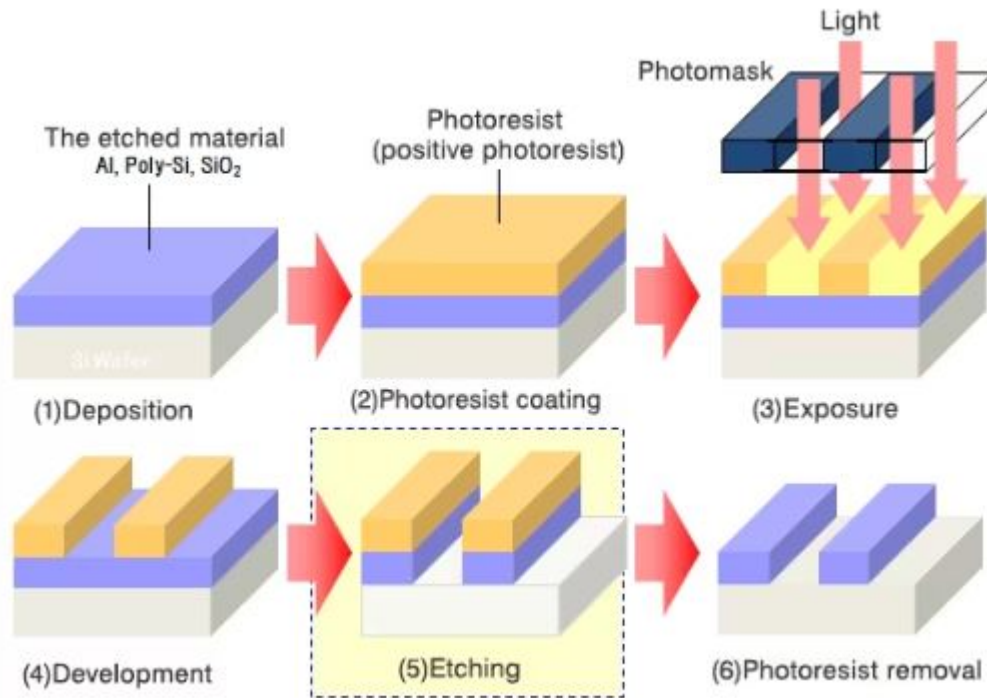


## Instalații de corodare cu plasmă și cu fascicul de ioni reactivi

Corodarea este un proces utilizat pentru a îndepărta material selectiv de pe suprafața unui substrat, în general prin reacții chimice sau procese fizico-chimice. Este un proces esențial în fabricarea componentelor microelectronice și a MEMS-urilor, deoarece permite definirea precisă a structurilor și a modelelor la scară micrometrică sau nanometrică.



**Fig.1** Etapele de prelucrare în litografia optică

Imaginea de mai sus descrie procesul de litografie, care este o tehnică esențială utilizată în fabricarea dispozitivelor de tip semiconductor și a MEMS-urilor.

### 1. Depunerea materialului ce va fi corodat

- materialul care urmează să fie modelat (de exemplu: Al, Poly-Si, sau SiO<sub>2</sub>) este depus pe substratul de Si.
- acest strat va fi parțial îndepărtat în etapele următoare pentru a crea structurile necesare.

### 2. Acoperirea cu foto-rezist

- un strat subțire de foto-rezist este aplicat peste material. Foto-rezistul poate fi de 2 feluri: foto-rezist pozitiv (zonele expuse la lumină devin solubile și vor fi eliminate în etapele următoare) și foto-rezist negativ (zonele expuse devin insolubile și rămân astfel).

### **3. Expunerea la lumină**

- o mască fotolitografică este plasată deasupra stratului de foto-rezist. Aceasta are un model care blochează lumina în anumite zone și permite trecerea ei în altele.
- lumina expune zonele descoperite ale foto-rezistului, modificându-i proprietățile chimice.

### **4. Developarea foto-rezistului**

- foto-rezistul este tratat cu o soluție de developare, care îndepărtează zonele expuse la lumină (în cazul foto-rezistului pozitiv așa cum este prezentat în imagine).
- rezultatul este un model de foto-rezist care protejează anumite părți ale materialului de dedesubt.

### **5. Corodarea**

- se utilizează un proces de corodare (chimică umedă sau uscată) pentru a elimina materialul neprotejat de foto-rezist.
- acest pas definește structurile dorite pe substratul de Si.

### **6. Îndepărtarea foto-rezistului**

- după ce corodarea s-a încheiat, stratul de foto-rezist este îndepărtat complet, lăsând doar materialul modelat în zonele protejate inițial.

<https://www.youtube.com/watch?v=zkdQddMZSyM>

### **Tipuri de corodare**

#### **1. Corodare umedă**

- materialul este îndepărtat folosind soluții chimice lichide care reacționează cu substratul.
- relativ simplă și rapidă, dar mai puțin precisă în ceea ce privește controlul formei și al dimensiunilor.

#### **2. Corodare uscată**

- folosește plasma sau gaze reactive pentru a elimina materialul (exemple: corodarea prin plasmă, corodarea reactivă cu ioni (RIE)).
- permite un control mai precis al procesului și este utilizată frecvent pentru realizarea structurilor MEMS complexe.

Instalațiile de corodare cu plasmă și fascicul de ioni reactivi sunt echipamente avansate utilizate în tehnologiile de prelucrare de suprafață și microfabricare. Ele sunt esențiale în domenii precum fabricarea semiconductoarelor, aplicații optoelectronice și nanotehnologii.

## 1. Instalații de corodare cu plasmă

Corodarea cu plasmă este un proces chimic care utilizează un gaz ionizat (plasmă) pentru a îndepărta material de pe suprafața unui substrat. Procesul implică crearea unui mediu de plasmă într-o cameră controlată, unde gazele reactive interacționează cu materialul substratului. Plasmă reprezintă o stare a materiei, fiind constituită din ioni, electroni și particule neutre (atomi sau molecule), denumite generic neutri.

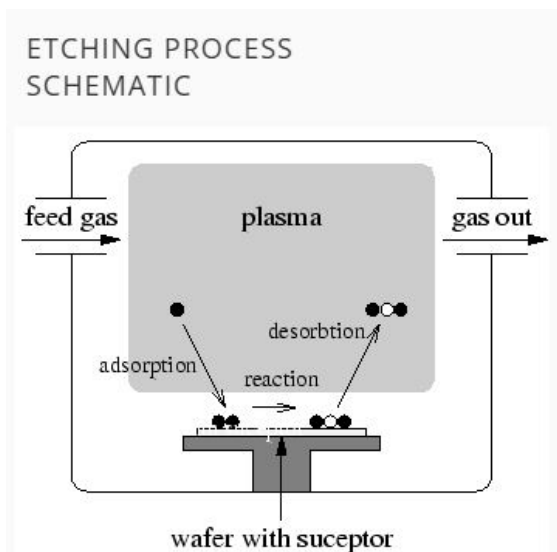


Fig.2 Schemă a unui proces de corodare

### Caracteristici ale procesului

**1. Plasma** este generată în cameră pentru a activa procesul chimic. Pentru agenerarea acesteia este nevoie de o sursă de energie care să ionizeze gazul. Cele mai comune metode sunt:

- Descărcări RF - cea mai des întâlnită metodă folosește frecvențe în jur de 13.56 MHz.
- Microundele sunt utilizate pentru obținerea unei densități mai mari de plasmă.

**Parametrii plasmei** utilizate ca agent corodant pot fi ajustați, obținându-se diverse adâncimi și viteze de corodare. Plasma obișnuită pentru corodare operează la presiuni între 0,1 și 5 torr. Aceasta produce radicali liberi cu energie mare, neutri din punct de vedere electric, care reacționează chimic la suprafața stratului atacat. Atacul radicalilor este izotrop, având aceeași intensitate pe toate direcțiile.

**2. Gaz de alimentare** este introdus în cameră și este utilizat pentru generarea plasmei. De exemplu, poate fi un gaz precum  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Fl}_2$ , sau  $\text{O}_2$ , în funcție de material.

**3. Wafer-ul** este substratul (de obicei un disc de Si) pe care sunt fabricate componentele electronice. **Susceptorul** este suportul care încălzește și stabilizează wafer-ul în timpul procesului.

**4. Adsorbția** (fixare și acumulare a moleculelor unui gaz sau ale unui lichid pe suprafața unui corp solid) - speciile reactive din plasmă (radicalii) sunt adsorbite pe suprafața materialului de pe wafer.

**5. Reacția** - radicalii reacționează cu materialul, formând compuși volatili.

**6. Desorbția** - produșii volatili ai reacției chimice sunt eliberați de pe suprafața waferului.

**7. Evacuarea** - gazele și produșii de reacție sunt eliminate din cameră prin sistemul de evacuare.

Procesul de corodare cu plasmă este un proces controlat care implică interacțiunea dintre plasmă și materialul de pe wafer, eliminând materialul nedorit strat cu strat. Acest proces este utilizat pe scară largă în fabricarea microcipurilor și a altor dispozitive electronice.

### Performanțe

- **Selectivitatea** este capacitatea de a coroda un material specific fără a afecta alte materiale.
- **Rezoluție înaltă** permite corodarea structurilor la scară nanometrică.
- **Uniformitate** asigură o îndepărtare uniformă a materialului pe toată suprafața substratului.

### Aplicații ale corodării cu plasmă

- **Industria semiconductorilor** - fabricarea circuitelor integrate.
- **MEMS și NEMS** - fabricarea de structuri complexe precum microoglinzi, accelerometre și giroscopae.
- **Industria optică** - modelarea straturilor de material transparent sau reflexiv.
- **Industria medicală** - corodarea de precizie a implanturilor sau a dispozitivelor microfluidice.
- **Fabricarea nanostructurilor** - crearea de șabloane și structuri pentru aplicații fotonice sau catalitice.

## 2. Instalații de corodare cu fascicul de ioni reactivi

Corodarea cu fascicul de ioni reactivi este o combinație între atacul chimic și cel fizic. Într-un astfel de sistem, plasma generează ioni care sunt accelerați către substrat prin intermediul unui câmp electric, oferind o componentă direcțională procesului.

[Etching Silicon with Plasma - Reactive Ion Etching \(RIE\) - YouTube](#)  
Caracteristici ale procesului

- **Orientarea** este anizotropă, ceea ce înseamnă o corodare mai accentuată pe direcția verticală decât pe cea laterală.
- **Configurația** conține un sistem bazat pe o cameră de vid cu electrozi pentru generarea plasmei.
- **Presiune de lucru** este scăzută, de obicei între  $10^{-3}$  și  $10^{-1}$  torr.

### Performanțe

- **Controlul fin** deoarece ajustarea parametrilor permite control precis al adâncimii gravurii.
- **Calitate ridicată** prin structuri cu margini bine definite și rugozitate minimă.
- **Eficiență** prin combinația de reacții chimice și impact fizic care crește viteza de corodare.

### Aplicații ale corodării cu fascicul de ioni reactivi

- **Microelectronică** - fabricarea tranzistoarelor și a dispozitivelor MEMS.
- **Nanofabricare** - crearea structurilor 3D complexe.
- **Gravură optică** - corodarea precisă a lentilelor și a ghidurilor de undă.

○ **DRIE** este o tehnică avansată de corodare/gravare utilizată pentru a crea structuri adânci, cu pereți aproape verticali, prin alternarea etapelor de gravare și pasivare.

### Caracteristici

- adâncimea - poate atinge gravuri foarte adânci (de la zeci până la sute de micrometri).
- forma gravurii - creează pereți laterali aproape verticali (anizotropie ridicată).
- materiale - în general utilizată pentru siliciu, dar poate fi aplicată și altor materiale semiconductoare.

### Proces

- Tehnica Bosch - alternarea între corodarea chimică (de obicei cu SF<sub>6</sub>) și depunerea unui strat de protecție pasivă (C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>) care protejează pereții laterali de gravare. Fiecare ciclu de gravare-pasivare contribuie la formarea unei gravuri adânci și precise.

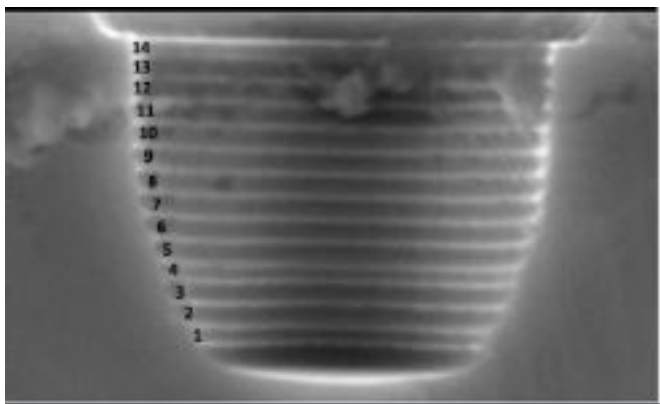
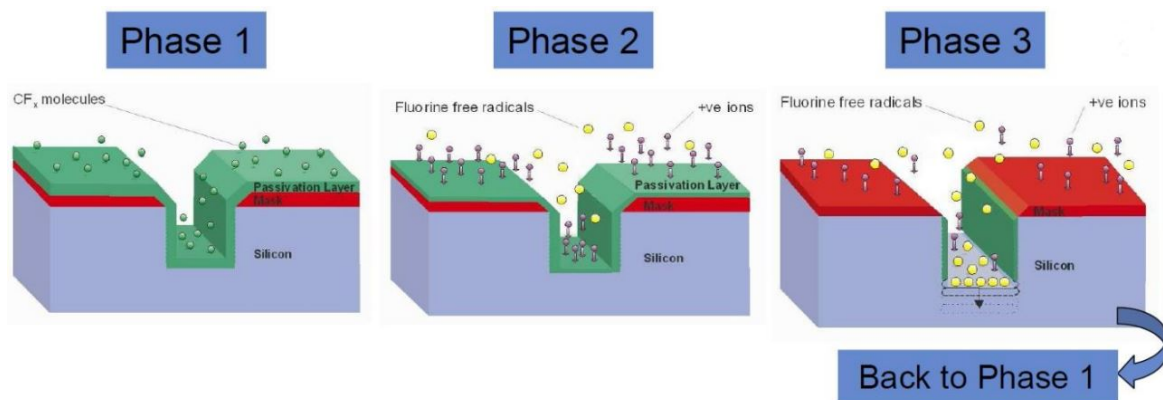
### Avantaje

- permite o corodare foarte adâncă și precisă.
- produce pereți laterali aproape verticali, potriviți pentru structuri complexe.

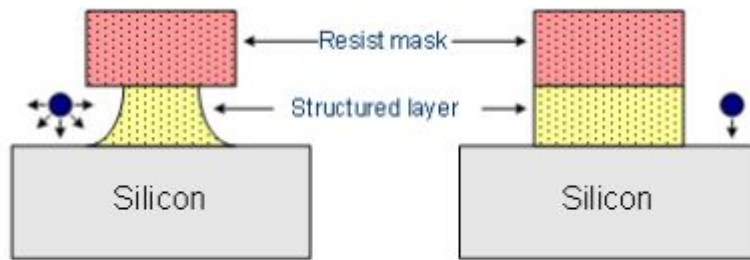
### Limitări

- este un proces mai lent și mai costisitor decât RIE.
- poate introduce "scalloping" (aspect de trepte pe pereții laterali) în funcție de parametrii procesului.

**Fig.3** Procesul Bosch



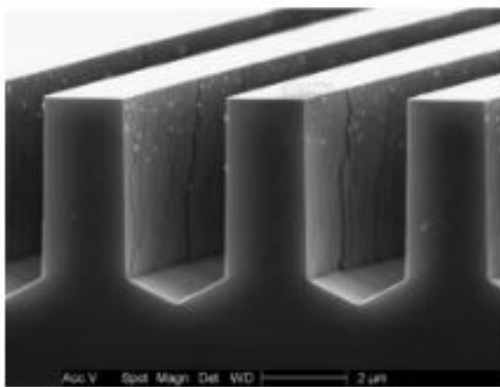
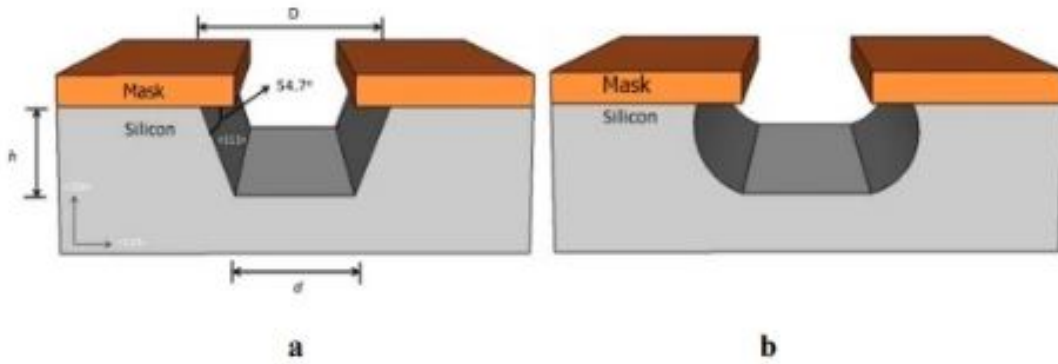
**Fig.4** Aspect de trepte



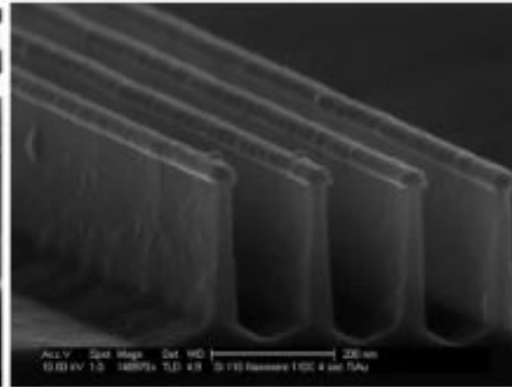
**Isotropic etch process,**  
 particles move in each direction:  
 Under etch of the resist mask,  
 high selectivity

**Anisotropic etch process,**  
 perpendicular orientated:  
 Exact transfer of the resist mask,  
 low selectivity

**Fig.5** Corodarea izotropă și anizotropă



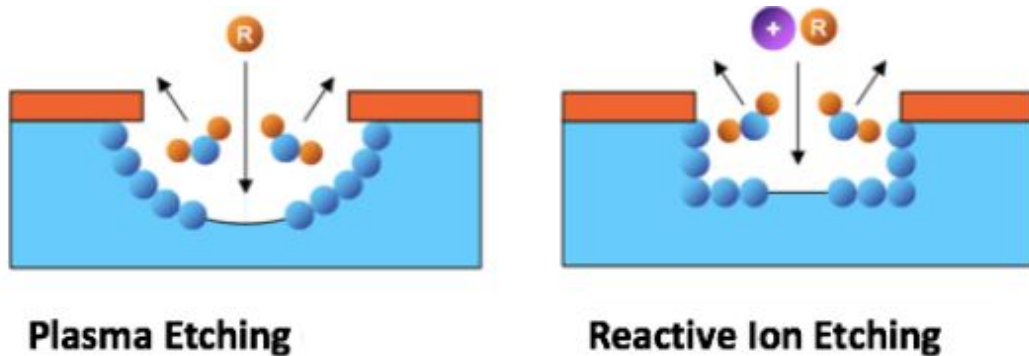
**c**



**d**

## Avantaje și limitări

Caracteristici	Corodare cu plasmă	Corodare cu fascicul de ioni reactivi
Precizie	medie	foarte mare
Uniformitate	ridicată	ridicată
Aplicații tipice	depuneri generale și curățare	gravuri complexe și microfabricare
Complexitatea echipamentului	scăzută	moderată
Cost	relativ redus	mai ridicat

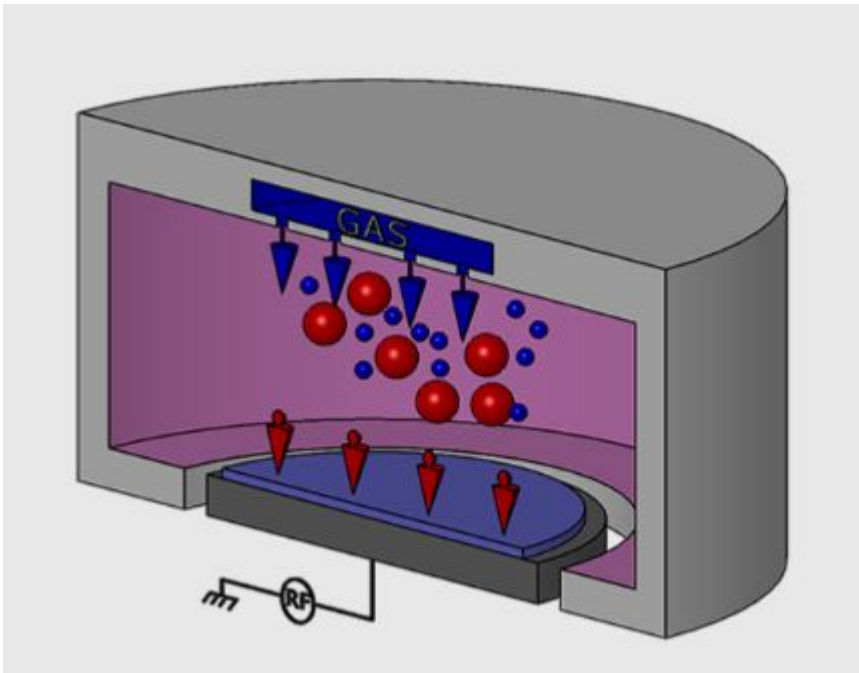


**Fig.6** Corodarea cu plasmă și corodarea cu fascicul de ioni reactivi

Așadar, diferența între cele două tipuri de corodare prezentate mai sus este dată ionii care „sapă” adânc în stratul de Si permițând radicalilor să interacționeze cu straturile următoare de Si.

- La corodarea cu plasmă radicalii reactivi interacționează doar cu stratul de suprafață al materialului deoarece aceștia nu au suficientă energie să pătrundă mai adânc. Ei doar reacționează chimic cu atomii de la suprafață, iar procesul e limitat la acel strat.
- La corodarea cu fascicule de ioni (RIE) aceștia sparg stratul de suprafață, dislocând atomii și făcând loc radicalilor să ajungă la straturile mai profunde. Asta înseamnă că materialul poate fi corodat strat cu strat, mai adânc.





**Fig.7** Cameră utilizată pentru corodare



**Fig.8** Aparat utilizat pentru corodare

## Aplicații industriale

- **Industria semiconductorilor** - procesarea straturilor de Si pentru microcipuri.
- **Optică** - crearea și prelucrarea lentilelor, filtrelor și dispozitivelor de imagistică.
- **Medicină** - fabricarea structurilor precise pentru implanturi biomedicale și microfluidică.
- **Nanotehnologie** - prelucrarea nanostructurilor și dispozitivelor la scară atomică.

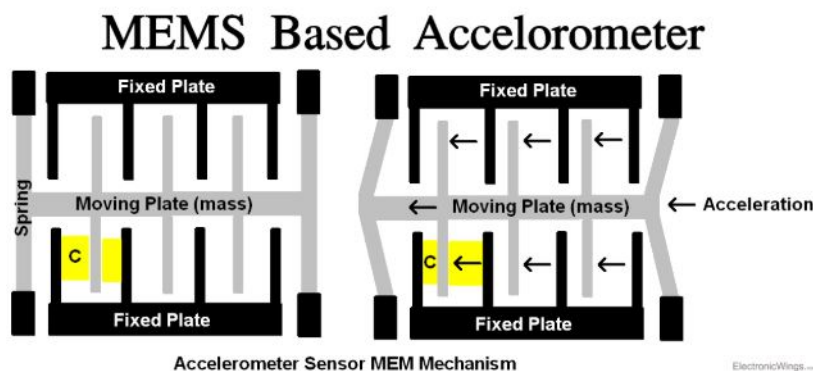
## Legătura corodării cu MEMS

MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) sunt sisteme care combină componente electrice și mecanice la scară micro sau nanometrică. Procesul de corodare este esențial în fabricarea MEMS, deoarece ajută la:

- crearea structurilor tridimensionale - corodarea este folosită pentru a defini forme complexe necesare în realizarea elementelor mecanice, cum ar fi pârgăhii, ancore, membrane, și canale fluide.
  - miniaturizarea componentelor - corodarea permite reducerea dimensiunilor dispozitivelor și integrarea mai multor funcții pe un singur cip, ceea ce este esențial în MEMS.
- un control precis al caracteristicilor prin procese precum corodarea anizotropă, se pot obține structuri bine definite, necesare pentru funcționalitatea mecanică și electrică a MEMS.

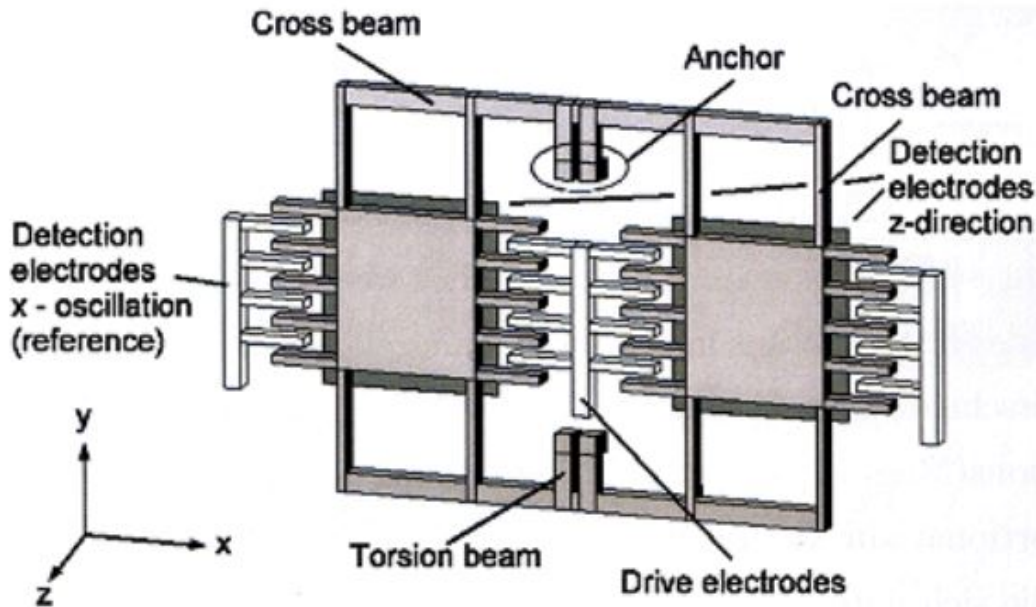
## ❖ Accelerometre MEMS

- aplicații: smartphone-uri, airbag-uri auto, console de jocuri.
- proces de corodare utilizat - corodare uscată anizotropă (RIE) pentru a sculpta structurile tridimensionale care formează masa mobilă și arcurile flexibile.



### ❖ Giroscoape MEMS

- aplicații: navigație inerțială, drone, dispozitive VR/AR.
- proces de corodare utilizat - DRIE pentru a crea structuri complexe, cum ar fi lamele suspendate și masele oscilante.



### ❖ Micro-oglinzi MEMS

- aplicații - proiectoare DLP, echipamente medicale optice.
- proces de corodare utilizat- gravare cu plasmă pentru a defini oglinzile individuale și a sculpta mecanismele de mișcare sub acestea.

### ❖ Comutatoare RF MEMS

- aplicații - comunicații wireless, antene adaptive.
- proces de corodare utilizat - RIE sau DRIE pentru a fabrica structurile micro-mecanice care se deplasează pentru a închide/deschide circuitele.

### ❖ Microrezonatoare MEMS

- aplicații - filtre de semnal, oscilatoare.
- proces de corodare utilizat - RIE pentru a crea structuri vibrante cu dimensiuni precise.

<https://www.youtube.com/watch?v=BfZfqMDERQM>

## **Bibliografie**

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Etching>
2. <https://www.thierry-corp.com/plasma-treatment-articles/what-is-plasma-etching-and-why-it-is-important-for-product-development>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Reactive-ion\\_etching](https://en.wikipedia.org/wiki/Reactive-ion_etching)
4. <https://top10pcb.com/etching-technology-of-outer-circuit-of-pcb-circuit-board.html>
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_reactive-ion\\_etching](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_reactive-ion_etching)
6. [https://www.researchgate.net/figure/Bosch-etch-process-consists-of-alternating-etch-and-deposition-cycles-The-etch-cycle-may\\_fig3\\_228924006](https://www.researchgate.net/figure/Bosch-etch-process-consists-of-alternating-etch-and-deposition-cycles-The-etch-cycle-may_fig3_228924006)
7. <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/accelerometers.html>
8. <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/mems-gyroscope-provides-precision-inertial-sensing.html>