

LITÓGRAFO ÓPTICO LÁSER

1. El equipo y sus partes

El sistema de litografía que se describe a continuación, fue desarrollado por la empresa Mutech. El mismo consiste en una estructura de aluminio con 3 ejes de movimiento, XYZ, acompañado de una unidad de control (CPU+PSU) como se ve en la Fig. 1. Esta unidad posee dos puertos usb hacia la PC para el control de movimiento y la visualización de la cámara confocal, además de la conexión para alimentación de la red.

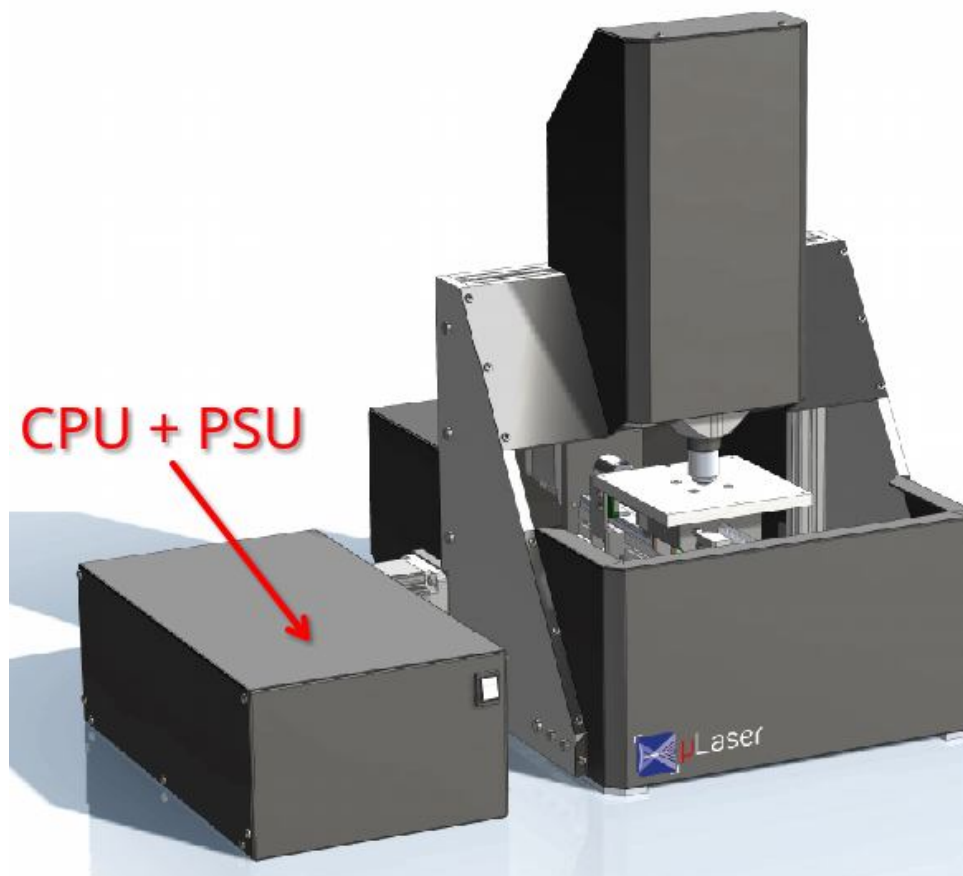


Figura 1: Esquema del sistema de litografía, μ Laser de Mutech.

La parte móvil principal del sistema de litografía se compone, como se ve en la Fig. 2, de una base de aluminio montada sobre dos ejes roscados, XY, con distinta métrica. El eje X posee un tornillo con un paso de rosca muy pequeño en comparación al eje Y, por lo que el fabricante denomina respectivamente eje lento X y eje rápido Y, dado que el mecanismo de litografía consiste en avanzar lentamente en X mientras se gráfica línea a línea el eje Y.

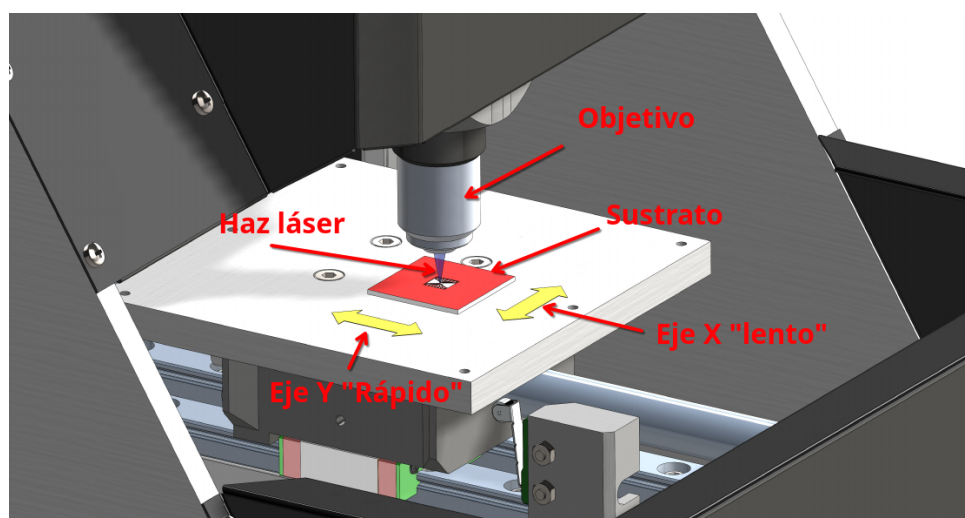


Figura 2: Esquema de la cinemática del sistema.

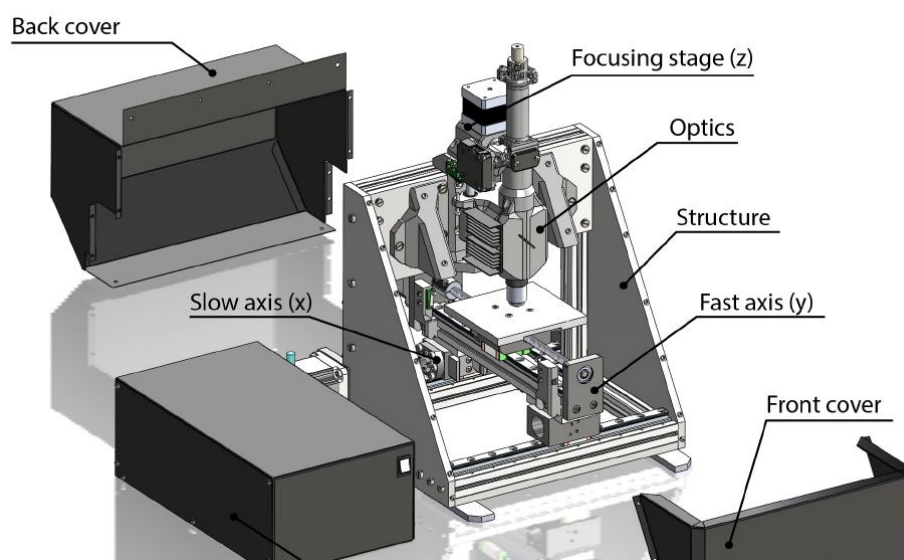


Figura 3: Sistema de litografía.

En la Fig. 3 podemos apreciar un despiece del sistema con sus elementos constituyentes más en detalle. Destaca el eje Z dado que sobre el mismo se encuentra montado el sistema óptico con el láser y la cámara confocal.

2. Proceso de Litografía

2.1. Calibración

2.1.1. Posición inicial de referencia

Se monta a la base del litógrafo, el sustrato al cual se le quiere hacer una litografía. Luego, se debe posicionar el cabezal en la esquina inferior izquierda del sustrato, como se ve en la Fig. 4. Esta será la posición $X,Y = (0,0)$ y el diseño se grabará a partir de esta referencia (cuadrado amarillo). Para ello, abra el menú de control que se encuentra en la esquina superior izquierda (Fig. 5, el botón marcado con el número 5) y se abrirá la ventana mostrada en la Fig. 6, mueva el carro hasta la posición $X,Y = (0,0)$ con los botones de control $+X$, $-X$, $+Y$, $-Y$. Para el desplazamiento del cabezal debe elegir los botones de configuración desde 0.001 hasta 25 mm de recorrido en la sección de *Jog*.

DEBE TENER CUIDADO DE QUE EL OBJETIVO DEL MICROSCOPIO NO COLISIONE CON EL SUSTRATO Y QUE EL MISMO SE ENCUENTRE A UNA DISTANCIA PRUDENCIAL. DE NO SER ASÍ, UTILICE EL CONTROL $+Z$, $-Z$ SEGUN SEA CONVENIENTE.

Una vez que se llega a la posición de referencia, presionar el botón naranja “ZERO XYZ” que se encuentra al lado del botón STOP, Fig. 6.

Observación I: Es muy importante que se posicione en un punto del sustrato que contenga resina para realizar la calibración del foco Z.

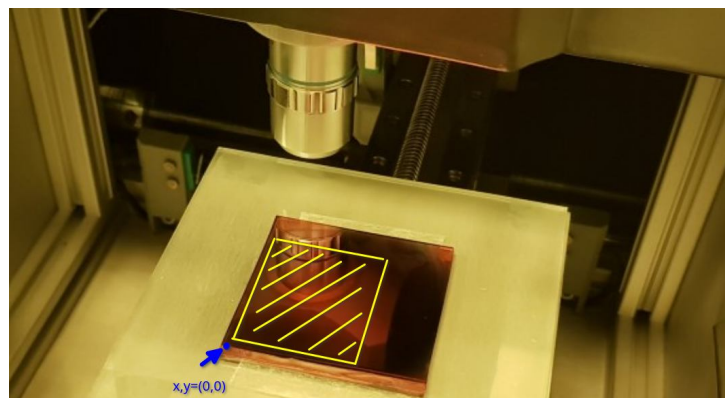


Figura 4: Sustrato montado en el litógrafo con la referencia (0,0).

Lo siguiente es, en las coordenadas actuales $X,Y=(0,0)$, calibrar la altura Z. Es una buena práctica utilizar la luz amarilla (*Yellow light*), se puede encender la misma con el botón “On”. Esta luz nos permitirá aproximarnos al plano focal, utilizando el visor de la cámara confocal, botón 3 de la Fig. 5. Una vez que esté situado sobre el sustrato, mueva el eje Z hasta que la imagen se encuentre con el brillo máximo, esto significa que está en foco, como se puede ver en la Fig. 7a. Luego, configuramos la potencia del láser en 180 (sección

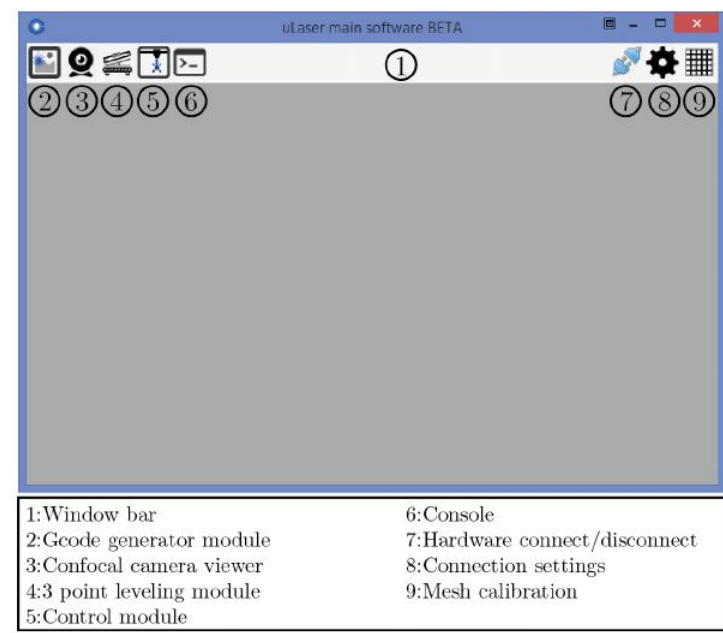


Figura 5: Interfaz del software del litógrafo.

4 del menú de control cinemático, Fig. 6) y lo encendemos con el botón “On” (debe apagar la luz amarilla para este paso). Con el visor de la cámara deberá ver algo similar a la Fig. 7b. No se preocupe si no ve el punto láser en foco o punto alguno, en este proceso el ajuste del eje Z nos llevará a enfocar el láser. Debe asegurarse que la distancia de viaje del eje Z se encuentra entre el 0.001m y 0.01mm. No permita que una distancia mayor se encuentre configurada, dado que peligra colisionar con el sustrato. Ajuste hasta encontrar el foco del láser como se ve en la Fig. 7b, con los botones +Z, -Z según sea conveniente (con el cuidado de evitar una posible colisión con el sustrato). Una vez realizada la calibración del eje Z, vuelva a presionar el botón “Zero XYZ”. Apague el láser con el botón “Off”.

Observación II: Es posible que no vea el punto del láser encerrado en la circunferencia al centro de la cruz roja como se ve en la Fig. 7b, no se preocupe, es un error constructivo del equipo que no afecta al funcionamiento del mismo.

Observación III: El foco del láser se encuentra cuando el spot del mismo tiene forma de estrella de 4 puntas con un punto central definido: ✦✦✦✦

Ahora que tenemos calibrado el eje en $X,Y,Z=(0,0,0)$ debemos programar la nivelación de la base. Hay dos modalidades, de 3 o de 4 puntos.

2.1.2. Calibración del plano, con 3 puntos

Abra el menú de calibración con el botón número 4 de la Fig. 5. Se abrirá el menú de nivelación como se ve en la Fig. 8. Con el *Point 1* seleccionado como se ve en la Fig. 8, presione el botón *Load from position*. Con esto cargamos el valor actual $X,Y,Z=(0,0,0)$ como nuestro primer punto de nivelación.

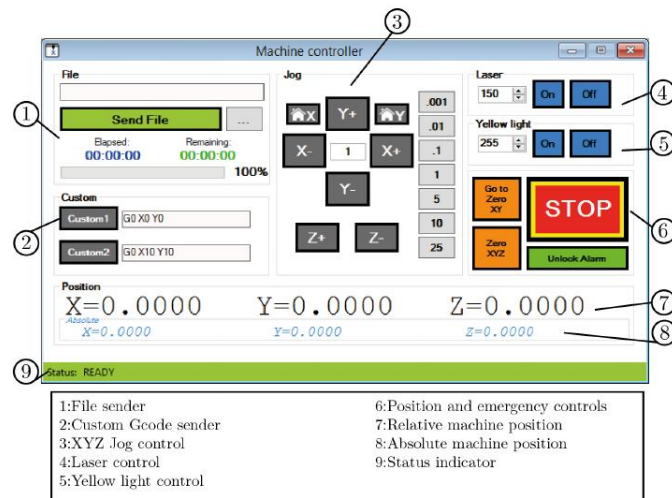


Figura 6: Menú de control cinemático.

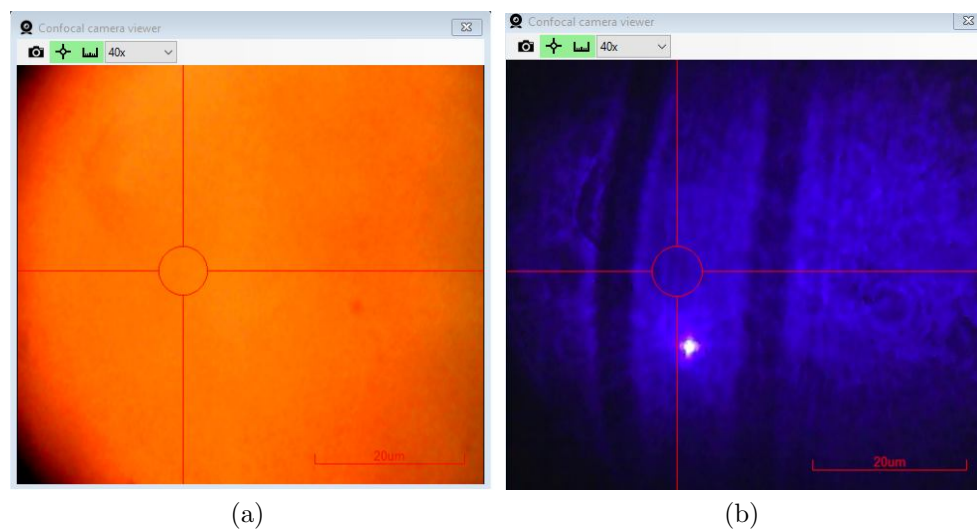


Figura 7: (a) Visor cámara confocal con luz amarilla (b)láser.

Observación IV: No se preocupe si las coordenadas que visualiza en este menú tienen números distintos a cero, estas coordenadas que aparecerán son coordenadas absolutas del sistema.

Con el láser apagado, mueva el carro en X e Y hacia el interior del sustrato en búsqueda de uno de los 2 puntos restantes como se ve en la Fig. 9. Una vez que se pudo posicionar en X,Y (xp2,yp2) vuelva a encender el láser para calibrar la altura Z con la cámara confocal, como lo hizo anteriormente, hasta obtener en este nuevo punto el láser enfocado como en la Fig. 7b. Logrado el foco del láser, en el menú de nivelación, seleccionar el *Point 2* y luego presionar el botón *Load from position*. Esto cargará las coordenadas del segundo punto de nivelación al menú como podrá observar. **Apague el láser.**

Mueva nuevamente el carro en X e Y hacia otro punto en el sustrato para calibrar el *Point 3*, **encienda el láser**, y repita el procedimiento. Cuando tenga cargados los 3 puntos en

el menú de nivelación, **apague el láser**, seleccione el *Point 1* nuevamente y ahora presione el *Go to*. Esto moverá la cinemática hasta las coordenadas relativas X,Y,Z = (0,0,0). Por último, presionar el botón *Enable* en el menú de nivelación. Aparecerá al lado del botón una nueva advertencia en verde, comunicando que la nivelación está activada y así debe permanecer para empezar a escribir con el litógrafo.

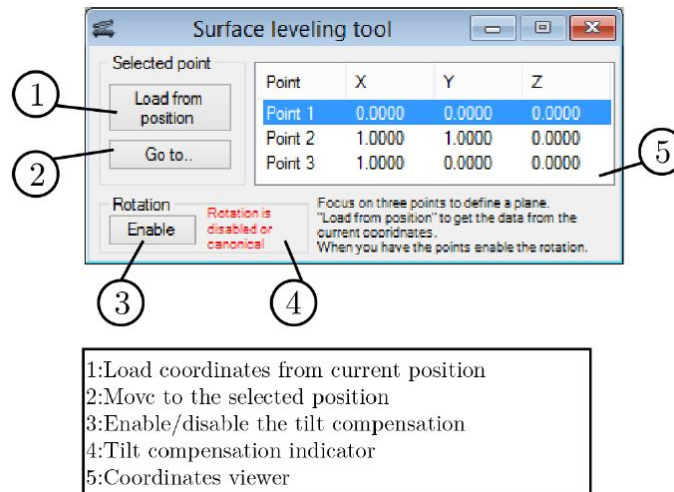


Figura 8: Menú de nivelación con sus distintas secciones.

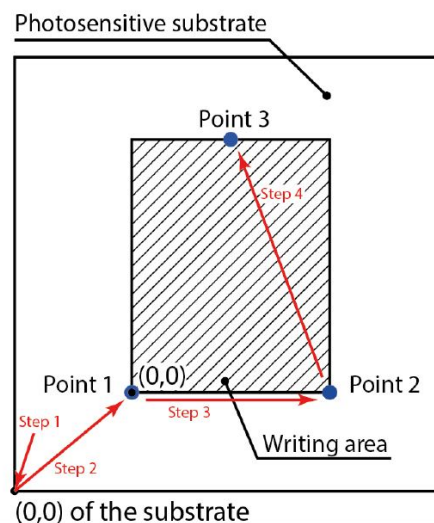


Figura 9: Referencia de posicionamiento para calibrar 3 puntos de nivelación.

Si ya posee un archivo .nc, puede cargarlo utilizando el explorador.

2.2. Generación del código .nc

Si observamos la Fig. 5, donde se ve el menú de la interfaz del programa, vemos que el módulo marcado como 2 es el generador de código G. Utilizando este módulo podemos programar las litografías y configurar los parámetros de grabado. Si accedemos a este

menú se abrirá la ventana que se muestra en la Fig. 10. Si hacemos click en *load image*, se abrirá el explorador de archivos para que podamos cargar al programa una imagen formato PNG.

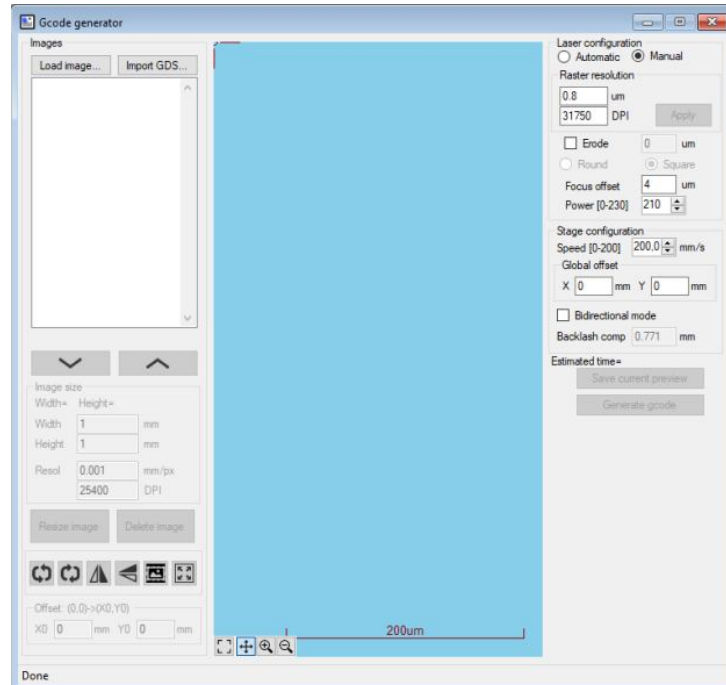


Figura 10: Menú del Gcode Generator.

Si cargamos una imagen se nos habilitará la sección de transformaciones y operaciones, las cuales se encuentran marcadas en la Fig. 11. Aquí podemos dimensionar la imagen y calibrar los mm/px. Además, debajo de esto tenemos 6 botones, los dos primeros son para rotar la imagen, el tercero para espejar la imagen por simetría con el eje vertical y el cuarto con el eje horizontal. El quinto botón hace una inversión de la imagen en blanco y negro, el último botón añade un borde de un espesor determinado. También podemos encontrar dos celdas para introducir numéricamente un *offset* para aplicar a la imagen. Otra característica que se puede encontrar es una barra de herramientas para la navegación a través del visualizador, para cambiar los modos de operación del mouse (zoom, pan, centrado). Del lado derecho de la ventana de visualización tenemos la configuración manual del láser, que en la Fig. 11 se ve en modo manual, donde podemos modificar ciertos parámetros de la óptica. Los más importantes son el efecto de Erosión y la potencia. Los mismos dependen del sustrato, mas adelante encontrará información de los valores ideales. Para la sección de los parámetros de la plataforma, tenemos la velocidad como la principal. Por último el botón *Generate Gcode* que guardará toda la configuración de los parámetros establecida y creará un archivo formato *.nc* con el grabado.

También podemos cargar archivos *.gds*, el menú se puede ver en la Fig. 12. Si el archivo GDS se diseñó en varias capas, éstas podrán seleccionarse individualmente para cargarlas al programa.

Para litografías con características superiores a los $10\mu\text{m}$, basta con utilizar una velocidad de 100mm/s y una potencia entre 210 y 215.

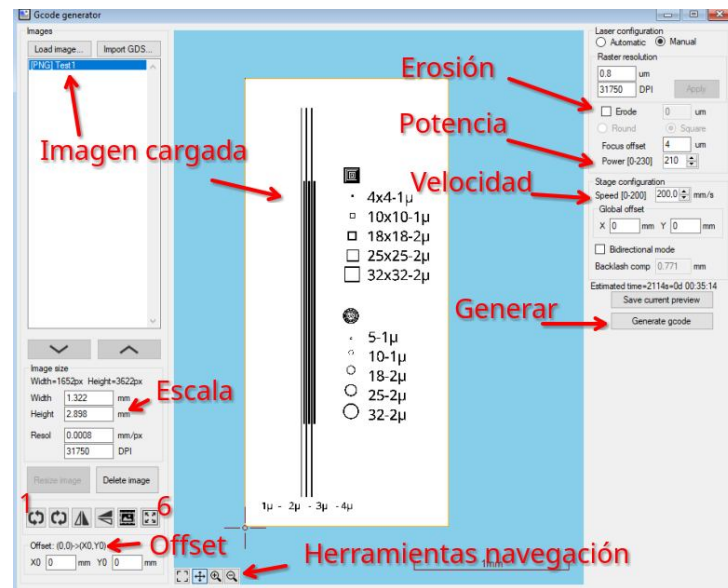


Figura 11: Menú del Gcode Generator con una imagen cargada.

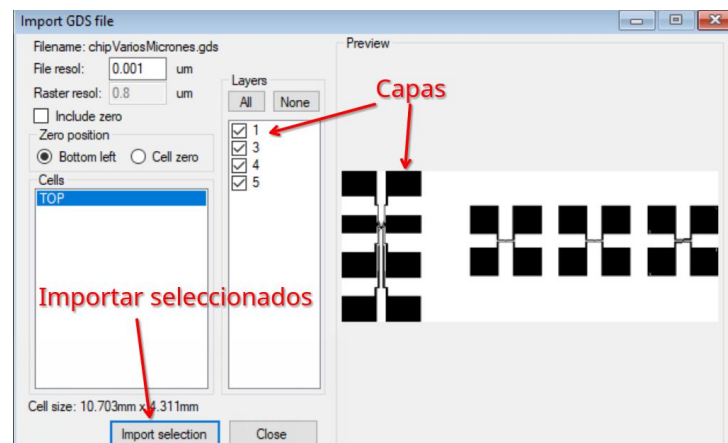


Figura 12: Menú importador de GDS del Gcode Generator.

2.3. Consideraciones para trabajar con alta resolución

Para realizar litografías con características menores a $10\ \mu\text{m}$, es recomendable utilizar los valores de la tabla 1 para la generación de gcode y el objetivo x40. Además, deberá tener en consideración que la resolución de grabado en el eje X es mayor que en el eje Y. Por ejemplo, para realizar, por ejemplo, algo similar a una rejilla de difracción, la misma deberá tener las líneas en la misma dirección que el eje Y, para que la separación de cada una en X pueda resolverse mecánicamente. Un ejemplo de esto último puede verse en la disposición de las geometrías de la figura 11.

Otro factor a tener en cuenta es el espesor de la resina, se recomienda para la MicroPosit 1414 valores de velocidad angular $>4500\ \text{RPM}$. Alcanzar $1\ \mu\text{m}$ de espesor es lo deseable para una disminución de la exposición en el grabado de características pequeñas.

Sustrato	Mínima resolución rasterizable objetivo x40	Erode	Velocidad	Potencia del Láser	Feature
Vidrio	0.5 μm	Desactivado	200 m/s	211	<10 μm
Vidrio con oro				211	
Silicio				210	
Silicio Oxidado				210	

Tabla 1: Parámetros de litografía con objetivo x40

El Erode es una transformación morfológica que, en términos informales, implica contraer la imagen en una cantidad específica. En esencia, consiste en controlar la contracción en unidades de μm , como se puede apreciar en la Fig. 13, donde se ilustra la aplicación de esta operación en una imagen binaria.

Esta función resulta especialmente útil cuando uno se enfrenta a situaciones en las que ciertas geometrías no pueden resolverse debido a la sobreexposición del láser durante el proceso de litografía. En tales casos, realizar contracciones en el diseño se convierte en una estrategia eficaz para exponer de manera más precisa y con menor cantidad de incidencia de luz.

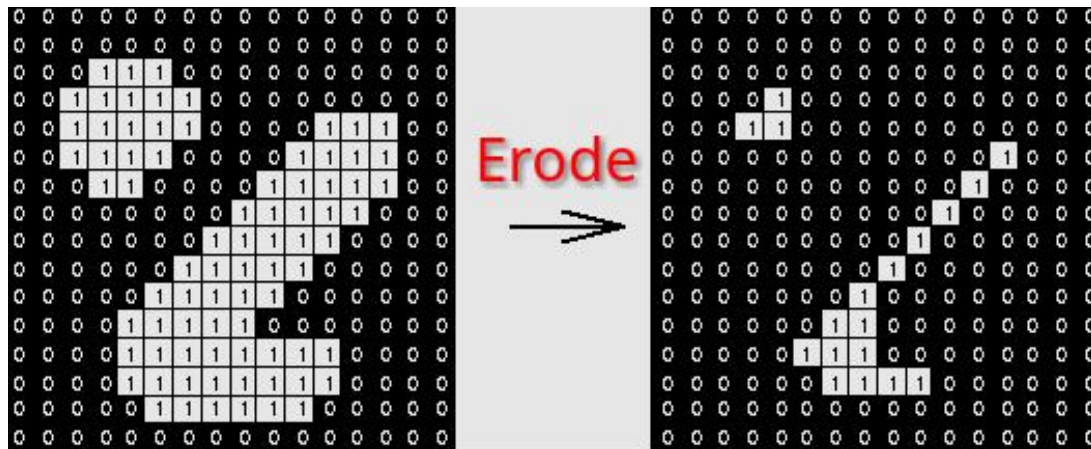


Figura 13: operación de Erode - Imagen reducida en dimensiones XY.

3. Etapa de Revelado

Finalizada la etapa de litografía, es necesario eliminar el polímero que ha sido expuesto a la radiación láser. Para ello, el sustrato se sumerge en una solución reveladora adecuada. A continuación, se detallan los procedimientos de preparación de dos tipos de reveladores, así como los pasos correspondientes al proceso de revelado.



3.1. Revelador AZ 400K

El revelador AZ 400K concentrado es una solución compuesta por agua y boratos de potasio. Se recomienda consultar la hoja de datos de seguridad correspondiente antes de su manipulación. Bajo las condiciones de concentración descritas a continuación, el proceso de revelado de las litografías se realiza en aproximadamente 25 segundos, usando la resina S1414.

Debido a su alto precio, baja disponibilidad y actividad química efectiva de 2hs se deben preparar soluciones de volúmenes medidos para sumergir los sustratos y no desperdiciar solución reveladora.

Para preparar una solución necesita:

- Un vaso de precipitado de 25ml.
- Barra agitadora de vidrio.
- 5ml de Agua destilada.
- Guantes de nitrilo.
- Cinta de papel.

Procedimiento:

Coloque dentro del vaso de precipitados de 25ml un volumen de 2.5 de AZ400k, coloque 5ml de agua destilada hasta llegar a la mitad de la marca entre los 10 y 5ml. Agite con la barra. Etiquete el frasco con: la fecha, la hora y el nombre de la solución. Debe almacenarlo con tapa para evitar que la solución absorba CO₂ del ambiente y disminuya la acción química.

3.2. NaOH - Revelador de bajo costo

El Hidróxido de Sodio puede utilizarse como una alternativa al revelador comercial. A continuación, se detalla el procedimiento para preparar una solución reveladora compatible con la resina S1414, capaz de desarrollar litografías en 30 segundos. La solución mantiene su efectividad química durante varios meses, siempre que se almacene en un recipiente herméticamente cerrado.

Para preparar el hidróxido de Sodio de concentración 0.15M necesita:

- Una balanza de precisión.
- Un cuadrado de papel de aluminio de 4cm*4cm.



- Un vaso de precipitado de 100ml.
- Barra agitadora de vidrio.
- 75ml de Agua destilada.
- 0.4g de NaOH.
- Guantes de nitrilo.
- Frasco de vidrio para almacenamiento de 100ml.
- Cinta de papel.

NOTA: realice el procedimiento debajo de la campana extractora

Procedimiento:

Pese en la balanza, arriba del trozo de aluminio para no ensuciarla, 0.4g de NaOH y arroje lo medido dentro del vaso de precipitado de 100ml (sin el papel de aluminio). Vierta lentamente el agua mientras agita con una barra de vidrio el contenido hasta disolver completamente el NaOH y obtener una solución clara, sin coloides.

Vierta el contenido del vaso de precipitados en el frasco de vidrio para almacenarlo. Etiquete el frasco con: la fecha del día de preparación, el nombre de la solución 'NaOH 0.15M', su nombre o el de la persona que lo preparó y el nombre del laboratorio.

3.3. Revelado paso a paso

Una vez que la litografía finaliza, debemos revelar el grabado. Para ello necesitamos:

1 - Un vaso de precipitados del tamaño adecuado para sumergir el sustrato completo en agua destilada. 2 - Un vaso de precipitados del tamaño adecuado para sumergir el sustrato completo en revelador. 3 - Brusela de precisión o pinza de agarre para sostener el sustrato.

Procedimiento: Usando la brusela o pinza, sumerja el sustrato gentilmente en el revelador por el tiempo indicado. Rápidamente, una vez finalizado este tiempo sumerja el sustrato en el vaso de precipitados con agua destilada.

Repita este proceso en caso de que el tiempo de revelado le haya sido escaso. Puede identificar esto mediante una lupa (con luz amarilla).



4. Etapa de Etching

La etapa de etching consiste en la remoción de un metal del sustrato para alcanzar la litografía final. A continuación se detalla como remover oro y cromo.

4.1. Preparación Gold Etching con KI gold etchant

Este procedimiento permite remover películas delgadas de oro mediante una solución de yoduro de potasio (KI) e yodo (I_2). Es un método sencillo y de bajo costo. El tiempo de ataque depende del espesor de la capa de oro. A temperatura ambiente, la velocidad de ataque es de aproximadamente 0.5 a 1 μm por minuto.

Materiales Necesarios

- Yoduro de potasio (KI)
- Yodo (I_2)
- Agua desionizada (DI)
- Recipiente de vidrio
- Guantes

La preparación toma unos 5 minutos. Realizar bajo campana. La concentración estándar es:

- 4 g de KI (sólido)
- 1 g de I_2 (sólido)
- 40 ml de agua desionizada

Ajuste la concentración en función del volumen deseado. Disolver los sólidos en agua DI dentro de un recipiente de vidrio, agitando suavemente hasta que se disuelvan por completo. Guardar la solución en una botella (de vidrio o plástico) y rotular como: “*KI gold etchant 1:4:40 I_2 /KI/ H_2O* ”, agregando nombre y fecha.

4.2. Procedimiento de Etching

1. Introducir el sustrato en la solución, agitando suavemente.



2. Cuando se aproxime el tiempo estimado, enjuagar con agua DI cada 30 segundos hasta que desaparezca el color dorado.
3. Enjuagar bien con agua DI y secar con aire o nitrógeno.

La solución puede reutilizarse si se mantiene limpia. Guardar el reactivo usado en el lugar asignado bajo la campana.

4.3. Limpieza

Si la solución está sucia o vieja, desecharla vertiéndola con abundante agua desionizada corriente. Lavar todos los recipientes tres veces con agua limpia.

4.4. Preparación Low cost Chrome Etching con Dicromato de potasio

Disolver el cromo expuesto puede ser una tarea complicada dado que para ello se utiliza una sal ácida de Cerio (IV). Como alternativa se propone esta solución que permite remover cromo metálico ($\text{Cr}(0)$) depositado sobre vidrio, mediante una reacción redox en medio fuertemente ácido con dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y ácido perclórico (HClO_4) al 70 %. El dicromato, en medio ácido, actúa como un potente agente oxidante, oxidando el cromo metálico a Cr^{3+} soluble.

Las semirreacciones redox involucradas son:

- Oxidación: $\text{Cr}(0) \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$
- Reducción: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$

La reacción global combinada es:



Esto implica que cada mol de dicromato puede oxidar 2 moles de $\text{Cr}(0)$ metálico. El ácido perclórico proporciona el medio fuertemente ácido necesario, además de calor (70°C), favoreciendo la conversión del dicromato en ácido crómico activo (H_2CrO_4).

Materiales:

- Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)



- Ácido perclórico al 70 % (HClO_4)
- Agua desionizada (DI)
- Recipiente de vidrio resistente al calor (borosilicato)
- fuente de calor (placa calefactora)
- guantes de nitrilo

Procedimiento:

1. En un recipiente de vidrio, preparar la solución mezclando cuidadosamente agua DI, ácido perclórico y dicromato de potasio. Las proporciones aún no están definidas con precisión y deben determinarse una concentración ideal experimentalmente.
2. Calentar la solución a aproximadamente 70°C con una plancha.
3. Introducir el sustrato con cromo metálico y mantener en agitación suave.
4. La solución tomará un color verde/azulado a medida que se forma Cr^{3+} .
5. Cuando desaparezca visualmente el cromo, retirar el sustrato, enjuagar abundantemente con agua DI y secar.

Observaciones:

- La reacción debe hacerse en campana extractora, ya que involucra ácido fuerte caliente y especies oxidantes.
- Los productos contienen Cr(III) , que es tóxico. Los residuos deben gestionarse como desecho peligroso, **no deben descartarse por el desagüe**. Almacene en contenedor de vidrio y consulte sobre la logística y control del desecho.