

BOJANA M. RADOJKOVIĆ  
MARIJA F. HRIBŠEK  
SLAVICA S. RISTIĆ

Institut Goša, Beograd, Srbija

STRUČNI RAD

UDK 621.791:620.1:678.7:543.2

DOI: 10.2298/HEMIND091221027R

## POLIANILINSKI TANKI FILMOVI U SENZORIMA ZA DETEKCIJU ŠTETNIH AGENASA KOD ZAVARIVANJA\*

*U radu su analizirane mogućnosti primene senzora u čijoj osnovi se nalaze filtri sa površinskim akustičkim talasom (PAT), za detekciju štetnih produkata u procesu zavarivanja. Objašnjeni su principi rada PAT senzora sa posebnim osvrtom na primenu elektroprovodnih polianilinskih nanokompozitnih materijala – polianilin/ $\text{In}_2\text{O}_3$  i etilendiamin i fenilendiamin polianilinskih nanokompozita kao osetljivih tankih slojeva za detekciju CO,  $\text{NO}_2$  i  $\text{COCl}_2$ . Prikazan je deo originalnih rezultata modelovanja PAT senzora koji su namenjeni detekciji pomenutih gasova. Rezultati dobijeni na bazi sopsstvenog modela poređeni su sa rezultatima iz literature. Pokazano je da se ovim načinom modelovanja može uspešno odrediti koncentracija štetnih gasova u okruženju.*

Pri procesu zavarivanja u atmosferi oko zavarivača nalazi se čitav niz materija: gasovi, oksidi i soli metala, sastojci fluora, hroma i dr. [1]. Glavne toksične materije su azotni oksidi, ozon, ugljen-monoksid, mangan i njegovi oksidi i jedinjenja fluora. Svi oni nisu jednako opasni, ali svi ostavljaju posledice na zdravlje zavarivača i osoba koje se nađu u sredini gde se odvija proces zavarivanja. Zbog toga je neophodno praćenje njihove prisutnosti u vazduhu, kontinualno za vreme trajanja procesa. Otuda su za detekciju ovih gasova potrebni senzori koji rade na sobnoj temperaturi, brzo reaguju, imaju visoku osetljivost i visoko su selektivni.

Zadnjih godina razvijeni su nove vrste senzora i materijala koji sve bolje odgovaraju na ove zahteve, a koji su pri tome jeftini i malih dimenzija. Najnoviji detektori hemijskih agenasa sadrže različite tipove senzora u zavisnosti od tipa agensa i željene tačnosti. Sve veću ulogu imaju senzori sa površinskim akustičkim talasom (PAT). Kod ovih senzora se ugrađuju elementi koji električni signal pretvaraju u akustički talas, da bi se nakon određenog vremena ponovo pretvorio u električni. Amplitudska karakteristika ovih elemenata je tipa filtra propusnika opsega učestanosti, pa se stoga oni često nazivaju filtrima. Koriste se u sistemima za daljinsko merenje koncentracija otrovnih gasova i bojnih otrova, kao i u *in situ* monitoringu isparljivih organskih jedinjenja u zemlji i vodi [2].

Osnovni PAT element je pronađen 1965. godine [3]. Sastoji se od dva interdigitalna pretvarača (IDP) postavljena na podlogu od piezoelektričnog materijala, kao što je na primer kristal kvarca ili  $\text{LiNbO}_3$ . Interdigitalni pretvarač se sastoji od dva niza učešljanih metalnih elektroda i služi za pretvaranje električnog signala u akustički talas i obrnuto. Geometrija i broj elektroda određuju centralnu učestanost PAT filtra. Tehnologija PAT elemenata obuhvata izradu tankih filmova i proces

fotolitografije koji je potpuno podudaran proizvodnji integrisanih kola što olakšava celokupan način proizvodnje ovih senzora. Ovo je omogućilo njihovu masovnu proizvodnju odnosno smanjenje cene [2,3].

PAT senzor se dobija tako što se na površinu piezoelektričnog materijala između interdigitalnih pretvarača nanosi tanak osetljivi sloj, najčešće polimer. Selektivnost senzora zavisi od izbora polimera. Izbor optimalnog polimera za odgovarajući gas je jedan od osnovnih zadataka proizvođača hemijskih PAT senzora.

Za detekciju CO,  $\text{NO}_2$  i  $\text{COCl}_2$  gasova, koji se između ostalog oslobađaju u procesu zavarivanja, u PAT senzorima se kao osetljivi slojevi sa velikim uspehom koriste tanki filmovi nanokompozitnog materijala na bazi provodnog polianilina [4,5].

U ovom radu je prikazan deo originalnih rezultata modelovanja PAT senzora koji su namenjeni detekciji pomenutih gasova. Pokazano je da se ovim načinom modelovanja može uspešno odrediti koncentracija štetnih gasova u okruženju.

### Provodni polimeri

Polimeri po svojoj prirodi spadaju u izolatore (njihova provodljivost je niža od  $10^{-3} \text{ S m}^{-1}$ ) [6]. Sedamdesetih godina prošlog veka otkriveni su provodni polimeri koji privlače posebnu pažnju istraživača. Ovo otkriće je ukazalo na nove mogućnosti njihove primene. Poslednjih godina razvijaju se sve više nanostrukture ovih polimera u vidu nanoštapića, nanožica, nanotuba, nanovlakana i dr. Tako dobijeni materijali pokazuju interesantne fizičko-hemijske osobine i oblast njihove primene se širi (katalizatori, membrane, zaštita od korozije, senzori i dr.) [7]. Mogu se lako sintetisati, hemijskim ili elektrohemijskim putem [8] i imaju dobre mehaničke osobine, pa je njihova proizvodnja jeftina. Provodni polimeri su zbog svojih osobina posebno značajni na polju senzora.

Princip rada ovih senzora zasniva se na reakciji osetljivog sloja sa gasom kome je izložen. Te reakcije su različite i zavise od vrste materijala osetljivog sloja i vrste gasa. Promena fizičkih osobina materijala sa koncentracijom apsorbovanog gasa je iskorišćena za tehničku detekciju. PAT senzori pretvaraju promene usled

\*Rad saopšten na skupu „Osma konferencija mladih istraživača“, Beograd, 21–23. decembar 2009.

Autor za prepisku: B. Radojković, Institut Goša, Milana Rakića 35, 11000 Beograd Srbija.

E-pošta: bojana.radojkovic@institutgosa.rs

Rad primljen: 21. decembar 2009.

Rad prihvaćen: 29. januar 2010.

apsorbovanja gasa u promene karakteristika akustičkog talasa koji dalje uslovljava promene signala kao što je izlazni napon ili struja. [8].

Provodne polimere karakteriše konjugovani sistem dvostrukih veza, i prisustvo dopanta što im omogućava povećanje provodljivosti u odnosu na druge polimere. Proces dopiranja se postiže redoks reakcijama ili reakcijom protonacije. Kao dopanti se koriste jedinjenja klasifikovana u 4 grupe [12]:

– prirodni dopanti:  $I_2$ ,  $Br_2$ ,  $AsF_5$ ,  $Na$ ,  $K$ ,  $H_2SO_4$ ,  $FeCl_3$ ;

– jonski dopanti:  $LiClO_4$ ,  $FeClO_4$ ,  $CF_3SO_3Na$ ,  $BuNClO_4$ ;

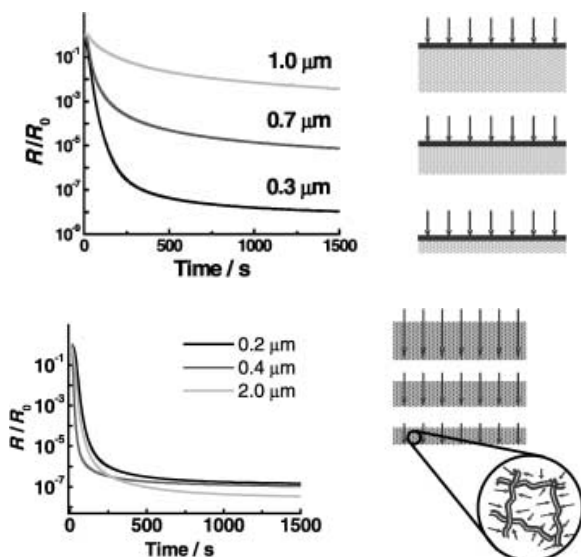
– organski dopanti:  $CF_3COOH$ ,  $CF_3SO_3Na$ ,  $p-CH_3C_6H_4SO_3H$ ;

– polimerni dopanti: PVS, PPS, PS-co-MA.

Od stepena dopiranja i vrste dopanta zavise fizičke osobine ovih materijala. Senzori na bazi ovih polimera pokazuju visoku osetljivost, brzo reaguju i rade na sobnoj temperaturi [8,9].

### Provodni polianilin

Nanostrukturirani polianilin ima sva korisna svojstva koja ima i konvencionalni polianilin, a ima i dodatne prednosti. Usled malih prečnika vlakana (~50 nm) omogućena je bolja difuzija gasa što dovodi do bržeg odgovora senzora i njegove bolje osetljivosti [9,10]. Takođe, dok odgovor (promena otpornosti  $R$  u odnosu na početnu otpornost  $R_0$ ) kod drugih senzora zavisi od debljine filma, odgovor kod ovakvih senzora gotovo da je nezavisan od njegove debljine (slika 1).



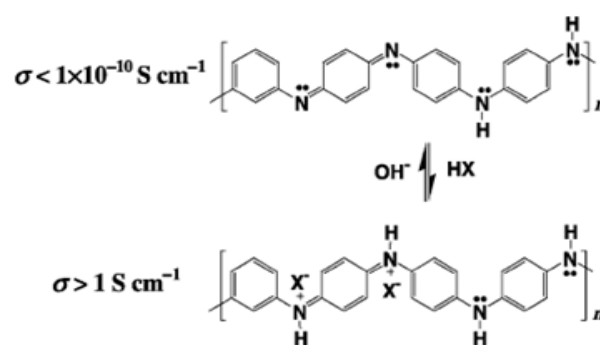
Slika 1. Promena otpornosti u funkciji debljine osetljivog sloja kod standardnog i provodnog polianilina.

Figure 1. Response of conventional polyaniline and polyaniline nanofiber sensors of different thicknesses.

Osetljivost senzora zavisi i od kvaliteta nanosenog polimernog sloja na podlogu senzora. Veća disperzija

sloja čestica polianilina dovodi do bolje difuzivnosti čestica gasa u film polimera usled čega se povećava osetljivost. Postoji više tehnika nanošenja aktivnog sloja, od čijeg izbora zavisi kvalitet senzora [11,12].

Polianilin se izdvaja među provodnim polimerima zbog jednostavnog mehanizma kiselo-baznog dopiranja i dedopiranja, tj. prevođenja iz neprovodljive forme emeraldin baza u provodljivu formu emeraldin so (slika 2). Kada je prisutan gas koji je po prirodi elektron akceptor, kao što je  $NO_2$ , on pomera elektron iz aromatičnog prstena polimera i ukoliko polimer pripada p-tipu provodnika dolazi do povećanja njegove provodljivosti [8]. Ukoliko je gas po prirodi elektron donor dešava se suprotan proces.



Slika 2. Redoks ravnoteža polianilinskih formi emeraldin baza (gore) i emeraldin so (dole).

Figure 2: Emeraldine oxidation state in the undoped, base form (top) and the fully doped, acid form (bottom). Doping can be carried out with any strong acid,  $HX$ , where  $X$  serves as the counter ion to maintain charge balance. Dedoping can be accomplished with any strong base,  $OH^-$ .

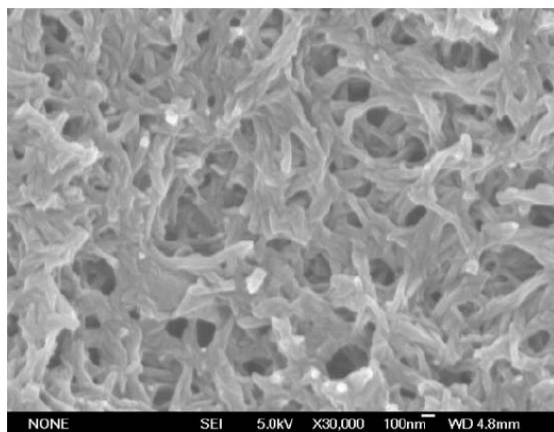
Postoji više pristupa sintezi polianilinskih nanovlakana od kojih su se kao veoma dobre pokazale polimerizacija na granici faza i polimerizacija metodom brzog mešanja [9].

Za piezoelektrične podloge kod PAT senzora, najčešće se koristi kvarc ( $SiO_2$ ). Temperaturski koeficijent kvarcne podloge ima široki minimum na sobnoj temperaturi pa se zato kod nje uticaj temperature često zanemaruje. Zatim se koriste: litijum-niobat ( $LiNbO_3$ ) i litijum-tantalat ( $LiTaO_3$ ), galijum-arsenid ( $GaAs$ ) i galijum-fosfat ( $GaPO_4$  – primenljiv čak do  $1000\text{ }^\circ C$ ), silicijum-karbid ( $SiC$ ), langasit ( $LGS - La_3Ga_5SiO_{14}$ , takođe pogodan za visoke temperature), cink-oksidi ( $ZnO$ ), aluminijum-nitrid ( $AlN$ ) i aluminijum-fosfat ( $AlPO_4$ ), litijum-tetraborat ( $Li_2B_4O_7$ ), olovo cirkonijum-titanat ( $PZT$ ) i poliviniliden-fluorid ( $PVDF$ ) [13].

Veliki broj autora je istraživao senzore na bazi kompozitnih polianilina [8]. Sadek i koautori su prvi ispitivali kombinovanje oksida indijuma sa polianilinskim nanovlaknima za detekciju  $CO$  i  $NO_2$  i ovde će biti korišćeni rezultati njihovog rada [4] kao osnova za upoređenje sa rezultatima našeg modelovanja.

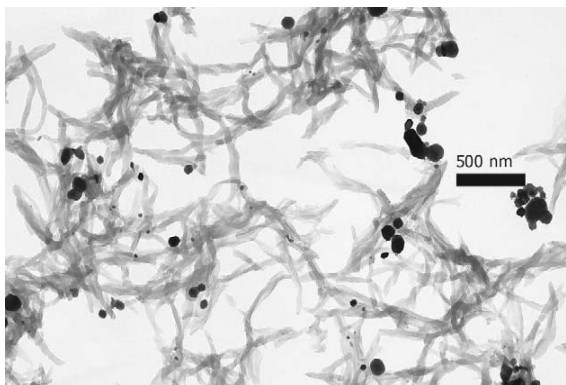
Kod PAT senzora, promena u elektroprovodljivosti osetljivog sloja menja brzinu širenja akustičkog talasa. Promene u brzini dovode do promene radne frekvencije PAT senzora što je u indirektnoj vezi sa promenom koncentracije analiziranog gasa.

Kod citiranih autora [4] osetljivi nanokompozitni polianilinski sloj je nanosen na podlogu od  $\text{LiNbO}_3$  prevučenu slojem  $\text{ZnO}$ . Kompozitni polimer je dobijen hemijskom polimerizacijom monomera anilina u rastvoru  $\text{In}_2\text{O}_3$  i uz prisustvo amonijumpersulfata (slike 3 i 4).



Slika 3. SEM prikaz nanovlakana filma polianilin/ $\text{In}_2\text{O}_3$  (iz literature [4], sa dozvolom IOP Publishing, Ltd.).

Figure 3. SEM image of a polyaniline/ $\text{In}_2\text{O}_3$  nanofiber mat (from [4], with permission from IOP Publishing, Ltd.).



Slika 4. TEM prikaz nanovlakana filma polianilin/ $\text{In}_2\text{O}_3$  (iz literature [4], sa dozvolom IOP Publishing, Ltd.).

Figure 4. TEM image of a polyaniline/ $\text{In}_2\text{O}_3$  nanofiber mat (from [4], with permission from IOP Publishing, Ltd.).

Odgovor senzora je dat u promenama radne frekvencije usled reakcije sa analiziranim gasom. Za oba gasa odgovor je bio sporiji pri nižim koncentracijama gasa u odnosu na odgovor pri većim koncentracijama.

Primećeno je da velike koncentracije  $\text{NO}_2$  gasa blokiraju nanokompozitni film te da je senzor upotrebljiv za detekciju nižih koncentracija  $\text{NO}_2$ .

U reakciji sa CO raste provodljivost sa porastom koncentracije gasa i pretpostavlja se da je to zbog interakcije polianilina sa CO. CO pomoću  $\text{In}_2\text{O}_3$  formira

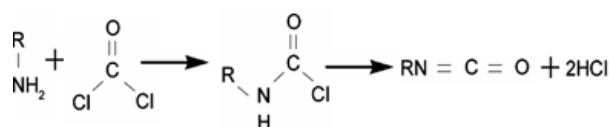
$\text{C}^+\equiv\text{O}^-$  čime je olakšana razmena elektrona sa azotom na polianilinu.

Pokazano je takođe da vlažnost ima veliki uticaj na rad ovih senzora [4], verovatno zbog apsorbovane vode na površini vlakana. Primećena je mala selektivnost.

Grupa autora sa kalifornijskog univerziteta ispitala je nanokompozitne materijale na bazi polianilina za detekciju fozgena [5]. U ovom slučaju polianilinska vlakna su dopirana određenim aminima. Amini koji su korišćeni su etilendiamin, fenilendiamin i njihove soli.

Bezbedna, dozvoljena koncentracija fozgena za žive organizme je 0,1 ppm. Nemodifikovan polianilin ne može da ga detektuje na toj koncentraciji. Ovi autori su pokazali da kompozitni materijali polianilinskih nanovlakana sa aminima daju dobar odgovor za detekciju fozgena pri koncentraciji manjoj od 0,01 ppm. Odgovor ka fozgenu se puno razlikuje između korišćenih amina i njihovih soli.

U reakciji fozgena sa aminom dobija se karbamoil-hlorid koji dehidrogenuje u izocijanit. Ovde nastaje hlorovodonična kiselina usled čijeg prisustva polianilin prelazi iz emeraldin baza u emeraldin so oksidaciono stanje što rezultira u povećanju provodljivosti (slika 5).



Slika 5. Reakcija fozgena sa aminom [5].

Figure 5. Reaction of phosgene with amines.

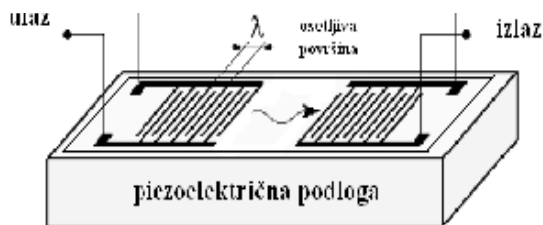
Rezultati pokazuju da fenilendiamin polianilinski nanokompoziti daju bolji odgovor nego etilendiamin polianilinski nanokompoziti što je posledica različite nukleofilnosti koja utiče na porast interakcije sa fozgenom. Vlažnost takođe utiče na rad i ovih senzora tako što se provodljivost povećava zbog povećanja razmene naelektrisanja između polianilinskih lanaca.

## MODELIRANJE PAT SENZORA ZA DETEKCIJU $\text{NO}_2$ , CO I $\text{COCl}_2$

Izvršena istraživanja u oblasti PAT senzora za hemijske gasove pokazala su da postoje različiti tipovi senzora, na različiti način projektovani i izrađeni. Prikazan je metod za jednostavno i brzo modelovanje PAT hemijskih senzora koji se koriste i kod detekcije gasnih produkata tokom zavarivanja.

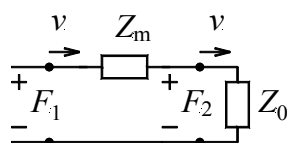
Tipična struktura transverznog PAT senzora za gasove prikazana je na slika 6. Apsorpcijom gasova iz okruženja dolazi do promena mase ili provodnosti osetljivog sloja. Usled toga dolazi do promene brzine kretanja akustičkog talasa u podlozi, odnosno do promene njegove učestanosti.

Deo senzora na kome je osetljivi sloj može se predstaviti akustomehaničkom ekvivalentnom šemom sa slike 7, gde su  $F_1$  i  $F_2$  sile na odgovarajućim krajevima osetljivog dela,  $v$  brzina kretanja PAT talasa,  $Z_0$  karakteristična impedansa neopterećene gornje površine podloge i  $Z_m$  impedansa opterećenja osetljivog dela [14].



Slika 6. Skica transversalnog PAT senzora tipa linije za kašnjenje [13].

Figure 6. Basic structure of a transversal SAW sensor.



Slika 7. Ekvivalentna šema osetljivog dela.

Figure 7. The equivalent circuit of the sensing part.

$$Z_0 = A\rho_s v \quad (1)$$

$$Z_m = A_m \rho_m v \quad (2)$$

gde je  $A$  površina poprečnog preseka podloge,  $\rho_s$  gustina podloge,  $\rho_m$  gustina osetljivog sloja i  $A_m$  poprečni presek osetljivog sloja. Koristeći analogiju između mehaničkih i električnih veličina i teorema iz osnova elektrotehnike, prema slici 7 može se izračunati:

$$\frac{\Delta F_2}{F_{20}} = \frac{\Delta v}{v} = \frac{F_2 - F_{20}}{F_{20}} = \frac{-Z_m}{Z_0 + Z_m} \approx \frac{-Z_m}{Z_0} \Big|_{Z_m \ll Z_0} \quad (3)$$

Iz jednačina (1)–(3) i korišćenjem poznate relacije između brzine,  $v$ , talasne dužine,  $\lambda$ , i učestanosti,  $f$ , dobija se relativna promena učestanosti  $f$  usled prisustva osetljivog sloja:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta v}{v} = \frac{-Z_m}{Z_0} = -\frac{\rho_m h_m}{\rho_s \lambda_0} \quad (4)$$

gde je  $h_m$  debljina osetljivog sloja. Kada je senzor podvrgnut dejstvu gasa koncentracije  $C_v$  dolazi do dodatne promene učestanosti,  $\Delta f_v$ , koja se može izračunati kao [14]:

$$\Delta f_v = K C_v \Delta f / \rho_m \quad (5)$$

gde je  $K$  koeficijent raspodele gasa u osetljivom sloju i gasa u okruženju. Koeficijent  $K$  zavisi od izbora para osetljivi sloj–gas. Promena učestanosti  $\Delta f$  zavisi od tipa

piezoelektrične podloge, centralne učestanosti i vrste osetljivog sloja.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Na bazi razvijene metode modeliranja napravljeni su i konkretni proračuni za gasove za koje postoje eksperimentalni podaci u literaturi [4,10]. Za sloj polianilin/ $\text{In}_2\text{O}_3$  debljine  $0,4 \mu\text{m}$  na  $\text{LiNbO}_3$  kod PAT senzora učestanosti  $107,2 \text{ MHz}$ , promena učestanosti izazvana koncentracijom  $\text{CO}$  od  $500 \text{ ppm}$ , izračunata korišćenjem jednačine (1), iznosi  $2,016 \text{ kHz}$ . Za isti senzor za koncentraciju  $\text{NO}_2$  od  $2,12 \text{ ppm}$  promena učestanosti iznosi  $2,28 \text{ kHz}$ .

Za sloj polianilin/ $\text{In}_2\text{O}_3$  debljine  $0,4 \mu\text{m}$  na kvarcu PAT senzora učestanosti  $107,2 \text{ MHz}$  promena učestanosti izazvana koncentracijom  $\text{CO}$  od  $500 \text{ ppm}$ , izračunata korišćenjem jednačine (1), iznosi  $3,58 \text{ kHz}$ . Za isti senzor za koncentraciju  $\text{NO}_2$  od  $2,12 \text{ ppm}$  promena učestanosti iznosi  $4,05 \text{ kHz}$ .

U literaturi [4] prikazani su eksperimentalni rezultati za  $\text{CO}$  i  $\text{NO}_2$  PAT senzore SH tipa učestanosti  $107,2 \text{ MHz}$ , sa slojem polianilin/ $\text{In}_2\text{O}_3$  na  $\text{LiNbO}_3$ . Autori navode da:

- promena učestanosti izazvana koncentracijom  $\text{CO}$  od  $500 \text{ ppm}$  iznosi  $2 \text{ kHz}$  i
- promena učestanosti izazvana koncentracijom  $\text{NO}_2$  od  $2,12 \text{ ppm}$ , iznosi  $2,5 \text{ kHz}$ .

Numeričke vrednosti dobijene na osnovu prikazanog modela PAT senzora veoma se malo razlikuju od eksperimentalnih rezultata, što je i za očekivati, jer model daje relativno uprošćenu sliku PAT senzora i ne uzima u obzir slučajne uticaje i greške tokom izrade senzora i tokom merenja. Mnogo je jeftinije i brže izvršiti modelovanje prema željenim karakteristikama senzora, a onda ga napraviti i eksperimentalno testirati, nego praviti razne kombinacije i sve ih ispitivati. Imajući ovo u vidu sve više se vrši prvo modeliranje, pa se onda projektuju, proizvode i testiraju senzori.

## ZAKLJUČAK

Poređenjem dobijenih rezultata na bazi sopstvenog modela sa rezultatima iz literature [4] vidi se odlično slaganje, što pokazuje validnost modelovanja.

Može se zaključiti da korišćenje podloge od kvarca daje bolju osetljivost. Pored toga senzori na kvarcu su i temperaturno stabilniji.

Kako bi se racionalizovao postupak projektovanja novih senzora, njegov obavezni deo treba da bude modelovanje. Prikazani metod modelovanja je dao odlične rezultate i može biti primenjen prema specifičnim zahtevima.

Računski model prikazan u radu može se sa uspehom primenjivati kod PAT gasnih senzora.

## Zahvalnica

Ovaj rad je finansijski podržan od Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru projekta TR 11026.

## LITERATURA

- [1] M. Filipović, P. Šaponjić, Zdravlje i sigurnost pri zavarivanju, Zavarivanje i zavarene konstrukcije **2** (2003) 77–80.
- [2] C. K. Ho, E.R. Lindgren, K.S. Rawlinson, L.K. McGrath, J.L. Wright, Development of a surface acoustic wave sensor for *in-situ* monitoring of volatile organic compounds, Sensors **3** (2003) 236–247.
- [3] D.S. Ballantine, R.M. White, S.J. Martin, A.J. Ricco, E.T. Zellers, G.C. Frye, H. Wohltjen, Acoustic Wave Sensors: Theory, Design, and Physico-chemical Applications, Academic Press, San Diego, CA, 1997.
- [4] A.Z. Sadek, W. Wlodarski, K. Shin, R. Kaner, B. Richard, and K. Kalantar-Zadeh, A layered surface acoustic wave gas sensor based on a polyaniline/In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofibre composite, Nanotechnology **17** (2006) 4488–4492.
- [5] S. Virji, R. Kojima, J. Fowler, J. Villanueva, R. Kaner, B. Weiller, Polyaniline nanofiber composites with amines: novel materials for phosgene detection, Nano. Res. **2** (2009) 135–142.
- [6] J. Huang, S. Virji, B. Weiller, R. Kaner, Nanostructured polyaniline sensors, Chem. Eur. J. **10** (2004) 1314–1319.
- [7] R. Stejskal, R. Gilbert, Polyaniline: preparation of a conducting polymer, Pure Appl. Chem. **74** (2002) 857–867.
- [8] H. Bai, G. Shi, Gas sensors based on conducting polymers, Sensors **7** (2007) 267–307.
- [9] J. Huang, Syntheses and applications of conducting polymer polyaniline nanofibers, Pure Appl. Chem. **78** (2006) 15–27.
- [10] J. Huang, S. Virji, B.H. Weiller, R.B. Kaner, Polyaniline nanofibers: facile synthesis and chemical sensors J. Am. Chem. Soc. **125** (2003) 314–315.
- [11] A. Haynes, I. Gouma, Sensors for Environment, Health and Security, Springer, Berlin, 2009, pp. 451–459.
- [12] A. Adhikari, Conducting polyaniline and polypyrrole: studies of their catalytic properties, Ph.D. Thesis, University of Pune, India, 2004.
- [13] M. Hribšek, S. Ristić, B. Radojković, Senzori za bojne otrove sa površinskim akustičkim talasom, Zbornik radova OTEH 2009, Beograd, 2009.
- [14] Z. Živković, M. Hribšek, D. Tošić, Modeling of surface acoustic wave chemical vapor sensors, Informacije MIDEM **39** (2009) 111–117.

## SUMMARY

### POLYANILINE THIN FILMS IN SENSORS FOR DETECTION OF TOXIC WELDING VAPORS

Bojana M. Radojković, Marija F. Hribšek, Slavica S. Ristić

Goša Institute, Belgrade, Serbia

(Professional paper)

In this paper the possibilities of applying sensors based on filters with surface acoustic waves (SAW) for the detection of harmful products in welding processes are analyzed. This review discusses the sensing mechanism and configurations of the sensors. The principles of SAW sensors are considered with special emphasis on the application of conducting polyaniline nanocomposites as sensitive thin layers in sensors for the detection of CO, NO<sub>2</sub>, and COCl<sub>2</sub>. The literature suggests the use of In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a dopant for CO and NO<sub>2</sub> detection sensors, and ethylenediamine and phenylenediamine in COCl<sub>2</sub> sensors. The paper presents original results of modeling of sensors that are designed for detection of CO and NO<sub>2</sub> for which there are experimental data in the literature. The results obtained based on this model are in excellent agreement with results from the literature, which shows the validity of modeling. Based on the developed modeling methods, calculations were done for sensors for the detection of these gases in which the structure was the surface of quartz. From these modeling results it can be concluded that the use of the quartz substrate provides better sensitivity. In addition, the quartz sensors are thermally stable.

**Ključne reči:** Hemijski senzori • Provodni polimeri • Polianilin • Površinski akustički talasi

**Key words:** Chemical SAW sensor • Surface acoustic wave • Conducting polymer • Polyaniline