

Materijali za mikrosisteme

Materijali u izradi mikrosistema

- Mikrosistemi su bazirani na Si kao osnovnom materijalu
 - monokristalni silicijum - monoSi
 - polikristalni silicijum- polySi
- Osim Si u dosta veliku primenu imaju i njegova jedinjenja
 - silicijum dioksid- SiO_2
 - silicijum nitrid- Si_3N_4
 - silicijum karbid- SiC

Ostali materijali za mikrosisteme

- GaAs
- Kvarc
- Piezoelektrični materijali
- Polimeri

Silicijum-Si

- Najrasprostranjeniji element na planeti. Nalazi se u prirodi u obliku jedinjenja sa drugim elementima
- Monokristalni Si – osnovni materijal za supstrat kod Mikrosistema
- Osobine Si koje ga čine pogodnim za primenu:
 - mehanički stabilan materijal koji poseduje čvrstinu čelika, a lak je poput aluminijuma
 - u mehaničkom smislu ne poseduje histerezis – idealan za senzore i pokretače
 - moguća je izrada izrazito ravnih površina silicijuma - dobijanje preciznih tankih filmova i obavljanje preciznih elektromehaničkih funkcija

- poluprovodni materijal čija se provodnost može menjati dopiranjem
- lak za integrisanje drugih materijala u okviru struktura
- – strukturno stabilan na povišenim temperaturama-ima visoku temperaturu topljenja
- poseduje malu vrednost termičkog koeficijenta širenja
- postoji razrađena tehnologija proizvodnje silicijumskih struktura

Monokristalni silicijum

- Ima uređenu kristalnu strukturu – anizotropan materijal
- Dobija se metodom Čohlarskog
- Dobijeni ingoti mogu biti prečnika 100mm - 300mm
- Ingoti se seku na pločice debljine 500 μ m – 1mm
- Površine pločica prate određenu kristalografsku ravan kristala – dobija se materijal različitih osobina
 - Si(100) - najlakši za obradu - sadrži najmanji broj atoma na osnovnoj ravni
 - Si(110) - najčišće površine u izradi
 - Si(111) - najkraće veze između atoma - najčvršća površina → najteži za obradu

Polikristalni silicijum – poly Si

- Sastoji se od mnogo zrna monokristalnog Si proizvoljne orijentacije
- Izotropan materijal – Ne poseduje uređenu kristalnu strukturu u okviru zapremine
- Čvršći od monokristalnog Si
- Obično je visokodopiran - dobar električni provodnik
- Nanosi se na površinu Si supstrata radi formiranja lokalizovanih provodnih oblasti
- Za izradu provodnih mikrostruktura

Jedinjenja silicijuma

➤ Silicijum dioksid- SiO_2

- dobar električni i termički izolator sa niskim koeficijentom termičkog širenja
- dosta jeftin
- pogodan kao materijal za maskiranje u procesu litografije i kao materijal za žrtveni (potporni) sloj kod površinskog mikromašinstva
- jednostavan za dobijanje-Termička oksidacija
 - suva oksidacija - zagrevanje silicijuma u atmosferi kiseonika
 - vlažna oksidacija - izlaganje silicijuma vodenoj pari

➤ Si_3N_4 - silicijum nitrid

- sprečava difuziju vode i drugih jona - otporan na oksidaciju i druge nagrizaјуće reagense
- maskirajući materijal u procesima dubinskog nagrivanja
- izolacioni materijal visoke dielektrične čvrstoće (ima visoku vrednost probojnog napona)
- slojevi se nanose hemijskim napanjanjem iz gasne faze (CVD)
 - pod niskim pritiskom (LPCVD)
 - uz pomoć plazme (PECVD)

➤ SiC - silicijum karbid

- ima visoku tačku topljenja
- otporan na hemijske reakcije - maskirajući materijal u procesima mikromašinstva
- ima visoku mehaničku stabilnost

➤ Piezootporni silicijum

- Promena otpornosti materijala pri primenjenom naprezanju - efekat piezootpornosti.
- Dopirani silicijum n ili p tipa je piezootporni materijal
- Kristalni silicijum je anizotropan materijal - promena otpornosti - ΔR je izrazito zavisna od usmerenosti primenjenog naprezanja - σ , a koeficijent proporcionalnosti predstavlja matrica piezootpornih koeficijenata π .

$$[\mathbf{R}] = [\boldsymbol{\pi}] [\boldsymbol{\sigma}]$$

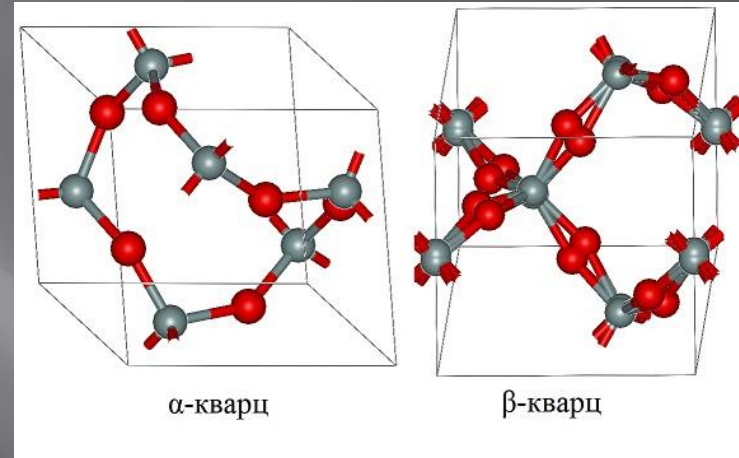
- Nedostatak je izrazita osetljivost piezootpornosti od temperature

GaAs - galijum-arsenid

- Poluprovodno jedinjenje - teži za proizvodnju od Si
- Pogodan za integraciju elektronskih i optikomponenata na jedinstvenom supstratu
- Ima visoku pokretljivost nosilaca
- Dobar termički izolator
- Posедуje nisku mehaničku čvrstoću

Kvarc

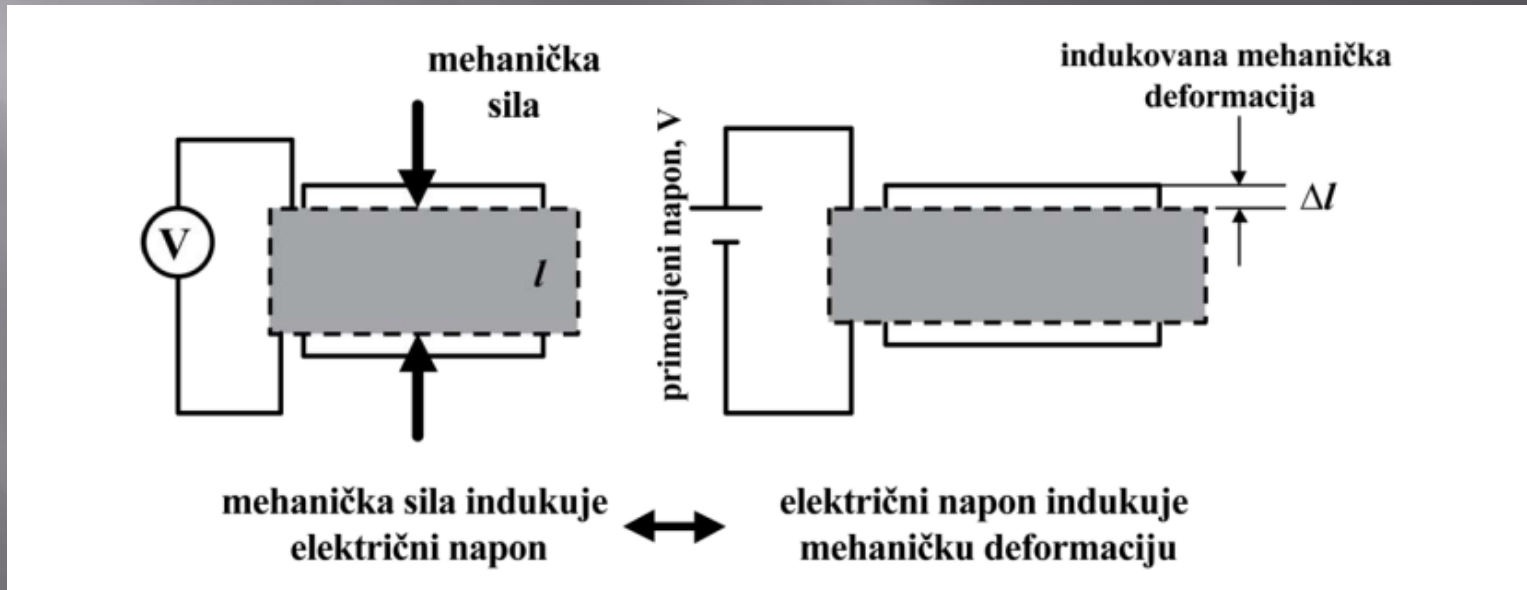
- jedinjenje SiO_2 sa tetraedarskom strukturom



- izrazito dimenziono stabila
- piezoelektričan materijal
- odličan električni izolator
- težak za mašinsku obradu - obrađuje se hemijskim nagrivanjem

Piezoelektrični materiali

- Piezoelektrični material izložen dejstvu mehanične sile na svoji površini indukuje naelektrisanje koje je proporcionalno primenjenoj sili
- Merenjem potencijalne razlike koja postoji na suprotnim stranama komada materijala može se odrediti vrednost primenjene sile



- Ovi materijali poseduju i obrnuti piezoelektrični efekat kada se indukuje mehanička deformacija komada materijala usled primenjene potencijalne razlike na njegovim stranama
- Prirodni piezoelektrični materijali su kvarc i turmalin, a veštački koji se najčešće koriste u mikroinženjerstvu su cink-oksidi i PZT (PbZrTiO_3 –olovo cirkonijum titanat)

Indukovano električno polje

$$K = \frac{V}{l} = g\sigma = g \frac{F}{S}$$

σ (Pa) - mehaničko naprezanje

pod dejstvom sile F na površini S

g (Vm/N) - piezoelektrični koeficiient

Indukovano mehaničko naprezanje (deformacija)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = dK = d \frac{V}{l}$$

V - primenjeni napon

d (m/V) - piezoelektrični koeficiient

Za piezoelektrične koeficijente g i d važi

$$\frac{1}{gd} = E$$

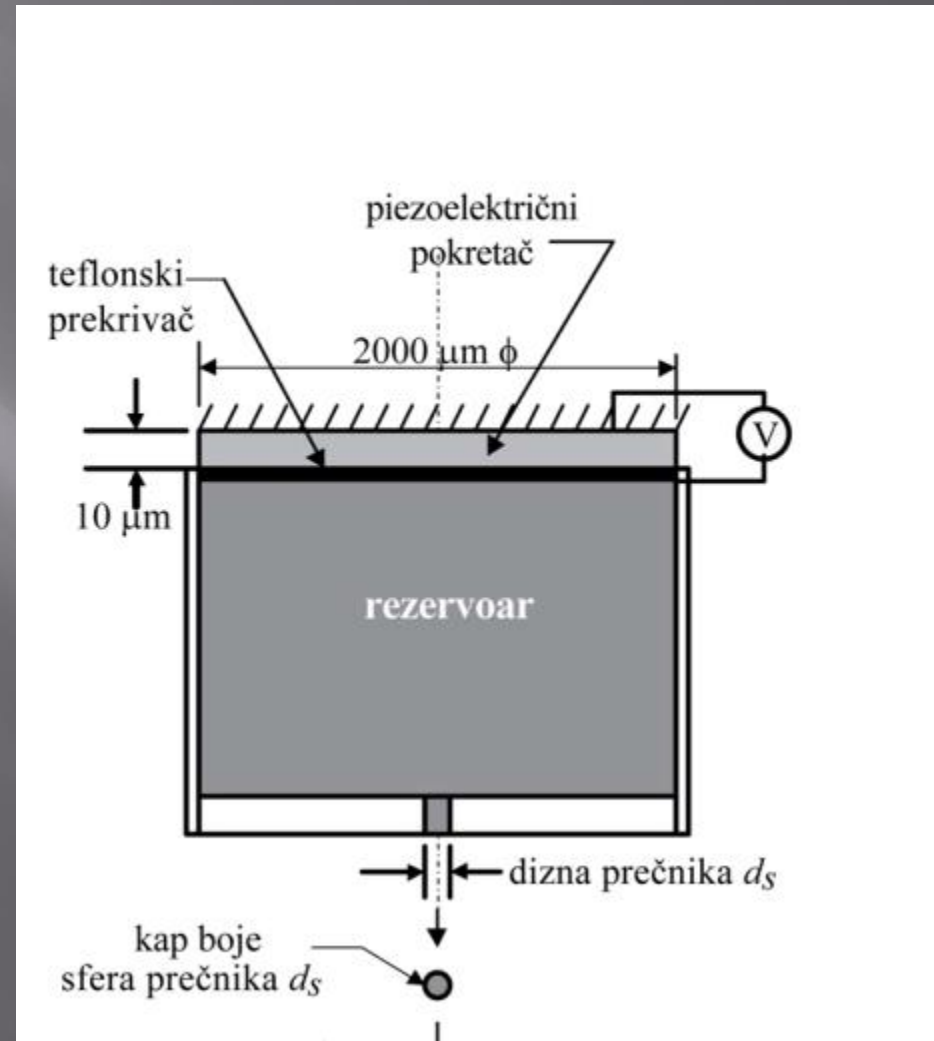
E - Young-ov modul elastičnosti

Vrednosti

- kvarc $d=2.3 \cdot 10^{-12} \text{ m/V}$
- PZT $d=480 \cdot 10^{-12} \text{ m/V}$

Primer - inkjet štampač

- Odrediti napon neophodan za izbacivanje jedne kapi boje iz glave inkjet štampača koji koristi piezoelektrične osobine PZT kristala kao mehanizam ispumpavanja
- Štampač ima rezoluciju od 300dpi a na papiru se kap boje razliva u tačku debljine $t=1\mu\text{m}$
- Pretpostavka je da kap ima oblik sfere i da se rezervoar cilindričnog oblika čija je osnova prečnika $D_r = 2\text{mm}$ stalno dopunjuje bojom



Dovođenjem napona na piezoelektrični pokretač on se deformiše u pravcu normalnom na elektrode, potiskuje boju u rezervoaru i time se kroz diznu istiskuje kap boje. Istisnuta kap je sfernog oblika sa prečnikom jednakim prečniku dizne. Zapremina kapi odgovara promeni zapremine boje u rezervoaru usled deformacije pokretača.

Prečnik tačke na papiru je:

$$D = \frac{1 \text{ in}}{300} = \frac{25.4 \text{ mm}}{300} = 0.08467 \text{ mm} = 84.67 \mu\text{m}$$

Zapremina istisnute kapi boje je:

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{d_s}{2} \right)^3 = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 t = \pi \left(\frac{D_r}{2} \right)^2 w$$

Odakle se za pomeraj odnosno mehaničku deformaciju PZT pokretača dobija

$$w = \left(\frac{D}{D_r} \right)^2 t = 1.792 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Indukovano naprezanje je

$$\varepsilon = \frac{w}{l} = \frac{1.79 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{10^{-5} \text{ m}} = 1.79 \cdot 10^{-4} \text{ m/m}$$

- Piezoelektrični koeficijent PZT kristala je $d=480 \cdot 10^{-12} \text{ m/V}$, na osnovu kojeg se za primenjeni napon na pokretač dobija

$$V = K \cdot l = \frac{\varepsilon}{d} l = \frac{1.79 \cdot 10^{-4} \text{ m/m}}{480 \cdot 10^{-12} \text{ m/V}} 10^{-5} \text{ m} = 3.73 \text{ V}$$

Polimeri

- plastika
 - adhezivi
 - pleksiglas
-
- **Karakteristike**
 - jeftini i jednostavni za proizvodnju
 - lagani i otporni na koroziju
 - niska tačka topljenja
 - visoka električna otpornost
 - termoplastične je lako oblikovati
 - termostabilni imaju dobru mehaničku čvrstoću do 350°C
 - sačinjeni od dugih lanaca organskih (ugljovodonikovih) molekula

Polimeri u mikrosistemima

- Kao fotorezist u fotolitografiji
- Kao osnovni kalup za izlivanje kod LIGA procesa
- Tanki filmovi kao električni izolatori ili kao dielektrici u kapacitivnim strukturama
- Provodni polimeri kao “organski” supstrati (poliester polietilen tetraftalat (PET) i polietilen naftalat (PEN)).
- Feroelektrični polimeri poseduju i piezoelektrični efekat
- Tanki Langmuir-Blodgett (LB) filmovi se koriste za višeslojne mikrostrukture
- Kao prevlake u kapilarama za pokretanje mikrofluida
- Koriste se za elektromagnetnu i radiofrekventnu zaštitu
- Idealni materijali za enkapsulaciju i pakovanje

Provodni polimeri

- Polimeri su dobri izolatori sa specifičnom otpornošću reda 10^{12} - $10^{14} \Omega\text{m}$
- Neki polimeri se mogu učiniti električno provodni postupcima
 - pirolize (u prisustvu amina)
 - dopiranjem (uvođenjem metalnih atoma u matrice molekula polimera)
 - impregnacijom provodnim vlaknima (zlato, srebro, aluminijum, čelik)

Langmuir-Blodgett (LB) filmovi

- Sadrže jedan ili više monoslojeva organskog materijala nanešenog na površinu supstrata potapanjem u rastvor
- Kontrolisanjem sastava nanešenih slojeva mogu se dobiti materijali koji pokazuju određene osobine
 - feromagnetne (bioimplanti)
 - piezoelektrične (zvučni pretvarači)
 - piroelektrične (senzori zračenja)
 - optičke (optička vlakna)
 - adsorpcione (hemijski senzori)

SU-8 fotorezist

- Polimer na bazi epoksi smole osetljiv na UV zračenje
- Ima osobine negativnog fotorezista (deo izložen svetlosti je nerastvorljiv)
- Nanosi se kao tanak film debljine od 1 μ m do 2 mm
- Pogodan za izradu debelih filmova u 3D strukturama kod kojih postoji veliki odnos dimenzija
- Jeftin i lak za nanošenje

Materijali za pakovanja

- Uključuje mnoštvo različitih materijala od plastike do nerđajućeg čelika
- Primer - senzor pritiska

