

ODREĐIVANJE PARAMETARA ADSORPCIONIH PROCESA POMOĆU VREMENSKOG ODZIVA OSCILATORA SA MIKROGREDICOM

Zoran Đurić, Ivana Jokić, Olga Jakšić

IHTM – Centar za mikroelektronske tehnologije i monokristale, Beograd

Sadržaj – U radu je predložen nov metod za određivanje parametara adsorpciono-desorpcionog procesa pomoću vremenskog odziva oscilatora sa mikro/nanogredicom. Metod je naročito pogodan kada je adsorbovana masa mala, što je karakteristično za MEMS/NEMS strukture. Određuju se svi parametri neophodni za izučavanje fenomena jednoslojne adsorpcije i desorpcije, koji se može opisati Langmuir-ovom izotermom. Poznavanje tih parametara omogućuje i procenu adsorpciono-desorpcionog i ukupnog šuma MEMS/NEMS oscilatora i senzora, kao i minimalne detektabilne veličine koja se MEMS/NEMS sensorima može izmeriti.

1. UVOD

Mikro- i nanoelektromehanički uređaji predstavljaju integraciju mehaničkih struktura i elektronskih kola. Njihova podgrupa, MEMS i NEMS senzori, koriste se za merenje brojnih hemijskih, fizičkih i bioloških parametara. Odlikuje ih niz povoljnih osobina: visoka osetljivost i selektivnost, brz odziv, male dimenzije, niska cena izrade, mogućnost masovne proizvodnje. Zato je razumljivo da oni pobuđuju interesovanje istraživača u celom svetu, a kao rezultat toga, primene MEMS i NEMS senzora su sve brojnije i raznovrsnije [1, 2].

Jedna od najjednostavnijih mehaničkih struktura, koja je i osnovna komponenta AFM-a i MEMS i NEMS senzora, jeste mikro- ili nanogredica, izrađena od silicijuma ili drugih materijala visoke čistoće (silicijum-karbida ili galijum-arsenida), postupcima površinskog ili zapreminskog mikromašinstva [3]. U IHTM-CMTM u toku je razvoj i usavršavanje procesa izrade silicijumskih mikrogredica, koje su namenjene za realizaciju senzora i eksperimentalnu proveru teorijskih rezultata [4].

Princip rada senzora sa mikro- ili nanogredicom je sledeći: fizički, hemijski i biološki procesi ili pojave, posredstvom određene fizičke veličine (međumolekulske ili međuatomske sile, adsorbovane mase, promene temperature ili količine toplote) dovode do savijanja gređice ili promene parametara oscilovanja gređice koja je pobuđena da osciluje. Iz toga su proistekla dva osnovna režima rada AFM-a i senzora sa gređicom: statički, u kojem se detektuje pomeraj, tj. savijanje gređice, i dinamički, u kojem se detektuje promena amplitude, faze ili učestanosti oscilacija gređice. Detektovanjem promene savijanja gređice, amplitude, frekvencije ili faze oscilovanja gređice, posredno se meri željena fizička veličina (masa adsorbovana na gređici, temperatura, sile između atoma površine uzorka i iglice na gređici, na osnovu kojih se formira AFM-slika te površine), i onda, na osnovu nje, određuju željeni parametri datog fizičkog, hemijskog ili biološkog procesa.

U ovom radu analiziramo adsorpciono-desorpcioni (AD) proces koji se dešava na površini gređice u dinamičkom režimu.

U našim dosadašnjim radovima, uticaj AD procesa na promenu rezonantne učestanosti gređice analizirali smo u frekvencijskom domenu [5, 6]. U ovom radu, vremensku konstantu AD procesa τ određujemo na nov način: snimanjem vremenskog odziva gređice koja se pobuđuje da prinudno osciluje. Vremenska konstanta je jedan od parametara koji karakterišu proces adsorpcije i desorpcije čestica gasa na površini gređice. U literaturi je prisutno malo podataka o vrednostima ove konstante.

Masu adsorbovanih čestica u stacionarnom stanju Δm_0 određujemo na osnovu snimljene amplitudske frekvencijske karakteristike gređice.

Ostali parametri AD procesa i gasa-adsorbata: srednje vreme koje čestice gasa provedu na površini gređice (srednje vreme života adsorbovanih čestica), molska masa gasa, maksimalan broj čestica koje mogu da budu adsorbovane po jedinici površine i parametar b , koji će biti definisan u Odeljku 2, određuju se na osnovu eksperimentalno određenih vrednosti za τ i Δm_0 i izvedenih relacija. Ovi podaci su neophodni za izučavanje AD procesa, koji se može opisati Langmuir-ovom izotermom [7]. Takođe, neophodni su za određivanje adsorpciono-desorpcionog i ukupnog šuma MEMS/NEMS oscilatora i senzora, a time i minimalnog signala koji se može izmeriti pomoću MEMS/NEMS senzora [5]. To se odnosi na senzore čiji se princip rada zasniva na merenju promene rezonantne učestanosti gređice, jer se adsorbovana masa i njena fluktuacija odražavaju na rezonantnu učestanost gređice [5, 8, 9].

2. TEORIJSKA RAZMATRANJA

Kada su u prostoru oko gređice prisutne čestice neke supstance, dolazi do fizičke adsorpcije tih čestica na površini gređice. To je poznati adsorpciono-desorpcioni proces, koji se dešava na svim razdvojnim površinama između čvrstog tela i gasa [9].

Posmatramo gređicu mase m_0 , pričvršćenu na jednom kraju za podlogu (supstrat), koja se nalazi u vakuumskoj komori. U trenutku $t=0$, na gređicu počinje da deluje prostoperiodična pobuda. U istom trenutku u komoru se ubaci gas. Tokom uspostavljanja oscilacija gređice, na njenoj površini se odvija proces adsorpcije čestica gasa. Usled toga, ukupna masa sistema koji osciluje (gređica + čestice na njoj), tokom vremena se povećava. Oscilovanje sistema koji čine gređica i čestice adsorbovane na njoj, može da se opiše diferencijalnom jednačinom koja se odnosi na mehanički oscilator čija je masa promenljiva u vremenu:

$$d(m\dot{x})/dt + R_m \dot{x} + kx = F \cos(\omega_d t). \quad (1)$$

U ovom izrazu, masa sistema je: $m = m_0 + \Delta m$, gde je Δm masa adsorbovana na gredici, koja se u vremenu menja po zakonu:

$$\Delta m = \Delta m_0 (1 - e^{-t/\tau}). \quad (2)$$

Vremenska konstanta τ je vremenska konstanta adsorpciono-desorpcionog procesa, a Δm_0 masa adsorbovanih čestica na gredici u stacionarnom stanju.

U izrazu (1) R_m predstavlja mehaničku otpornost ili faktor prigušenja, koji modeluje ukupne gubitke u sistemu, k je konstanta krutosti gredice, F amplituda pobude, a $f_d = \omega_d / (2\pi)$ učestanost pobude.

Promena adsorbovane mase, data izrazom (2), odgovara slučaju jednoslojne adsorpcije, koja u termodinamičkoj ravnoteži može da se opiše *Langmuir*-ovom izotermom [7]. U tom slučaju je masa adsorbovanih čestica u stacionarnom stanju određena izrazom [8]:

$$\Delta m_0 = M_a N_a A_{eff} = M_a N_m A_{eff} b p / (1 + b p), \quad (3)$$

u kojem je M_a masa jedne čestice gasa, N_a broj adsorbovanih čestica po jedinici površine, N_m maksimalan broj čestica koje mogu da budu adsorbovane po jedinici površine, $A_{eff} = 2L(w+h)$ površina gredice izložena adsorpciji (L , w , h su dužina, širina i debljina gredice, respektivno), a p pritisak gasa. Parametar b zavisi od temperature T , srednjeg vremena koje čestice provedu u adsorbovanom stanju (od trenutka adsorpcije do trenutka spontane desorpcije) $\bar{\tau}$, molske mase gasa M [g] (M_a [kg] = M [g] · $1.66 \cdot 10^{-27}$) i N_m :

$$b = 2.635 \cdot 10^{24} \cdot \bar{\tau} / (N_m \sqrt{MT}). \quad (4)$$

Vremenska konstanta AD procesa data je izrazom:

$$\tau = \bar{\tau} / (1 + b p), \quad (5)$$

a $\bar{\tau}$ je određeno desorpcionom energijom E_d , periodom termičkih vibracija adsorbovanih čestica τ_0 i temperaturom, prema formuli:

$$\bar{\tau} = \tau_0 e^{E_d / (RT)}. \quad (6)$$

Na osnovu (1) i (2), diferencijalna jednačina koja opisuje oscilovanje sistema je:

$$\left[1 + \frac{\Delta m_0}{m_0} (1 - e^{-t/\tau}) \right] \cdot \ddot{x} + \left[\frac{\omega_0}{Q} + \frac{\Delta m_0}{m_0 \tau} e^{-t/\tau} \right] \cdot \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = (F / m_{0eff}) \cos(\omega_d t). \quad (7)$$

Pri izvođenju jednačine (7), korišćene su poznate veze: $R_m / m_{0eff} = \omega_0 / Q$ i $k / m_{0eff} = \omega_0^2$, u kojima je ω_0 rezonantna učestanost gredice, Q faktor dobrote (Q-faktor), a m_{0eff} efektivna masa gredice ($m_{0eff} = 0.24 \cdot m_0$ [10]).

Vremenski odziv gredice je rešenje jednačine (7). Ovu jednačinu smo rešili metodom perturbacije, pri čemu je $\varepsilon = \Delta m_0 / m_0$ "mala veličina" prvog reda. Tada ukupno rešenje $x(t)$ može da se predstavi u vidu zbira dve komponente, $x_0(t)$ i $x_1(t)$:

$$x(t) = x_0(t) + x_1(t). \quad (8)$$

Neka je $x_0(t)$ rešenje diferencijalne jednačine sa konstantnim koeficijentima, koja se dobija iz diferencijalne jednačine (7), kada se u njoj zanemare vremenski promenljive komponente koeficijenata:

$$\left[1 + \frac{\Delta m_0}{m_0} \right] \cdot \ddot{x}_0 + \frac{\omega_0}{Q} \cdot \dot{x}_0 + \omega_0^2 \cdot x_0 = \frac{F}{m_{0eff}} \cos(\omega_d t), \quad (9)$$

a $x_1(t)$ razlika rešenja jednačine (7) i jednačine (9). Na osnovu (7), (8) i (9), dobija se da $x_1(t)$ predstavlja rešenje jednačine:

$$\left[1 + \frac{\Delta m_0}{m_0} \right] \cdot \ddot{x}_1 + \frac{\omega_0}{Q} \cdot \dot{x}_1 + \omega_0^2 \cdot x_1 = \frac{d}{dt} \left[\frac{\Delta m_0}{m_0} e^{-t/\tau} \cdot \dot{x}_0 \right], \quad (10)$$

u kojoj su zanemarene komponente drugog reda po parametru ε .

Rešenja $x_0(t)$ i $x_1(t)$ su oblika:

$$x_0(t) = A_0 \cos(\omega_d t + \phi_0) + A_I e^{-\omega_m t} \cos(\omega_I t + \phi_I), \quad (11)$$

$$x_1(t) = A_I e^{-t/\tau} \cos(\omega_d t + \phi_I) + A_{II} e^{-\omega_m t} \cos(\omega_{II} t + \phi_{II}) + A_{III} e^{-(\omega_m + \frac{1}{\tau})t} \cos(\omega_{III} t + \phi_{III}) \quad (12)$$

Ugaone učestanosti su:

$$\omega_m = \frac{\omega_0}{2Q} \cdot (1 + \frac{\Delta m_0}{m_0})^{-1}, \quad (13)$$

$$\omega_I = \omega_0 (1 + \Delta m_0 / m_0)^{-1} \sqrt{1 + \Delta m_0 / m_0 - 1 / (4Q^2)}, \quad (14)$$

a amplitude i faze su određene na osnovu početnih uslova.

Ukupno rešenje se određuje prema (8), sabiranjem rešenja $x_0(t)$ i $x_1(t)$.

Za naša razmatranja značajne komponente rešenja su:

1. komponenta koja jedina postoji u stacionarnom stanju:

$$x_{0p}(t) = A_0 \cos(\omega_d t + \phi_0), \quad (15)$$

2. komponenta čija obvojnica opada po zakonu $e^{-t/\tau}$:

$$x_{1I}(t) = A_I e^{-t/\tau} \cos(\omega_d t + \phi_I). \quad (16)$$

Obvojnice ostalih komponenata, za pogodno izabrane vrednosti parametara za koje važi $\omega_m \gg 1/\tau$, opadaju sa vremenom mnogo brže od obvojnice komponente $x_{1I}(t)$, i nakon vrlo kratkog vremena postanu približno jednake nuli. Zato vremenska konstanta τ koju želimo da odredimo, određuje oblik obvojnice ne samo komponente $x_{1I}(t)$, nego i $x_1(t)$. Takođe, τ određuje i dužinu trajanja prelaznog režima za odziv (ukupno rešenje) $x(t)$, odnosno određuje brzinu uspostavljanja stabilnih oscilacija gredice. U Odeljku 3. ovog rada će biti opisan način određivanja vremenske konstante τ iz obvojnice komponente $x_{1I}(t)$.

Amplitude i faze signala $x_{0p}(t)$ i $x_{1I}(t)$ date su izrazima:

$$A_0 = \frac{F / m_{0eff}}{\sqrt{[\omega_0^2 - (1 + \Delta m_0 / m_0) \omega_d^2]^2 + (\omega_0 \omega_d / Q)^2}}, \quad (17)$$

$$\phi_0 = -\arctg\left(\frac{\omega_0 \omega_d / Q}{\omega_0^2 - (1 + \Delta m_0 / m_0) \omega_d^2}\right), \quad (18)$$

$$A_I = A_0 \Delta m_0 / m_0 (\omega_d / \tau) \sqrt{1 + \omega_d^2 \tau^2} / \sqrt{C^2 + D^2}, \quad (19)$$

$$\phi_I = \phi_0 - \arctg(\omega_d \tau) - \arctg(C / D), \quad (20)$$

$$C = \omega_0^2 - (1 + \Delta m_0 / m_0) (\omega_d^2 - 1 / \tau^2) - \omega_0 / (Q \tau), \quad (21)$$

$$D = \omega_0 \omega_d / Q - 2(1 + \Delta m_0 / m_0) \omega_d / \tau. \quad (22)$$

Po uspostavljanju stacionarnog stanja, masa sistema koji osciluje je jednaka:

$$m_s = m_0 + \Delta m_0. \quad (23)$$

Pošto smo pretpostavili da je adsorpcija jednoslojna, može da se smatra da je uticaj adsorbovanih čestica na konstantu krutosti zanemarljiv. Tada, sistem koji čine gredica i adsorbovane čestice u stacionarnom stanju ima novu sopstvenu rezonantnu učestanost [9]:

$$f_{0N} = f_0 - \Delta f_0 = f_0 (1 - \Delta m_0 / m_0). \quad (24)$$

3. OPIS POSTUPKA I REZULTATI

Parametre AD procesa određujemo iz odziva gredice, pobuđene da osciluje na učestanosti bliskoj njenoj sopstvenoj rezonantnoj učestanosti ω_0 (tj. $\omega_d \approx \omega_0$). Za određivanje vremenske konstante τ , potrebno je iz snimljenog vremenskog odziva gredice $x(t)$, izdvojiti komponentu $x_{1I}(t)$, čija obvojnica opada po zakonu $e^{-t/\tau}$. Na osnovu izraza (11) i (12), i uslova $\omega_m \gg 1/\tau$, očigledno je da su u snimljenom odzivu $x(t)$ prisutne samo komponente date izrazima (15) i (16), jer ostale komponente, čije obvojnice opadaju po zakonu $e^{-\omega_m t}$ ili $e^{-(\omega_m + 1/\tau)t}$, skoro trenutno dostignu vrednost blisku nuli (njihov prelazni režim traje izuzetno kratko). Znači, snimljeni vremenski odziv je zbir dve komponente:

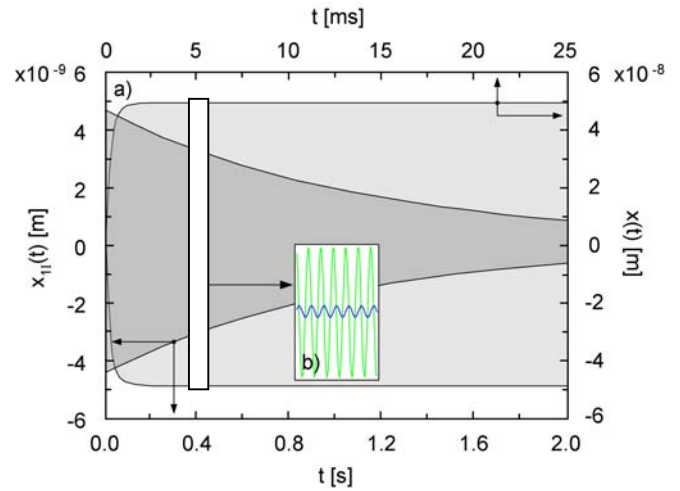
$$x(t) = x_{0p}(t) + x_{1I}(t), \quad (25)$$

od kojih želimo da izdvojimo komponentu $x_{1I}(t)$, tačnije njenu anvelopu $A_I e^{-t/\tau}$. Na Slici 1 je prikazan odziv gredice $x(t)$ i komponenta $x_{1I}(t)$. Pošto je vremenska konstanta $\tau = 1.08$ s mnogo veća od perioda oscilacija $T_p = 1/f_d = 1.6 \cdot 10^{-6}$ s, nije moguće na jednom grafiku prikazati vremenski oblik ovih funkcija i opadanje obvojnice $x_{1I}(t)$ tokom vremena. Zato je na Slici 1.a) prikazana obvojnica signala $x(t)$ i $x_{1I}(t)$, a na Slici 1.b) vremenski oblik oscilacija (oscilacije manje amplitude odgovaraju komponenti $x_{1I}(t)$).

Izdvajanje komponente na određenoj učestanosti iz složenog signala vrši se pomoću *lock-in* pojačavača. Pošto su učestanosti stacionarne prostoperiodične komponente $x_{0p}(t)$ i komponente koja određuje trajanje prelaznog režima $x_{1I}(t)$ jednake, njihovo razdvajanje je moguće postići korišćenjem činjenice da su im početne faze ϕ_0 i ϕ_I različite. Podešavanjem učestanosti ω_r i faze ϕ_r referentnog signala *lock-in* pojačavača na $\omega_d \approx \omega_0$ i ϕ_0 , respektivno, na izlazu jednog od dva korelatora *lock-in* pojačavača, nakon filtriranja niskopropusnim filtrom, dobija se signal:

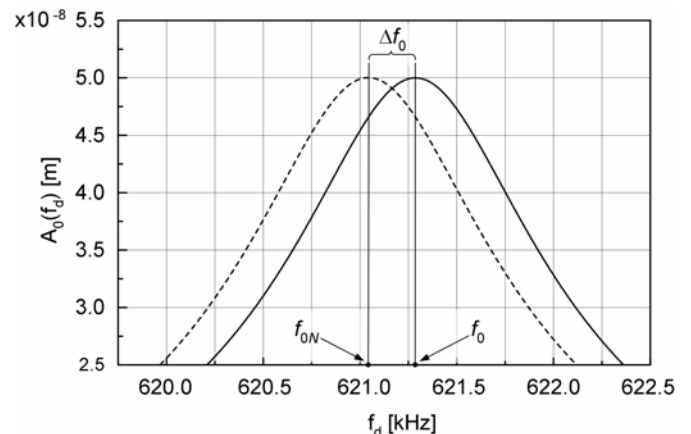
$$A(t) \sim 0.5 V_r \sin(\phi_r - \phi_I) A_I e^{-t/\tau}. \quad (26)$$

U ovom izrazu V_r je amplituda prostoperiodičnog referentnog signala *lock-in* pojačavača, a $\phi_r = \phi_0$ njena početna faza.



Slika 1. Vremenski odziv gredice, rezonantne učestanosti $f_0 = 621.3$ kHz i mase $m_0 = 1.84 \cdot 10^{-14}$ kg, pobuđene prostoperiodičnom pobudom, učestanosti $f_d \approx f_0$, pri pritisku okolnog gasa $p = 10^{-5}$ Pa i temperaturi $T = 300$ K ($Q = 500$) a) obvojnica ukupnog odziva, $x(t)$ (desna ordinata), i komponente odziva $x_{1I}(t)$, koja se menja po zakonu $A_I e^{-t/\tau}$ (leva ordinata), b) vremenski oblik oscilacija (oscilacije manje amplitude odgovaraju komponenti $x_{1I}(t)$).

Najpre se odredi vrednost mase adsorbovanih čestica u stacionarnom stanju, Δm_0 , merenjem rezonantne učestanosti sistema koji čine gredica i adsorbovane čestice u stacionarnom stanju, f_{0N} , i korišćenjem izraza (24). Ta rezonantna učestanost se određuje iz snimljene amplitudske frekvencijske karakteristike u stacionarnom stanju. Na Slici 2 je ilustracija ovog postupka.



Slika 2. Amplitudska frekvencijska karakteristika gredice, bez adsorbovanih čestica na njenoj površini (puna linija) i nakon uspostavljanja stacionarnog stanja (isprekidana linija).

Parametri gredice su: $f_0 = 621.3$ kHz, $m_0 = 1.84 \cdot 10^{-14}$ kg, a radni uslovi $p_1 = 10^{-4}$ Pa i $T = 300$ K ($Q = 500$).

Zatim se ϕ_0 izračuna na osnovu izraza (18), podese faza i učestanost referentnog signala *lock-in*-a i izvrši novo merenje

vremenskog odziva gredice. Fitovanjem merenih rezultata za $A(t)$, određuje se τ .

Poznavanje veličina τ i Δm_0 , omogućuje da se korišćenjem izraza (3), (4) i (5) odredi vrednost molske mase gasa:

$$M[g] = 5.227 \cdot 10^4 T \Delta m_0^2 / (A_{eff} p \tau)^2, \quad (27)$$

a zatim i masa jedne čestice gasa $M_a[kg] = M[g] \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}$.

Za izračunavanje vrednosti parametara b , N_m i $\bar{\tau}$, potrebno je odrediti vrednost mase adsorbovanih čestica u stacionarnom stanju na temperaturi T i pritisku p_1 , koji je različit od pritiska p . Tu masu, Δm_{01} , moguće je odrediti na osnovu snimljene amplitudske frekvencijske karakteristike u stacionarnom stanju, koje se uspostavlja pri pritisku p_1 , tj. na isti način na koji je određena masa Δm_0 . Jedina razlika je u vrednosti pritiska gasa: pri određivanju Δm_0 pritisak je p , a pri određivanju Δm_{01} pritisak je p_1 . Na osnovu izraza (3) i njemu analognog izraza koji povezuje Δm_{01} i p_1 , b se izračunava po formuli:

$$b = (\Delta m_{01} / p_1 - \Delta m_0 / p) / (\Delta m_0 - \Delta m_{01}). \quad (28)$$

Maksimalan broj čestica gasa koje mogu fizički da se smeste u jednom sloju na jediničnoj površini, N_m , sada je moguće lako odrediti iz izraza (3), a zatim i srednje vreme života adsorbovanih čestica, $\bar{\tau}$, iz izraza (4).

4. ZAKLJUČAK

U literaturi je prisutno malo podataka o parametrima adsorpciono-desorpcionog procesa. Male dimenzije i masa gredice omogućuju korišćenje oscilujuće gredice za proučavanje AD procesa, čak i kada je adsorbovana masa izuzetno mala (reda 10^{-18} g [11]).

U ovom radu su prikazani početni rezultati do kojih smo došli pri razvoju metode za određivanje parametara AD procesa (jednoslojna Langmuir-ova adsorpcija) na površini MEMS/NEMS struktura i gasa čije se čestice adsorbuju. U daljem istraživanju predstoji usavršavanje opisane metode i proširenje njene primene na druge modele adsorpcije (BET [7]).

Pošto smo u našem radu [12] predložili metod za određivanje desorpcione energije koja karakteriše AD proces, pomenuti rad i ovaj rad čine celinu, koja omogućuje da se potpuno opiše AD proces na površini mikro/nanogredice i njegov uticaj na granične performanse MEMS/NEMS senzora i tačnost učestanosti MEMS/NEMS oscilatora.

LITERATURA

- [1] T. Thundat, P. I. Oden, R. J. Warmack, *Microcantilever Sensors*, *Microscale Therm. Eng.* 1:185-199, 1997.
- [2] R. Raiteri, M. Grattarola, R. Berger, *Micromechanics senses biomolecules*, *Mat. Today*, Jan. issue, 22-29, 2002.
- [3] P. A. Rasmussen, *Design, Fabrication and Characterisation of AFM Probes with Integrated Read-out*, M. Sc. Thesis, Technical Univ. of Denmark, 2000.

- [4] Ž. Lazić, I. Jokić, D. Vasiljević-Radović, *Senzori sa mikrogredicama*, Studija izvodljivosti u okviru projekta IT.1.04.0062.B, IHTM-CMTM, Beograd, 2002.
- [5] Z. Djurić, I. Jokić, M. Frantlović, O. Jakšić, *Influence of Adsorption-Desorption Process on Resonant Frequency and Noise of Micro- and Nanocantilevers*, *Proc. 23th MIEL*, Niš, 1:243-246, 2002.
- [6] Z. Djurić, I. Jokić, M. Frantlović, O. Jakšić, D. Vasiljević-Radović, *Adsorbed Mass and Resonant Frequency Fluctuations of a Microcantilever Caused of Adsorption and Desorption of Particles of Two Gases*, *Proc. 24th MIEL*, vol. 1, pp. 197-199, Niš, 2004.
- [7] S. J. Gregg, K. S. W. Sing, *Adsorption, Surface Area and Porosity*, Academic Press, New York, 1967.
- [8] Z. Djurić, I. Jokić, M. Frantlović, O. Jakšić, *Osetljivost i adsorpciono-desorpcioni šum senzora sa nanomehaničkim rezonantnim strukturama*, *ETAN*, vol. 4, pp.195-198, Teslić, 2002.
- [9] Z. Djurić, O. Jakšić, D. Randjelović, *Adsorption-Desorption Noise in Micromechanical Resonant Structures*, *Sensors & Act. A* 96, 2-3, pp.244-251, 2002.
- [10] Z. Djurić, *Mechanisms of Noise Sources in Microelectromechanical Systems*, *Microelectronics Reliability*, 40, 919-932, 2000.
- [11] K. L. Ekinci, X. M. H. Huang, M. L. Roukes, *Ultrasensitive Nanoelectromechanical Mass Detection*, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 84, No 22, pp. 4469-4471, 2004.
- [12] I. Jokić, Z. Djurić, M. Frantlović, O. Jakšić, D. Vasiljević-Radović, *Određivanje desorpcione energije koja karakteriše adsorpciono-desorpcioni proces kod MEMS i NEMS senzora*, *ETAN*, vol. 4, pp.274-276, Herceg Novi, 2003.

Zahvalnica - Autori duguju zahvalnost Prof. Dr Milanu Dražiću sa Matematičkog fakulteta u Beogradu i Milošu Frantloviću i mr Katarini Radulović iz IHTM-CMTM na nesebičnoj pomoći tokom izrade ovog rada.

Napomena – Ovaj rad je rezultat istraživanja u okviru Projekta TR-6151B, koji je delimično finansiran od strane Ministarstva za nauku i životnu sredinu Srbije.

Abstract – A new method for the estimation of parameters of adsorption-desorption process using time response of a microcantilever based oscillator is proposed in this paper. The method is especially suitable for very low adsorbed masses, typical for MEMS/NEMS components. All parameters necessary for the study of monolayer adsorption and desorption processes, for which the Langmuir isotherm is valid, are determined. The knowledge of these parameters enables the estimation of adsorption-desorption noise and overall noise levels of MEMS/NEMS oscillators and sensors, as well as the level of minimal detectable quantities measured by MEMS/NEMS sensors.

DETERMINATION OF ADSORPTION PROCESS PARAMETERS BASED ON MICROCANTILEVER OSCILLATORS TRANSIENT RESPONSE

Z. Djurić, I. Jokić, O. Jakšić