

# Vpliv naparevanja na odzivni čas sensorja relativne vlažnosti zraka

## Influence of Evaporation Angle of Upper Electrode on Response Time of Relative Humidity Sensor, Using Different Materials

K. Požun<sup>1</sup>, B. Paradiž, J. Leskovšek, L. Irmančnik-Belič, IEVT Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1995-12-22

*Predstavljamo sestavo in princip delovanja tankoplastnega kapacitivnega sensorja relativne vlage, ki ima za dielektrik polimerno plast. Opisan je nanos zgornje elektrode, ki mora imeti primerno električno prevodnost ter mora biti dovolj porozna, da senzor hitro reagira na spremembe relativne vlažnosti v okolju. Za naparevanje zgornje elektrode smo uporabili naslednje materiale: Ni, Cr in zlitino NiCr (80-20). Za vsakega od teh materialov smo določili vpliv kota naparevanja. Kot je definiran kot kot med normalo podlage in uporovno ladjico.*

*Ključne besede: relativna vlažnost, kapacitivni senzor, odzivni čas, nanašanje tankih plasti*

*The structure and principles of operation of the thin film capacitive relative humidity sensors, applying a polymer film as dielectric, are presented. A deposition of the upper electrode, which must have a proper electrical conductivity and be porous enough that sensor has a quick response to the relative humidity changes in the environment, is discussed. For evaporation of the upper electrode the following materials were used: Ni, Cr, and their alloys. For each of these materials the influence of the angle between a source and the sensor at evaporation of the upper electrode on the sensor's response time, was determined.*

*Key words: relative humidity, capacitive sensors, response time, thin-film deposition*

### 1 Uvod

Meritev relativne vlage je zahtevna naloga in njeni rezultati so vedno obremenjeni z napakami. Uporabniki zahtevajo takšne lastnosti sensorja vlage, da je merjenje enostavno, zanesljivo, stabilno in ponovljivo. Principe merjenja relativne vlažnosti zraka delimo v naslednje skupine:

- meritev mehanskih sprememb v različnih nosilcih - zglede so lasni vlagomeri
- psihrometrične meritve - merimo temperaturo vlažnega in suhega termometra ter iz tabel odčitavamo vrednosti relativne vlažnosti zraka
- tretja oblika sensorja relativne vlažnosti zraka pa se odziva na spremembo električnih lastnosti, kot sta sprememba upornosti in kapacitivnosti.

Pri našem delu smo se odločili za kapacitivne senzorje relativne vlažnosti zraka. Kondenzatorska struktura sensorja ima tankoplastni polimerni dielektrik. Relativna dielektrična konstanta polimernega dielektrika se spreminja glede na vsebnost vlage v njem. S spremembo dielektrične konstante se spremeni kapacitivnost kondenzatorske strukture, ki jo merimo z elektronskim merilnim instrumentom. Vsa pozornost pri izdelavi

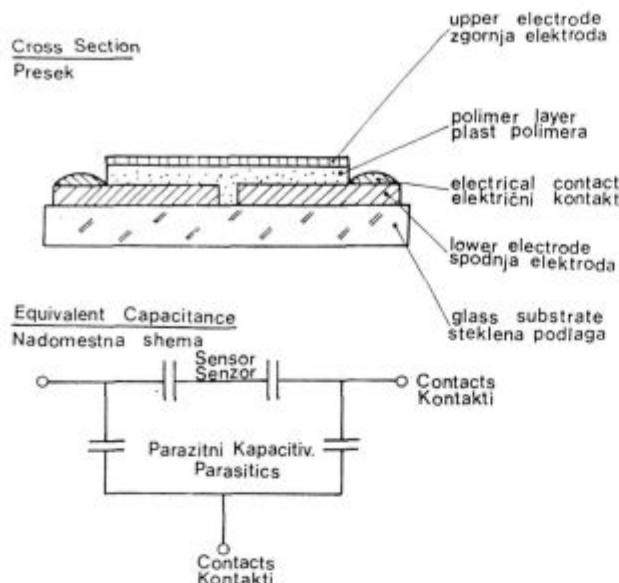
senzorjev je bila usmerjena v hitrost odzivanja, natančnost meritve in velikost histereze pri izbranem in uporabljenem polimeru.

Polimeri imajo lastnost absorpcije vlage, kar izkoriščamo pri izdelavi senzorjev vlage. Hitro odzivnost sensorja smo dosegli s porozno kovinsko elektrodo, ki je neparjena pod različnimi koti. Polimer smo nanegli na podlago s centrifugo<sup>1-4</sup>. Zanesljivost in stabilnost sensorja smo merili tako, da smo ga izpostavili vlagi in temperaturi v posebni merilni napravi. Še posebno pa nas je zanimala sledljivost odziva sensorja na hitre spremembe vlage<sup>5-8</sup>.

### 2 Eksperimentalni del

Kot osnovo za pripravo sensorja smo uporabili brušeno in polirano stekleno podlago z vtaljenimi električnimi prevodnicami. Na podlago smo skozi maske v visokem vakuumu neparili spodnji elektrodi. Nato smo na podlago s centrifugo nanegli še približno 1  $\mu\text{m}$  debelo plast polimera (polyimid)<sup>4</sup>. Pred nanosom vrhnje elektrode smo polimerno plast aktivirali v rahlo oksidativni plazmi, da bi dosegli boljšo adhezijo med polimerom in vrhno elektrodo (slika 1). Kot material zanjo smo uporabili nikelj, krom in zlitino NiCr (20-80). Neparili smo jo termično iz volframove uporovne ladjice in oblikovali z

<sup>1</sup> Karol POŽUN, dipl.inž.  
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko  
1111 Ljubljana, Teslova 30



Slika 1: Shematski prikaz tankoplastnega kapacitivnega senzorja relativne vlažnosti zraka

Figure 1: Structure of relative humidity thin-film capacitive sensor

masko. Hitrost nanašanja plasti smo spremljali s kremenovo mikrotehniko.

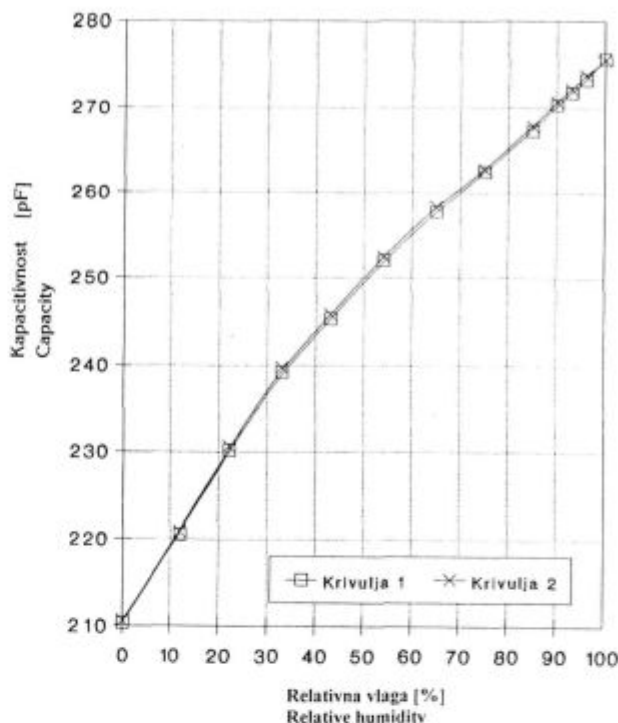
Vrhno elektrodo smo naparovali pri različnih kotih  $\theta$ . Tega smo definirali kot kot med normalo na podlago in uporabno ladjico. Debelino vrhnje elektrode smo merili z mehanskim merilnikom višine stopnice TENCOR Alfa Step 100 na polirani stekleni podlagi, ki smo jo naparili hkrati in pod enakimi pogoji kot vrhno elektrodo. Kapacitivnost senzorskih struktur smo merili z merilnikom RCL, Promax MZ-705, pri frekvenci 10kHz. Časovni odziv pa smo merili v napravi za zelo hitro mešanje suhega in vlažnega zraka pri stopničastih spremembah.

### 3 Rezultati in diskusija

Spremembo kapacitivnosti senzorja v odvisnosti od relativne vlage v območju od 0 do 98% smo določali v nasičenih solnih raztopinah. Posamezne solne raztopine (NaCl, LiCl....) imajo pri neki temperaturi konstantno vlago in se zato uporabljajo kot sekundarni standardi v merilnih laboratorijih. Na sliki 2 je prikazana krivulja spremembe kapacitivnosti v odvisnosti od relativne vlažnosti pri konstantni temperaturi (23°C). S slike je razvidno, da je zveza med kapacitivnostjo in relativno vlago skoraj linearna. Krivulja 1 predstavlja kapacitivnost med naraščanjem relativne vlažnosti, krivulja 2 pa pri njenem padanju. Nastala histereza je minimalna, kar je pri senzorju vlage zaželeno.

Kapacitivnost uporabljenega senzorja je bila 200 pF, njegova občutljivost pa 3000 ppm/% relativne vlage, površina senzorja je bila 28 mm<sup>2</sup>. Z našim senzorjem lahko merimo relativno vlažnost zraka v temperaturnem območju od -20°C do +80°C, natančnost meritve pa je  $\pm 2\%$ .

Ena od pomembnih lastnosti senzorja je odzivni čas. Študiralimo smo zvezo med odzivnim časom in sestavo elektrode ter povezavo med hitrostjo in kotom naprejevanja zgornje elektrode. Zgornja elektroda je bila sestavljena iz NiCr (80-20), kroma ali niklja. Kot naprejevanja je bil 0° in 75°, debelina elektrode 100 nm, debelina nanosa polimera pa 1000 nm.



Slika 2: Sprememba kapacitivnosti senzorja vlage v odvisnosti od relativne vlažnosti pri konstantni temperaturi: T= 23°C; krivulja 1 je bila posneta med naraščanjem vlage, krivulja 2 med njenim padanjem

Figure 2: Relation between capacity and relative humidity at constant temperature T = 23°C; curve 1 during humidity increase, curve 2 during humidity decrease

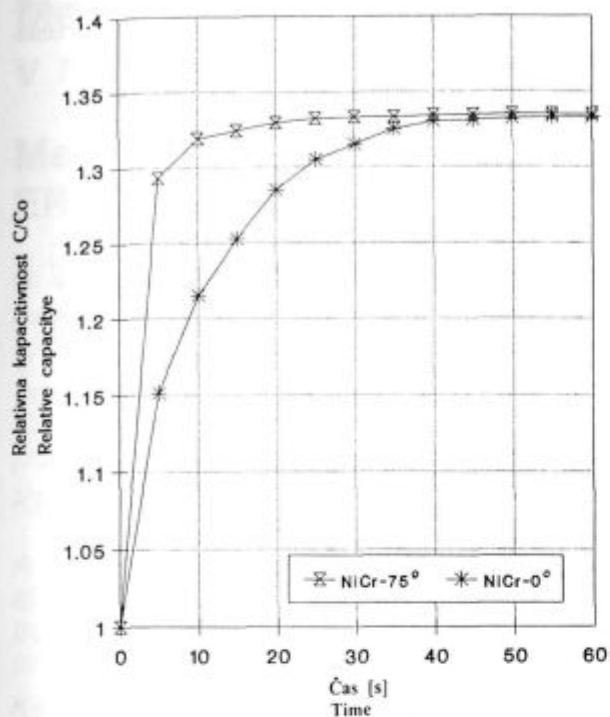
Slike 3, 4 in 5 prikazujejo časovni odziv relativne kapacitivnosti. Na posameznih slikah predstavljata krivulji a in b elektrodo, naparjeno pod različnima kotoma (0° in 75°). Krivulja a je prikaz lastnosti senzorja z elektrodo, naparjeno pod kotom 0°, pri krivulji b pa je elektroda naparjena pod kotom 75°.

Odzivni čas senzorja smo merili tako, da smo ga najprej postavili v komoro z 0% relativne vlage za 30 min. in ga nato prenesli v komoro s 100% relativno vlago ter izmerili odzivni čas. Pri vseh treh sestavih elektrode je bil odzivni čas senzorja večji, če je bila elektroda naparjena pod kotom 0°. NiCr, Cr in Ni elektrode, naparjene pod kotom 75°, pa so imele odzivni čas približno enak, in sicer 5 s, kar ustreza zahtevam. Najkrajši čas odziva je imel senzor, ki ima zgornjo elektrodo iz kroma.

Za nadaljnje delo smo izbrali zlitino NiCr, ker ima v temperaturnem območju od -20°C do +150°C najmanjši temperaturni koeficient upornosti, kar je pomembno pri meritvah nad 50°C.

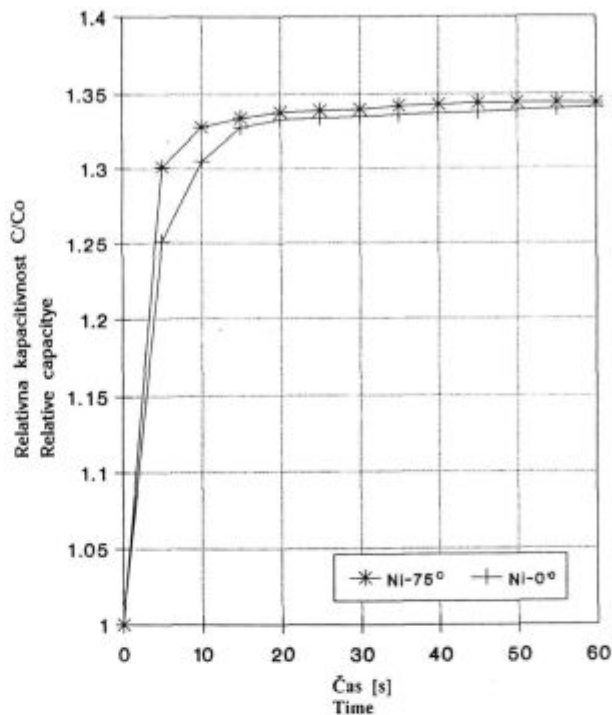
Elektrodo s sestavo NiCr smo naparili ne le pod kotom 0° in 75°, ampak tudi pod kotom 30°, 40° in 60° ter izmerili čas odziva (slika 6). Ugotovili smo, da je pri kotu 0° odzivni čas daljši, četudi je bila debelina elektrode pod 10 nm. V primeru, da je bil kot naprejevanja 75° je bil odzivni čas 5 sekund ali manj, čeprav je bila debelina elektrode 20 nm ali več. Vzrok za hiter odziv je v večji prepustnosti - poroznosti elektrode.

Z večanjem kota naprejevanja pri enakem času narašča debelina elektrode, je pa taka elektroda bolj porozna. Volumska gostota pod kotom naparjene elektrode je obratno sorazmerna z njeno debelino. To smo preverili tako, da smo v komori istočasno naparovali na polimer in referenčno stekleno podlago. Le ta je bila naparjena pri enakih kotih kot vzorec, po



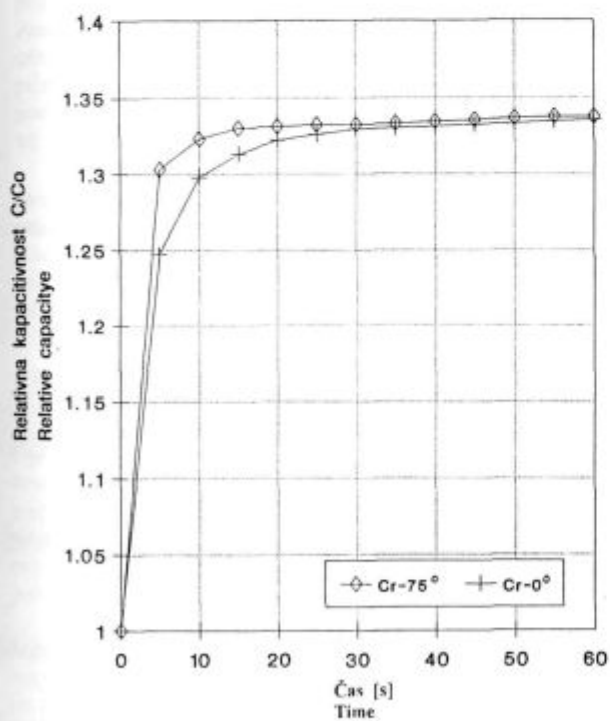
Slika 3: Časovni odziv relativne kapacitivnosti senzorja vlage z Ni-Cr zgornjo elektrodo, neparjeno pod različnima kotoma, a:  $\theta = 75^\circ$ , b:  $\theta = 0^\circ$

Figure 3: Time response of relative capacity of humidity sensor with NiCr electrode evaporated at different angles a:  $\theta = 75^\circ$ , b:  $\theta = 0^\circ$



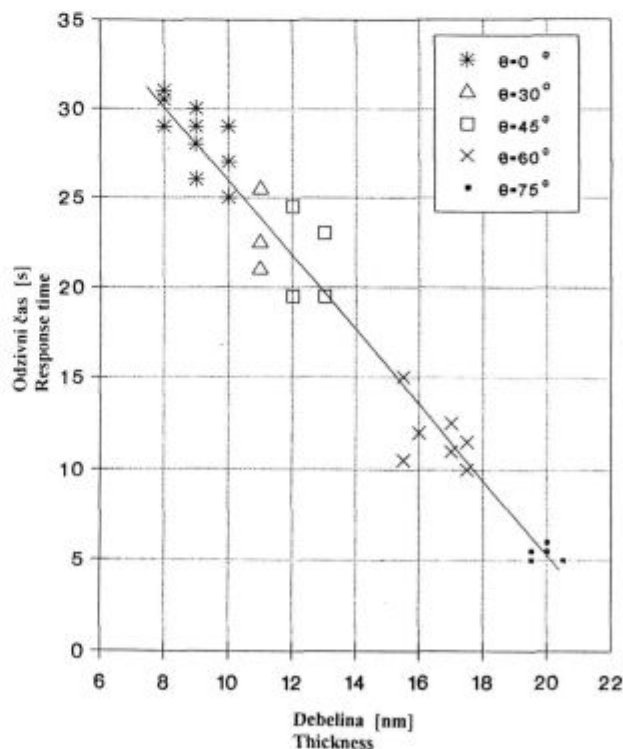
Slika 5: Časovni odziv relativne kapacitivnosti senzorja vlage z nikljevo zgornjo elektrodo, neparjeno pod kotoma, a:  $\theta = 75^\circ$ , b:  $\theta = 0^\circ$

Figure 5: Time response of relative capacity of humidity sensor with Ni electrode evaporated at different angles a:  $\theta = 75^\circ$ , b:  $\theta = 0^\circ$



Slika 4: Časovni odziv relativne kapacitivnosti senzorja vlage s kromovo zgornjo elektrodo, neparjeno pod kotoma, a:  $\theta = 75^\circ$ , b:  $\theta = 0^\circ$

Figure 4: Time response of relative capacity of humidity sensor with Cr electrode evaporated at different angles a:  $\theta = 75^\circ$ , b:  $\theta = 0^\circ$



Slika 6: Diagram odzivnega časa v odvisnosti od debeline NiCr elektrode in kota nanašanja

Figure 6: The relationship between response time and the thickness of the NiCr electrode deposited at a different angle

končanem napajanju pa smo z merilnikom Alpha-Step 100 izmerili debelino plasti.

Za doseg enake plastne gostote smo morali pri napajanju pod kotom čas podaljšati.

Posebno poglavje in veliko težav, ki v omenjenem prispevku niso obravnavane, predstavlja polimerna plast, predvsem enakomeren in ponovljiv nanos.

#### 4 Sklepi

Razvili in ovrednotili smo kapacitivni senzor vlage, ki ima hiter odziv. To nam je uspelo, ker je zgornja elektroda sensorja dovolj porozna in zato prepustna za vodno paro.

Prepustno elektrodo smo naredili z napajanjem pri optimalnem kotu in tako dosegli manjšo plastno gostoto tanke plasti elektrode.

#### 5 Literatura

- <sup>1</sup> S. Takeda, *J. Appl. Phys.*, 47, 1976, 12
- <sup>2</sup> G. Delapierre in ostali, *Sensors and Actuators*, 4, 1983, 97
- <sup>3</sup> M. Sato, *JEE*, 2, 1993, 60
- <sup>4</sup> S. Takeda, *Vacuum*, 41, 1990, 1769
- <sup>5</sup> P. Meakins, *Phys. Rev.*, A38, 1988, 994
- <sup>6</sup> A. Banovec, M. Kern, *Zbornik SD-89*, Nova Gorica, 1989, 185
- <sup>7</sup> M. Matsoguchi in ostali, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 67, 1, 1994, 46
- <sup>8</sup> K. Požun, B. Paradiž, *Kovine, zlitine, tehnologije*, 1994, 1-2, 431