

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na 755. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, koja je održana 06. 11. 2012, određeni smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije kandidata magistra elektrotehnike **Milče M. Smiljanić** pod naslovom „**Nove primene procesa nagrizanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH u izradi MEMS senzora**“. Na osnovu pregledanog dobijenog materijala, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

1.1. Kratka biografija

Milče Smiljanić je rođena 14. 04. 1978. u Beogradu, gde je završila Osnovnu školu “Branko Radičević” sa prosečnom ocenom 5.0 (kao đak generacije) i Matematičku gimnaziju sa prosečnom ocenom 5.0. U osnovnoj i srednjoj školi je osvojila veći broj nagrada na takmičenjima iz matematike i fizike od opštinskog do saveznog nivoa.

Diplomirala je 2003. na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu na odseku za Fizičku elektroniku, smer Optoelektronika i laserska tehnika, sa prosečnom ocenom 9.33. Godine 2002. je bila na studentskoj praksi u Image Processing Group na University College of London.

Od 2003. radi u Institutu za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Centar za mikroelektronske tehnologije i monokristale (IHTM-CMTM). Magistarske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je upisala 2003. godine i položila je sve ispite sa ocenom 10. Magistrirala je 2009. godine odbranivši rad “**Piezootporni senzori za visoke temperature i niže pritiske**” (mentor Prof. Dr Milan Tadić; rad je urađen u IHTM-CMTM pod rukovodstvom Dr Zoran Jakšića, naučnog savetnika). Od 2010. radi u zvanju istraživača saradnika i zamenica je rukovodioca laboratorije za mikroelektronske i MEMS tehnologije u IHTM-CMTM. Profesionalna interesovanja su joj mikromašinstvo, tehnološki proces vlažnog hemijskog nagrizanja silicijuma, tehnološki proces fotolitografije, tehnološki proces anodnog bondovanja, MEMS senzori, piezootporni efekat, piezootporni senzori pritiska, piezootporne mikrogredice. Operator je na uređajima za fotolitografiju EVG620 i LW405 i uređaju za anodno bondovanje AML04.

1.2. Osnovni podaci o objavljenim radovima, tehničkim rešenjima i projektima:

M14 Monografska studija/poglavlje u knjizi M12 ili rad u tematskom zborniku međunarodnog značaja:

1. Z. Đinović, M. Tomić, L. Manojlović, Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, “Non-contact Measurement of Thickness Uniformity of Chemically Etched Si Membranes by Fiber-Optic Low-Coherence Interferometry”, K. Takahata ed, pp. 51-60, In-Tech, Vienna, Austria, Croatia, 2009, ISBN 978-953-307-027-8

M21 Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. **M. M. Smiljanić**, V. Jović, Ž. Lazić, "Maskless convex corner compensation technique on a (100) silicon substrate in a 25 wt % TMAH water solution", Journal of Micromechanics and Microengineering Vol. 22, No. 11, 2012
DOI:10.1088/0960-1317/22/11/115011 (IF(2007)= 1.930, IF(2008)= 2.233, IF(2009)= 1.997, IF(2010)= 2.281, IF(2011)= 2.105)

M23 Rad u međunarodnom časopisu

1. V. B. Jović, M. J. Matić, B. M. Vukelić, M. S. Starčević, **M. M. Smiljanić**, J. S. Lamovec, M. D. Vorkapić, "Montaža čipova MEM silicijumskih piezorezistivnih senzora pritiska primenom različitih adheziva", Hemijska industrija, vol. 65, br. 5, 2011, 497-505, DOI:10.2298/HEMIND110509044J (IF(2009)= 0.117, IF(2010)= 0.137, IF(2011)= 0.205)

M33 Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini:

1. Z. Đurić, **M. M. Smiljanić**, K. Radulović, Ž. Lazić, "Boron Redistribution During SOI Wafers Thermal Oxidation", Proc. 25th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL, Belgrade, 14-17 May 2006, vol. 1, pp. 333-336
2. D. M. Todorović, B. Cretin, Y. Q. Song, **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, K. Radulović, "Photothermal Vibration Spectra of Square Diaphragm with Boss for Low-Pressure Sensor", Proc. 26th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2008, Niš, Serbia, 11-14 May 2008, Vol. 2, pp. 325-328, ISBN 978-1-4244-1882-4
3. Z. Đurić, I. Jokić, M. Frantlović, D. Randelović, D. Vasiljevic-Radović, **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, "Fabrication and Characterization of AFM Golden Microcantilevers and Measurement of Small Electromagnetic Forces", Proc. 26th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2008, Niš, Serbia, 11-14 May 2008, Vol. 2, pp. 363-366, ISBN 978-1-4244-1882-4
4. Z. Đinović, M. Tomić, L. Manojlović, Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, "Non-contact Measurement of Thickness Uniformity of Chemically Etched Si Membranes by Fiber-Optic Low-Coherence Interferometry", Proc. 26th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2008, Niš, Serbia, 11-14 May 2008, Vol. 2, pp. 321-324, ISBN 978-1-4244-1882-4
5. V. B. Jović, J. S. Lamovec, M. V. Popović, **M. M. Smiljanić**, "Anisotropic chemical etching of {111} oriented Si-application in MEMS technologies", Proceeding of 1st ReCIMiCo WORKSHOP, Novi Sad, 29-30th September 2008, pp.8-13
6. V. Jović, J. Lamovec, **M. M. Smiljanić**, M. Popović, "Micromachining by Maskless Wet Anisotropic Chemical Etching {hkl} Structures on {100} Oriented Silicon", Proc. 27th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2010, Niš, Serbia, 16-19 May 2010, ISBN 978-1-4244-7199-7
7. V. Jović, **M. M. Smiljanić**, J. Lamovec, M. Popović, "Microfabraication of Maskless-Mask Wet Anisotropic Etching for Realization of Multilevel Structures in {100} Oriented Si", Proc. 28th Internat. Conf. on Microelectronics MIEL 2012, Niš, Serbia, 13-16 May 2012, ISBN 978-1-4673-0235-7

8. **M. M. Smiljanić**, K. Radulović, Ž. Lazić, V. Jović, B. Popović, "SOI piezoresistive low pressure sensor for high temperature environments", Proc. 5th Internat. Sci. Conf. on Defensive Technologies OTEH 2012, Belgrade, Serbia. 18-19 September 2012

M63 Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini:

1. Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, M. Popović, „Projektovanje uložka za zaštitu dijafragme senzora pritiska od preopterećenja“, Proc. 48th Conf. ETRAN, Čačak, June 6-10. 2004, vol. 4, pp. 168-171
2. Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, "Asimetrična dijagonalna kompenzacija konveksnih uglova kod silicijumskih mikrostruktura", Proc. 49th Conf. ETRAN, Budva, June 5-10. 2005, vol. 4, pp. 201-204
3. **M. M. Smiljanić**, Z. Đurić, Ž. Lazić, M. Popović, K. Radulović, "Piezootporni senzori pritiska na SOI pločicama namenjeni funkcionisanju na visokim temperaturama", Proc. 49th Conf. ETRAN, Budva, June 5-10. 2005, vol. 4, pp. 185-188
4. Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, Z. Đurić, M. Popović, J. Matović, "SOI piezootporna SiO₂ mikrogredica-oslobađanje vlažnim hemijskim nagrizanjem", Proc. 51st Conf. ETRAN, Herceg Novi - Igalo, June 4 - 8, 2007, MO3.7-1-4
5. **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, Z. Đurić, K. Radulović, "Dizajn i modelovanje modifikovanog senzora niskih pritisaka IHTM-CMTM SP-6" (**Nagrađeni rad mladog autora**), Proc. 51st Conf. ETRAN, Herceg Novi - Igalo, June 4 - 8, 2007, MO3.2-1-4
6. **M. M. Smiljanić**, Z. Đurić, Ž. Lazić, B. Popović, "SOI piezootporni senzor pritiska za opseg radnih temperatura od 60 °C do 300 °C", Proc. 52nd Conf. ETRAN, Palić, June 8-12, 2008, MO2.6-1-4
7. Z. Đurić, I. Jokić, Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, D. Randelović, D. Vasiljević-Radović, K. Radulović, "Mikrogredice od zlata za merenje malih koncentracija žive u gasovitoj sredini", Proc. 53rd Conf. ETRAN, Vrnjačka Banja, June 15-18, 2009, ISBN 978-86-80509-64-8
8. **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, K. Radulović, V. Jović, B. Popović, "Visokotemperaturni piezootporni senzor za niske pritiske SOI SP-11", Zbornik radova 55. Konferencije za ETRAN, Banja Vrućica, 6-9. juna 2011, MO3.3, ISBN 978-86-80509-66-2
9. **M. M. Smiljanić**, M. Matić, K. Radulović, Ž. Lazić, V. Jović, "Ojačanje dijafragme senzora pritiska nagrizanjem u vodenom rastvoru TMAH koncentracije 25 tež. %", Zbornik radova 56. Konferencije za ETRAN, Zlatibor, 11-14. juna 2012, MO3.1, ISBN 978-86-80509-67-9
10. D. Randelović, **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, M. Popović, "Poboljšanje performansi višenamenskog senzora sa termoparovima primenom sopstvene MEMS tehnologije za izradu SOI piezorezistivnih senzora pritiska", Proc. 56th ETRAN Conference, Zlatibor, June 11-14, 2012, MO3.3, ISBN 978-86-80509-67-9

M64 Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu:

1. M. J. Matić, V. B. Jović, B. M. Vukelić, M. S. Starčević, **M. M. Smiljanić**, J. S. Lamovec, M. D. Vorkapić, "Attachment of piezoresistive silicon pressure sensor dies using low melting point glass", Program and the book of abstracts: 1st Conference of the Serbian Ceramic Society, March 17-18. 2011. Belgrade, Serbia

Tehnička rešenja (sa recenzijama):

M81 Novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju, priznat programski sistem, ...

1. Z. Đurić, **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, M. Matić, J. Matović, „Visokotemperaturni SOI SP-9 piezootporni senzor pritiska“, novi proizvod ili tehnologija uvedeni u proizvodnju, TR-6151 MNTR, korisnik IHTM, 2007
2. Ž. Lazić, M. Popović, M. Matić, Z. Đurić, K. Radulović, M. Sarajlić, **M. M. Smiljanić**, „Minijaturni Piezootporni Senzor Pritiska SP12“, novi proizvod, TR 32008, korisnici Elektroprivreda Srbije, Železnice Srbije, 2011.

M83 Novo laboratorijsko postrojenje, novo eksperimentalno postrojenje, novi tehnološki postupak (uz dokaz):

1. Ž. Lazić, J. Matović, **M. M. Smiljanić**, M. Sarajlić, „Tehnološki postupak oslobađanja SiO₂ mikrogredica iz rastvora“, novi tehnološki postupak, TR-6151 MNTR, korisnik IHTM, 2007
2. **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, "Formiranje MEMS struktura sa više nivoa uz pomoć maskless nagrizanja", novi tehnološki postupak, TR-6151 MNTR, korisnik IHTM, 2007
3. V. Jović, J. Lamovec, D. Tanasković, **M. M. Smiljanić**, M. Vorkapić, B. Popović, M. Popović, Ž. Lazić, „Realizacija dubokih otvora u monokristalnom Si sa ciljem inkapsulacije mikro-elektro-mehaničkih (MEM) komponenti“, novi tehnološki postupak, TR-11025 MNTR Beograd, korisnik IHTM, 2010

M84 Tehnička rešenja: Bitno poboljšani postojeći proizvod ili tehnologija,

1. **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, Z. Đurić, M. Matić, J. Matović, „Modifikovani SP-6 senzor niskog pritiska sa bosom koji je određen {311} ravnima“, bitno poboljšani postojeći proizvod, TR-6151 MNTR Beograd, korisnik IHTM, 2007
2. Z. Đurić, V. Jović, M. Popović, Ž. Lazić, K. Radulović, **M. M. Smiljanić**, „Zaštita Si pločica u procesima vlažnog nagrizanja pri izradi mikroeletromehaničkih komponenata i sistema (MEMS)“, poboljšana postojeća tehnologija, TR-11027 MNTR Beograd, korisnik IHTM, 2009
3. Ž. Lazić, Z. Đurić, M. Popović, **M. M. Smiljanić**, „Postupak dvostrane fotolitografije za izradu MEMS-NEMS struktura“, bitno poboljšani tehnološki postupak, TR-11027 MNTR Beograd, korisnik IHTM, 2009
4. M. Matić, V. Jović, B. Popović, M. Vorkapić, **M. M. Smiljanić**, J. Lamovec, D. Tanasković, M. Popović, Ž. Lazić, „Montaža MEM piezorezistivnih senzora relativnog pritiska korišćenjem niskotopivog stakla (‘‘glass frit’’)“, bitno poboljšani tehnološki postupak, TR-11025 MNTR Beograd, korisnik IHTM, 2010
5. Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, M. Popović, Z. Đurić, „Poboljšanje tehnološkog procesa fotolitografije uvođenjem hromnih fotolitografskih maski i pozitivnog fotorezista“, bitno poboljšana postojeća tehnologija, TR-11027 MNTR Beograd, korisnik IHTM, 2010

M85 Tehnička rešenja: Prototip; nova metoda; softver, instrument:

1. Z. Đurić, Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, I. Jokić, D. Vasiljević-Radović, D. Randelović, K. Radulović, „Zlatne AFM-gredice U- i V-oblika za merenje

- magnetske sile, magnetskog polja i intenziteta struje u provodnicima“, laboratorijski prototip, TR-6151 MNTR, korisnik IHTM, 2007
2. Z. Đurić, I. Jokić, D. Vasiljević-Radović, D. Ranđelović, **M. M. Smiljanić**, „Metoda karakterizacije konstante krutosti provodne mikrogredice merenjem ugiba gredice pod dejstvom magnetske sile u polju stalnog magneta“, nova metoda, TR-6151 MNTR, korisnik IHTM, 2007
 3. Ž. Lazić, **M. M. Smiljanić**, M. Popović, „Piezootporna bimaterijalna mikrogredica na SOI“, novi tehnološki postupak, TR-6151 MNTR, korisnik IHTM, 2007
 4. Z. Đurić, I. Jokić, D. Vasiljević-Radović, D. Ranđelović, **M. M. Smiljanić**, M. Frantlović, „Metoda za merenje malih elektromagnetskih sila pomoću AFM-a u statičkom i dinamičkom režimu rada“, nova metoda, TR-6151 MNTR, korisnik IHTM, 2007
 5. **M. M. Smiljanić**, Z. Đurić, Ž. Lazić, B. Popović, M. Popović, „Transdjuser pritiska gasova za visoke temperature“, laboratorijski prototip, TR-6101 MNTR, korisnik IHTM, 2007.
 6. Z. Đurić, I. Jokić, **M. M. Smiljanić**, Ž. Lazić, D. Ranđelović, D. Vasiljević-Radović, K. Radulović, M. Frantlović, „Mikrogredice od zlata za detekciju i merenje malih koncentracija žive u gasovitoj sredini“, laboratorijski prototip, TR-11027 MNTR Beograd, korisnik IHTM, 2008

Projekti:

- 2003.-2004. „**Mikrosistemske i nanosistemske tehnologije za senzore i optoelektroniku**“ IT.1.04.0062.B, Ministarstvo za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije.
- 2005.-2007. „**Mikro i nanosistemske tehnologije, strukture i senzori**“ TR-6151B, Ministarstvo nauke Republike Srbije.
- 2005.-2008. „**Micro-nano cantilever based detection of small electromagnetic forces**“, SCOPES IB 7320-110923, Swiss National Science Foundation.
- 2008.-2011. „**Mikrosistemske, nanosistemske tehnologije i komponente**“ TR-11027, Ministarstvo za nauku Republike Srbije.
- 2008.-2012. „**Reinforcement of Regional Microsystems and Nanosystems Center - REGMINA**“, FP7 REGPOT EU 205533.
- 2011.- „**Mikro, nano-sistemi i senzori za primenu u elektroprivredi, procesnoj industriji i zaštiti životne sredine – MiNaSiS**“, TR 32008, Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije.

Usavršavanja:

Kurs „**Smart sensors systems**“, Univerzitet u Delftu, Holandija, april 2009.

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Naučno-istraživački rad kandidata Milčeta M. Smiljanić je posvećen MEMS tehnologijama. Njen eksperimentalni rad na razvoju različitih tehnoloških procesa ima uvek za rezultat primenu u izradi MEMS senzora. Rezultati kandidata koji su predstavljeni naučnim radovima i tehničkim rešenjima u potpunosti je kvalifikuju za rad na predloženoj temi.

2. Predmet i cilj istraživanja

2.1. Predmet istraživanja

Vlažno hemijsko nagrivanje silicijuma se smatra standardnim tehnološkim procesom u mikromašinstvu i izradi MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) senzora. U zapreminskom (*bulk*) mikromašinstvu senzori se proizvode uklanjanjem velikih zapremina supstrata tehnološkim procesom nagrivanja. Anizotropno nagrivanje je najčešći tehnološki proces u zapreminskom mikromašinstvu, jer omogućava dobru kontrolu dimenzija nagrivanog strukture. Vlažno hemijsko anizotropno nagrivanje silicijuma u vodenom rastvoru kalijum hidroksida (KOH) je jedan od najprisutnijih procesa u tehnologiji mikromašinstva i parametri ovog procesa su poznati. Međutim, nagrivanjem u vodenom rastvoru KOH dolazi do ugradnje nepoželjnih pokretnih jona u maskirajući sloj silicijum dioksida koji mogu uticati na električne karakteristike senzora. Alternativa tehnološkom procesu nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru KOH je nagrivanje silicijuma u vodenom rastvoru tetrametil-amonijum hidroksida (TMAH). Nagrivanjem u vodenom rastvoru TMAH ne dolazi do pojave pokretnih jona što omogućava postprocesiranje silicijumskih supstrata. Postprocesiranje daje više slobode u redosledu tehnoloških procesa izrade, a samim tim i u projektovanju silicijumskih senzora. Druga važna prednost TMAH u odnosu na KOH je dobijanje mnogo kvalitetnijih silicijumskih površina, što utiče na kvalitet samih MEMS senzora. Za razliku od nagrivanja u vodenom rastvoru KOH, parametri nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH nisu dovoljno određeni i postoji velika potreba za usavršavanjem ovog tipa tehnološkog procesa nagrivanja.

2.2. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je usavršavanje tehnološkog procesa vlažnog hemijskog anizotropnog nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH, određivanje njegovih do sada neustanovljenih parametara i primena u izradi MEMS senzora. Namera je da se na osnovu određivanja kristalografskih ravni i njihovih brzina nagrivanja objasni mehanizam anizotropnog nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH. Mehanizam nagrivanja će dati potrebne parametre za razvoj različitih tehnika nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH. Osvojene tehnike nagrivanja će se primeniti u izradi trodimenzionalnih silicijumskih struktura, novih MEMS senzora i poboljšavanju postojećih senzorskih struktura.

2.3. Osvrt na relevantne bibliografske izvore

Reference [1-13] prikazuju rezultate više grupa autora koji se bave razvojem tehnološkog procesa vlažnog hemijskog procesa u vodenom rastvoru TMAH. Ovi radovi pokazuju prednosti nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH u odnosu na nagrivanje silicijuma u vodenom rastvoru KOH. Međutim, ovi autori i njihov rad su koncentrisani na pojedinačne pojave i efekte koju nisu dovoljni da bi se shvatio opšti mehanizam nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH. Njihovi rezultati ne daju sve

potrebne parametre koji bi omogućili projektovanje različitih MEMS senzora i trodimenzionalnih silicijumskih struktura sa vođenjem računa o ograničenjima samog tehnološkog procesa.

Reference

- [1] Fruhauf J 2005 *Shape and Functional Elements of the Bulk Silicon Microtechnique* (Berlin: Springer-Verlag)
- [2] Li X, Bao M and Shen S 1996 Maskless etching of three-dimensional silicon structures in KOH *Sensors and Actuators A* 57 47-52
- [3] Resnik D, Vrtacnik D, Aljancic U and Amon S 2000 Wet etching of silicon structures bounded by (311) sidewalls *Microelectronic Engineering* 51-52 555-566
- [4] Resnik D, Vrtacnik D and Amon S 2000 Morphological study of {311} crystal planes anisotropically etched in (100) silicon: role of etchants and etching parameters *J. Micromech. Microeng.* 10 430-439
- [5] Shikida M, Nanbara K, Koizumi T, Sasaki H, Odagaki M, Sato K, Ando M, Furuta S and Asaumi K 2002 A model explaining mask-corner undercut phenomena in anisotropic silicon etching: a saddle point in the etching-rate diagram *Sensors and Actuators A* 97-98 758-763
- [6] Bagolini A, Faes A and Decarli M 2010 Influence of etching potential on convex corner anisotropic etching in TMAH solution *IEEE J. Microelectromech. Syst.* Vol. 19 No. 5 1254-1259
- [7] Pal P, Sato K, Shikida M and Gosalvez M A 2009 Study of corner compensating structures and fabrication of various shape of MEMS structures in pure and surfactant added TMAH *Sensors and Actuators A* 154 192-203
- [8] Pal P, Sato K and Chandra S 2007 Fabrication techniques of convex corners in a (100)-silicon wafer using bulk micromachining: a review *J. Micromech. Microeng.* 17 R111-R133
- [9] Mukhiya R, Bagolini A, Margesin B, Zen M and Kal S 2006 <100> bar corner compensation for CMOS compatible anisotropic TMAH etching *J. Micromech. Microeng.* 16 2458-2462
- [10] Zubel I, Barycka I, Kotowska K and Kramkowska M 2001 Silicon anisotropic etching in alkaline solution IV: The effect of organic and inorganic agents on silicon anisotropic etching process *Sensors and Actuators* 87 163-171
- [11] Trieu H K and Mokwa W 1998 A generalized model describing corner undercutting by the experimental analysis of TMAH/IPA *J. Micromech. Microeng.* 8 80-83
- [12] Pal P, Sato K, Gosalvez M A and Shikida M 2007 Study of rounded concave and sharp edge convex corners undercutting in CMOS compatible anisotropic etchants *J. Micromech. Microeng.* 17 2299-2307
- [13] Sato K, Shikida M, Yamashiro T, Asaumi K, Iriye Y, Yamamoto 1999 Anisotropic etching rates of single-Crystal silicon for TMAH water solution as a function of crystallographic orientation *Sensors and Actuators* 73 131-137

3. Polazne hipoteze

Doktorska disertacija polazi od poznatog ali ne i dovoljno ispitanog tehnološkog procesa vlažnog hemijskog nagrizanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH. Polazne

hipoteze su osnovni parametri nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH. Standardno projektovanje specifičnih fotolitografskih maski i određivanje redosleda radnji u tehnološkom procesu nagrivanja silicijuma definiše postavku eksperimenta. Rezultati eksperimenta će biti parametri i mehanizam nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH koji do sada u literaturi nisu određeni niti objašnjeni.

4. Naučne metode istraživanja

Rad na doktorskoj disertaciji će obuhvatiti sledeće naučne metode istraživanja:

- sistematsko proučavanje literature iz oblasti disertacije;
- eksperimentalni rad koji će se sastojati od razvoja *maskless* tehnike vlažnog hemijskog anizotropnog nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH;
- analiza rezultata eksperimentalnog rada koja će ustanoviti sve kristalografske ravni koje se pojavljuju tokom nagrivanja, odrediti njihove brzine nagrivanja i objasniti se mehanizam nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH;
- izvođenje analitičkih formula potrebnih za definisanje parametara tehnika nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH;
- razvoj tehnika nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH čiji će parametri biti eksperimentalno potvrđeni;
- primena osvojenih tehnika u izradi MEMS senzora i trodimenzionalnih silicijumskih struktura;
- razvoj mernih metoda kojima će biti okarakterisani prototipovi MEMS senzora;
- analiza rezultata merenja prototipova MEMS senzora.

5. Očekivani naučni doprinos

Mehanizam anizotropnog nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH će biti objašnjen i omogućiće definisanje parametara novih tehnika nagrivanja. Osvojene tehnike nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH primeniće se u izradi prototipova novih silicijumskih senzorskih struktura. Merenja ovih prototipova treba da potvrde uspešnost primenjenih tehnika i dovedu do poboljšanja parametara MEMS senzora. Objašnjen mehanizam i osvojene tehnike anizotropnog nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH će dati smernice za dizajn i tehnološku izradu novih MEMS senzora i trodimenzionalnih silicijumskih struktura. Očekuje se da dobijeni parametri nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH i osvojenih tehnika nagrivanja budu novi rezultati na svetskom nivou.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Posle proučavanja literature iz oblasti vlažnog hemijskog nagrivanja silicijuma i MEMS senzora, definiše se osnovne postavke za eksperimentalni rad nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH. Razvojem *maskless* tehnike vlažnog hemijskog anizotropnog nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH će se ustanoviti sve kristalografske ravni koje se pojavljuju i nestaju tokom nagrivanja i odrediti njihove brzine nagrivanja. Mehanizam nagrivanja u vodenom rastvoru TMAH će omogućiti izvođenje analitičkih formula potrebnih za definisanje parametara tehnika nagrivanja u

vodenom rastvoru TMAH. Osvojene tehnike nagrivanja, njihove analitičke formule i parametri će biti eksperimentalno potvrđeni i primenjeni u izradi MEMS senzora i trodimenzionalnih silicijumskih struktura. Prototipovi MEMS senzora će biti okarakterisani odgovarajućim mernim metodama, biće dati rezultati merenja i njihova analiza.

Struktura rada će imati sledeći oblik:

1. Uvod
2. Kristalografija silicijuma
3. Mikromašinstvo, tehnološki proces vlažnog hemijskog nagrivanja
4. Nagrivanje silicijuma u vodenom rastvoru TMAH
5. Trodimenzionalne silicijumske strukture i MEMS senzori
6. Zaključak
7. Literatura

7. Zaključak i predlog

Na osnovu izloženog, komisija konstatuje da magistar elektrotehnike Milče M. Smiljanić ispunjava potrebne uslove da može pristupiti izradi doktorske disertacije pod naslovom „**Nove primene procesa nagrivanja silicijuma u vodenom rastvoru TMAH u izradi MEMS senzora**“. Predložena tema je od praktičnog značaja za oblast MEMS tehnologija, kako u naučno-istraživačkom radu tako i u industrijskoj primeni. Stoga komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da odobri Milčetu M. Smiljanić izradu doktorske disertacije pod rukovodstvom Dr Zorana Jakšića, naučnog savetnika IHTM-CMTM.

U Beogradu 26. 12. 2012. godine

Članovi komisije

Dr Zoran Jakšić, naučni savetnik
IHTM-CMTM, Univerzitet u Beogradu

Dr Milan Tadić, redovni profesor
Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr Peđa Mihailović, docent
Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu