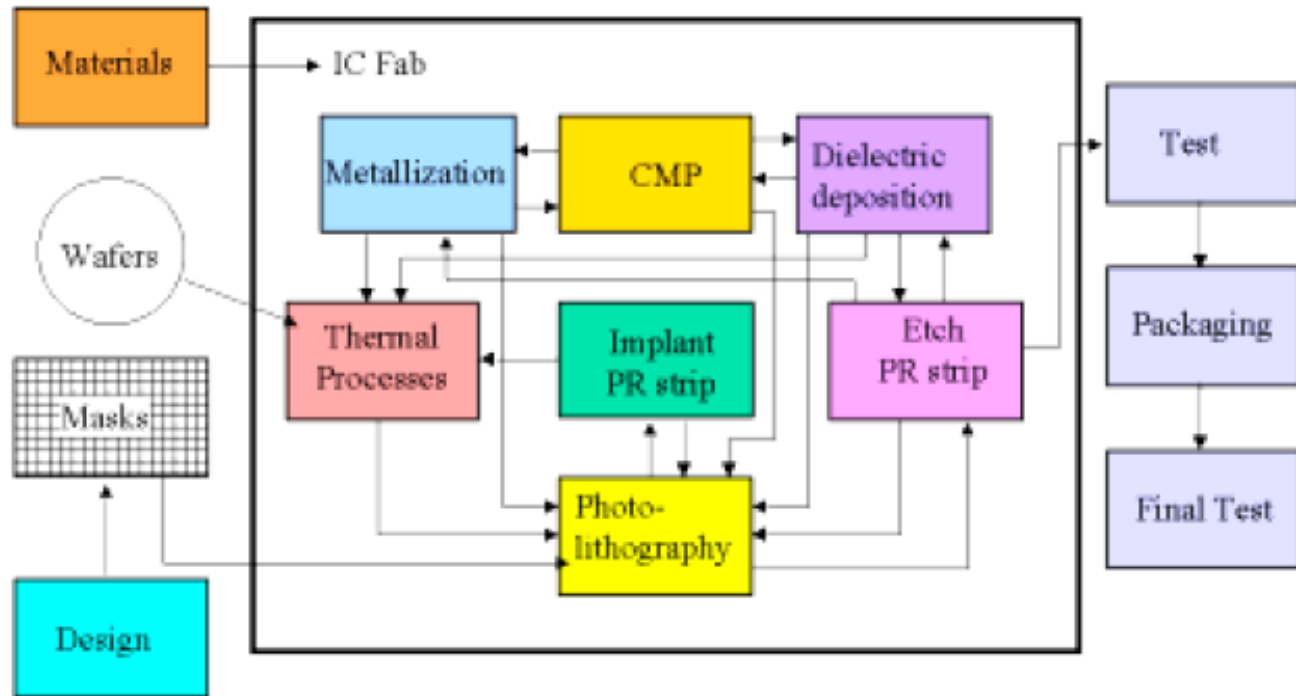


1.3. ATAQUE

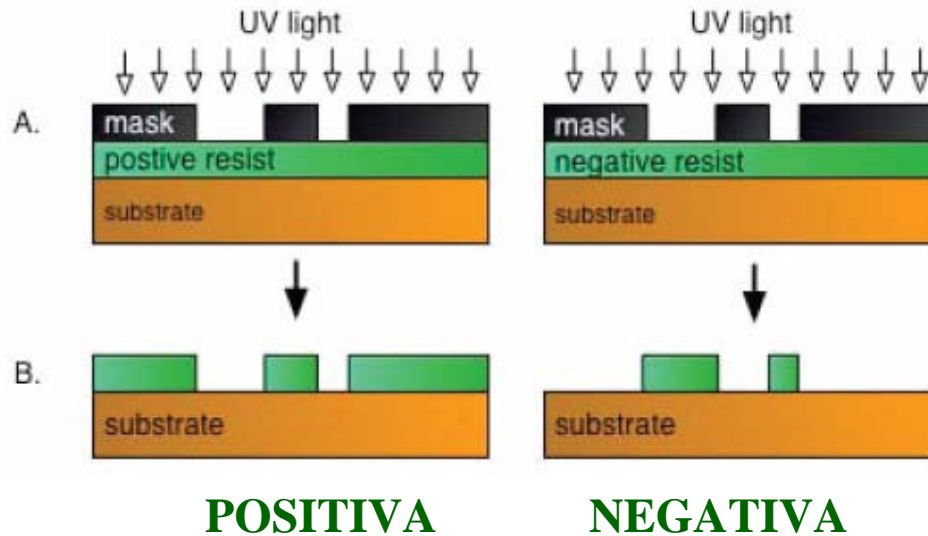
-Ataque húmedo (químico).

-Ataque seco (físico/físico-químico).

RECORDEMOS



En el proceso de LITOGRAFÍA hay que RECUBRIR la oblea con una RESINA sensible a radiación (luz o haz de electrones)



(1) La resina expuesta se ablandará-dañará (+) o se endurecerá-estabilizará (-) en las zonas expuestas a la radiación utilizada en el proceso litográfico.

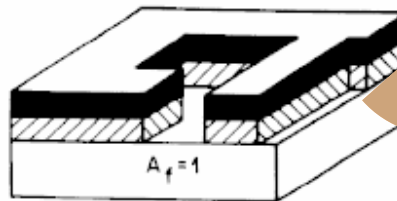
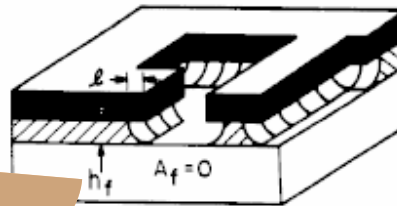
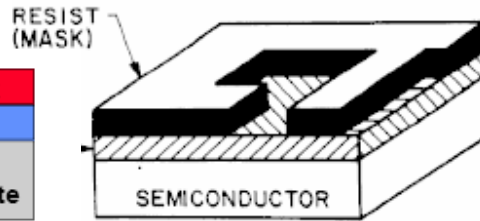
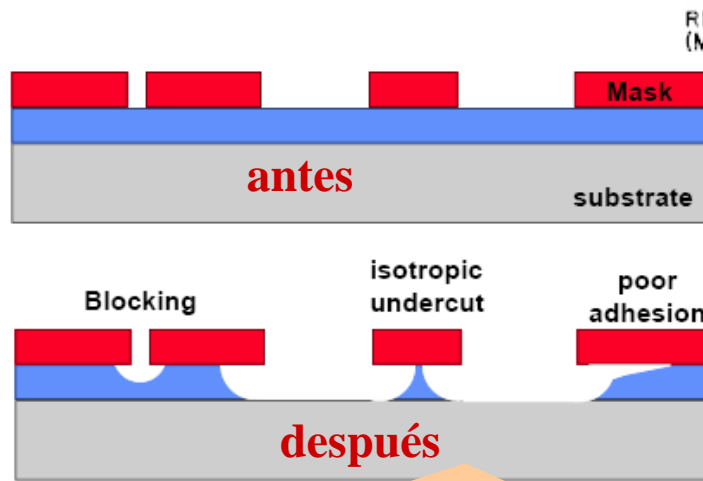
(2) Se elimina la fotoresina no polimerizada con el disolvente orgánico adecuado.

(3) El siguiente paso del procesado sería el ATAQUE del substrato por métodos químicos o físicos (Apartado 1.3).

ATAQUE HÚMEDO

Isótropo

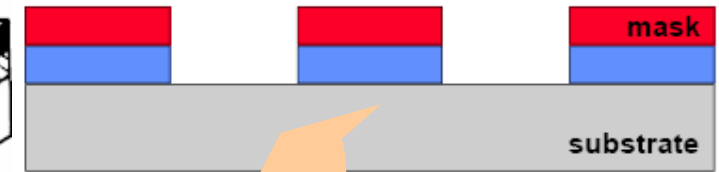
Selectivo



ATAQUE SECO

Anisótropo

Menos selectivo



1.3. ATAQUE

-Ataque húmedo (químico).

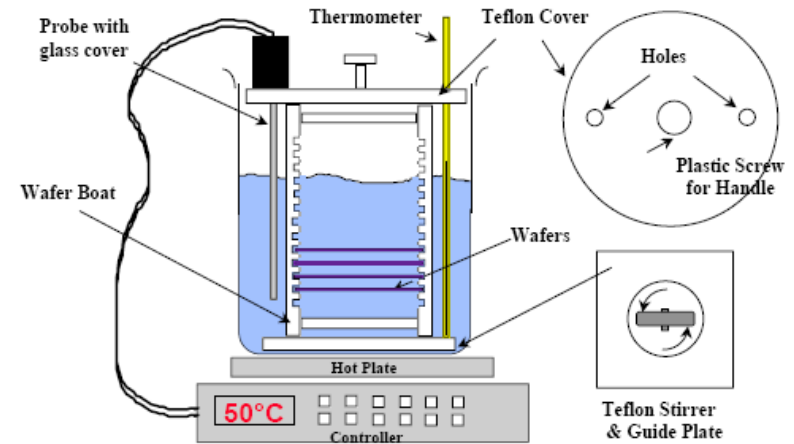
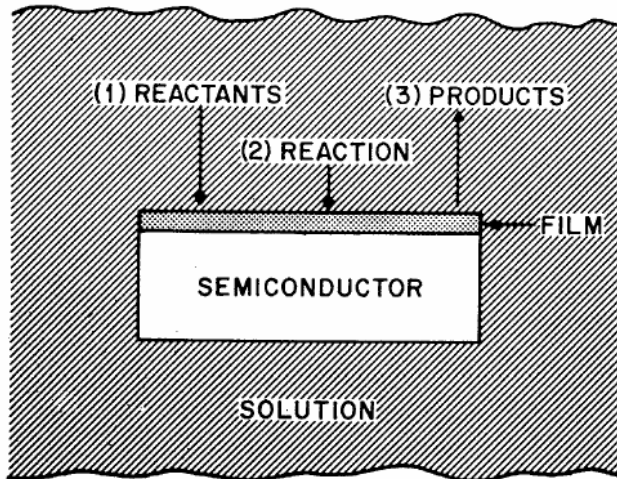
-Ataque seco (físico/físico-químico).

Los ataques químicos más comunes son por:

- (i) disolución de material en un solvente o
- (ii) conversión del material en un compuesto soluble

El ataque químico tiene lugar en tres pasos esenciales:

- (1) Transporte de los reactivos a la superficie (difusión).
- (2) Reacciones químicas en la superficie.
- (3) Transporte de los productos de esas reacciones desde la superficie (difusión).



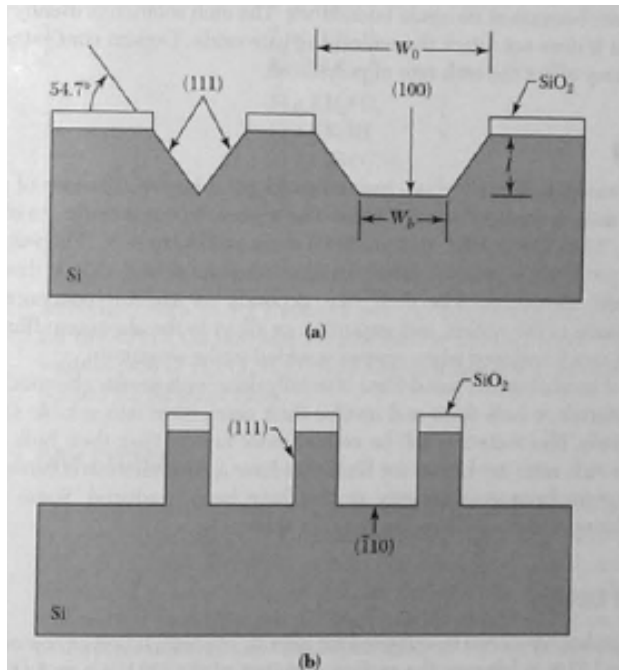
Silicio

El ataque químico isótropo se realiza típicamente por oxidación y posterior disolución de éste mediante reacción química (inmersión en fluorhídrico):



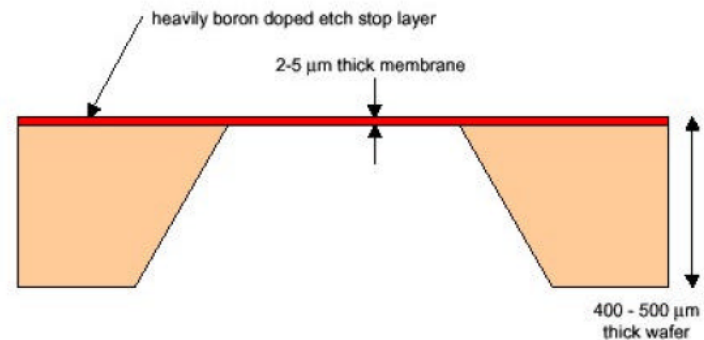
Se puede utilizar agua o ácido acético (CH_3COOH) como diluyentes.

Se puede realizar un ataque químico anisótropo con una solución al 19 % en peso de KOH en agua a 80 °C.



$$W_b = W_0 - 2l \cos(54.7^\circ)$$

CAPA DE PARADA DEL ATAQUE (STOP ETCH)



MATERIAL	COMPOSICIÓN	VELOCIDAD nm/min
SiO₂	28 ml HF	
(BHF - BOE)	170 ml H ₂ O	100
	113 g NH ₄ F	
(P-etch)	15 ml HF	
	10 ml HNO ₃	12
	300 ml H ₂ O	
Si₃N₄	BHF	0.5
Al	H3PO4	10
Au	4 g KI	1000
GaAs	H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ -H ₂ O (8:1:1)	800 (<111>Ga)
	H ₃ PO ₄ -H ₂ O ₂ -H ₂ O (3:1:50)	400 (<111>Ga)

- **VENTAJAS:**

- Equipamiento simple.

- Gran capacidad.

- Alta selectividad.

- **DESVENTAJAS:**

- El ataque isótropo producirá cavidades internas.

- (Fungibles elevados) Se usan cantidades relativamente grandes de agentes químicos y porta-obleas.

- El ataque químico a alta T crea problemas de adhesión de la fotoresina.

- Difícil de obtener motivos pequeños, anchuras de línea mayor que el espesor, bloqueo de ataque causado por tensión superficial.

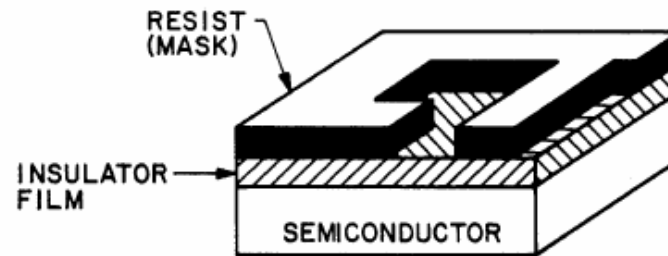
1.3. ATAQUE

-Ataque húmedo (químico).

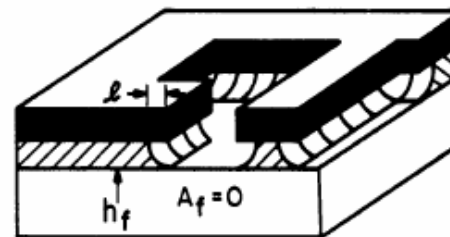
-Ataque seco (físico/físico-químico).

GRADO DE ANISOTROPÍA

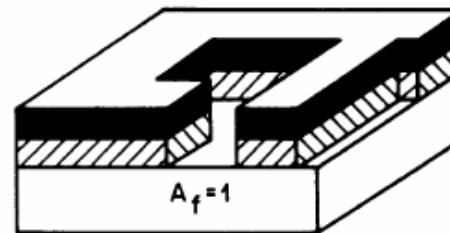
$$A_f \equiv 1 - \frac{\ell}{h_f} = 1 - \frac{v_l}{v_v}$$

ISÓTROPICO $A_f = 0$ ANISOTROPICO $A_f = 1$ 

(a)



(b)



(c)

ATAQUE SECO

- Ataque asistido por plasma.
- Ataque por plasma reactivo.

Técnicas que emplean plasma en la forma de descargas de baja presión.

PLASMA

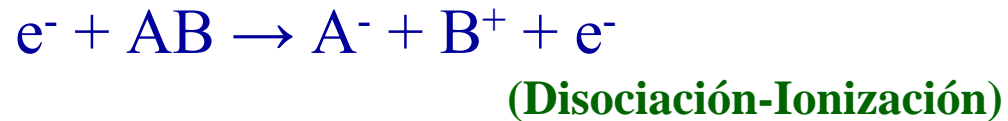
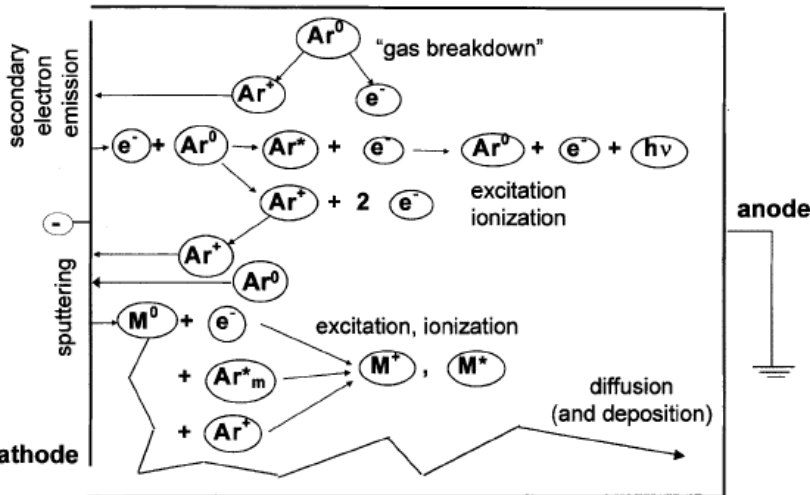
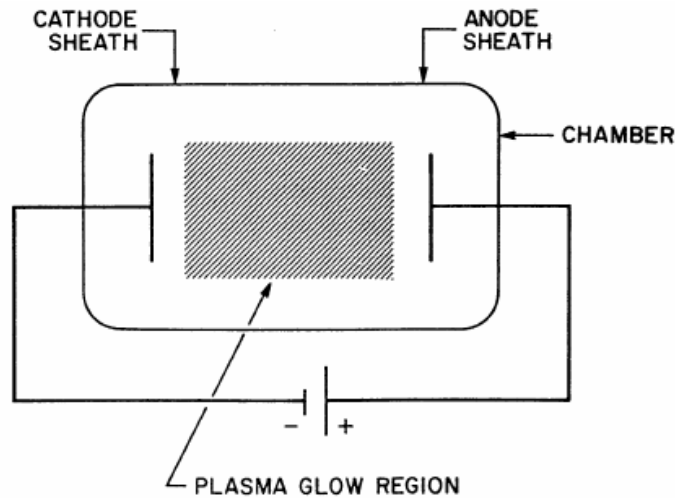
Un plasma es un gas total o parcialmente ionizado compuesto de iones, electrones y especies neutras, que se produce por la aplicación de un campo eléctrico elevado. Se inicia por los electrones emitidos por el ánodo (emisión de campo) y acelerados por el campo. Hay emisión de fotones (aspecto brillante).

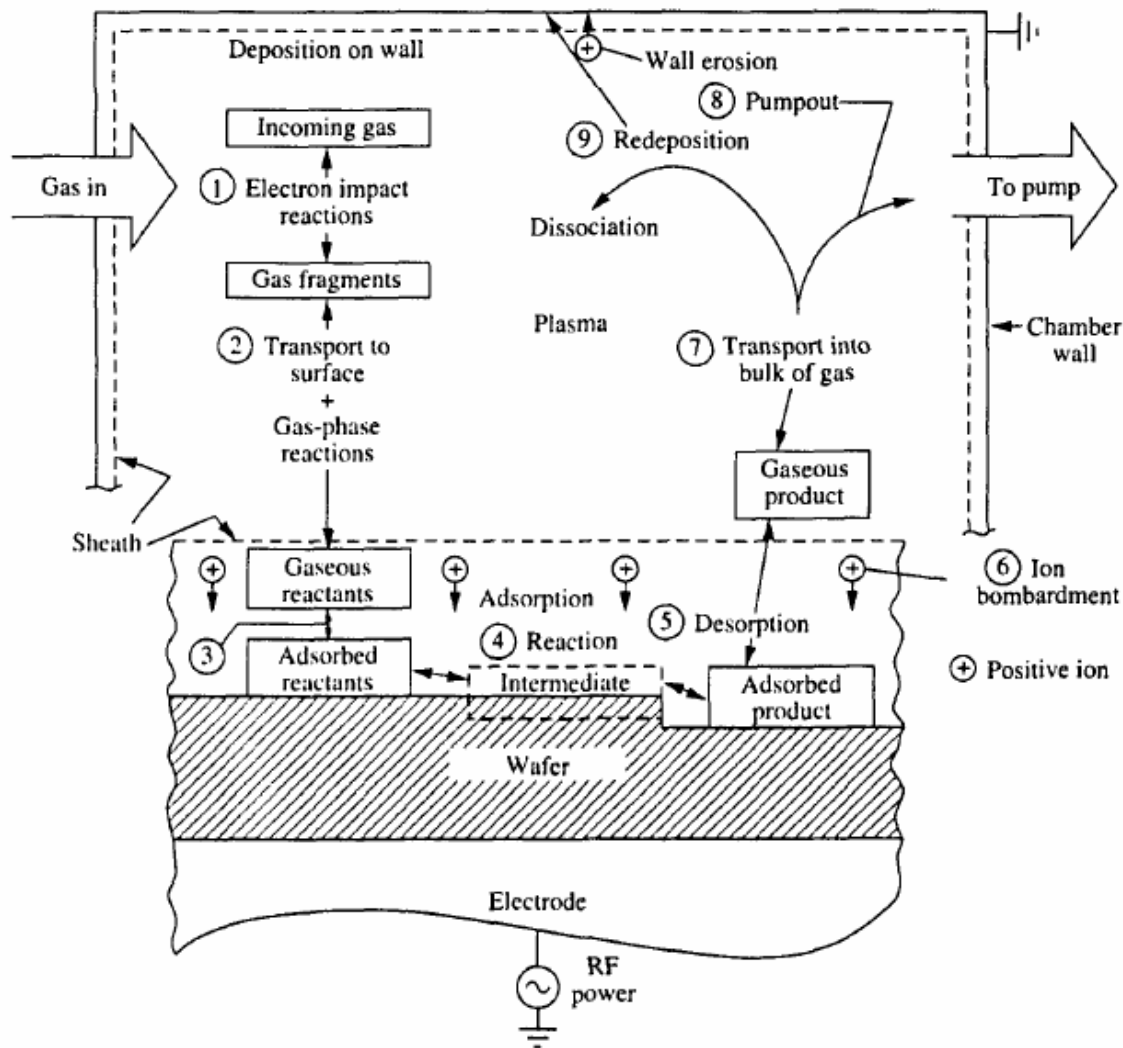
n-ELECTRONES: $10^9 - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$

nMOLECULAS/V = P/RT

EFICIENCIA DE IONIZACIÓN: $10^{-4} - 10^{-8}$

El plasma más útil para procesado anisótropo es un plasma ionizado conteniendo una densidad significativa de partículas neutras (> 90 %).





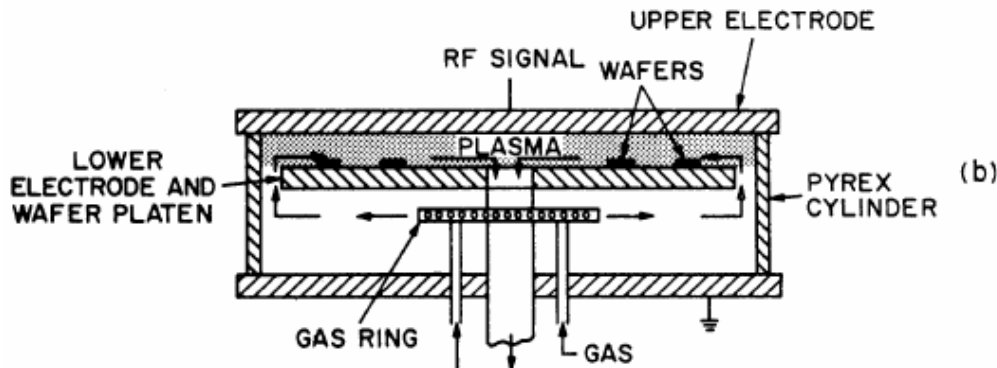
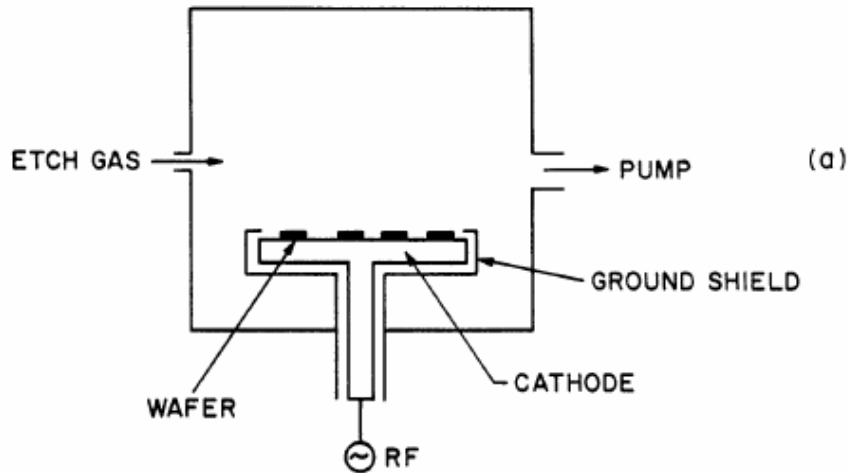
Esquema de los procesos microscópicos que tienen lugar durante el ataque por plasma de una oblea de silicio.

El proceso de ataque asistido por plasma tiene lugar en varios pasos. Comienza por (1) la generación en el plasma de las especies que han de producir ataque de la superficie, lo que viene acompañado por (2) la difusión de los reactivos a través de la zona oscura sobre dicha superficie. Una vez que el reactivo (3) se adsorbe en la superficie, (4) las reacciones químicas y/o el ataque físico por bombardeo (sputtering) producen compuestos volátiles: (5) se produce su desorción de la superficie, difunde a través del gas y es eliminado con el sistema de vacío.

La interacción del plasma con la superficie de un material se puede dividir en dos componentes: física y química.

-La interacción física se refiere al bombardeo de la superficie por iones positivos energéticos acelerados entre ánodo y cátodo (alta velocidad), lo que arranca partículas de la superficie.

-Las reacciones químicas son procesos de enlace electrónico entre las especies reactivas neutras del plasma y las especies químicas de la superficie, dando lugar a compuestos volátiles.



(a) Sistema de ataque por bombardeo.

(b) Sistema de ataque por RIE.

Los sistemas de ataque por bombardeo utilizan iones de gas de Ar de relativa alta energía (≥ 500 eV). La oblea (blanco) se sitúa sobre el cátodo. La transferencia de momento a los átomos de la superficie del blanco los lanza (sputtering) fuera de ésta. La presión de operación oscila entre 0.01 to 0.1 Torr.

No hay bombardeo-sputtering sobre los laterales (incidencia normal, fundamentalmente) y se espera que el ataque induzca una gran anisotropía.

Un gran inconveniente de este método es su escasa selectividad. Solo cambia por la diferente eficiencia del bombardeo en diferentes materiales.

También se puede utilizar un plasma de uno o más gases confinándolos entre dos electrodos muy cercanos. El electrodo inferior, que soporta el blanco, está acoplado capacitivamente a RF. También se consigue bombardeo de alta energía.

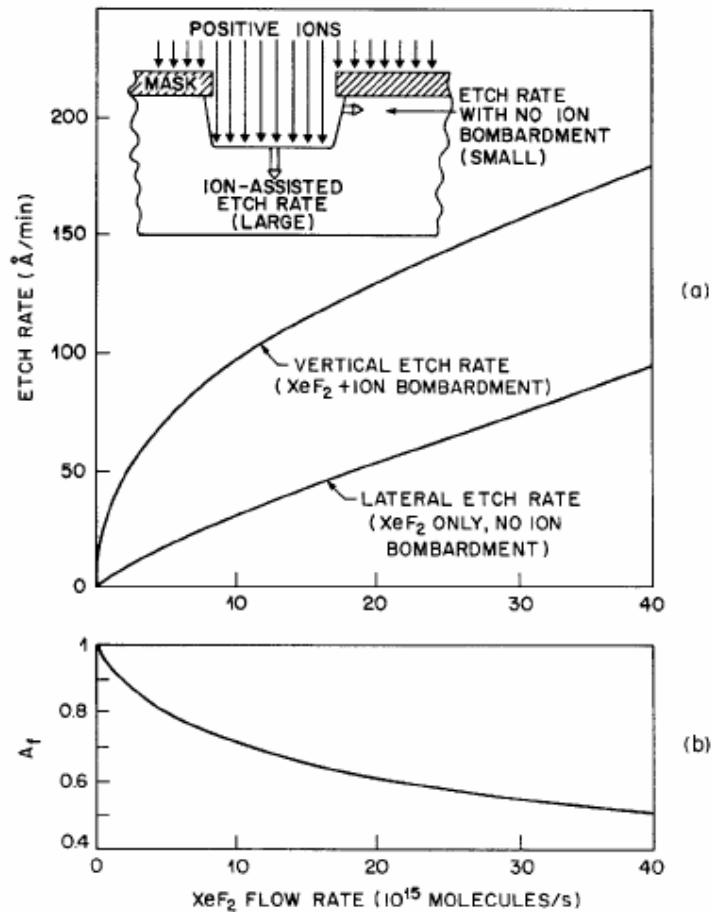
La presión de operación oscila 0.1 to 10 Torr.

La selectividad se puede controlar eligiendo la química del ataque a través de gases (halógenos) adecuados.

DRYTEK QUAD RIE TOOL



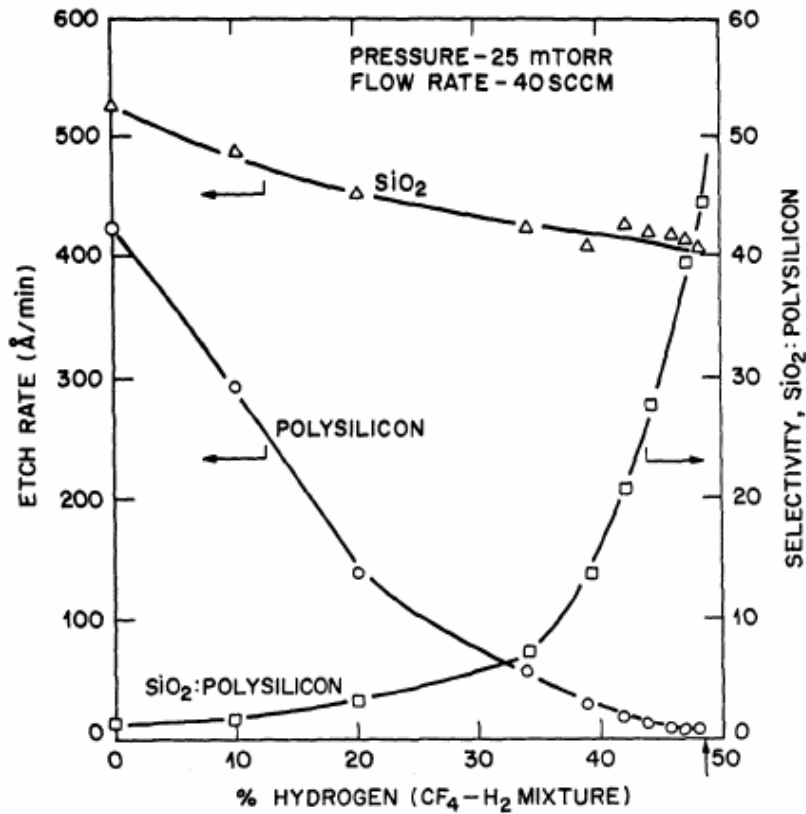
Sistema comercial de ataque por RIE.



En ataque por plasma y reactivo los iones son atraídos por la superficie. El proceso de arrancar material es muy lento. La velocidad del ataque puede mejorarse por las reacciones químicas asistidas por el bombardeo de iones.

En el ejemplo, la velocidad de ataque lateral depende la habilidad de las moléculas del gas XeF_2 para atacar el silicio en ausencia de iones energéticos incidiendo sobre la superficie, mientras que la velocidad de ataque vertical contiene el efecto sinérgico del bombardeo y del efecto químico de dichas moléculas. El grado de anisotropía se puede controlar con la energía de los iones incidentes.

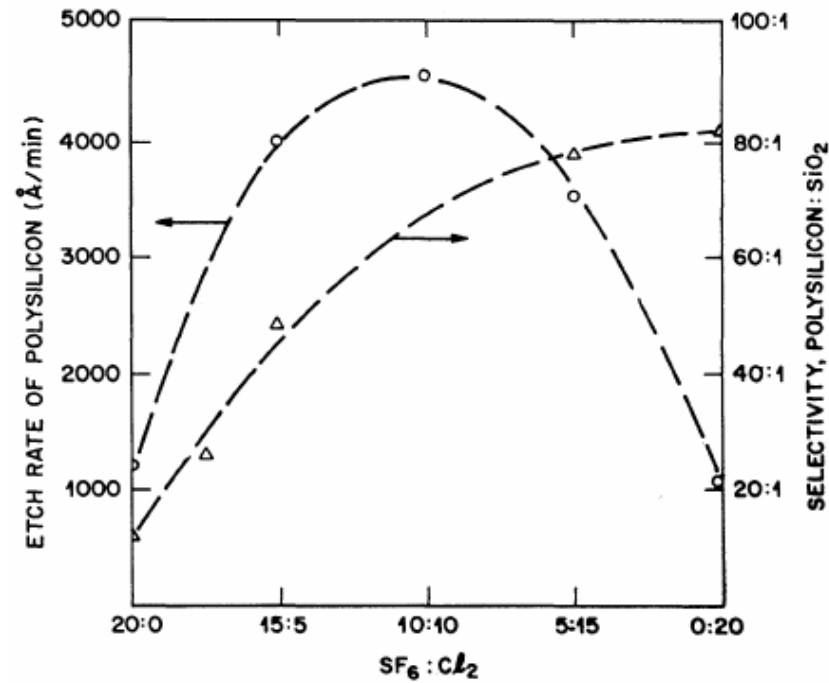
Velocidad de ataque del Silicio en función del flujo de XeF_2 asistido con un bombardeo con iones Ne^+ de 1 keV.



Cuando un gas se mezcla con uno o más gases aditivos se puede alterar tanto la velocidad como la selectividad del ataque del material.

En el ejemplo se muestra cómo la velocidad de ataque del SiO₂ es casi constante al añadir hidrógeno hasta casi un 40%, mientras que cae significativamente para Si hasta casi cero. Se alcanza pues una selectividad para el primero de 45:1 utilizando esta mezcla de gases. Es útil, por tanto, para atacar el óxido que cubre silicio.

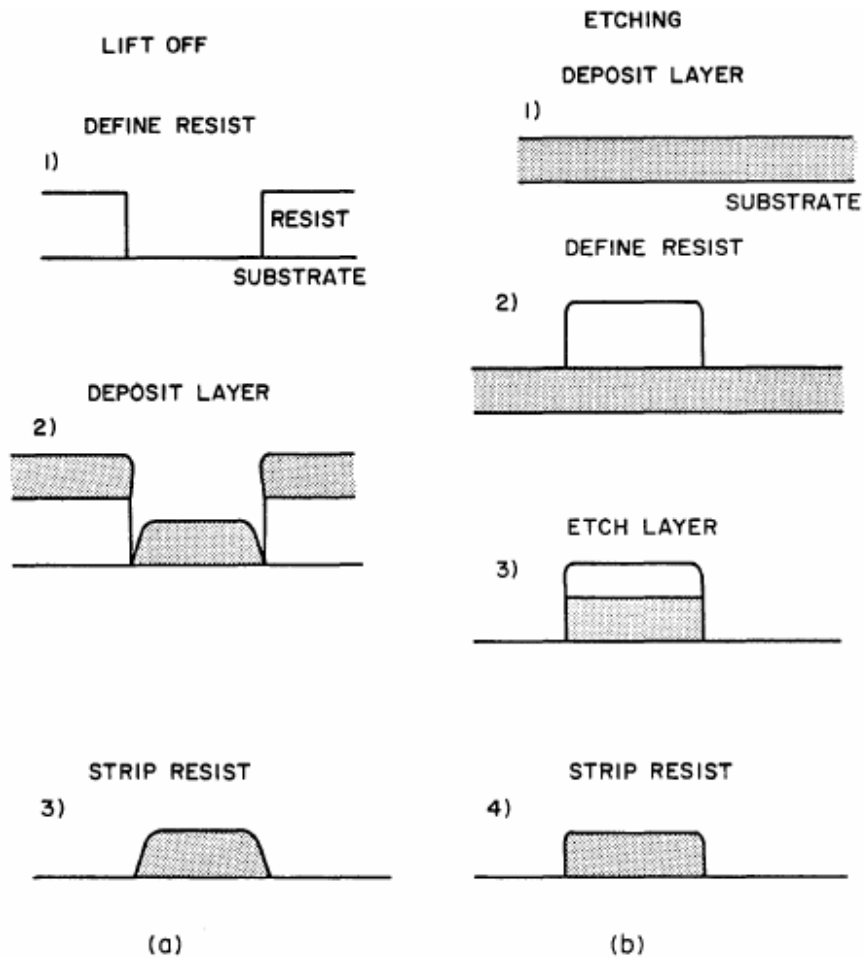
Velocidades de ataque de Si y SiO₂ y su selectividad en función del porcentaje de H₂ en CF₄.



Dependencia de las velocidades de ataque de polisilicio y selectividad al SiO₂ en función de la composición del gas SF₆ – Cl₂ (at 5.5 Pa).

Table 6.2: Etch Rates and Selectivities for Dry Etching.

Material (M)	Gas	Etch Rate (Å/min)	Selectivity		
			M/Resist	M/Si	M/SiO ₂
Si	SF ₆ + Cl ₂	1000-4500	5	-	80
SiO ₂	CF ₄ + H ₂	400-500	5	40	-
Al, Al-Si, Al-Cu	BCl ₃ + Cl ₂	500	5	5	25



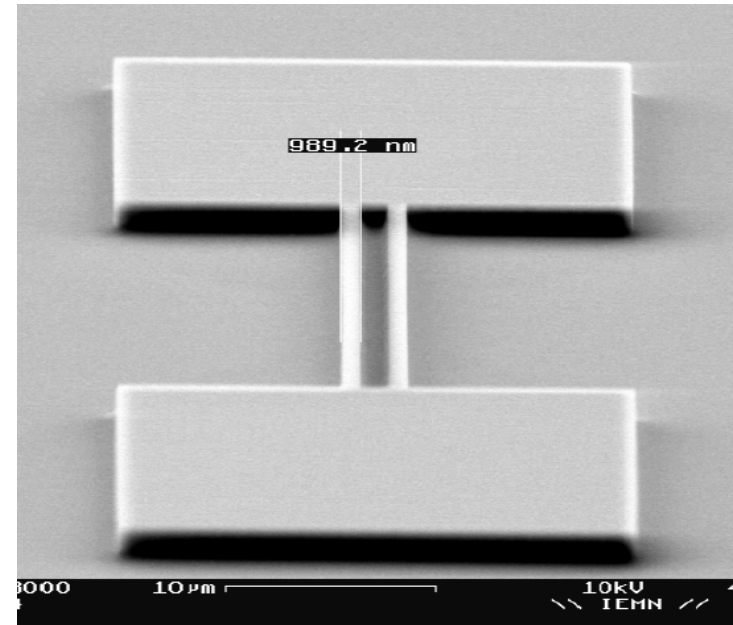
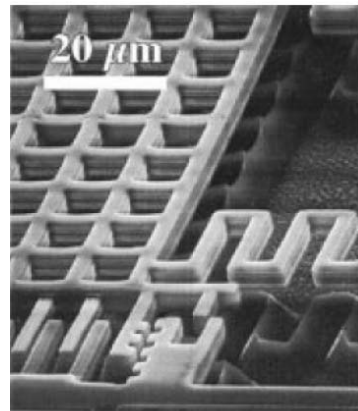
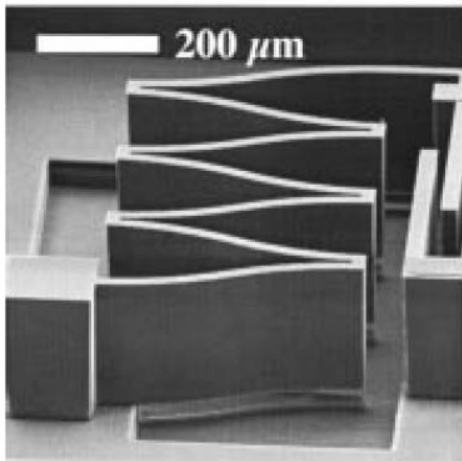
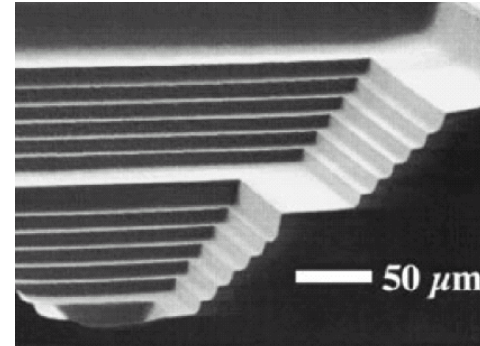
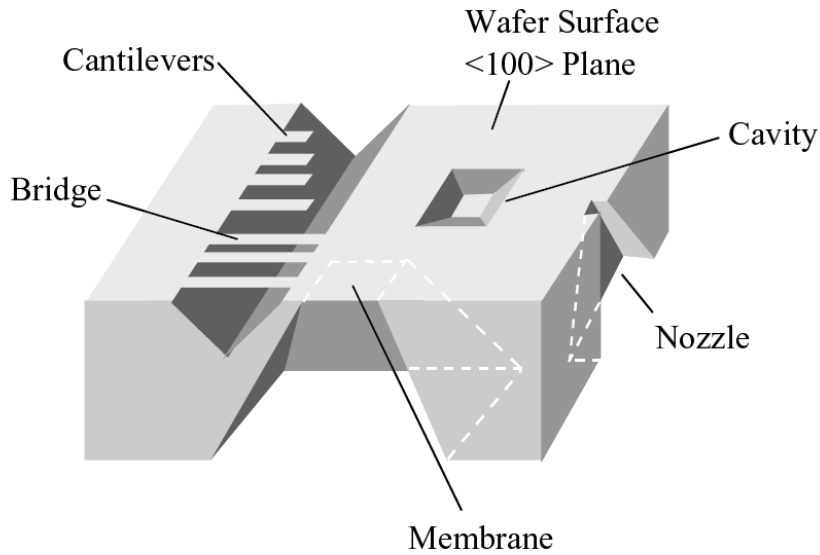
LIFT-OFF

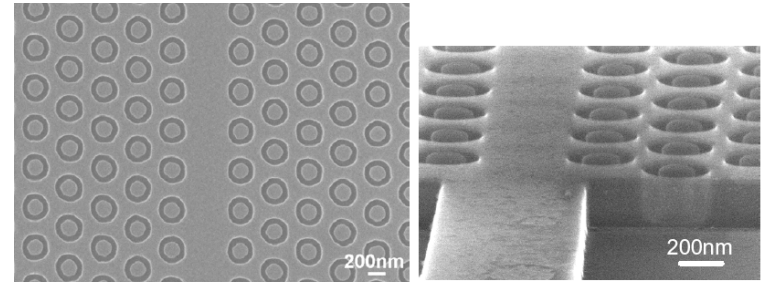
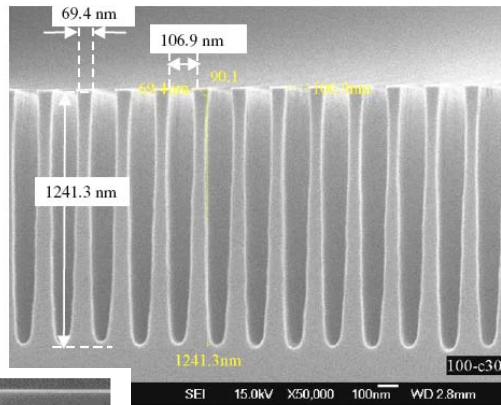
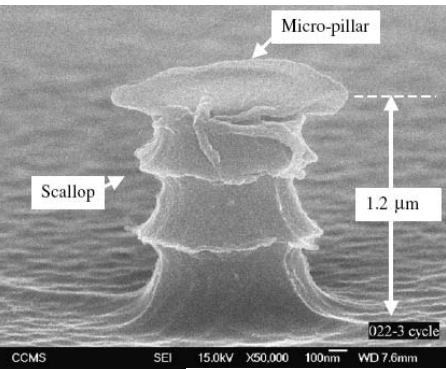
(a) **Perfiles redondeado**

(b) **Limitaciones de temperatura ($\leq 200\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

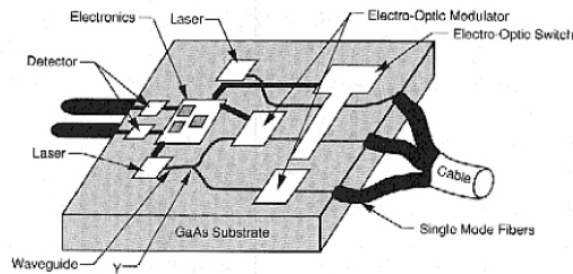
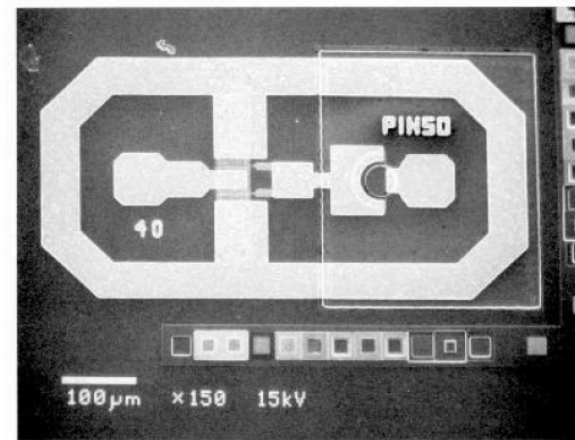
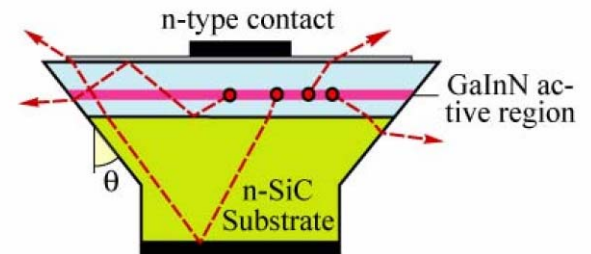
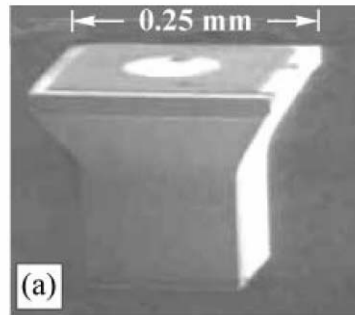
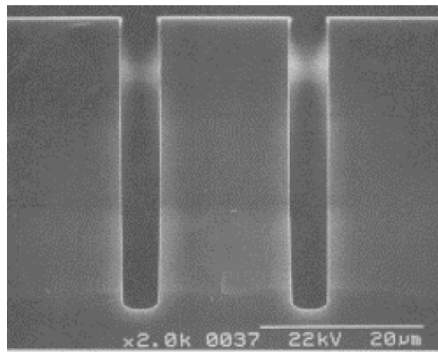
Representación esquemática de dos técnicas de transferir un motivo en resina a una capa: (a) Resina / secuencia lift-off. (b) Deposición/ resina / ataque / eliminación resina.

Possible Machined Structures





Photonic crystal waveguide (VTT/HUT)



Transistor + pin-photodiode