



Tehnologije mikrosistema

Prof. dr Biljana Pešić

Prof. dr Dragan Pantić



Procesi vlažnog nagrivanja

(wet etching)

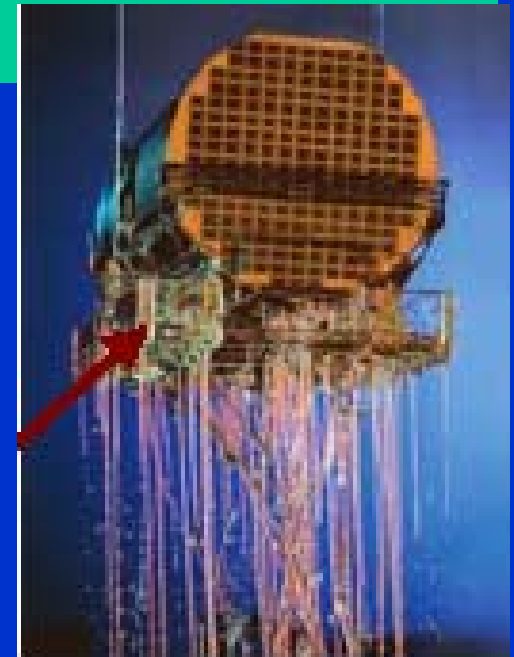
- **Glavni koraci procesa vlažnog nagrivanja:**
 - Transport reaktanata do površine
 - Hemijska reakcija na površini
 - Transport produkata reakcije sa površine
- **Glavni sastojci sredstva za nagrivanje:**
 - **Oksidujuće sredstvo**
 - Primer: H_2O_2 , HNO_3
 - **Kiselina ili baza za rastvaranje oksidovane površine**
 - Primer: H_2SO_4 , NH_4OH
 - **Rastvarač za transport reaktanata i produkata reakcije**
 - Primer: H_2O , CH_3COOH



Procesi vlažnog nagrivanja

- **Profili:** izotropni i anizotropni
- **Primena:** Si, SiO₂, Si₃N₄, metali
- **Kontrola:** maskirajući materijali, dopiranje, elektrohemijska

Vlažno nagrivanje



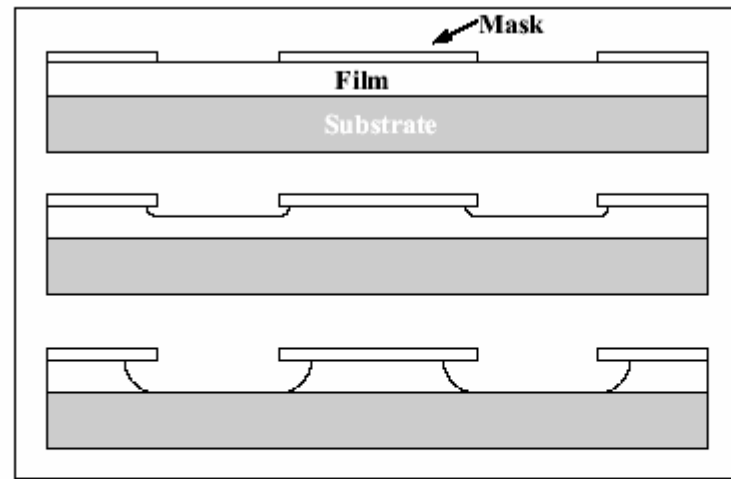


Procesi vlažnog nagrivanja

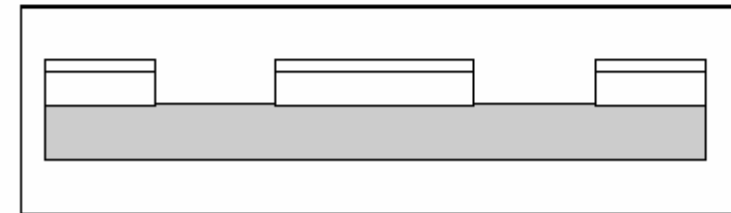
- **Izotropno nagrivanje:**
 - Jednaka brzina nagrivanja u svim pravcima
 - Lateralna brzina nagrivanja je skoro ista kao vertikalna
 - Brzina nagrivanja ne zavisi od orijentacije ivice maske
- **Anizotropno nagrivanje:**
 - Brzina nagrivanja zavisi od orijentacije kristalnih ravni
 - Lateralna brzina nagrivanja može biti mnogo veća ili mnogo manja od vertikalne, što zavisi od orijentacije ivice maske u odnosu na kristalografske ose
 - Orijehtacija ivice maske i detalji šeme na maski određuju konačan oblik nagrivanja
 - Može biti korisno u stvaranju kompleksnih oblika
 - Može biti čudno kada nije dobro osmišljeno
 - Samo su standardni oblici rutinski



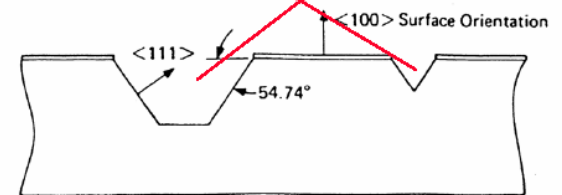
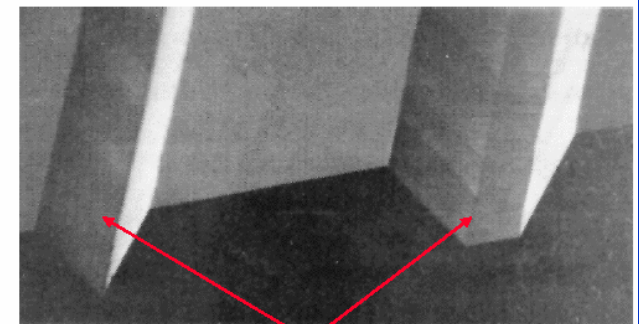
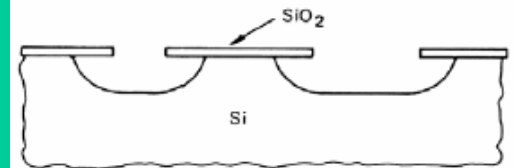
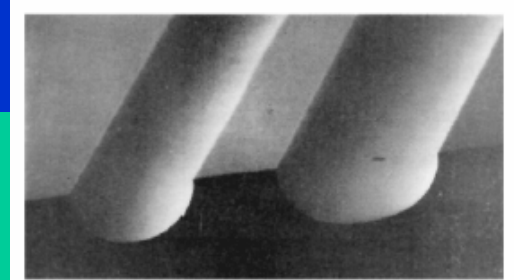
Procesi vlažnog nagrizanja



isotropic etching



anisotropic etching





Nagrizanje Si

- **Izotropno:**
 - HF:HNO₃:CH₃COOH (Hydrofluoric+Nitric+Acetic acids – HNA)
 - HF
 - HF:NH₄F
- **Anizotropno:**
 - KOH
 - EDP (Ethylene Diamine Pirochatechol)
 - (CH₃)₄NOH (TetraMethyl Ammonium Hydroxide – TMAH)
 - CsOH
 - NaOH
 - N₂H₄-H₂O (Hydrazine)
- **Maskirajući materijali:**
 - Fotorezist
 - Si₃N₄
 - SiO₂

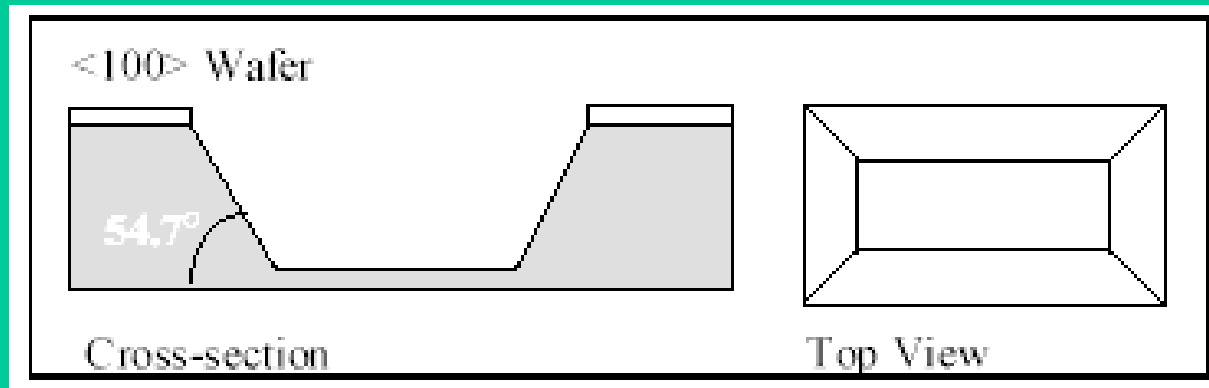


Anizotropno nagrivanje Si pomoću KOH

- Brzina nagrivanja varira sa T i koncentracijom:

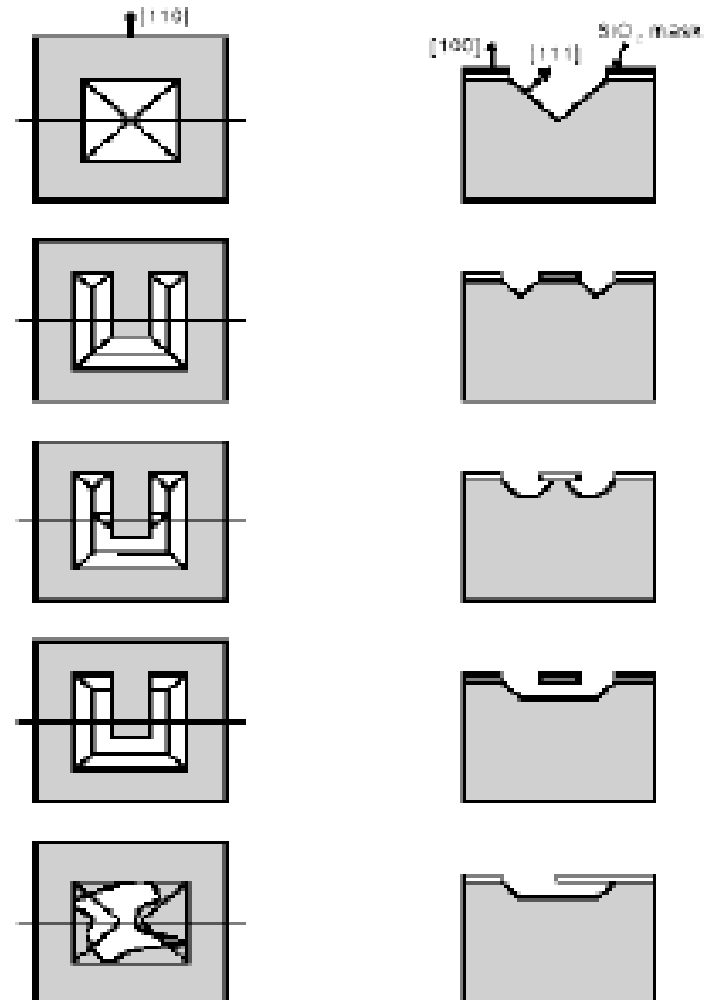
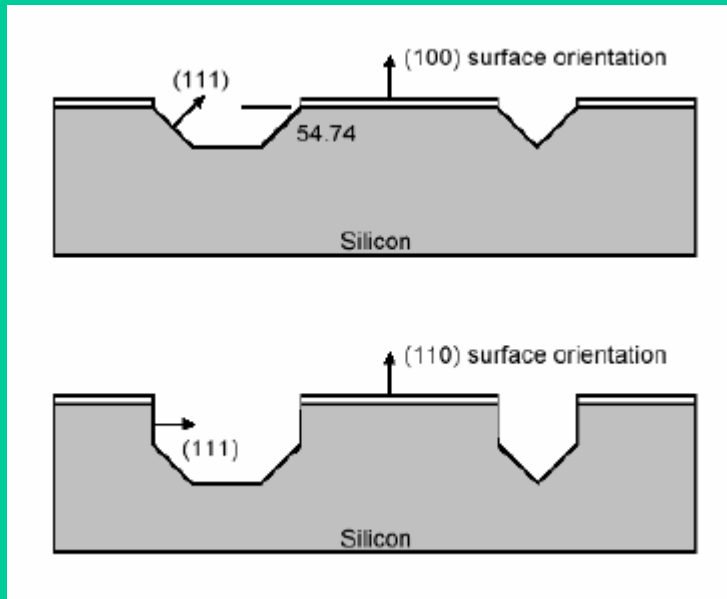
$$R = k_0 [H_2O]^4 [KOH]^{\frac{1}{4}} e^{-\frac{E_a}{kT}}$$

- (110):(100):(111)=600:400:1





Anizotropno nagrizanje Si





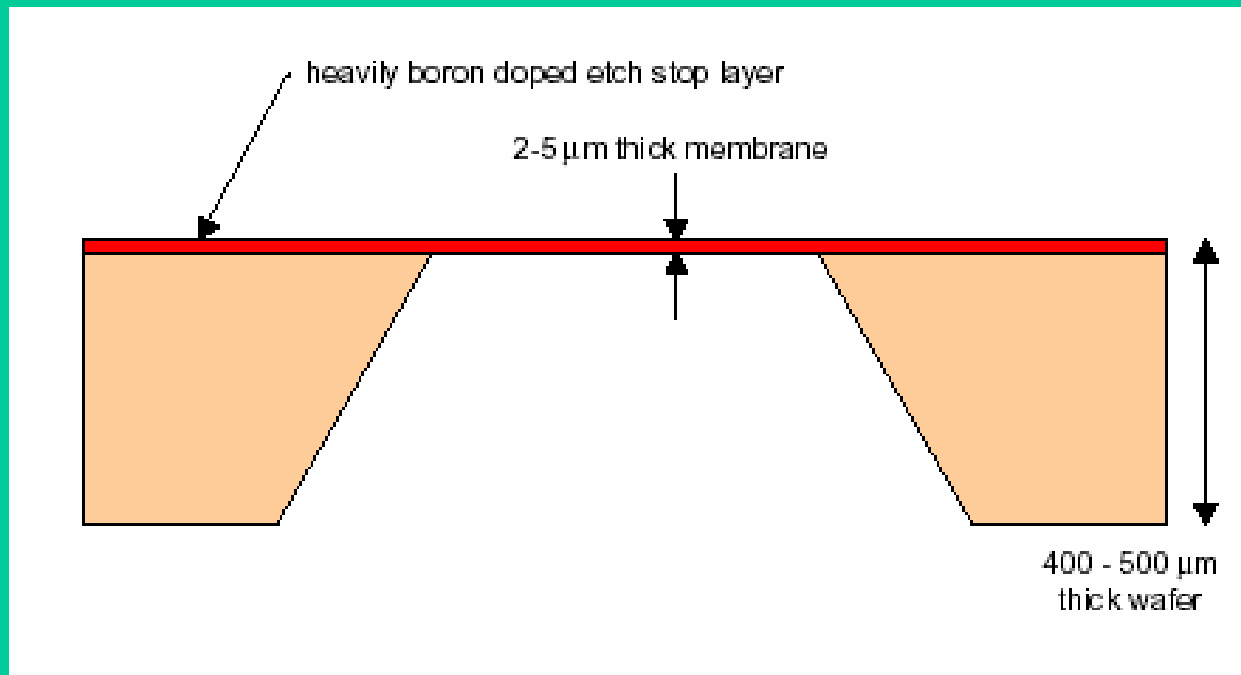
Slojevi za stopiranje anizotropnog nagrivanja Si

- Kontrola apsolutne dubine nagrivanja je teška
- Slojevi za stopiranje nagrivanja drastično smanjuju brzinu nagrivanja
- Za nagrivanje Si koriste se **slojevi dopirani B**
- Primeri:
 - Brzina nagrivanja KOH se redukuje 20x za $N_B > 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
 - Brzina nagrivanja NaOH se redukuje 10x za $N_B > 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
 - Brzina nagrivanja EDP se redukuje 50x za $N_B > 7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

 - Brzina izotropnog nagrivanja HNA se povećava sa N_B

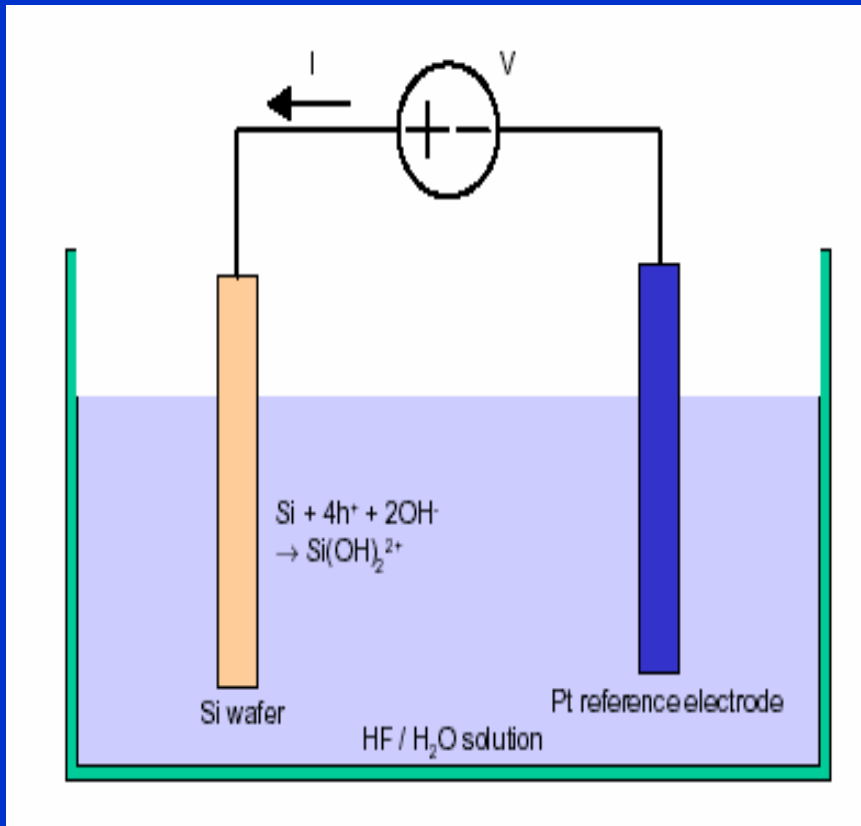


Slojevi za stopiranje anizotropnog nagrizanja Si





Elektrohemijsko nagrivanje Si



- Pozitivnim polarisanjem Si pločice, šupljine se injektuju iz spoljašnjeg kola, oksidišu Si i formiraju hidroksid koji se rastvara u HF
- Ovo nagrivanje se koristi za poliranje Si pločica
- Efikasno se maskira filmovima Si₃N₄



Vlažno nagrivanje filmova

Dielektrični filmovi

- **Si₃N₄**
 - 1% HF, brzina 60 nm/min
 - 10% HF, brzina 500 nm/min
 - BHF, brzina 0.5-1 nm/min
- **SiO₂**
 - BHF, brzina 100-250 nm/min
 - HF, brzina velika

Metalni filmovi

- **Cu i Ni**
 - 30%FeCl₃
 - 30%H₂O₂:70%H₂SO₄
 - KJ:J₂:H₂O
- **Cr**
 - 75%HCl:25%HNO₃
 - HCl:Glicerol
- **Au**
 - 75%HCl:25%HNO₃
 - Alkalni cijanid / H₂O₂
- **Ag**
 - HNO₃