

TERMOELASTIČNI I ELEKTRONSKI DEFORMACIONI DINAMIČKI EFEKTI KOD OPTIČKI POBUĐIVANIH MIKROGREDICA

Dragan M. Todorović, Tomislav Grozdić, Aleksandar Bojičić
Centar za multidisciplinarne studije, Univerzitet u Beogradu, P. fah 33, 11030 Beograd

Sadržaj – Proučavana su dinamička termoelastična i elektronska deformaciona savijanja kod jednomaterijalnih (Si) i bimaterijalnih (Au/Si) optički pobuđivanih pravougaonih mikrogredica. Postavljen je teorijski model i sračunata su dinamička elastična savijanja za oba tipa mikrogredica uključujući i topotne i elektronske elastične efekte. Analizirani su osetljivost, toplotni i elektronski elastični gubici i šum u ovim mikromehaničkim strukturama. Ova istraživanja su važna za primenu mikrogredica kod atomske mikroskopije i za mnoge senzore i aktuatora.

1. UVOD

Mikro(nano)sistemske tehnologije igraju važnu ulogu u razvoju i proizvodnji minijaturnih senzora, aktuatora, rezonatora i elektromehaničkih delova. Jedna nova klasa visoko osetljivih senzora zasniva se na komercijalno dostupnim mikrogredicama (mikrogredice kod kojih je jedan kraj učvršćen dok je drugi kraj slobodan – konzola), kao što su one koje se koriste kod atomskih mikroskopa (the atomic force microscopy - AFM).

Masovna i jeftina proizvodnja mikrogredica unela je revoluciju u oblasti dizajna pretvarača (senzori, aktuatori, rezonatori). Široka primena atomske mikroskopije dovela je do dodatnog interesa za mikrogredice kao osnove za različite tipove senzora. Za razliku od drugih tipova pretvarača, mikrogredice (konzole) su jednostavne mehaničke strukture.

Primena mikrogredica poslednji desetak godina vezana je prvenstveno za razvoj atomske mikroskopije. Generalno, jedan senzor atomskih sila sastoji se od šiljka nanodimenzija montiranog na slobodan kraj mikrogredice. Elastična mikrogredica se savija usled delovanja sila između šiljka i površine uzorka. Savijanje mikrogredice se detektuje primenom tehnike «optičke poluge» i primenom različitih elektronskih sklopova se prevodi u mikroskopsku sliku površine uzorka.

Kada je u pitanju primena mikrogredica u atomskoj mikroskopiji one mogu imati različite karakteristike, što je pre svega određeno modom rada (kontaktni, nekontaktni, udarni, dinamički). Najvažniji karakteristika je konstanta krutost k_L mikrogredice koja može biti u opsegu 0.01 - 100 N/m. Mikrogredice sa vrednostima k_L ispod 0.1 N/m se najčešće koriste za kontaktni mod rada kod atomskih mikroskopa. Mikrogredice veće krutosti sa $k_L > 1$ N/m se koriste za rad u nekontaktnom dinamičkom modu jer imaju visoke rezonantne učestanosti i male amplitude oscilacije od nekoliko nanometara. Ovo obezbeđuje širok dinamički frekvencijski opseg i značajan porast osetljivosti. Najčešće se promenjuju pravougaone i trougaone forme mikrogredica. Tipične dimenzije ovih mikrogredica za primenu kod atomskih mikroskopa sa nanorezolucijom su: 100 - 200 μm dužina, 10 - 20 μm širina i 2 - 10 μm debljina i sa

rezonantnim učestanostima od 10 - 100 kHz. Ove mikrogredice najčešće su napravljene od monokristalnog Si i Si_3N_4 . Mikrogredice od Si_3N_4 imaju prednost u odnosu na Si – mikrogredice jer mogu biti tanje (imaju veću krutost) ali je kod njih znatno teže napraviti kvalitetan šiljak.

Poslednjih godina razvijene su različite tehnike za direktno pobuđivanje mikrogredica, kao što su magnetna modulacija [1] ili toplotna modulacija primenom električnog otpornog zagrevanja [2], dok su Kim i Lee [3] razvili tehniku samo-oscilovanja za slučaj mikrogredice sa metalnom prevlakom (bimaterijalna mikrogredica). Vibracije mikrogredice mogu biti izazvane i optičkom pobudom, na primer, moduliranim laserskim snopom - fototermalna (FT) modulacija. Ratcliff i dr.[4] su pokazali da FT pbuda mikrogredice daje veoma dobro definisane jednododne vibracije, dok mehaničko pobuđivanje preko nekog spoljašnjeg aktuatora generiše čitav spektar sa mnogo bliskih rezonancija, posebno kada mikrogredica vibrira u nekoj tečnosti. FT modulacija i efekti vezani za nju predmet su fotoakustične i fototermalne nauke.

Fotoakustična i fototermalna nauka [5] predstavlja novu disciplinu čiji rezultati nalaze primenu u najrazličitijim oblastima: od fizike, hemije, biologije, medicine do različitih industrijskih primena. Poslednjih desetak godina, fotoakustična i fototermalna nauka nalazi široku primenu u proučavanju poluprovodničkih materijala i mikro(opto) elektronskih struktura. Posebno se radi na razvoju nedestruktivnih i nekontaktnih tehnika, pogodnih za primenu u mikroelektronskoj industriji [6]. Na primer, trenutno jedan od najsavršenijih uređaja za neposrednu kontrolu i karakterizaciju u procesiranju silicijumskih pločica pri proizvodnji inegrisanih kola, je izrađen na bazi FT modulacione refleksione metode [7].

FT pobuda ima za posledicu pojavu različitih termoelastičnih i elektronskih deformacionih efekata koji mogu imati velikog uticaja na mehanizme vibriranja mikromehaničkih struktura [8]. Teorijska analiza termoelastičnih (TE) i elektronskih (ED) efekata u mikromehaničkim strukturama sastoji se u modelovanju složenog sistema preko istovremene analize spregnutih plazma, toplotnih i elastičnih talasnih jednačina [9]. U prethodno publikovanim radovima, Todorović i dr.[10,11] su teorijski i eksperimentalno proučavali, uticaj TE i ED efekata na fotoakustični signal, kao i na vibracije mikromehaničkih struktura [12]. U literaturi postoji mali broj radova gde je proučavan uticaj TE i ED efekata na vibraciona svojstva mikrogredica [13, 14].

U ovom radu su proučavani dinamički efekti TE i ED savijanja u Si mikrogredici i bimaterijalnoj (Au/Si) mikrogredici. Ova istraživanja su značajna za razvoj senzora i aktuatora zasnovanih na mikrogredicama.

2. OPTIČKI POBUĐENE MIKROGREDICE

Kada se materijal pobudi modulisanim energetskim snopom (elektromagnetno zračenje, snop elektrona, jona, itd.), usled apsorpcije ove energije menjaju se i optičke, toplotne i elastične karakteristike materijala. Indukovane promene u materijalu mogu biti detektovane preko različitih TE i ED efekata, odnosno primenom različitih fotoakustičnih i fototermalnih metoda.

TE i ED efekti elektronskih i poluprovodničkih materijala se zasnivaju na fotogenerisanju elektrona i šupljina, odnosno plazma talasa. Plazma talasi generisani po dubini uzorka doprinose, preko različitih mehanizama, stvaranju periodično promenljivih toplotnih i elastičnih polja, drugim rečima do generisanja toplotnih i elastičnih talasa u uzorku. Merenjem ovih pomeraja u zavisnosti od učestanosti modulacije pobudnog optičkog zraka mogu se odrediti različite karakteristike mikrostrukture. Amplituda i faza elastičnog savijanja (elastični pomeraj) zavise od niza parametara odnosno efekata, ali glavni uticaj imaju TE i ED efekti.

2.1 Toplotne i elektronske elastične deformacije

Periodična fotogeneracija nosilaca u poluprovodničkom materijalu mikrogredeice, procesi transporta, termalizacije i rekombinacije (površinske i zapreminske), izazivaju i pojavu toplote. Periodična toplota može izazvati različita elastična naprezanja i deformacije. TE deformacija, $\varepsilon^{TE}(\mathbf{r}, t)$, je srazmerna temperaturnoj raspodeli, $T(\mathbf{r}, t)$:

$$\varepsilon^{TE}(\mathbf{r}, t) = \alpha_T T(\mathbf{r}, t), \quad (1)$$

gde \mathbf{r} je prostorna koordinata, t je vreme i α_T je koeficijent linearnog širenja. Pored toga, kako je prethodno naglašeno, fotogenerisana plazma može direktno proizvesti lokalna elastična naprezanja u materijalu mikrogredeice. Ova elektronska elastična deformacija, $\varepsilon^{ED}(\mathbf{r}, t)$, menja se linearno sa gustinom fotogenerisanih, $n(\mathbf{r}, t)$:

$$\varepsilon^{ED}(\mathbf{r}, t) = d_n n(\mathbf{r}, t); \quad d_n = \frac{1}{3} \left(\frac{\partial E_G}{\partial p} \right)_T \quad (2)$$

gde d_n je koeficijent elektronske elastične deformacije (d_n označava zavisnost energetskog procepa od pritiska pri konstantnoj temperaturi). Pošto je d_n negativno za Si, to su toplotna i elektronska elastična deformacija različitog znaka; fotogenerisani nosioci izazivaju skupljanje materijala, dok istovremeno toplotna zakreivanja izazivaju širenje. Prema tome, elastični pomeraj može biti dat kao suma TE i ED komponente [9]:

$$\mathbf{u}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{u}^{TE}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{u}^{ED}(\mathbf{r}, t), \quad (3)$$

2.2 Dinamičko elastično savijanje mikrogredeice

Elastično savijanje razmatra se kod tanke prizmatične bimaterijalne mikrogredeice učvršćene na jednom i slobodne na drugom kraju, sa debljinom h mnogo manjom od dužine l i širine b (elastično savijanje kod jedomaterijalne mikrogredeice može se razmatrati kao specijalni slučaj ovog modela). Jedna strana mikrogredeice se pobuđuje intenzitetski-modulisanim homogenim laserskim zrakom. U skladu sa elastičnom

teorijom za periodičnu pobudu, dinamička elastična jednačina za savijanje mikrogredeice je [15]:

$$\left[\frac{\partial^4}{\partial x^4} - \underline{k}^4(\omega) \right] w(x, \omega) = 0, \quad \underline{k}^4(\omega) = \frac{\rho_1 A_1 + \rho_2 A_2}{B} \omega^2 \quad (4)$$

$$\underline{B} = F_1 I_1 + 4F_2 (I - I_1), \quad F_i = \frac{E_i}{1 - \nu_i^2}, \quad I_i = \frac{bh_i^3}{12},$$

gde je $w(x, \omega)$ pomeraj ravni mikrogredeice, $\underline{k}(\omega)$ je talasni broj, \underline{B} je efektivni krutost na savijanje bimaterijalne mikrogredeice, ρ_i je gustina, A_i poprečni presek, E_i je Youngs modul i ν_i je Poisson koeficijent u sloju i .

Dinamičko elastično savijanje na slobodnom kraju mikrogredeice ($x = l$) je:

$$w(l, \omega) = w_s(l, \omega) G(\omega), \quad (5)$$

$$w_s(l, \omega) = -\frac{l^2}{2} (m_T + m_n),$$

$$\underline{G}(\omega) = \frac{2 \sin \underline{\eta} \sinh \underline{\eta}}{\underline{\eta}^2 (1 + \cos \underline{\eta} \cosh \underline{\eta})},$$

$$\underline{m}_T = b \frac{F_1 \alpha_{T1} m_{T1} + F_2 \alpha_{T2} m_{T2}}{B}, \quad m_{T1} = \int_0^{h_1} z \Delta T_1(x, z, t) dz, \quad m_{T2} = \int_{h_1}^{h_1+h_2} z \Delta T_2(x, z, t) dz$$

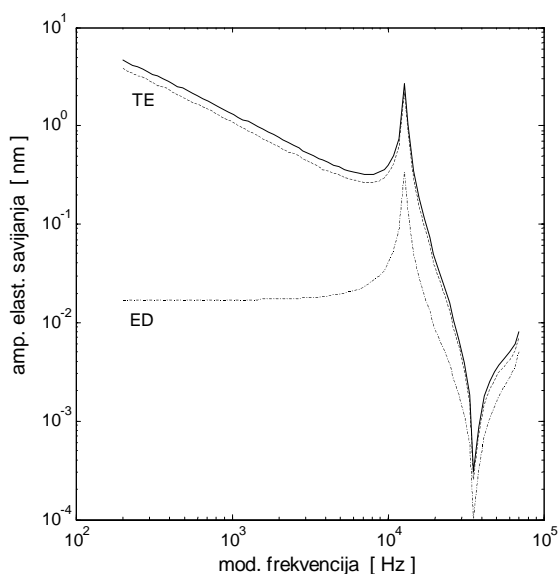
$$\underline{m}_n = b \frac{F_2 d_{n2} m_{n2}}{B}, \quad m_{n2} = \int_{h_1}^{h_1+h_2} z \Delta n_2(x, z, t) dz,$$

gde je $w_s(l, \omega)$ kvazistatičko elastično savijanje i $\underline{G}(\omega)$ je bezdimenzioni dinamički frekvencijski faktor, $\underline{\eta} = \underline{k}l$. Veličine $\underline{m}_T(x, \omega)$ i $\underline{m}_n(x, \omega)$ karakterišu TE i ED izvorne članove, odnosno izvorne članove od toplotnih i plazma talasa. Bezdimenzioni dinamički frekvencijski faktor $\underline{G}(\omega)$ teži 1 za niske modulacione frekvencije.

3. ANALIZA DINAMIČKOG ELASTIČNOG SAVIJANJA MIKROGREDEICE

Prethodno dati teorijski model omogućava sračunavanje elastičnog savijanja mikromehaničke strukture i analizu dinamičkih vibracionih karakteristika, uključujući i TE i ED efekte. Sl.1 pokazuje jedan primer sračunatih komponenata elastičnog savijanja na slobodnom kraju bimaterijalne (Au / Si) mikrogredeice. Na Sl.2 uporedo su data ukupna dinamička elastična savijanja (TE + ED) za jedomaterijalnu (Si) i bimaterijalnu (Au/Si) mikrogredeicu. Dimenzije mikrogredeice su: debljina Au prevlake $h_1 = 100$ nm i Si supstrata $h_2 = 4$ μ m, dužina $l = 200$ μ m i širina $b = 20$ μ m. Elastično savijanje je sračunato za tipične parametere Si (sloj 2): koeficijent optičke apsorpcije $\alpha_2 = 5 \times 10^3$ cm^{-1} ; gustina $\rho_2 = 2.33 \times 10^{-3}$ kg/cm^3 ; toplotna provodnost $K_2 = 1.5$ W/(cmK) ; toplotni kapacitet $C_2 = 695$ J/(kgK) (toplotna difuzivnost $D_{T2} = K_2/(\rho_2 C_2) = 0.9$ cm^2/s); koeficijent toplotnog širenja $\alpha_{T2} = 3 \times 10^{-6}$ $1/\text{K}$; brzina elastičnih talasa $v_2 = 5 \times 10^5$ cm/s ; koeficijent elektronske deformacije $d_2 = -9 \times 10^{-25}$ cm^3 ; koeficijent difuzije foto generisanih nosilaca $D_{E2} = 20$ cm^2/s ; vreme života nosilaca $\tau_2 = 5 \times 10^{-5}$ s ; brzina površinske rekombinacije na prednjoj (optički pobuđenoj) strani $s_g = 1000$ cm/s i $s_b = 500$ cm/s na zadnjoj strani uzorka; energetski procep $E_G = 1.11$ eV; energija pobude $E = 1.96$ eV. Za Au (sloj 1) uzeti su sledeći parametri: $\alpha_1 = 10^5$ cm^{-1} ; $\rho_1 = 19.3 \times 10^{-3}$ kg/cm^3 ; $K_1 = 3.46$ W/(cmK) ; $C_1 = 135$ J/(kgK)

($D_{T1} = K_1/(\rho_1 C_1) = 2.6 \text{ cm}^2/\text{s}$); $\alpha_{T1} = 14.2 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$. Intenzitet optičke pobude (HeNe laser, 633 nm) je $I_0 = 1 \text{ W/cm}^2$.

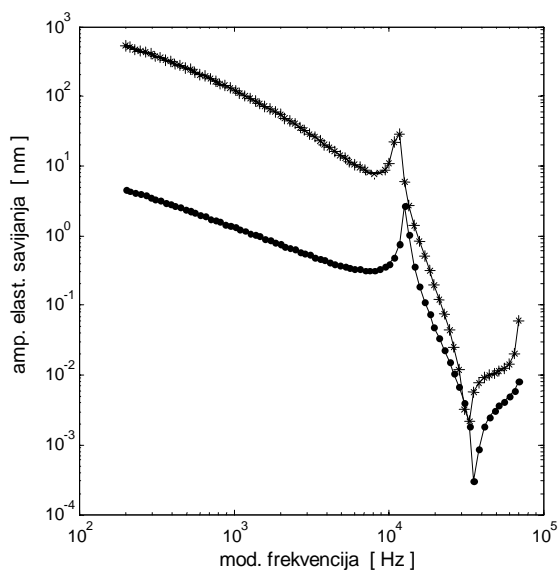


Sl.1 Amplituda dinamičkog elastičnog savijanja Si mikrogrede: (--) TE savijanje; (-.-) ED savijanje; (-) TE + ED savijanje.

Sa Sl.1 se videti da je ED komponenta elastičnog savijanja mnogo manja od TE komponente u oblasti niskih učestanosti. Sa druge strane, za visoke učestanosti ED komponenta je istog reda veličine kao i TE komponenta. Ukupno elastično savijanje Si mikrogrede je manje za oko jedan red veličine u odnosu na Au/Si mikrogredu. Za oba tipa mikrogrede elastično savijanje se smanjuje sa povećanjem učestanosti pobude. U oblasti niskih učestanosti ($f < 10^2 \text{ Hz}$), za oba tipa mikrogrede frekvencijska karakteristika je ravna što odgovara kvazistatičkim uslovima.

3.1 Osetljivost

Osetljivost $|w(\omega)|/I(\omega) \text{ [nm/(W/cm}^2)]$ optički pobuđene mikrostrukture je važna karakteristika za njihovu primenu



Sl.2 Uporedni prikaz amplituda ukupnog dinamičkog elastičnog savijanja (TE + ED) za jednomaterijalnu (Si) i bimaterijalnu (Au / Si) mikrogrede: (.) Si; (*) Au/Si

kao senzora ili aktuatora, koja se u ovom slučaju definiše kao odnos amplitude elastičnog pomeraja $|w(\omega)|$ i intenziteta optičke pobude I_0 . Analiza pokazuje da osetljivost opada sa porastom učestanosti modulacije. Na primer, kod bimaterijalne mikrogrede sa parametrima prethodno datim, sračunata je osetljivost od 524 za učestanost pobude od 200 Hz i 54 nm/(W/cm²) za 2kHz.

3.2 Toplotni i elektronski elastični gubici

TE prigušenje je identifikovano kao važan mehanizam gubitaka kod MEMS (NEMS) naprava [16]. TE prigušenje potiče od sprege toplotnih i mehaničkih pojava. U razmatranju ovakvih pojava uzima se Jungov modul elastičnosti kao kompleksna frekvencijski zavisna veličina koja uključuje i mehaničke i toplotne karakteristike materijala. Sa kompleksnim modulom, elastična deformacija u materijalu nije u fazi sa primenjenim elastičnim naponom, tako da integral izvršenog rada (gubici energije po jednoj periodu) je funkcija faznog pomeraja. Odnos imaginarne i realne komponente elastičnog modula definiše frekvencijski zavisni faktor dobrote, Q_{TE} :

$$Q_{TE} \approx \frac{C_T}{E_Y \alpha_T^2 T_o} \frac{1 + (\omega \tau_T)^2}{\omega \tau_T} |G(\omega)|, \quad (6)$$

gde je T_o temperatura okoline; τ_T je toplotna relaksacija mikrogrede.

Toplotna relaksacija mikrogrede τ_T , može se približno odrediti uz pretpostavku da postoje samo temperaturski gradijent dužinom mikrogrede (slobodan kraj mikrogrede je toplotno izolovan dok je učvršćeni kraj toplotno provodan). U tom slučaju je toplotna relaksacija data relacijom [17]:

$$\tau_T = \frac{l^2}{3D_T}. \quad (7)$$

U prethodnim relacijama se za slučaj bimaterijalne mikrogrede koriste efektivni parametri:

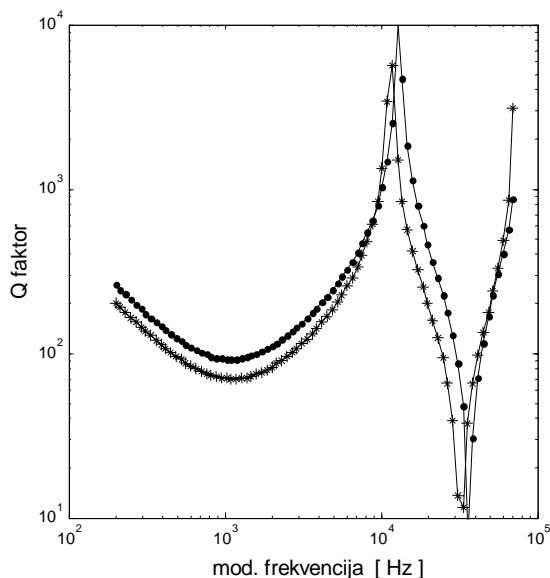
$$K_{eff} = \frac{K_1 l_1 + K_2 l_2}{h_1 + h_2}, \quad C_{eff} = \frac{\rho_1 C_1 l_1 + \rho_2 C_2 l_2}{h_1 + h_2}, \quad D_T = \frac{K_{eff}}{C_{eff}}, \quad \alpha_{Teff} = \frac{\alpha_1 E_1 l_1 + \alpha_2 E_2 l_2}{E_1 l_1 + E_2 l_2}$$

Kada se mikrogredu uniformno zagreva duž njene dužine (homogena optička pobuda po celoj površini mikrogrede), dobija se toplotna relaksacija za jednomaterijalnu (Si) mikrogredu od 0,144 ms, dok za bimaterijalnu (Au/Si) iznosi 0,139 ms.

Na osnovu ovih vrednosti sračunat je termoelastični faktor dobrote Q_{TE} . Sl.3 pokazuje promenu Q faktora sa učestanošću modulacije za oba tipa mikrogrede. Slična analiza se može sprovesti za elektronske deformacione gubitke, sa analognim relacijama. Međutim nivo ovih gubitaka je znatno manji u odnosu na TE gubitke tako da se mogu zanemariti.

3.3 Termomehanički šum

Da bi se odredila krajnja osetljivost mikrogrede kao senzora mora se odrediti nivo šumova. Zna se da šum potiče od spoljašnjih izvora kao što su različite mehaničke i elektronske vibracione pojave, elastična (akustična) sprezanja, fluktuacije optičkog izvora, različiti efekti konvekcije itd. Dominantna pojava koja određuje granicu



Sl.3 Termoelastični Q faktor mikrogređice: (.) jednomaterijalne (Si); (*) bimaterijalne (Au/Si).

šuma je toplotni vibracioni šum senzora. To je i zato što se ostali izvori šuma mogu minimizirati pažljivim dizajniranjem senzora do nivoa kada uticaj toplotnog šuma postaje dominantan. Spektralne komponente signala šuma nisu uniformne, tako da, za učestanosti modulacije optičke pobude znatno ispod prirodne rezonantne učestanosti ω_o , amplituda toplotnog šuma [nm/ $\sqrt{\text{Hz}}$] je:

$$\sqrt{\langle w^2 \rangle} = \sqrt{\frac{4 k_B T B_\omega}{k_L \omega_o Q}} \quad (8)$$

gde $\sqrt{\langle w^2 \rangle}$ je srednja kvadratna vrednost pomeraja mikrogređice, k_B je Boltzmann konstanta, T je temperatura, B_ω je frekucijski propusni opseg mernog sistema, Q je faktor dobrote mernog sistema i k_L je efektivna konstanta opruge. Za tipične vrednosti parametara mikrogređice i uslove primene, na osnovu prethode relacije dobija se nivo šuma od $(1-2) \times 10^{-2}$ nm/ $\sqrt{\text{Hz}}$.

4. ZAKLJUČAK

Ukupna dinamička, termoelastična i elektronska deformaciona savijanja (TE + ED) jednodimenzione (Si) mikrogređice je približno za jedan red veličine manja od elastičnog savijanja kod bimaterijalne (Au/Si) mikrogređice. Za oba tipa mikrogređica elastični pomeraj se smanjuje sa povećanjem učestanosti modulacije optičke pobude. Za niske učestanosti ($f < 10^2$ Hz), oba tipa mikrogređica imaju ravnu frekvencijsku karakteristiku. Za tipične parametre mikrogređica određena je osetljivost, faktor TE dobrote, Q_{TE} i termomehanički šum.

Ovaj rad je urađen u okviru tehnološko-razvojnog projekta Ministarstva za nauku i životnu sredinu Republike Srbije IT.1.04.0062 B.

LITERATURA

- [1] W. Han, S. M. Lindsay, and T. Jing, *Appl. Phys. Lett.* **69**, (1996) 4111.
- [2] A. C. Hiller and A. J. Bard, *Rev. Sci. Instrum.* **68** (1997) 3083.
- [3] K. Kim, S. Lee, *J. Appl. Phys.*, **91**(7) (2002) 4715-4719.
- [4] G. C. Ratcliff, D. A. Erie, and R. Superfine, *Appl. Phys. Lett.* **72**(15) 1911(1998).
- [5] D. Almond, P. Patel, *Photothermal Science and Techniques*, Chapman & Hall, London, 1996.
- [6] A. Mandelis and P. Hess, Eds., *Semiconductors and Electronic Materials* (SPIE Opt. Eng. Press, Bellingham, Washington, 2000).
- [7] Thermal Wave Inc (www.thermawave.com)
- [8] D. M. Todorović, "Photothermal elastic bending method", *Analytical Science*, **17**, Special Issue, s 141-s144 (2001).
- [9] D. M. Todorović, *Rev. Sci. Instrum.*, **74** (1), 582-585 (2003).
- [10] D. M. Todorović, P. M. Nikolić, A. I. Bojičić, K. T. Radulović, *Phys. Rev. B*, **55**(23) (1997) 15631-15642.
- [11] D. M. Todorović, P. M. Nikolić, Ch. 9 in *Semiconductors and Electronic Materials* (A. Mandelis and P. Hess, Eds., SPIE Opt. Eng. Press, Bellingham, Washington, 2000), p. 273-318.
- [12] D. M. Todorović, *Rev. Sci. Instrum.*, **74** (1), 578-581 (2003).
- [13] A. Prak, T. S. J. Lammerink, *J. Appl. Phys.*, **71**(10), 5242-5245 (1992).
- [14] T. Gotoh, S. Nonomura, S. Hirata, S. Nitta, *Progress in Natural Science*, Supp. to vol. **6**, S-34-37, (1996).
- [15] D. M. Todorović, A. Bojičić, *J. de Physique IV*, (2005).
- [16] A. Duwel, J. Gorman, M. Weinstein, J. Borestein, P. Ward, *Sensors and Actuators A*, **103**, 70-75 (2003).
- [17] J. K. Gimzewski, Ch. Gerber, E. Meyer, and R. R. Schlittler, *Chem. Phys. Lett.* **217**, 589 (1994).

Abstract – Dynamic thermal and electronic elastic bending in an onematerial (Si) and a bimaterial (Au/Si) optically excited rectangular microcantilevers were investigated. The theoretical model for the dynamic elastic bending of the microcantilever was derived including the thermoelastic and electronic deformation effects. Dynamic elastic bending for both type of microcantilevers were calculated. The sensitivity, thermal and electronic elastic damping and noise were analyzed. These investigations are important for AFM and many sensors and actuators based on microcantilevers.

THERMOELASTIC AND ELECTRONIC DEFORMATION EFFECTS IN OPTICALLY DRIVEN MICROCANTILEVERS

Dragan M. Todorović, Tomislav Grozdić, Aleksandar Bojičić