



# Microfluidica

## Métodos de Fabricación

Una selección incompleta y arbitraria...



universidad de buenos aires - exactas  
**departamento de Física**  
Juan José Giambiagi



# Microfluidica

## Intento de clasificación

De arriba hacia abajo (*top-down*)  
(enfoque tradicional del problema)

De abajo hacia arriba (*bottom-up*)  
(fabricación espontanea!; *Self-assembly*)

**Técnicas tradicionales**  
(legado de microelectrónica y MEMS)

Fotolitografía

Técnicas aditivas

Técnicas sustractivas

**Técnicas nuevas**

Fotolitografía (blanda)

Micro-moldes (y replicado)

**Materiales nuevos**

**Plásticos (polímeros) Blandos**

**Materiales tradicionales**

Silicio; Vidrio

Metales

Acrílico

**Más Técnicas nuevas**

Micro-Estampado

(impresión por contacto)

**Fabricación tridimensional!!**

Nanofluidics

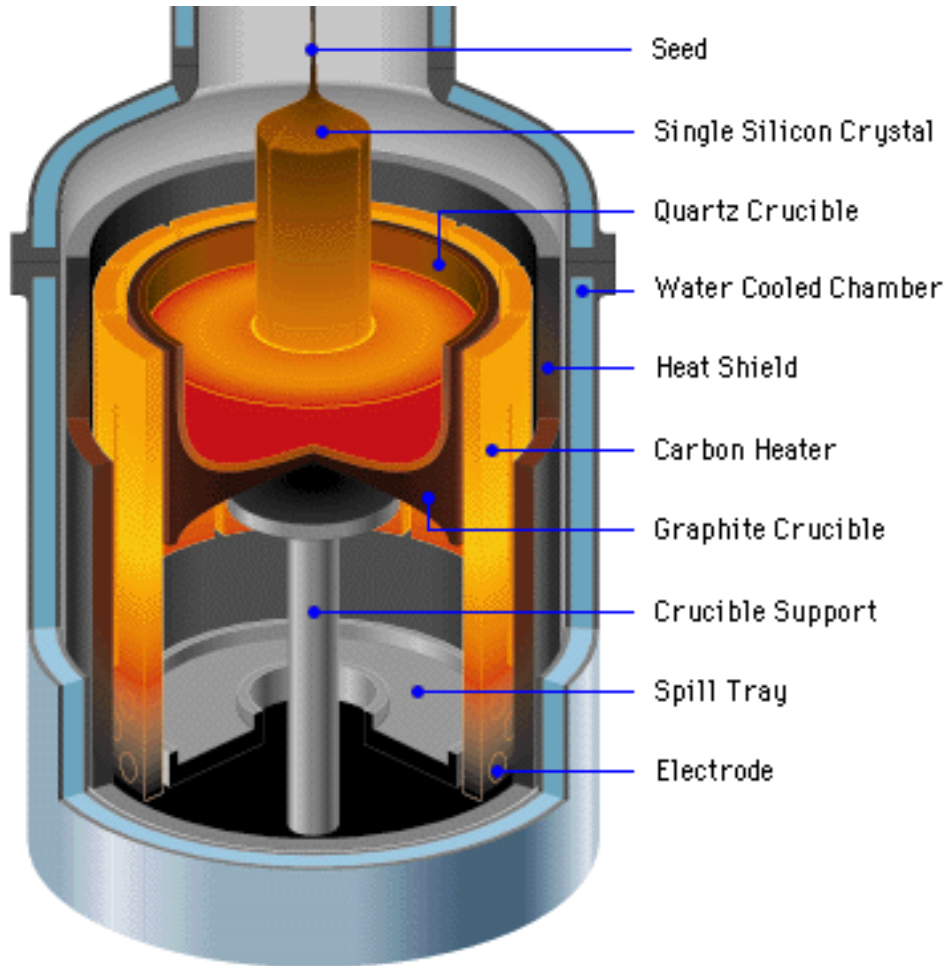
**Resolución Limite?**

# Microfluidica

## Materiales importantes:

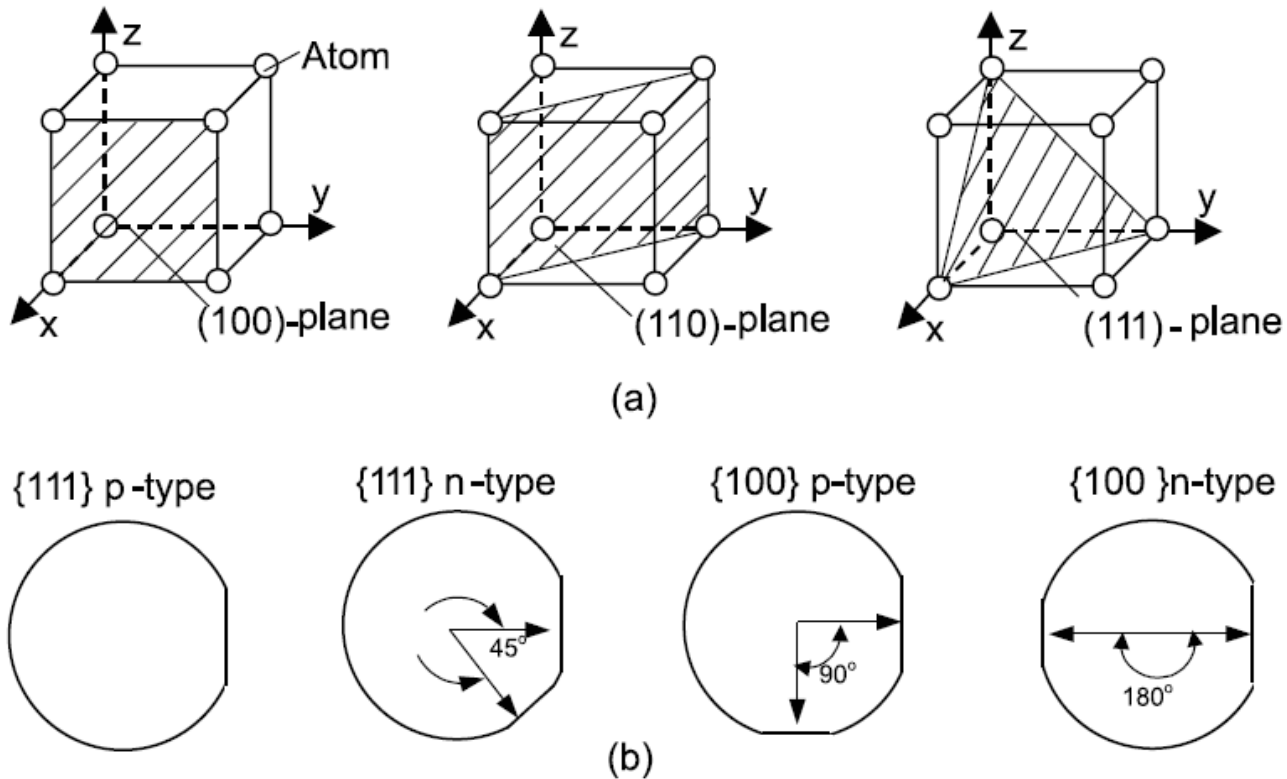
Como se fabrica silicio mono-cristalino? Y los silicon *wafers*

### Método de Czocharalski



# Microfluidica

## Silicon Wafers con distintos planos



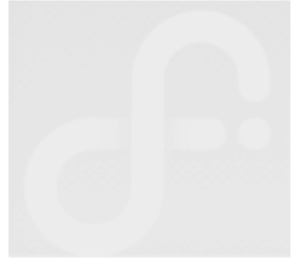
**Figure 3.4** Single crystalline silicon: (a) different crystal planes in a cubic lattice of silicon atoms; and (b) flat orientations and the corresponding silicon wafer types.

Gracias al desarrollo de la industria electrónica son relativamente baratos!!  
~ 10 \$ cada uno

# Microfluidica

## Legado de la microelectrónica y los MEMS

### Litografía (óptica)



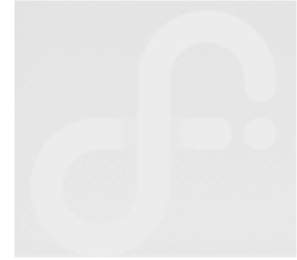
- Es la técnica básica más establecida y con más opciones (“viene del 1800”)
- Distintas variantes dependiendo del tipo de “luz”
  - **Fotolitografía** con luz UV es la mas popular
  - Rayos X; Rayos de electrones; Iones; y más...
- El rayo de “luz” pasa por una mascara y reproduce el dibujo en el material final
- Los materiales que pueden usarse dependen de la energía del haz de luz

### Fotolitografía

- Se usa un material sensible a la luz UV (*fotosensible; photoresist or resist*)
- Se distribuye una capa fina del material en el sustrato
- Se usa una mascara *binaria que* deja o no pasar la luz sobre el material
- Dependiendo de la resolución que se necesita la máscara puede ser:
  - Una filmina impresa
  - Cromo depositado en un vidrio
- La longitud de onda de la luz también limita la resolución (no es lo mas importante)

# Microfluidica

## Fotolitografía



### Paso a Paso

- Recubrir el sustrato con una capa del material fotosensible (se pone el sustrato y un poco del *material liquido* y se lo hace girar rápido ~5k rpm)
- Alinear la máscara con el sustrato (en contacto o cerca)
- Exponer el material a la luz UV (o rayos X) (en las regiones que no están cubiertas por la máscara)
- Revelado (sumergir el sustrato en revelador adecuado; positiva o negativa)

### **En contacto:**

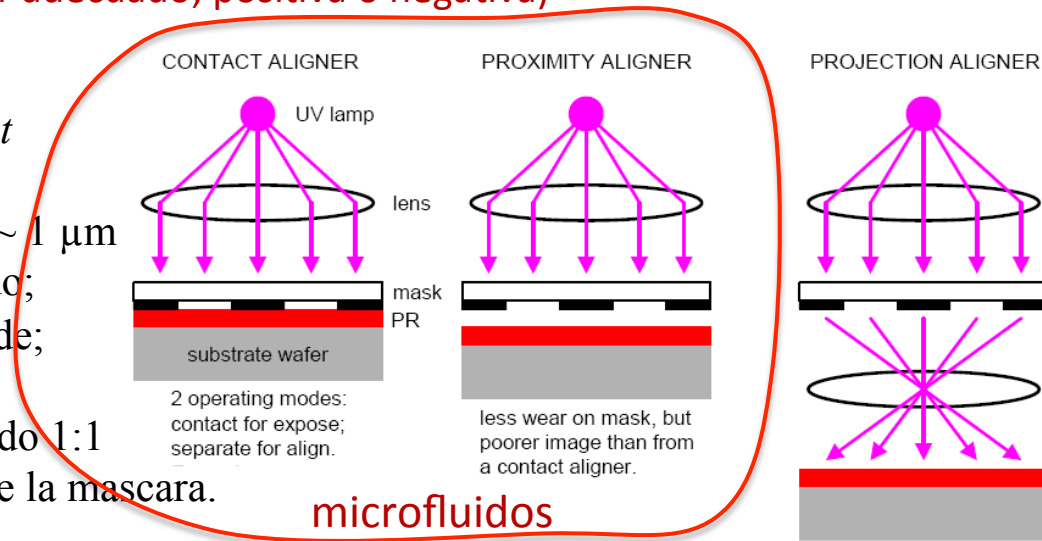
- La máscara se pone en contacto con el *resist*
- → Escala 1:1
- Ventajas: Barato, simple, buena resolución ~ 1  $\mu\text{m}$
- Desventajas: La máscara se gasta mas rápido; Cualquier contaminación se traslada al molde;

### **Proximidad:**

- Distancia  $d \sim 10 \mu\text{m}$  → La escala sigue siendo 1:1
- Ventajas: Barato, simple. Menos desgaste de la máscara. Menos contaminación. No se adhiere.
- Desventajas: Menor resolución  $\sim (\lambda d)^{1/2}$ .

### **Proyección:**

- La magnificación/reducción puede controlarse
- Ventajas: Mejor resolución (el tamaño de los defectos se reduce!) ~ 100nm; No hay contacto;
- Desventajas: Muy caro y complicado! (Difracción; profundidad de foco; apertura del la lente...)



# Microfluidica Fotolitografía

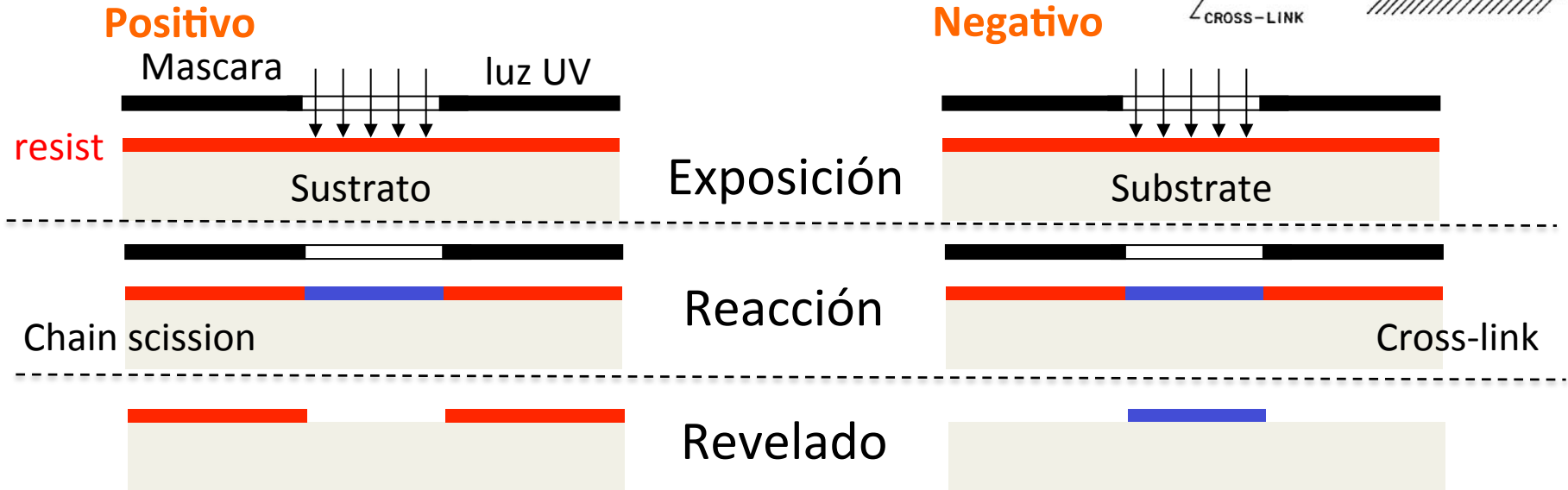
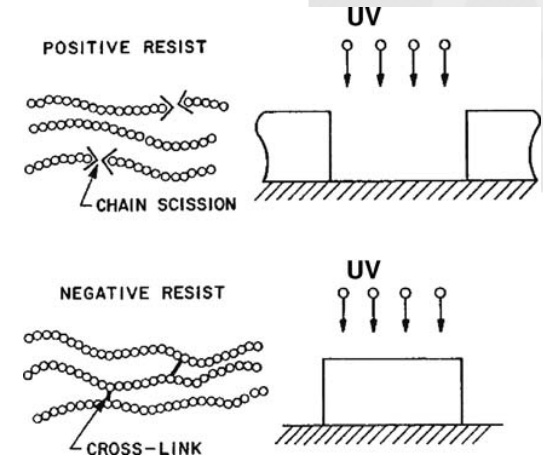
Material fotosensible (*resist*): **Positivo** o **Negativo**:

Positivo: La luz *rompe* el polímero

→ Lo que se ilumina se disuelve en el próximo paso

Negativo: La luz *conecta* los polímeros

→ Lo que **no** se ilumina se disuelve en el próximo paso



Film Thickness of Different SU-8 Types at a Spin Speed of 1,000 rpm (After: [66, 67])

Type	Kinematic Viscosity ( $m^2/s$ )	Thickness ( $\mu m$ )
SU-8 2	$4.3 \times 10^{-5}$	5
SU-8 5	$29.3 \times 10^{-5}$	15
SU-8 10	$105 \times 10^{-5}$	30
SU-8 25	$252.5 \times 10^{-5}$	40
SU-8 50	$1,225 \times 10^{-5}$	100
SU-8 100	$5,150 \times 10^{-5}$	250

La viscosidad y velocidad de rotación cuando se recubre el sustrato determina el espesor de la película...  
Hay muchas opciones distintas...

# Microfluidica

## Fabricación: Métodos para agregar capas (*métodos aditivos*)

### Deposición química

Una reacción química entre componentes ocurre en la superficie del sustrato

### Deposición física

Evaporación del material resulta en la deposición en la superficie.

Se usa mucho para crear contactos y depositar metales.

### Sputtering

En lugar de evaporar se bombardea al material con átomos inertes (Argon) ionizados y acelerados

### Recubrimiento *por spin*

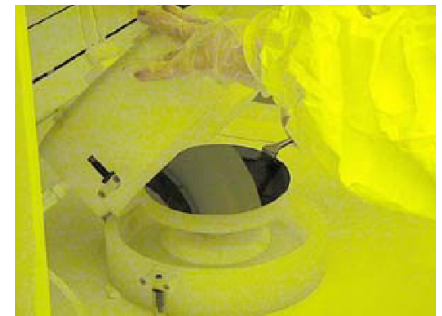
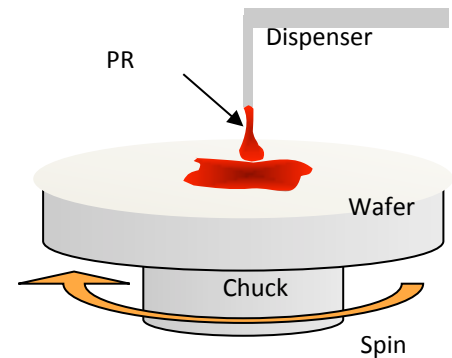
Un material liquido se coloca en un disco plano que se hace girar rápidamente

### Oxidación

Se crea un oxido en la superficie (espontaneo o inducido por temperatura)

La capa de oxido puede usarse como mascara en procesos de grabado.

evaporador





# Microfluidica

## Fabricación: Métodos para remover capas

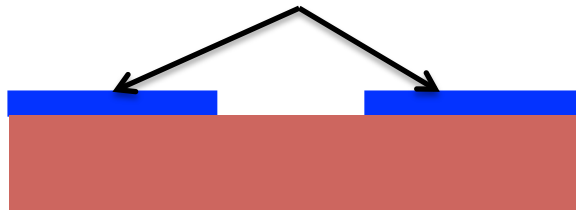
### Métodos Sustractivos

#### Procesos de grabado

La idea es similar a la litografía óptica que vimos antes.

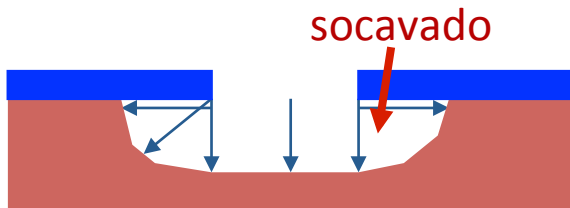
En lugar de un rayo de luz usamos un producto que remueve material del sustrato

Máscara protegiendo el sustrato



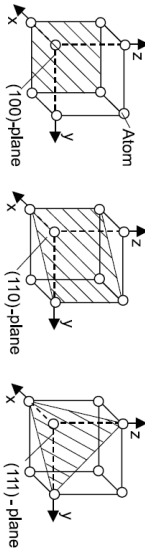
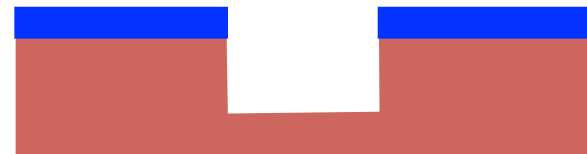
#### Grabado Isotrópico

El grabado avanza con la misma velocidad en todas las direcciones



#### Grabado Anisótropo

El grabado avanza con distinta velocidad en distintas direcciones (planos cristalográficos)



#### Variantes:

Usando una solución química (*wet*) o con iones acelerados (*dry*)

Los iones pueden producir reacción química o física parecida al proceso de sputtering.

# Microfluidica

## Transferencia de diseños combinando litografía con métodos aditivos y/o sustractivos



Sustrato  
(silice, vidrio)



Deposito de Aluminio  
(de una solución o vapor)



Película de material  
*resist* (*spin-coated*)

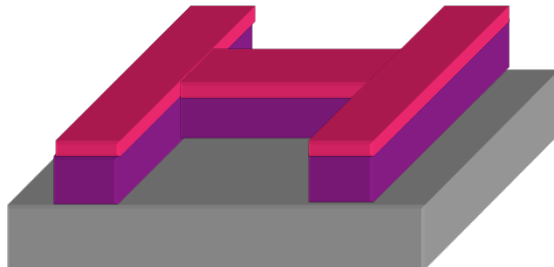


Exposición y transferencia  
del dibujo en la máscara al *resist*



Revelado del  
*fotoresist*

Ahora vamos a usar el  
fotoresist como una máscara  
que proteja al Aluminio  
del grabado químico!!



Sumergimos el dispositivo  
en el químico



Removemos el fotoresist

# Microfluidica

## Otro ejemplo de transferencia (técnica de *lift-off*)

1



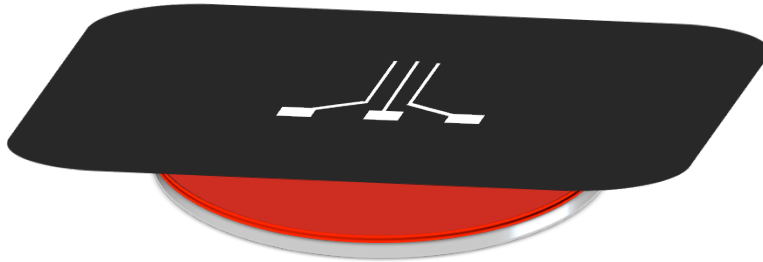
Capa de material fotosensible



2

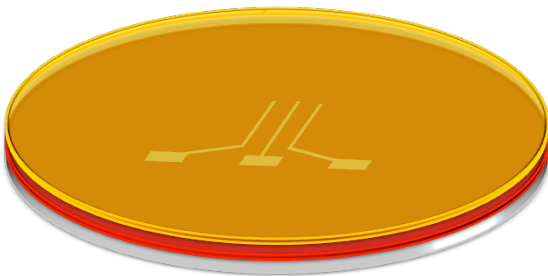


Exponemos a UV + revelado



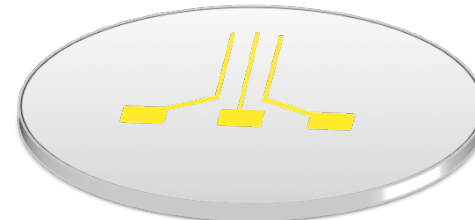
3

Evaporamos Oro



4

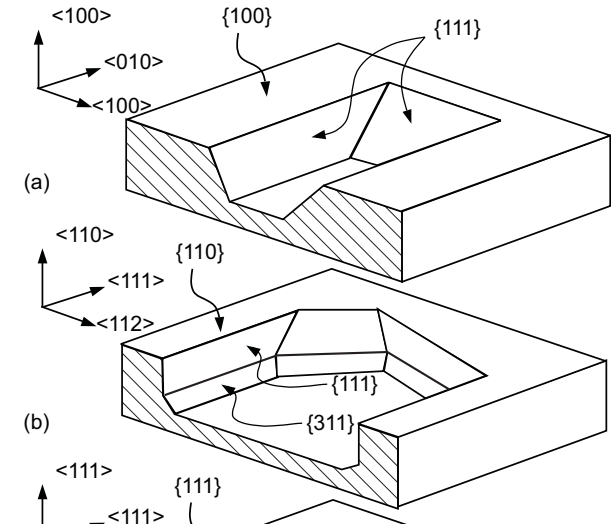
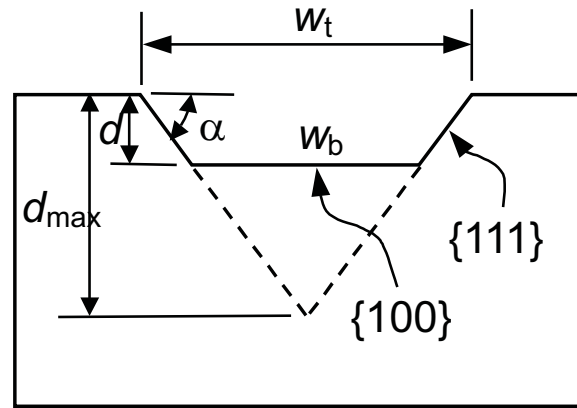
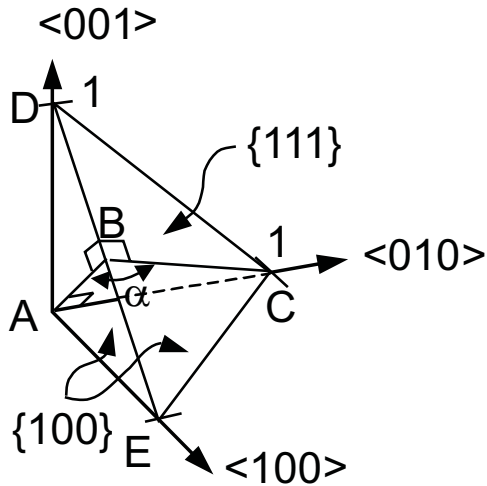
Levantamos (removemos) el resto del material fotosensible



# Microfluidica

## Micro-fresado usando grabado químico Silicio como material de fabricación

La velocidad a la cual avanza el grabado depende de la dirección cristalina  
(grabado anisótropo;  $\{111\}$  es la mas lenta)



### Problema/Aplicación:

Queremos hacer un filtro con agujeros bien pequeños en un *silicon wafer*.

Podemos depositar capa de material fotosensible.

El material fotosensible no permite el grabado químico.

Usando máscaras comunes podemos hacer agujeros de  $20\mu\text{m}$ ;

**Solución sencilla?**

# Microfluidica

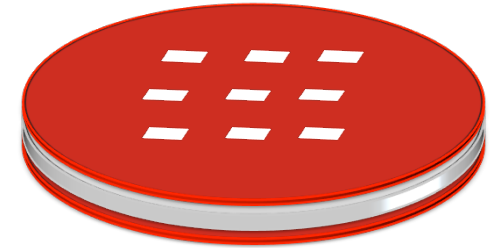
**1** Usamos un *wafer* <100>



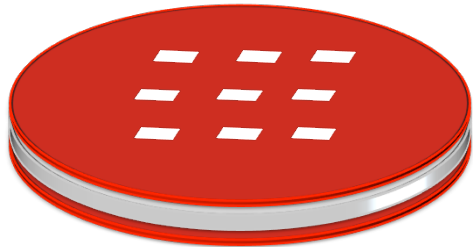
**2** Lo cubrimos de ambos lados



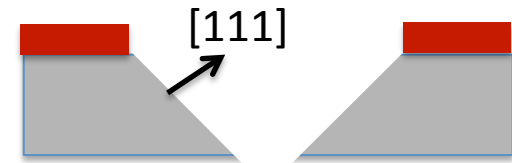
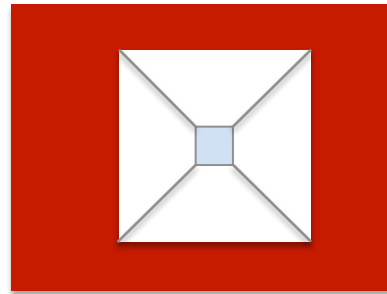
**3** Exponemos y Revelamos con cuadrados del tamaño adecuado



**4** Grabado en solución



Luego de un tiempo



Se pueden usar otros materiales con técnicas similares;

Los mas usados son vidrio y acrílico (PMMA); **Son transparentes!!**

El acrílico puede grabarse con rayos X; puede cortarse con Lasers; plasma de oxígeno

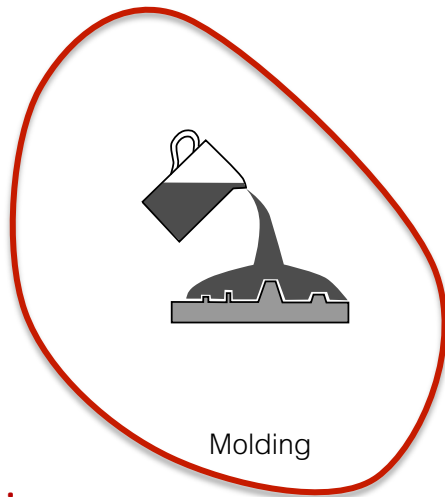
# Microfluidica

## Micro-moldes y Litografía *Blanda* Hoy en día la técnica mas popular en microfluidica

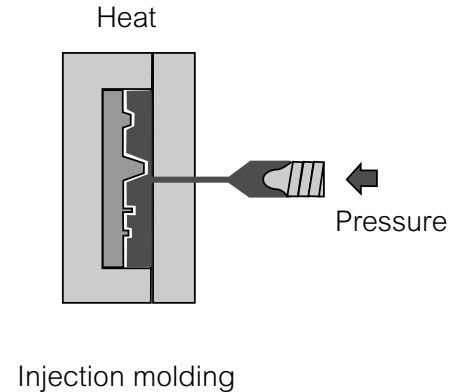
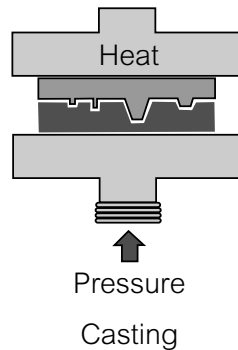
Parte I: Usar los métodos que vimos antes (y otros) para fabricar moldes

Parte II: Usar un material elástico (PDMS) en estado liquido para crear los modelos

Parte III: Adherir el modelo a un sustrato para terminar el dispositivo microfluido



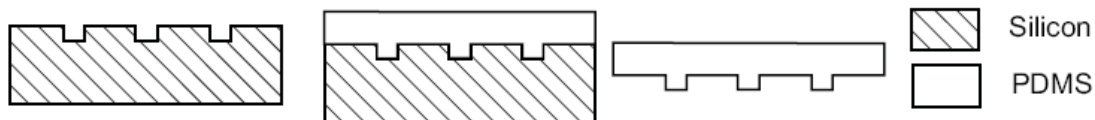
Molding techniques



Parte I:

Opción I: Fabricar el molde directamente en el sustrato (silicio).

(No muy popular, salvo que se lo use como *Master* para hacer el molde)



# Microfluidica

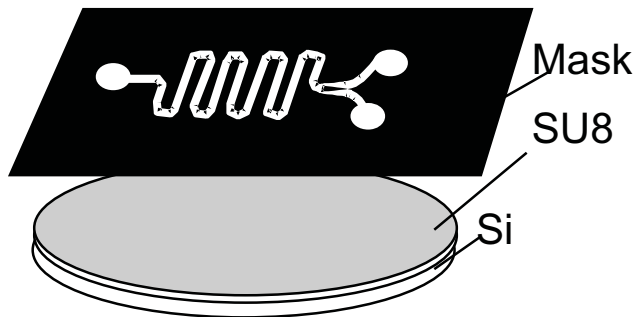
## Fabricación de partes y dispositivos básico en PDMS

Opción II: Fabricar el molde por transferencia sobre una capa uniforme de fotoresist

En este caso el proceso con el material fotosensible es mas complicado.

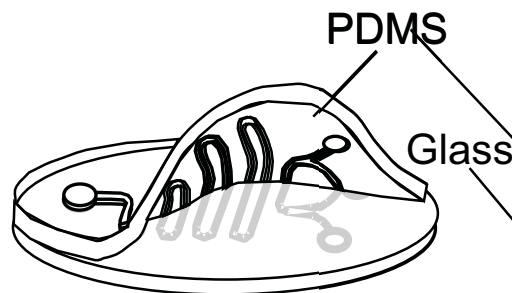
1. *Transferencia con exposición a través de una máscara*
2. *Calentar para aumentar la rigidez del material eliminando el solvente (soft-bake)*
3. *Exposición a luz UV; A veces se pone en un horno nuevamente (post exposure bake)*
4. *Revelado y horno a  $\sim 150-200$  °C (hard-bake) para poder usarlo como molde.*

### Parte I:



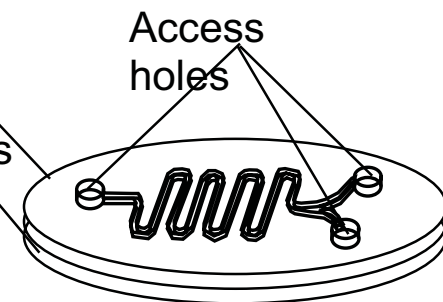
### Parte II:

Poner PDMS; Dejarlo curar;  
removerlo



### Parte III:

Activar la superficie y adherirlo al vidrio



# Microfluidica

Tendencia I: Métodos aún mas simples y aun mas baratos  
**Microfluidos basados en papel**

La mayor limitación de todas estas tecnicas es que la geometría uno crea es **plana** o bidimensional !

Tendencia II: Métodos para fabricar dispositivos 3D  
Litografía en estéreo;  
Polimerización por absorción de fotones

**Impresoras 3D:**  
Método aditivo  
capa x capa

