

# Fabricación de Dispositivos

Parte Práctica – Curso Microfluídica  
Germán Drazer  
Gerardo Callegari

# Plan



- **Viernes 18**
  - Descripción del trabajo.
  - Dispositivos (Powerpoint).
  - Tarea para el martes: diseñar dispositivos.
- **Martes 22**
  - DISPOSITIVOS PROPIOS: Preparación de PDMS: Mezclado, degasificado, moldes, botes, echado PDMS y curado.
  - APRENDEN (DISPOSITIVOS AJENOS): Limpieza, limpieza por plasma y pegado permanente de superficies PDMS/vidrio.
  - Clase teórica: Fabricación, mientras cura el PDMS.
- **Miércoles 23**
  - DISPOSITIVOS PROPIOS: Cortado, despegado, limpieza y pegado plasma + horno.
  - APRENDEN (DISPOSITIVOS AJENOS). Conexiones sin epoxy. Purgado. Inspección, funcionamiento.
- **Jueves 24**
  - DISPOSITIVOS PROPIOS: Terminar con conexiones, purgado, inspección y funcionamiento. Repaso para evaluación del martes.
- **Martes 29**
  - Evaluación

# Dispositivos

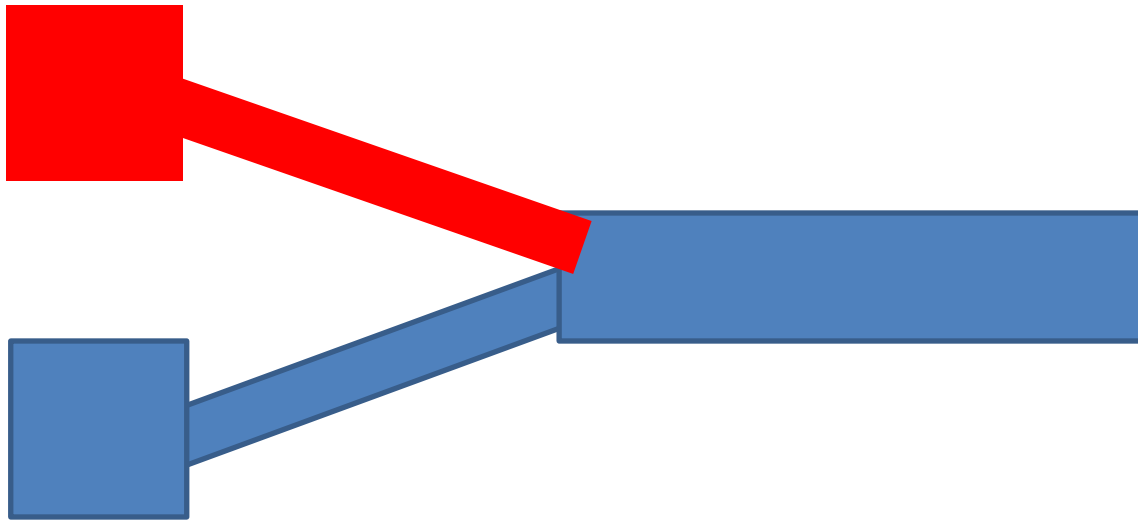


- Mezclador difusivo “Y” (miscibles).
- Juntura “T” (inmiscibles – generación de gotas).
- Focalizador de flujo
- Juntura “cruce” (inmiscibles – generación de gotas).
- Mezcladores de gotas

# Mezclador difusivo “Y” (miscibles)

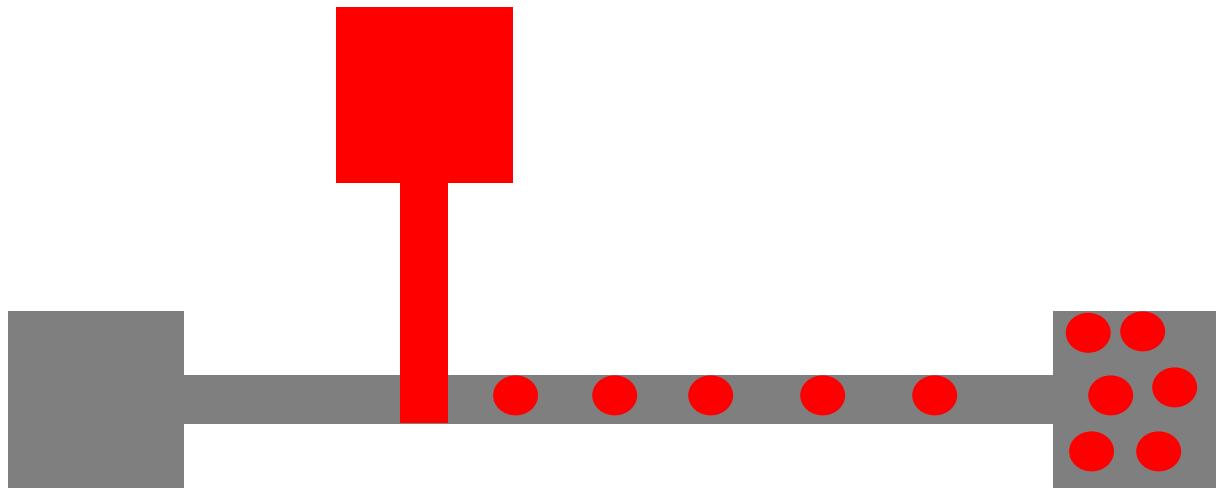


- Mezclador “Y”



# Juntura "T"(inmiscibles-formación de gotas))

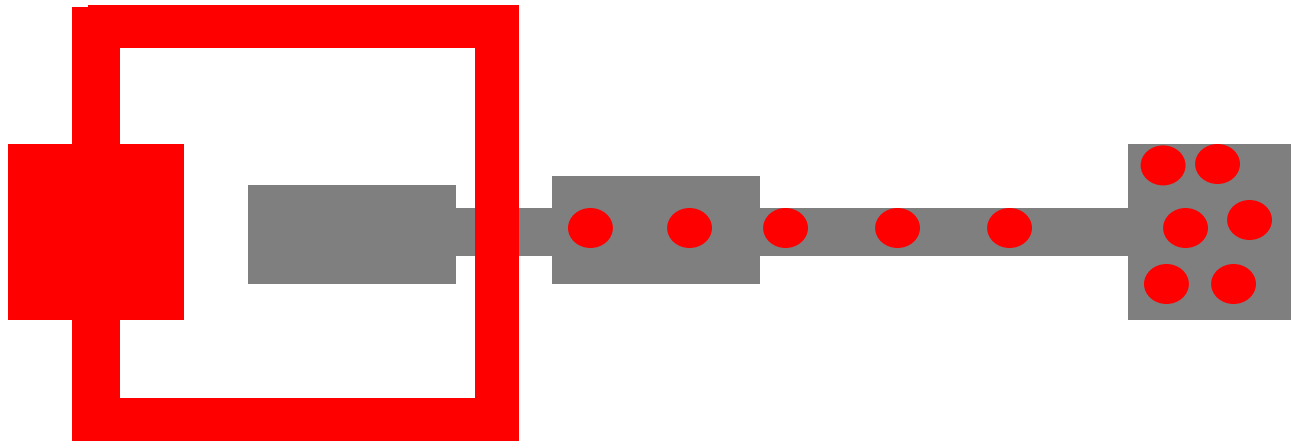
- Juntura T



# Juntura "Cruce" (inmiscibles, formación de gotas).

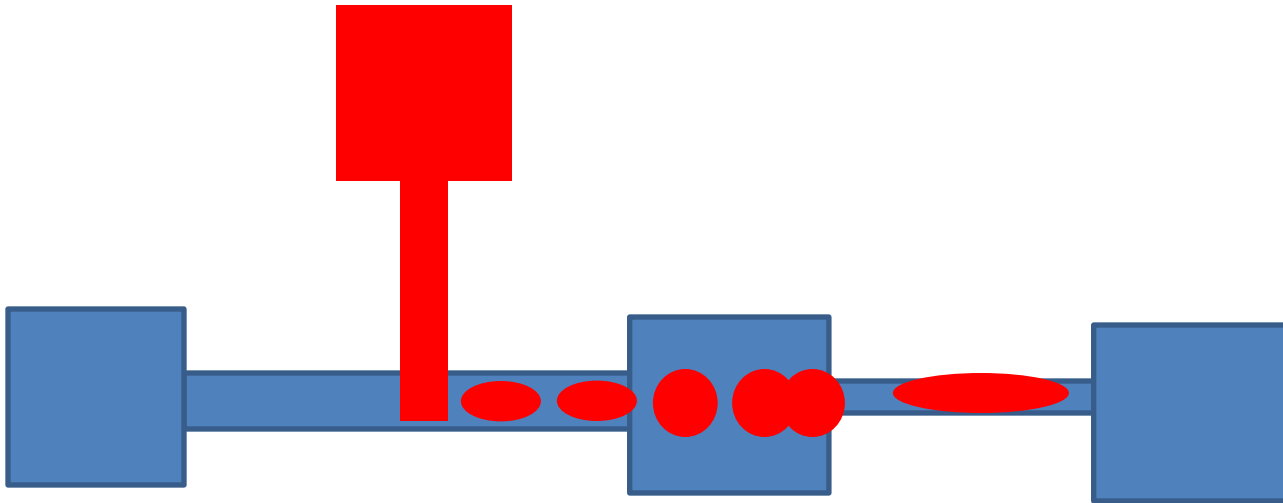


- Juntura Cruce



# Juntura “T” (formación de gotas) y mezclado de gotas

- Juntura “T” + Mezclador



# Métodos de Fabricación

Litográficos  
No foto-litográficos  
Litografía blanda



# Litografía: Origen

## Basado en la inmiscibilidad!!

- Pintado de oleo, aceite, grasa o cera sobre superficie lisa de piedra lima.



- La piedra se trata con ácidos (solución acuosa).
- El ácido “come” las zonas no protegidas por el aceite.
- La piedra se humedece y el agua penetra las zonas “comidas” pero no las impregnadas por el aceite.

- Se impregna la piedra con tinta al aceite. La tinta sólo se fija en la zona que contenía aceite.



- La piedra se emplea para “pintar” papel.

# Métodos de fabricación litográficos



- Se necesita un elemento inicial que se replica:  
**el molde.**
- **Foto-Litográfico:**
  - Transferencia de “dibujo” de una máscara a una capa fotosensible.
- **No foto-litográfico:**
  - La transferencia se puede hacer por contacto, por ablación laser o agente químico (como litografía original).

Review excelente: Whitesides et al., Angew. Chem. Int. Ed. 1998, 37, 550 - 575

<http://www.nanotech.ucsb.edu/>

# Métodos foto-litográficos: resolución



Year	Lithographic method	Resolution [nm] <sup>[a]</sup>
	<i>Photolithography (<math>\lambda</math>[nm])</i>	
1992	UV (436), g line of Hg lamp	500
1995	UV (365), i line of Hg lamp	350
1998	DUV (248), KrF excimer laser	250
2001	DUV (193), ArF excimer laser	180
2004	DUV (157), F <sub>2</sub> excimer laser	120
2007	DUV (126), dimer discharge from an argon laser	100
2010	<i>Advanced lithography</i>	< 100 <sup>[c]</sup>
	extreme UV (EUV, 13 nm)	
	soft X-ray (6–40 nm)	
	focused ion beam (FIB)	
	electron-beam writing	
	proximal-probe methods	

Se necesitan Rayos X para obtener precisión menor a los 100nm.

[a] The size of the smallest feature that can be manufactured. [

# Métodos no foto-litográficos: resolución

Table 2. Non-photolithographic methods for micro- and nanofabrication

Method	Resolution <sup>[a]</sup>	Ref.
injection molding	10 nm	[15, 16]
embossing (imprinting)	25 nm	[17, 18]
cast molding	50 nm	[19, 20]
laser ablation	70 nm	[21, 22]
micromachining with a sharp stylus	100 nm	[23]
laser-induced deposition	1 $\mu\text{m}$	[24]
electrochemical micromachining	1 $\mu\text{m}$	[25]
silver halide photography	5 $\mu\text{m}$	[26]
pad printing	20 $\mu\text{m}$	[27]
screen printing	20 $\mu\text{m}$	[28]
ink-jet printing	50 $\mu\text{m}$	[29, 30]
electrophotography (xerography)	50 $\mu\text{m}$	[31]
stereolithography	100 $\mu\text{m}$	[32]
<i>soft lithography</i>		[33]
microcontact printing ( $\mu\text{CP}$ )	35 nm	[34, 84f]
replica molding (REM)	30 nm	[35]
microtransfer molding ( $\mu\text{TM}$ )	1 $\mu\text{m}$	[36]
micromolding in capillaries (MIMIC)	1 $\mu\text{m}$	[37]
solvent-assisted micromolding (SAMIM)	60 nm	[38]

- De contacto, etching,

[a] The lateral dimension of the smallest feature that has been generated  
These numbers do not represent ultimate limits.

# Micromoldeado asistido por solvente

- Un molde de elastómero (PDMS) es mojado con un buen solvente para el polímero.
- Se pone en contacto con el molde.
- El solvente disuelve sólo una pequeña capa de polímero, genera un gel que cuando solidifica lo hace a la forma del molde.

# Litografía blanda:



- **Elastómero** (comunmente conocemos como “goma”). Blando, resistente, se estira.
- polyuretanos, poliamidas.
- poly(dimethylsiloxane) (PDMS): Elastómero más usado en fabricación de microfluidos. Ejemplo: Sylgard 184 (Dow Corning).
- Dos componentes: PDMS base y el curador.
  - Se mezclan y curan por temperatura (1h a 60C)
  - Pero después de 1 día a T ambiente también cura.

# Porqué PDMS? Propiedades

- 1) Elastómero que **se ajusta** a la superficie del sustrato sobre un área relativamente grande. Es lo suficientemente deformable para ejercer contacto ajustable (tipo adhesivo) sobre superficies no-polares. También se pueden despegar fácilmente sin romper materiales frágiles.
- 2) **Baja energía** de superficie (21.6 mN/m).
- **Químicamente inerte** (no reacciona fácilmente).
- 3) PDMS es homogéneo, isotrópico y **transparente** hasta los 300 nm.
- 4) PDMS es **durable**. Se puede reutilizar hasta 100 veces y por un período de varios meses sin notar degradación.
- 5) Sus propiedades superficiales pueden ser fácilmente **modificadas** tratándolas con plasma. De esta manera se puede volver hidrofílico (o permanecer hidrofóbico).

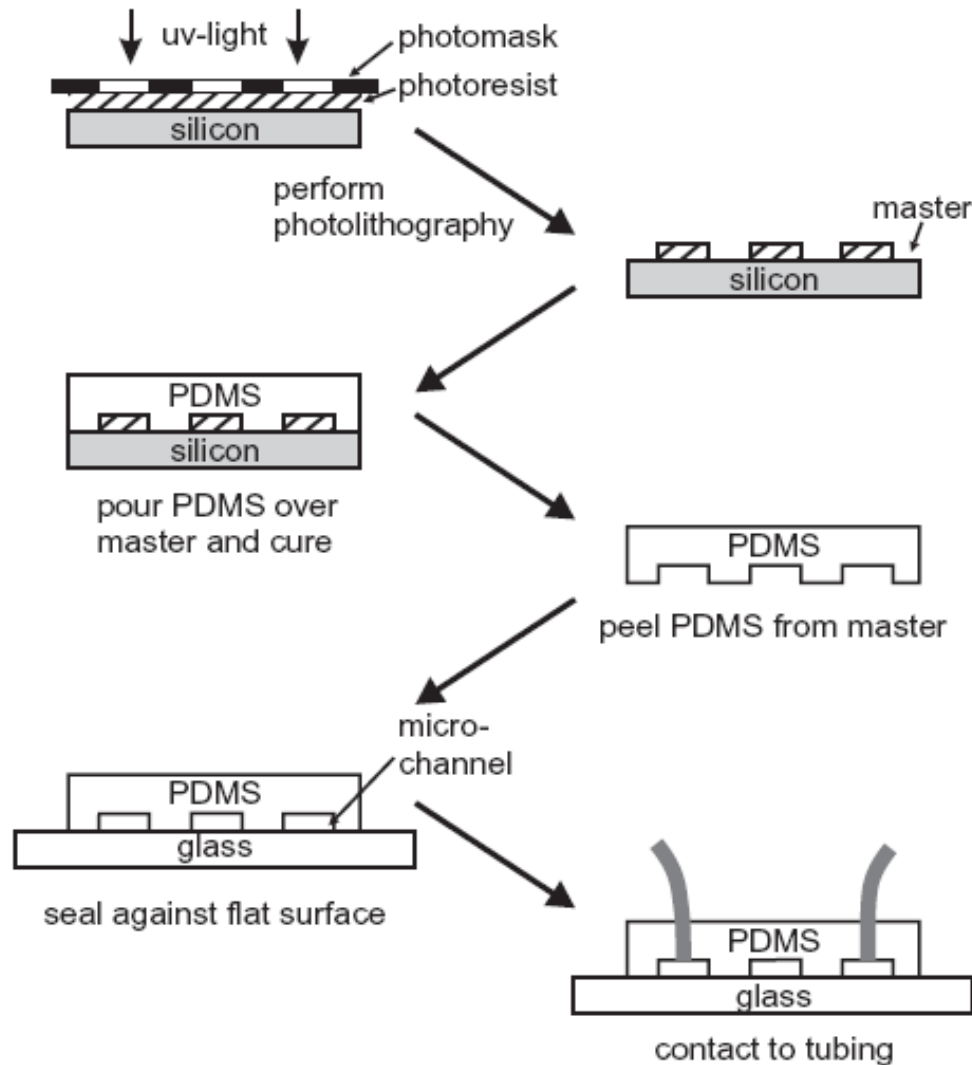
# Proceso de fabricación

- 1- Se fabrica la **foto máscara**. Transparencia de alta resolución con impresión a unos 3500dpi (mostrar).
- 2-Se fabrica el **molde** (mostrar un molde SU8).
  - La fotoresina se **esparce** sobre el substrato (vidrio o silicio) por fuerza centrípeta. Se deja una película uniforme..
  - Se **pre-cuece** la fotoresina y se **expone a UV** a través de la máscara, para que las partes no removibles polimericen.
  - Se aplica develador para fijar la parte polimerizada.
  - Se limpia (disuelve) la parte no polimerizada.
- 3- Se fabrica el dispositivo de PDMS.
  - 3-a) Se esparce PDMS sobre le molde y cura a 60C por 1hr.
  - 3-b) Se corta y extrae el dispositivo de PDMS. Se “pega” sobre sustrato (ej. vidrio de microscopio).
  - 3-c) Se generan las conexiones en el dispositivo.
- 4- Se testea el dispositivo.



# Proceso: Esquema

Rep. Prog. Phys. 75 (2012) 016601

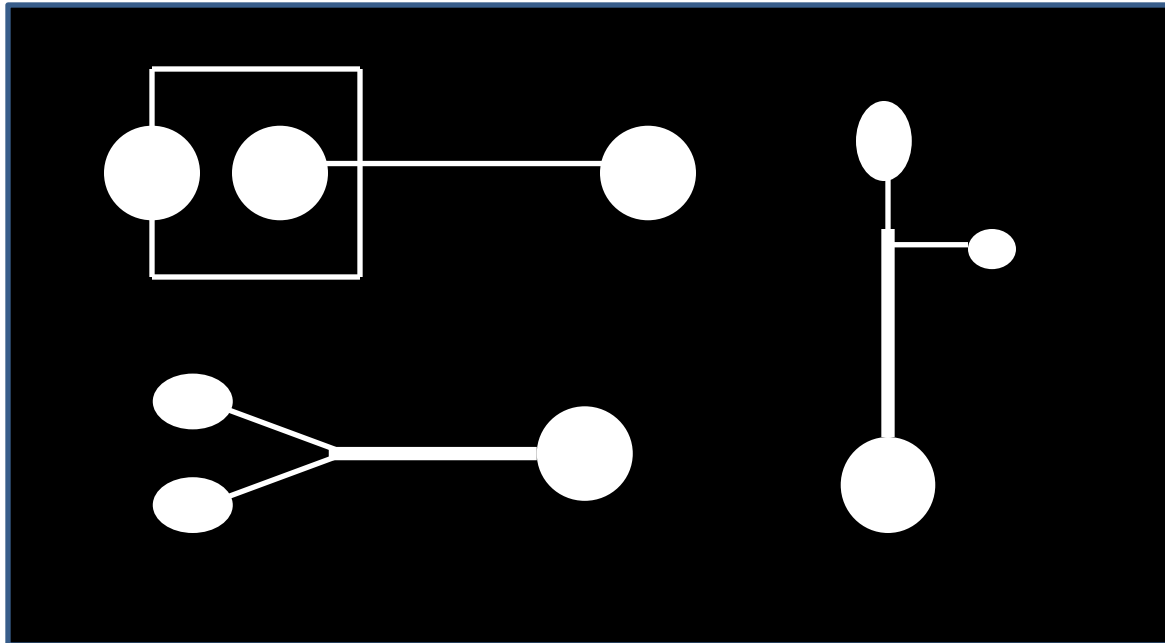


# 1) Máscaras: todo empieza con el diseño

- Se dibuja el patrón con programa de computadora (Freehand, AutoCAD).
- Se imprime en polímero con una impresora laser comercial de alta definición (3300-3500 dpi).
- **DraftSight® - Free\* CAD software para archivos DWG**
- <http://www.3ds.com/products-services/draftsight/overview/>
- Tutoriales gratuitos explican cómo utilizar el programa que también es gratuito!
- <http://www.3ds.com/products-services/draftsight/resource-center/videos/functionality-tutorial/#c370938>
- Impresoras láser:
  - Herkules PRO (3387 dpi). Linotype-Hell Company, Hauppauge,
  - <http://www.outputcity.com/links.html>

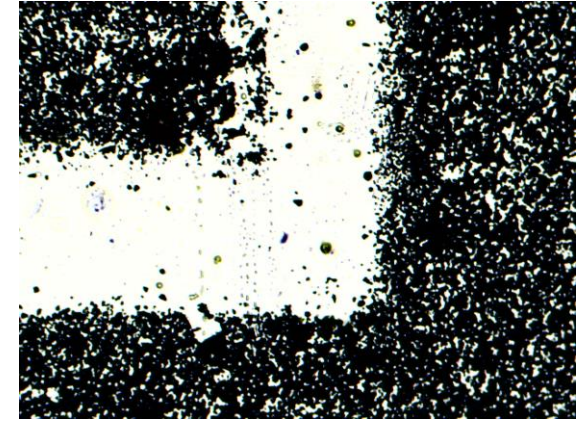
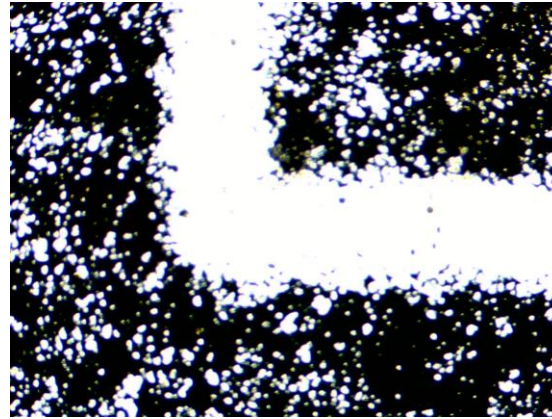
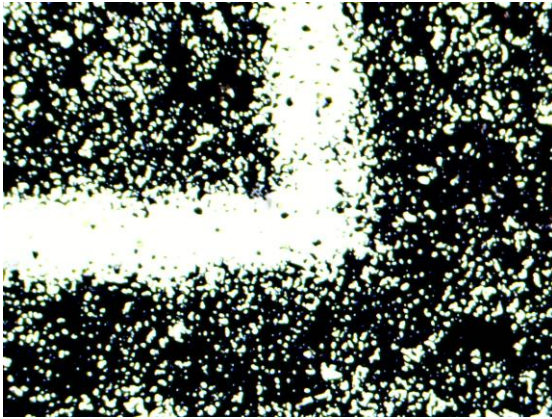
# 1) Foto-Máscara

Impresión en transparencia para usar como máscara



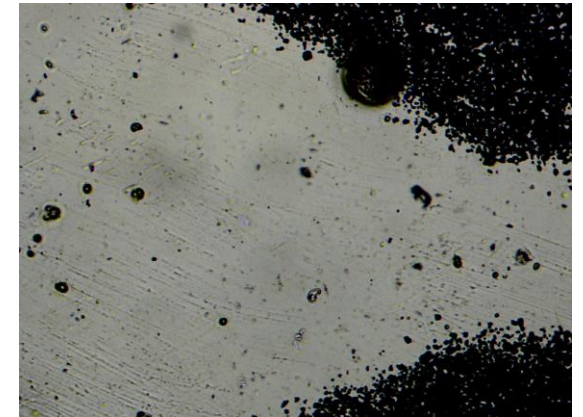
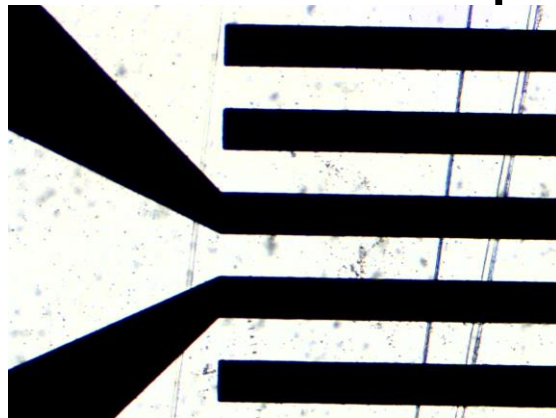
# Foto-máscara

- Impresión a 400dpi



100 micrones

- Impresión a 3500 dpi

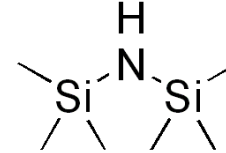


## 2) Molde tradicional: Epoxy foto-curable

- Proceso de fotolitografía en SU-8
- **ES un epoxy que se entre-cruza y polimeriza con radiación UV.**
- **A. Limpieza del sustrato (Silicio o vidrio)**
- Limpieza por solvente y por plasma.
- Isopropil alcohol es el solvente más empleado (acetona más agresivo).
- A1- Se limpia por 5 minutos en acetona con baño ultrasónico.
- A2- Se enjuaga con isopropil alcohol (IPA).
- A3- Secado en Nitrógeno.
- A4- Se evapora solvente (5 minutos a 200C ).
- A5- Se puede terminar con plasma.

# Tipo de resinas

**Hexametil disilasano** ( $C_6H_{19}NSi_2$  - HMDS): Substancia para tratar al silicio para hacerlo hidrofóbico y que la fotoresina se pegue bien.



Energía superficial del Silicio es 57 mN/m y con HMDS se lleva a 44 mN/m

- **Foto-resina positiva**
- Resina Novolac, solvente ethyl lactato y Diazonaphthaquinona (DQ - fotoactivo).
- Reaccionan con la luz para causar que el polímero se rompa y sea soluble en la solución develadora. La zona iluminada es “borrada”.
- Son mejores para producir pequeños objetos, pero no tiene buena adherencia al silicio.
- **Foto-resina negativa**
- Matriz Poly(cis-isoprene), solvente xylene y bis-arylazide (fotoactivo).
- Reacciona con luz polimerizando.
- La zona iluminada es la que “queda”.

## 2) Molde epoxy foto-curable

- **B. Recubrimiento con foto-resina**
- Se pone el sustrato sobre un disco giratorio con una gota del epoxy encima (1ml/cm de radio).
- Se hace girar el disco (el sustrato se agarra por vacío).
- Se recomienda hacer dar vueltas a baja revolución primero (5 segundos a 500RPM).
- Ciclo final a las revoluciones deseadas (óptimo 3000 rpm) por unas decenas de segundos.

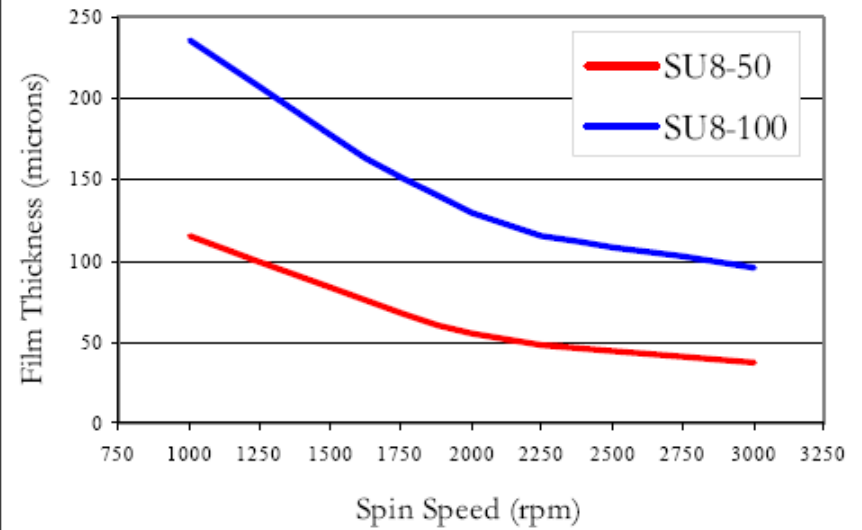
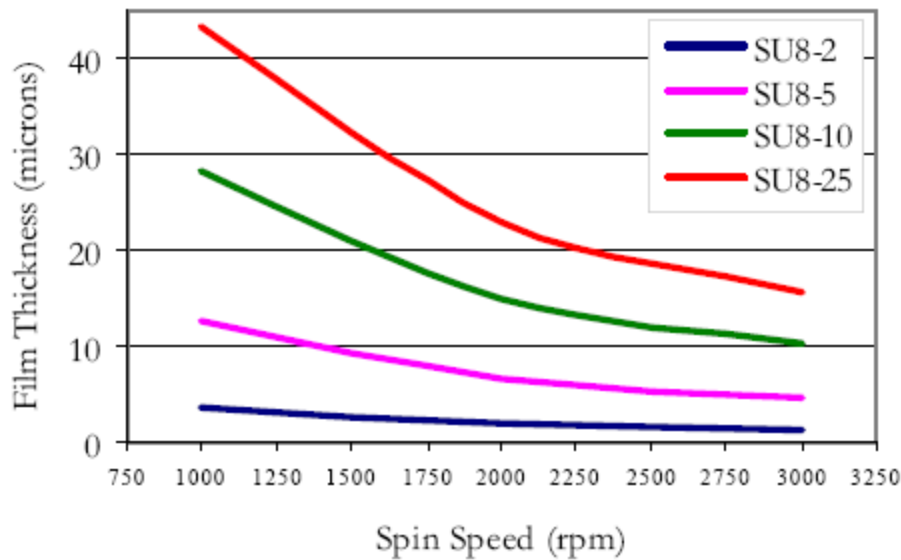


# Recubrimiento SU-8

## NANO™ SU-8

Negative Tone Photoresist  
Formulations 2-25

SU8 Spin Speed Curve





# Recubrimiento SU-8

## NANO™ SU-8

Negative Tone Photoresist  
Formulations 2-25

Product Name	Viscosity (cSt)	Thickness (µms)	Spin Speed (rpm)
		1.5	3000
SU-8 2	45	2	2000
		5	1000
		5	3000
SU-8 5	290	7	2000
		15	1000
		10	3000
SU-8 10	1050	15	2000
		30	1000
		15	3000
SU-8 25	2500	25	2000
		40	1000

Product Name	Viscosity (cSt)	Thickness (µms)	Spin Speed (rpm)
		40	3000
SU-8 50	12250	50	2000
		100	1000
		100	3000
SU-8 100	51500	150	2000
		250	1000

# Pre-curado

- Idea: antes de curar usar escalpelo para rasurar los bordes.
- **C- Pre-curado y curado "suave" (para evaporar solvente y endurecer la película)**
- Substrato at 65 °C sobre un "hot plate" y luego se levanta temperatura hasta 95C, los tiempos se disponen en la tabla. **IMPORTANTE: debe estar bien horizontal para que la película sea uniforme.**

Product Name	Thickness (µms)	Pre-bake @ 65° C	Softbake @ 95° C
	1.5	1	1
SU-8 2	2	1	3
	5	1	3
	5	1	3
SU-8 5	7	2	5
	15	2	5
	10	2	5
SU-8 10	15	2	5
	30	3	7
	15	2	5
SU-8 25	25	3	7
	40	5	15

Product Name	Thickness (µms)	Pre-bake @ 65° C	Softbake @ 95° C
	40	5	15
SU-8 50	50	6	20
	100	10	30
	100	10	30
SU-8 100	150	20	50
	250	30	90

- Después dejar enfriar lentamente.

# Exposición UV



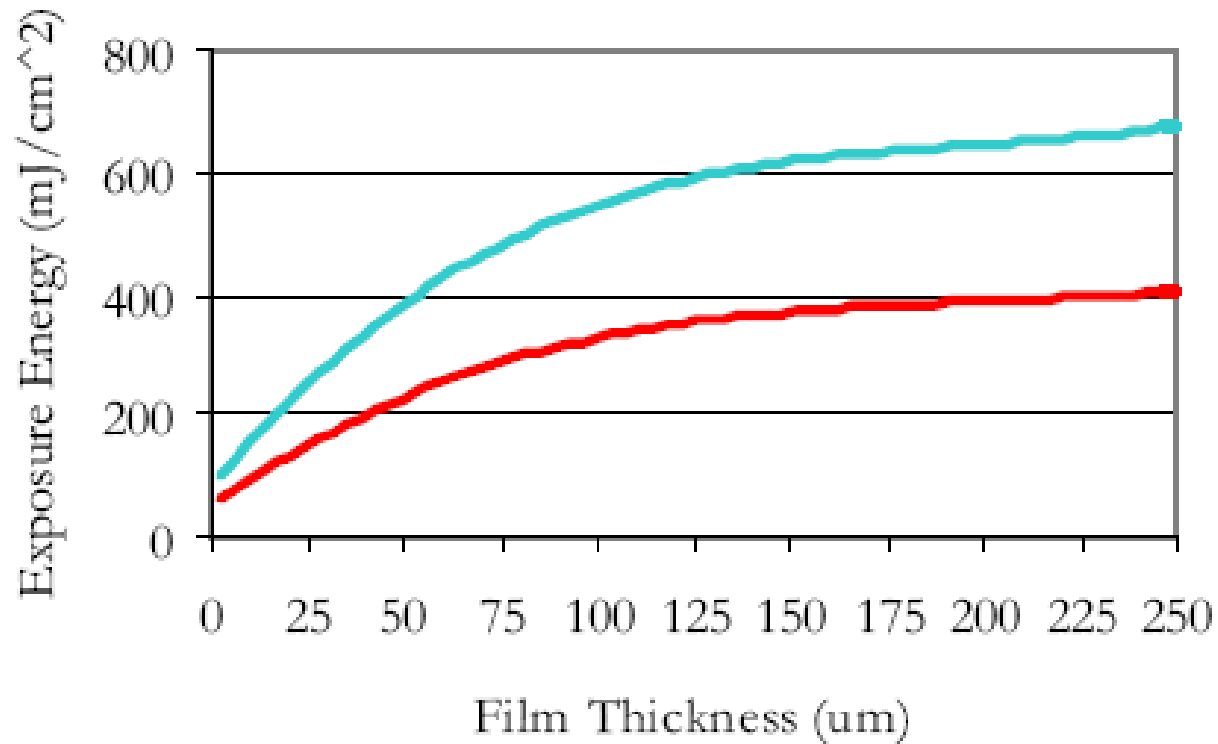
**Alineador**

**SU-8 está optimizado para ser usado con UV cercano (350-400nm)**

# Exposición



SU-8 2000 Exposure vs Film Thickness



# Post-Curado

- Para generar la polimerización de la zona expuesta a UV

Product Name	Thickness (µms)	PEB 1 @65°C	PEB 2 @95°C
	1.5	1	1
SU-8 2	2	1	1
	5	1	1
	5	1	1
SU-8 5	7	1	1
	15	1	2
	10	1	2
SU-8 10	15	1	2
	30	1	3
	15	1	2
SU-8 25	25	1	3
	40	1	4

Product Name	Thickness (µms)	PEB 1 @65°C	PEB 2 @95°C
	40	1	4
SU-8 50	50	1	5
	100	1	10
	100	1	10
SU-8 100	150	1	12
	250	1	20

# Develado

- SU-8 Developer u otros develadores como ethyl lactate y diacetone también pueden usarse.

Product Name	Thickness (µms)	Development (minutes)
	1.5	1
SU-8 2	2	1
	5	1
	5	1
SU-8 5	7	1
	15	3
	10	2
SU-8 10	15	3
	30	5
	15	3
SU-8 25	25	4
	40	6

Product Name	Thickness (µms)	Development (minutes)
	40	6
SU-8 50	50	6
	100	10
	100	10
SU-8 100	150	15
	250	20

- Para limpieza posterior usar IPA

# Resumen

**Table1. Process Conditions for SU-8 photolithography**

Required SU8 Thickness (um)	SU-8 type	(*1) Spin speed (rpm)/ramp-time/hold-time	Pre-baking time (65C, min)	Soft-baking time (95C, min)	Exposure Energy (mJ/cm <sup>2</sup> )	(*2) Suggest Exposure Energy (mJ/cm <sup>2</sup> ) (+/-10%)	(*3) Suggest Exposure time (AB-M) (sec)	Post-Exp Baking 1 PEB1 (65C,min)	Post-Exp Baking 2 PEB2 (95C,min)	PGMEA Develop time (min)	Comment (*4)	Verified Thickness (um) -CR1 (*5)
1.5	2	3000/ 8s /60s	1	1	70-100	85	3.5	1	1	1		
2	2002	3000/ 8s /60s	1	2	70-100	85	3.5	1	1	1	CNS	
5	2005	3000/ 8s /60s	1	2	80-120	100	4.2	1	1	1		
5	5	3000/ 8s /60s	1	3	80-110	100	4.2	1	1	1		
7	2007	3000/ 8s /60s	1	2	90-140	115	4.5	1	1.5	1		
10	2010	3000/ 8s /60s	1	2	110-170	140	5.5	1	2.5	2	CNS	
10	10	3000/ 8s /60s	2	5	100-170	140	5.5	1	2.5	2		
15	2015	3000 / 8s /60s	1	2	120-190	160	6.5	1	2+1	3	CNS	14 (+/-0.5)
20	2015	2000 / 5s /60s	1	3	140-230	190	7.4	1	2+1	3	CNS	
25	2025	3000 / 8s /60s	1	3	150-250	200	8	1	3+1	4	CNS	24 (+/-1)
35	2035	3000 / 8s /60s	2	5	180-300	240	9.5	1	3+1	5		
40	50	3000 / 8s /60s	5	15	250-300	280	11	1	4+1	6	CNS	
50	2050	3000 / 8s /45s	3	6	230-380	310	12	1	7+1	6	CNS	56 (+/- 4)
75	2075	3000 / 8s /45s	3	9	280-470	380	15	1	7+1	7		
100	2100	3000 / 8s /45s	5	20	320-540	430	17.5	1	10+1	10	CNS	

# Sellado: plasma



- Continúa el proceso igual al que hacemos nosotros con PDMS.
- Se sella irreversiblemente PDMS con vidrio por plasma (20-30 segundos).
- Las juntas pueden soportar presiones de hasta 30–50 psi o (210-350) kPa