 500°F (–18 to 260°C), selectable.

**Accuracy:** ±2% of reading or ±3°F (±2°C), whichever is greater @ 81°F (27°C).

**Repeatability:** ±1% of reading or ±2°F (±1°C), whichever is greater.

**Response Time:** 1 second.

**Spectral Response:** 8 to 14 microns, pyroelectric detector.

**Distance-to-Target Size Ratio:** 4:1, nominal.

**EMISSION:** fixed at 0.95.

**Output:** 1 mV per °F or °C.

**Ambient Operating Temp:** 32 to 150°F (0 to 65°C).

**Storage Temperature:** –13 to 158°F (–25 to 70°C).

**Connection:** Type J or K miniconnector.

**Power:** one 9V alkaline battery (included).

**Average Battery Life:** approximately 50 hours.

**Weight:** 6.4 oz (180 g).

**APPLICATIONS**

Ideal for checking temperatures in refrigeration systems, engine and cooling systems, HVAC service, bearing inspection, pumps and compressors, energy audits, circuit board troubleshooting, electrical maintenance, food processing and inspection, or laboratory analysis.

- kompleksniji zbog elektronike
- osjetljivi na vibracije zbog pokretnih dijelova



## TERMOGRAFIJA

Dvodimenzionalni prikaz raspodjele temperature po objektu.

Područje otkuda dolazi infracrveno zračenje treba razložiti na elemente slike skeniranjem.

### TERMOGRAF S NABOJSKI VEZANOM ANALIZATORSKOM PLOČOM (CCD SENZOR)

Poluvodička tehnologija sa nabojskim vezanjem (CCD) prvi je put izrađena u Bell-ovim laboratorijima 1970 godine s ciljem dobivanja nove tehnologije izrade računarskih memorija velikog kapaciteta.

Detektor svjetla s nabojskim vezanjem (CCD, *charge coupled device*) čini matrica međusobno vrlo malo razmaknutih MOS kondenzatora.

3-fazno upravljanje - koriste se tri elektrode za 1 pixel.

Načelo rada:

Primjena negativnog napona na elektrodi MOS kondenzatora (podloga je silicij n-tipa) dovodi do tjeranja većinskih nosilaca naboja (elektrona) prema dubini podloge. Na tom se mjestu stvara potencijalna jama za šupljine.

Fotoni infracrvenog zračenja stvaraju parove pozitivnih i negativnih naboja. Negativni naboji istiskuju se iz potencijalnog udubljenja, a pozitivni naboji ostaju u njemu i razmjerni su intenzitetu zračenja.

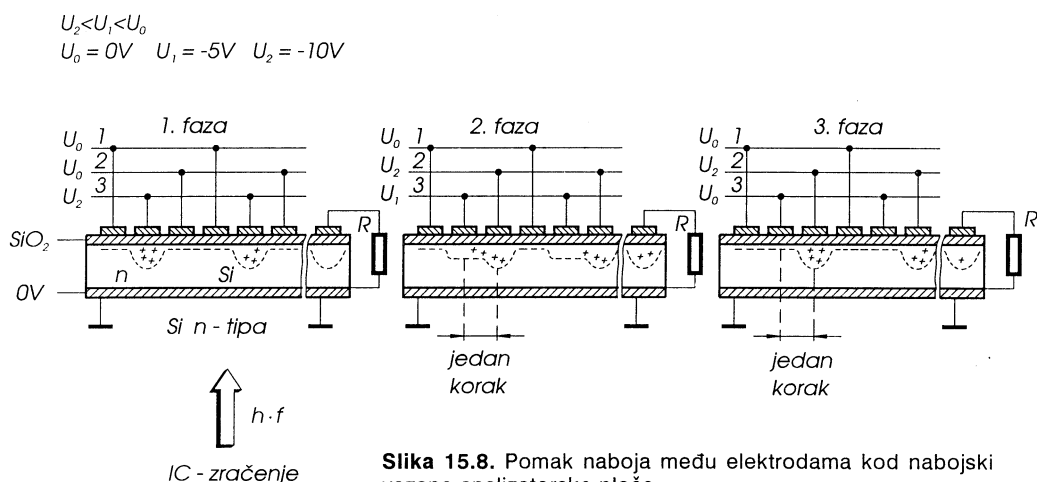
Broj potencijalnih udubljenja odgovara broju slikovnih elemenata (iskorištena je jedna od tri elektrode).

Da bi dobili podatak o količini naboja u svakom potencijalnom udubljenju oni se prazne prebacivanjem naboja iz jednog potencijalnog udubljenja u drugo dok ne izađu na jedan kraj. Na izlazu dobivamo redom serijski signal (na otporniku R), koji ovisi o upadnom svjetlu.

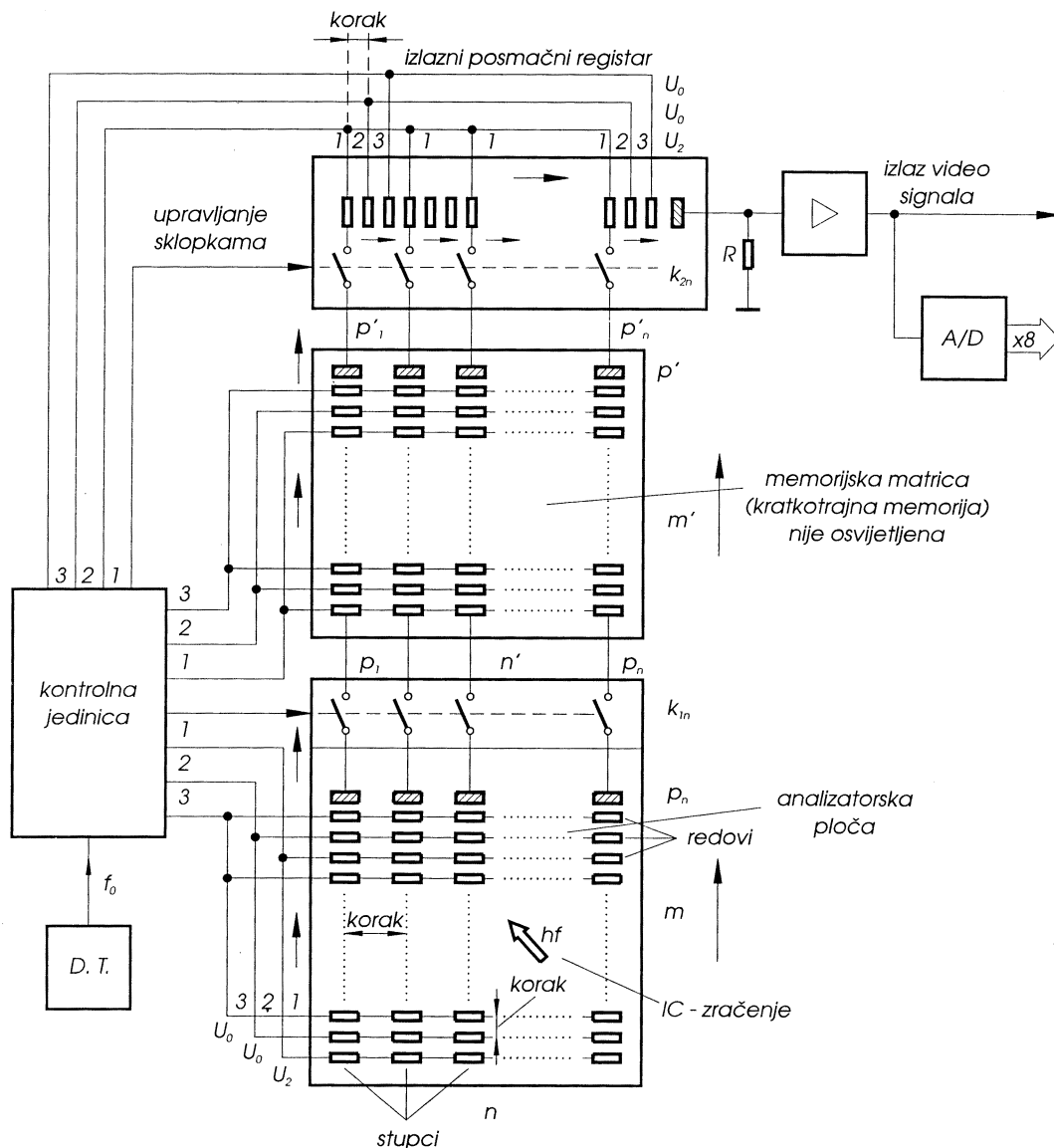
Srednji negativni napon  $U_1$  služi za prijelaz naboja iz jednog potencijalnog udubljenja u drugo (susjedno) i za određivanje smjera kretanja naboja.

Prebacivanje traje  $50 \div 100$  ns.

Za detekciju infracrvenog zračenja treba koristiti materijal s manjim energetske procjepom, npr. Germanij (0.55 eV).



**Slika 15.8.** Pomak naboja među elektrodama kod nabojski vezane analizatorske ploče



Slika 15.9. Načelo rada termografa s nabojski vezanom analizatorskom pločom

Memorijska matrica izvedena je kao i analizatorska ploča ali bez utjecaja infracrvenog zračenja.

Trajanje kadra: 20 ÷ 50 ms.

Nakon osvjetljavanja naboji se sa svih vertikalnih stupaca posredstvom kontakata  $k_{1n}$  prebacuju istovremeno u memorijsku matricu u vremenu znatno kraćem od trajanja jednog kadra (oko 1%).

Za vrijeme trajanja jednog kadra naboj iz memorijske matrice prebacuje se u posmačni registar i očitava na otporniku R.

## CCD vs CMOS: Facts and Fiction, by Dave Litwiller

