

Realizacija Si mikrogedica vlažnim hemijskim nagrivanjem na podlogama {100} orijentacije primenom $\langle 100 \rangle$ kompenzacionih traka

Vesna Jović, Member, IEEE, Jelena Lamovec, Ivana Mladenović, Milče Smiljanić i Žarko Lazić

Apstrakt—U ovom radu je prikazan način realizacije mikrogedica na Si supstratu {100} orijentacije postupcima zapreminskog mikromašinstva. Rastvor za anizotropno nagrivanje je bio vodeni rastvor 30 tež. % KOH na temperaturi od 80 °C. Istraživanje je skoncentrisano na određivanje dimenzija kompenzacione strukture u vidu trake orijentisane u $\langle 100 \rangle$ pravcu kod koje postoji i bočno i čeonu nagrivanje. Opisana je procedura za određivanje prirode najbrže nagrivajuće ravni i odnosa brzine nagrivanja ove ravni i podloge, jer su to parametri, osim dimenzija mikrogedice, koji se moraju poznavati da bi se odredile dimenzije kompenzacije konveksnih uglova pri anizotropnom hemijskom nagrivanju.

Ključne reči—Anizotropno vlažno nagrivanje; podgrivanje konveksnih uglova; MEMS; Si mikrogedice; kompenzaciona šema u vidu traka $\langle 100 \rangle$ orijentacije na Si {100} podlozi.

I. UVOD

Vlažno hemijsko nagrivanje, i izotropno i anizotropno, se koristi u procesiranju poluprovodničkog Si od početka razvoja ove tehnologije polovinom XX veka [1]. Ono je i danas preovlađujući metod nagrivanja i u brzorazvijajućim tehnologijama izrade mikro/nano elektro-mehaničkih sistema (MEMS i NEMS). Široka rasprostranjenost vlažnog anizotropnog nagrivanja nije posledica samo njegove jednostavne primene i relativno niske cene, već i mogućnosti da se njime realizuju glatke površine poluprovodnika bez oštećenja u zapremini monokristala sa izuzetno tačno definisanim uglovima među pojedinim ravnima [2,3]. 3D strukture (gedice, membrane, šiljci, i sl.) koje su integralni deo MEM/NEM sistema se najčešće realizuju na Si podlogama {100} orijentacije gde je moguće realizovati strukture i sa vertikalnim i sa kosim zidovima [3] podešavanjem orijentacije otvora u maskirajućem materijalu prema pravcu $\langle 100 \rangle$ koji se poklapa sa pravcem primarnog zaravnjenja na podlogama ove orijentacije.

Problem podsecanja konveksnih uglova i traženje rešenja za njegovo prevazilaženje je star koliko i samo oblikovanje Si struktura anizotropnim hemijskim nagrivanjem [4,5]. Tipično,

na konveksni ugao se dodaje kompenzacija čiji je cilj da lokalno spreči podsecanje zadanog ugla vlastitim podgrivanjem u toku procesa realizacije zadate strukture. U literaturi postoji čitav niz predloženih kompenzacija različitih geometrijskih oblika za zadate orijentacije konveksnih uglova, rastvora u kojima se odvija anizotropno nagrivanje i uslove nagrivanja. Postoje i pokušaji predviđanja topoloških karakteristika za pojedinačne slučajeve i postavljanja određenih zakonitosti iz kojih bi automatski bilo moguće predvideti optimalan kompenzacioni šablon [6,7]. U praksi se najčešće bira tip kompenzacije koji je optimalna po nekom kriterijumu, npr. zauzima najmanje prostora, a onda se tačno određivanje dimenzija kompenzacije radi na osnovu eksperimentalnih rezultata nagrivanja u izabranom rastvoru. Ovaj pristup ćemo i mi usvojiti u ovom radu primenjen na poseban tip kompenzacione strukture u vidu trake orijentisane u $\langle 100 \rangle$ pravcu na Si {100} orijentacije [7,8].

Razvoj tehnologija mikromašinstva rezultovao je proizvodnjom različitih minijaturnih senzora, aktuatora, rezonatora i elektromagnetnih komponenti. Mikrogedice su jedna tip veoma osetljivih senzora koji se mogu primeniti u fizičkim, hemijskim, biološkim i mehaničkim sistemima [9]. S obzirom da su senzori na mikrogedicama vrlo osetljivi, fleksibilni i pouzdani, koriste se za detekciju malih promena u osobinama veličina koje se detektuju i to tako što se detektuje promena ugiba mikrogedica ili promena rezonantne frekvencije. Shodno sa navedeni, rezonantna frekvencija ili tzv. Q faktor vibrirajuće gedice su izlazni signali za senzore na mikrogedicama. Navedeni signali i njihova promena zavise i od same prirode mikrogedice (materijal, oblik, dimenzije i sl.) i od spoljnih uticaja kao što su sila, pritisak, temperatura, viskozitet i gustina medijuma u kome gedica osciluje, itd.

Mikrogedice kao rezonantni elementi mogu da se koriste i za ispitivanje mehaničkih osobina materijala [10].

U ovom radu će biti prikazan niz tehnoloških postupaka kojima se postupcima zapreminskog mikromašinstva realizuju silicijumske mikrogedice koje će se koristiti za dalji rad na sensorima sa fotoakustičnom pobudom.

II. OPIS EKSPERIMENTALNOG RADA

Mikrogedice se realizuju polazeći od Si podloga n-tipa provodnosti (P je dopant) specifične otpornosti 3-5 $\Omega\cdot\text{cm}$, odnosno koncentracije nosilaca naelektrisanja $1.5 \cdot 10^{15} - 9.0$

Vesna Jović – Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju - Centar za mikroelektronske tehnologije, Njegoševa 12, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: vjovic@nanosys.ihtm.bg.ac.rs).

Jelena Lamovec – isto (e-mail: jejal@nanosys.ihtm.bg.ac.rs).

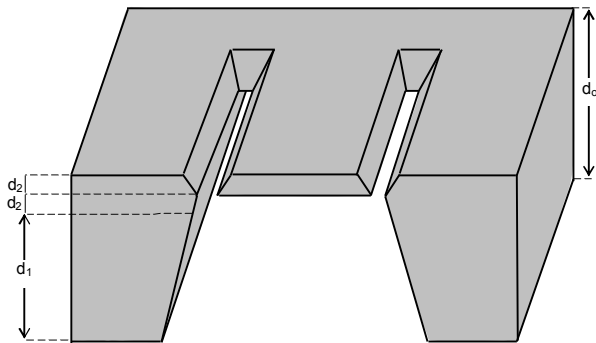
Ivana Mladenović – isto (e-mail: ivana@nanosys.ihtm.bg.ac.rs).

Milče Smiljanić – isto (e-mail: smilce@nanosys.ihtm.bg.ac.rs).

Žarko Lazić – isto (e-mail: zlazic@nanosys.ihtm.bg.ac.rs).

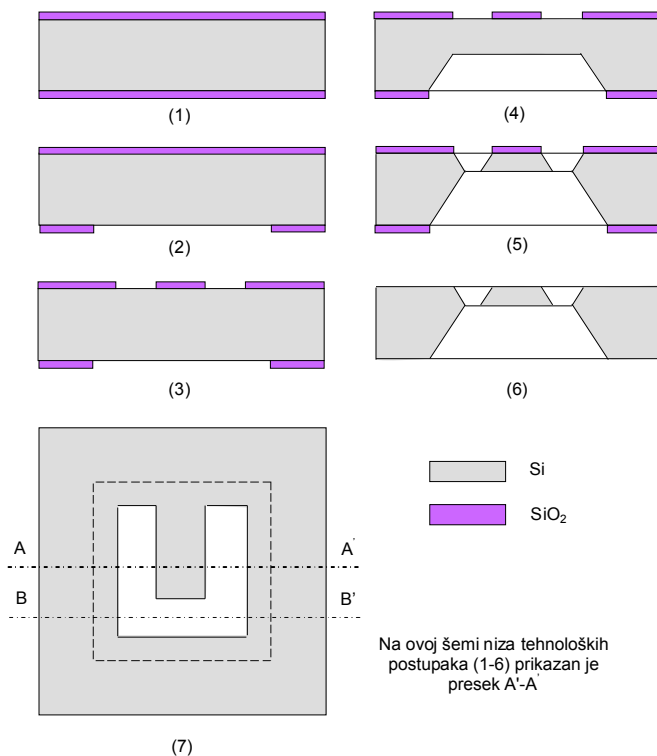
10^{14} cm^{-3} na sobnoj temperaturi. Orijehtacija Si podloge je $\{100\} \pm 0.5^\circ$, a orijentacija primarnog zaravnjenja, prema kome se podešavaju svi pravci pri fotolitografskim postupcima, je $\langle 110 \rangle \pm 0.5^\circ$. Podloge su obostrano ogledalasto polirane, debljine $400 \mu\text{m}$, i prečnika 75 mm .

Šematski prikaz gređice je na Sl. 1, gde je sa d_0 označena debljina Si podloge na kojoj se gređica realizuje. Gređica je orijentisana u $\langle 110 \rangle$ pravcu.



Sl. 1. Šematski prikaz realizovane mikrogređice. Prikazan je presek duž linije B-B' sa Sl. 2.

Na Sl. 2. je niz tehnoloških postupaka zapreminskog mikromašinstva [11] kojima se realizuju gređice zadatih dimenzija i oblika.



Sl. 2. Šema niza tehnoloških postupaka zapreminskog mikromašinstva kojima se realizuje mikrogređica. (7) je šematski prikaz mikrogređice sa gornje strane.

Podloga Si se termički oksidiše sa obe strane, (1) na Sl. 2. Termička oksidacija Si se odvija na 1200°C u kiseoniku koji

je zasićen vodenom parom (parcijalni pritisak vode u nosećem gasu, O_2 , je jednak naponu pare vode na 90°C). Vreme oksidacije je određeno željenom debljinom oksida, koja je u ovom slučaju $1.2 \mu\text{m}$.

Na oksidisanim pločicama se klasičnim fotolitografskim postupkom definišu otvori u termičkom oksidu (SiO_2) koji služi kao maskirajući materijal u narednim postupcima vlažnog hemijskog nagrizanja čiji je cilj da se definiše mikrogređice zadatih dimenzija. Otvori zadatih dimenzija se definišu i sa donje strane oksidisane Si podloge (2) i sa gornje strane oksidisane silicijumske pločice (3) dvema fotolitografskim maskama. Ovo su klasični fotolitografski postupci, s tim što je pri eksponiranju korišćeno dvostrano podešavanje na komercijalnom alajneru EVG 620. Ovaj uređaj proizvodi austrijska kompanija „EV Group“ i uređaj spada u grupu optičkih alajnera sa deklarisanom tačnošću podešavanja od $\pm 1.0 \mu\text{m}$ u 3σ intervalu na gornjoj strani supstrata i tačnošću podešavanja od $1.5 \mu\text{m}$ u 3σ intervalu na donjoj strani supstrata.

Oksid Si, se delimično skida sa površina na kojima je to i predviđeno fotolitografskim postupkom, hemijskim nagrizanjem u puferovanom rastvoru HF i NH_4F .

Po okončanom fotolitografskom postupku, Si supstrat se nagriža u vodenom rastvoru 30 tež. % KOH na temperaturi od 80°C sa donje strane (4, na Sl. 2.). Ovaj rastvor za nagrizanje ima anizotropna svojstva. Pri ovom nagrizanju supstrat se nalazi u držaču koji omogućava da u ovoj fazi gornja strana supstrata bude zaštićena. Dubina nagrizanja je d_1 kao što je označeno na Sl. 1. S obzirom da želimo da realizujemo mikrogređice debljine $100 \mu\text{m}$, a da se radi na podlogama Si debljine $400 \mu\text{m}$, ova dubina nagrizanja je $200 \mu\text{m}$. Kada se supstrat sa donje strane nagriže do d_1 dubine, vadi se iz zaštitnog držača, prebacuje se u novi u kome je moguće ostvariti hemijsko nagrizanje sa obe strane na mestima gde Si nije zaštićen oksidom (5, na Sl. 2.). Hemijsko nagrizanje se odvija u istom rastvoru do dubine od po $100 \mu\text{m}$ sa obe strane supstrata. Ova dubina nagrizanja je označena sa d_2 na Sl. 1. Kraj nagrizanja se uočava kada se supstrat u potpunosti progrize na predviđenim mestima i mikrogređica formira. Dubina nagrizanja se kontrolise merenjem vremena nagrizanja jer je prethodno izvršeno "baždarenje" rastvora u smislu određivanja brzine nagrizanja. Za zadatu dubinu nagrizanja (d), vreme nagrizanja, τ , se određuje kao:

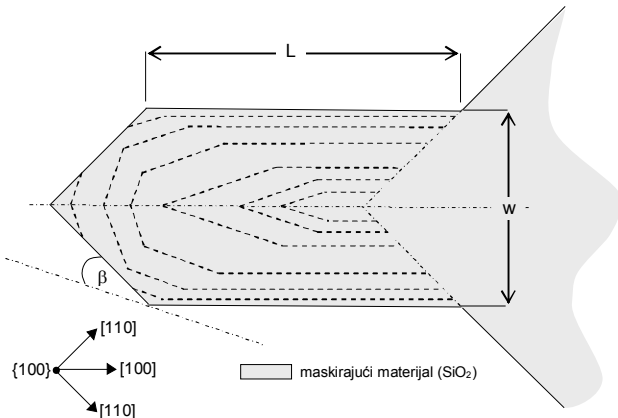
$$\tau = d \cdot R_{(100)}^{-1}, \quad (1)$$

gde je $R_{(100)}$ brzina nagrizanja Si podloge.

A. *Kompenzaciona struktura u vidu trake orijentisane u $\langle 100 \rangle$ pravcu na Si podlozi $\{100\}$ orijentacije*

Da bi se u toku anizotropnog vlažnog hemijskog nagrizanja izbeglo podsecanje konveksnih uglova na mikrogređici, fotolitografska maska koja se primenjuje za definisanje otvora u maskirajućem materijalu sa gornje strane, označeno sa (4)

na šemi sa Sl. 2, sadrži i kompenzacione strukture na konveksnim uglovima mikrogedice. Opredelili smo se za kompenzacionu strukturu u vidu trake širine W i dužine L , koja je orijentisana u $\langle 100 \rangle$ pravcu na Si podlozi $\{100\}$ orijentacije. Kompenzaciona struktura se u toku dejstva rastvora nagriza i sa čeone, pravci $\langle 110 \rangle$, i sa bočnih strana, pravci $\langle 100 \rangle$, u skladu sa šematskim prikazom na Sl. 3.



Sl. 3. Šema sukcesivnih stupnjeva (označeno isprekidanim linijama) vlažnog anizotropnog hemijskog nagrizanja kompenzacione strukture na konveksnom uglu kvadratnog ostrva čije su stranice orijentisane u $\langle 110 \rangle$ pravcu Si podloge. Ovaj tip kompenzacije konveksnih uglova se naziva kompenzacijom u vidu trake orijentisane u $\langle 100 \rangle$ pravcu na Si podlozi $\{100\}$ orijentacije.

Na Sl. 3. isprekidane linije označavaju sukcesivne položaje fronta anizotropnog hemijskog nagrizanja i u suštini predstavljaju položaje tragova najbrže nagrizajućih ravni $\langle hk0 \rangle$ za čeono nagrizenje i $\langle 100 \rangle$ za bočno nagrizenje.

Da bi se odredile dimenzije kompenzacione strukture (L i W na Sl. 3.) za rastvor u kome se vlažnim anizotropnim nagrizanjem realizuju mikrogedice, potrebno je odrediti prirodu najbrže nagrizajuće ravni na konveksnom uglu ostrva čije su stranice u $\langle 110 \rangle$ pravcu na Si supstratu $\{100\}$ orijentacije. Takođe je potrebno odrediti i odnos brzina nagrizanja u pravcima $\langle 100 \rangle$ i $\langle hk0 \rangle$. Ugao β je ugao koji zaklapaju pravac $\langle hk0 \rangle$ i $\langle 110 \rangle$ i on je poznat kada se zna priroda najbrže nagrizajuće ravni u ovoj strukturi.

Iz razmatranja geometrijskih odnosa na Sl. 3. se može pokazati da su analitički izrazi za izračunavanje dimenzija kompenzacije (L i W) dati jednačinama (2) i (3):

$$L = d \left(\frac{\sqrt{2}}{\cos \beta - \sin \beta} \cdot \frac{R_{\langle hk0 \rangle}}{R_{\langle 100 \rangle}} - \frac{2 \sin \beta}{\cos \beta - \sin \beta} \right), \quad (2)$$

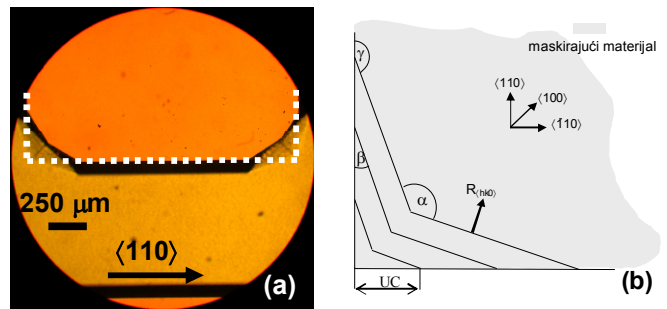
$$W = 2d, \quad (3)$$

gde je sa d označena dubina nagrizanja koja je u ovom slučaju jednaka debljini mikrogedice, označeno sa d_2 na Sl. 1, L i W su dužina i širina kompenzacione trake u $\langle 100 \rangle$ pravcu, a $R_{\langle hk0 \rangle}$ i $R_{\langle 100 \rangle}$ su brzine nagrizanja u $\langle hk0 \rangle$ pravcu najbrže nagrizajuće ravni i u $\langle 100 \rangle$ pravcu, što je u stvari brzina nagrizanja Si supstrata.

Odnos brzine nagrizanja najbrže nagrizajuće ravni na konveksnom uglu kvadratnog ostrva i brzine nagrizanja Si podloge ima konstantnu vrednost $K = R_{\langle hk0 \rangle} (R_{\langle 100 \rangle})^{-1}$ za dati rastvor i uslove nagrizanja.

B. *Određivanje vrednosti podsecanja konveksnih uglova na meza strukturama orijentisanim u $\langle 110 \rangle$ pravcu na Si podlogama $\{100\}$ orijentacije*

Da bi se odredile dimenzije kompenzacije, jed. (2) i (3), za zadatu dubinu nagrizanja, potrebno je odrediti vrednost konstante K i ugla β za vodeni rastvor 30 tež. % KOH i temperaturu nagrizanja od 80 °C. Sa tim ciljem je urađen niz kvadratnih ostrvskih (meza) struktura čije su stranice u $\langle 110 \rangle$ pravcu na Si podlozi $\{100\}$ orijentacije. Ove strukture su nagrize u različitim vremenskim intervalima u navedenom rastvoru sa anizotropnim svojstvima kako bi se pratila zavisnost podsecanja konveksnih uglova na temenima kvadrata. Na Sl. 4.(a) je fotografija meza strukture posle 120 min anizotropnog nagrizanja, a na Sl. 4.(b) je šematski prikaz pomeranja fronta nagrizanja u toku vremena sa označenim podgrizanjem konveksnog ugla, koje je obeleženo sa UC .



Sl. 4.(a) Fotografija sa optičkog mikroskopa u reflektovanoj svetlosti konveksnih uglova kvadratnog ostrva čije su ivice orijentisane u $\langle 110 \rangle$ pravcu na Si podlozi $\{100\}$ orijentacije posle 120 min nagrizanja u vodenom rastvoru 30 tež. % KOH na 80 °C. Bela isprekidana linija označava granice kvadratnog ostrva kako su bile definisane fotolitografskim postupkom u maskirajućem materijalu SiO_2 .

Sl. 4.(b) Šematski prikaz sukcesivnih faza nagrizanja konveksnog ugla na kvadratnoj meza strukturi orijentacije kao pod (a).

Za strukture ove orijentacije se može pokazati da je veličina podgrizanja konveksnog ugla [12]:

$$UC = \frac{K}{\sin \beta} d, \quad (4)$$

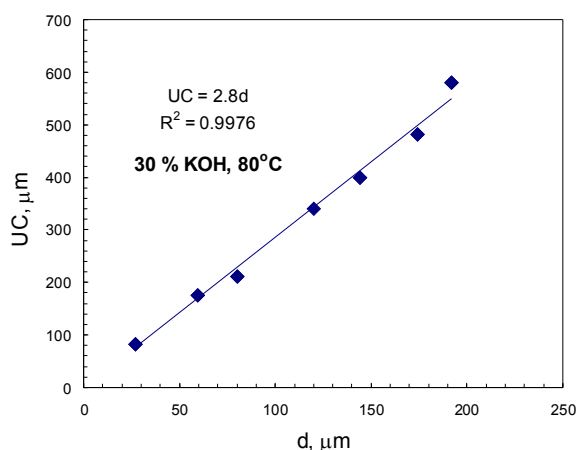
gde je d dubina nagrizanja, K je odnos brzine anizotropnog nagrizanja najbrže nagrizajuće ravni na konveksnom uglu ($R_{\langle hk0 \rangle}$) i brzine anizotropnog nagrizanja podloge ($R_{\langle 100 \rangle}$), a β je ugao između $\langle hk0 \rangle$ i $\langle 110 \rangle$ pravaca.

III. REZULTATI I DISKUSIJA

Da bi dimenzije kompenzacije, jed. (2) i (3) bile određene za zadatu dubinu nagrizanja, potrebno je odrediti vrednosti K i β za rastvor koji se koristi za anizotropno nagrizenje. U nizu eksperimenata je određena zavisnost podsecanja konveksnog ugla od vremena, odnosno dubine anizotropnog nagrizanja.

Na Sl. 5. je grafički prikaz eksperimentalno određene zavisnosti podgrizanja konveksnog ugla od dubine nagrizanja. Ovo je pravolinijska zavisnost tipa:

$$UC = 2.8 \cdot d \quad (5)$$



Sl. 5. Eksperimentalno određena zavisnost veličine podgrizanja (UC) konveksnih uglova na kvadratnom ostrvu čije su stranice orijentisane u $\langle 110 \rangle$ pravcu na Si podlozi $\{100\}$ orijentacije, od dubine nagrizanja (d).

Iz nagiba prave date jed. (5), moguće je odrediti vrednost parametra K , ako je poznata vrednost ugla koji zaklapaju pravci $\langle 110 \rangle$ i $\langle hk0 \rangle$. Ovaj ugao (obebežen sa β na šematskom prikazu sa Sl. 4.b.) se određuje eksperimentalno i na osnovu njegove vrednosti, kombinovane sa vrednostima određenih vrednosti uglova α i γ (Sl. 4.b.) određena je i priroda najbrže nagrizajuće ravni na konveksnom uglu navedene orijentacije. Dobijeni rezultati su sumirani u Tabeli I.

TABELA I

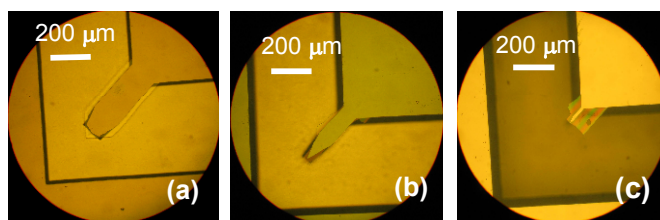
NEKI OD PARAMETARA PODGRIZANJA KONVEKSNIH UGLOVA NA KVADRATNOM OSTRVU ČIJE SU STRANICE PARALELNE $\langle 110 \rangle$ PRAVCU NA SI $\{100\}$ ORIJENTACIJE. RASTVOR JE 30 TEŽ. % KOH NA 80 °C,

$R_{\langle 100 \rangle}$, $\mu\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	K	$R_{\langle hk0 \rangle}$, $\mu\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	$UC\cdot d^{-1}$	α , °	β , °	γ , °
eksperimentalni podaci						
1.2	1.4	1.7	2.8	149.2	29.7	150.4°
podaci za $\langle 410 \rangle$ ravan						
				151.9	30.9	149.0

Pokazuje se da je u ovom slučaju najbrže nagrizajuća ravan na konveksnom uglu na ostrvu opisane orijentacije, neka od ravni koja sadrži pravac $\langle 410 \rangle$.

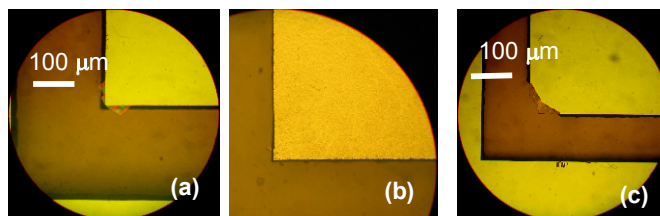
Poznavanje ovih podataka nam omogućava da odredimo dimenzije kompenzacionih traka za gredicu prikazanu na Sl. 1 U ovom slučaju debljina gredica je $100 \mu\text{m}$, odnosno jednaka je jednako dubini nagrizanja d u jed. (2) i (3). Na osnovu eksperimentalnih podataka za zadate uslove nagrizanja, određena je dužina kompenzacione strukture $L = 290 \mu\text{m}$, jed. (2), i njena širina $W = 200 \mu\text{m}$, jed. (3).

Na fotografijama sa Sl. 6.a. do Sl. 6.c. sa metalurškog mikroskopa prikazano je kako se kompenzaciona struktura, čije su dimenzije određene na opisani način, na jednom konveksnom uglu mikrogedice podgriza u procesu njene realizacije.



Sl. 6. Fotografije sa metalurškog mikroskopa kompenzacije u vidu trake u pravcu $\langle 100 \rangle$ na Si podlozi $\{100\}$ orijentacije, na konveksnim uglovima mikrogedice posle 20 min (a), 45 min (b) i 90 min (c) nagrizanja u vodenom rastvoru KOH koncentracije 30 tež. % na temperaturi od 80 °C.

Sledeće dve fotografije (Sl. 7.a. i Sl. 7.b.) prikazuju konveksne uglove kompletno realizovane gredice sa gornje i donje strane, respektivno. Konveksni uglovi su zadržali projektovani oblik. Bočne strane mikrogedice praktično su samo $\{111\}$ ravni, koje su i najsporije nagrizajuće ravni u ovom rastvoru. Na Sl. 7.c. je slika konveksnog ugla mikrogedice na kome nije primenjena kompenzaciona traka i koji je stoga značajno podgrizen, odnosno realizovana mikrogedica bez primenjene kompenzacije nema očuvanu geometriju.



Sl. 7. Izgled uglova gredice koja je realizovana sa kompenzacionom trakom u $\langle 100 \rangle$ pravcu. Na slici pod (a) je prikaz ugla sa gornje (zaštićene) strane pri čemu zaštitni oksid još nije skinut. Pod (b) je fotografija istog ugla sa donje strane mikrogedice sa koje se mikrogedica i nagrizava duž čitave izložene površine. Na slici pod (c) je fotografija ugla koji tokom realizacije gredice vlažnim hemijskim nagrizanjem uopšte nije bio zaštićen kompenzacionom strukturom.

Izgled realizovane mikrogedice ukazuje na ispravan pristup u određivanju dimenzija ovog tipa kompenzacije podgrizanja konveksnih uglova pri anizotropnom hemijskom nagrizanju.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan niz tehnoloških postupaka izrade mikrogedice orijentisane u $\langle 110 \rangle$ pravcu na Si supstratu $\{100\}$ orijentacije. Mikrogedica se realizuje postupcima zapreminskog mikromašinstva pri čemu se koristi vlažno anizotropno hemijsko nagrizanje u vodenom rastvoru KOH koncentracije 30 tež. % na 80 °C. Podsecanje konveksnih uglova pri anizotropnom nagrizanju je nepoželjna pojava koja utiče na promenu oblika projektovane strukture. Da bi se to

sprečilo, na konveksnim uglovima mikroredice je primenjena kompenzaciona struktura koja se u toku nagrizanja sama podgriza i na taj način štiti konveksni ugao čiji oblik je potrebno održati. U ovom radu je opisana primena kompenzacione strukture u vidu trake orijentisane u $\langle 100 \rangle$ pravcu koja se nagrizi i bočno i čeno, tzv. otvorena kompenzaciona traka u $\langle 100 \rangle$ pravcu. Da bi se odredile dimenzije kompenzacione strukture ovog tipa potrebno je odrediti prirodu najbrže nagrizajuće ravni za ugao na ostrvu orijentisanom u $\langle 110 \rangle$ pravcu i odnos brzine nagrizanja ove ravni i brzine nagrizanja ravni Si podloge. Utvrđeno je da najbrže nagrizajuća ravan sadrži neki od pravaca $\langle 410 \rangle$ i da je odnos brzina nagrizanja $K = R_{\langle 410 \rangle} / (R_{\langle 100 \rangle})^{-1}$ jednak 1.4. Iz eksperimentalno određene vrednosti parametra K , uz određenu brzinu nagrizanja Si podloge, moguće je odrediti i brzinu nagrizanja najbrže nagrizajuće ravni na konveksnom uglu ostrva orijentisanog u $\langle 110 \rangle$ pravcu na Si supstratu $\{100\}$ orijentacije u rastvoru KOH koncentracije 30 tež. % na 80 °C kao $R_{\langle 410 \rangle} = 1.7 \mu\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata TR 32008: "Mikro, nano-sistemi i senzori za primenu u elektroprihvodi, procesnoj industriji i zaštiti životne sredine"

LITERATURA

- [1] K. E. Bean, "Anisotropic etching of silicon", *IEEE T ELECTRON DEV*, vol. ED-25, no. 10, pp. 1185-1193, 1978.
- [2] M. A. Gosálvez, I. Zúbel, E. Viinikka, "Wet etching of silicon", in a *Handbook of silicon based MEMS materials and technologies*, ch. 24, pp. 375-407, Oxford, UK, William Andrew, 2010.
- [3] J. Frühauf, *Shape and Functional Elements of the Bulk Silicon Microtechnique*, 1st ed. Berlin, Germany, Springer, 2005.
- [4] P. Pal, K. Sato, S. Chandra, "Fabrication techniques of convex corners in a (100)-silicon wafer using bulk micromachining: a review", *J. Micromech. Microeng.*, vol. 17, pp. R111-R133, 2007.
- [5] W. Fan, D. Zhang, "A simple approach to convex corner compensation in anisotropic KOH etching on a (100) silicon wafer", *J. Micromech. Microeng.*, vol. 16, pp. 1951-1957, 2006.
- [6] Y. Han, L. Weihua, "A novel compensation method for polygonized mesa structures on (100) silicon substrate", *Journal of Semiconductors*, vol. 31, no. 6, pp. 1-6, 2010.
- [7] R. A. Buser, N. F. de Rooij, "Monolithisches Kraftsensorfeld," *VDI-Berichte*, no. 677, Sensoren, Technol. Anwendung, pp. 115-123, 1988.
- [8] G. K. Mayer, H. L. Offereins, H. Sandmaier, K. Köhl, "Fabrication of non-underetched convex corners in anisotropic etching of (100) – silicon in aqueous KOH with respect to novel micromechanic elements", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 137, no. 12, pp. 3947-3951, December 1990.
- [9] Philip S. Waggoner and Harold G. Craighead, "Micro- and nanomechanical sensors for environmental, chemical, and biological detection", *Lab Chip*, vol. 7, pp. 1238–1255, 2007.
- [10] H. D. Espinosa, B. C. Prorok, M. Fischer, "A methodology for determining mechanical properties of freestanding thin films and MEMS materials", *J MECH PHYS SOLIDS*, vol. 51, pp. 47 – 67, 2003.
- [11] M. Madou: *Fundamentals of microfabrication*, 1st ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1997.
- [12] V. Jović, J. Lamovec, M. Popović, "Investigation of Silicon Anisotropic Etching in Alkaline Solutions with Propanol Addition", Proc. 26th International Conference on Microelectronics (MIEL 2008), Niš, Serbia, 11-14 may, 2008.

ABSTRACT

This paper presents microcantilever fabrication on $\{100\}$ oriented Si substrate using bulk micromachining techniques. Solution for anisotropic etching was water solution of 30 wt. % KOH on 80 °C temperature. Investigation concentrates on the study of compensation design for particular structure using a $\langle 100 \rangle$ oriented beam with lateral and frontal etching. Determination procedures for the fastest etching plane and ratio of etching rate of this plane and the substrate plane were described. These data, together with microcantilever dimensions, are necessary for determination of compensating structure which prevents convex corners undercutting during the course of anisotropic etching.

Realization of Si microcantilevers by wet anisotropic etching on $\{100\}$ oriented substrates applying $\langle 100 \rangle$ compensation beams

Vesna Jović, Jelena Lamovec, Ivana Mladenović, Milčec Smiljanić, Žarko Lazić