

-
-
-

Indice

- Introducción
- Preparación
- Deposición
- Fotolitografía
- Pruebas y mediciones
- Encapsulado



-
-
-
-
-
-
-
-

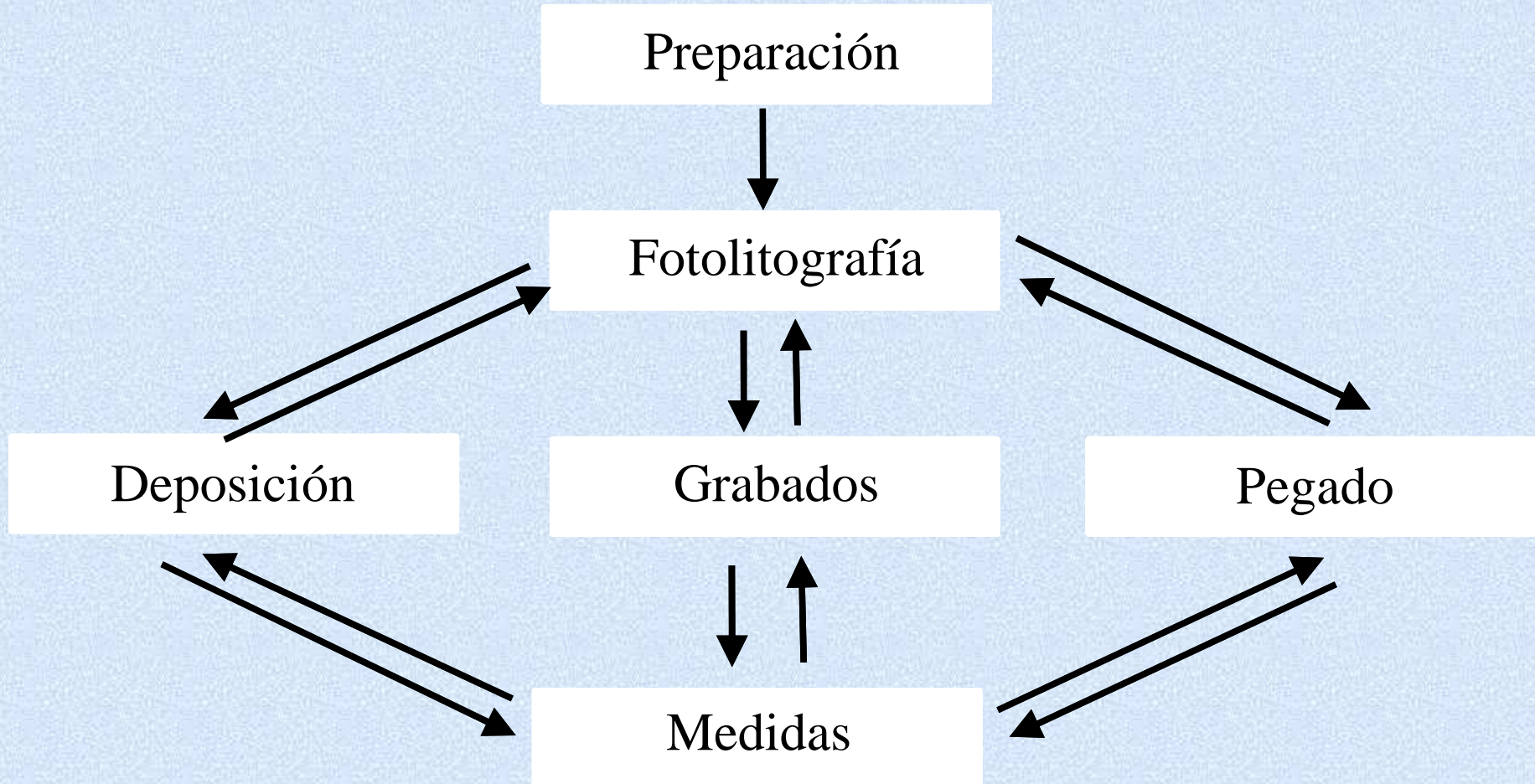
-
-
-

Introducción

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

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

Proceso general



-
-
-

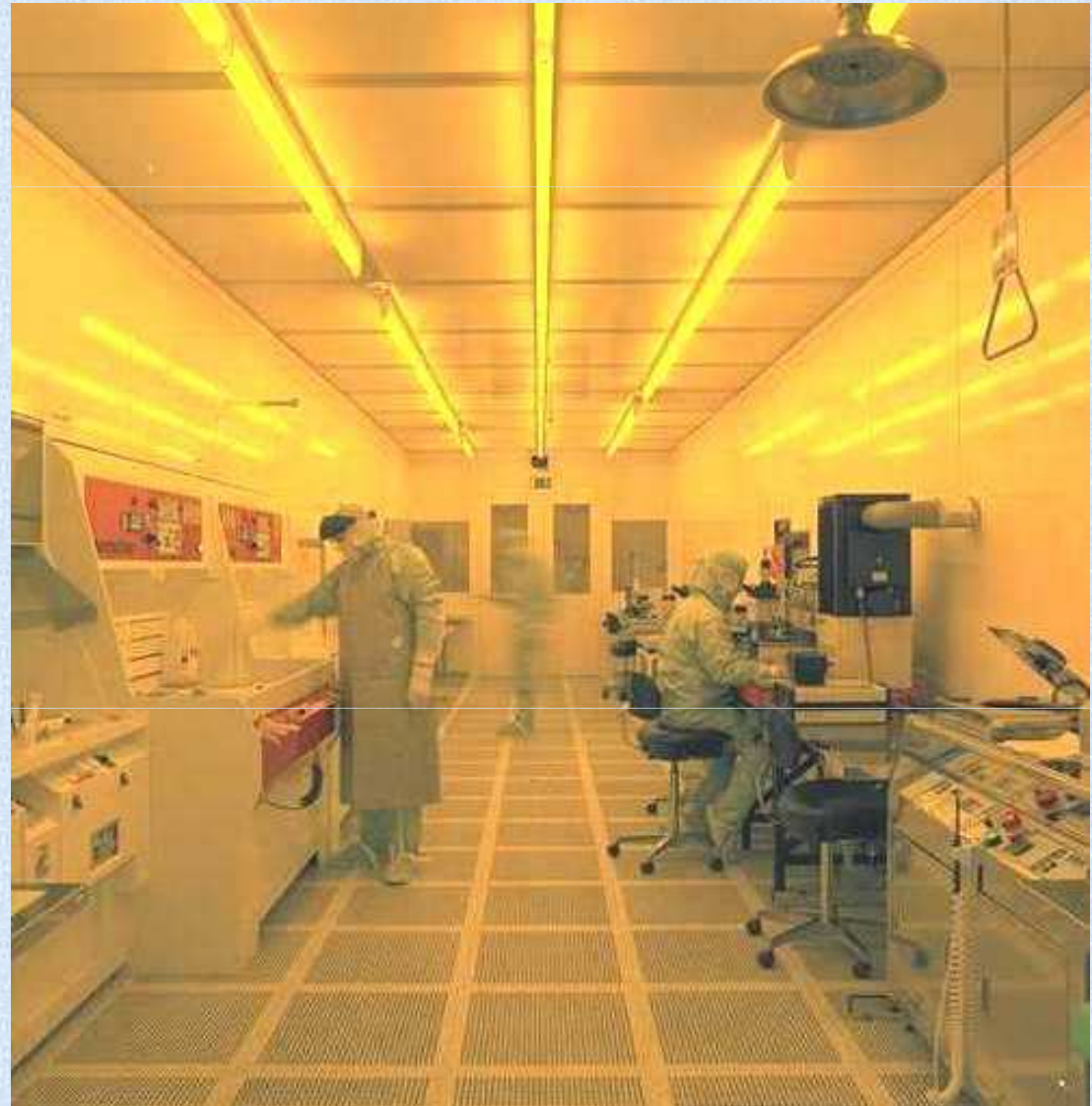
Sala blanca

- Baja concentración de contaminantes. Ambiente controlado
- Clasificación (U.S. Federal Standard 209b)
 - Clase 1: 1 partícula por pie cúbico
 - Clase 10: 10 partículas por pie cúbico
 - Clase 100: 100 partículas por pie cúbico
 - etc.
 - Referidas a partículas mayores de $0.5 \mu\text{m}$

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

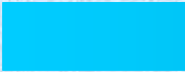
-
-
-

Sala blanca



-
-
-

Comportamiento en sala blanca



-

•
•
•

Comportamiento en sala blanca

- Vestimenta adecuada: traje, guantes, gafas (para proteger a la sala, no a la persona)
- Vestimenta de seguridad: guantes químicos, careta, protector corporal
- Plan de trabajo preparado con antelación
- Seguimiento de los procedimientos normalizados y las normas de seguridad

• • • • • • • •

-
-
-

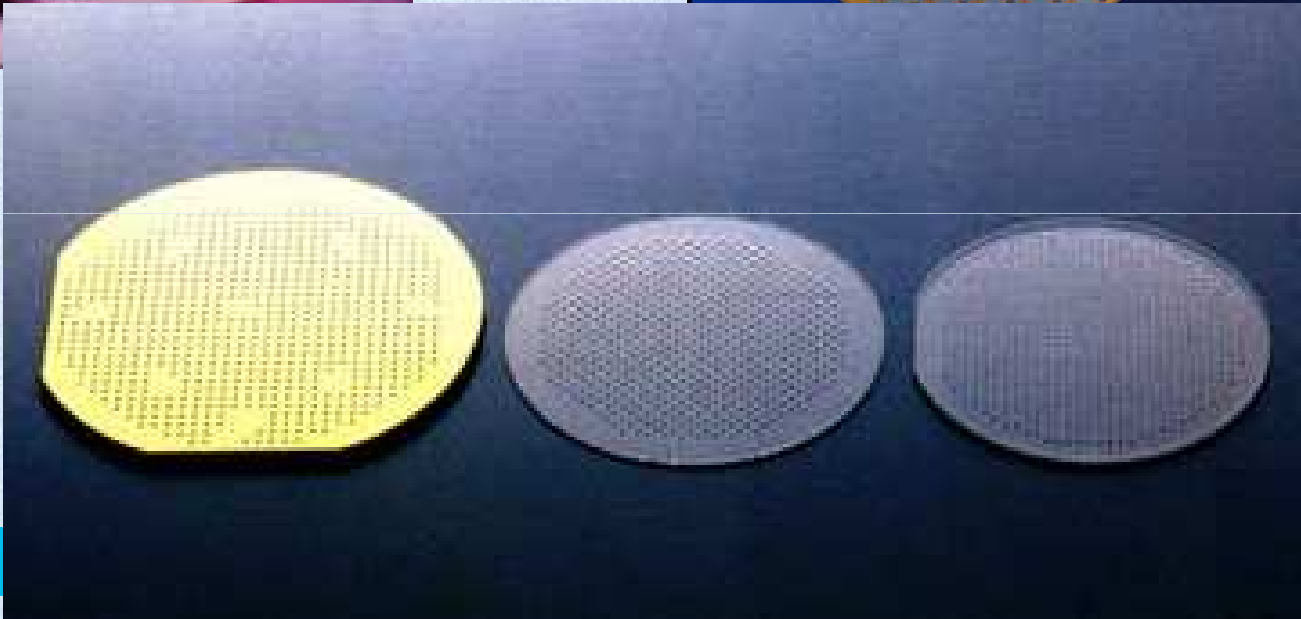
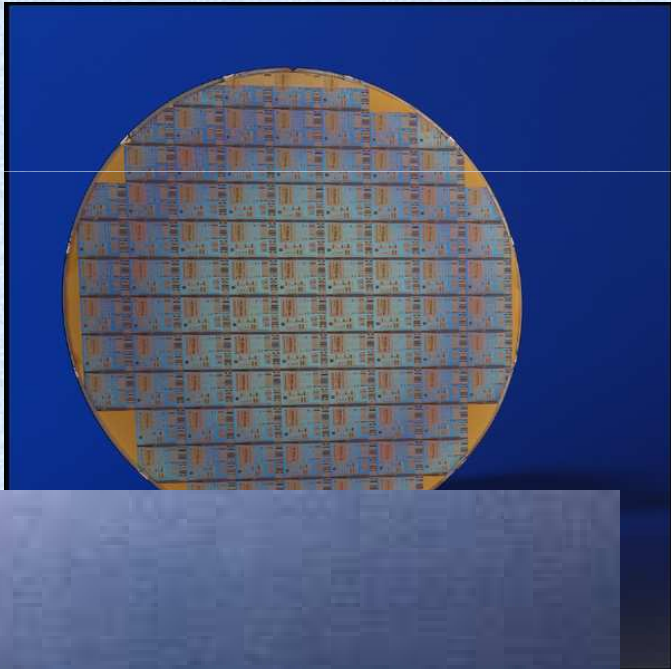
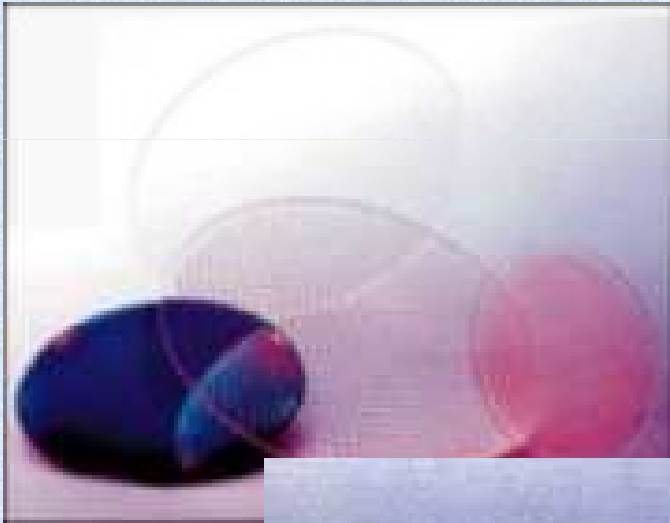
Materiales disponibles

- Obleas
- Disoluciones químicas
- Máscaras (cromo, vidrio, oro,...)
- Material auxiliar

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Obleas de silicio y de vidrio



-

-
-
-

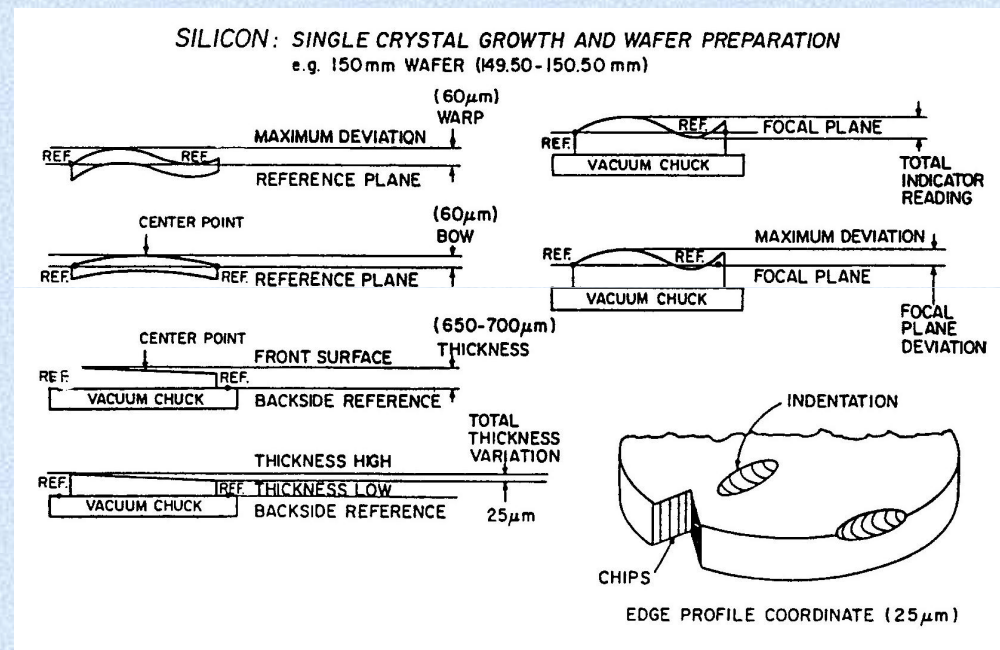
Indice

- Introducción
- Preparación
- Deposición
- Fotolitografía
- Pruebas y mediciones
- Encapsulado

-
-
-
-
-
-
-
-

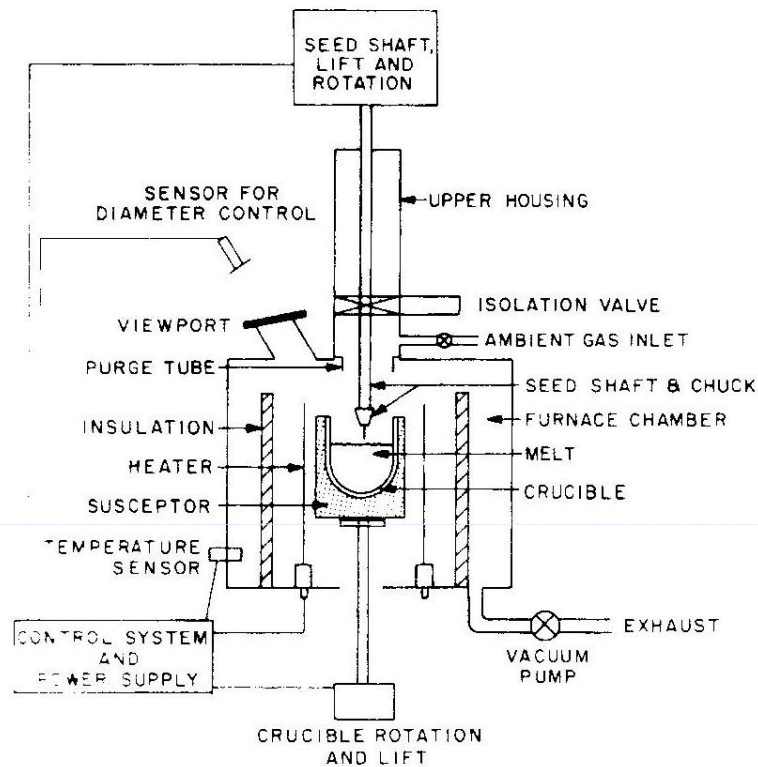
Pasos preparatorios

- Obleas de silicio, vidrio, pyrex, SOI (Silicon on insulator),...
- Silicio: dopado p/n, SSP/DSP, diámetro 100mm, espesor 380/525 μm , orientación $\langle 100 \rangle / \langle 110 \rangle / \langle 111 \rangle$

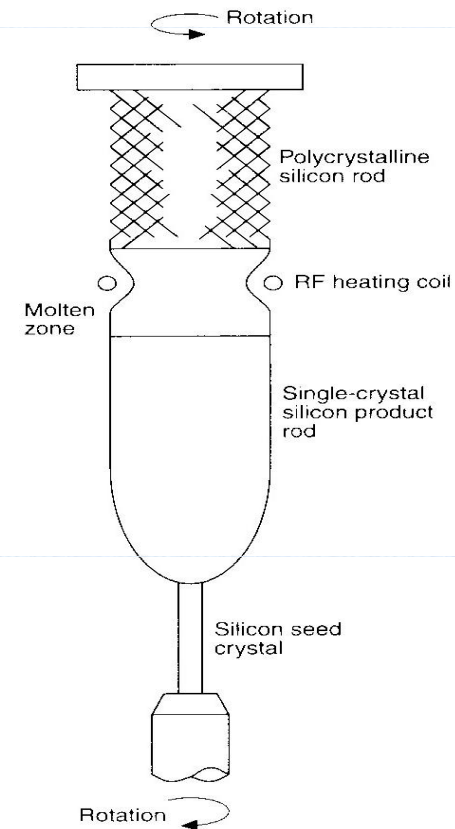


Obleas de silicio: fabricación

Czochralski



Float-zone crystal growth



-
-
-

Obleas de silicio: manejo

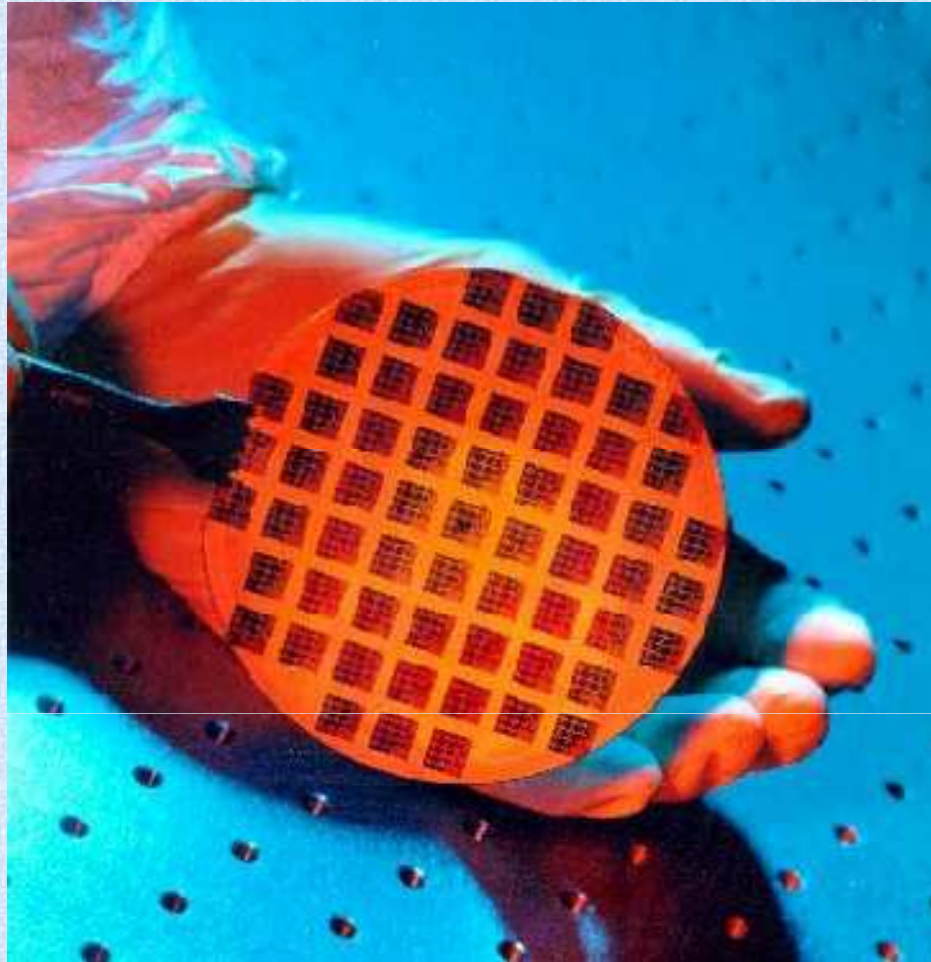


Automático•

-
-
-
-
-

-
-
-

Obleas de silicio: manejo



Manual • • • • •

-
-
-

Limpieza de las obleas

- Proceso RCA: limpieza antes de comenzar el procesamiento
- Paso 1: residuos orgánicos con NH_4OH
- Paso 2: óxido con HF
- Paso 3: residuos metálicos con HCl

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

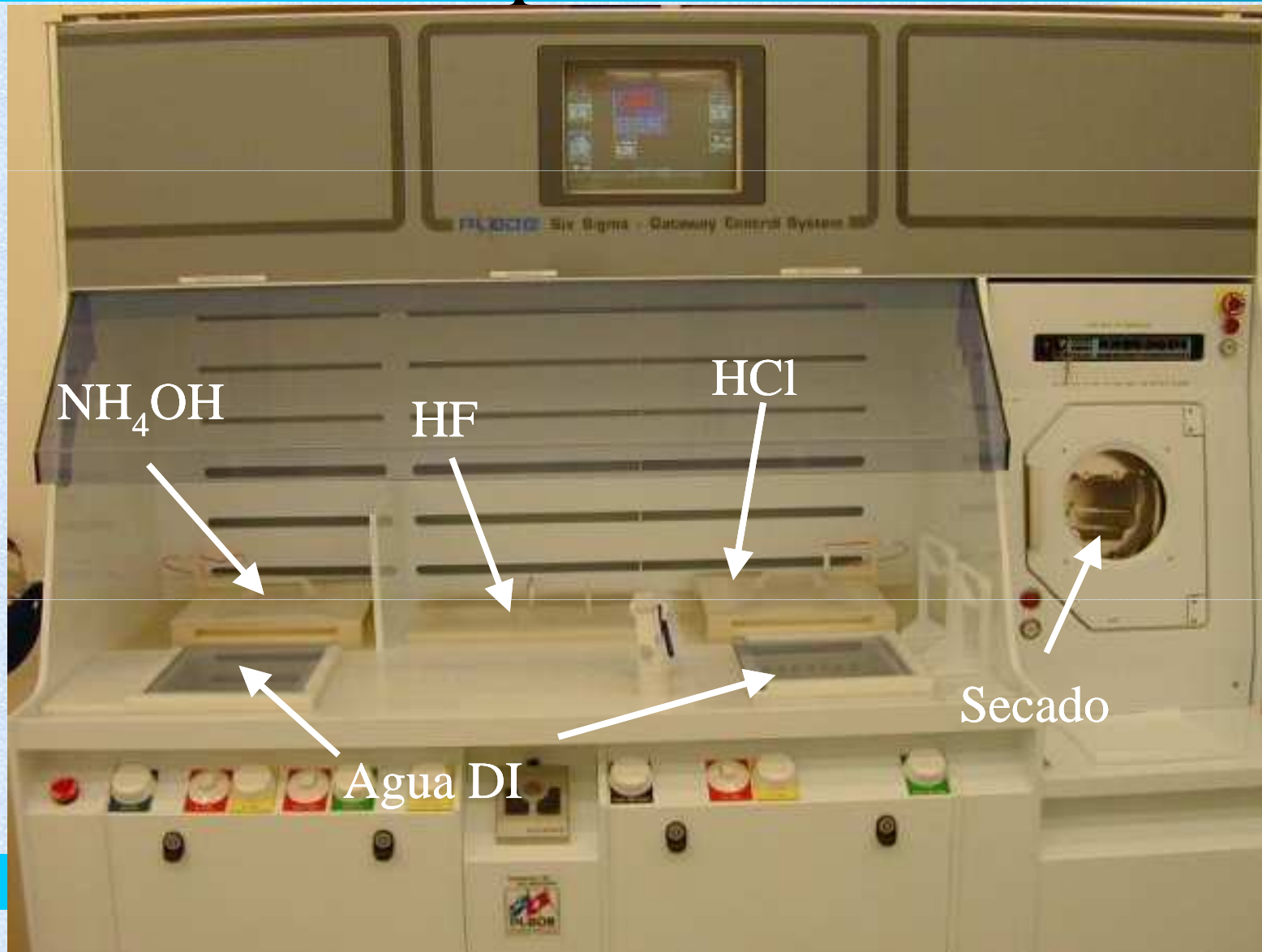
-
-
-

Limpieza RCA



-

Limpieza RCA



-
-
-

Indice

- Introducción
- Preparación
- Deposición
- Fotolitografía
- Pruebas y mediciones
- Encapsulado

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

-
-
-

Deposición de material

- Se pueden depositar materiales sobre un sustrato desde
 - Líquido
 - Gas
 - Plasma
 - Sólido
- Proceso térmico para variar sus propiedades

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

-
-
-

Tipos de deposición

- Física
 - PVD (por ejemplo, sputtering o epitaxial)
- Química
 - Baja presión LPCVD
 - Con plasma PECVD
 - Presión atmosférica APCVD
- Por láser
- etc.

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Dopado del silicio

- Difusión térmica, entre 950 y 1280 °C
 - Ley de Fick de la difusión
 - Poco usado hoy en día en fábricas comerciales
- Implantación iónica
 - Se pueden implantar más tipos de iones que por difusión
 - Buen control de la concentración
 - Menor coste por oblea

-
-
-

Ley de Fick

- Gobierna la difusión de los dopantes en el Si

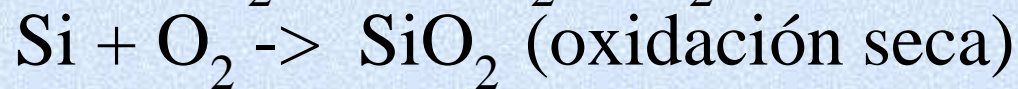
$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{\partial C}{\partial t}$$

- D coeficiente de difusión
- C concentración de dopante

-
-
-

Oxidación

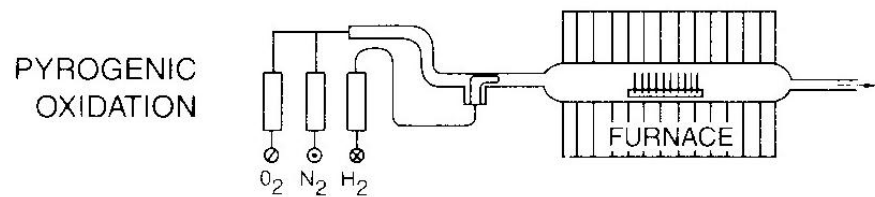
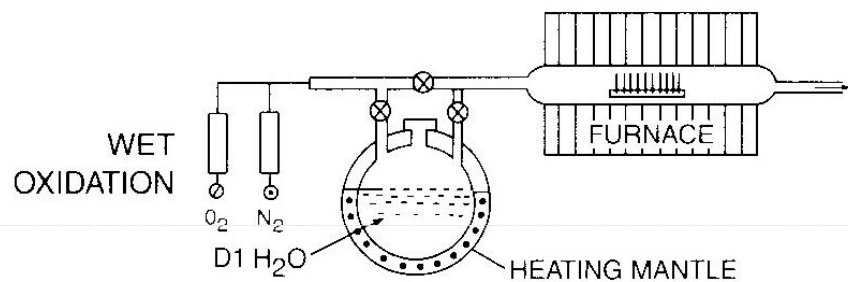
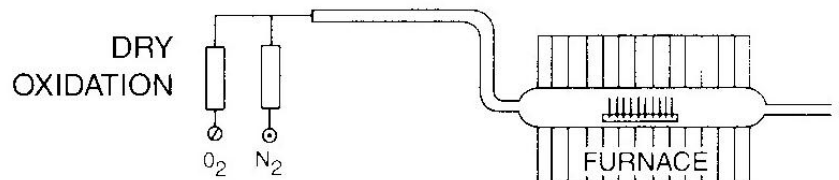
- Crecimiento de óxido por calentamiento del Si
- Se forma una capa de 20 Å, que se difunde rápidamente a alta temperatura



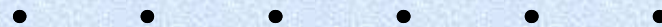
-
-
-
-
-
-
-
-

Tipos de oxidación

Oxidation setups



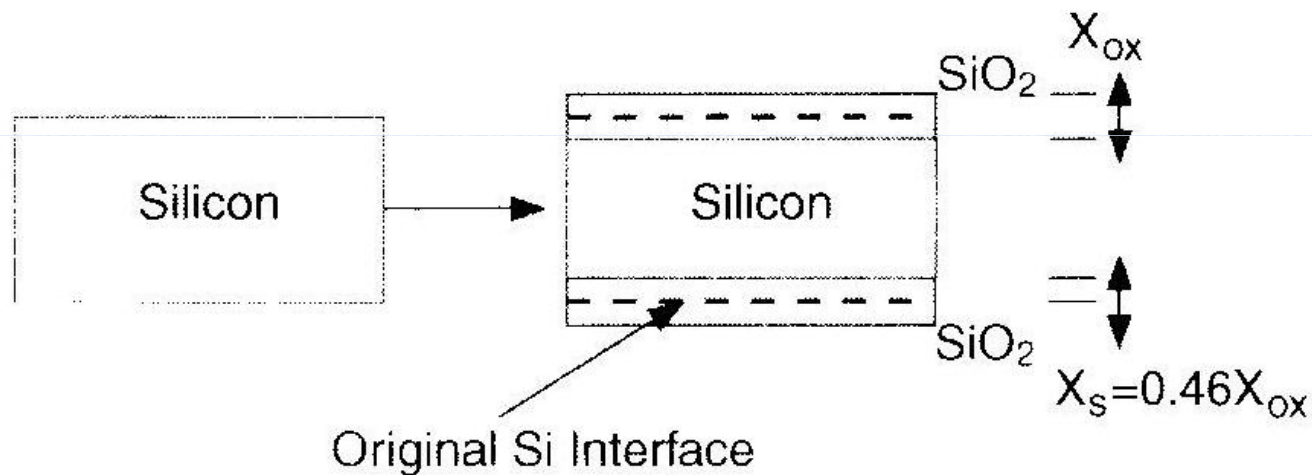
- Seca: sin vapor de agua
- Húmeda: con vapor de agua
- Pirogénica: con hidrógeno gaseoso



Crecimiento del óxido

- Al oxidar el Si, se pierde parte del mismo
- El espesor perdido es el 46% del espesor total de óxido


Silicon thickness converted



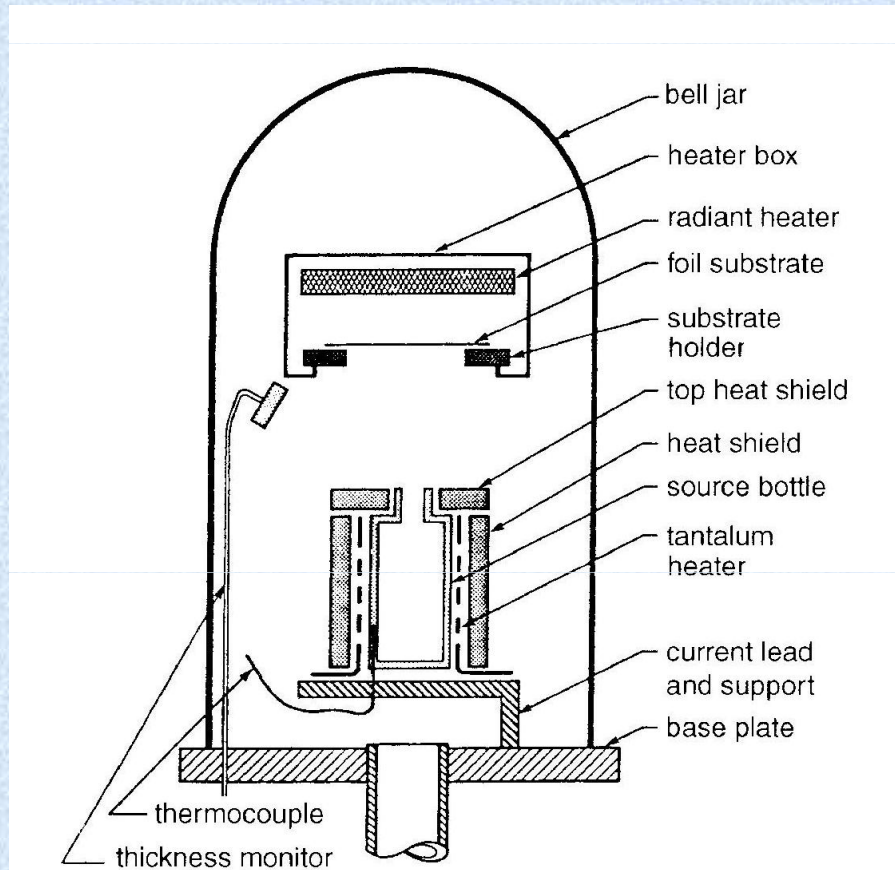
-
-
-

Deposición física

- PVD: Physical Vapor Deposition
- Los reactores funcionan a baja presión
- El origen del material a depositar puede ser sólido, líquido o gaseoso
- Evaporación térmica, epitaxia molecular, deposición por láser, etc.

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

Evaporación térmica



- Configuración típica de un reactor de evaporación
- Es importante tener un buen vacío
- Fuentes de calor: corriente eléctrica, electrones, RF, láser

-
-
-

Sputtering

- “Escupir” material encima del sustrato
- El material a depositar se arranca cargándolo negativamente y bombardeándolo con iones positivos de Ar.
- Ventajas sobre la evaporación
 - Más materiales para depositar
 - Más uniformidad
 - Mejor control del espesor

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Sputtering

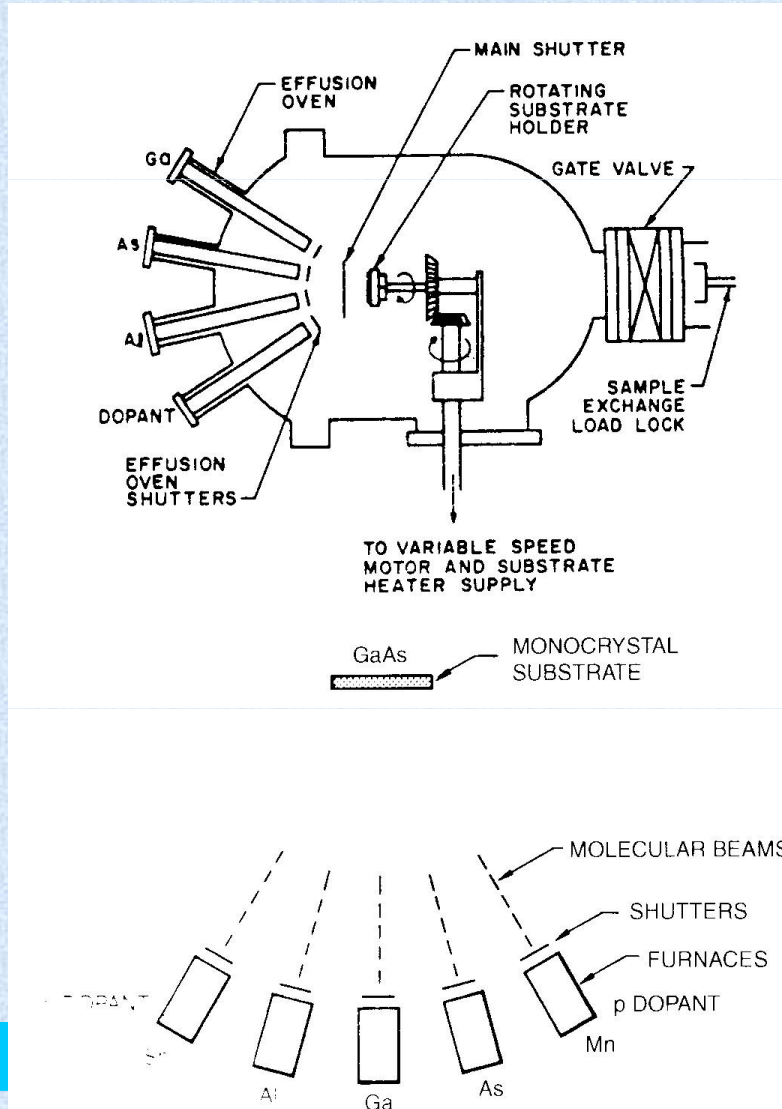


- Metales
Al, Ti, Ta, Pt, ...
- Aleaciones
Al+Si, W+Ti, ...
- Dieléctricos
SiO₂, TiO₂, ...



-
-
-
-
-
-
-
-

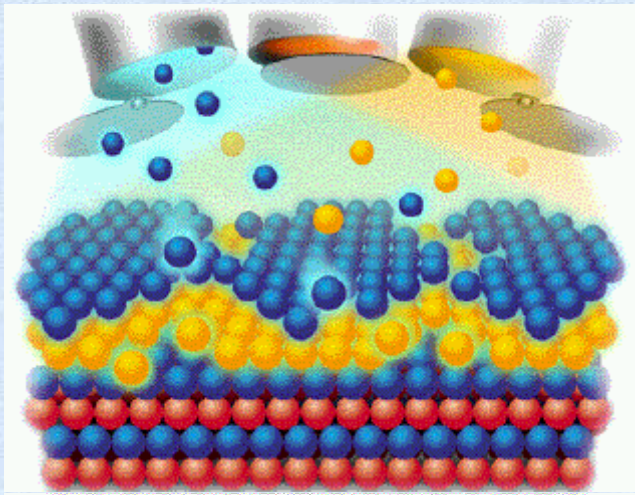
Epitaxia molecular



- MBE: Molecular Beam Epitaxy
- Un cristal calentado se coloca en un flujo de átomos del material a crecer
- Proceso muy lento
- Apropriada para pequeños espesores y precisión muy alta

•
•
•

Epitaxia molecular

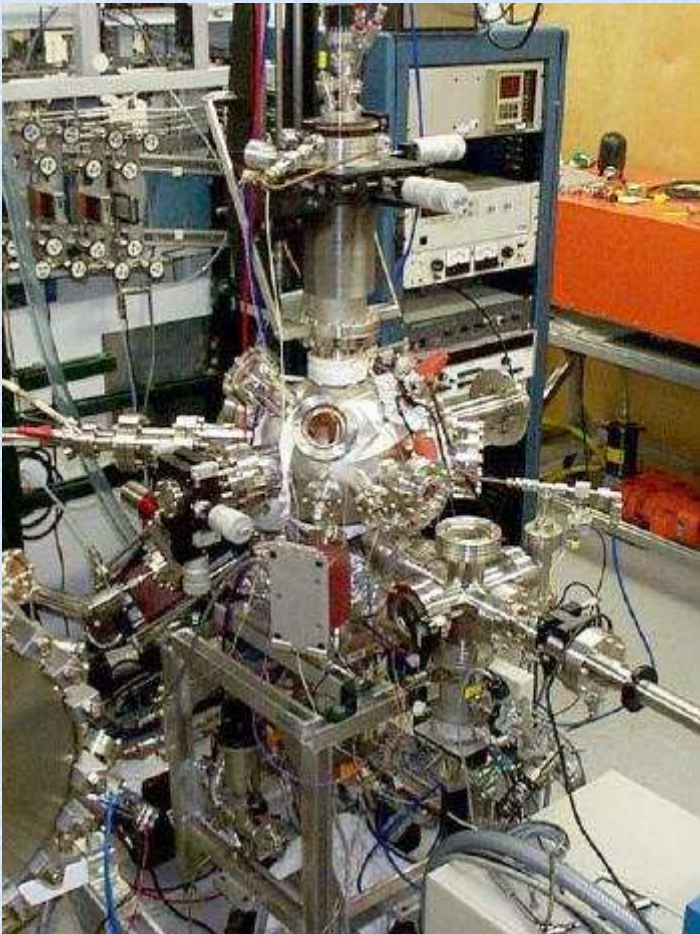


- La epitaxia permite el crecimiento de heteroestructuras de semiconductores por la gran perfección cristalina que alcanza.
- Los haces moleculares inciden sobre un sustrato y diversas reacciones químicas ocasionan la deposición de monocapas sucesivas.

• • • • • • • •

-
-
-

Epitaxia molecular



- Mediante el adecuado control de las especies químicas de los haces se puede variar la composición de las capas epitaxiales.
- Los requerimientos técnicos son elevados pues se exige un perfecto control de la temperatura y vacío en la cámara de crecimiento.

-
-
-
-
-
-
-
-



-
-
-


Deposición química

- CVD: Chemical Vapor Deposition
- Los elementos presentes en fase vapor reaccionan al contacto con una superficie caliente (el sustrato) para formar una película sólida
- A menudo se usa un gas inerte para facilitar el transporte del material

-
-
-

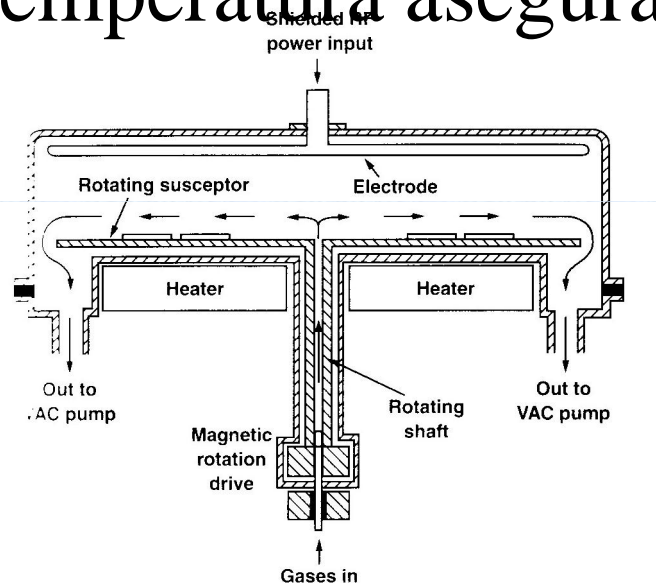
CVD: tipos

- PECVD: Plasma Enhanced CVD
- APCVD: Atmospheric Pressure CVD
- LPCVD: Low Pressure CVD
- VLPCVD: Very Low Pressure CVD
- Otros...

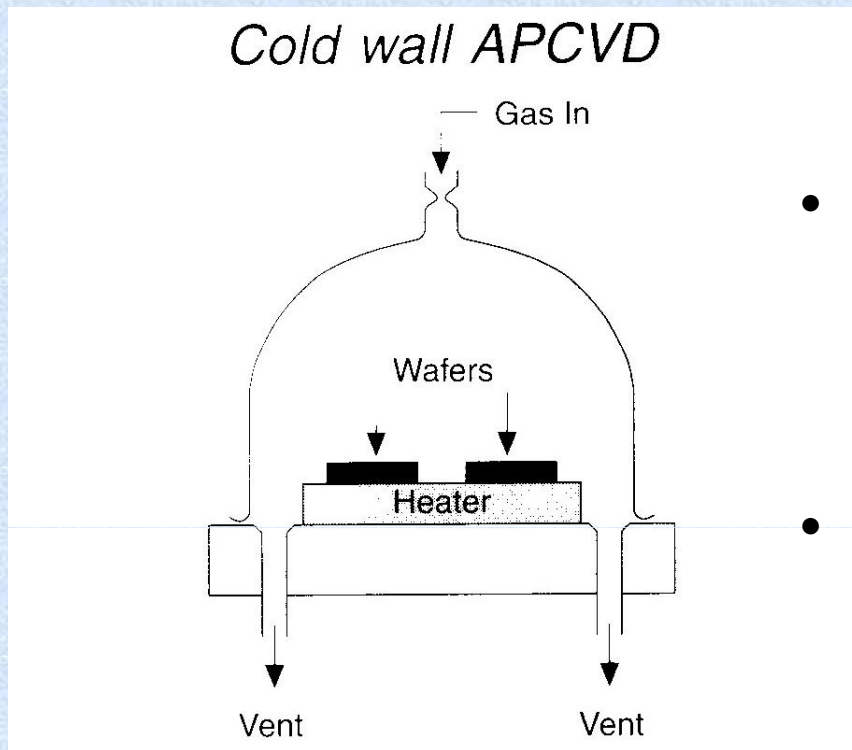
- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

PECVD

- Un plasma inducido por RF transfiere la energía a los gases
- Sustrato horizontal o vertical
- Control de la temperatura asegura la uniformidad



APCVD

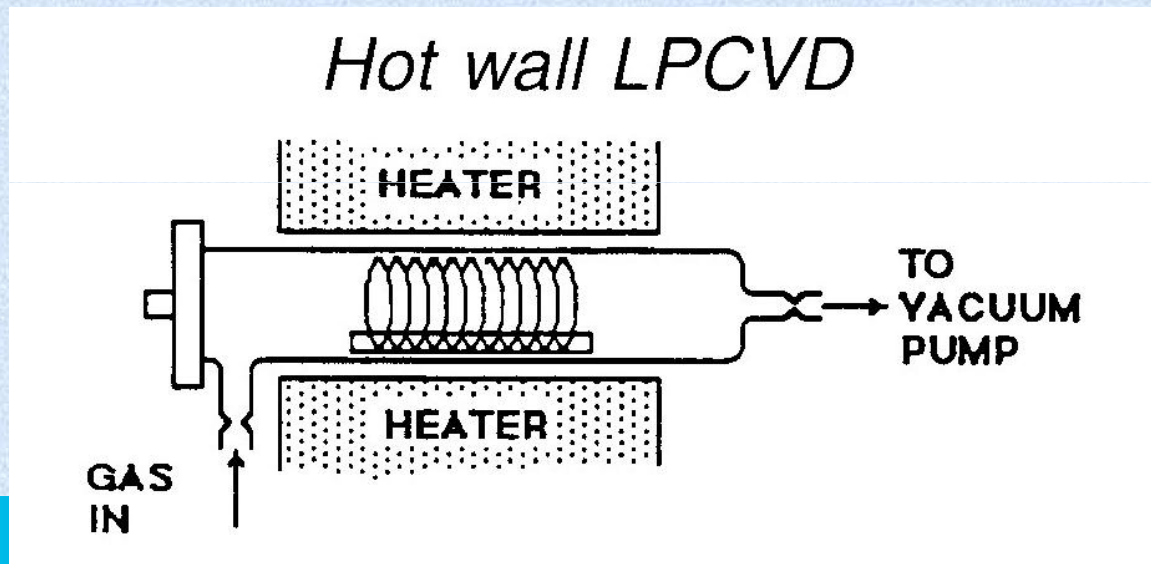


- De 100 Pa a 10 kPa en torno a la presión atmosférica
- Usos principales: Si epitaxial, GaAs, InP, HgCdTe
- Deposición de SiO_2 a baja temperatura (LTO: Low Temperature Oxide)

• • • • • • • •

LPCVD

- Menos de 10 Pa
- Espesor controlado por la reacción, no por el transporte másico
- Por tanto, se pueden procesar muchas obleas a la vez



-
-
-

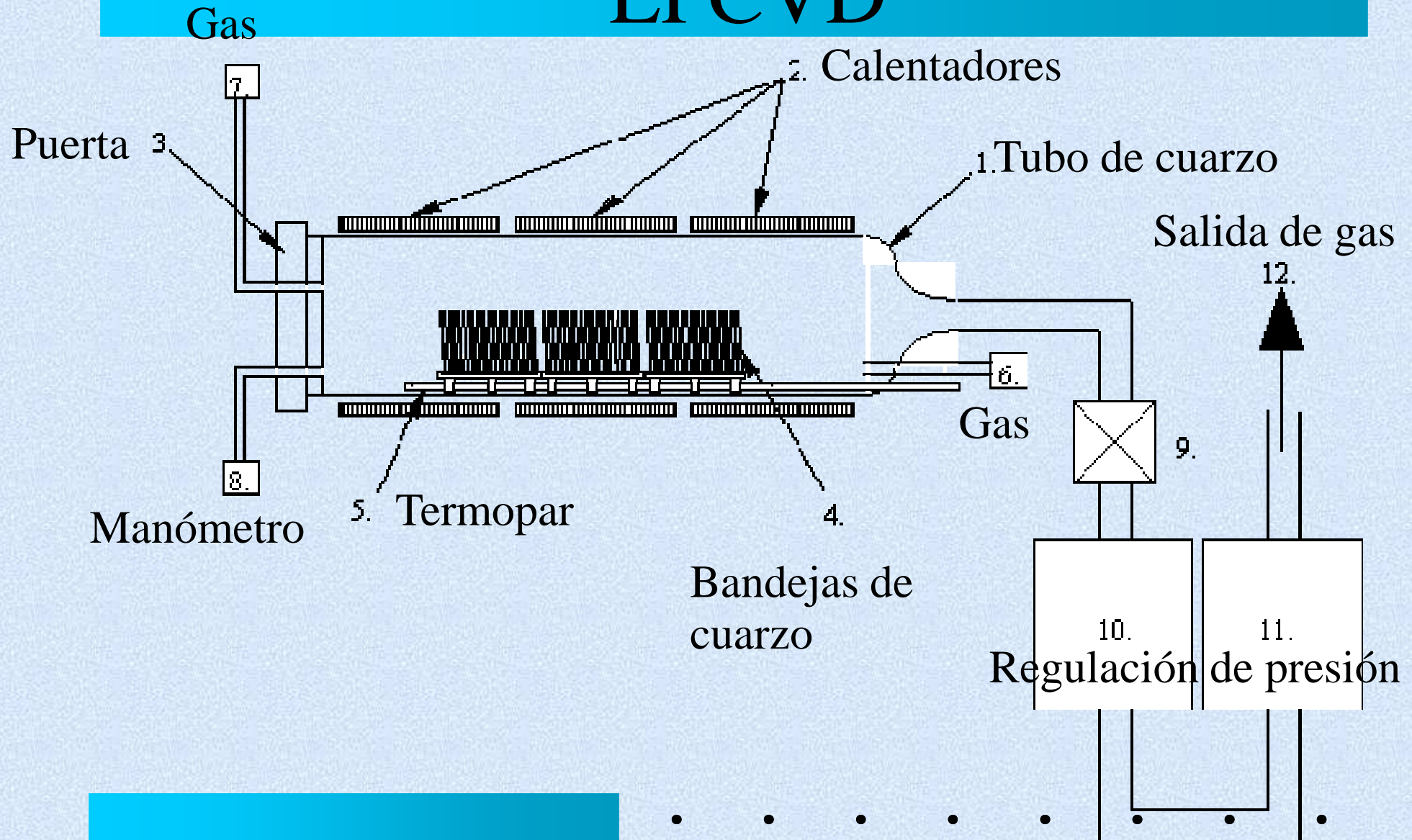
LPCVD



- Ejemplos de materiales: polisilicio, nitruro (SiN), nitruro de baja tensión (LSN), óxido de baja temperatura (LTO), vidrio fosfosilicado (PSG)

-
-
-
-
-
-
-
-

LPCVD

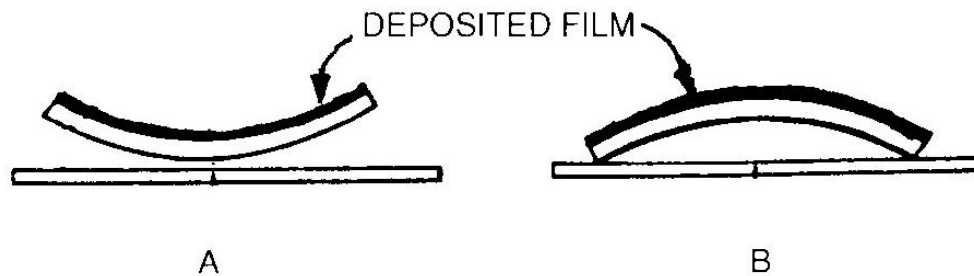


Tensión residual en la deposición

- La deposición de materiales suele dejar tensiones residuales en la oblea
- Hay materiales especialmente adecuados cuando la tensión es un problema

Compressive and tensile stress

Tensile stress causes concave bending (A), and compressive strength causes convex bending (B) of a thin substrate.



-
-
-

Indice

- Introducción
- Preparación
- Deposición
- Fotolitografía
- Pruebas y mediciones
- Encapsulado

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Fotolitografía. Pasos

- Fabricación de la máscara
- Precalentado
- Deposición de fotorresina
- Recalentado
- Alineación y exposición
- Revelado
- Eliminación de fotorresina

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Fabricación de la máscara

- Sustrato de cuarzo y cromo
- Escritura con láser y posterior revelado
- También es posible la escritura directa en la oblea (sin máscara)



-
-

-
-
-

Precaentado

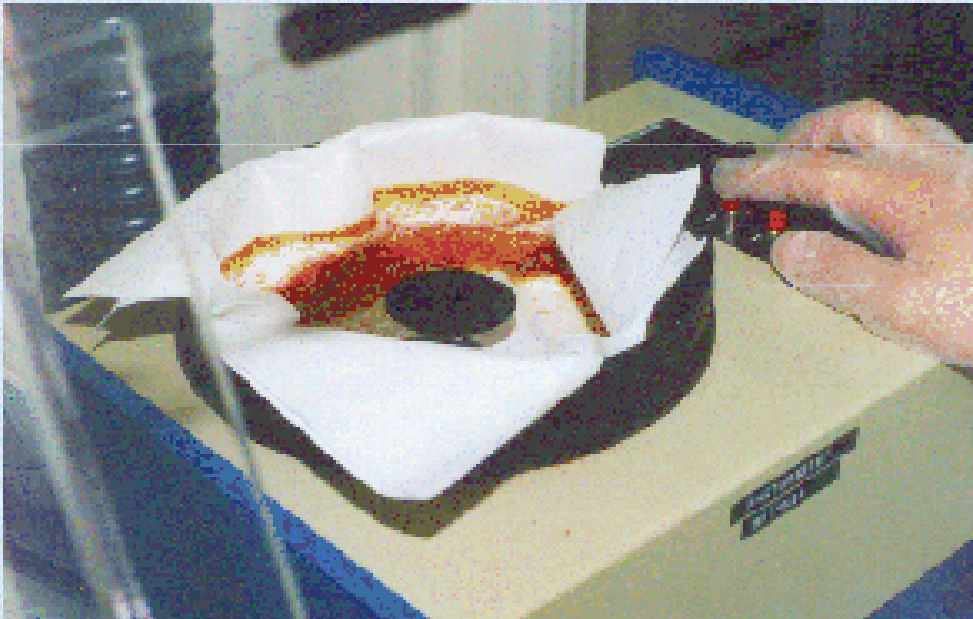


200-250 °C
20 minutos

-
-
-

-
-
-

Deposición de fotorresina



Girado a alta velocidad
(5000 rpm) durante 30
segundos



-

-
-
-

Recalentado



Objetivo:
endurecer la
fotorresina

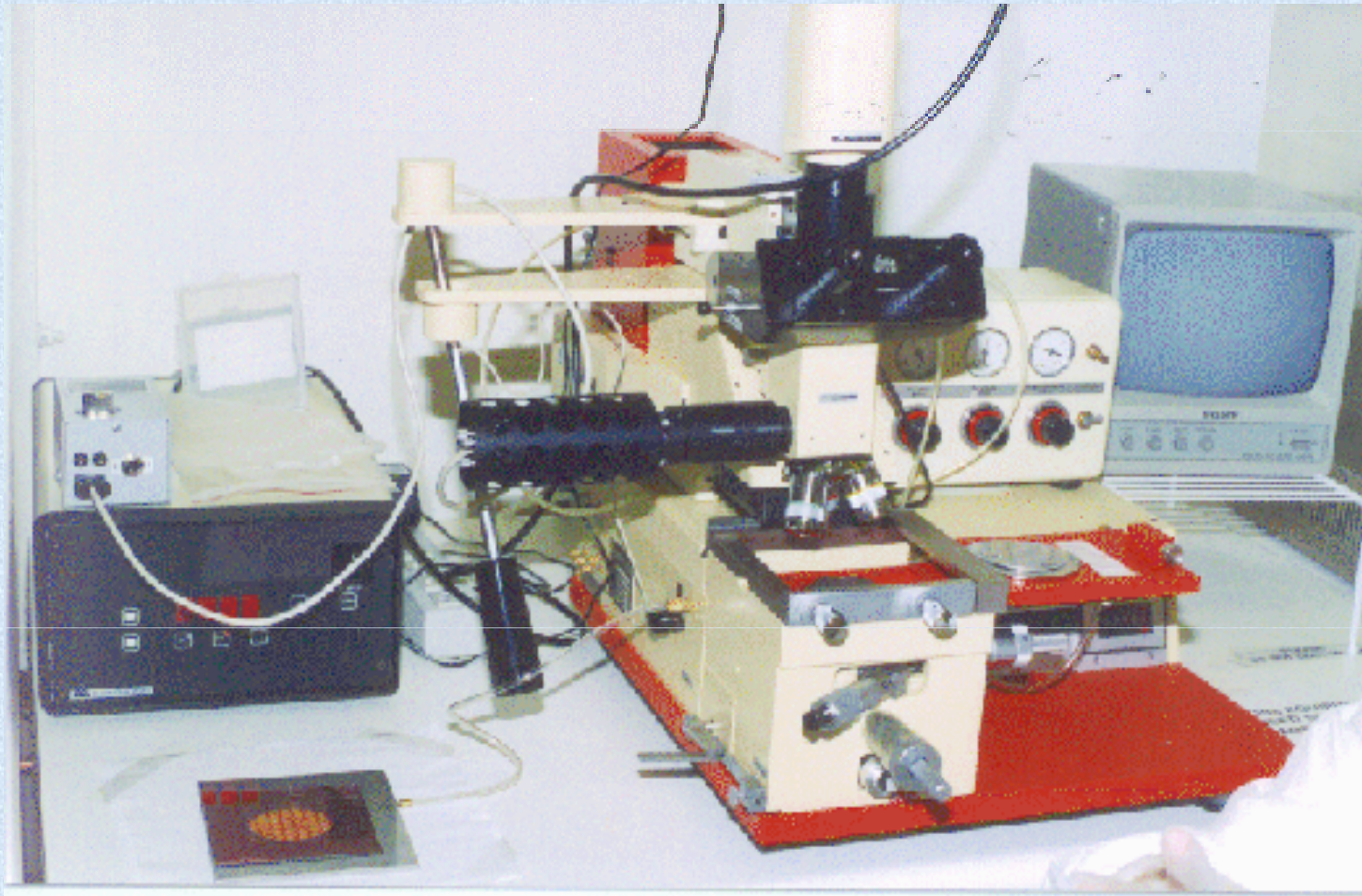
90-100 °C 25
minutos



-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

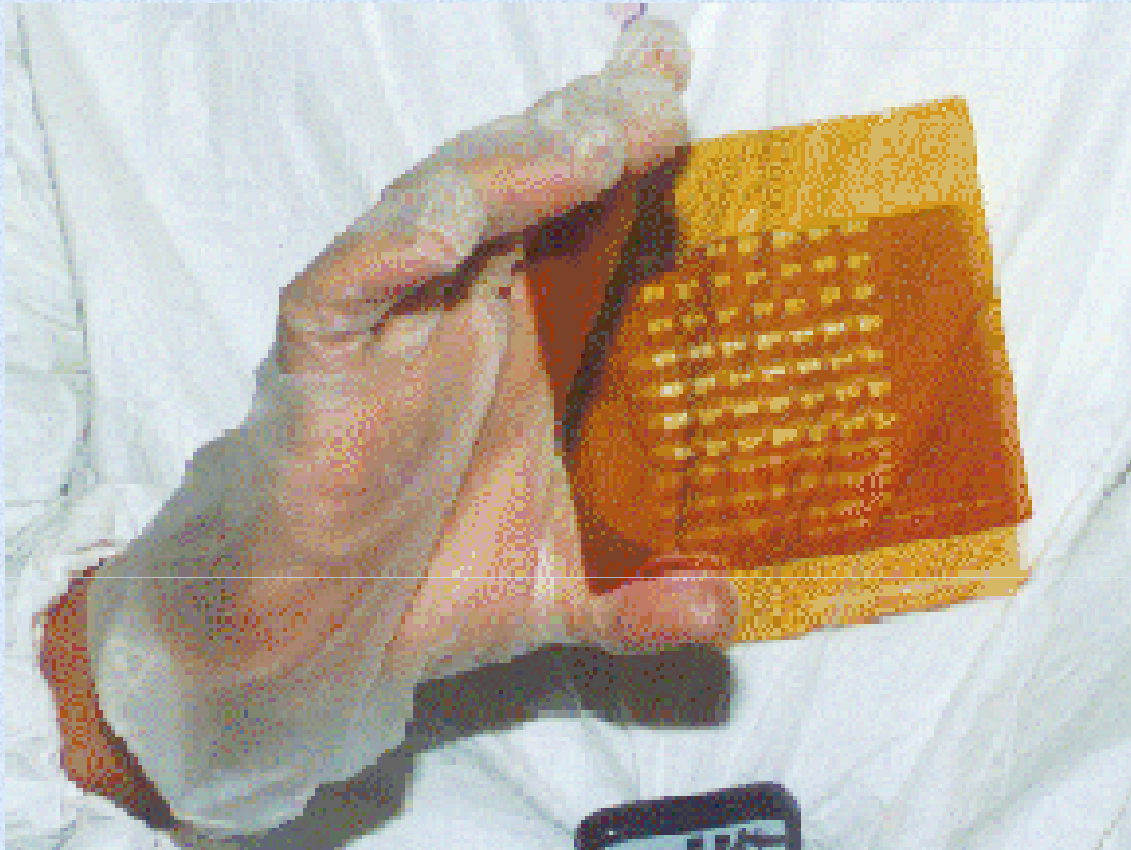
Alineación y exposición



-
-
-
-
-
-
-
-

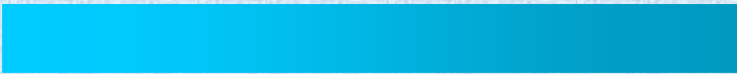
-
-
-

Máscara



Fabricadas en
cromo y cuarzo

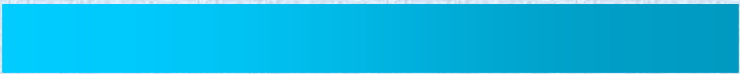
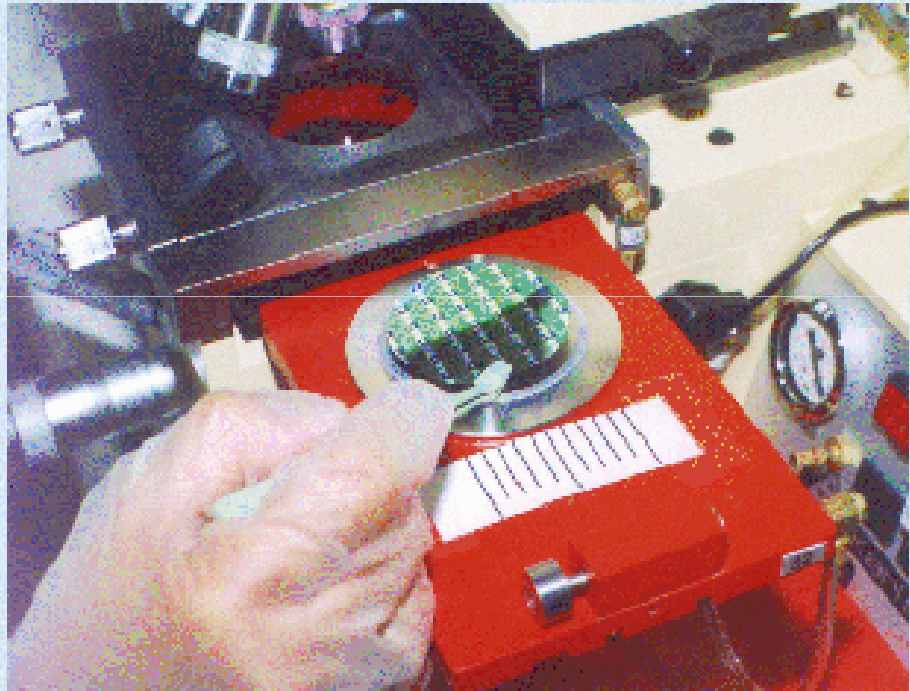
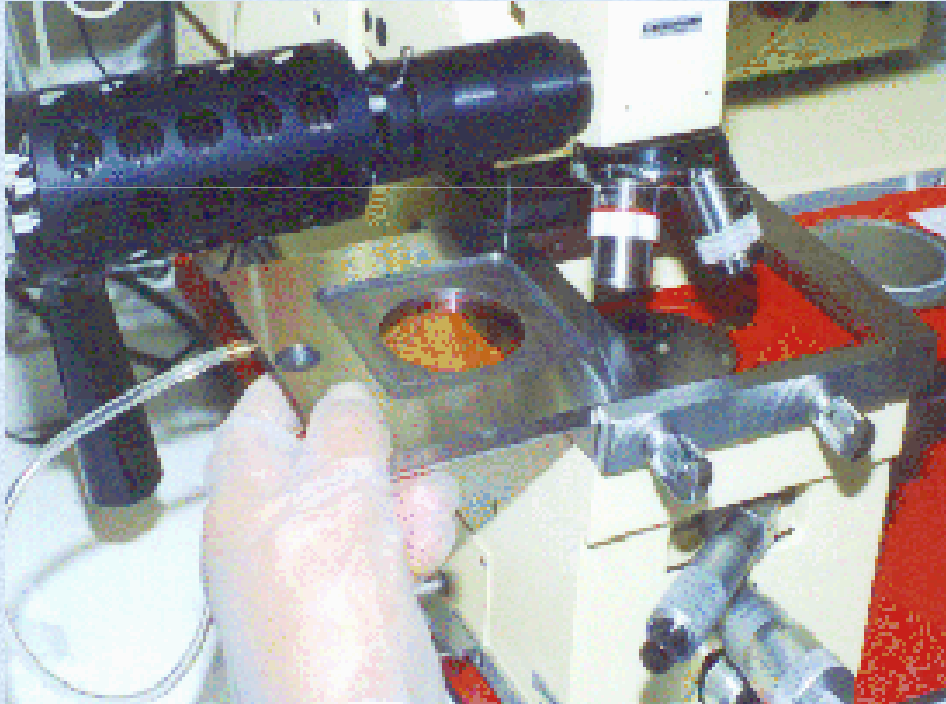
Coste aprox. 800 €
/máscara



-
-
-
-
-
-
-
-

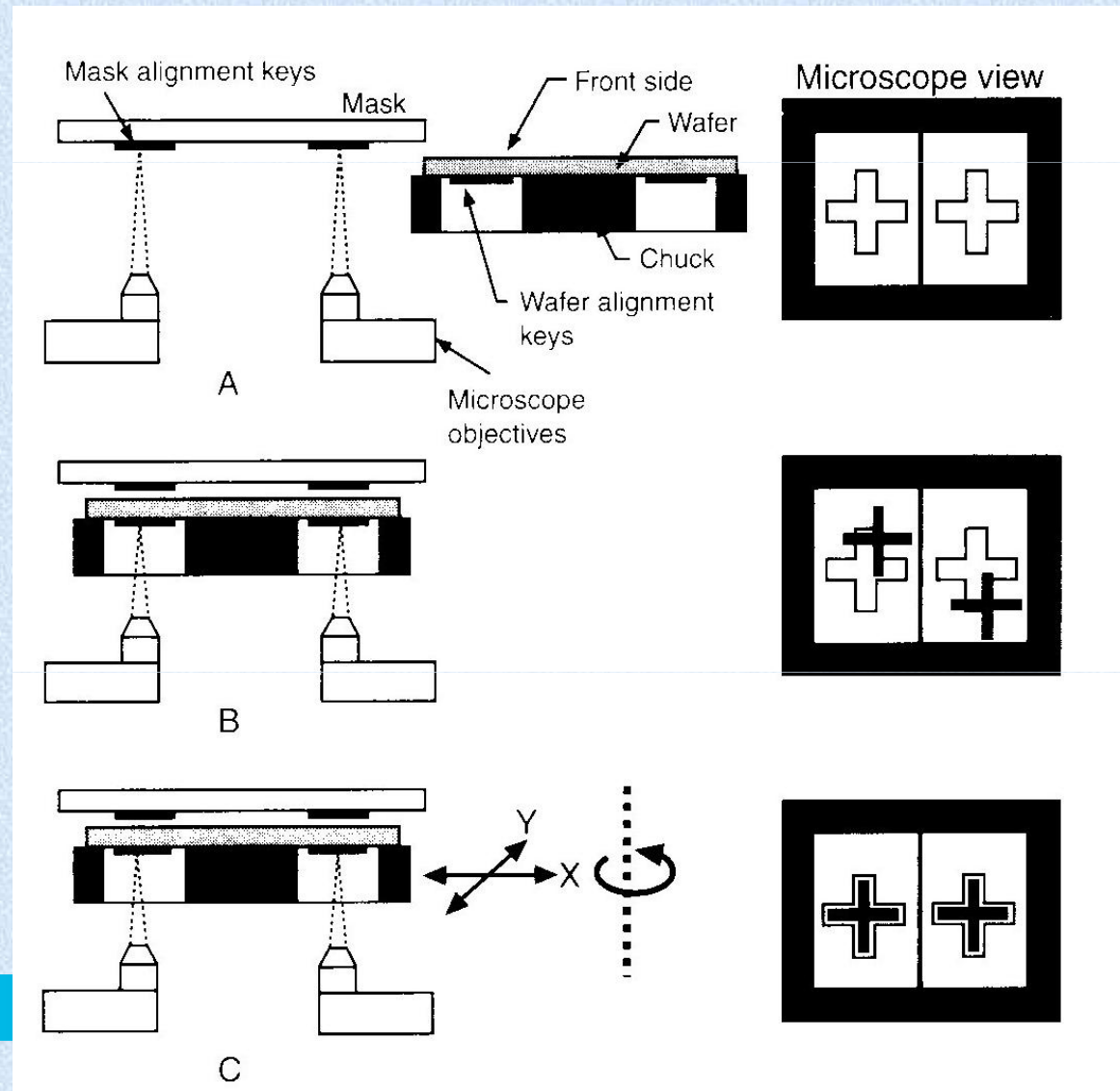
-
-
-

Alineación

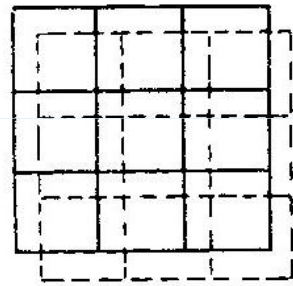


-

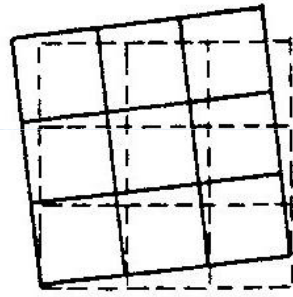
Alineación de doble cara



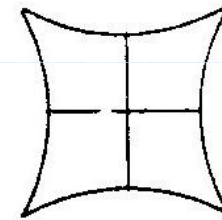
Errores en la alineación



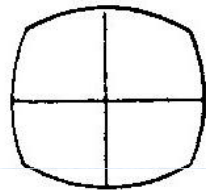
x-y



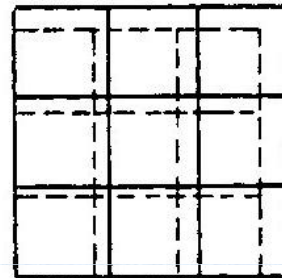
⊖



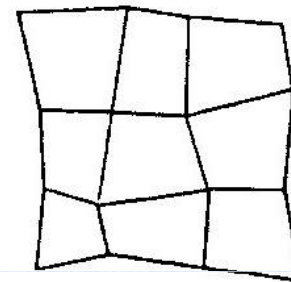
PINCUSHION



BARREL



MAGNIFICATION ERROR



RANDOM

- ERRORS:*
- MISALIGNMENT
 - MASK ERROR
 - OPTICAL DISTORTION
 - WAFER EXPANSION
 - MASK EXPANSION
 - MAGNIFICATION CHANGE

-
-
-

Revelado



-

-
-
-

Eliminación de fotorresina

- Eliminación seca (plasma)
- Eliminación húmeda
- Descumming en el revelado, con plasma



-
-
-

Indice

- Introducción
- Preparación
- Deposición
- Fotolitografía
- Pruebas y mediciones
- Encapsulado

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Pruebas y mediciones

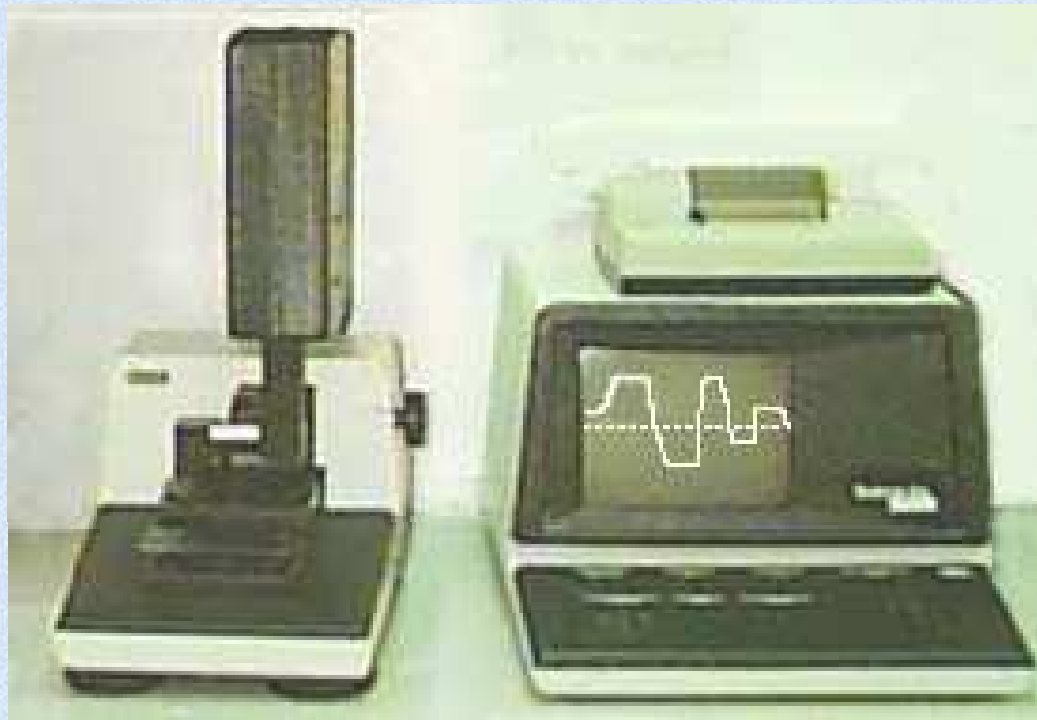
- Perfil
- Conductividad
- Espesores de capas
- Microscopía



-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Profilómetro



- Medida del perfil
- Profilómetro de aguja. La dimensión de la aguja impone la característica mínima que es posible medir

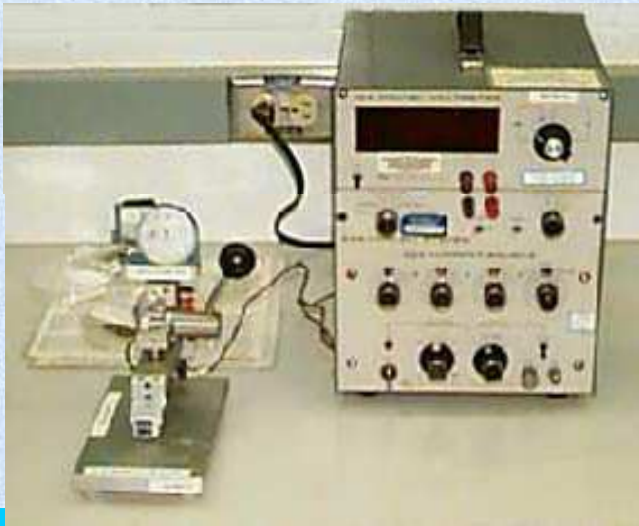


-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Conductividad

- Método de los cuatro puntos
- Mide la resistividad. Para la resistencia hay que proporcionar el espesor




-

-
-
-

Espesor

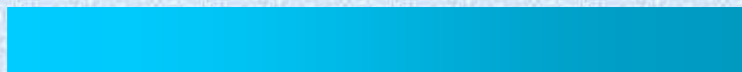
- Método óptico, basado en la reflectividad.
- Mide el espesor de la capa superior, sabiendo cuáles son las inferiores.

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

-
-
-

Elipsómetro

- Medida de espesor



-
-
-
-
-
-
-
-

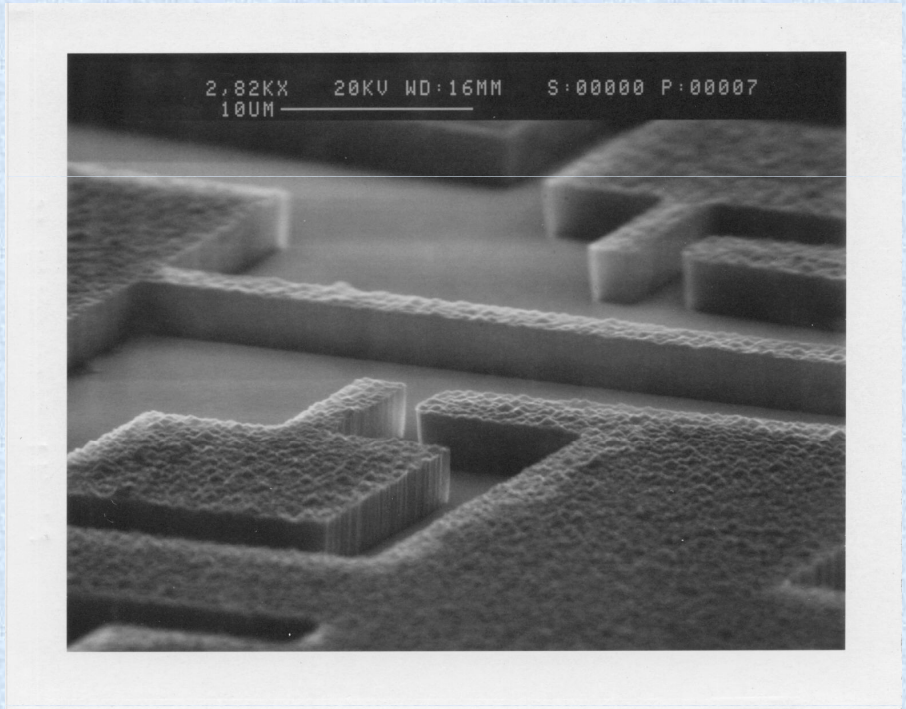
-
-
-

Microscopía óptica



-
-
-

Microscopía electrónica (SEM)



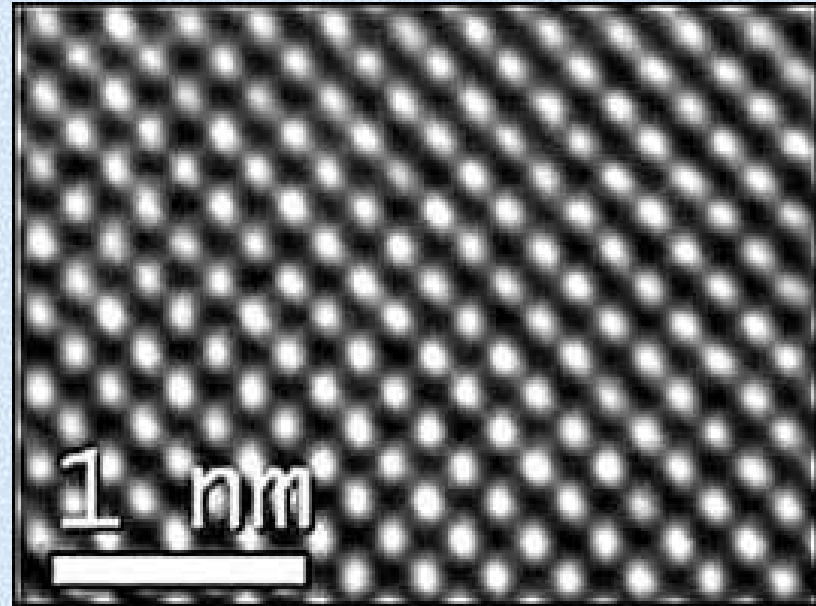
Scanning Electron Microscope (SEM)



-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Microscopía electrónica (TEM)

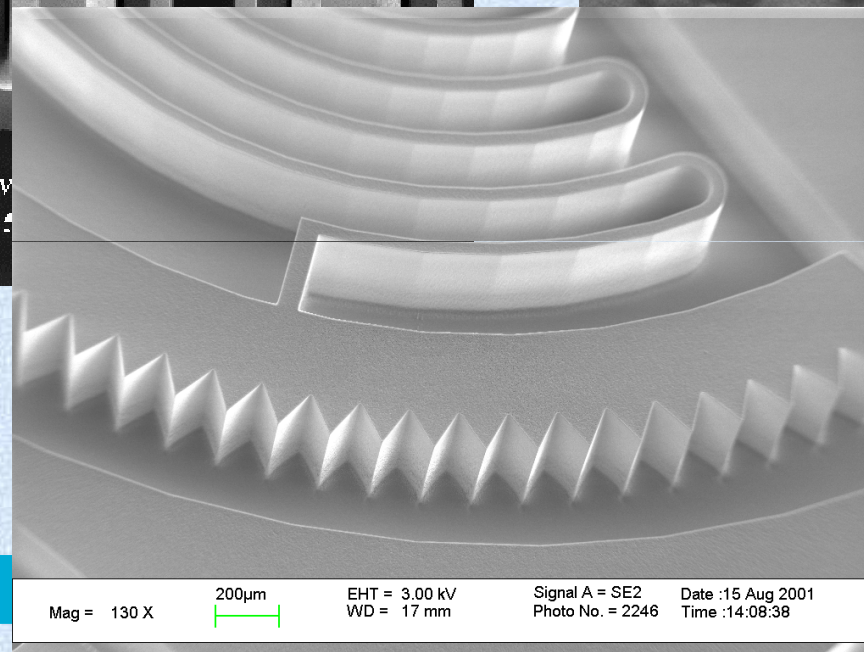
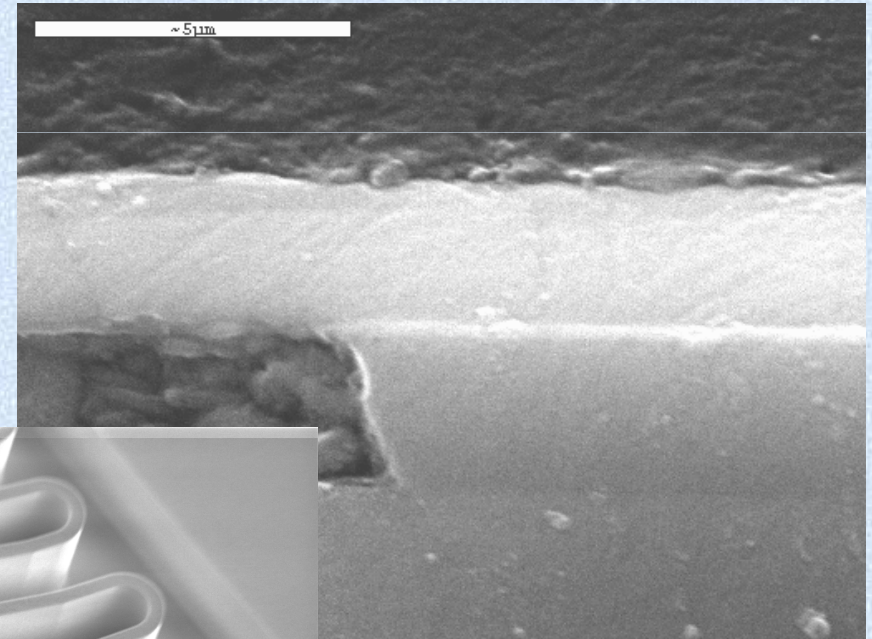
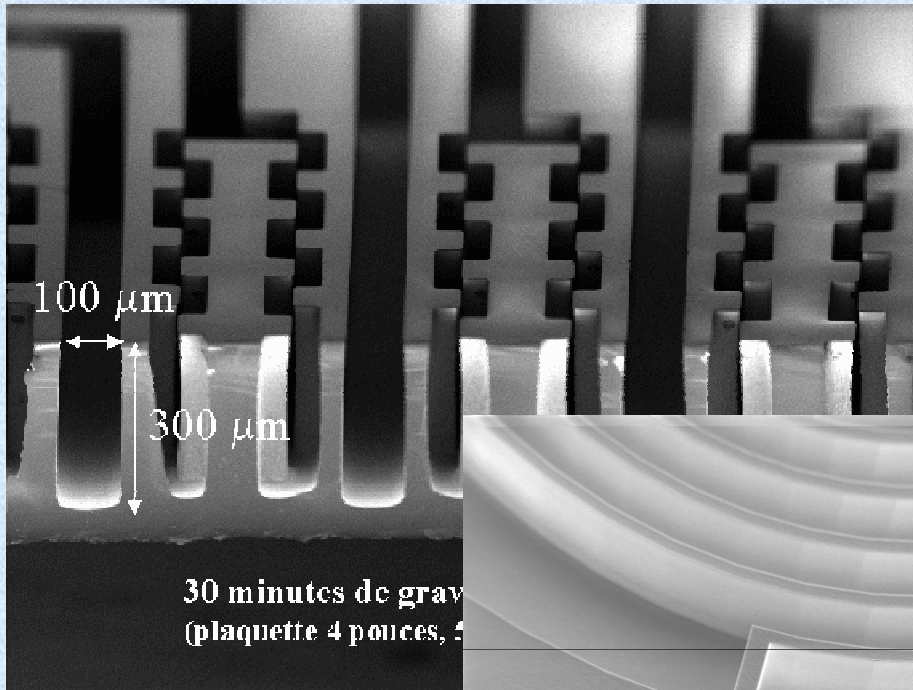


Transmission Electron Microscope (TEM)



-
-
-
-
-
-
-
-

Imágenes SEM



-
-
-

Cortado de obleas

- Proporciona los dispositivos finales, a falta de encapsular
- Cortado con diamante



-

-
-
-

Indice

- Introducción
- Preparación
- Deposición
- Fotolitografía
- Pruebas y mediciones
- Encapsulado

- 
- -
 -
 -
 -
 -
 -
 -

Encapsulado

