

# Fotolitografía

## Opción A

(a base de solvente)



Center for Nanotechnology Education

Versión 082718



Este material está basado en trabajo apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia bajo la Concesión Número 0802323 y 1204918. **Cualquier opinión, hallazgos, conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las del autor(es) y no necesariamente representan las opiniones de la Fundación Nacional de Ciencias.**



Este trabajo está licenciado por [“Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License”](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Basado en un trabajo en [www.nano-link.org](http://www.nano-link.org).

# Fotolitografía

## Abstracto

Este módulo presenta una introducción y demostración de fotolitografía, proceso de copiar un patrón de alta resolución en múltiples sustratos. Los estudiantes replican los pasos clave en el proceso de fotolitografía y aprenden cómo estos procesos encajan en la fabricación de dispositivos de micro y nano escala, como son los circuitos integrados. Esta actividad utiliza disolventes y productos químicos similares a los utilizados en la industria electrónica para realizar un paso clave en el proceso de fabricación de circuitos integrados. También está disponible una versión modificada de esta actividad que usa la química basada en agua.

## Resultados

Después de completar este módulo, el estudiante logrará una comprensión básica del paso de transferencia de patrones dentro del proceso de litografía y aprenderá cómo se relaciona este proceso con la producción de dispositivos a escala micro y nano métrica.

## Pre requisitos

- Algunos conocimientos de química básica y estructura a nivel molecular.
- El módulo de fotolitografía se puede usar en cursos de química, electrónica y nanotecnología en los niveles de escuela intermedia, escuela superior y universidad.

## Conceptos Científicos

- Interacción de la luz con la materia

## Conceptos de Nanociencia

- La litografía es un método de fabricación de dispositivos a nano escala.

## Información de trasfondo

La fotolitografía es el proceso crucial que hace posible la producción de circuitos electrónicos integrados al igual que todos los dispositivos basados en ellos: computadoras, teléfonos celulares, cámaras digitales, calculadoras, sensores compactos, pantallas, controles industriales, prácticamente cualquier cosa que pueda describirse con la palabra "electrónica". La fotolitografía ha progresado en su capacidad para producir estructuras electrónicas más pequeñas y precisas, permitiendo el desarrollo de componentes electrónicos y mecánicos que actualmente se acercan a diez nanómetros de tamaño. La fotolitografía es, por lo tanto, uno de los principales contribuyentes a los avances en nanotecnología.

La fotolitografía se lleva a cabo una vez completado el diseño del circuito en el dispositivo electrónico. Para configurar el proceso de fotolitografía, la estructura tridimensional del dispositivo se divide en delgadas capas bidimensionales, cada una de las cuales se fabricará en un paso separado; el dispositivo terminado consistirá en características fabricadas una capa a la vez y cuidadosamente alineadas para asegurar la operación adecuada del dispositivo.

Los principales procesos de fotolitografía son:

- 1) Preparar un patrón de la capa del dispositivo que se va a fabricar, que identifique la posición de cada característica y el material del que se va a hacer (metales para cables conductores, compuestos cerámicos para aisladores y semiconductores como el silicio para formar transistores).
- 2) Miniaturizar el patrón para lograr la escala deseada del dispositivo, y reproducir numerosas copias del patrón en un molde de impresión, llamado foto máscara.
- 3) Depositar el material base (metal, semiconductor o aislante) para que la capa se fabrique sobre un sustrato conveniente, siendo este último una muestra delgada y pulida de silicio muy puro.
- 4) Transferir el patrón fotográficamente desde la foto máscara al material base mediante el uso de un polímero fotosensible llamado fotorresistor.
- 5) Marcar al sumergir la muestra estampada en un agente de grabado, donde cualquier material no protegido por la foto resistencia estampada se graba, dejando las características deseadas.
- 6) Eliminar la foto resistencia y limpiar la muestra, revelando un conjunto de copias exactas del patrón de capa del dispositivo original.

El proceso de depósito, transferencia, grabado y eliminación se repite capa por capa, tantas veces como sea necesario para construir la estructura completa del dispositivo. Miles de dispositivos electrónicos complejos que consisten en miles de millones de componentes electrónicos individuales se pueden hacer simultáneamente en una sola oblea utilizando este método, lo que permite hacer estructuras de circuito integrado muy complejas a bajo costo.

*Historia. La litografía (en griego para la palabra piedra [lithos] y para escribir [graphein]) fue inventada por Aloys Senefelder [1]. Aloys explicó la litografía en "Un curso completo de litografía", publicado en 1818 [2]. Aloys era actor y dramaturgo y quería vender sus obras de teatro, pero no pudo pagar los altos costos de la impresión utilizando los métodos actuales. Aloys descubrió que, al tratar adecuadamente la piedra caliza bávara con productos químicos, podría transferir una imagen tallada a un papel [1]. Más tarde, Nicéphore Niépce (1765-1833) se interesó en el trabajo de Aloys, pero la piedra litográfica era difícil de encontrar, y Niépce no tenía talento para el dibujo, por lo que decidió tratar de encontrar una forma de utilizar la luz para producir la imagen para él [3] Realizó muchos experimentos sobre reacciones químicas causadas por la luz para producir imágenes permanentes [4].*

*En 1816, Niépce estaba haciendo sus primeros experimentos en un proceso que llamó heliografía, o dibujo solar. Para 1826, desarrolló el proceso hasta el punto de poder producir una copia de un grabado existente al montarlo sobre una lámina de vidrio y dejar que la luz del sol lo atravesara sobre una placa de cobre o peltre recubierta con una solución de asfalto [3]. Estos experimentos llevaron a la invención de la fotografía [4]. Décadas más tarde, la foto máscara, seguida del procesamiento químico, formó el proceso de fotolitografía que hizo posible la fabricación de circuitos integrados (CI) y la ciencia de la miniaturización [5].*

*Cómo funciona la fotolitografía. La fotolitografía y la fotografía funcionan de manera muy similar [6]. La fotolitografía es un proceso en el cual un patrón se transfiere a la superficie de una lámina utilizando un polímero fotosensible en solución (foto resistente). Los polímeros cambian sus propiedades de solubilidad tras la exposición a la luz.*

Hay dos tipos de foto resistencia: negativa y positiva. La exposición a foto resistencias negativas provoca un cambio químico que hace que la resistencia sea insoluble en la solución reveladora, por lo que cuando la luz pasa a través de las aberturas de la foto máscara, conduce a áreas opacas en la resistencia desarrollada. Esto crea un patrón en la muestra que es el opuesto al de la máscara, es decir, una imagen negativa. Una fotorresistencia positiva funciona de la manera opuesta: la resistencia es insoluble en el desarrollador a menos que la luz la golpee, por lo que, si la luz pasa a través de un área abierta en la máscara y expone la resistencia, esa región se disuelve en el paso del revelador, lo que resulta en una apertura en la resistencia también (una imagen positiva). La foto resistencias positivas generalmente se usan en la fabricación de circuitos integrados porque exhiben una mejor resolución [7]. El patrón transferido se usa como una máscara de grabado, es decir, una capa protectora que evita el grabado químico o físico donde sea que esté la resistencia en la superficie. El patrón de resistencia también se puede usar para la implantación de iones, permitiendo que los iones energéticos penetren en el sustrato solo donde se desee [6, 8].

Los pasos que comprenden el proceso fotolitográfico son:

- limpieza de la superficie del sustrato de la muestra
- horneado de deshidratación, para expulsar el agua adsorbida en la superficie de la muestra
- aplicación de la fotorresistencia
- horneado suave, para establecer las propiedades de la fotorresistencia
- alineación de la foto máscara en la muestra
- exposición de la fotorresistencia
- desarrollo de la fotorresistencia
- inspección
- eliminación de resistencia soluble y limpieza de la muestra para los pasos posteriores
- repetición de los pasos anteriores (como sea necesario)

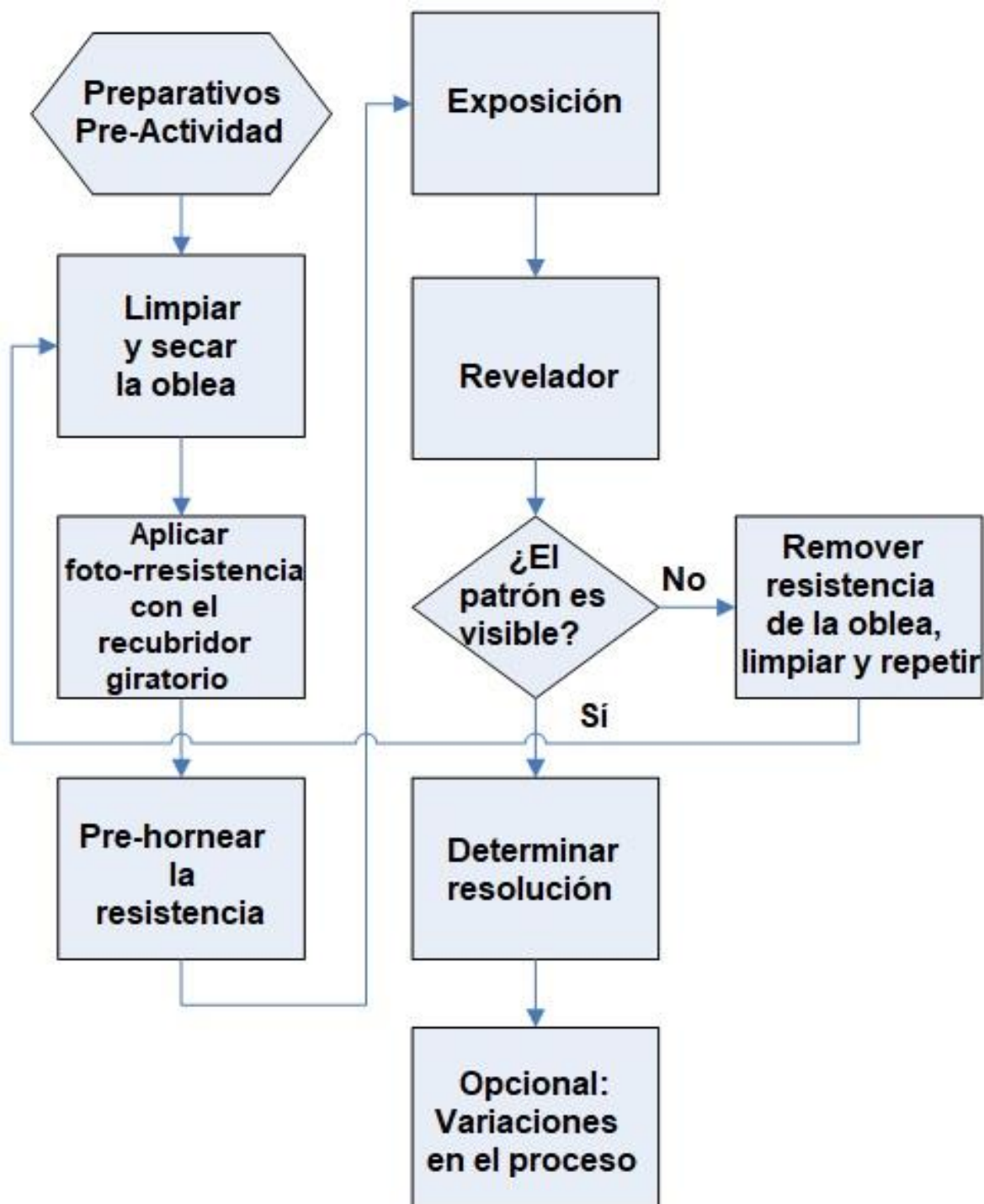
## **Aplicaciones actuales y futuras**

La fotolitografía es una de las tecnologías más ampliamente aplicadas que existen. Se utiliza para hacer los circuitos que se encuentran en toda la electrónica moderna. El número de transistores fabricados con fotolitografía cada año supera la población humana del mundo. Las técnicas de fotolitografía también se utilizan para fabricar sistemas micro electromecánicos (llamados MEMS) que se encuentran en una amplia variedad de dispositivos, incluidos sensores de gas, giroscopios de estado sólido, acelerómetros utilizados en automóviles y teléfonos inteligentes.

El futuro seguirá viendo la aplicación de la fotolitografía para fabricar micro electrónica, aunque la carrera por fabricar componentes electrónicos cada vez más pequeños puede forzar un cambio a una tecnología alternativa, como la litografía de haz de electrones o la litografía de impresión.

## Actividad de aprendizaje: Fotolitografía

### Flujograma de la actividad



## Materiales y equipo

### ***Materiales de uso casero***

- Guantes de plástico ligeros.
- Aire comprimido limpio (p. Ej., Aire comprimido “Dust-off”)
- Toallitas de laboratorio sin pelusa
- Goteros de plástico desechables
- Agua destilada y/o filtrada
- Disolventes: acetona, isopropanol (también se puede usar alcohol isopropanol al 70%)
- Químico foto resistente, 100 mL (suficiente para cubrir 30 muestras). Hoja de datos de seguridad provista.
- Revelador químico, 100 mL de concentrado. Esto debe diluirse 5:1 con agua destilada para obtener 600 mL de revelador (suficiente para desarrollar 30 muestras). Hoja de datos de seguridad provista.

### ***Equipo y suministros***

- 10 muestras de silicio pulido (se pueden limpiar y re utilizar muchas veces)
- Foto máscara transparente con patrón para transferir
- Recubierto giratorio “Spin Coater”
- Caja de plástico transparente
- Gafas protectoras
- Pinzas
- Cronómetro digital
- Una o dos placas de calentamiento, preferiblemente con lecturas de temperatura
- Cuatro bandejas poco profundas para contener líquidos (solución reveladora, agua de enjuague, acetona, isopropanol). Las cajas de plástico para sándwich son buenas porque tienen tapas ajustadas.
- Una o dos lámparas de escritorio con una bombilla fluorescente compacta de 25W (no use una bombilla incandescente o LED)
- Opcional: un microscopio óptico capaz de utilizar luz reflejada (no transmitida)

### ***Fuentes de materiales y químicos especializados***

- La acetona y el isopropanol puro (IPA) se pueden obtener en ferreterías locales o tiendas de artículos para el hogar. Se puede usar alcohol para frotar con al menos 70% de isopropanol en lugar de IPA puro; esto está disponible en una farmacia o tienda de comestibles.
- Se puede pedir foto resistencia adicional (Shipley 1813) y revelador (Microposit 351) a MicroChem Corp., Newton, MA; Tel.: 617-965-5511, correo electrónico: sales@microchem.com.
- Se pueden obtener muestras de silicio adicionales de Polishing Corp of America ([www.pcasilicon.com](http://www.pcasilicon.com)) y University Wafer ([www.universitywafer.com](http://www.universitywafer.com)). Las muestras vienen en muchos tipos; Para esta actividad, las muestras de prueba funcionarán bien.

### Preparación (antes de la actividad)

1. Diluya el concentrado de desarrollador para hacer 600 mL de solución. Coloque esto en una de las bandejas y márquelo "Revelador".

2. Llene una segunda bandeja con agua destilada o filtrada. Márquelo como "Agua".

3. Llene una bandeja con acetona y otra con isopropanol. Coloque las tapas en estas bandejas y márquelas adecuadamente.

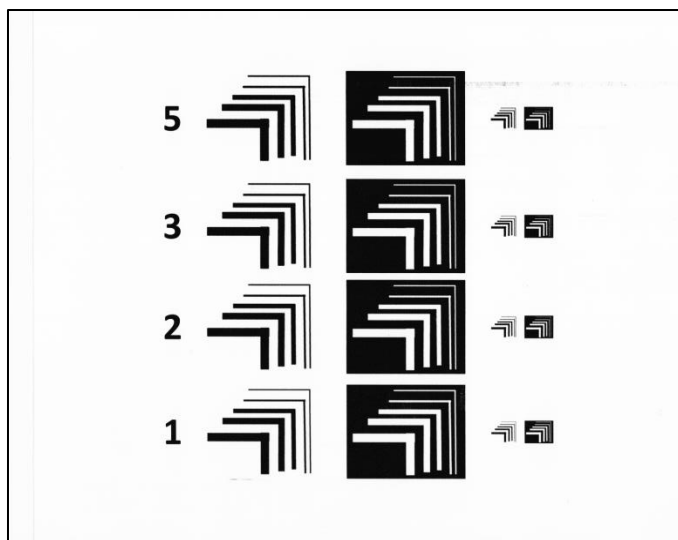
4. Forre cada caja de contención con toallas de papel.

5. Coloque una capa de centrifugado en el centro de cada una de las cajas de contención. Alinéelo de modo que el centro del disco giratorio esté justo debajo del orificio en la tapa de la caja. Enchufe el recubierto giratorio.

6. Instale las lámparas de escritorio con la bombilla hacia abajo, a unos 25 cm por encima de la mesa.

7. Instale y precaliente las placas de calentamiento. Si la placa tiene una lectura de temperatura, ajústela a 105 grados Celsius. Si no, ajuste el control de la placa caliente a aproximadamente el 40% de su máximo.

**(Opcional) Hacer tu propia foto máscara.** Como parte del kit de actividades, Nano-Link proporciona 1-2 máscaras de fotolitografía con patrones que contienen características muy pequeñas. A elección del maestro, se puede hacer una foto máscara localmente al producir un patrón con un programa de dibujo por computadora, luego imprimir ese patrón en una película de transparencia de poliéster usando una copiadora xerográfica o una impresora láser / de inyección de tinta. Los patrones de máscara potenciales incluyen los nombres de los estudiantes y el nombre de la escuela, escritos en una tipografía de 1 mm de altura o menos. Su máscara personalizada también puede usar líneas muy finas o una serie de cuadrados de tamaño decreciente. Estos se utilizarán al final de la actividad para determinar cuantitativamente la resolución de la transferencia del patrón. Consulte la Figura 1 para ver un ejemplo de un patrón de prueba.



**Figura 1.** Imagen escaneada de sobreimpresión 5x utilizando una impresora de inyección de tinta para producir una máscara altamente opaca (tamaño original de 8 x 11 pulgadas).



Cuando se utilizan algunas impresoras para producir estas transparencias, el patrón puede ser insuficientemente opaco para garantizar un efecto de enmascaramiento limpio. Para obtener un patrón completamente opaco, la misma hoja de transparencia se puede imprimir repetidamente con el patrón pasándolo a través de la impresora más de una vez. Al alinear cuidadosamente las guías de papel, la misma transparencia se puede sobreimprimir cinco veces o más sin una degradación grave de la imagen. Si utiliza una impresora de inyección de tinta, permita que la tinta se seque por completo (al menos 5 minutos) entre pasadas. Con este método, se pueden producir imágenes limpias con características de tamaño inferior a 0.1 mm. Es posible que no necesite hacer cinco sobreimpresiones; algunos experimentos revelarán cuántos intentos se requieren con su equipo.

## Seguridad

- Evitar el contacto con la foto resistencia; Use agua y jabón para eliminar cualquier material que toque la piel.
- Se requieren gafas de seguridad a prueba de salpicaduras y guantes ligeros para el manejo de las muestras y reactantes.
- Los solventes y la foto resistente a base de solvente deben manejarse con una circulación de aire adecuado para evitar la acumulación de vapor de solvente. Se recomienda el uso de cámaras de extracción de gases químicos, pero un laboratorio bien ventilado puede ser aceptable; usa tu discreción.
- Estos productos químicos deben almacenarse, usarse y eliminarse de manera segura siguiendo los procedimientos de higiene química y eliminación de desechos peligrosos de su organización.
- Tenga cuidado al manipular las muestras de silicio; son frágiles y pueden romperse en fragmentos afilados si se caen.

## Fotolitografía—Opción A

### Procedimiento

**1. Limpieza y secado del sustrato.** Para aplicar una buena capa de fotorresistencia, es esencial que el sustrato esté libre de aceites, suciedad o capas fotorresistentes anteriores. (Nota: si las muestras (obleas) se están reutilizando y / o tienen rastros de recubrimiento fotorresistente, siga el procedimiento de limpieza del punto 6 a continuación).

1.1 Coloque la muestra (oblea) sobre una toallita de laboratorio limpia y seca.

1.2 Aplique una pequeña cantidad de isopropanol sobre la muestra (oblea) y limpie suavemente con una toalla sin pelusa (microfibra). Permita que el alcohol se seque completamente.

1.3 Seque el frente de la muestra (oblea) con aire comprimido sin partículas.

1.4 Coloque la oblea en la plancha de calor durante 60 segundos para eliminar el agua restante.

1.5 Retire con cuidado la muestra (oblea) de la placa calefactora con unas pinzas.

1.6 Dejar enfriar durante un minuto más o menos.

**2. Aplicando fotorresistencia.** La foto protección debe aplicarse en una capa delgada y uniforme para garantizar el éxito en los pasos de procesamiento posteriores. Aquí usamos un giro simple para extender la fotorresistencia en una capa de aproximadamente 25-50 micras de espesor.

2.1. Coloque una muestra (oblea) en el recubridor giratorio para que el borde plano de la misma esté al lado de uno de los pequeños tornillos de nylon en el disco giratorio. Estos tornillos actúan como abrazaderas para sujetar firmemente los bordes de la oblea en el recubridor de giro, evitando que la muestra salga volando. Gire la muestra (oblea) unos 20 grados para que el borde exterior quede debajo de los tres tornillos.

2.2. Coloque el recubierto de giro de modo que su centro esté directamente debajo del orificio en la tapa de la caja de contención. Coloque la tapa en la caja para verificar la alineación y ajústela si es necesario.

2.3. Con la tapa puesta, encienda la máquina de centrifugado y deje que funcione unos 30 segundos para alcanzar la velocidad máxima.

2.4. Mientras la máquina de centrifugado gira a gran velocidad, retire suficiente fotorresistencia en un gotero desechable para llenar aproximadamente 2-3 cm desde la parte inferior de la punta del gotero.

2.5. Cuando el recubridor de giro haya alcanzado la velocidad máxima, inserte el gotero en el orificio de la tapa (caja). Intente colocar el gotero directamente sobre el centro de la muestra (oblea) giratoria.

2.6. Eche todo el material fotorresistente en el gotero sobre la muestra (oblea) en un movimiento continuo (es decir, no se detenga y comience, pero aplique todo el contenido del gotero a la vez) para así garantizar un recubrimiento uniforme. Permita que la máquina de centrifugado funcione 30 segundos, luego apáguela y deje que gire hasta detenerse.

**3. Horneado / secado.** El fotorresistente necesita ser secado para optimizar sus propiedades foto reactivas.

3.1. Coloque la muestra (oblea) en la placa de calentamiento durante 60 segundos.

3.2. Retire la muestra de la placa con pinzas.

3.3. Permita que la muestra (oblea) se enfríe durante 1-2 minutos. Dado que la misma ahora está completamente sensibilizada a la luz, manténgala alejada de la luz solar directa y de fuente de luz dentro de la habitación durante este paso.

**4. Exposición y revelado.** En este paso, el patrón de la máscara se transfiere a la muestra (oblea) por interacción de la luz con el material fotosensible. Después de la exposición, la imagen es virtual, es decir, no es visible hasta que se revela.

4.1. Coloque la oblea sobre una superficie no reflectante.

4.2. Coloque la foto máscara directamente sobre la oblea. Asegúrese de que el lado correcto de la máscara esté hacia abajo. Esto significa que el lado en el que se imprime el patrón debe estar en esta posición, más cerca de la oblea.

4.3. Coloque la fuente de luz a unos 10 cm por encima de la muestra (oblea) y exponga durante 2 minutos.

4.4. Sumerja la muestra en la solución del desarrollador y agite durante 30 segundos. Una imagen debe hacerse gradualmente visible.

4.5. Sumerja la muestra en el baño de agua durante dos minutos para enjuagar el revelador. Agitar ligeramente.

4.6. Seque la muestra (oblea) con aire comprimido.

**5. Inspección.** Determine qué tan bien el patrón que hizo coincide con el de la máscara.

5.1. Con un microscopio óptico, inspeccione la muestra (oblea) para:

- sub exposición: el patrón se transfiere de forma incompleta.
- sobre exposición: el patrón está "quemado", es decir, las características son más anchas de lo que deberían ser.
- sobre desarrollo: se ha eliminado demasiado material fotorresistente de los bordes.
- sub desarrollo: restos de fotorresistencia en las áreas donde debería haberse eliminado por completo.

5.2. Examine las mejores estructuras presentes en su muestra (oblea), y compárelas con las de la foto máscara. Determine la característica más pequeña que se transfirió fielmente a la muestra. Si hay una cámara montada en el osciloscopio, recopile una imagen del patrón en la muestra (oblea). Consulte con su instructor qué medidas de resolución utilizar.

**6. Limpieza de muestras (obleas).** De ser necesario.

6.1. Coloque la muestra a limpiar en una bandeja poco profunda llena de acetona. Dejar en remojo 60 segundos. Mantenga la acetona cubierta mientras no esté en uso, ya que se evapora rápidamente.

6.2. Recupere la oblea con un par de pinzas y retírela del baño de acetona, permitiendo que el exceso de solvente gotee nuevamente dentro del recipiente.

6.3. Transfiera la muestra (oblea) a una bandeja poco profunda llena de alcohol isopropílico. Dejar en remojo 30 segundos. Esto elimina cualquier rastro de acetona.

6.4. Recupere la oblea y permita que el exceso de líquido se drene nuevamente dentro del envase de enjuague.

6.5. Transfiera la oblea a la bandeja llena de agua. Agite la oblea en el baño, retírela e inspeccione. Repita el procedimiento según sea necesario para eliminar cualquier contaminante visible de la superficie. Asegúrese de hacer un enjuague de agua final en de la oblea antes de pasar al siguiente paso.

6.6. Coloque la oblea en la plancha de calentamiento durante 60 segundos.

6.7. Retire la oblea de la plancha con unas pinzas y deje que la muestra se enfríe durante 1 a 2 minutos antes de usarla.

## 7. Variación de condiciones durante el proceso (opcional)

7.1. Usando la misma fuente fotorresistente y de luz, ajuste uno de los siguientes parámetros de la siguiente manera:

- Horneado: disminuya el tiempo de horneado a 45 segundos y aumente a 90 segundos.
- Exposición a la luz: disminuya la exposición a la luz a 90 segundos y aumente a 150 segundos.
- Tiempo de revelado: reduzca el tiempo de revelado a 20 segundos y aumente a 50 segundos.

7.2. Repita los pasos del 2 al 5 utilizando las condiciones de proceso elegidas. Inspeccione el nuevo patrón en su muestra (oblea) y determine el tamaño de característica más pequeño transferido.

7.3. Limpie y seque su muestra (oblea) siguiendo las instrucciones de la sección 6, y devuélvala a su instructor.

## Preguntas de discusión

1. ¿Qué paso del proceso de fotolitografía fue el más difícil para usted? ¿Por qué?
2. ¿Encontró que al manipular el tiempo de exposición o de revelado cambió el patrón resultante? ¿En qué manera?
3. A veces, los estudiantes no logran obtener ninguna imagen en la muestra (oblea). ¿Qué podría haber salido mal para evitar que un patrón se transfiera a la misma?
4. Además de los procesos que utilizamos en esta actividad. ¿Qué otros pasos serían necesarios para hacer que tú dispositivo funcione (electrónico o mecánico)?

## Reconocimientos

- Modulo desarrollado por Dr. James Marti, Científico Principal, “University of Minnesota”, Minneapolis, MN.
- Basado en investigaciones de Dr. Maryam Jalali, “University of Minnesota”, Minneapolis, MN.
- Traducido al español por Rodfal A. Rodríguez y María T. Rivera de Cupey María Montessori School, San Juan, PR.

## Recursos

### *Videos*

- “How Do They Make Silicon Wafers and Computer Chips?”:  
[www.youtube.com/watch?v=aWVyhzuHnQ](http://www.youtube.com/watch?v=aWVyhzuHnQ)
- “The Fabrication of Integrated Circuits”:  
[www.youtube.com/watch?v=35jWSQXku74](http://www.youtube.com/watch?v=35jWSQXku74)

### *Artículos*

- 1) [www.robinsonlibrary.com/finearts/print/lithography/senefelder.htm](http://www.robinsonlibrary.com/finearts/print/lithography/senefelder.htm)
- 2) [www.nndb.com/people/948/000205333/](http://www.nndb.com/people/948/000205333/)
- 3) J. Madou, “Fundamentals of Microfabrication: the science of miniaturization,” CRC Press, 2002.
- 4) S. Franssila, “Introduction to Microfabrication,” John Wiley & Sons, LTD, 2004
- 5) D. J. Elliot, “Integrated Circuit Fabrication Technology,” McGraw-Hill Book Company, 1982.
- 6) S. A. Campbell, “Fabrication Engineering at the Micro and Nanoscale,” Oxford, 2008.

## Apéndice: Alineación a los estándares

### *Alineación con “Next Generation Science Standards”*

TABLA 1. “ALIGNED PRACTICES, DISCIPLINARY CORE IDEAS, AND CROSSCUTTING CONCEPTS”		
<p><b>“PRACTICE”</b>  <i>HS. Obtención, evaluación y comunicación de información: comunique información científica y técnica (por ejemplo, sobre el proceso de desarrollo y el diseño y desempeño de un proceso o sistema propuesto) en múltiples formatos.</i>  <b>Parcial en los materiales para estudiantes</b></p>	<p><b>“DCI”</b>  <i>HS.PS2.B: Tipos de interacciones: la atracción y la repulsión entre cargas eléctricas a escala atómica explican la estructura, las propiedades y las transformaciones de la materia, así como las fuerzas de contacto entre los objetos (materiales).</i>  <b>Fuerte en los materiales para maestros y estudiantes</b></p>	<p><b>“CROSSCUTTING CONCEPT”</b>  <i>HS. Estructura y función: investigar o diseñar nuevos sistemas o estructuras requiere un examen detallado de las propiedades de diferentes materiales, las estructuras de diferentes componentes y las conexiones de los componentes para revelar su función y / o resolver un problema.</i>  <b>Parcial en los materiales para estudiantes</b></p>

### *Alineación con “Common Core State Standards for English Language Arts/Literacy and Mathematics”*

TABLA 2. “ALIGNED COMMON CORE STANDARDS FOR ENGLISH LANGUAGE ARTS & LITERACY”
<p>CCR.L.6 Adquirir un vocabulario amplio y utilizar con precisión frases académicas generales y específicas (que demuestren dominio suficiente) para leer, escribir, hablar y escuchar a nivel de preparación universitaria y profesional. Demostrar independencia en la recopilación de vocabulario (conocimiento) al encontrar un término desconocido importante para la comprensión o la expresión.  <b>Parcial en los materiales para maestros y estudiantes</b></p>
<p>RST.11–12.3: Siga con precisión un procedimiento complejo de varios pasos cuando realice experimentos, tome medidas o realice tareas técnicas; analizar los resultados específicos basados en explicaciones en el texto.  <b>Parcial en los materiales para estudiantes</b></p>