

Debeloslojni senzori temperature na bazi platine za primene u anemometriji

Zdravko Stanimirović, Ivanka Stanimirović

Odeljenje za tehnologije
Institut IRITEL a.d. Beograd
Beograd, Republika Srbija
zdravkos@iritel.com; inam@iritel.com

Sažetak – U okviru razvoja anemometra koji bi omogućio 3D merenja brzina strujanja vazduha realizovana je serija debeloslojnih senzora temperature na bazi platine u tri različite serpentinske forme. Ovi senzori su nastali kao odgovor na performanse prethodno realizovane serije senzora temperature koji su imali veće debljine žarenog sloja, manju otpornost i manju osetljivost od novorealizovanih čije će performanse biti predstavljene u ovom radu.

Ključne riječi – senzor temperature na bazi platine; debeloslojna tehnologija; temperaturski koeficijent otpornosti; osetljivost.

I. UVOD

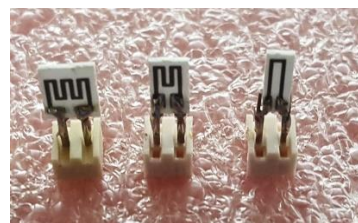
Senzori temperature na bazi platine se već dugi niz godina nalaze među najzastupljenijim sensorima u svim oblastima života – od industrije do medicine, poljoprivrede itd [1-4]. U okviru razvoja anemometra, koji bi omogućio 3D merenja brzina strujanja vazduha, realizovana je serija debeloslojnih senzora temperature na bazi platine čija je evaluacija prikazana u [5]. Realizovani senzori su bili serpentinske forme, dužine serpentina iz opsega 10 mm - 40 mm, projektovanih otpornosti od 9 do 30 Ω , osetljivosti 0.00453 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ – 0.00564 ppm/ $^{\circ}\text{C}$.

Poznato je da se debeloslojna tehnologija bazira na otpornim pastama na bazi rutenijuma koje se sastoje od metal-oksida kao provodne faze, borosilikatnog stakla kao izolacione faze, te organskih konstituenata u kombinaciji sa provodnim, dielektričnim i zaštitnim pastama. Ove paste se nanose tehnikom sitoštampe na podlogu koja je najčešće 96% alumina keramika. Sinterovanje se vrši u konvejskim pećima sa maksimalnom temperaturom od 850 $^{\circ}\text{C}$. Debeloslojne paste obično imaju težinski udeo metal-oksida veći od 60%. Takve paste daju debljine suvih slojeva od oko 25 μm , a žarenih slojeva od 10 do 15 μm . Debeloslojna pasta na bazi platine se, dok je u vlažnom stanju, ponaša kao klasična debeloslojna pasta. Međutim, zbog znatno manjeg sadržaja provodne faze, ostvaruju se male debljine žarenog sloja, a površina sloja nije potpuno uniformna.

Iz tog razloga su u prethodnom istraživanju štampani senzori koji su se sastojali od četiri sloja Pt paste čime je bila postignuta zadovoljavajuća uniformnost sloja. Međutim, u cilju postizanja viših vrednosti otpornosti i bolje osetljivosti senzora realizovana je nova serija debeloslojnih senzora temperature na bazi platine. Postupak realizacije i evaluacija karakteristika ovih senzora će biti predstavljena u ovom radu.

II. REALIZACIJA DEBELOSLOJNIH SENZORA

Serijski senzori temperature realizovani su konvencionalnim postupcima sitoštampe (Slika 1). Za njihovu realizaciju upotrebljena je debeloslojna pasta na bazi platine, slojne otpornosti 0.3 $\Omega/\text{kvadrat}$ u kombinaciji sa komercijalno raspoloživom Pd/Ag debeloslojnom pastom kojom su formirane kontaktne stope. Pt pasta je nanošena sitoštamptom na Kyocera keramičke 96% alumina supstrate dimenzija 50.8×50.8×0.65 mm. Izbor supstrata je bio uslovljen činjenicom da pasta na bazi platine i alumina keramika imaju slične koeficijente termičkog širenja čime je minimizirano naprezanje između Pt filma i podloge.

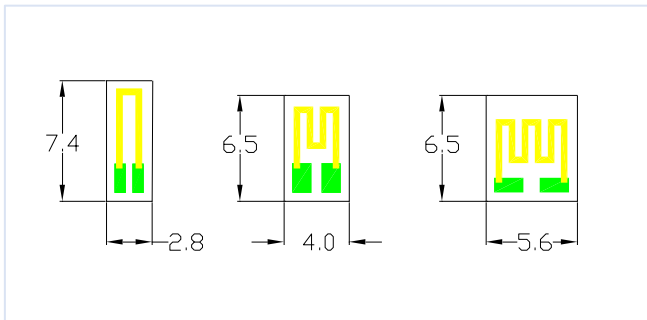


Slika 1. Debeloslojni senzori temperature na bazi platine

Pasta na bazi platine je na supstrate nanošena DEK štampačem pomoću sita od nerđajućeg čelika gustine 200 meša. Za realizaciju sita upotrebljena je emulzija debljine 12 μm . Za razliku od uzoraka koji su upotrebljeni u prethodnoj fazi ispitivanja [5] kada su nanošena četiri sloja paste na bazi platine od kojih je svaki pojedinačni sloj nivelisan i sušen, a potom sva četiri žarena istovremeno, u ovoj fazi ispitivanja je štampan jedan sloj paste da bi se postigla željena viša otpornost senzora.

Nakon štampanja tankog sloja Pt film se nivelisao na sobnoj temperaturi 15 min da bi se uklonio otisak sita. Potom je izvršeno sušenje i žarenje sloja čime su uklonjeni organski konstituenti paste i formirana struktura senzora. Organski konstituenti su isparili i sagoreli na temperaturi od oko 200 $^{\circ}\text{C}$, dok su ugljenični ostaci bili eliminisani na temperaturi od oko 700 $^{\circ}\text{C}$. Sa početkom žarenja došlo je do lokalne densifikacije Pt čestica i stvaranja provodnih zrna i gustih klastera zrna koji su u početku formirali poroznu mrežu, da bi na kraju žarenja sloj bio znatno uniformniji. Dobijena debljina slušenog sloja je bila približno 10 μm , a žarenog manje od 3 μm .

Realizovane su tri vrste senzora serpentinske forme sa širinom serpentine od 0.4 mm i dužinama 10 mm, 13.3 mm i 20 mm (Slika 2).



Slika 2. Dimenzije realizovanih senzora

III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Realizovani senzori su u klima komori izlagani temperaturama iz opsega od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Slika 3). Za merenja otpornosti uzoraka upotrebljen je DAQ system za akviziciju podataka u kombinaciji sa softverskim paketom National Instruments LabVIEW. Eksperimentalni setap je uključivao akvizicione module NI-9264 i NI-9205 i žičani otpornik $R_t=99.7\ \Omega$.



Slika 3. Senzori su u klima komori izlagani temperaturama iz opsega $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Imajući na umu da je očekivana radna temperatura senzora za primene u anemometriji daleko niža od $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, promena otpornosti senzora na bazi platine sa temperaturom je linearna:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (1)$$

pri čemu je R_0 otpornost senzora na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, t je temperatura data u $^{\circ}\text{C}$ i α temperaturski koeficijent otpornosti debelog filma na bazi platine.

Prilikom merenja je posebna pažnja posvećena samozagrevanju koje menja temperaturu senzora i javlja se kao greška merenja. Greška merenja temperature zavisi od gubitka snage i koeficijenta samozagrevanja koji se izražava u K/mW i

koji je specifičan za materijal koji je u pitanju. Standardna preporučena struja za filmove na bazi platine otpornosti manjih od $100\ \Omega$ je 1 mA .

Važno je naglasiti da je samozagrevanje senzora bilo svedeno na minimum korišćenjem struja čije su vrednosti bile u opsegu 0.3 mA - 0.5 mA , a odgovarajuće snage disipacije između $9.9\ \mu\text{W}$ i $43\ \mu\text{W}$.

Imajući na umu nedostatke koji se mogu javiti kod debeloslojnih senzora temperature kao što su:

- niska osetljivost,
- niska otpornost,
- samozagrevanje i
- nelinearnost karakteristike,

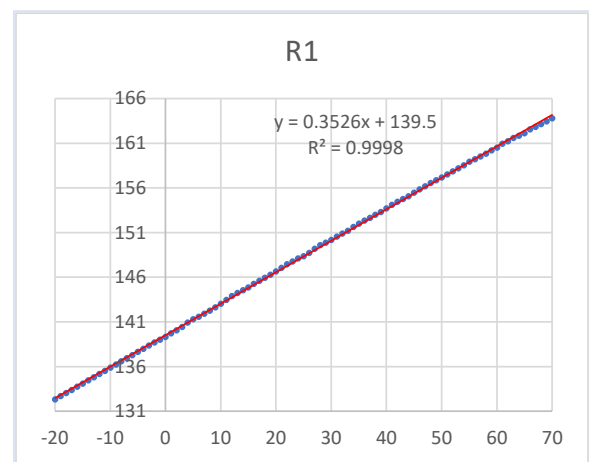
izvedeno je više merenja. Karakteristične vrednosti parametara za sve tri serpentinske forme senzora date su u Tabeli I.

TABELA I. PARAMETRI DEBELOSLOJNIH SENZORA TEMPERATURE NA BAZI PLATINE (l - DUŽINA SERPENTINE, R_m - IZMEREENA OTPORNOST, α -TEMPERATURSKI KOEFICIJENT OTPORNOSTI)

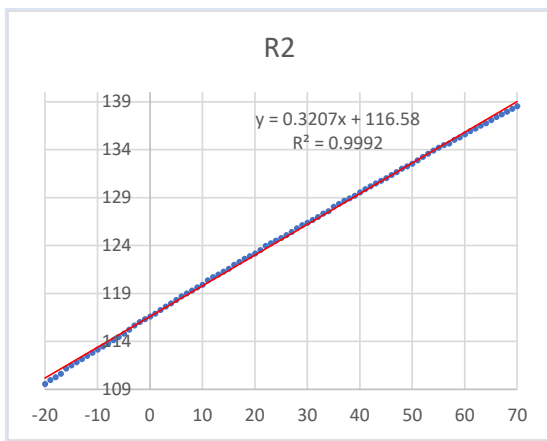
	l (mm)	R_m na 0°C (Ω)	α (ppm/ $^{\circ}\text{C}$)	Osetljivost ($\Omega/^{\circ}\text{C}$)
R_1	10	139.33	0.00254	0.354
R_2	13.3	116.61	0.00274	0.320
R_3	20	171.03	0.00298	0.510

Na slici 4 prikazane su promene otpornosti senzora u funkciji temperature za sve tri realizovane serpentinske forme čiji su parametri prikazani u prethodnoj tabeli. Izmerene vrednosti su predstavljene kružićima, dok linije predstavljaju fitovane vrednosti.

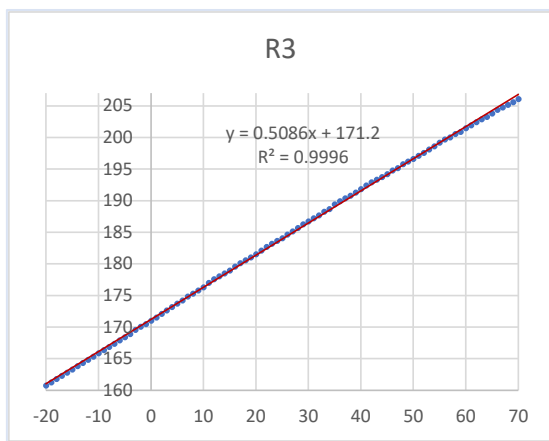
Pokazalo se da je promena otpornosti skoro linearna sa temperaturom. Što je temperatura bila viša, viša je bila i otpornost.



(A)



(B)



(C)

Slika 4. Promena otpornosti vs. temperatura za debeloslojne senzore temperature na bazi platine čije su dužine linija $l=10$ mm (A), $l=13.3$ mm (B) i $l=20$ mm (C)

Vrednosti temperaturnog koeficijenta otpornosti, α , otpornosti su bile u skladu s očekivanim vrednostima. Vrednosti α su bile u opsegu 0.00254 ppm/°C i 0.00298 ppm/°C. Najveća vrednost temperaturnog koeficijenta otpornosti je zabeležena kod otpornika najveće dužine.

Osetljivost je veoma važan parametar kada su u pitanju senzori temperature. Najmanja osetljivost je zabeležena kod otpornika sa najkraćom serpentinom. Na osnovu izmerenih vrednosti se može zaključiti da osetljivost raste sa porastom otpornosti, odnosno sa porastom dužine serpentine. Izmerene vrednosti osetljivosti su se kretale u opsegu od 0.354 Ω/°C do 0.510 Ω/°C.

Uporedne vrednosti dobijene merenjima senzora iste slojne otpornosti i geometrije, a različitih debljina slojeva prikazane su u Tabeli II. Može se primetiti da se sa smanjenjem broja slojeva debelog filma na bazi platine povećava otpornost senzora kao i njegova osetljivost. Evidentno je da u zavisnosti od primene senzora i njegove radne temperature zavisi i koliko slojeva paste na bazi Pt filma možemo odštampati. Senzori iz [5], kod kojih su četiri sloja štampana, svaki sušen a potom svi zajedno sinterovani, su bili uniformni ali su imali manju

otpornost i manju osetljivost. Treba naglasiti da što je veći broj slojeva u pitanju, veća je verovatnoća da će na višim temperaturama doći do delaminacije, odnosno odvajanja sloja od supstrata. Stoga, treba tražiti kompromis između uniformnosti sloja i zahtevane osetljivosti za svaku aplikaciju ponaosob. Kada je u pitanju anemometrija, debeloslojni senzori temperature na bazi platine veće osetljivosti su pogodniji za primenu.

TABELA II. UPOREDNEKARAKTERISTIKE DEBELOSLOJNIH SENZORA TEMPERATURE NA BAZI PLATINE REALIZOVANIH POMOĆU JEDNOG I ČETIRI [5] ŠTAMPANA SLOJA Pt PASTE

R_1 ($l=10$ mm)	R_m na 0°C (Ω)	α (ppm/°C)	Osetljivost (Ω/°C)
1 sloj Pt paste	139.33	0.00254	0.354
4 sloja Pt paste	9.34	0.00453	0.04
R_2 ($l=13.3$ mm)	R_m na 0°C (Ω)	α (ppm/°C)	Osetljivost (Ω/°C)
1 sloj Pt paste	116.61	0.00274	0.320
4 sloja Pt paste	11.57	0.00359	0.04
R_3 ($l=20$ mm)	R_m na 0°C (Ω)	α (ppm/°C)	Osetljivost (Ω/°C)
1 sloj Pt paste	171.03	0.00298	0.510
4 sloja Pt paste	14.9	0.00504	0.17

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana serija debeloslojnih senzora temperature na bazi platine koja je razvijena i realizovana za primene u anemometriji. Realizovane senzore karakteriše jednostavan dizajn i dobra ponovljivost karakteristika u okviru zadatog opsega temperatura. Hemijski su stabilni i relativno ih je lako realizovati. Jednostavno se mogu zameniti i obezbediti pouzdan rad anemometra. U poređenju sa ranije realizovanim sensorima veće debljine Pt filma, ovi senzori su pored veće vrednosti otpornosti, za istu geometriju i slojnu otpornost upotrebljenog materijala uz iste uslove žarenja, pokazali veće vrednosti otpornosti i osetljivosti, ali nešto manju uniformnost sloja filma na bazi platine. Dalja istraživanja bi mogla da obuhvate projektovanje novih formi senzora i njihovu karakterizaciju u cilju postizanja optimalnih debljina sloja i osetljivosti. Osnovne karakteristike senzora predstavljenih u ovom radu date su u Tabeli III.

TABELA III. OSNOVNE KARAKTERISTIKE REALIZOVANIH DEBELOSLOJNIH SENZORA TEMPERATURE NA BAZI PLATINE

Supstrat	96% alumina keramika
Provodna pasta	Komercijalni raspoloživa Pd/Ag provodna pasta
Pt materijal	Pt debeloslojna pasta
Slojna otpornost	0.3 Ω/kvadrat
Tehnologija	Debeli film
Debljina žarenog Pt filma	< 3 μm
Tip senzora	Serpentinski otpornici
Dužina Pt linije	10 mm - 20 mm
Dizajnirane vrednosti otpornosti	110 Ω - 180 Ω at 0 °C
Izmena otpornosti	Linearna sa temperaturom
Temperaturni koeficijent otpornosti	0.00254 ppm/°C - 0.00298 ppm/°C
Osetljivost	0.354 Ω/°C - 0.510 Ω/°C

LITERATURA

- [1] B.P. Nagaraju and K.J. Rathanraj, "Precision Temperature Measurement Using Resistance Temperature Detector", *Asian Review of Mechanical Engineering*, 2013, ISSN 2249 – 6289, Vol. 2 No. 1, pp.1 -6.
- [2] F. Maily, A. Giani, R. Bonnot, P. Temple-Boyer, F. PascalDelannoy, A. Foucaran, A. Boyer, "Anemometer with hot platinum thin film", *Sensors and Actuators A: Physical*, 2001, Vol. 94, Iss. 1 –2, pp. 32-38.
- [3] K.G. Kreider, D.C Ripple and W.A Kimes, "Thin-Film Resistance Thermometers on Silicon Wafers", *Measurement Science and Technology*, 2009, Volume 20, Number 4.
- [4] N. Hambali, S. Saat, M.A. Ahmad, M.S. Ramli, M.A. Ishak, "Computer-based System for Calibration of Temperature Transmitter using RTD", *3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2010, pp. 332-336.
- [5] I. Stanimirović, Z. Stanimirović, "Pt Resistive Film Sensors", *IEEE 31st Int. Conf. on Microelectronics, MIEL 2019, Niš, Serbia, 2019*, pp. 145-148.

ABSTRACT

As a step toward development of an anemometer that would allow 3D wind speed measurements, a series of thick-film platinum sensors in three different serpentine forms was developed. Realization of these sensing elements was initiated by performances of previously realized series of resistive film sensors that had greater thicknesses of fired layers, lower resistances and lower sensitivity than the ones that will be presented in this paper.

THICK-FILM PLATINUM SENSORS FOR ANEMOMETRY APPLICATIONS

Zdravko Stanimirović, Ivanka Stanimirović