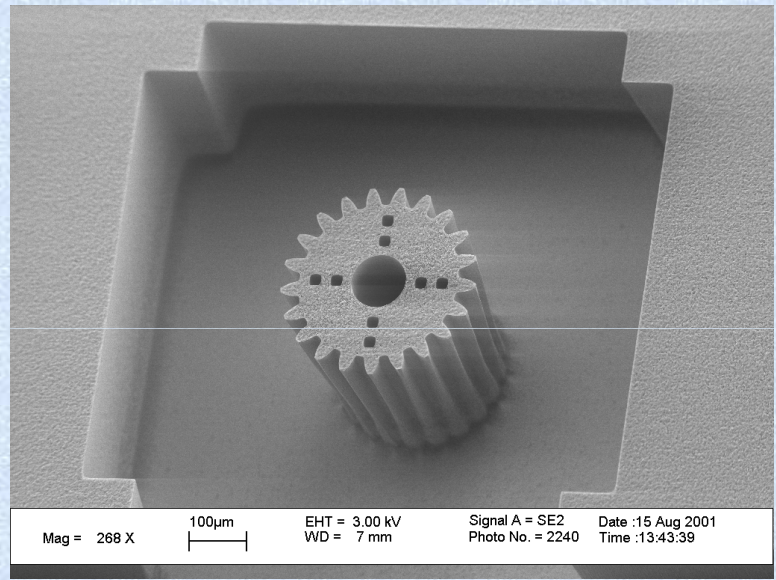


-
-
-
-
-
-
-
-
-
-



Procesos de fabricación MEMS



Antonio Luque Estepa
José M. Quero

Dpto. Ingeniería Electrónica



-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Indice

- Introducción
- Grabado húmedo
- Grabado seco
- LIGA
- Unión de obleas
- Comparación de Procesos

-
-
-
-
-
-
-
-

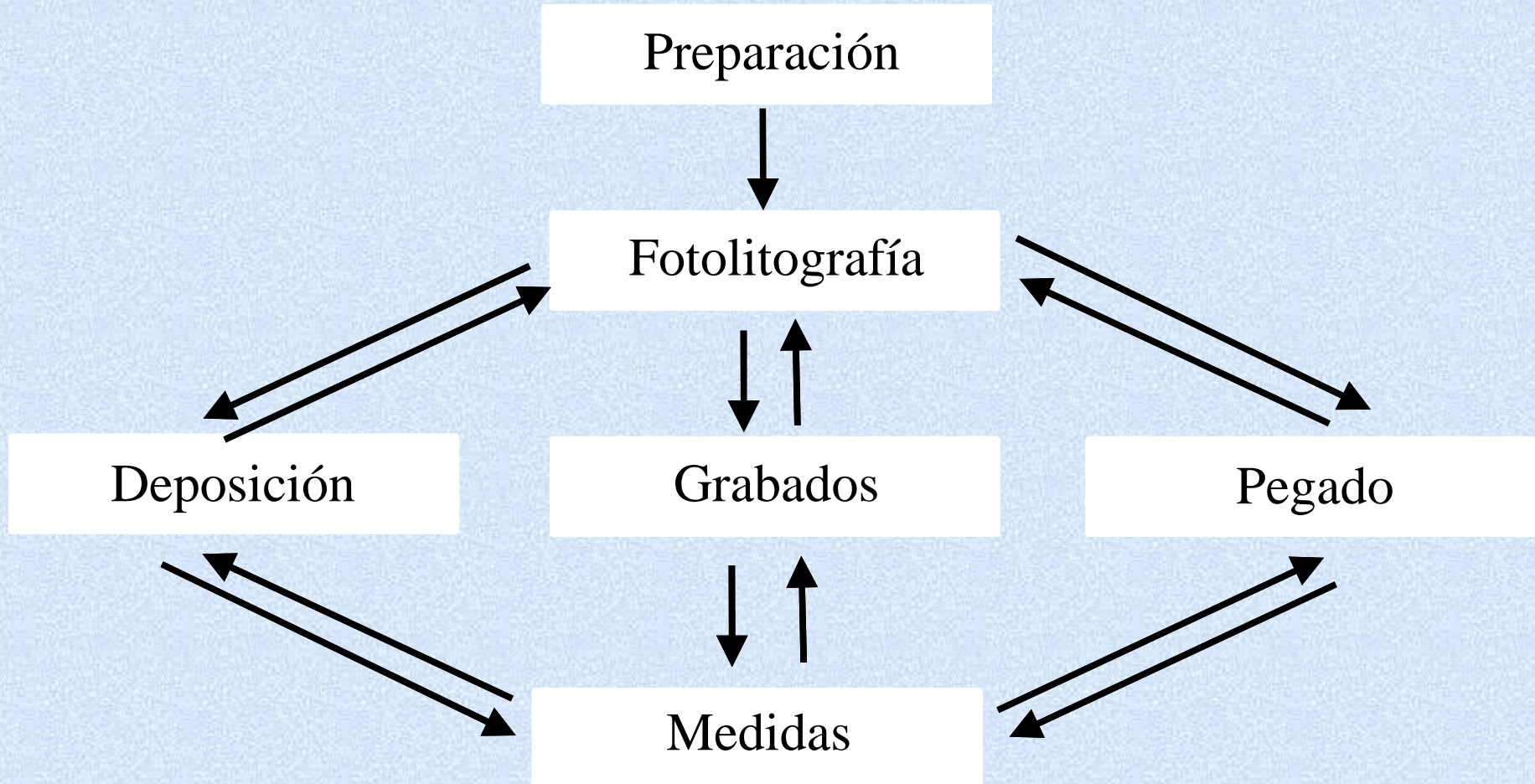
-
-
-

Introducción

- Procesos de fabricación
 - Adición de material (deposición)
 - Sustracción de material (grabado)
 - Moldeado
 - Fotolitografía
 - Pegado de material
- Encapsulado
- Medida y test

-
-
-
-
-
-
-
-


Proceso general



-
-
-

Indice

- Introducción
- Grabado húmedo
- Grabado seco
- LIGA
- Unión de obleas
- Comparación de Procesos

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

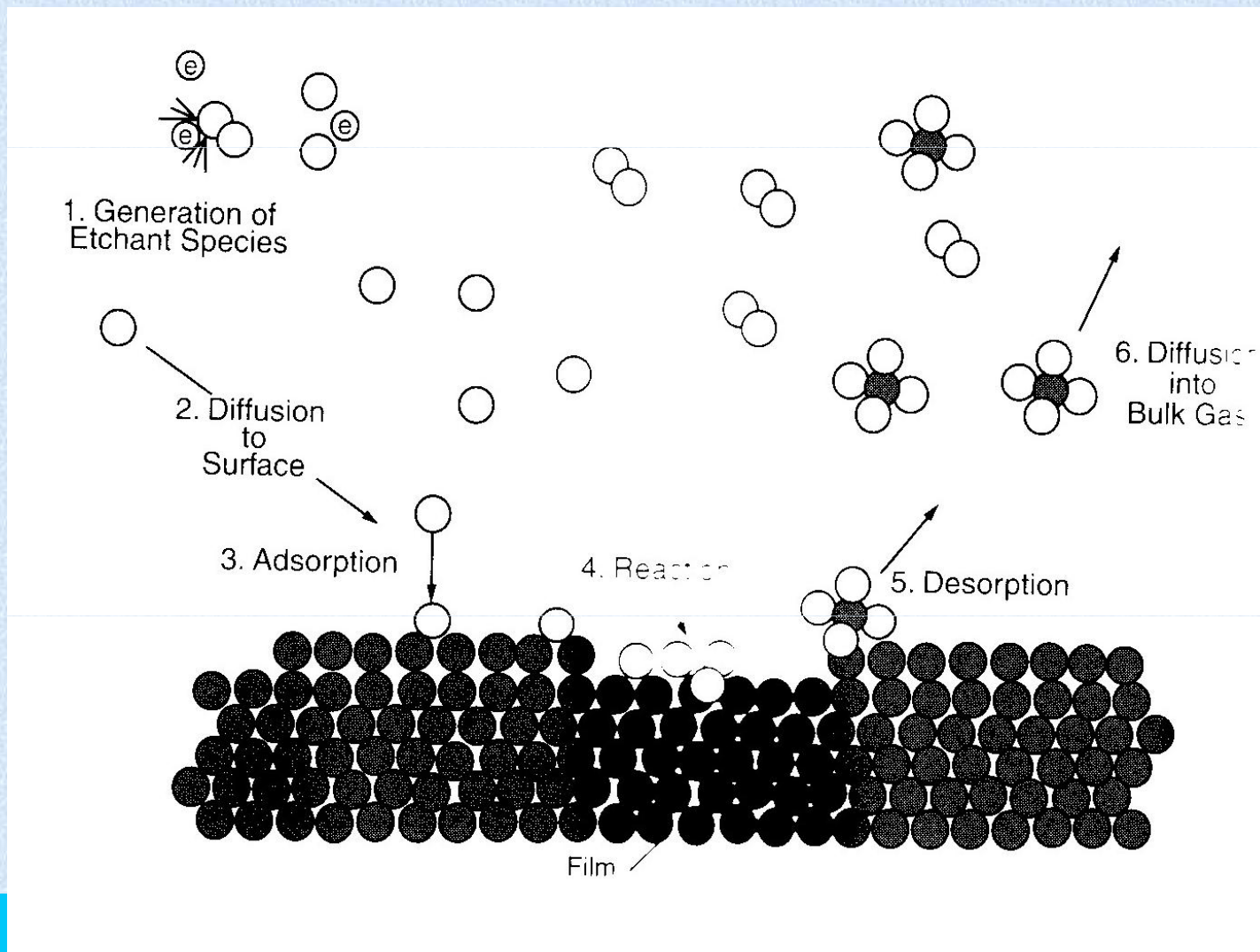
-
-
-

Grabado húmedo

- El ataque sobre el material se produce por la acción de un líquido
- Puede ser:
 - Isotrópico
 - Anisotrópico
- Grabado en superficie/volumen (surface/bulk)

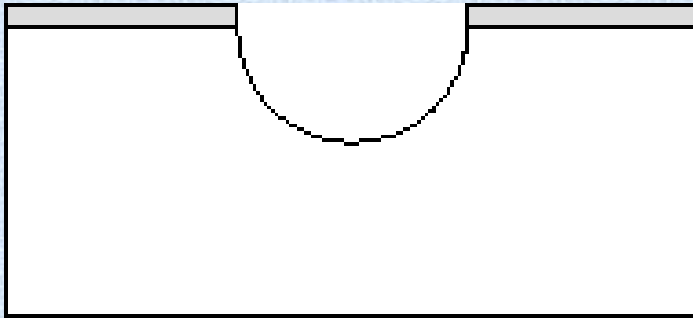
-
-
-
-
-
-
-
-

Mecanismo del grabado húmedo

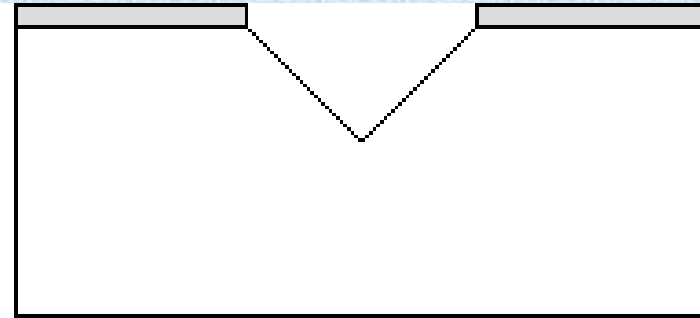


-
-
-

Isotrópico/anisotrópico



a) Isotrópico



b) Anisotrópico

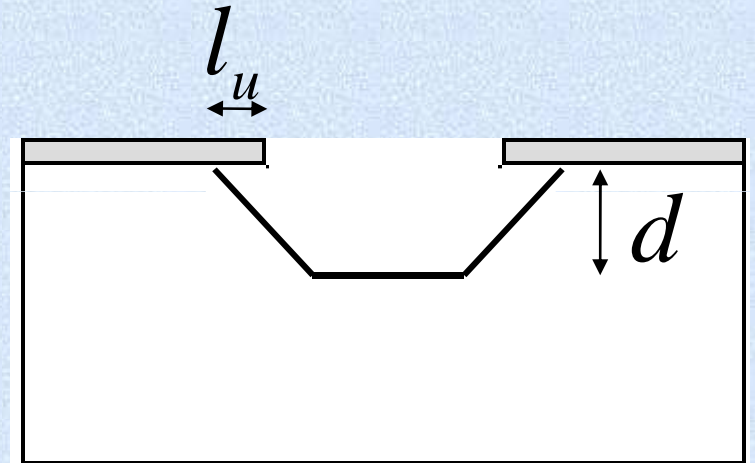


-
-
-
-
-
-
-
-

•
•
•

Grado de anisotropía

$$\gamma = 1 - \frac{v_l}{v_n}$$

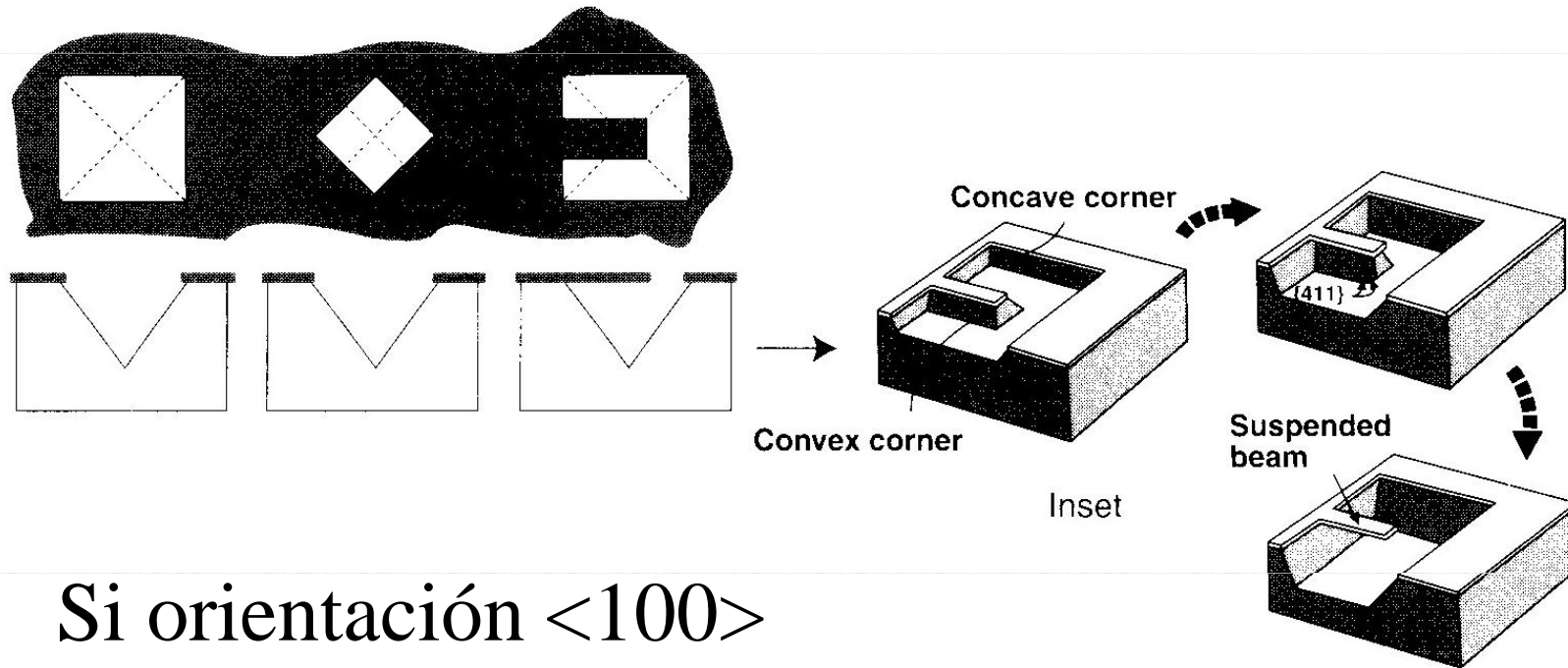


- v_l velocidad de grabado lateral
- v_n velocidad de grabado normal
- Se calcula el underetching l_u como

$$l_u = (1 - \gamma)d$$

- d es la profundidad normal del ataque
- • • • • • • •


Grabado anisotrópico



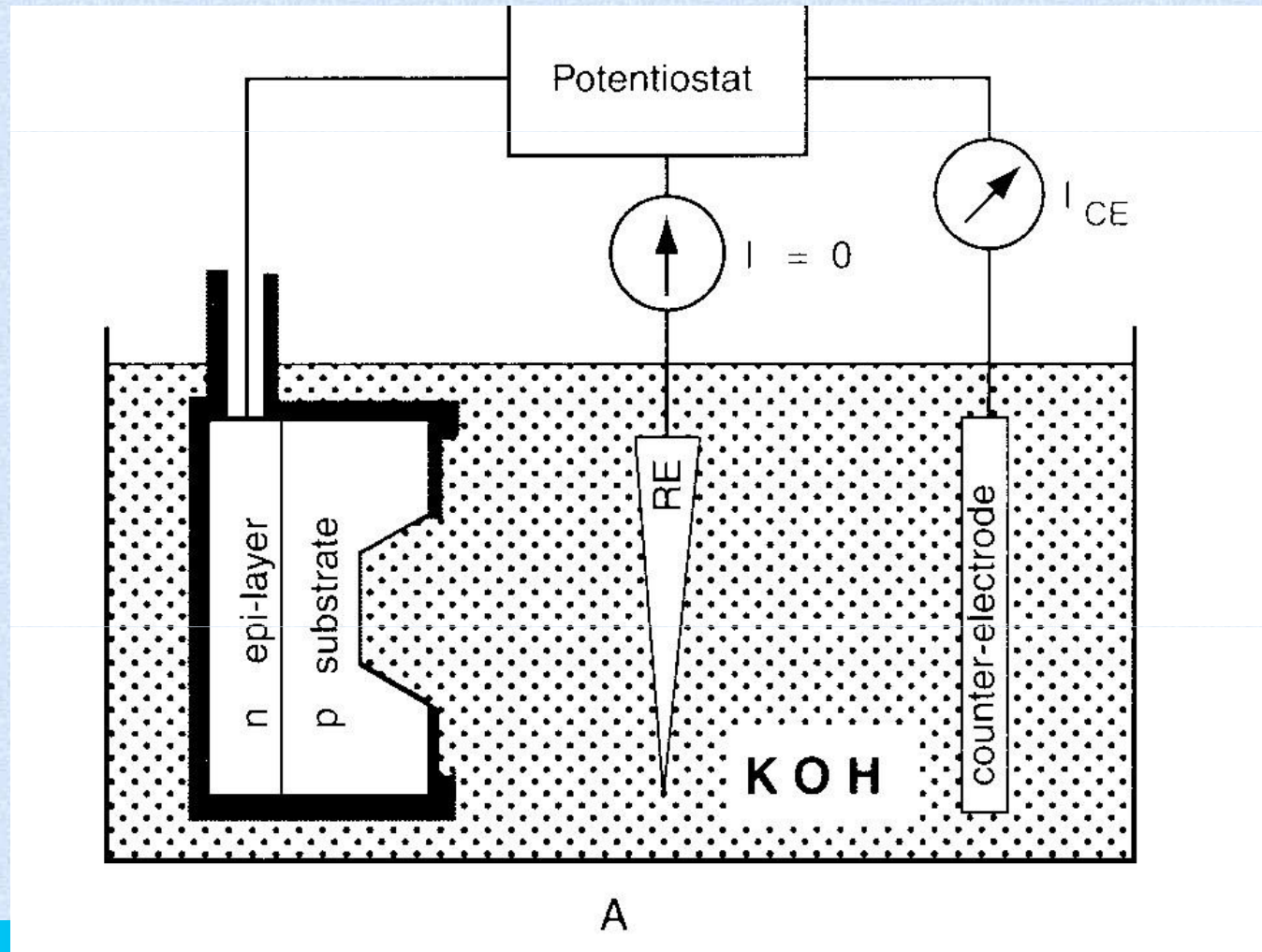
-
-
-

Detención del grabado

- Formas de detener el ataque para no tener que controlar el tiempo:
 - Cambio de material
 - Dopado p+
 - Detención electroquímica

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

Detención electroquímica

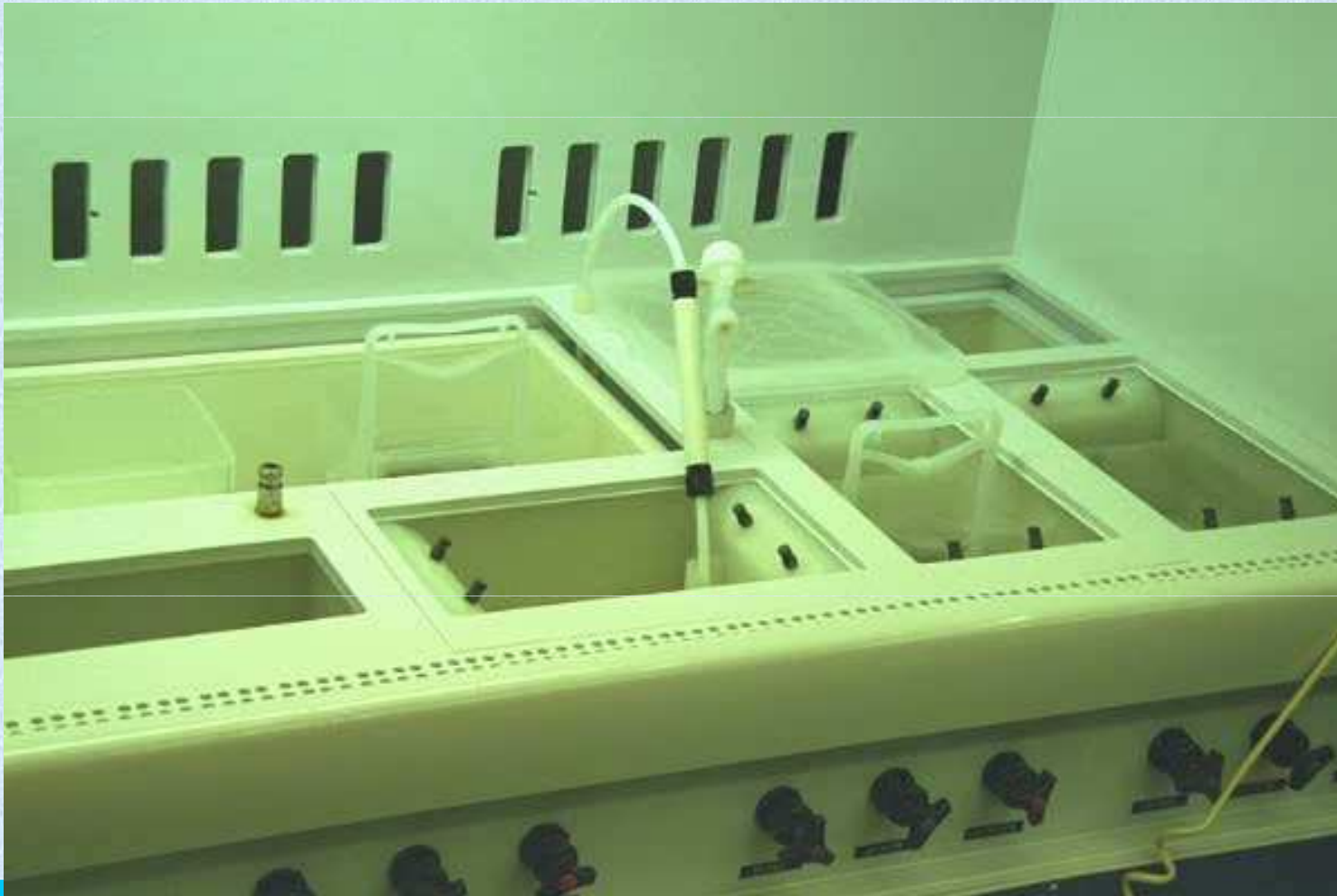


Grabado húmedo



-
-
-

Grabado húmedo



-
-
-
-
-
-
-
-

•
•
•

Atacantes más comunes

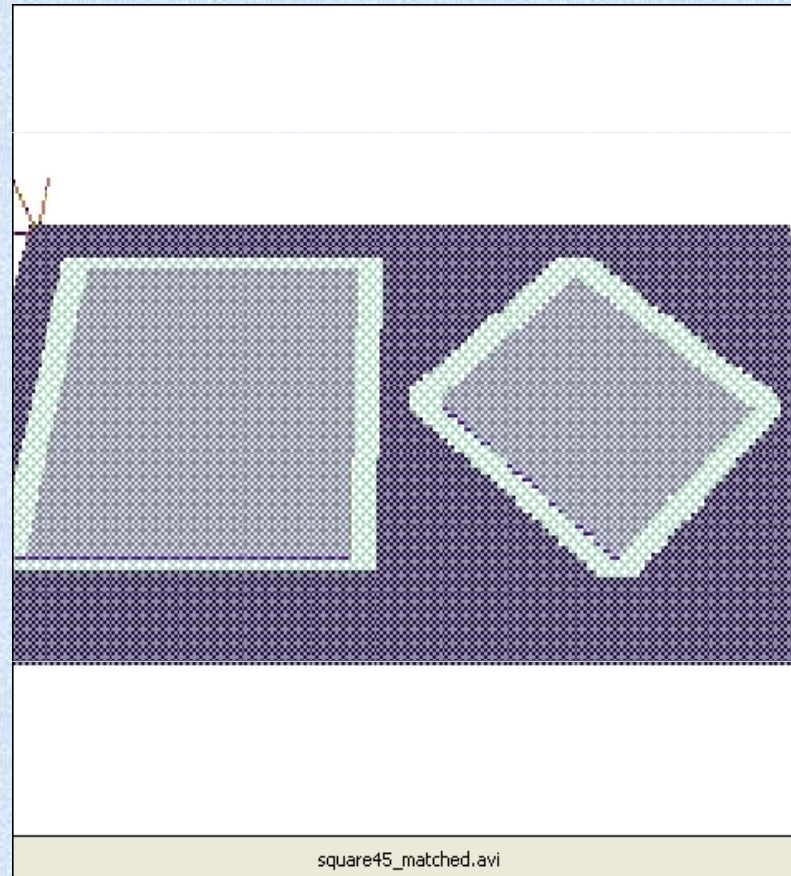
- Si:
 - HNA (HNO_3 , H_2O , NH_4F) (isotrópico)
 - KOH (anisotrópico)
- Polisilicio: HNO_3 + HF
- SiO_2 : HF (10:1), HF (49%), BHF
- Si_3N_4 : H_3PO_4 (85%)
- Pyrex: HF (49%), BHF
- Metales: Piranha (H_2SO_4 , H_2O)
- Al: H_3PO_4 + HNO_3
- Orgánicos: Piranha
- Fotorresina: Acetona



• • • • • • • •

-
-
-

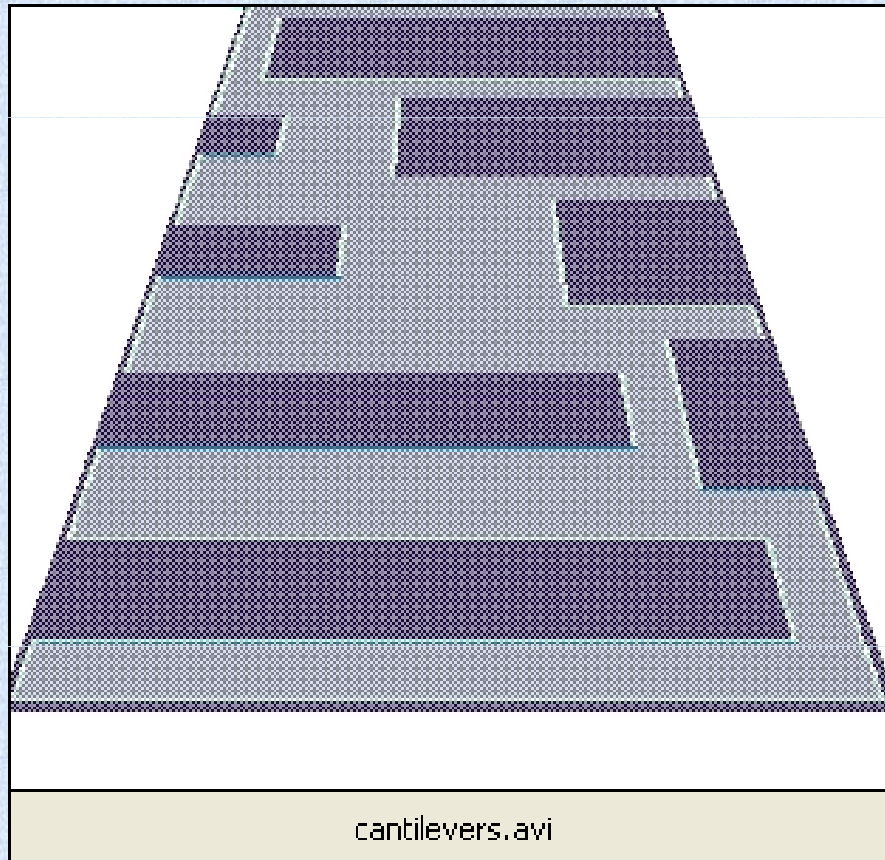
Simulación ataques



-
-
-
-
-
-
-
-

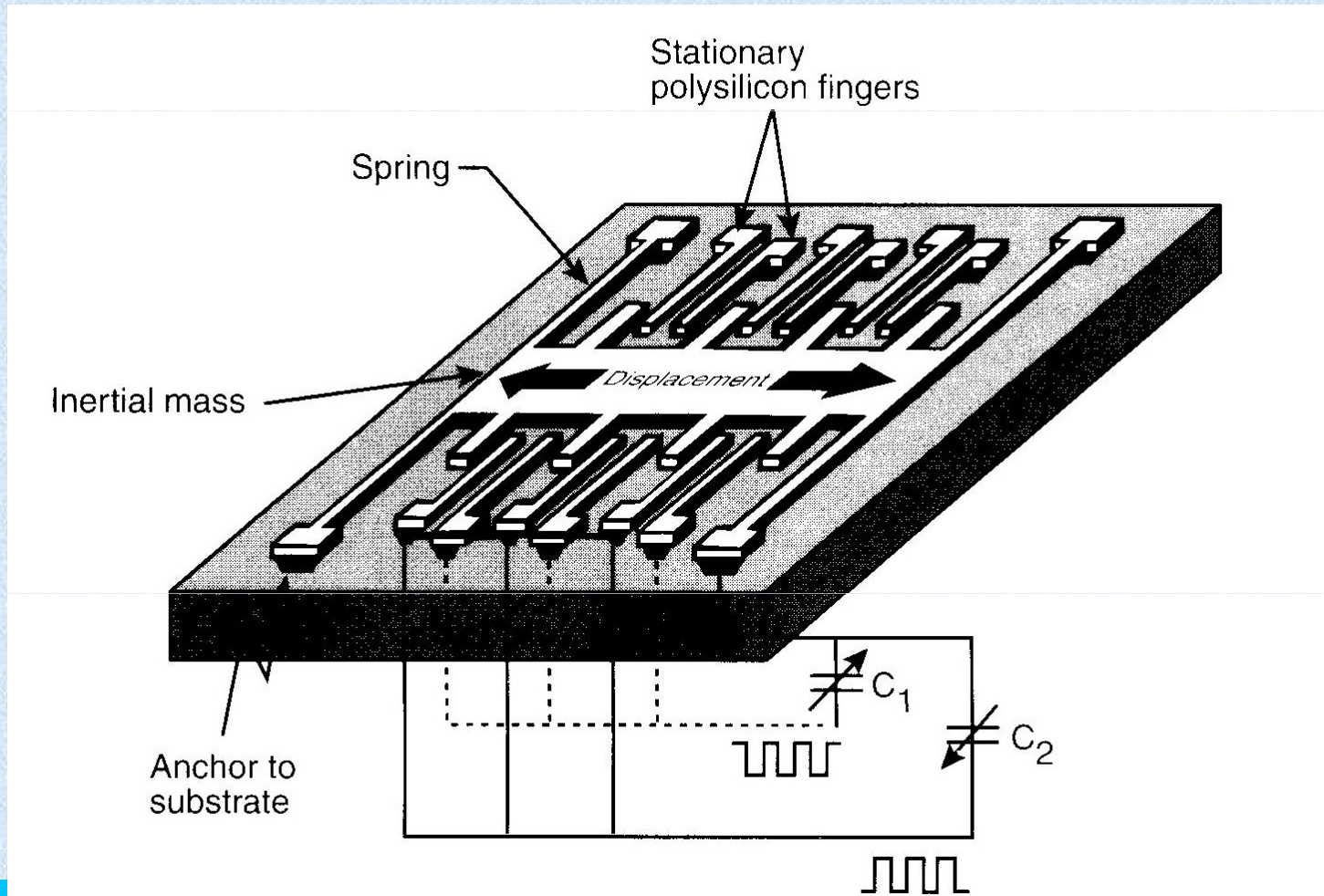
-
-
-

Simulación ataques



-
-
-
-
-
-
-
-

Ejemplo de grabado en superficie



-
-
-

Indice


- Introducción
- Grabado húmedo
- Grabado seco
- LIGA
- Unión de obleas
- Comparación de Procesos

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

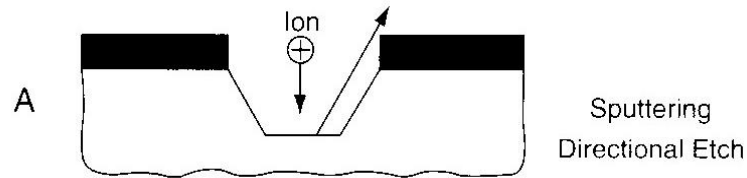
Grabado seco

- Grabado de un sólido por un plasma o gas
- Tipos:
 - Físico: bombardeo de iones (Physical Sputtering)
 - Químico: reacción en la superficie (Plasma Etching)
 - Combinación física/química (Reactive Ion Etching)

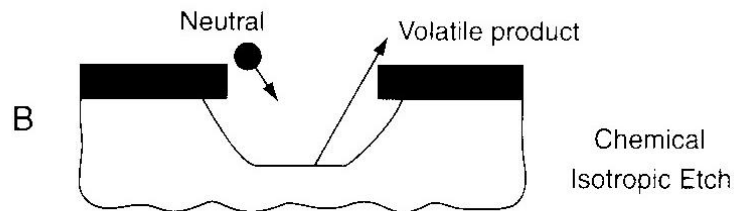
- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

Tipos posibles de perfil

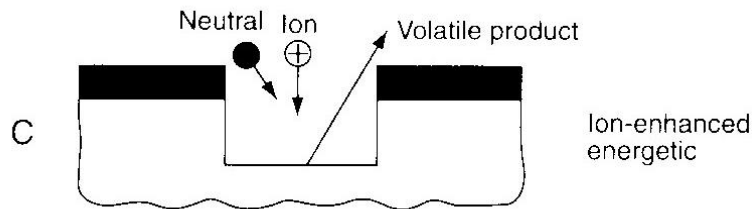
Physical Sputtering



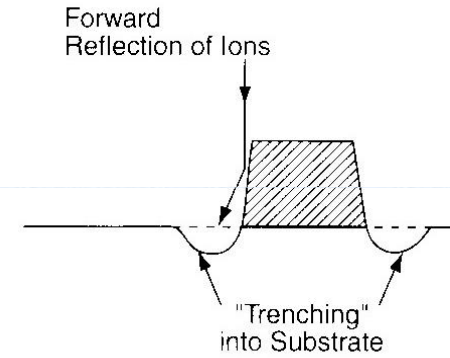
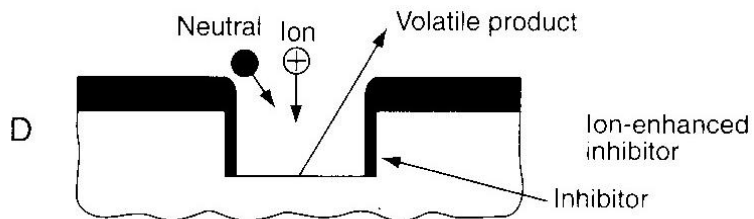
Plasma Etching



Reactive Ion Etching



Deep Reactive Ion Etching

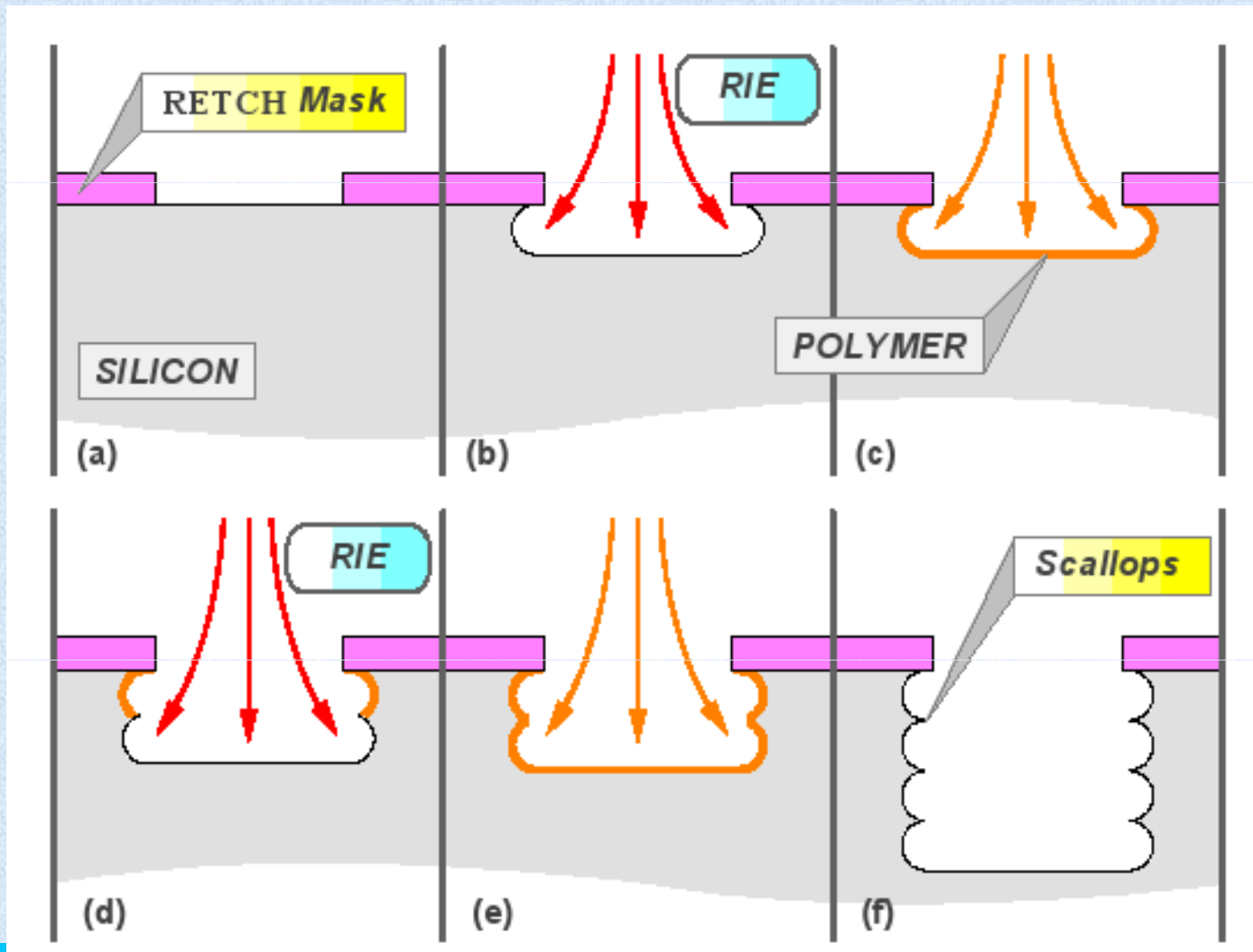


Vertical Etch

Gases empleados en RIE

Material	Gas	Velocidad de ataque	Máscara (Selectividad > 50:1)
Si	1) KOH 2) HNO ₃ + H ₂ O + HF	~ 6 –600 nm/min (anisotropic) ~ 100 nm/min	Resina
SiO ₂	1)HF 2) BHF	~ 10 –1000 nm/min	Resina
Si ₃ N ₄	1) HF 2) BHF 3) H ₃ PO ₄	~ 100 nm/min ~ 100 nm/min ~ 10 nm/min	Resina SiO ₂
GaAs	1) H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂ +H ₂ O 2) Br + CH ₃ OH	~ 10 um/min	Resina
Au	1) HCl+ HNO ₃ 2) KI + I ₂ +H ₂ O	~ 40 nm/min ~ 1 um/min	Resina
Al	1)HCl+ H ₂ O 2) NaOH	~ 500 nm/min	Resina

Deep RIE (DRIE)



-
-
-

Comparativa ataque húmedo/seco

	Húmedo	Seco
Método	Soluciones químicas	Bombardeo de iones o reactivo químico
Entorno y Equipo	Atmosférico, baño	Cámara de vacío
Ventajas	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bajo coste 2) Fácil de Implementar 3) Velocidad ataque elevada 4) Buena selectividad 	Alta precisión de características < 100 nm
Desventajas	<ol style="list-style-type: none"> 1) Baja precisión de características < 1µm 2) Uso de material químico peligroso 3) Contaminación de obleas 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Alto coste 2) Difícil de implementar 3) Baja velocidad de ataque 4) Selectividad pobre 5) Daño potencial de radiación
Direccionalidad	Isotrópico (excepto para materiales cristalinos)	Anisotrópico

-
-
-

Indice

- Introducción
- Grabado húmedo
- Grabado seco
- LIGA
- Unión de obleas
- Comparación de Procesos

-
-
-
-
-
-
-
-

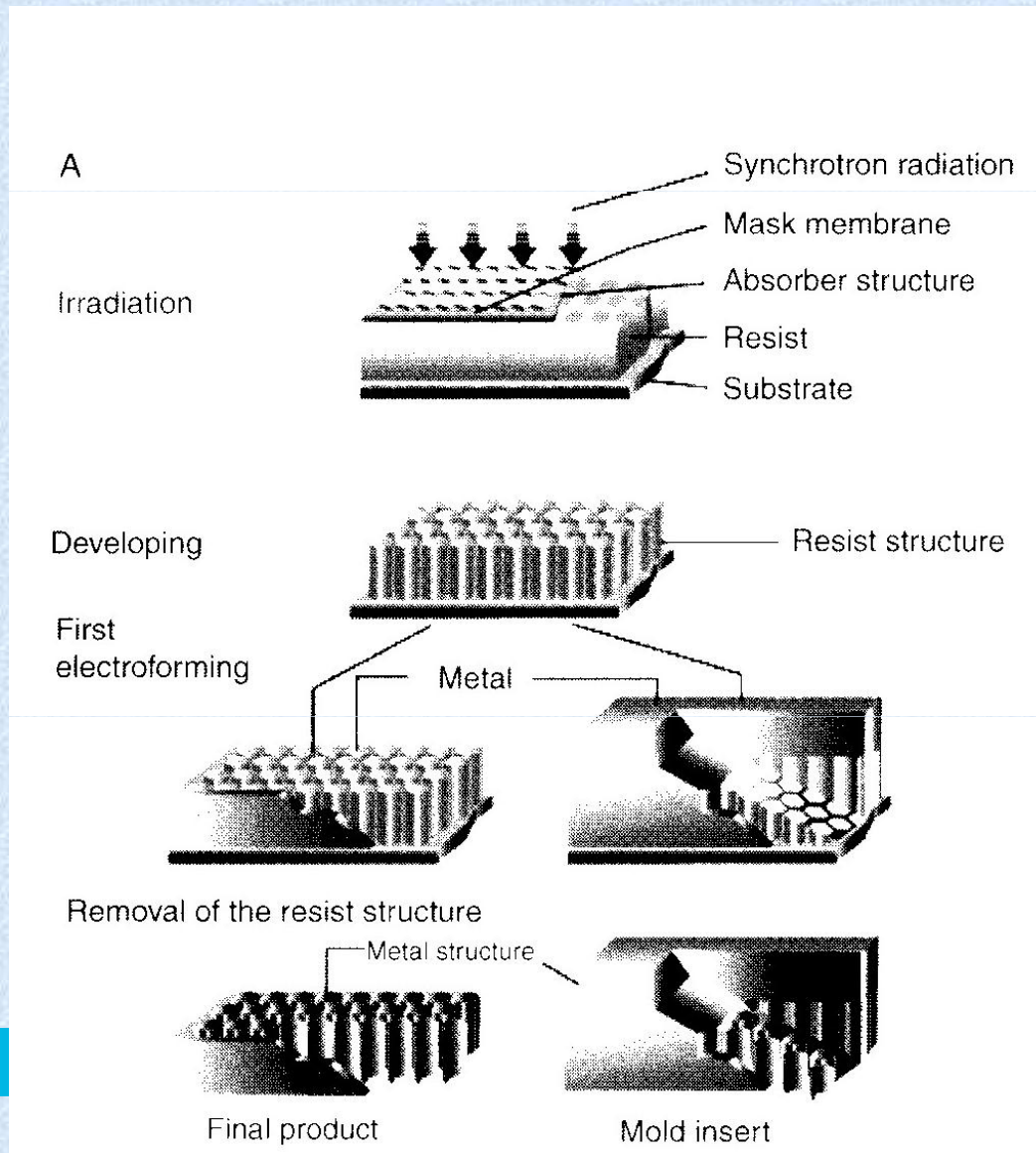
-
-
-

LIGA

- Abreviatura de Lithographie, Galvanoformung, Abformtechnik (Litografía, electroformación, moldeado).
- Se fabrica un molde grueso de fotorresina de rayos X.
- El molde se rellena con metal.
- El metal puede ser el producto final, o a su vez un molde para plástico.

-
-
-
-
-
-
-
-

Proceso LIGA



Proceso LIGA

B

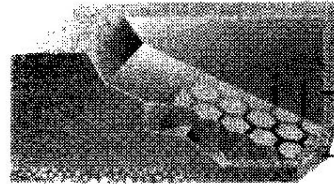
Plastic molding
and 2nd. electro-
forming/casting slip



Mold insert

Mold cavity

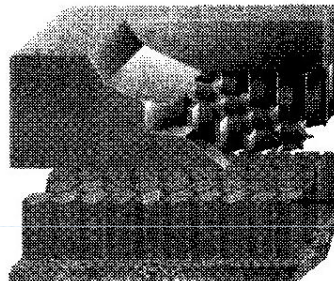
Mold filling



Plastic

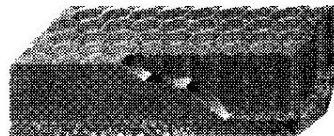
Electrically
conductive
substrate

Mold removal



Plastic structure
as lost mold
or final product

2nd. electroforming



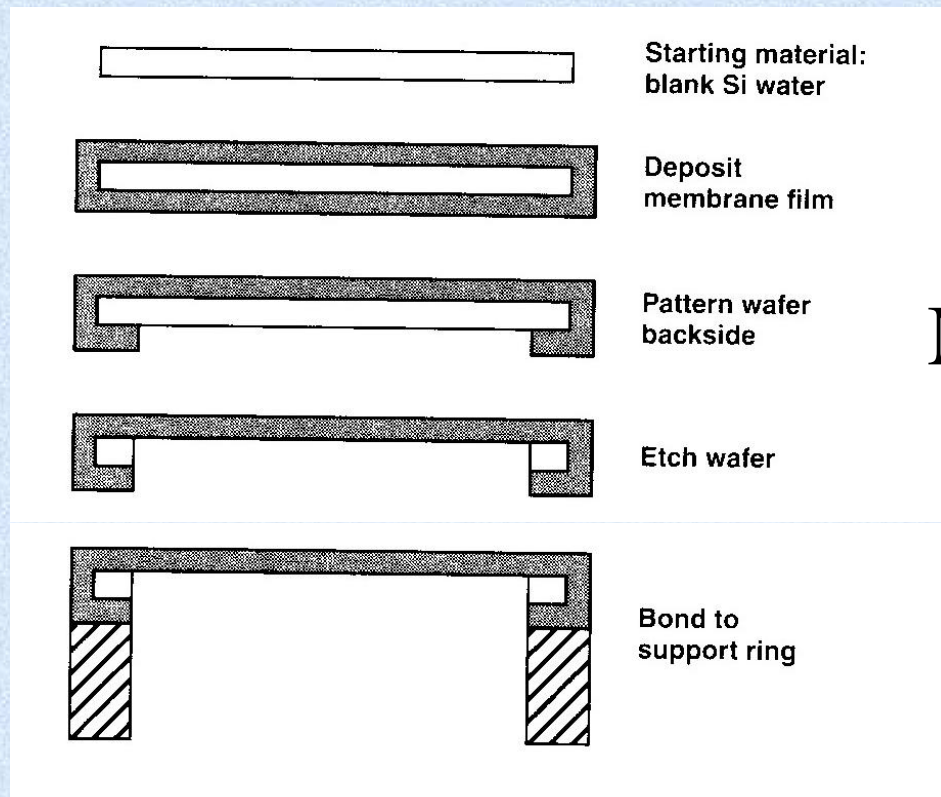
Metal/Ceramic

Final product



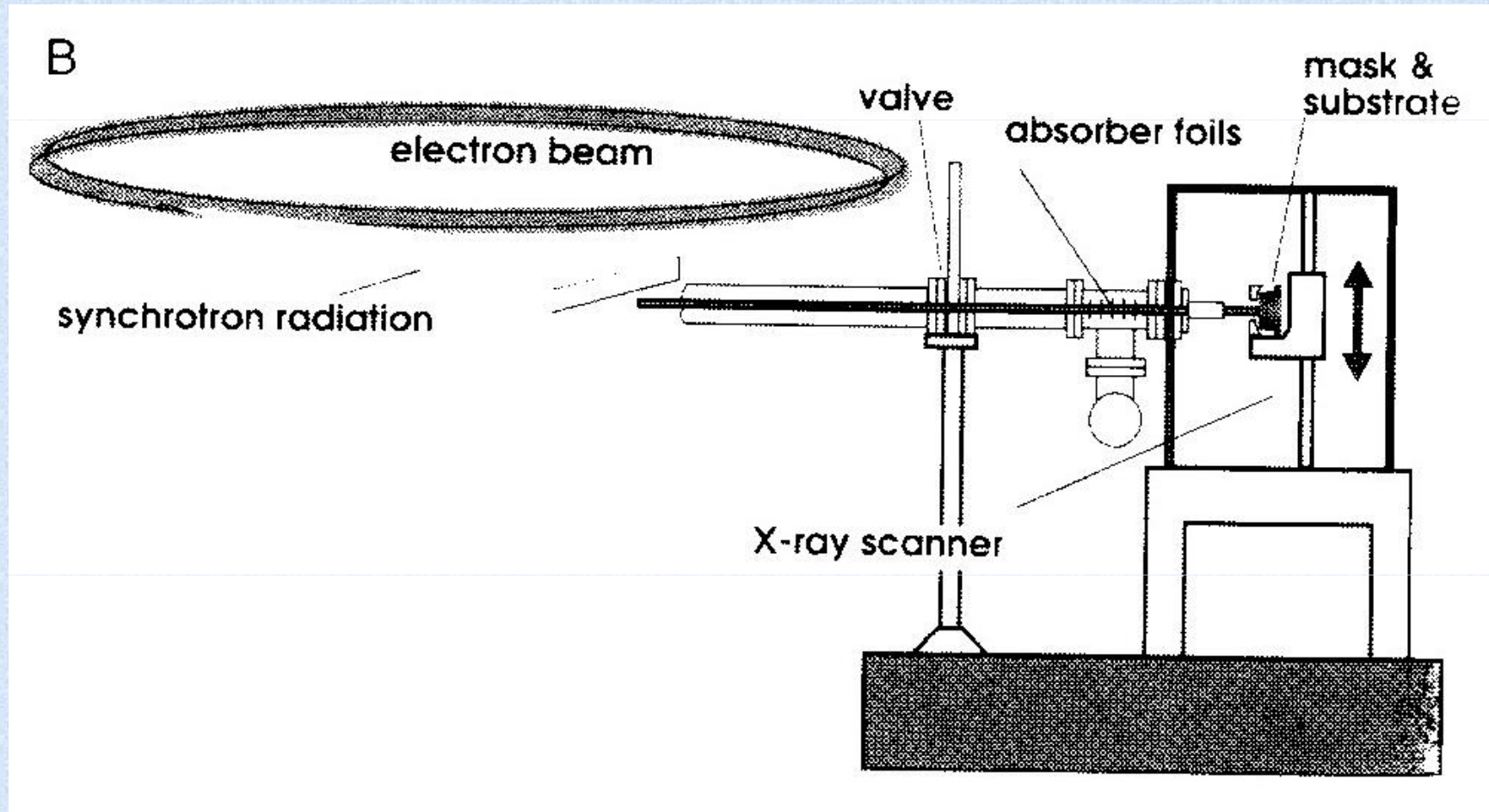
Metal or ceramic
structure

Fabricación de máscara

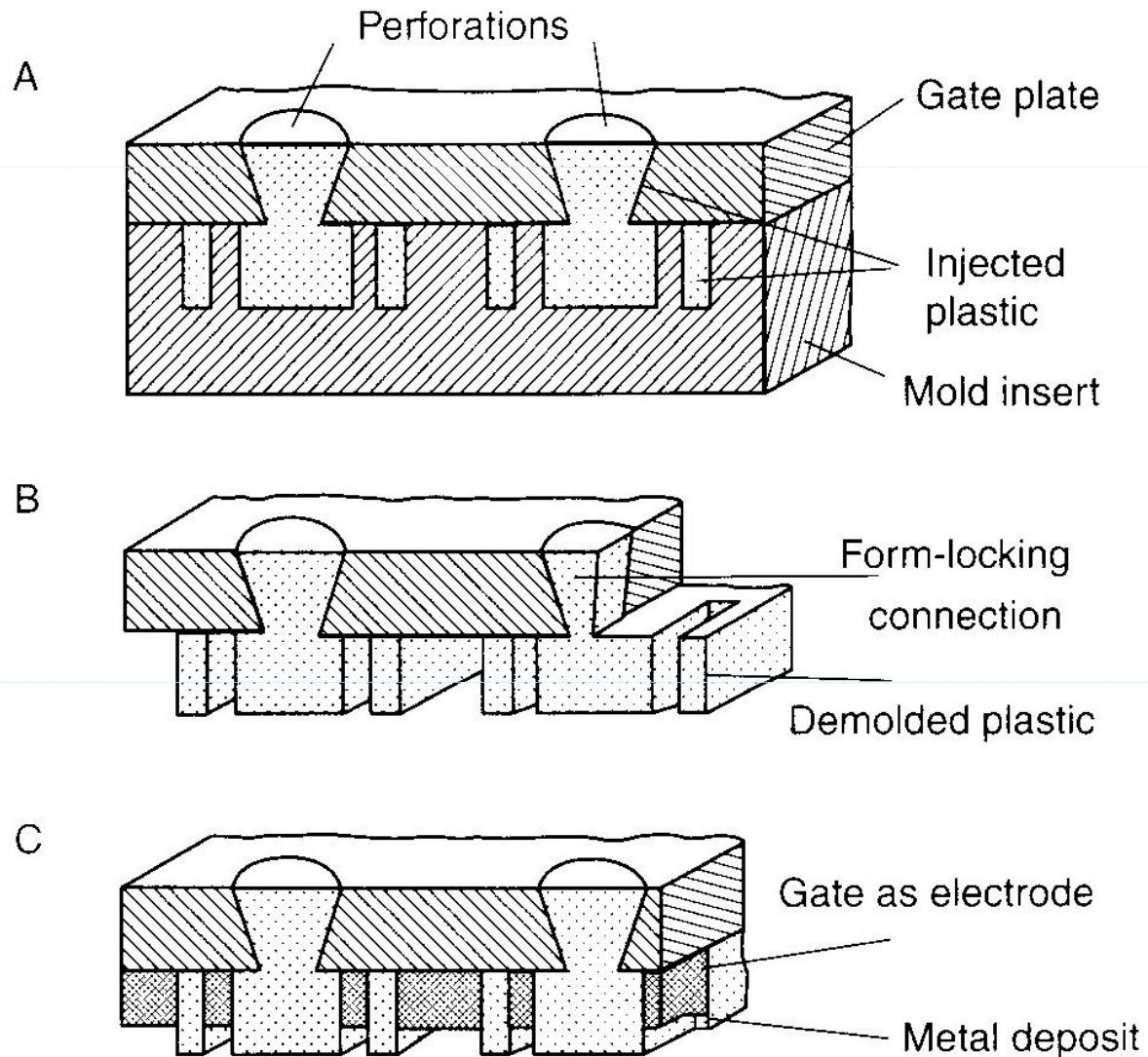


Máscara para rayos X

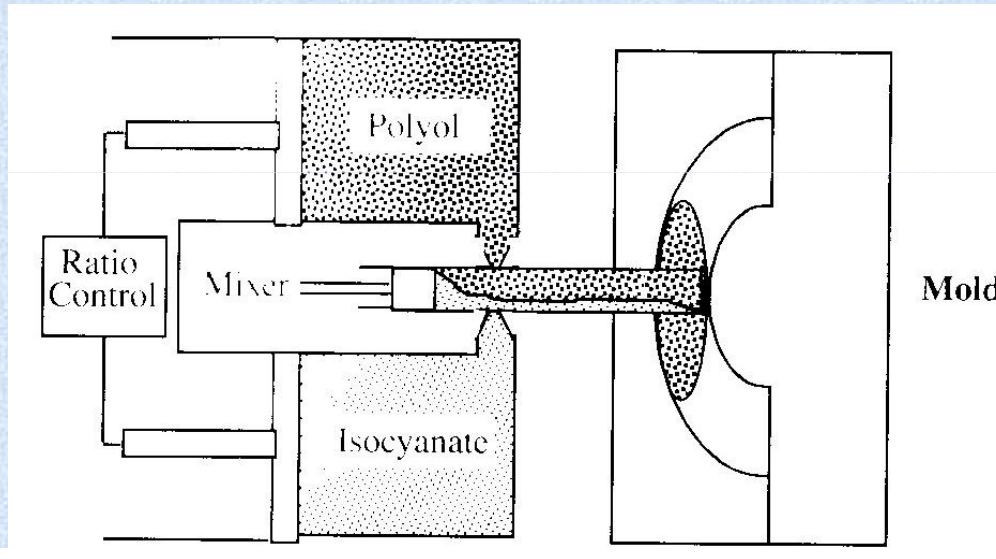
Exposición a rayos X



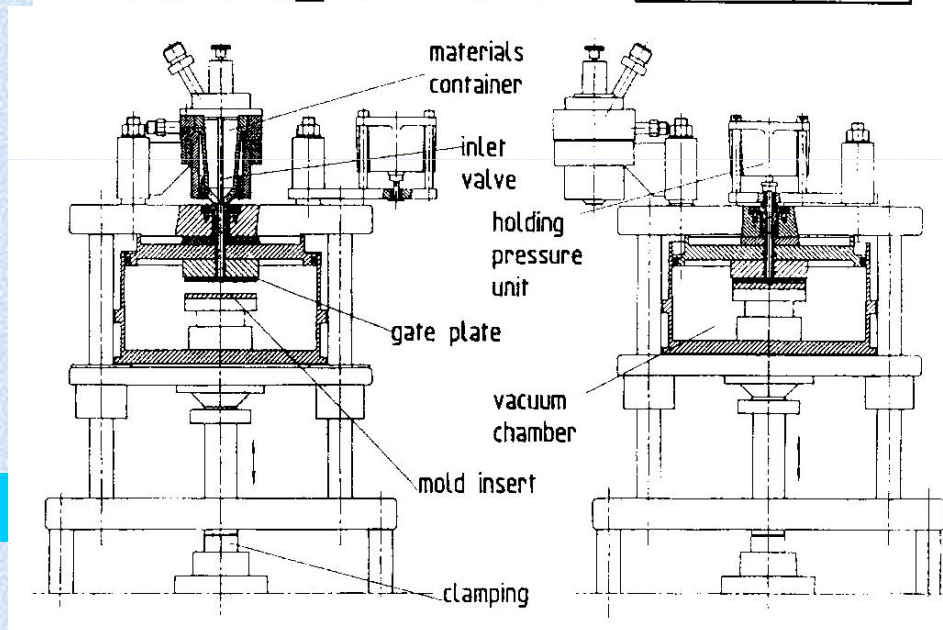
Proceso de moldeo



Tipos de moldeo



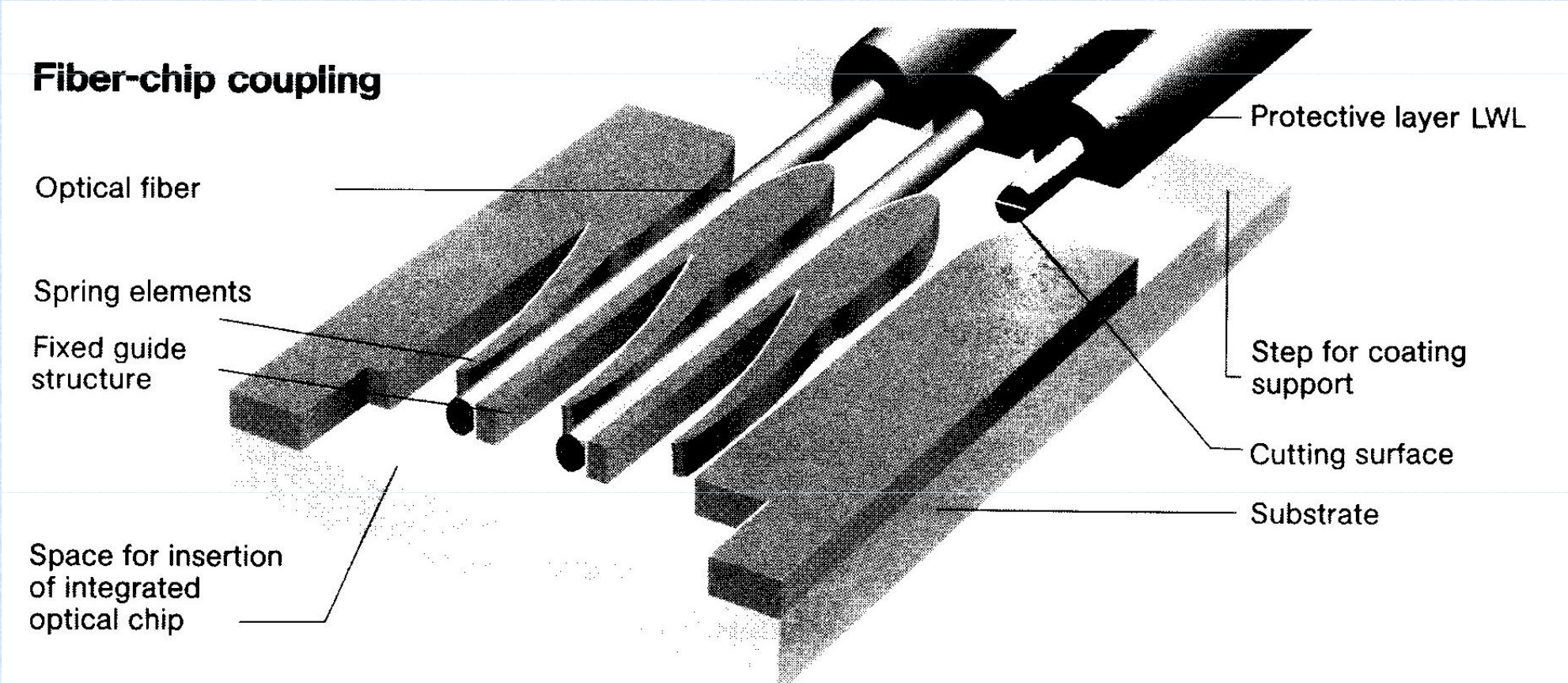
Moldeo a presión



Moldeo en vacío

-
-
-

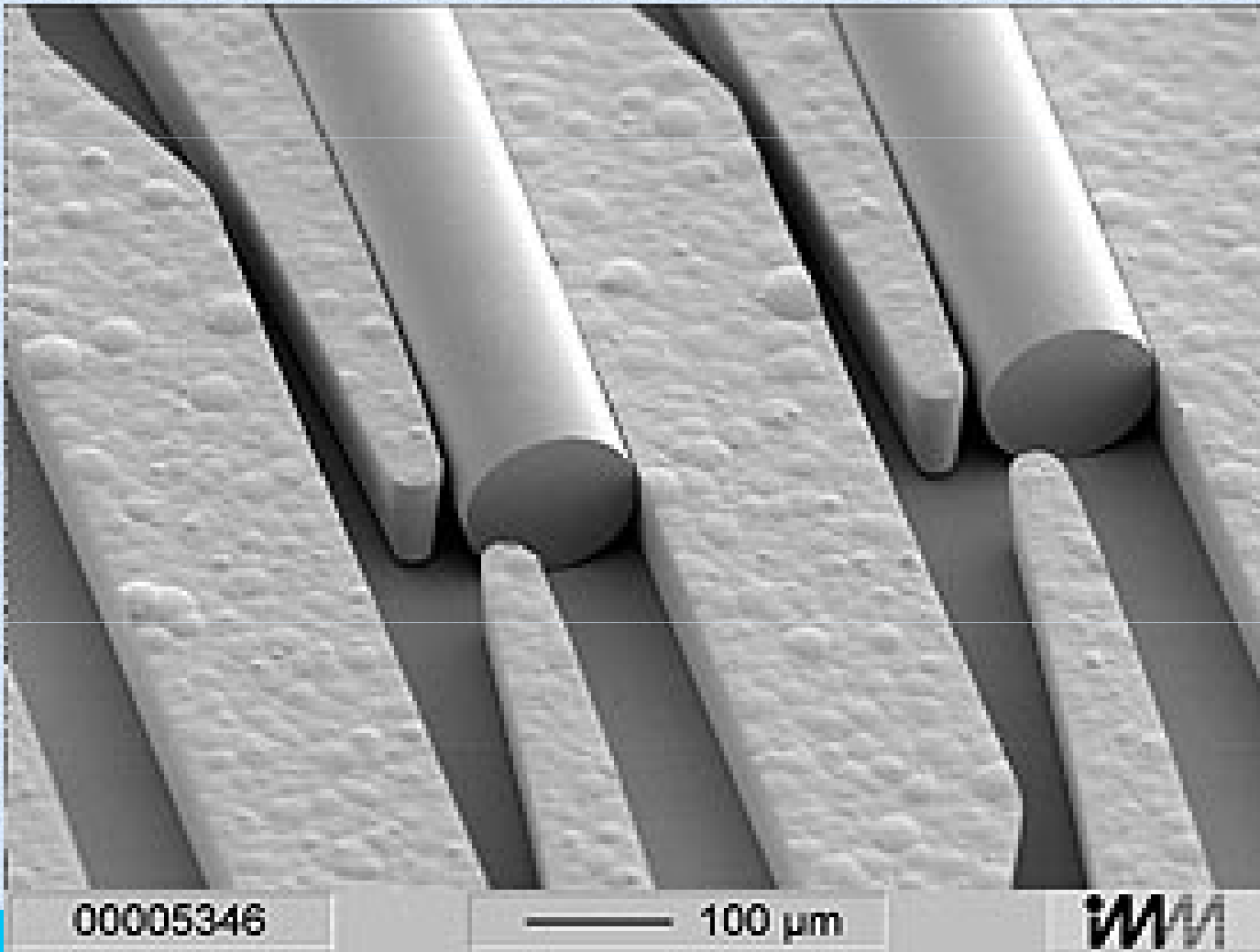
Ejemplo de dispositivo en LIGA



Conector de fibra óptica. • • •

-
-
-

Ejemplo de dispositivo en LIGA



-

-
-
-

Indice

- Introducción
- Grabado húmedo
- Grabado seco
- LIGA
- Unión de obleas
- Comparación de Procesos

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Unión de obleas

- Unión física de obleas
- Permite construir dispositivos más complejos
- Tipos:
 - Fusión: reacción química entre los átomos de las capas externas, aplicando calor
 - Anódica: aplicando potencial eléctrico
 - Térmica: aplicando calor, con una capa intermedia de otro material
 - Glue-bonding: aplicando una capa intermedia de adhesivo.

-
-
-

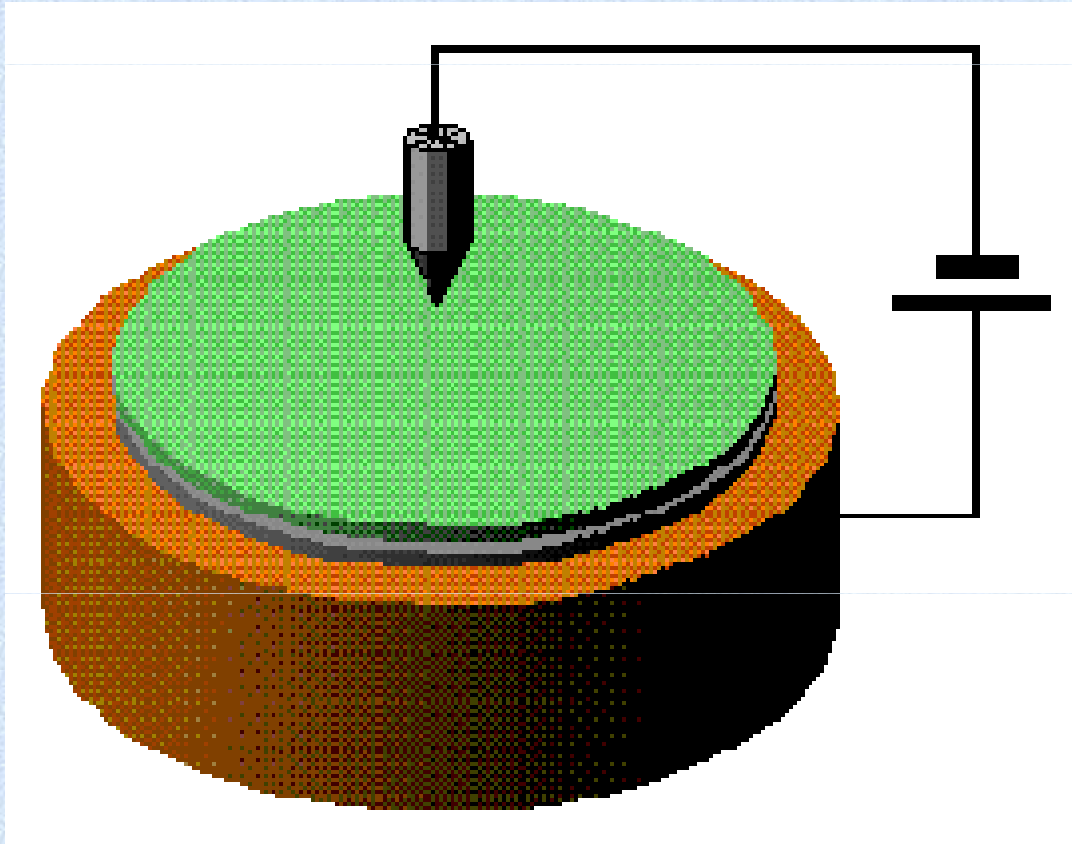
Unión por fusión

- Pegado directo de silicio con silicio
- Dificultades con la alineación
- Temperatura de 800 °C, y presión
- Atmósfera oxidante
- Incompatible con electrónica

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

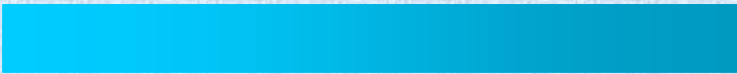
-
-
-

Unión anódica



Aplicación de potencial eléctrico entre las obleas

Pegado de silicio con vidrio



-
-
-
-
-
-
-
-

Unión anódica

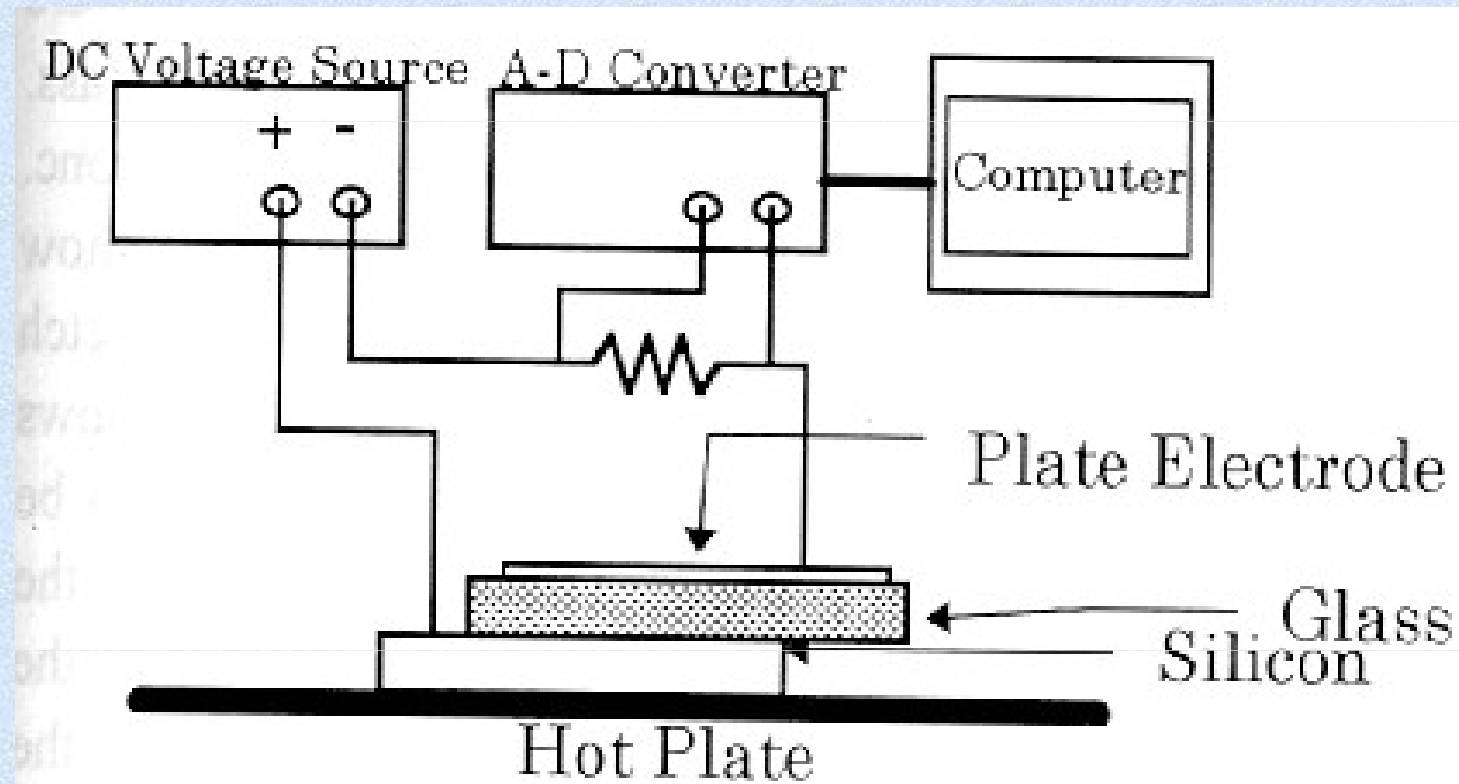


Fig 2. Anodic bonding set-up

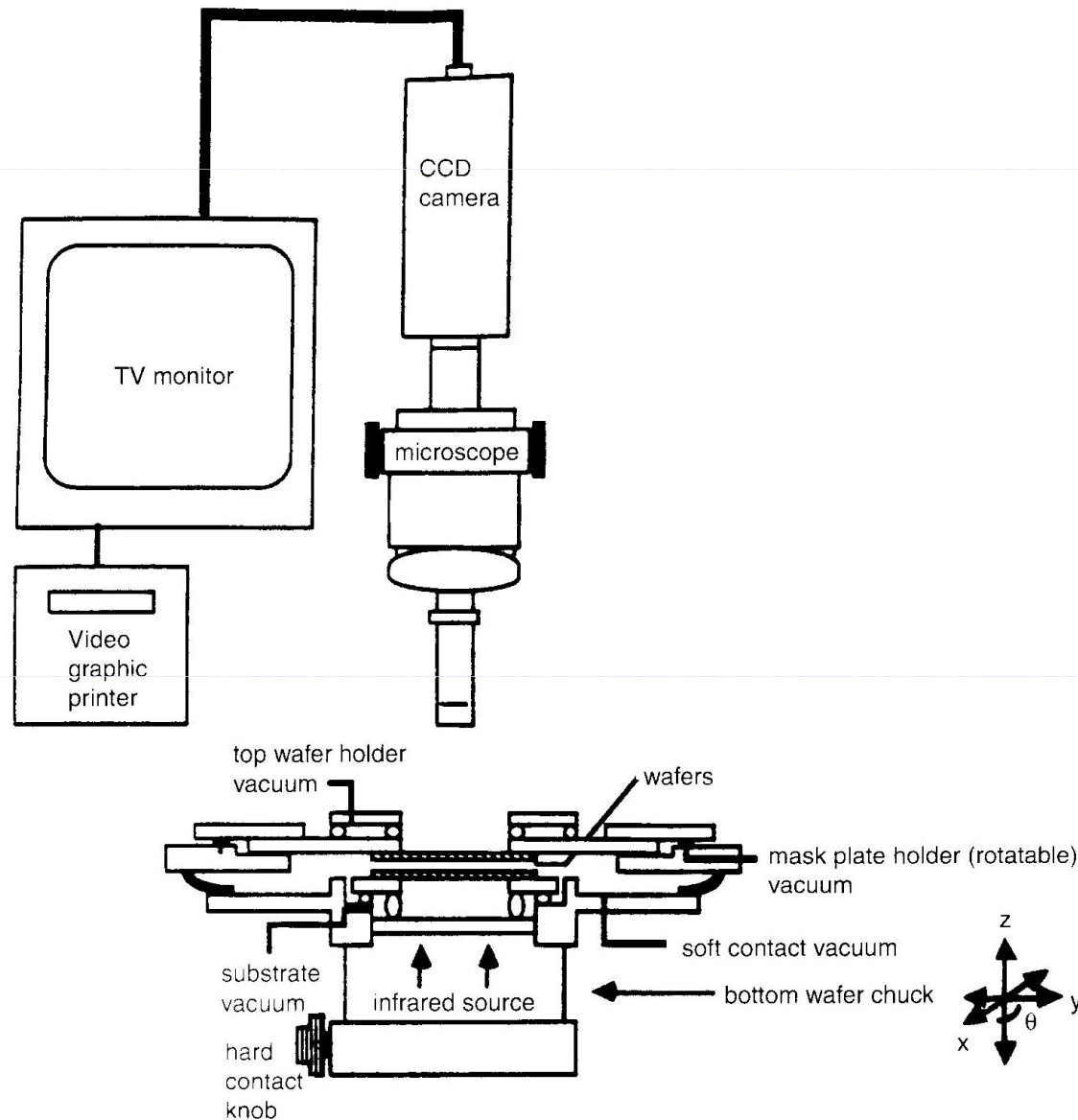
-
-
-

Unión anódica. Equipo



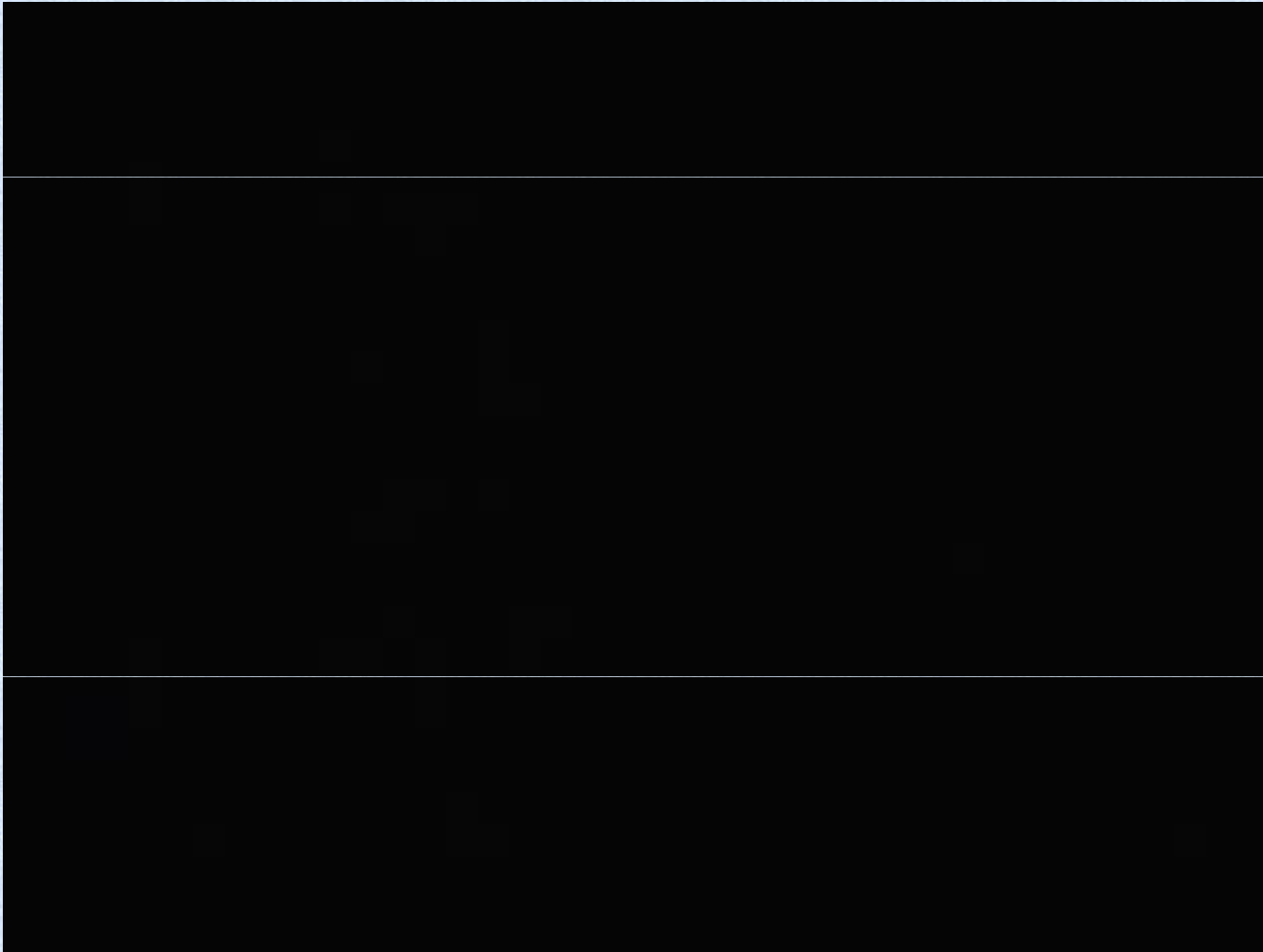
-
-

Alineación de las obleas a unir



-
-
-

Video Unión Anódica



-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Unión térmica



- Se usa cuando la aplicación de un gran potencial no es posible
- Pegado menos uniforme que con la unión anódica
- El material intermedio puede ser vidrio, PSG, ...



-
-
-
-
-
-
-
-

•
•
•

Unión por pegado

- Pegamento dispensado con micropipetas: manual o automático
- Riesgo de rebose afectando las zonas activas
- Alineación simultánea en microscopio
- Curado a baja temperatura



• • • • • • • •

-
-
-

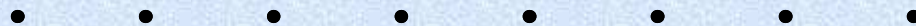
Indice

- Introducción
- Grabado húmedo
- Grabado seco
- LIGA
- Unión de obleas
- Comparación de Procesos

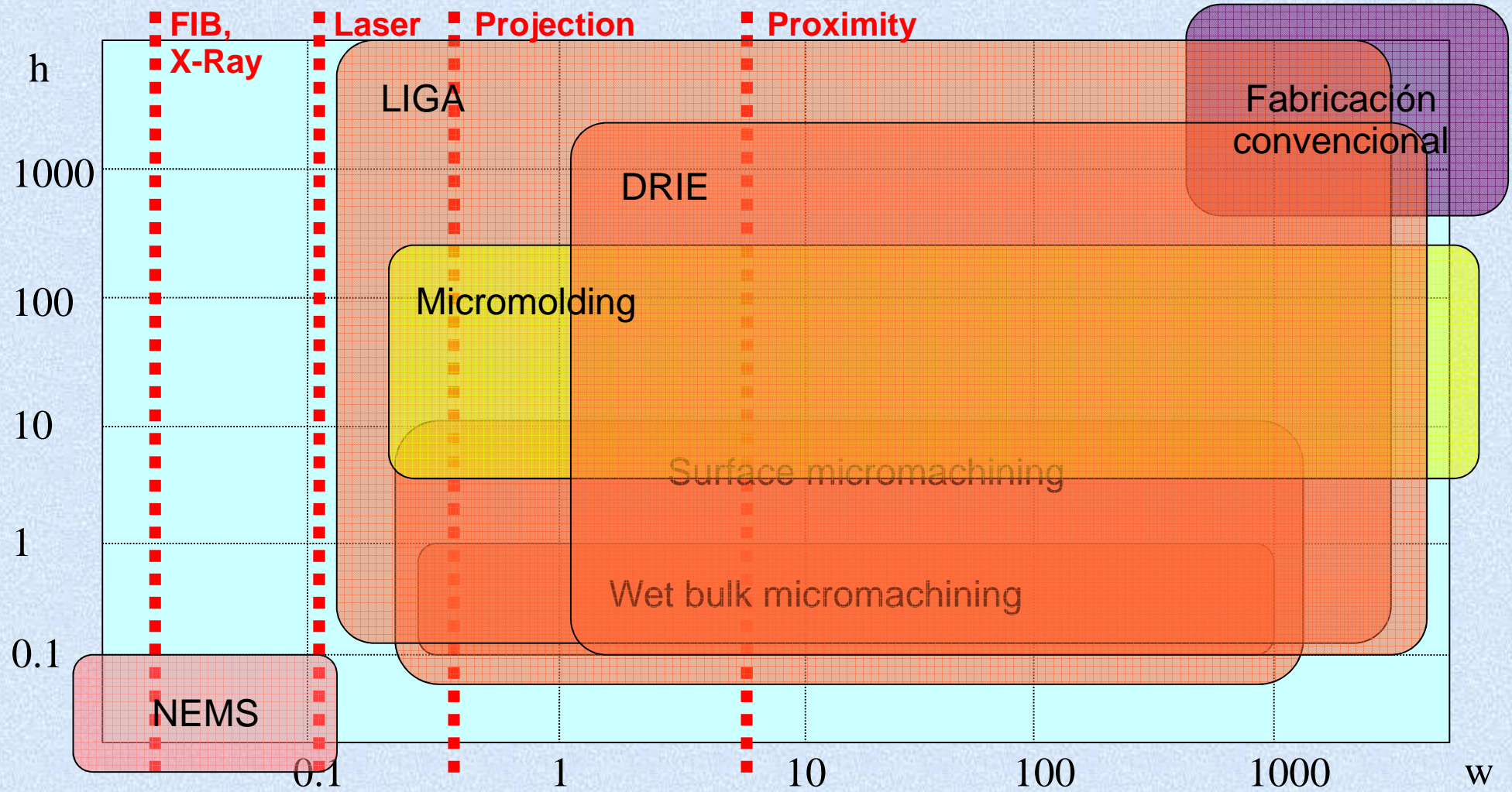
- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

Comparación entre procesos

	Uniformidad	Contaminación	Tensión Residual	Materiales
Evaporación	Mala	Mala	No hay	Moderado
Sputtering	Mala	Mala	Poca	Cualquiera
Epitaxia	Muy Buena	Buena	No hay	Según la química
CVD	Muy Buena	Buena	Mucha	Materiales cristalinos o sus derivados

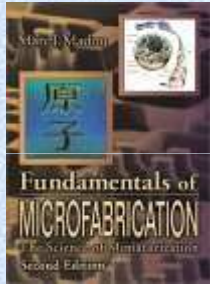


Elección de proceso



-
-
-

Bibliografía



Marc J. Madou,
"Fundamentals of microfabrication",
CRC Press, 1997



Stephen D. Senturia,
"Microsystem design",
Kluwer Academic, 2001



Nadim Maluf,
"An introduction to microelectromechanical systems engineering", Artech House, 2000



-
-
-
-
-
-
-
-