



Tehnologije mikrosistema

Prof. dr Biljana Pešić

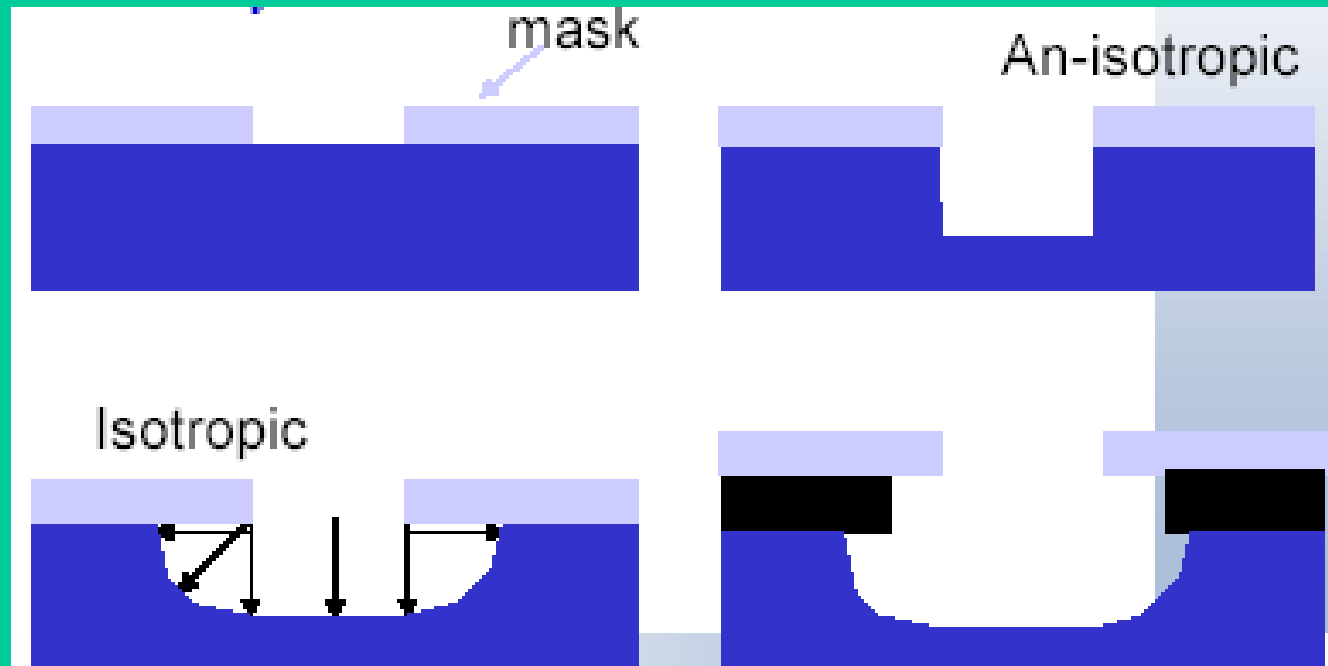
Doc. Dr Vesna Paunović



Procesi suvog nagrizanja

(dry etching)

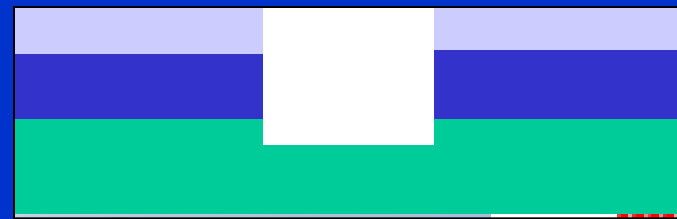
- Sredstva za izotropno nagrizanje uklanjaju materijal istom brzinom u svim pravcima





Procesi suvog nagrivanja

- **Selektivnost nagrivanja:** odnos brzine nagrivanja materijala koga treba ukloniti prema brzini nagrivanja drugih materijala
- Selektivnost maskirajućih materijala i slojeva za stopiranje nagrivanja je od izuzetnog značaja





Procesi suvog nagrivanja

- **Suvo nagrivanje** - uklanjanje materijala reakcijama koje se odvijaju u gasovitoj fazi
- Vrste suvog nagrivanja:
 - **Nagrivanje bez plazme** – koristi spontanu reakciju odgovarajuće smeše reaktivnih gasova
 - **Nagrivanje sa plazmom** – koristi RF snagu za pobudu hemijske reakcije



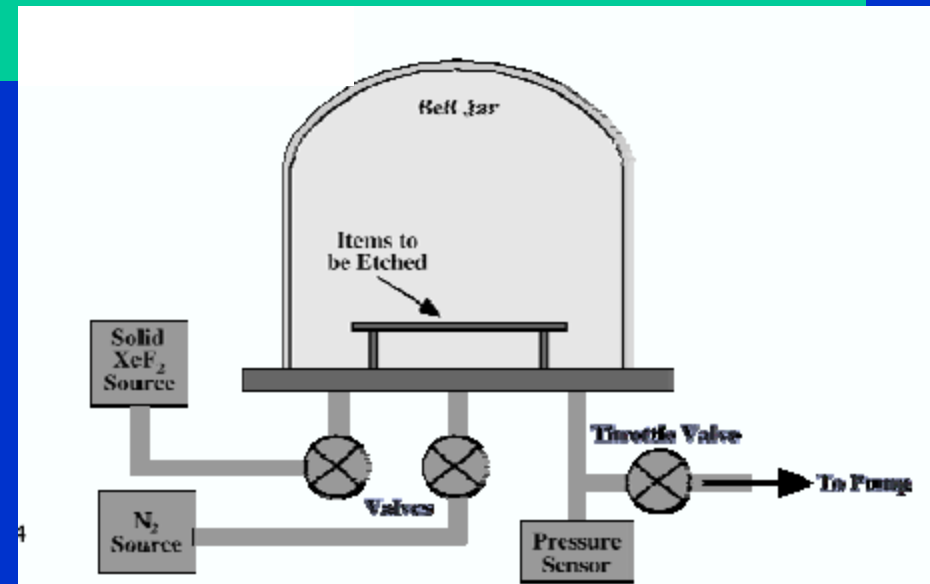
Suvo nagrivanje bez plazme

- Odvija se u gasovima koji sadrže fluor - fluoridima i interhalogenima
- Obezbedjuje izotropno nagrivanje Si
- Visoka selektivnost maskirajućih filmova
- Kontrola putem temperature i parcijalnih pritisaka reaktanata



Nagrivanje ksenon-difluoridom (XeF_2)

- $2\text{XeF}_2 + \text{Si} = 2\text{Xe} + \text{SiF}_4$
- Izotropno nagrivanje Si
- Visoka selektivnost za SiO_2 , Si_3N_4 , fotoreziste, PSG, Al
- Tokom egzotermne reakcije generiše se toplota





Nagrivanje interhalogenima (BrF_3 i ClF_3)

- Gasovi reaguju sa Si i formiraju SiF_4
- Skoro izotropan profil nagrivanja
- Maskirajući materijali: SiO_2 , Si_3N_4 , fotorezist, Al, Cu Au i Ni



Suvo nagrivanje sa plazmom

- Koristi RF snagu za pobudu hemijske reakcije
- Vrste :
 - Fizičko nagrivanje
 - Hemijsko nagrivanje
 - Nagrivanje reaktivnim jonima (RIE)
 - Duboko nagrivanje reaktivnim jonima (DRIE)



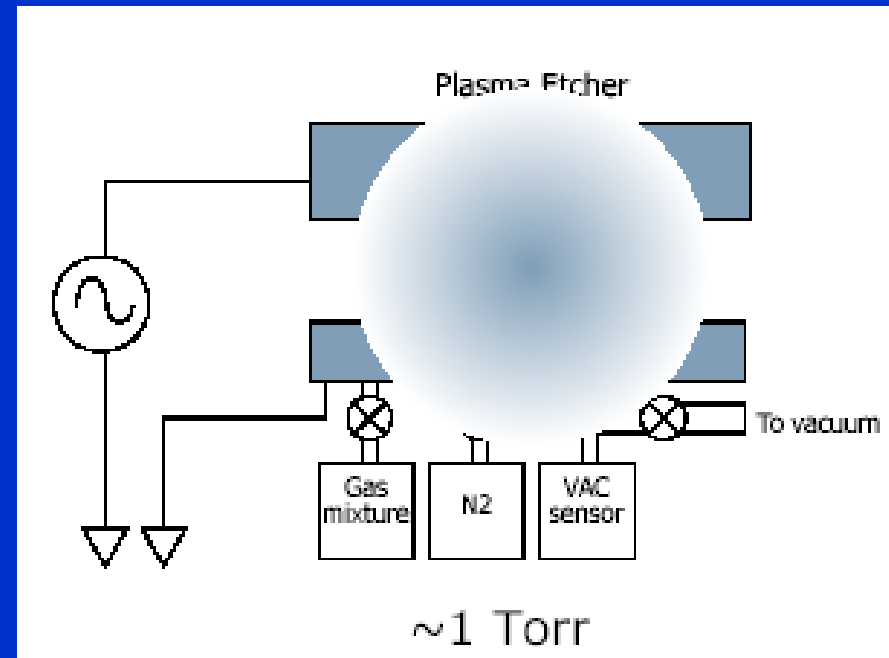
Plazma

- Plazma je delimično jonizovani gas koji sadrži jednak broj pozitivnog (jone) i negativnog (elektrone) naelektrisanja i određen broj neutralnih (nejonizovanih) molekula
- Uporedo sa jonizacijom molekula (formiranjem parova jon-elektron) odvija se rekombinacija naelektrisanja
- Tipična kinetička energija elektrona u plazmi je 2-8 eV



Formiranje plazme

- Iz komore se evakuiše vazduh a zatim napuni potrebnim gasovima
- Elektrode se priključe na RF napajanje
- Električno polje ubrzava elektrone povećavajući njihovu kinetičku energiju
- Elektroni se sudaraju sa neutralnim molekulima gasa i kada nastaju joni i još veći broj elektrona
- Ravnoteža (plazma) se uspostavlja pri jonizacija=rekombinacija





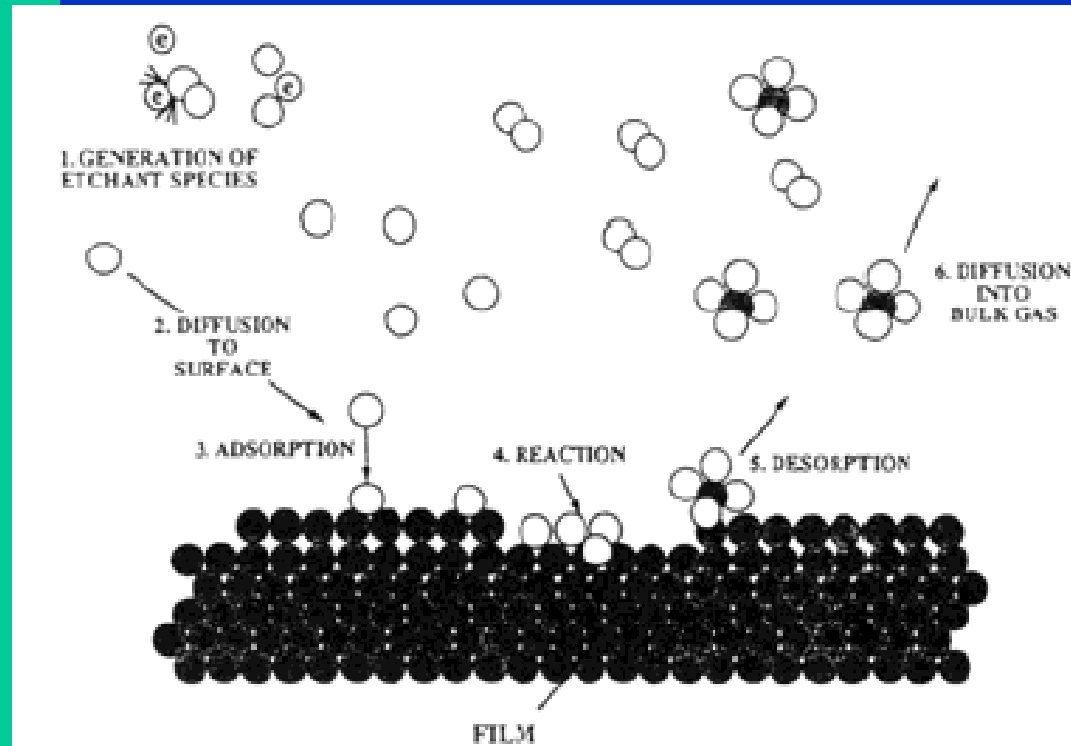
Fizičko plazma-nagrivanje

- Bazira se na fizičkom bombardovanju jona ili atoma
- Plazma se koristi za energizaciju hemijski inertnih čestica kako bi velikim brzinama udarale u supstrat
- Pri udaru čestice predaju energiju atomima supstrata
- Ukoliko je ta energija veća od energije veze atomi supstrata se dislociraju
- Nagrivanje je anizotropno
- Kao izvor jona najčešće se koristi Ar



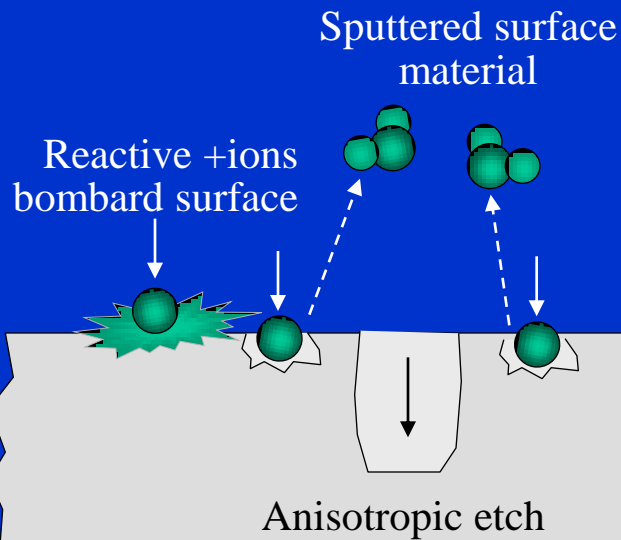
Hemijsko plazma-nagrivanje

- Plazma se koristi za stvaranje hemijski reaktivnih čestica (atoma, radikala i jona) iz inertnog molekulskog gasa
- Nagrivanje se odvija u 6 koraka:
 - Generacija reaktivnih čestica (npr. slobodnih radikala)
 - Difuzija do površine
 - Adsorpcija na površini
 - Hemijska reakcija
 - Desorpcija produkata reakcije
 - Difuzija produkata

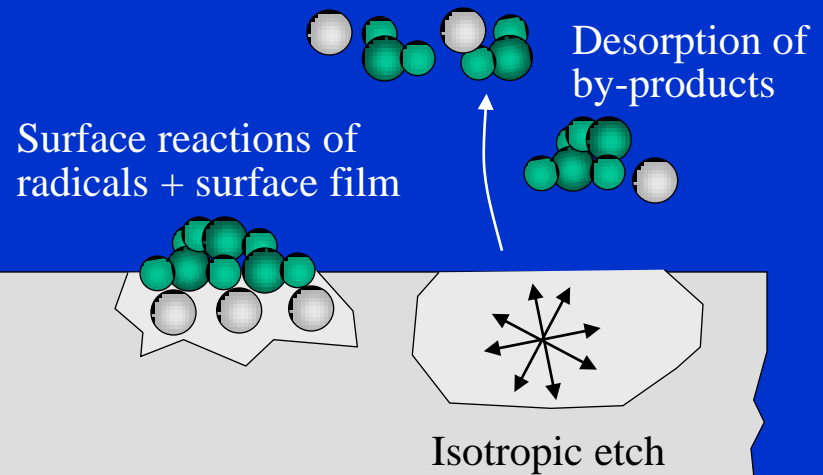


Chemical and Physical Dry Etch Mechanisms

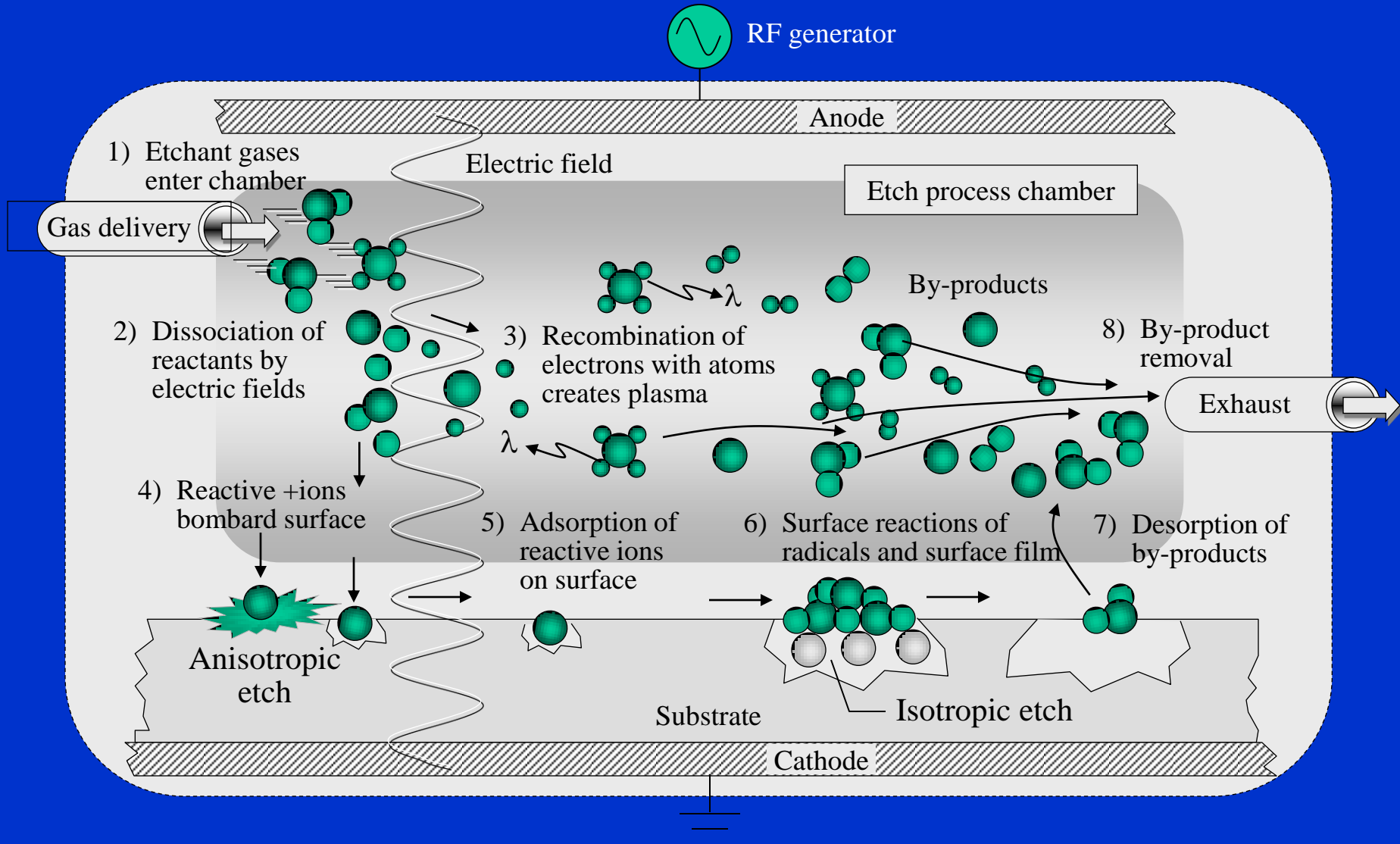
Physical Etching



Chemical Etching



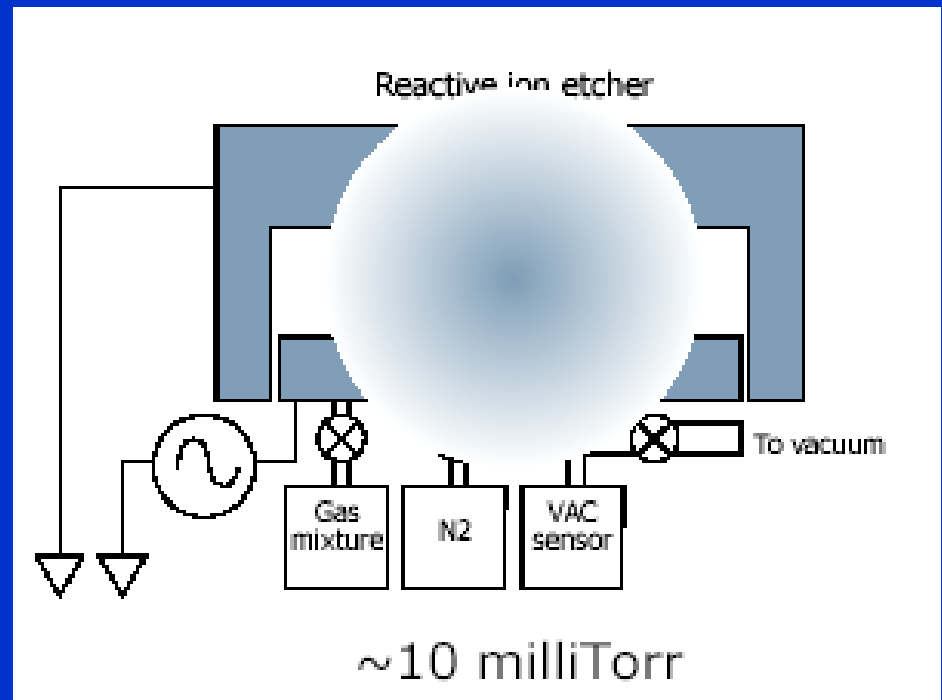
Plasma Etch Process of a Silicon Wafer



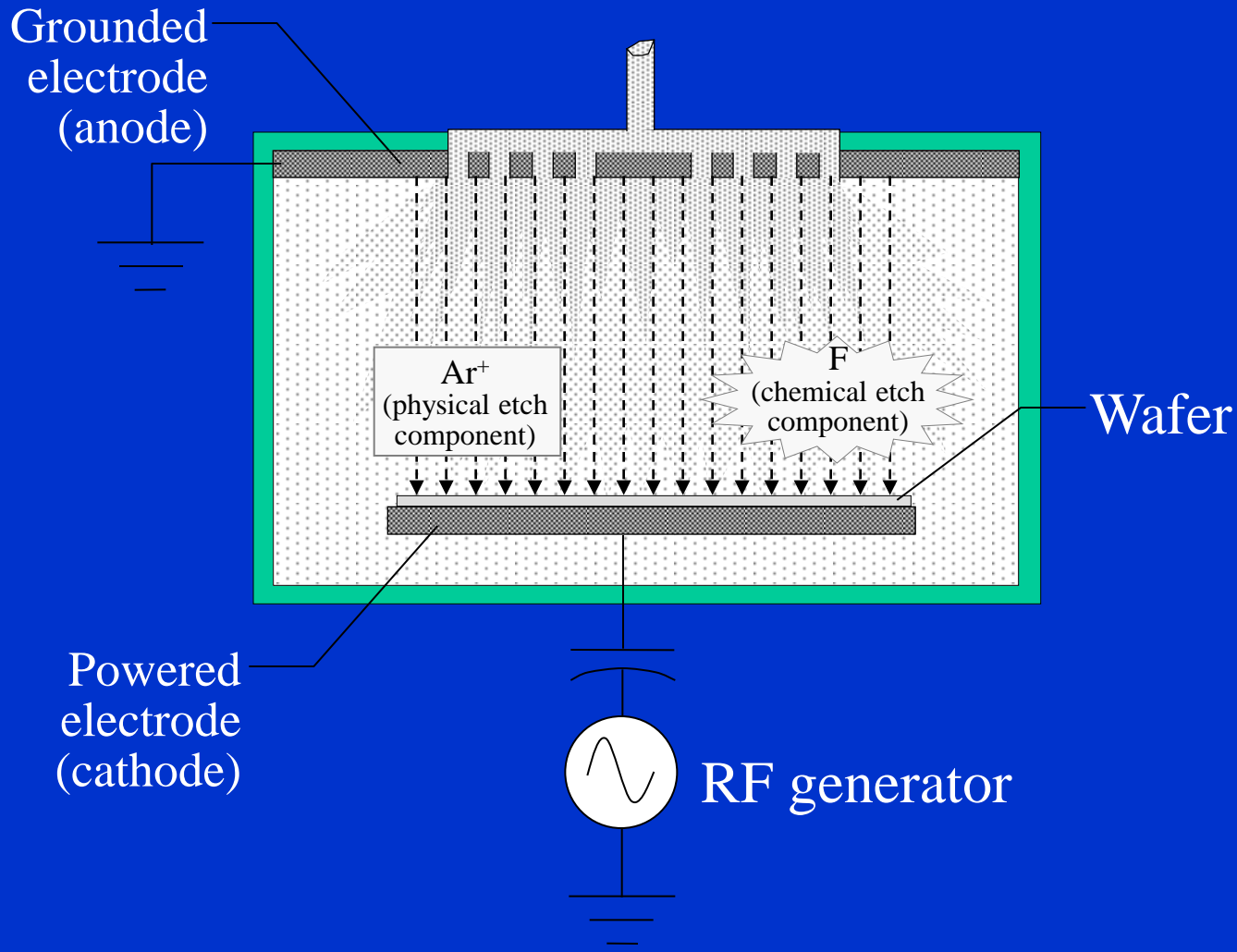


Nagrivanje reaktivnim jonima (RIE)

- RIE je kombinacija fizičkog i hemijskog plazma-nagrivanja
- Proces u kome se hemijsko nagrivanje vrši zajedno sa bombardovanjem jona
- Bombardovanje otvara oblasti za obavljanje hemijskih reakcija
- Osobine:
 - Ne postoji podcovanje jer bočne strane nisu izložene
 - Veća brzina nagrivanja
 - Manja selektivnost



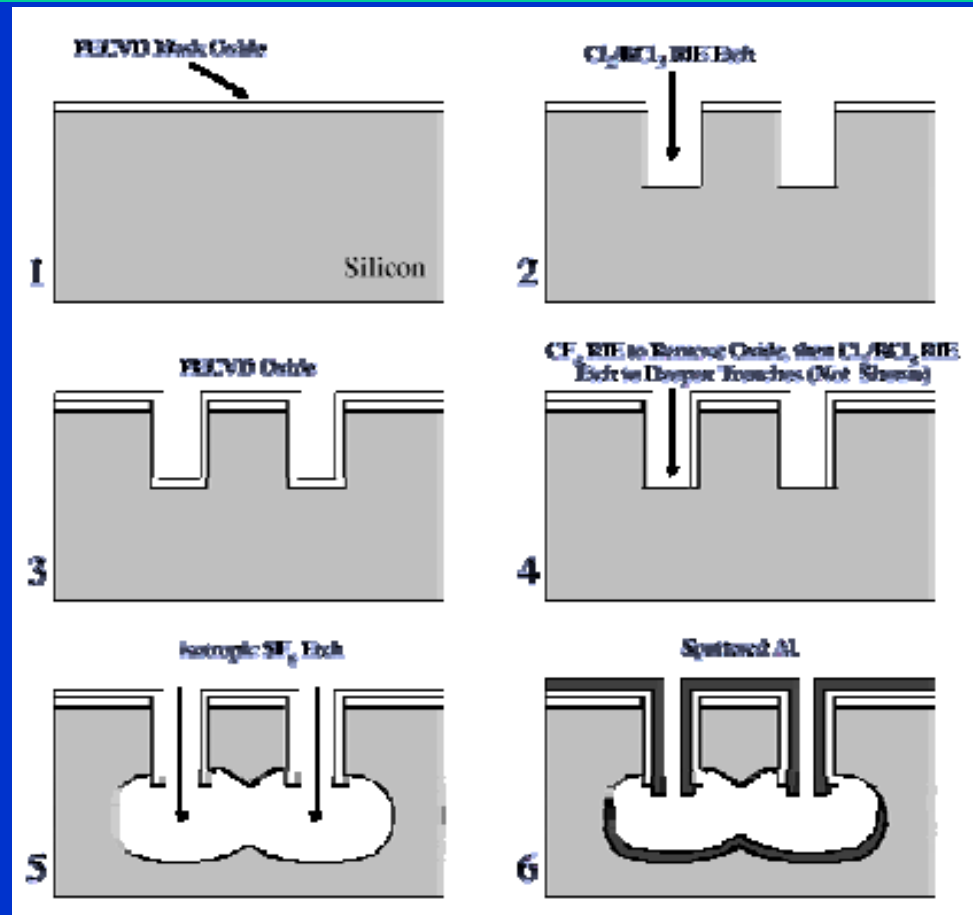
Parallel Plate RIE Reactor





Primer RIE nagrivanja

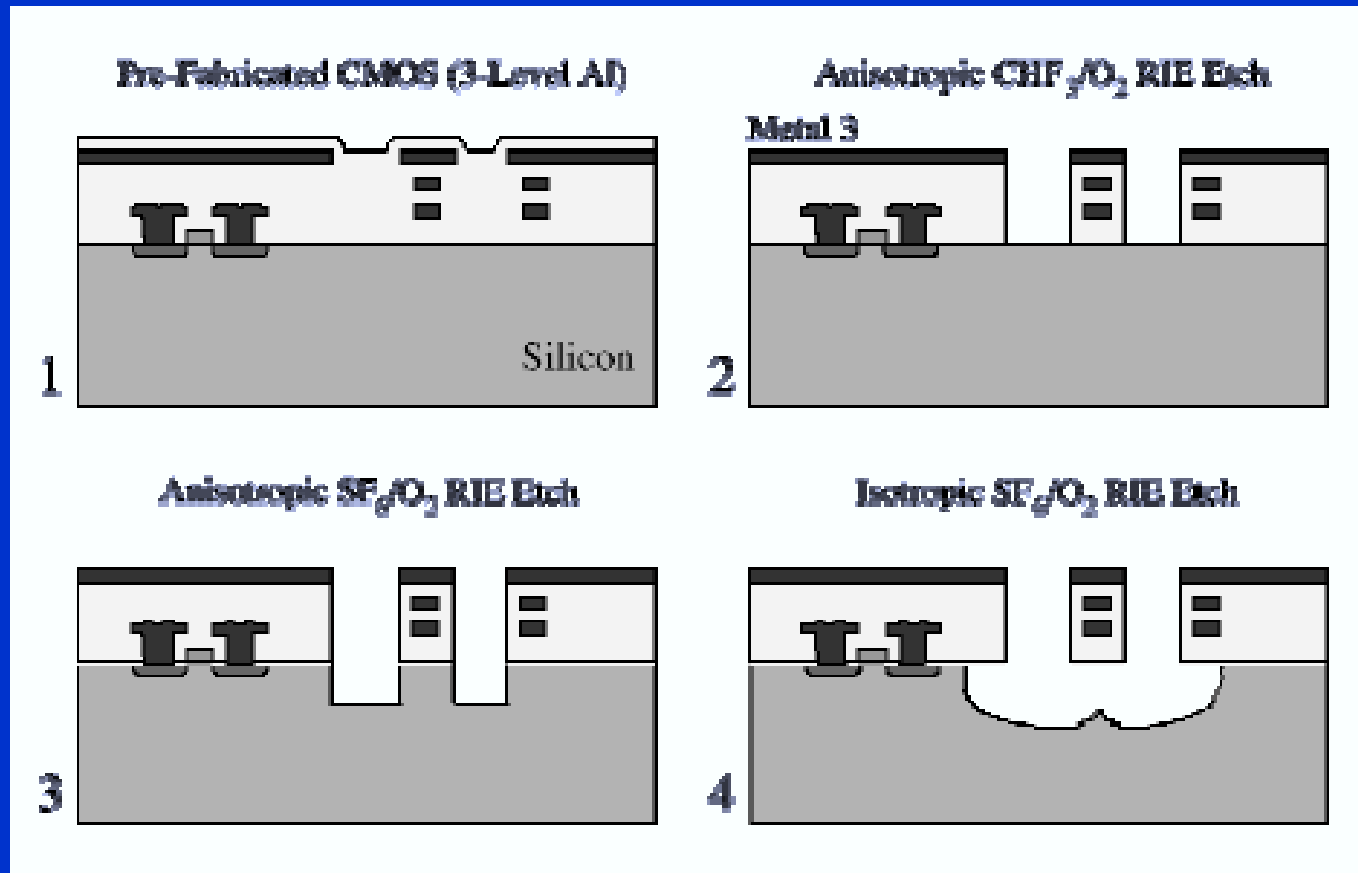
- **SCREAM proces** (Single Crystal Reactive Etching And Metallization)
 - Višestruko anizotropno i izotropno suvo nagrivanje
 - Niskotemperaturno nagrivanje i depozicija





Primer RIE nagrivanja

RIE nagrivanje posle CMOS procesiranja za oslobadjanje strukture tankih filmova





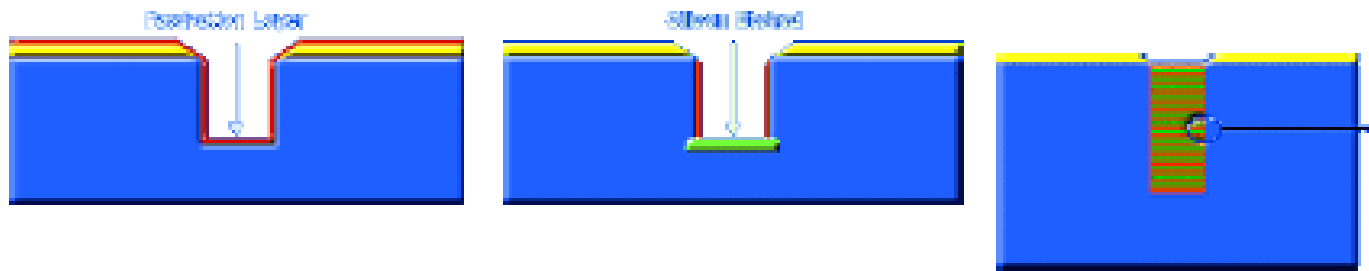
Duboko nagrivanje reaktivnim jonima (DRIE)

- Primenjuje se magnetno polje za poboljšanje transfera energije rezonirajućih elektrona
- DRIE proces koristi jone manjih energija, što ima za posledicu manja oštećenja i bolju selektivnost materijala
- Gustina reaktivnih jona i njihova kinetička energija kontrolišu se odvojeno



Primer DRIE nagrivanja

- **Bosch-ov proces** – kombinacija DRIE nagrivanja i postupaka pasivizacije
 - Koristi plazmu velike gustine za naizmenično nagrivanje Si i depoziciju polimera (otpornih na nagrivanje) na bočnim stranama



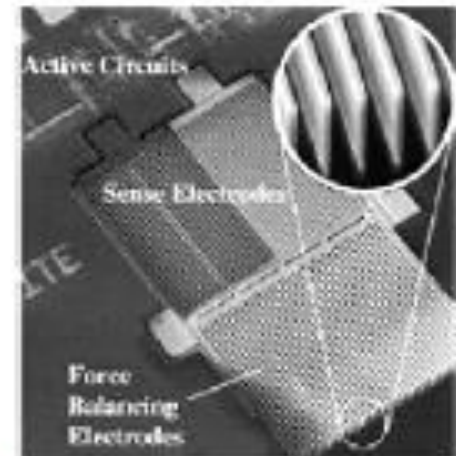
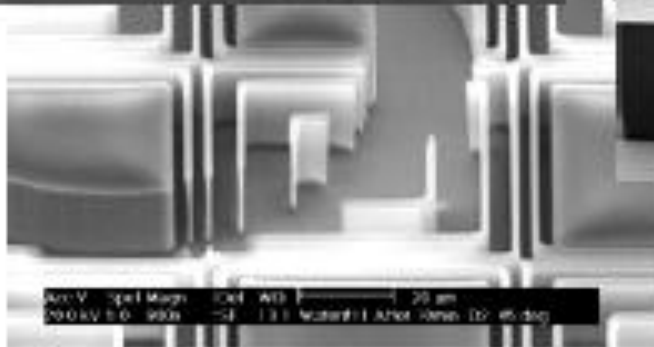
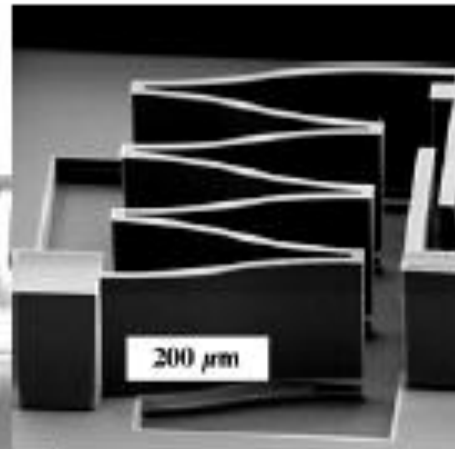
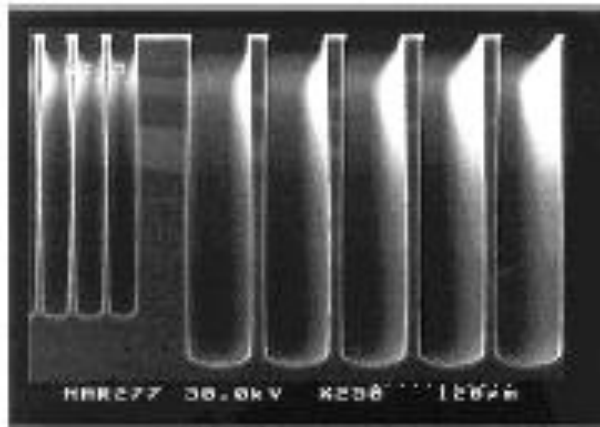
Plasma reaction $C_4F_8 + e^- \Rightarrow CF_x^+ + CF_x^+ + F^+ + e^-$

Passivation layer deposition $CF_x^+ \Rightarrow nCF_2$ (fluorocarbon polymer)

Polymer etch $nCF_2 + F^+ \rightarrow CF_x^+ \Rightarrow CF_2$ (gas)

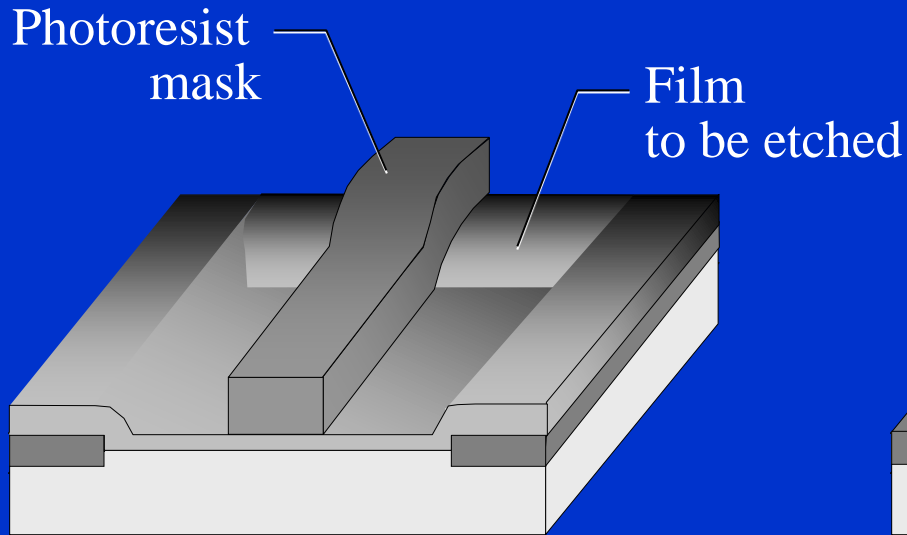


Primeri struktura realizovanih Bosch-ovim procesom

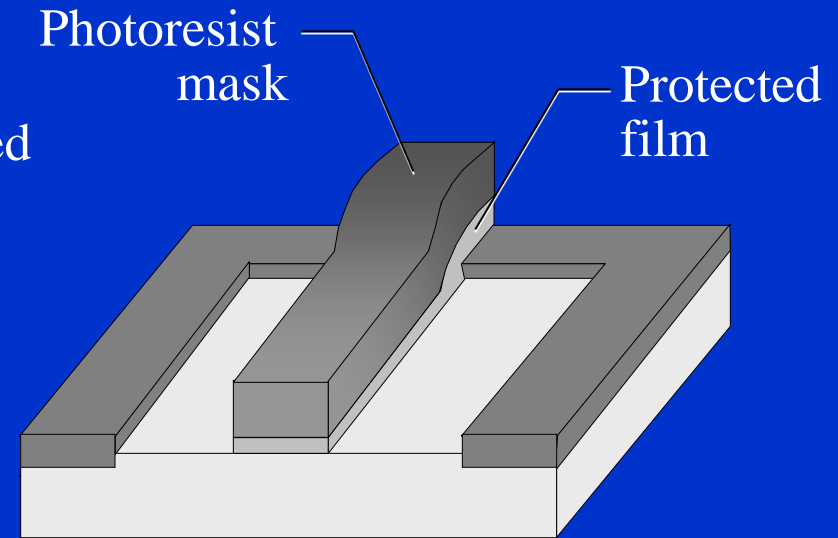


High aspect ratio etches are possible.

Applications for Wafer Etch in CMOS Technology



(a) Photoresist-patterned substrate



(b) Substrate after etch