

## ANALIZA E PARAMETRAVE TË DETEKTORËVE INFRAKUQ MWIR – LWIR FOTOEMETUES PTSI DHE PIROELEKTRIKË ANALYSIS OF MWIR – LWIR INFRARED PHOTOEMISSIVE PTSI AND PYROELECTRIC DETECTORS PARAMETERS

GENC HYSENI<sup>a</sup>, NEBI CAKA<sup>b</sup>, KUJTIM HYSENI<sup>c</sup>

<sup>a,b</sup> Departamenti i Elektronikës, <sup>c</sup> Departamenti i Automatikës, Fakulteti i Inxhinierisë Elektrike dhe Kompjuterike, Universiteti i Prishtinës, 10000 Prishtinë, Fakulteti Teknik, Kodra e Diellit, Republika e KOSOVËS

Email: genchyseni@gmail.com

### PËRMBLEDHJE

Ky punim shtjellon, analizon dhe krahason parametrat e detektorëve fotoemetues PtSi dhe piroelektrikë në zonën e rrezatimit infrakuq të mesëm, MWIR (*angl. Middle Wavelength*), 3 – 5  $\mu\text{m}$  dhe të largët, LWIR (*angl. Large Wavelength*), 8 – 14  $\mu\text{m}$ . Nga analizat e bëra janë fituar rezultate që tregojnë se efektiviteti kuantik i fotodetektorëve PtSi (silicur platini) është mjaft i ulët, i rendit deri në 10% dhe se koha e reagimit të tyre është e rendit nano-dhe pikosekonda. Është vërtetuar teorikisht se koha e reagimit të detektorëve termikë piroelektrikë zvogëlohet me rritjen e temperaturës dhe me zogëlimin e trashësisë së detektorit, deri në disa milisekonda. Është treguar po ashtu që reagueshmëria e PtSi-ve në gjatësinë valore 3 $\mu\text{m}$  është 0.0265 A/W, ndërsa reagueshmëria e piroelektrikëve në gjatësinë valore 3 $\mu\text{m}$  dhe në temperaturë 300K është  $0.67 \times 10^{-13} \text{V/W}$  për TGS (*angl. Triglycine Sulphate*).

**Fjalët çelës:** fotoemetimi, PtSi, piroelektriciteti, koha e reagimit, efektiviteti kuantik, reagueshmëria, detektueshmëria.

### ABSTRACT

This paper discuss, analyze and compare infrared photoemissive PtSi (Platinum Silicide) and pyroelectric detectors parameters at medium wavelength (MWIR), 3-5  $\mu\text{m}$  and long wavelength (LWIR), 8 – 14  $\mu\text{m}$ . The analyses have shown that quantum efficiency of PtSi photoemissive detectors is very low, in the range of 10%, while their response time is in the range of nano- and pikoseconds. It has

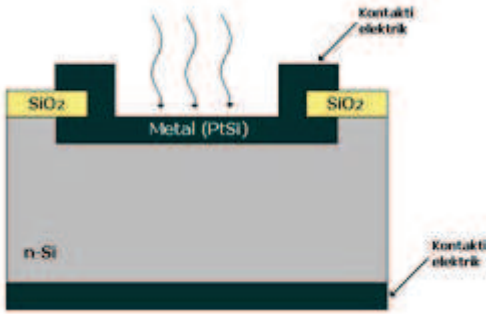
been theoretically proven that thermal time constant of pyroelectric detectors decreases with increasing temperature and decreasing the width of the detector, in the range of several milliseconds. It is also shown that in the wavelength of 3  $\mu\text{m}$ , PtSi responsivity value is 0.0265A/W, while pyroelectric voltage responsivity in the same wavelength, 3  $\mu\text{m}$ , and at room temperature 300K, is  $0.67 \times 10^{-13} \text{V/W}$  for Triglycine Sulphate (TGS).

**Key words:** photoemissivity, PtSi, pyroelectricity, response time, quantum efficiency, responsivity, detectivity.

### 1. Hyrje

Të gjitha objektet rrezatojnë një energji në brezin infrakuq, madje edhe objektet në temperaturë të dhomës, si dhe objektet e ngrira, siç është akulli. Sa më e lartë të jetë temperatura e një objekti, aq më e lartë do të jetë energjia rrezatuese spektrale, ose emetueshmëria, në të gjitha gjatësitë valore [1]. Për detektimin e këtij rrezatimi përdoren fotodetektorët infrakuq. Sipas parimit të punës, detektorët, në përgjithësi, ndahen në dy kategori: detektorët termikë dhe detektorët kuantikë (fotonikë). Detektorët termikë reagojnë ndaj ndryshimeve temperaturore të shkaktuara nga rrezatimi infrakuq rënës duke ndryshuar kështu vetitë fizike të materialit prej të cilit është i përbërë detektorit. Te detektorët kuantikë, ndërkaq, rrezatimi rënës gjeneron bartës të lirë të elektricitetit, si rezultat i ndërveprimit të fotoneve me materialin e fotodetektorit, që për pasojë ka shfaqjen e fotoemisionit. Ekzistojnë disa lloje të fotodetektorëve termikë dhe kuantikë. Nga të

parët këtu do të shqyrtohen fotodetektorët piroelektrikë, ndërsa nga të dytët ata fotoemetues me silicur platini (PtSi) mbi silic (Si), konkretisht detektorit me barrierë Schottky. Parimi i punës së detektorit me barrierë Schottky bazohet në fotoemisionin e brendshëm të bartësve nga shtresa metalike në nënshtresën gjysmëpërçuese [1].



**Figura 1.** Prerja tërthore e fotodiodës me barrierë Schottky.

Në Figurën 1 është paraqitur prerja tërthore e fotodiodës me barrierë Schottky. Për analizimin e efektivitetit kuantik të detektorit fotoemetues PtSi është përdorur teoria e Fowler-it [3]. Ai është analizuar në varësi nga gjatësia valore në zonën e gjatësive valore të mëdha LWIR dhe në zonën e gjatësive valore të mesme MWIR. Me rritjen e gjërësisë së zonës së varfëruar të detektorëve fotoemetues, rritet efektiviteti kuantik dhe reagueshmëria, por rritet edhe koha e reagimit; vlen dhe e kundërta. Për të vërtetuar këto pohime, do të shërbehemi me shprehjet analitike të cilat janë diskutuar gjërësisht nga [2].

Efektiviteti kuantik në fakt paraqet raportin ndërmjet numrit të elektroneve-VRIMAVE të gjeneruara dhe numrit të fotoneve të rëna në detektor. Në rastin ideal, çdo foton i absorbuar krijon një çift elektron-VRIMË. Shprehjet përkatëse për efektivitetin kuantik, reagueshmërinë dhe kohën e reagimit, sipas [2, 10], janë:

$$\eta = \frac{I_p / q}{P_{hyr} / hv} = \frac{hv}{q} R \quad (1)$$

ose

$$\eta = P_{abs} / P_{hyr} = 1 - e^{-\alpha W} \quad (2)$$

ku janë:  $I_p$  - fotorryma,  $P_{hyr}$  - fuqia hyrëse,  $q$  - ngarkesa elektrike,  $R$  - reagueshmëria,  $P_{abs}$  - fuqia e absorbuar,  $\alpha$  - koeficienti i absorbimit dhe  $W$  - gjërësia e zonës së varfëruar. Nga shprehja (1) mund

të gjejmë shprehjen për reagueshmërinë e fotodetektorit si:

$$R = \frac{\eta q}{hv} \quad (3)$$

Koha e reagimit të fotodetektorëve mund të jepet si raport ndërmjet gjërësisë së zonës së varfëruar  $W$  dhe shpejtësisë së driftit (rrjedhës)  $v_d$ , si:

$$\tau = \frac{W}{v_d} \quad (4)$$

Nga shprehjet (2) dhe (4) shihet qartë ndikimi i drejtpërdrejtë i gjërësisë së zonës së varfëruar.

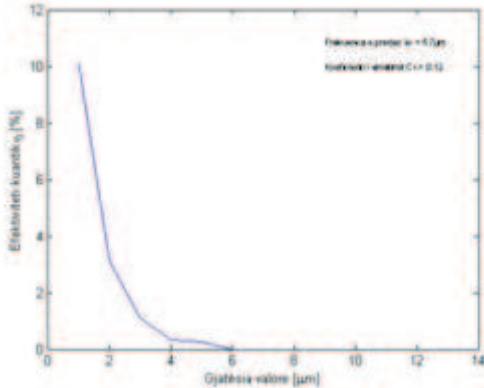
Me absorbimin e energjisë IR, në rastin e detektorëve termikë, bëhet ngrohja e elementit detektues, që për pasojë ka ndryshimin e vetive fizike dhe elektrike të materialit të përdorur në detektor.

| Materiali  | Nxehtësia specifike vëllimore $c'$ [J/cm <sup>3</sup> K] | Koeficienti piroelektrik $\rho$ [C/cm <sup>2</sup> K] | Konstantja dielektrike $\epsilon_r$ |
|--|--|---|-------------------------------------|
| TGS  | 1.70   | $3.5 \times 10^{-8}$                                  | 35                                  |
| LiTaO <sub>3</sub>                                 | 3.19   | $1.9 \times 10^{-8}$                                  | 58                                  |
| LiNbO <sub>3</sub>                                 | 2.32   | $4.0 \times 10^{-9}$                                  | 75                                  |
| Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·xH <sub>2</sub> O | 0.82   | $1.0 \times 10^{-8}$                                  | 10                                  |
| BaTiO <sub>3</sub>                                 | 3.01   | $2.0 \times 10^{-8}$                                  | 4100                                |
| NaNO <sub>2</sub>                                  | 2.016  | $1.2 \times 10^{-8}$                                  | 8                                   |
| PVF <sub>2</sub>                                   | 2.40   | $3.0 \times 10^{-9}$                                  | 11                                  |
| SBN  | 2.34   | $6.0 \times 10^{-8}$                                  | 400                                 |
| SbSi   | 2.378  | $2.6 \times 10^{-7}$                                  | $10^4$                              |

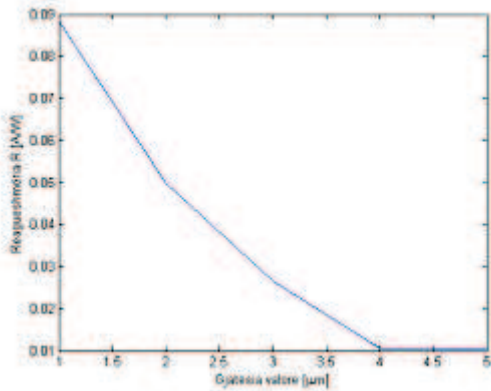
**Tabela 1.** Karakteristikat e disa materialeve piroelektrike

Në punim janë shqyrtuar edhe detektorët piroelektrikë, puna e të cilëve bazohet në dukurinë e piroelektricitetit – gjenerimit të dipolit magnetik, përkatësisht të rrymës elektrike, me ndryshimin e temperaturës [5]. Detektorët piroelektrikë janë sensorë termikë të frekuencave të larta [8], prandaj në punim janë analizuar parametrat e tyre në zonën e gjatësive valore të mesme MWIR 3-5µm dhe të gjata, LWIR, 8-14µm. Meqë puna e detektorëve termikë varet drejtpërdrejt nga rrezatimi i jashtëm dhe ndryshimet temperaturore, ata kanë një kohë të reagimit shumë të madhe dhe ndjeshmëri relativisht të vogël, krahasuar me detektorët fotonikë. Në punim është analizuar detektorit ballor me trashësi 5 µm dhe sipërfaqe 1.5 cm<sup>2</sup>. Meqë kristalet piroelektrike reagojnë edhe ndaj ngacmimeve më të vogla, duhen të merren parasysh temperatura e

mjedisit dhe rrezatimi rënës. Në përgjithësi, sistemi tipik i një sensori piroelektrik përbëhet nga katër elemente kryesore: detektori, amplifikatori, krahasuesi i dritares dhe çiftuesi. Në Tabelën 1 [5,7,9], janë paraqitur karakteristikat e disa materialeve piroelektrike.



**Figura 2.** Efektiviteti kuantik i detektorëve PtSi në varësi nga gjatësia valore, për gjatësi valore të prerjes 5.7 µm dhe koeficient të emetimit 0.12.



**Figura 3.** Reagueshmëria e detektorit fotoemetues në varësi të gjatësisë valore.

**2. Parametrat e detektorit fotoemetues PtSi**

*Efektiviteti kuantik*  $\eta$  – paraqet raportin ndërmjet numrit të çiftve elektron–vrimë të gjeneruara në fotodetektor dhe numrit të fotoneve të rëna në të. Përgjigjja spektrale e detektorit IR Schottky PtSi mund të jepet përmes ekuacionit të modifikuar të Fowler-it, të dhënë si [3]:

$$\eta = C_1 \frac{(h\nu - \psi_0)^2}{h\nu} = 1.24C_1\lambda \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_c} \right)^2 \quad (5)$$

ku  $\eta$  është efektiviteti kuantik,  $C_1$  është koeficienti i emetimit,  $\psi_0$  është barriera potenciale optike dhe  $\lambda_c$

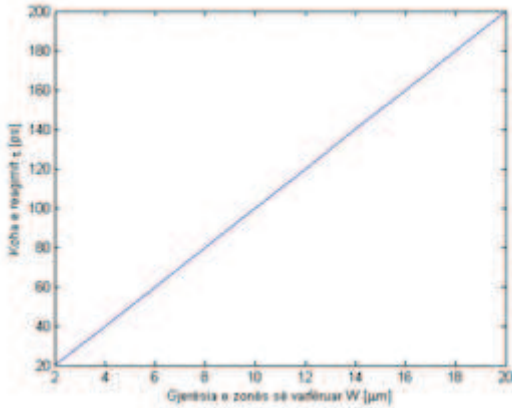
është gjatësia valore e prerjes, e dhënë edhe si  $1.24/\psi_0$ . Gjatësia valore e prerjes e detektorëve PtSi të rëndomtë është prej 5.1 deri në 5.9µm [3]. Nga shprehja (5), mund të llogarisim efektivitetin kuantik të detektorit fotoemetues PtSi, për gjatësi valore të mesme (MWIR) dhe të mëdha (LWIR). Nga lakorja e fituar me anë të simulimit (Figura 2), shohim se detektorët fotoemetues PtSi, për qëllime detektuese mund të përdoren në zonën infrakuqe 1-5µm. Me rritjen e gjatësisë valore, efektiviteti kuantik i tyre zvogëlohet. Po ashtu, shihet se detektorët PtSi e kanë efektivitetin kuantik shumë të vogël. Shihet që për gjatësi valore të prerjes 5,7µm, vlera maksimale dhe minimale e efektivitetit kuantik është 10,1% për gjatësinë valore 1µm dhe 0,26% për 5µm, përkatësisht.

| Parametrat e detektorit fotoemetues PtSi |                          |                     |
|--|--------------------------|---------------------|
| Gjatësia valore [µm]                     | Efektiviteti kuantik [%] | Reagueshmëria [V/W] |
| 1  | 10.1                     | 0.0885              |
| 2  | 3.1                      | 0.0499              |
| 3  | 1.1                      | 0.0265              |
| 4  | 0.33                     | 0.0106              |
| 5  | 0.26                     | 0.0104              |

**Tabela 2.** Vlerat e disa parametrave të detektorit fotoemetues PtSi.

*Reagueshmëria R* – paraqet raportin ndërmjet rrymës (ose tensionit) mesatare në dalje të fotodetektorit dhe fuqisë mesatare të rrezatimit në hyrje të tij. Lakorja e fituar me simulim (Figura 3), tregon se reagueshmëria e detektorit është në përpjesëtim të drejtë me efektivitetin kuantik dhe me gjatësinë valore. Me rritjen e gjatësisë valore zvogëlohet efektiviteti kuantik, e si pasojë edhe reagueshmëria e detektorit.

*Koha e reagimit*  $\tau$  – te detektorët kuantikë paraqet kohën për të cilën bartësit e lirë përkohëz distancën nga katoda deri në anodë të fotodiodës. Nga lakorja e fituar me simulim (Figura 4), shihet se koha e reagimit të detektorëve kuantikë rritet linearisht me rritjen e gjerësisë së zonës së varfëruar. Për gjerësi të zonës së varfëruar 10µm dhe shpejtësi të driftit  $10^5$ m/s, koha e reagimit është e rendit 10ps. Nga kjo përfundohet se koha e reagimit të detektorëve kuantikë është e rendit nano- dhe piko sekonda, shumë më e vogël se ajo e detektorëve termikë, e cila është e rendit milisekonda.



**Figura 4.** Koha e reagimit të detektorëve fotoemetues në varësi të gjerësisë së zonës së varfëruar.

*Fuqia e barasvlershme me zhurmën* (angl. *Noise Equivalent Power, NEP*) – paraqet fuqinë rrezatuese të nevojshme për të krijuar fotorrymën të barasvlershme me zhurmën e brendshme të detektorit. Me fjalë të tjera, NEP-i përkufizohet si fuqia minimale e detektueshme për frekuencë të caktuar [4].

*Detektueshmëria D\** – paraqet vlerën reciproke të NEP-it dhe shprehet si raport ndërmjet sipërfaqes dhe brezit frekuencor. Parametri *D\** është i dobishëm për të krahasuar një material të një detektorit me një detektor tjetër, ndërsa NEP shërben për krahasimin e specifikave të detektorëve [4].

**3. Parametrat e detektorëve infrakuq piroelektrikë**

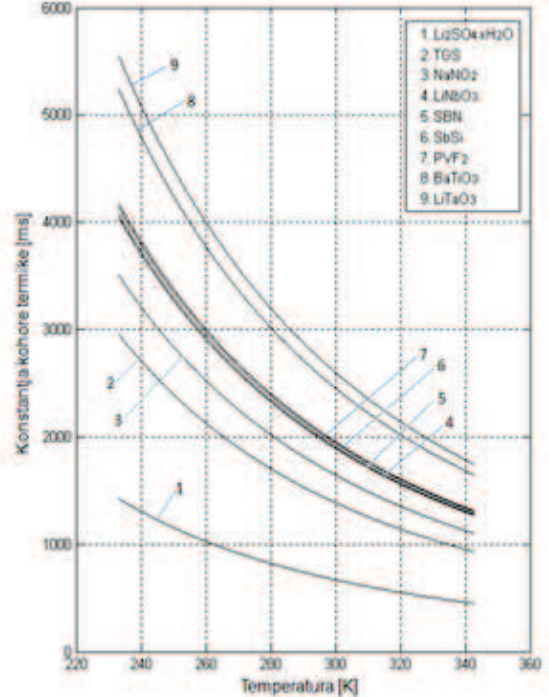
*Konstantja kohore termike* – e detektorit piroelektrik paraqet kohën për të cilën fuqia rrezatuese e rënë në sipërfaqen e detektorit jep një sinjal elektrik në dalje të tij. Koha e reagimit të detektorëve piroelektrikë është më e vogël se ajo e detektorëve të tjerë termikë, sepse te kristalet piroelektrike nuk ka nevojë të arrihet baraspesha termike sikur në rastin e termoçifteve ose termistorëve. Konstantja kohore termike e detektorit jepet si raport ndërmjet kapacitetit dhe përçueshmërisë termike [5, 6, 7, 9]:

$$\tau = \frac{C_{th}}{G_{th}} = \frac{c'Ab}{G_R A} = \frac{c\rho b}{4\eta\sigma T^3} \quad (6)$$

ku janë: *c'* – termokapaciteti specifik për vëllim konstant, *c* – termokapaciteti specifik i materialit, *ρ* – dendësia e materialit, *b* – trashësia e pjesës sipërfaqësore të detektorit, *G<sub>R</sub>* – përçueshmëria rrezatuese, *A* – sipërfaqja e detektorit, *η* –

emitiviteti i materialit, *σ* – konstantja e Stefan-Bolcmanit, dhe *T* – temperatura.

Nga shprehja (6) shihet që koha termike e reagimit varet vetëm nga trashësia dhe temperatura e detektorit. Në bazë të shprehjes (6), grafikisht është paraqitur konstantja kohore termike në varësi nga temperatura për disa materiale piroelektrike (Figura 5).



**Figura 5.** Konstantja kohore termike në varësi nga temperatura për disa materiale piroelektrike.

*Reagueshmëria* – Reagueshmëria (përgjigjja) elektrike e detektorit varet nga dy faktorë: nga reagueshmëria termike e detektorit ndaj rrezatimit rënë dhe nga reagueshmëria e materialit piroelektrik ndaj ndryshimeve temperaturore. Po ashtu, edhe reagueshmëria termike varet nga dy faktorë: a) kapaciteti i rrezatimit të absorbuar të detektorit, dhe b) ndryshimet e temperaturës për shkak të rrezatimit të absorbuar [5]. Në punim është analizuar reagueshmëria tensionike, *R<sub>V</sub>*.

*Reagueshmëria tensionike R<sub>V</sub>* – përkufizohet si raport ndërmjet tensionit të gjeneruar në detektor  $\Delta V$  dhe fuqisë së rrezatimit të rënë në sipërfaqen e detektorit *P<sub>hyr</sub>*. Në bazë të përkufizimit, kemi [7]:

$$R_V = \frac{\Delta V}{P_{hyr}} \quad (7)$$

Tensioni i gjeneruar në detektor shprehet si:

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C_d} \quad (8)$$

Ngarkesa elektrike dhe kapaciteti i detektorit jepen si:

$$\Delta Q = pA\Delta T = AP_s \quad (9)$$

dhe

$$C_d = \epsilon_r \epsilon_0 A / b \quad (10)$$

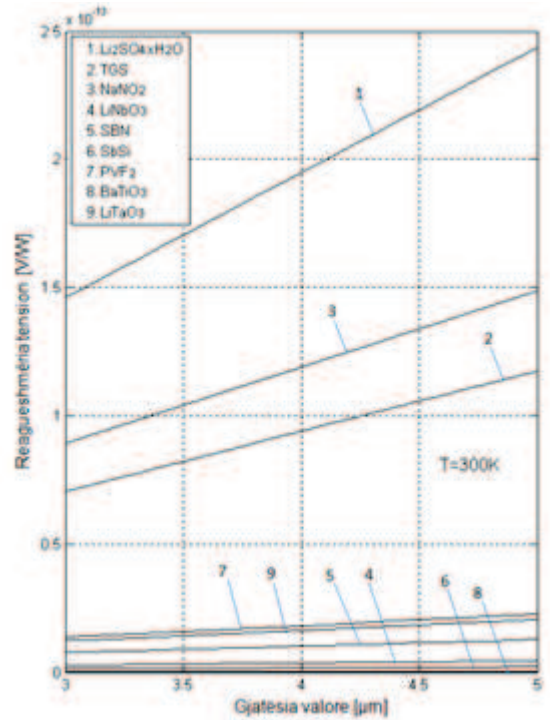
ku janë:  $p$  – koeficienti piroelektrik i materialit,  $A$  – sipërfaqja e detektorit,  $\Delta T$  – ndryshimi temperaturor dhe  $P_s$  – polarizimi. Me ndryshimin e temperaturës së një materiali piroelektrik, pra me rritjen e saj, shfaqet degradimi i polarizimit  $P_s$ , meqë nxehtësia është energji e cila rrit kinetikën e grimcave ndaj edhe vepron në të kundërtën e rregullsisë apo orientimeve të mundshme polarizuese. Sipas [7] është supozuar se fuqia rrezatuese është funksion sinusoidal, prandaj ndryshimet temperatore të çfarëdo detektorit termik për shkak të fluksit rrezatues shprehen me anë të ekuacionit të gjendjes ekuilibruese si:

$$\Delta T = \frac{\eta P_{\text{hyr}}}{c' b A} \frac{\tau}{(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}} \quad (11)$$

Pasi të zëvendësojmë (8), (9) dhe (11) në (7), do të marrim shprehjen përfundimtare për reagueshmërinë tensionike:

$$R_V = \frac{p \eta \tau}{c' \epsilon_r \epsilon_0 A (1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}} \quad (12)$$

Në Figurën 6 është paraqitur reagueshmëria tensionike në varësi nga temperatura për materiale të ndryshme piroelektrike.



**Figura 6.** Reagueshmëria tensionike në varësi nga temperatura për materiale të ndryshme piroelektrike në brezin e gjatësive valore të mesme (MWIR) *Detektueshmëria* – Karakteristikë tjetër shumë e rëndësishme e detektorit piroelektrik është detektueshmëria  $D^*$  [11]. Vlera e  $D^*$  për detektor shënohet si  $D^*(T, f, 1)$ , ku T paraqet temperaturën, f paraqet frekuencën dhe 1 paraqet brezin frekuencor prej 1 Hz. Njësia e  $D^*$  është e dhënë në  $\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$ . Detektueshmëria e një detektorit jepet si [11]:

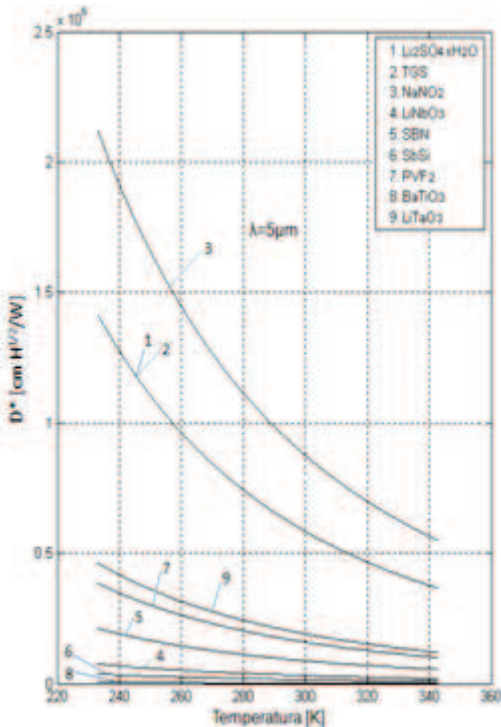
$$D^* = \frac{A^{1/2}}{\text{NEP}} \quad (13)$$

ku A është pjesa sipërfaqësore e detektorit ndërsa NEP, sipas [5], mund të shprehet si:

$$\text{NEP} = \frac{\sqrt{V_{\text{Th}}^2 + V_D^2 + V_A^2}}{R_V} \quad (14)$$

Në Figurën 7 është paraqitur detektueshmëria në varësi nga temperatura për materiale të ndryshme piroelektrike.





**Figura 7.** Detektueshmëria në varësi nga temperatura për materiale të ndryshme piroelektrike në brezin e gjatësive valore të mesme (MWIR)

#### 4. Përfundim

Bazuar në rezultatet e analizuara, të paraqitura përmes Figurave 2 dhe 3, shihet që detektorët fotoemetues PtSi, për qëllime detektuese, mund të përdoren në brezin infrakuq 1–6 $\mu$ m, aq sa e lejon gjatësia valore e prerjes, e cila për këta detektorë është 5.1–5.9 $\mu$ m. Efektiviteti kuantik i fotodetektorëve PtSi del të jetë mjaft i ulët, i rendit deri në 10%, e që me rritjen e gjatësisë valore, zvogëlohet edhe më shumë (Figura 2). Po ashtu, është treguar që koha e reagimit të detektorëve kuantikë është e rendit nano – piko sekonda, që është shumë më e vogël sesa ajo e detektorëve termikë piroelektrikë, e cila është e rendit milisekonda (Figura 4). Nga ana tjetër, rezultatet e analizuara për reagueshmërinë e PtSi-ve konsiderohen të kënaqshme, krahasuar me ato të detektorëve piroelektrikë. Për gjatësinë valore 3 $\mu$ m dhe gjatësi valore të prerjes 5.7 $\mu$ m, vlera e reagueshmërisë është 0.0265 (A/W) (Figura 3). Nga rezultatet e analizuara, të treguara përmes Figurave (5,6,8,9) shihet varësia e parametrave të detektorëve

piroelektrikë nga temperatura dhe gjatësia valore. Është arritur në përfundim se konstantja kohore termike  $\tau$  zvogëlohet me rritjen e temperaturës dhe me zvogëlimin e trashësisë së detektorit. Vlera më e vogël e konstantes kohore termike të detektorit piroelektrik është arritur për materialin  $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dhe ajo në temperaturë të dhomës, 300K, ka vlerën 670ms, ndërsa koha më e madhe është arritur për  $\text{LiTaO}_3$ , 2600ms. Është treguar që reagueshmëria tensionike  $R_v$  varet nga gjatësia valore, trashësia dhe sipërfaqja e detektorit. Vlerat maksimale dhe minimale të reagueshmërisë tensionike në temperaturë të dhomës 300K janë  $1.46 \times 10^{-13}$  V/W për  $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  dhe  $1.94 \times 10^{-16}$  V/W për  $\text{BaTiO}_3$ , përkatësiht. Vlera maksimale e detektueshmërisë  $D^*$  për detektorët piroelektrikë infrakuq MWIR në temperaturë të dhomës 300K arrihet duke përdorur si material  $\text{NaNbO}_3$ ,  $2.12 \times 10^8$   $\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$ .

#### BIBLIOGRAFIA

1. Raissi, F., *A Possible Explanation for High Quantum Efficiency of PtSi/Porous Si Schottky Detectors*, IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 50, No. 4, April 2003.
2. Agrawal, G. P., *Fiber-Optic Communication Systems*, 3<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons, 2002.
3. Lin, T.L., Park, J. S., Gunapala, S. D., Jones, E. W., Del Castillo, H. M., Weeks, M. M., and Pellegrini, P. W., *7- $\mu$ m-Cutoff PtSi Infrared Detector for High Sensitivity MWIR Applications*, IEEE Electron Device Letters, Vol. 16, No. 3, March 1995.
4. Young, M., *Optics and Lasers: Including Fibers and Optical waveguides*, 5<sup>th</sup> edition, Springer, 2000.
5. Hossain, A., Rashid, H.M., *Pyroelectric Detectors and Their Applications*, IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 27. No. 5, 1991.
6. Träger, F., (Ed.), *Springer Handbook of Lasers and Optics*, Springer, pp. 549-554, (2007).
7. Liu, S.T., Long, D., *Pyroelectric Detectors and Materials*, Proceedings of the IEEE, Vol. 66, No. 1, (1978).
8. Beerman, P.H., *The Pyroelectric Detector of Infrared Radiation*, IEEE Transaction on Electron Devices, Vol. Ed-16, No. 6., 1969.
9. Kimmitt, M. F., Ludlow, J. H., and Putley, E. H., Proc. IEEE 56, 1250, 1968.
10. Caka, N., *Optoelektronika*, UP, Prishtinë, 1996.
11. Driggers, R.G. (Ed.), *Encyclopedia of Optical Engineering*, Volume 2, CRC Press, pp.349-357, 2003.