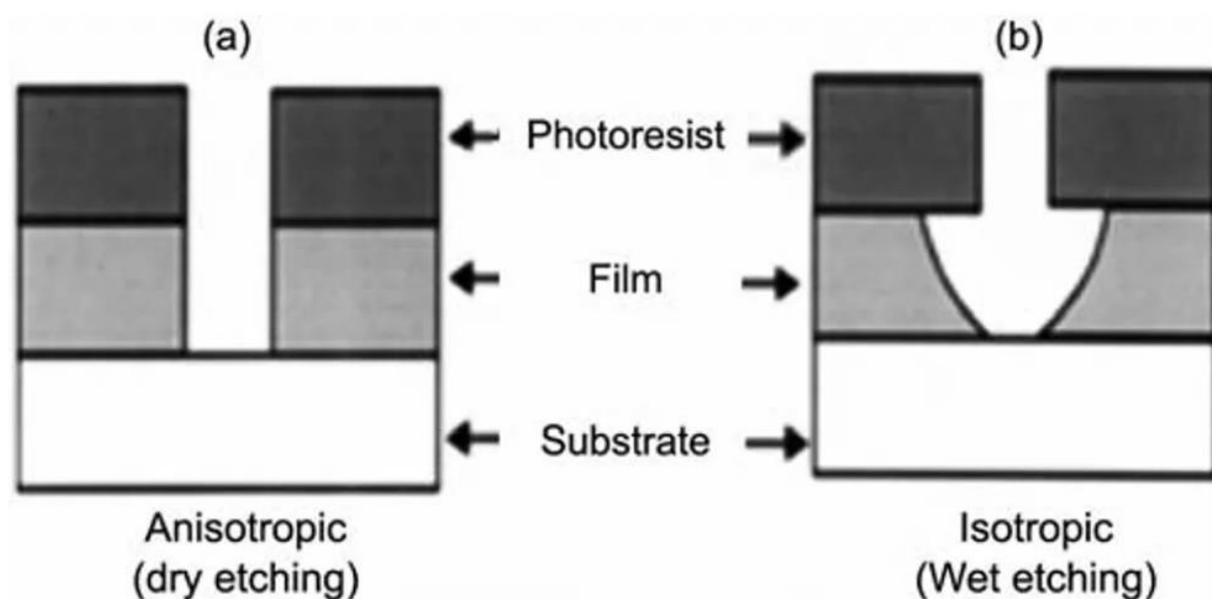


## Corodarea uscată

**Corodarea** (etching) reprezintă procesul îndepărtării foliei de cupru de pe suport, în zonele ce trebuie să fie electroizolante. Aceasta se împarte în:

- corodare umedă (wet etching) – se realizează fie cu ajutorul unui acid (precum acidul hidrofluoric tamponat – BHF, Buffered Hydrofluoric Acid, care se folosește pentru corodarea în baie a straturilor de de nitrid de siliciu ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) sau dioxid de siliciu ( $\text{SiO}_2$ ) pe un substrat de siliciu), fie fără scufundarea în baie (în care se utilizează un gaz pentru a forma o pernă de aer de protecție pe o parte a plăcuței, în timp ce se corodează pe cealaltă)

- corodare uscată (dry etching) – îmbină corodarea chimică cu cea fizică sau bombardarea cu fascicul de ioni (IBE - Ion Beam Etching).



**Corodarea uscată** este o tehnologie avansată, folosită pentru gravarea sau modificarea controlată a suprafețelor materialelor, și se poate realiza cu ajutorul unui gaz ionizat sau plasmă. Acest proces se desfășoară într-un mediu controlat, fără a se utiliza lichide, și presupune interacțiuni între particulele încărcate electric (ioni, electroni), și suprafața materialului țintă. Se folosește adesea în industria semiconductorilor, fabricarea nanostructurilor și tratarea suprafețelor, pentru îmbunătățirea proprietăților funcționale.



Fig.1 RIE vs Plasma etching

Corodarea uscată constă în îndepărtarea materialului de pe suprafața unui substrat solid prin utilizarea unor gaze reactive ionizate. Procesul utilizează energia particulelor din plasmă pentru a produce reacții chimice sau impacturi mecanice, ceea ce conduce la îndepărtarea straturilor de material în mod controlat.

- **Plasma** - reprezintă un gaz parțial sau complet ionizat, alcătuit din ioni, electroni și atomi neutri, generat, de regulă, prin aplicarea unui câmp electromagnetic sau electric asupra unui gaz.

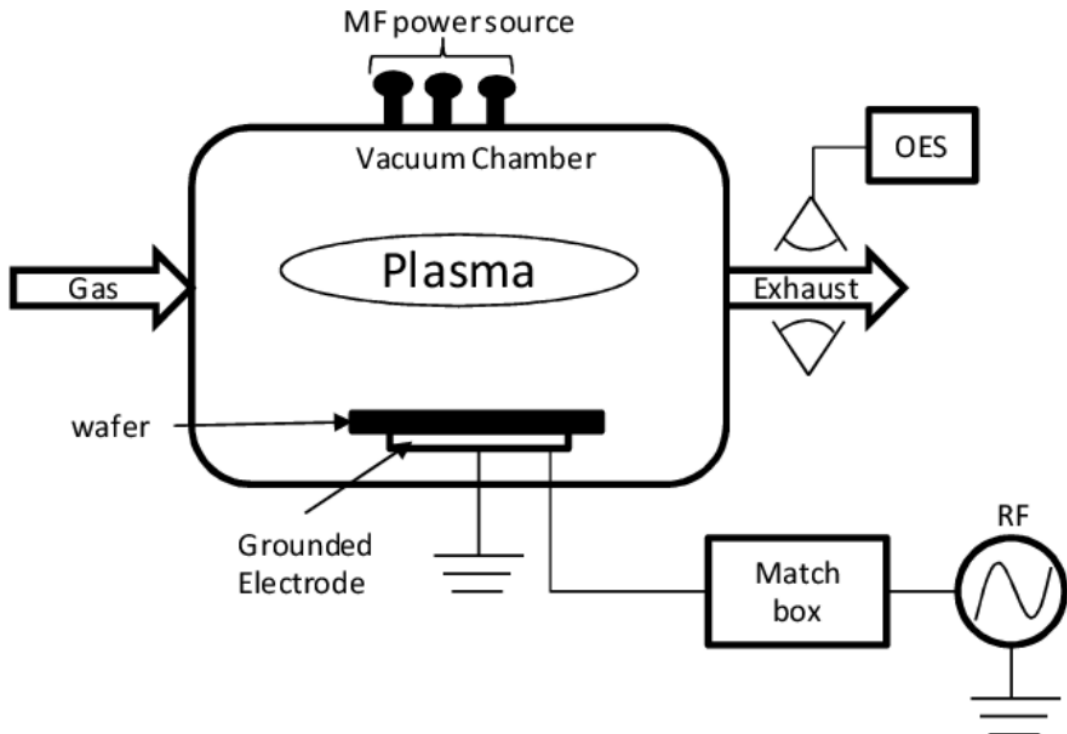


Fig.2 Diagrama de flux a unui proces de corodare cu plasmă

- **Gaz ionizat**- un gaz inert sau reactiv (cum ar fi argon, fluor, clor sau oxigen), care devine o sursă de particule ionizate utilizate pentru procesul de corodare.

**Principiul de funcționare** - procesul de corodare uscată prin plasmă sau gaz ionizat implică următorii pași:

1. **Generarea plasmei** - plasma este realizată într-o cameră vidată prin aplicarea unui câmp electric de înaltă frecvență sau curent direct asupra unui gaz. Câteva exemple de gaze folosite:

- Argon (Ar) - pentru gravare fizică (bombardament ionic);
- Clor (Cl<sub>2</sub>) și fluor (CF<sub>4</sub>) - pentru gravare chimică;
- Oxigen (O<sub>2</sub>) - folosit pentru modificarea polimerilor sau oxidarea suprafețelor.

2. **Bombardamentul suprafeței** - ionii accelerați din plasmă sunt direcționați spre suprafața materialului. Există două mecanisme de bază:

- Corodarea fizică - prin care ionii lovesc suprafața materialului cu energie ridicată, iar atomii sunt dislocați prin impact mecanic.

- Corodarea chimică- prin care ionii sau radicalii liberi din plasmă reacționează chimic cu suprafața, formând compuși volatili care sunt eliminați din cameră.

3. **Eliminarea materialului corodat** - produsele rezultate (oxizi, carburi sau alți compuși) vor fi evacuate prin sistemul de vid al instalației, lăsând o suprafață curată și gravată.

## Tipuri de procese de corodare uscată

### 1. Corodarea cu plasmă reactivă (RIE - Reactive Ion Etching)

**RIE - Reactive Ion Etching** – constituie un proces care combină corodarea fizică și chimică. Ionii accelerați bombardează suprafața și, simultan, gazele reactive interacționează chimic cu materialul, ceea ce duce la o corodare rapidă și precisă.

Ca și exemplu de utilizare, RIE este utilizată în fabricarea circuitelor integrate pentru a coroda straturi subțiri de siliciu sau oxid de siliciu.

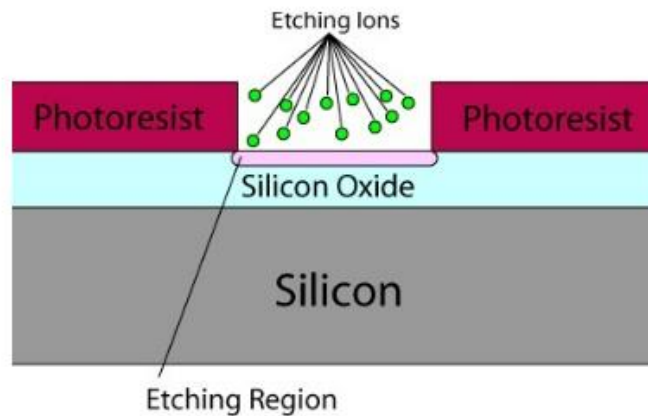


Fig.2 Mască fotorezist pe dioxid de siliciu

Figura de mai sus reprezintă o mască fotorezist pe dioxid de siliciu. Ioni de corodare sunt accelerați în regiunea de corodare unde se combină cu dioxidul de siliciu și apoi sunt dispersați. Deoarece câmpul electric accelerează ionii spre suprafață, corodarea cauzată de acești ioni este mult mai dominantă decât corodarea cauzată de radicali - ioni care se deplasează în direcții diferite, astfel încât corodarea este **anizotropică**.

În videoclipul următor, putem urmări procesul corodării RIE: [https://www.youtube.com/watch?v=IjkhMYBmGcI&list=PLTgCmj9g\\_B9sNT2NUjvnm68fHtiMueEkj](https://www.youtube.com/watch?v=IjkhMYBmGcI&list=PLTgCmj9g_B9sNT2NUjvnm68fHtiMueEkj)

Un sistem RIE tipic (cu plăci paralele) constă într-o cameră de vid cilindrică, cu un platou pentru plachete, situat în partea inferioară a camerei. Acest platou este izolat electric de restul camerei. Gazul intră prin mici orificii în partea superioară a camerei și iese în sistemul pompei de vid, prin partea inferioară. Tipurile și cantitatea de gaz utilizate variază în funcție de procesul de corodare, spre exemplu, hexafluorura de sulf este folosită adesea pentru corodarea siliciului. Presiunea gazului este de obicei menținută într-un interval cuprins între câțiva miliTorr și câteva sute de miliTorr prin ajustarea debitelor de gaz și/sau ajustarea unui orificiu de evacuare.



Fig.3 Instalație de corodare cu ioni reactivi într-o cameră curată de laborator

Există și alte tipuri de sisteme RIE, inclusiv RIE cu plasmă cuplată inductiv (ICP). În acest tip de sistem, plasma este generată cu ajutorul unui câmp magnetic alimentat cu frecvență radio (RF). Se pot obține densități de plasmă foarte mari, deși profilurile de corodare tind să fie mai izotropice.

## 2. Corodarea cu plasmă (PE - Plasma Etching)

**PE - Plasma Etching** - reprezintă un proces chimic predominant în care radicalii liberi din plasmă interacționează cu materialul. Acest proces este mai blând și este utilizat pentru corodarea materialelor sensibile, cum ar fi polimerii. Ca și exemplu avem modificarea suprafețelor polimerice pentru aderența mai bună a stratului de acoperire.

Procesul constă în mai multe etape, și anume:

I. *Generarea plasmă* - plasma este produsă într-o cameră vidată, prin aplicarea unui câmp electric de înaltă frecvență, asupra unui gaz inert sau reactiv (cum ar fi: argon, oxigen, etc.). Gazul ionizat conține:

- Ioni
- Electroni
- Radicali liberi
- Atomi sau molecule excitate.

II. *Reacția chimică* - particulele reactive din plasmă interacționează cu suprafața materialului, rezultând compuși chimici volatili (gaze). Acest proces presupune reacții chimice complexe și ajută la îndepărtarea controlată a materialului.

III. *Evacuarea materialului gravat* - compușii volatili formați sunt eliminați din cameră, cu ajutorul unui sistem de vid, prevenind contaminarea și asigurând un mediu curat.

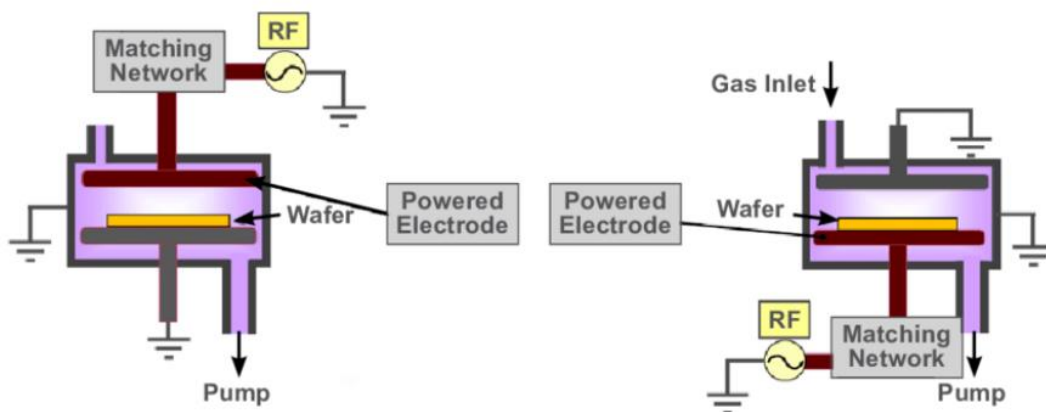


Fig. 4a) Reactor de corodare cu plasmă (PE) cu placheta pe electrodul împământat. Fig4.b) Reactor de corodare cu ioni reactivi cu plăci paralele (//RIE) cu placheta pe electrodul alimentat cu RF (denumit și corodare prin pulverizare reactivă).

### 3. Bombardarea cu fascicul de ioni (IBE - Ion Beam Etching)

**IBE - Ion Beam Etching** – reprezintă proces fizic pur în care ionii accelerați lovesc suprafața fără a implica reacții chimice. Este utilizat pentru corodarea materialelor dure, precum metale sau ceramice (spre exemplu, fabricarea dispozitivelor optice sau microelectronice). Mai jos putem observa o exemplificare de echipament utilizat pentru corodarea IBE:

<https://www.youtube.com/shorts/nNNv04I-el8>

Procesul constă în mai multe etape:

### 1. Generarea fascicului de ioni

- Fascicul de ioni este creat într-un generator de plasmă, unde un gaz inert (de obicei argon) este ionizat sub influența unui câmp electromagnetic.
- Ionii pozitivi formați sunt accelerați printr-un câmp electric pentru a forma un fascicul concentrat.

### 2. Bombardamentul substratului

- Fascicul de ioni este direcționat asupra substratului, iar atomii sunt dislocați de pe suprafață prin transfer de energie cinetică.
- Materialul îndepărtat este evacuat din cameră sub formă de particule solide sau gazoase.

### 3. Controlul direcției fascicului

Fascicul poate fi înclinat pentru a grava suprafețe specifice sau geometrii complexe.

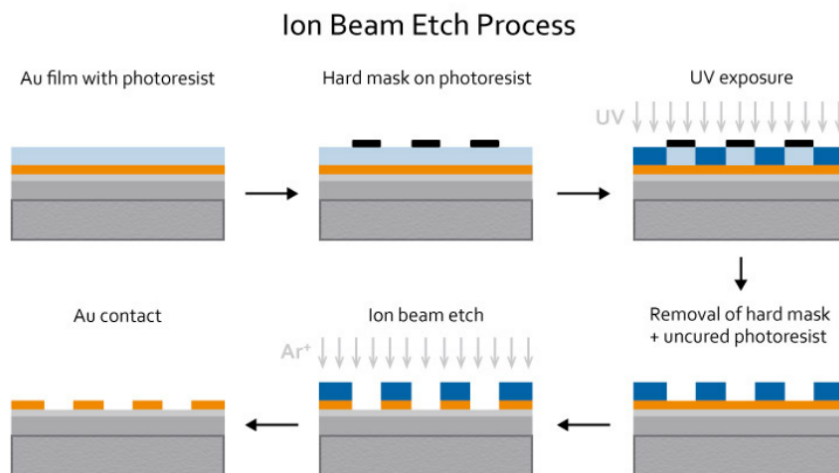


Fig.5 Procesul IBE

**Avantaje ale corodării uscate-** printre acestea se numără:

1. **Precizia ridicată-** corodarea uscată oferă posibilitatea de a coroda structuri la scară micrometrică sau nanometrică.
2. **Selectivitatea-** posibilitatea de a coroda anumite materiale fără a afecta alte materiale.
3. **Proces curat-** lipsa lichidelor reduce contaminarea materialelor.
4. **Control avansat-** parametrii precum energia ionilor, durata procesului, și debitul de gaz pot fi ajustați pentru rezultate specifice.

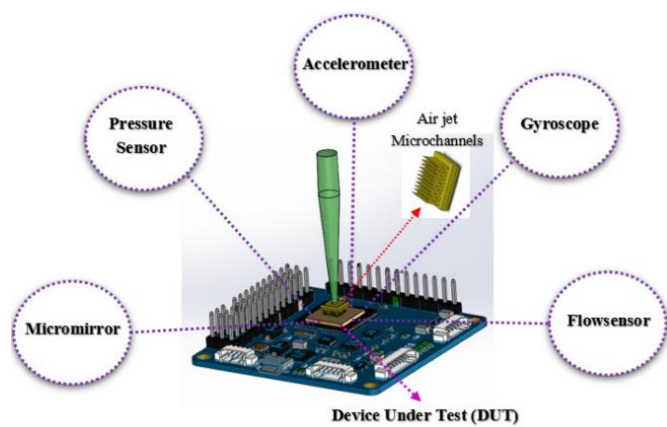
### Aplicații industriale

Corodarea uscată este utilizată în numeroase aplicații, precum:

#### a) Industria MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)

– prin corodarea uscată, cu plasmă și ioni reactivi, rezultă profile fine, în straturi subțiri, acestea având dimensiuni de la nanometri la micrometri, tehnica fiind foarte utilă în fabricarea MEMS-urilor. Aplicații specifice:

- Senzori: fabricarea accelerometrelor, giroscopelor și senzorilor de presiune.
- Actuatore: crearea componentelor mobile miniaturizate, precum oglinzile mobile din microproiectoare.
- Dispozitive RF MEMS: corodarea structurilor pentru comutatoare și filtre în comunicații wireless.





### b) Industria semiconductoarelor

- Fabricarea circuitelor integrate și a microcipurilor.
- Gravarea substraturilor de siliciu sau oxid de siliciu.

### c) Industria nanotehnologiei

- Crearea nanostructurilor pentru senzori sau dispozitive optoelectronice.

### d) Medicină

- Modificarea suprafețelor implanturilor medicale pentru a îmbunătăți biocompatibilitatea.

### e) Industria aerospațială

- Tratarea suprafețelor metalice pentru a îmbunătăți rezistența la temperaturi înalte.

### Exemple de gaze utilizate și aplicațiile lor

Gaz	Aplicație	Reacție principală
Argon (Ar)	Gravare mecanică pentru substraturi dure	Bombardare ionic
Clor (Cl <sub>2</sub> )	Gravare chimică a metalelor și semiconductoarelor	Formarea clorurii volatile
Oxigen (O <sub>2</sub> )	Modificarea polimerilor și oxidarea suprafețelor	Oxidare
CF <sub>4</sub>	Gravarea straturilor de siliciu	Formarea compușilor volatili (SiF <sub>4</sub> )
SF <sub>6</sub>	Gravarea profundă a structurilor de siliciu	Eliminarea siliciului prin compuși volatili

**Dezavantaje corodării uscate** – deși prezintă numeroase avantaje, corodarea uscată prezintă și câteva neajunsuri, precum:

1. **Costuri ridicate** - echipamentele de corodare cu plasmă sunt scumpe iar întreținerea lor este complexă.
2. **Necesitatea unui vid controlat** - procesul necesită o cameră vidată pentru a funcționa eficient.
3. **Selectivitate limitată** - unele materiale pot fi greu de corodat sau pot avea nevoie de condiții speciale.

4. **Deteriorarea materialului:** Parametrii incorect setați pot duce la supra-gravare sau defecte structurale.

În concluzie, corodarea uscată este o tehnologie esențială pentru aplicațiile moderne, datorită preciziei și versatilității sale. Utilizată în domenii precum microelectronică, medicină și nanotehnologie, această tehnică permite tratarea și modificarea suprafețelor la nivel atomic. Cu toate că necesită echipamente costisitoare și condiții controlate, avantajele oferite fac din corodarea uscată o metodă indispensabilă pentru fabricarea dispozitivelor avansate.