

DETEKTORJI INFRARDEČEGA SEVANJA

Vabljen predavanje, SD-89, Maribor

Borut B. Lavrenčič

KLJUČNE BESEDE: infrardeče sevanje, infrardeči detektorji, infrardeči senzorji, parametri

POVZETEK: Opisani so detektorji infrardečega sevanja, njihove značilnosti, klasifikacija in parametri.

DETECTORS OF INFRARED RADIATION

KEYWORDS: Infrared Radiation, Infrared Detectors, Infrared Sensors, Parameters

ABSTRACT: A review of the detectors for the infrared radiation is given along with their properties, classification and parameters.

1. UVOD

Infrardeča tehnika je vrsta visoke tehnologije, ki sodi v področje optoelektronike. Le-ta je tista vrsta tehnike, kjer optične signale spreminjamo v električne in obratno, kjer na optične lastnosti snovi ali pa širjenje žarkov lahko vplivamo z električnimi signali. Infrardeča tehnika je tehnika svetlobnih žarkov valovnih dolžin med 1 in približno 20 mikrometri.

Infrardeča tehnika, skupaj z detektorji infrardečega sevanja, se je razvila med drugo svetovno vojno za vojaške namene in je taka ostala še vrsto let po vojni^{1,2}. Zato so bile informacije o metodah in rezultatih na moč skromne. Pred kakimi 15 leti pa je zaradi hitrega napredka v spoznavanju elektronskih materialov izbruhnila množična uporaba v civilne namene. V te tehnološke trende se je vliučil tudi Institut Jožef Stefan v Odseku za fiziko kondenzirane snovi z razvojem piroelektričnega detektorja infrardeče svetlobe.

V tem prispevku bomo lahko pregledali samo nekaj osnovnih značilnosti detektorjev infrardeče svetlobe (DIS). Opis tehnologije izdelave DIS pa je izven konteksta tega pregleda.

2. ZNAČILNOSTI DETEKTORJEV INFRARDEČE SVETLOBE

DIS pretvarjajo vpadli optični energijski fluks (valovno območje cca 1 do 20 mikrometrov) v električen signal. Detektorje lahko klasificiramo na razne načine:

- * po mehanizmu delovanja (prava ali intrinzična fotoprevodnost, fotoprevodnost zaradi dopantov, Schottkyjeva zapora v sistemu kovina-polprevodnik, termalni detektorji (bolometri, termočleni, piro-

elektriki); najnovejši pa so detektorji s kvantno jamo³ in superprevodni keramični bolometri),⁴

- * po osnovnem materialu iz katerega so narejeni (n.pr. Si, PbS, InGaAs, InAs, InSb, Hg_{1-x}Cd_xTe, Ge:Hg, Pt-Si, piroelektriki itd.),
- * glede na območje valovnih dolžin, kjer so najbolj občutljivi (1-2 μ m, 3-5 μ m, 6-14 μ m, enaka občutljivost za vse valovne dolžine),
- * glede na geometrijske značilnosti (posamezni detektorji, eno- in dvodimenzionalni nizi),
- * glede na pogoje delovanja (hlajeni in nehlajeni detektorji, zunanji ali vgrajeni predojačevalci, tip ohišja ipd.).

3. PARAMETRI DIS

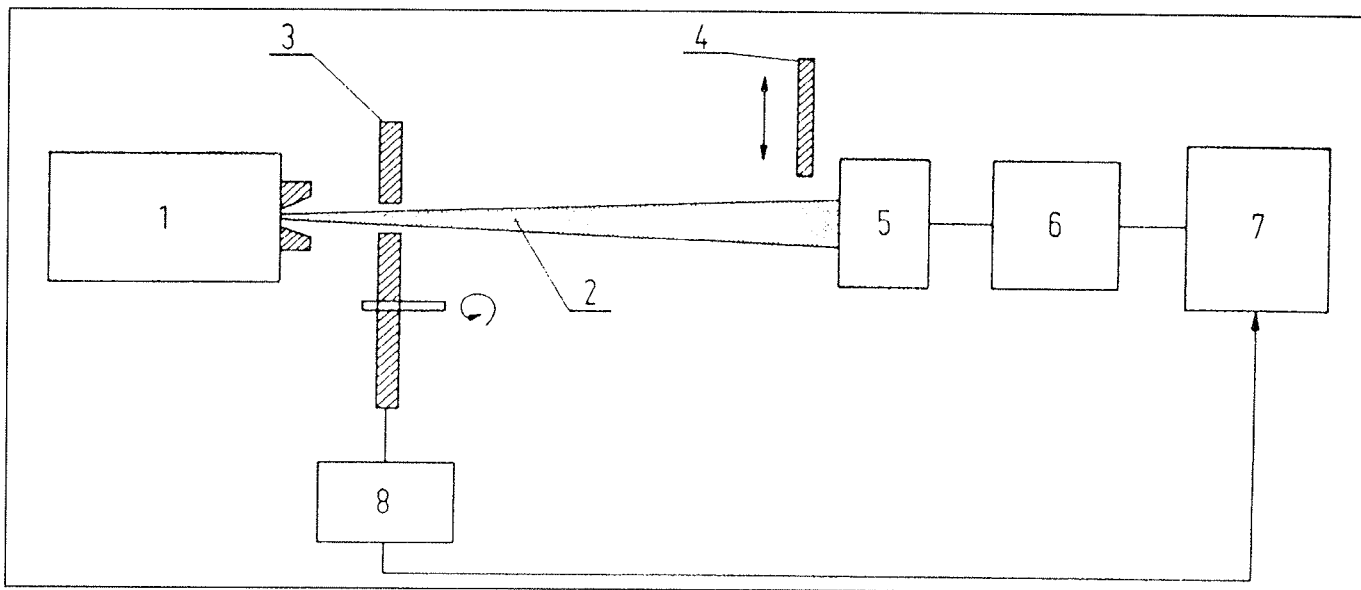
Za opis DIS uporabljamo vrsto parametrov, ki nam karakterizirajo občutljivost, razmerje signal/šum in podobno^{1,2}. To so napetostni odziv, NEP in D'. Osnovna merilna oprema je razvidna iz Sl. 1.

Izvor sevanja je črno telo s tipično temperaturo 500 K. Le poredko se uporabljajo tudi drugi izvori, n.pr. laserji z valovno dolžino 0,63 μ m ali pa 10,6 μ m. Izvor sevanja moduliramo z chopperjem na željeno frekvenco. Signal iz DIS detektorja vodimo prek predojačevalnika in ojačevalnika na spektralni analizator, ki nam izmeri koren spektralne gostote napetostnega signala S_v (enota Volt²/Hz) pri frekvenci chopperja. DIS sedaj prekrijemo z blendo in z isto merilno napravo izmerimo koren napetostne gostote šuma S_n (prav tako pri frekvenci chopperja). Za pravilno merjenje mora biti signal mnogo večji od šuma. Z generatorjem znanega napetostnega signala umerimo skupni ojačevalni faktor v predojačevalniku in ojačevalniku. Imenujmo ga G. Iz teorije

črnega telesa in iz znane geometrije lahko izračunamo koren spektralne gostote svetlobne moči, s katero črno telo osvetluje merjeni DIS. Imenujmo ga P (enota $W/Hz^{1/2}$). Chopper seveda ne pripravi sinusoidalne komponente sevanja črnega telesa, vendar se to da upoštevati z računom².

4. TERMALNI IN FOTONSKI DIS

Mehanizma delovanja termalnih in fotonских DIS se bistveno razlikujeta.⁵ V tem prispevku bomo opisali samo takoimenovano nekoherentno detekcijo.



Slika 1: Shema eksperimentalne naprave za merjenje osnovnih parametrov DIS. (1) je črno telo, ki seva (2) skozi chopper (3) na testni detektor (5) in, ki je po potrebi zakrit z blendo (4). Prek predojačevalnika (5) in ojačevalnika (6) vodimo signal v spektralni analizator (7), ki je sinhroniziran (8) s chopperjem.

Napetostni odziv R_v je definiran kot

$$R_v = S v^{1/2} / G / P \quad (1)$$

R_v (enota Volt/Watt) je funkcija frekvence in za njegov izračun moramo poznati ojačevalni faktor detektorskega sistema G . Razmerje signala in šuma (SNR) dobimo kot $SNR = S v^{1/2} / S_{n1/2}$. Šumu v DIS se seveda ne moremo izogniti. Običajno jih lahko klasificiramo po mehanizmu nastajanja, n.pr. Johnsonov ali Schottkyjev šum. K šumu v DIS prištevamo še šum v predojačevalniku (napetostni in tokovni šum).

Nadaljni, izredno pomemben parameter za vsak DIS je NEP (noise equivalent power). To je tista najmanjša moč na detektorju, ko je SNR prav enak 1. NEP je tisti parameter, ki najpogosteje nastopa v ocenah delovanja infrardečih sistemov. NEP je definiran kot:

$$NEP = P / SNR \quad (2)$$

Parameter NEP (enota $W/Hz^{1/2}$) ni odvisen od ojačevalnega faktorja sistema G , kot merilo za kvaliteto DIS pa ima dve slabi lastnosti. Želeli bi tak parameter, ki bi bil čim večji pri čim boljšem DIS. Pri enakih DIS je NEP odvisen tudi od površine. Zaradi tega se je uveljavil dodatni parameter D^* , definiran kot:

$$D^* = A^{1/2} / NEP \quad (3)$$

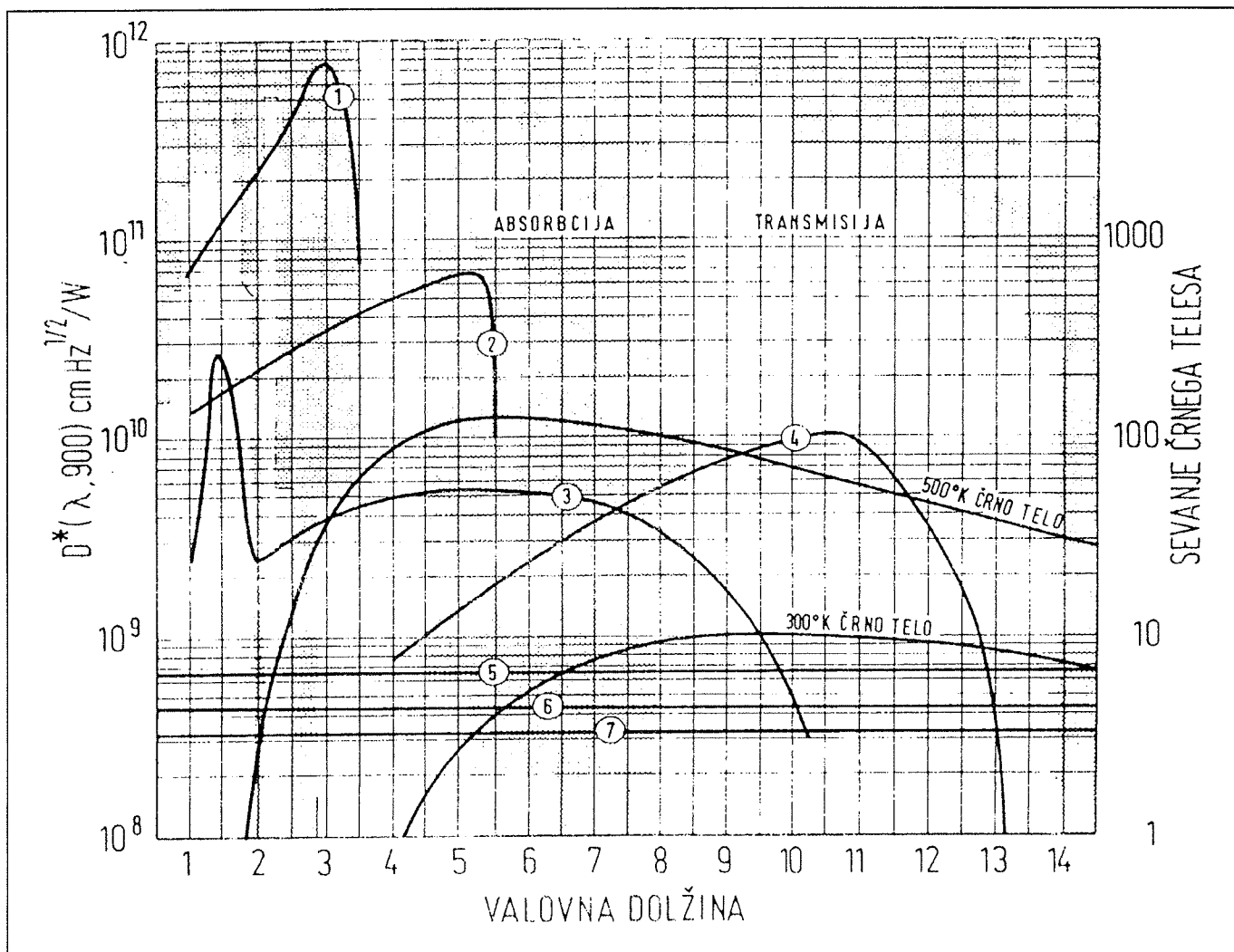
kjer je A površina detektorja v cm^2 . D^* (enota $cm Hz^{1/2} / W$) je v večini primerov res samo slaba funkcija površine detektorja A in je odvisna le od frekvence.

Parameter D^* je za razne detektorje kot funkcija valovne dolžine prikazan na Sl.2. Pri nizih detektorjev nastopajo še dodatni parametri kot so prisluh, modulacijska transfer funkcija itd.

Pri termalnem detektorju se absorbirana energija manifestira v spremembi temperature detektorja, dT . Ta sprememba temperature povzroči nastanek napetosti na detektorju, ki je sorazmerna dT (bolometri in fototermočleni) ali pa dT/dt (pireoelektriki). Zato njihovo delovanje in parametri (n.pr. NEP) niso odvisni od valovne dolžine svetlobe, ki jo hočejo zaznati. Piroelektrični termalni DIS so se izredno uveljavili v najrazličnejših aplikacijah zaradi nizke cene detektorja in zaradi uporabnosti pri sobni temperaturi. Njihovo delovanje in tehnologijo smo izčrpno opisali na prejšnjih SD konferencah.^{6,7} Fundamentalne omejitve termalnih detektorjev so v naravnih fluktuacijah temperature izvora in samega detektorja. V praksi so se termalni DIS približali tej omejitvi za red velikosti v D^* .

Fotonski DIS pa delujejo na osnovi fotoefekta v raznih polprevodnikih.

Prehodi elektronov so lahko iz valenčnega v prevodni pas (intrinzični DIS) ali pa prehodi iz valenčnega pasu na pas nečistoč, ki se nahaja v energijski reži osnovnega materiala. Zaradi tega opazimo v krivulji R_v kot funkcijo valovne dolžine značilno mejno valovno dolžino (Sl.3), ki omejuje področje delovanja. Izjema je sistem $Hg_{1-x}Cd_xTe$, ki mu s sestavo x lahko spreminjamo energijsko režo. Fotonska detekcija pa ima to dobro lastnost, da samostojno omeji signal pri nekaterih, običajno nezaželenih valovnih dolžinah. Izbira ustreznega fotonskega DIS je pomembna, ker v zraku obstajajo 3 glavna "okna prepustnosti" (Sl. 2), v katerem lahko izvor infrardečega sevanja zaznamo na velike razdalje^{1,2}. Fotonske DIS je potrebno v splošnem hladiti. V območju



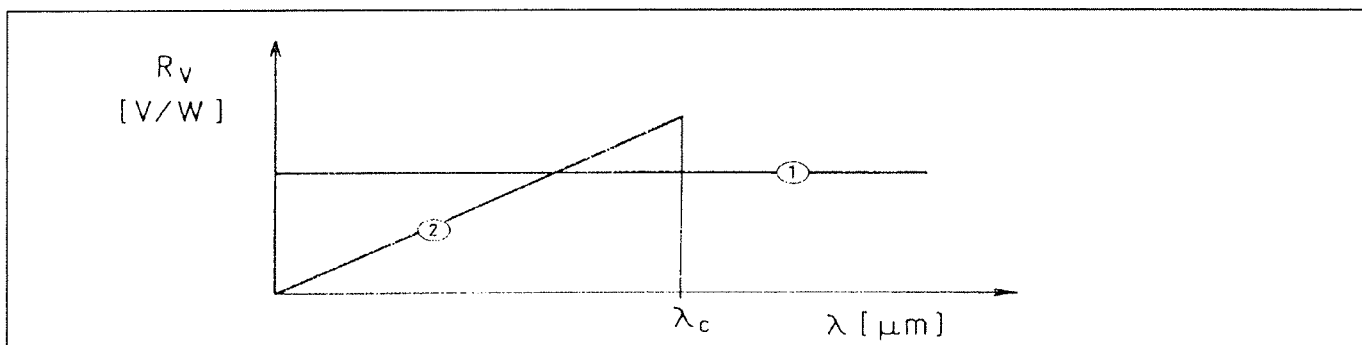
Slika 2: Kompozitni prikaz detektivnosti raznih fotonskih in termalnih DIS, sevanja črnih teles v $W\text{ cm}^{-3}\text{ sr}^{-1}$ in infrardeče transmisije atmosfere. (1) PbS, (2) InSb, (3) Ge: Au, (4) HgCdTe, (5) piroelektrik, (6) bolometer, (7) termočlen

6-14 mikrometrov so le malo bolj občutljivi kot termalni DIS, pri manjših valovnih dolžinah pa jih znatno prekašajo. Njihova glavna prednost pa je v hitrosti odziva na spremenljiv infrardeči fluks. Če so tipične časovne konstante pri termalnih DIS desetinke sekunde, so pri fotonskih DIS v mikrosekundah. Zato fotonski DIS ustrezajo tudi za koherentno ali heterodinsko detekcijo⁵, kjer

damentalni limit detekcije pri fotonskih DIS je v fluktuacijah signala in ozadja, ki ga DIS opazuje^{1,2,5}.

5. RAZVOJ DIS PRI NAS

Ta pregled v SD konferenci ne bi bil dovolj informativen,



Slika 3: Napetostni odziv za termalne (1) in fotonske (2) DIS

lahko dosežemo nekaj redov velikosti manjši NEP, kot pri nekoherentni detekciji. Za koherentno detekcijo pa potrebujemo infrardeči laser kot lokalni oscilator. Fun-

če ne bi zapisali, kje v Jugoslaviji opravljajo raziskave DIS. Poleg že omenjenih piroelektričnih termalnih DIS, ki so bili razviti na IJS, teče razvoj:

- * Si in Ge detektorjev na FER v Ljubljani in v IHTM v Beogradu,
- * PbS v Ei Nišu,
- * $Hg_{1-x}Cd_xTe$ v IEVT v Ljubljani in v IHTM.

LITERATURA

- (1) W.L.Wolfe and G.J.Zissis, The Infrared Handbook, The office of Naval Research 1986, ISBN 0-9603590-1-X.
- (2) R.D.Hudson, Jr., Infrared System Engineering, Wiley-Interscience, New York 1969.
- (3) Quantum Well nad Superlattice Physics, Proc. SPIE, Newport Beach, USA, 17-18 March 1988.
- (4) P.L.Richards et al., The high T_c superconducting bolometer, IEEE Trans. Magn. 25, 1335 (1989).
- (5) R.H.Kingston, Detection of Optical and Infrared Radiation, Springer Verlag, Heidelberg 1978, ISBN 0-387-08617-X.
- (6) B.B.Lavrenčič, J.Polanec, A.Kandušer in P.Cevc, Piroelektrični Detektor Infrardečega sevanja, Simpozij o elektronskih sestavnih delih - SD 85, Ljubljana 1985, str.179.
- (7) P.Cevc, A.Kandušer, J.Polanec in B.B.Lavrenčič, Tehnologija piroelektričnih detektorjev z J-FETom v čip obliki, Simpozij o elektronskih sestavnih delih - 88, Nova Gorica 1988, str.155.

*dr. Borut B. Lavrenčič, dipl.ing.
Laboratorij za infrardečo tehniko
Institut J. Stefan, YU-61111 Ljubljana*

Prispelo: 12.09.1989 Sprejeto: 31.10.89