

Uporaba polietersulfona za kapacitivni tankoplastni senzor relativne vlažnosti zraka

Application of Polyetersulphone for Capacitive Thin Film Relative Humidity Sensor

K. Požun, L. Koller, L. Irmančnik-Belič, IEVT, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1996-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-11-22

Kot aktivno komponento večplastne senzorske strukture smo uporabili organski polimer polietersulfon. Odlične fizikalne in električne lastnosti polimera so omogočile izdelavo senzorja vlage, ki je enostaven, zanesljiv in stabilen pri normalnih in višjih temperaturah delovanja. Senzor ima majhno histerezo, nizek temperaturni koeficient, kratek odzivni čas in dolgotrajno stabilno delovanje s toleranco 3% relativne vlažnosti (po 1000 urah pri temperaturi 40°C in 90% relativni vlažnosti zraka).

Ključne besede: kapacitivni tankoplastni senzor, polietersulfon, senzor relativne vlažnosti zraka

A capacitance type relative humidity sensor utilizing polyetersulphone sensing material has been fabricated to achieve reproducible relative measurements with long term stability even in hot and humidity conditions. The sensor showed a good performance with low hysteresis and low temperature coefficient of capacitance along with good stability with less than 3% (r. h.) shift after 1000 hours of exposure to 40°C, 90% r. h. conditions.

Key words: capacitive type sensor, polyetersulphon, relative humidity sensor

1 Uvod

V zadnjih letih se povečuje uporaba polimerov za kapacitivne senzorje relativne vlažnosti zraka. Najpomembnejša področja uporabe teh elementov so poleg klimatske tehnike, delovnih, bivalnih in skladiščnih prostorov, predvsem sodobne tehnologije, pri katerih sta pomembna predvsem čist in primerno vlažen zrak, ki ga spremljamo in ugotavljamo skozi celotni tehnološki proces. Uporabo in širitev na ta pomembna področja so omogočili njegova enostavna izvedba in uporaba ter stabilno, dolgotrajno in zanesljivo delovanje. Polimeri, ki so se do sedaj pokazali kot primerni za uporabo v senzorjih, so: celulozni aceto-butirat, polimetil metakrilat, poliamid in drugi. Senzorji, izdelani iz teh polimerov, imajo še vedno nekaj šibkih točk, vendar so kljub temu bolj uporabni od drugih, na tržišču dosegljivih senzorjev¹⁻⁵. V težjih delovnih razmerah se njihova merilna zanesljivost zmanjša, zato so tam manj uporabni.

V našem delu predstavljamo uporabo polietersulfona kot polimerno senzorsko strukturo, ki ima nekatere prednosti pred omenjenimi polimeri. Te so: boljše električne lastnosti, odpornost proti delovanju vlage pri višjih temperaturah in vplivu nekaterih topil, ki se nahajajo v tehnoloških procesih⁶⁻⁹.

2 Struktura in delovanje senzorja

Paralelni elektrodi kondenzatorja sta nanoseni na stekleno podlago z vmesno dielektrično plastjo, ki jo tvori polietersulfon. Spodnja elektroda kondenzatorja je iz zlitine NiCr, debeline 100 nm, zgornja je vodopre-

pusna tanka plast zlata. Shematski prikaz senzorske strukture je na **sliki 1**. Filter z majhnimi porami je prilepljen na odprtino v kovinskem ohišju, v katerega zapremo senzor. Tako oblikovano ohišje poskrbi za kratek odziv senzorja na spremembo relativne vlažnosti zraka in ga ščiti pred dimom in drugimi prašnimi delci.

Električni kontakt obeh elektrod je izveden z vtaljenima prevodoma v stekleno podlago senzorja. Kapacitivnost senzorja relativne vlažnosti zraka se spreminja s spremembo vlage v zraku, zaradi katere poteka absorpcija ali desorpcija. Pri teh procesih se spreminja dielektričnost polimernega materiala, kar povzroči spremembo kapacitivnosti senzorja:

$$\Delta C = \Delta \epsilon \epsilon_0 S/l, \quad (1)$$

kjer pomeni:

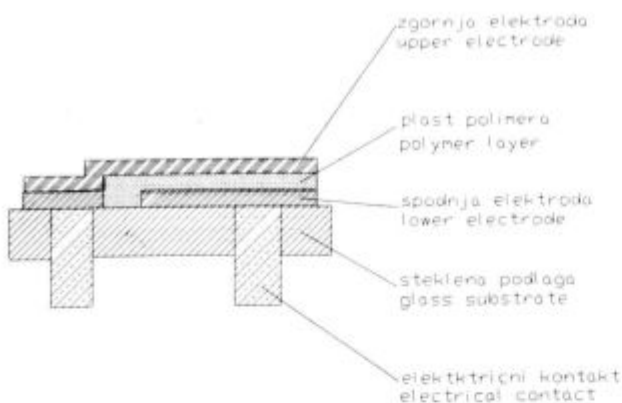
- ΔC - spremembo kapacitivnosti senzorja
- $\Delta \alpha$ - spremembo dielektričnosti polimera (relativna dielektrična konstanta)
- S - površino elektrod
- l - debelino polimera
- ϵ_0 - dielektrično konstanto

3 Materiali za senzor in njegova izdelava

Strukturna formula polimera je prikazana na **sliki 2**. Polimer je bil razvit pred tridesetimi leti, ima dobre električne lastnosti, visokofrekvenčno stabilnost in je zelo obstojen pri višjih temperaturah na vlagi. Stabilen je predvsem zaradi svoje strukture, ki vsebuje sulfonsko skupino.

Izdelava senzorja je naslednja: na stekleno podlago naparimo NiCr (spodnjo elektrodo) v vakuumu. Polimer polietersulfon raztopimo v naprej pripravljenem in

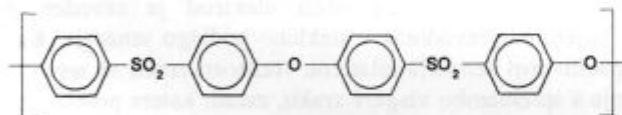
¹ Kani POŽUN, dipl.inž.
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko
1111 Ljubljana, Teslova 30



Slika 1: Shematski prikaz tankoplastnega kapacitivnega senzorja relativne vlažnosti zraka

Figure 1: Sensor structure

ogretem topilu, ki je sestavljeno iz kloroheksanola, N-dimetilformamida in metiletilketona. Tako pripravljen polimer nanese s centrifugo na steklene podlage, ki ga nato sušimo 2 uri pri 200°C. Na polimerno plast v vakuumu naperimo zgornjo elektrodo, ki je tanka porozna plast zlata. Le-to naparevamo pod kotom 75° do debeline 50 nm. Tako pripravljene senzorje lahko zaščitimo še s posebnim kovinskim ohišjem, ki jih varuje pred poškodbami. Ohišje točkovno privarimo na kovinski okvir steklene podlage.



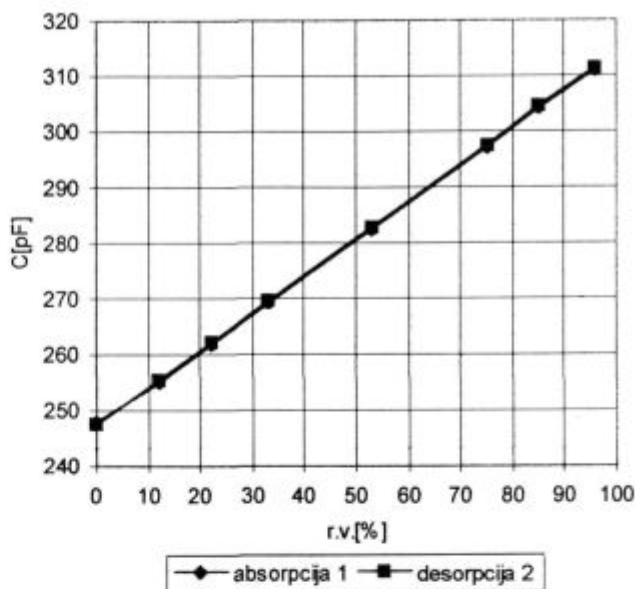
Slika 2: Strukturna formula polimera polietersulfona

Figure 2: Chemical structure of polyethersulphone

4 Eksperimentalni rezultati

Spremembo kapacitivnosti senzorja relativne vlažnosti zraka, izgubni kot, hitrost odziva in impedanco smo merili pri frekvenci 10 kHz z RCL merilnikom Pro-max MZ-705. Senzor smo merili v področju 10-90% relativne vlažnosti zraka in pri dveh izbranih temperaturah: 25°C in 40°C. Meritve električnih lastnosti senzorja relativne vlažnosti zraka pri temperaturi 25°C smo izvedli z uporabo nasičenih vodnih raztopin soli, ki so predpisane po standardu DIN 50 008¹⁰ za umerjanje senzorjev in merilnikov relativne vlažnosti zraka. Meritve pri temperaturi 40°C smo izvedli v klimatski komori firme Heraeus Voetsch 300. V nadaljevanju naših preskusov smo senzorje relativne vlažnosti zraka pustili določen čas v atmosferi z dodatki kvalitativno in kvantitativno izbranih topil ter merili njihovo stabilnost.

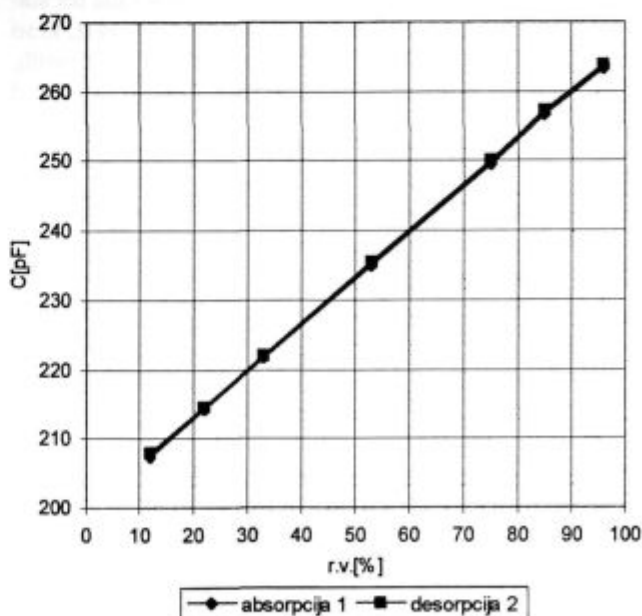
Na sliki 3 je v diagramu prikazana sprememba kapacitivnosti senzorja vlage v odvisnosti od relativne vlažnosti. Krivulja 1 je posneta med absorpcijo vodne pare, krivulja 2 pa med desorpcijo vodne pare pri tem-



Slika 3: Sprememba kapacitivnosti senzorja vlage v odvisnosti od relativne vlažnosti (10-90%) zraka pri konstantni temperaturi: T=25°C. Krivulja 1 je bila posneta med naraščanjem vlage, krivulja 2 med njenim padanjem

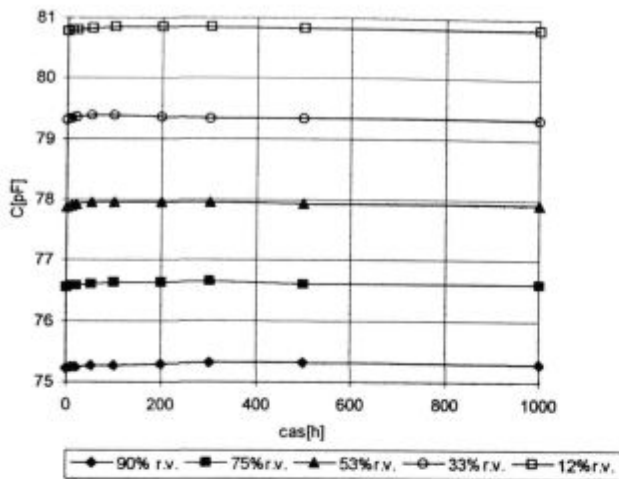
Figure 3: Humidity dependence of sensor capacitance at 25°C

peraturi 25°C. Na sliki 4 je v diagramu prikazana sprememba kapacitivnosti senzorja vlage v odvisnosti od relativne vlažnosti. Krivulja 1 je posneta med absorpcijo vodne pare in krivulja 2 med desorpcijo vodne pare pri temperaturi 40°C. Temperaturna odvisnost kapacitivnosti je majhna in je 0,1%/°C relativne vlažnosti zraka. Odzivni čas senzorja je 30 sekund pri 25°C pri absorpciji in



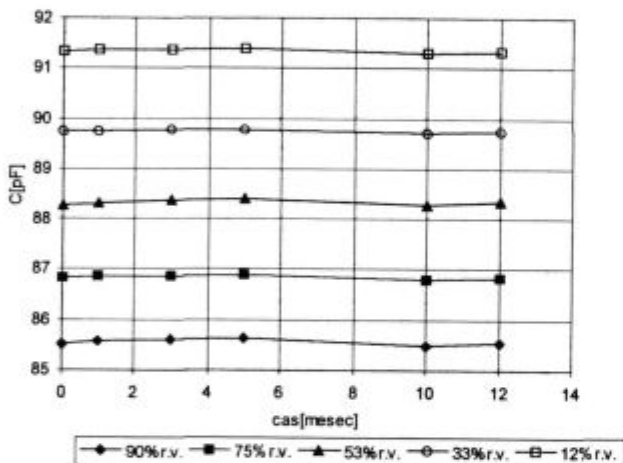
Slika 4: Sprememba kapacitivnosti senzorja vlage v odvisnosti od relativne vlažnosti (10-90%) zraka pri konstantni temperaturi: T=40°C. Krivulja 1 je bila posneta med naraščanjem vlage, krivulja 2 med njenim padanjem

Figure 4: Humidity dependence of sensor capacitance at 40°C



Slika 5: Sprememba kapacitivnosti v odvisnosti od časa 1000 ur zadrževanja na izbranih vrednostih relativne vlažnosti zraka in konstantni temperaturi 40°C

Figure 5: Sensor drift under 40°C



Slika 6: Sprememba kapacitivnosti v odvisnosti od časa enega leta zadrževanja na izbranih vrednostih relativne vlažnosti zraka in konstantni temperaturi 25°C

Figure 6: Sensor drift under room conditions

desorpciji vodne pare. Histereza pri obeh opravljenih preskusih pri 25° in 40°C v področju 10-90% relativne vlažnosti zraka je bila 0,5-1%.

Dolgotrajna stabilnost sensorja vlage je bila merjena pri različnih vlažnostih zraka in dodatkih izbranih topil. Sensorji so bili 24 ur izpostavljeni različnim koncen-

tracijam topil, kot so aceton, toluen, ksilen in butil acetat. Rezultati teh meritev so prikazani v tabeli 1. Izmerjene vrednosti spremembe relativne vlažnosti pa so v tolerančnem območju $\pm 2\%$ relativne vlage. V diagramu na sliki 5 je prikazana sprememba kapacitivnosti v odvisnosti od časa trajanja, izbrane relativne vlažnosti zraka in temperature (40°C). V diagramu na sliki 6 je prikazana sprememba kapacitivnosti pri izbranih relativnih vlažnostih zraka v časovnem obdobju enega leta. V obeh diagramih sprememba kapacitivnosti ustreza toleranci manj kot 12% relativne vlažnosti zraka.

Tabela 1: Rezultati meritev sensorjev

Št.	Razmere pri preskusu	Odstopanje relat. preskusa vlage v %
1	temperatura 60°C, 1000 h	± 2
2	temperatura 40°C, 1000 h, 90% r.v.	± 3
3	aceton 200 ppm, 24 h	± 2
4	toluen 100 ppm, 24 h	± 2
5	ksilen 100 ppm, 24 h	± 2
6	butil acetat 200 ppm, 24 h	± 2

5 Sklep

Razvili smo kapacitivni senzor relativne vlažnosti zraka. Uporabili smo polimer polietersulfon, ki omogoča linearno povezavo med kapacitivnostjo in relativno vlago. Uspelo nam je narediti porozno vrhno elektrodo, ki omogoča prehod zračne vlage in zato kratek odzivni čas sensorja. Dobljeni rezultati opravljenih preizkusov kažejo enostavno, zanesljivo in dolgotrajno delovanje kapacitivnega sensorja relativne vlažnosti zraka v normalnih in v težjih delovnih razmerah.

6 Literatura

- ¹ S. Takeda, *J. Appl. Phys.*, 47, 1976, 12
- ² G. Delapierre in ostali, *Sensors and Actuators*, 4, 1983, 97
- ³ M. Sato, *JEE*, 2, 1993, 60
- ⁴ S. Takeda, *Vacuum*, 41, 1990, 1769
- ⁵ P. Meakins, *Phys. Rev.*, A38, 1988, 994
- ⁶ A. Banovec, M. Kern, *Zbornik SD-89*, Nova Gorica, 1989, 185
- ⁷ M. Matsoguchi in ostali, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 67, 1994, 1, 46
- ⁸ K. Požun, B. Paradiž, *Kovine, zlitine, tehnologije*, 1994, 1-2, 431
- ⁹ K. Požun, B. Paradiž, J. Leskovšek, L. Irmančnik-Belič, *Kovine, zlitine, tehnologije*, 30, 1996, 1-2, 45
- ¹⁰ *Standard DIN 50 008*, Konstantklimate ueber Waessrigen Loesungen Teil 1, Teil 2, Februar 1981