

CAPÍTULO III

DISEÑO

3. DISEÑO

3.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado y en los posteriores se tratará de manera más concreta, el trabajo realizado en el laboratorio y que ha conllevado la realización de este proyecto fin de carrera.

Como se ha comentado anteriormente, el proyecto consiste en caracterizar un proceso de deposición de metales conocido como electroplating. En nuestro caso se usará cobre para caracterizar dicho proceso de deposición.

El electroplating consiste en depositar un elemento conductor a chapar dentro de un recipiente donde se ha depositado un líquido conductor, llamado electrolito, que hará de medio conductor entre el objeto y la lámina de cobre. Enfrentado a dicho elemento que se desea chapar, se coloca una lámina de cobre. Se calienta el medio conductor y cuando se alcanza la temperatura óptima, se aplica, mediante una fuente de alimentación, una diferencia de potencial entre el elemento a chapar y la lámina de cobre. Se deja chapar durante un tiempo, según el grosor de la capa que se desee depositar sobre el objeto, y posteriormente se saca el objeto de la solución. En el elemento a chapar se habrá depositado una fina capa cobre.

Esta técnica se puede aplicar tanto al mundo de la investigación para introducirlo en el proceso de fabricación de MEMs, como al mundo de la docencia al ser un proceso económico y que no necesita una gran inversión de dinero.

Desde el punto de vista de la investigación, la microelectrónica avanza cada vez más y más rápido. Dos de las grandes características que se les requiere a los microsistemas conforme avanzan en sus investigaciones son, por un lado, la disminución del coste de fabricación y por otro, la reducción del tamaño de los dispositivos. El uso de esta técnica colabora con el primero de los requisitos, ya que se reducen los costes en la fabricación de los mismos. Esto es así debido a que esta técnica del electroplating es un método económico de deposición, ya que no es necesaria una gran inversión de dinero en cuanto a maquinaria, y los instrumentos necesarios se pueden encontrar relativamente fáciles en un laboratorio.

Desde el punto de vista de la docencia, al tratarse de un método simple, sencillo y sin relativo riesgo, puede ser muy útil para mostrar de forma práctica, la deposición de materiales sobre objetos.



Figura 24. Kit Flash Copper

Entrando más detenidamente en la parte práctica del proyecto, el departamento de electrónica ha adquirido un Kit de chapado llamado “Kit Flash Copper”. Este Kit está compuesto por un recipiente de plástico, un termostato con una resistencia de cuarzo de 300W, 2 láminas de cobre y 4 recipientes con 3 tipos de compuestos ácidos, cada uno de estos necesario para llevar a cabo la composición correspondiente para obtener el medio conductor, el electrolito.

Este kit es uno de los tantos kits que el fabricante dispone según tipo de chapado. En la página web de Caswell [3] existen diferentes kits que se pueden adquirir para chapar cobre, níquel, cromo... Junto al kit viene un manual que detalla parámetros así como problemas y soluciones que pueden aparecer durante el proceso de electrodeposición. En el caso concreto que nos encontramos, se dispone de un kit para chapar objetos con cobre, al ser este un material más económico que el resto y siendo más sencillo de utilizar a nivel de instrumentos (cromo necesita altas intensidades).

Con este kit, junto a una fuente de alimentación corriente de laboratorio, se puede conseguir chapar pequeños objetos con una película de cobre con grosores del orden de micrómetros, según el tiempo de chapado.

Una vez se controle y entiendan las diferentes peculiaridades para conseguir chapados sobre objetos, nos surge la siguiente pregunta:

¿Cómo podemos usar esta técnica de chapado para introducirla en el proceso de creación de pistas para MEMS?

El primer gran problema que surge es, que para poder usar esta técnica es necesario que el objeto que se quiere chapar sea conductor, para poder aplicar la diferencia de potencial entre la pieza a chapar y la lámina de cobre. Los sustratos que se utilizan en el laboratorio (FR4, oblea de silicio o vidrio, SU8...) no son conductores, por lo que no se consigue nada sumergiendo el sustrato dentro del electrolito ya que no se produciría esa diferencia de potencial y por lo tanto no se producirá el arrastre de los átomos de cobre de la lámina de cobre al objeto a chapar.

La solución a este problema es tener lo que se conoce como capa semilla sobre el sustrato y así poder sumergir el sustrato dentro de la solución y ahora sí, llevar a cabo el chapado de cobre.

En el laboratorio se dispone de un instrumento de deposición de finas películas de metal conocido como sputter coater. Este instrumento se basa en otro método de deposición de metales sobre sustrato. Concretamente se dispone de oro y níquel para depositar sobre la superficie de sustratos.

Para conseguir esta capa semilla, haciendo uso del sputtering, se deposita una fina capa de oro, del orden de nanómetros, sobre el sustrato.

Una vez, el sustrato tiene una fina capa de material conductor, se puede hacer uso del electroplating para chapar de cobre la superficie.

Una vez se contrala el chapado sobre la superficie de sustratos, surge otra cuestión:

¿Cómo conseguir realizar pistas de cobre sobre el sustrato?

Esta pregunta tiene su respuesta en el uso de la fotolitografía. La fotolitografía consiste en depositar una fina capa de resina fotosensible sobre el sustrato usado. Esta resina posteriormente se trata con luz ultravioleta y se define el diseño sobre la superficie del sustrato. Para ello se hace uso del Spin Coater. Este instrumento hace girar a alta velocidad el sustrato, con la resina depositada sobre ella. En función de la velocidad y tiempo de giro, se consigue depositar sobre el sustrato una capa de resina del grosor deseado. Tras depositar la resina, se aplica luz ultravioleta a la resina, se coloca una máscara con el diseño deseado y se introduce en la insoladora durante el tiempo que se estime oportuno en función del tipo de resina y del grosor de esta. Una vez insolado, se utiliza el revelador correspondiente al tipo de resina, para eliminar la resina de las zonas que no son necesarias.

Tras obtener el diseño sobre la resina, queda la parte más crítica que consiste en eliminar el metal depositado de las zonas que no son necesarias, es decir, aquellas zonas donde se ha eliminado la capa de resina depositada inicialmente. Para ello, es necesario hacer uso de manera controlada de ácidos. Los ácidos usados se mezclan para formar un compuesto conocido como agua regia. Esta mezcla es altamente tóxica y corrosiva, por lo que hay que tomar todas las precauciones de seguridad que se estimen necesarias para evitar cualquier percance.

Entre esas normas de seguridad, es obligatorio el uso de gafas, guantes, gorro, mascarilla y bata así como de una correcta ventilación de los gases que se emiten. El agua regia es un ácido que interacciona de manera rápida con el metal que hay sobre el sustrato. El agua regia no interacciona con la resina por lo que el cobre que se encuentra debajo de la resina no se verá afectada por este ácido. En esta etapa hay que tener mucha precaución y una gran coordinación y precisión, por un lado por la toxicidad de los ácidos y por otro porque es el último y más crítico paso para obtener el diseño deseado sobre el sustrato.

Una vez se elimina el metal de las zonas no deseadas, se elimina la resina utilizando el remover correspondiente al tipo de resina.

A continuación se muestra un esquema aproximado del proceso completo con las distintas etapas.



Figura 25. Etapas proceso deposición

En los apartados posteriores se explica detalladamente en qué consiste cada una de las etapas.

Con este proceso se consigue introducir la técnica del electroplating para conseguir realizar diseños de cobre.

La idea de este proyecto es hacer este método lo más estándar posible para poder introducirlo como una herramienta más para la deposición de metales dentro de los procesos de fabricación de MEMS que se dispone en el laboratorio.

3.2. PRUEBAS PRELIMINARES

3.2.1. “Electroplating”

Para caracterizar el proceso de deposición, en primer lugar, hay que conocer el funcionamiento del “kit Flash Copper”. Este kit está diseñado para depositar una lámina de cobre sobre la superficie de pequeños objetos. Este kit está compuesto por

un recipiente cilíndrico de plástico donde se introduce el electrolito. El electrolito, se calienta con el uso del calentador y el termo estator y una vez llegada a la temperatura óptima, se introduce dentro del recipiente el objeto y la lámina de cobre bien cableadas. La situación de ambos elementos debe de ser lo más alejada posible entre ambos y enfrentada la zona a chapar a la lámina de cobre.

Se comprueba desde primera hora que hay que realizar algún tipo de adaptación para poder utilizar este método de deposición en sustratos del laboratorio. El modo de chapar y cablear las piezas está orientado a depositar capas de cobre sobre objetos y no sobre un sustrato que posteriormente se tratará para crear pistas.

A pesar de conocer que habrá que realizar algún tipo de diseño para usarlo con los sustratos que se disponen en el laboratorio, lo primero es conocer el funcionamiento del kit para el cometido que está diseñado. Una vez se entiendan y controlen las etapas del chapado, se estará en condiciones de realizar el diseño que se crea oportuno para posteriormente usarlo para chapar sobre sustratos.

Lo primero que hay que hacer es preparar la solución que hará de medio conductor. Dicha solución se conoce como electrolito y se trata de una mezcla de 3 compuestos ácidos diferentes llamados, flash copper part A, part B, part C y agua destilada. Las proporciones de cada uno de los componentes para formar la solución son:

TIPO DE COMPUESTO	PROPORCIÓN
Flash copper part A	2/9
Flash copper part B	1/18
Flash copper part C	1/18
Agua destilada	2/3

Tabla 3. Proporciones compuestos electrolito

Esta solución, de color azul, será el medio conductor y se introduce dentro del recipiente de plástico.

Una vez realizada la composición del electrolito hay que calcular los datos eléctricos para crear la diferencia de potencial entre el objeto a chapar y la lámina de cobre.

Según indicaciones del fabricante, el cálculo de la intensidad depende de las dimensiones de la superficie del objeto que se va a “enfrentar” a la lámina de cobre. La superficie a la que hace referencia es toda la superficie que se encuentra sumergida en el electrolito y que se encuentra frente a frente a la lámina de cobre.

Los valores teóricos que proporciona el fabricante son 1 Amperio de intensidad por cada 16 pulgadas cuadradas. Si se traduce esto a unidades más comúnmente empleadas, se traduce en 0,00968 Amperios por centímetro cuadrado ($0,00968 \text{ A/cm}^2$).

Para pequeños objetos, se puede fijar la tensión a 2 voltios aproximadamente y se consigue el mismo resultado.

Por último sería necesario calcular el tiempo de chapado necesario para llegar a conseguir el grosor deseado. A continuación se muestra la relación entre el tiempo de chapado y el grosor que se consigue:

TIEMPO DE CHAPADO	GROSOR DE CHAPADO
15 minutos	6,35 μm
30 minutos	12,7 μm
60 minutos	25,4 μm

Tabla 4. Relación grosor – tiempo de chapado

Una vez se tiene preparado el electrolito, calculado los parámetros para la fuente de alimentación y el tiempo de chapado, se está en disposición de llevar a cabo el chapado.

Como se ha indicado anteriormente, se deposita el electrolito dentro del recipiente de plástico, se introduce el calentador y el sensor lo más alejadas posibles dentro del recipiente y se calienta a 40 °C. El indicador del termostato pasará de rojo a verde cuando la temperatura del electrolito sea la indicada. Mientras se calienta la solución, es necesario limpiar la superficie del objeto que se va a chapar para prevenir posibles grasas en la superficie de este. Se utiliza acetona para eliminar cualquier elemento no deseado que haya en la superficie.

Esta etapa de limpieza previa de la superficie es muy importante para conseguir chapados correctos.

Una vez se alcanza la temperatura óptima, se introduce dentro del recipiente la lámina de cobre cableada con el positivo de la fuente de alimentación. Se realiza lo mismo con la pieza a chapar, se cablea con el negativo de la fuente de alimentación y se introduce dentro del recipiente.

Hay que tener mucho cuidado y evitar que se introduzca cualquier agente externo y no deseado dentro del recipiente ya que contaminaría la solución y alteraría el correcto chapado y por consiguiente daría como resultado un chapado de cobre impuro.

En la imagen se muestra una de las pruebas llevadas a cabo para chapar cobre en un pequeño sustrato de FR4 al que se le deposita una mínima lámina de cobre.

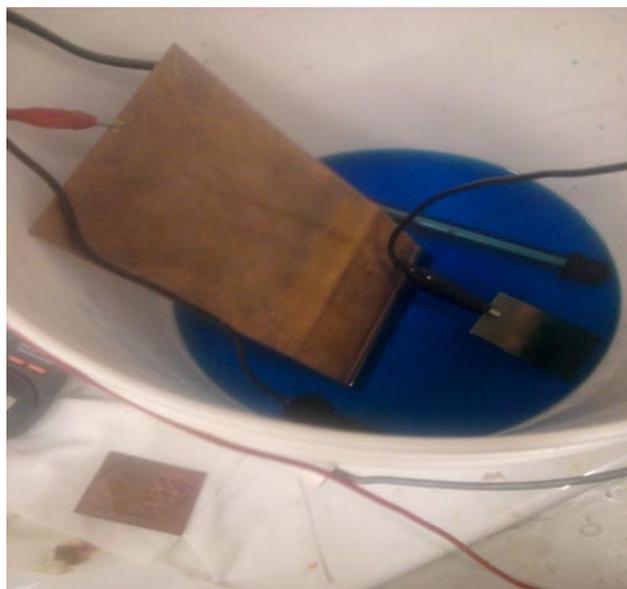


Figura 26. Deposición de cobre sobre PCB

Se puede ver en la imagen todos los elementos que se han comentado anteriormente. El calentador y el termo estator sumergidos dentro del electrolito separados arriba y abajo de la imagen. La lámina de cobre está conectada al positivo de la fuente de alimentación (cocodrilo rojo) y la pequeña lámina de PCB cableada al negativo de la fuente de alimentación (cocodrilo negro).

Se puede observar por un lado que la cantidad de electrolito no cubre por completo al objeto a chapar. Esto es así ya que la cantidad de compuestos que dispone el kit para llevar a cabo la composición del electrolito es limitado y las diferentes pruebas preliminares lo que requerían era el menor desperdicio posible de estos compuestos. Se observa también que el sustrato no está sumergido completamente sobre el electrolito. Esto es debido, primero a lo que se ha comentado anteriormente en cuanto a la cantidad de electrolito a usar, y por otro lado como se puede ver, la forma de cablear las piezas es algo inestable y ya se ha comentado que no se debe introducir ningún agente externo que pueda alterar las condiciones de chapado. Por lo tanto, no se puede sumergir el cable cocodrilo ya que alteraría el chapado, además de chapar la parte metálica del cable lo que conllevaría a su posterior deterioro.

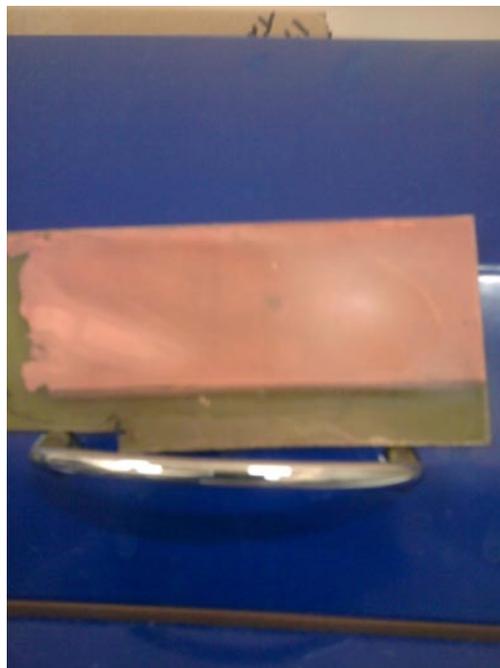


Figura 27. Resultado deposición cobre sobre PCB

Las diferentes pruebas preliminares llevadas a cabo para controlar este proceso se llevaron a cabo con PCBs de 2 x 4 cm aproximadamente y una cantidad de electrolito de 650 ml, suficiente para cubrir por completo el calentador y parte del PCB.

Debido a los problemas comentados en cuanto al uso de dicho kit, hay que realizar algún tipo de diseño que haga que el proceso de chapado no sea tan laborioso y las conexiones no sean tan inestables.

3.2.2. "Lift-off"

El lift-off se trata de una técnica de creación de estructuras sobre sustratos. Esta técnica hace uso de una capa intermedia, sobre la que se deposita el material conductor, y que posteriormente será eliminada, eliminando el metal depositado sobre dicha capa. Dicha capa intermedia suele ser un material de fácil eliminación como la fotorresina.

Las etapas del proceso del lift-off son las siguientes:

- Preparación del sustrato
- Deposición de la capa de fotorresina.
- Exposición a luz ultravioleta, haciendo uso de máscaras.
- Revelar la fotorresina.
- Deposición del material final.
- Eliminación de la fotorresina.

En la figura se muestra gráficamente el resultado que se obtiene en cada una de las etapas que definen este proceso.

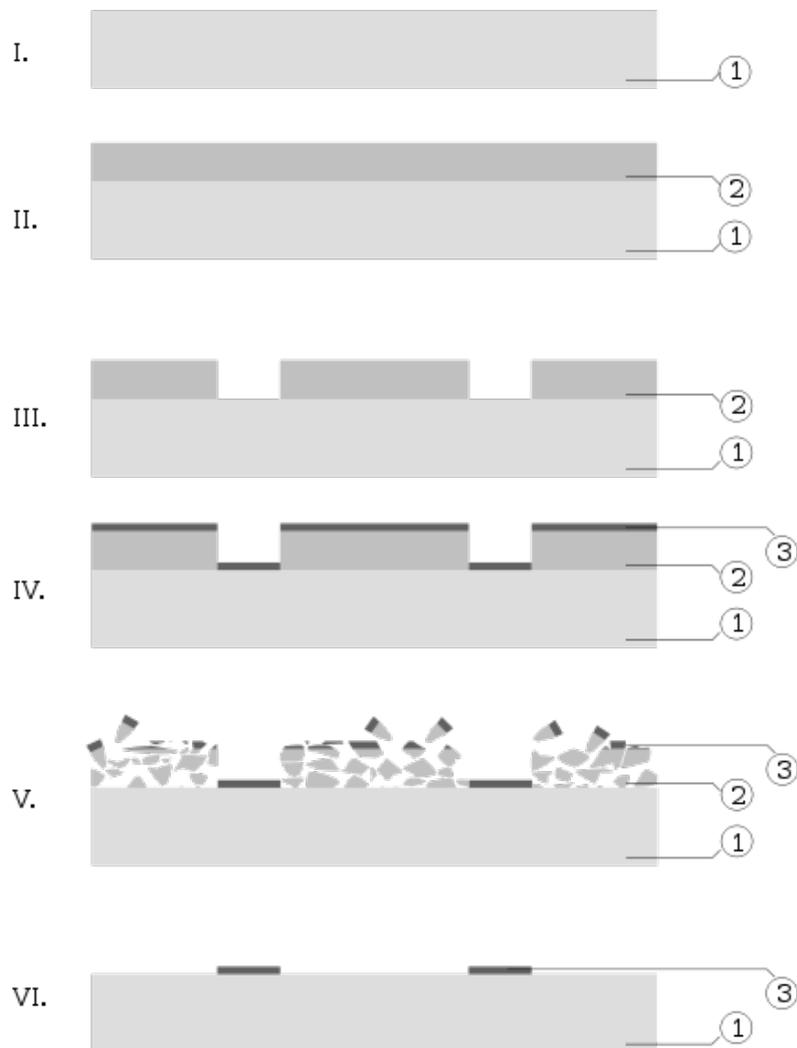


Figura 28. Etapas del proceso lift-off

En un primer momento se pensó en el uso de esta técnica para nuestro proyecto. La gran ventaja que tiene esta técnica es que se evita tener que hacer uso de ácidos para eliminar posteriormente las zonas donde no debe haber metal.

Sin embargo, esta técnica presenta dos inconvenientes para poder llegar a utilizarse en la obtención del diseño final que se está buscando.

Por un lado se comprobó que esta técnica solo es válida para pequeños grosores de la capa final.

Se llevo a cabo una prueba experimental con una capa de oro de en torno a 20 ó 30 nm. Con estos grosores se consigue obtener diseños de manera sencilla haciendo uso de esta técnica.

En cambio para grosores en torno a micrómetros, como los que se consigue con el electroplating, está técnica no es válida ya que en la etapa final de eliminación de fotorresina, esta no es capaz de eliminarse, por lo que no se elimina la capa de cobre depositada sobre ella.

Otro problema añadido es la forma de depositar el material.

Mientras el oro se deposita mediante una vaporización del material sobre el sustrato, quedando esta, depositada uniformemente sobre toda la superficie, el electroplating necesita un punto de conexión con la fuente de alimentación para llevar a cabo el chapado.

En los casos en los que el diseño es un circuito cerrado donde todas las zonas tienen conexión, si es viable usar esta técnica. Esto es así ya que sobre la resina solo quedará la capa semilla de oro, y el cobre solo se deposita sobre la capa semilla que está sobre el sustrato y que no se eliminará. Eliminando en la última etapa la fotorresina, se elimina esta con el oro depositado encima, quedando nuestro diseño final.

Sin embargo, cuando el diseño final, no tiene puntos de conexión entre las diferentes zonas, está técnica no se puede usar ya que obligaría a tener un punto de conexión con la fuente de alimentación por cada una de las zonas.

En definitiva, la eliminación de las capas de metal no puede ser llevada a cabo haciendo uso de esta técnica, salvo el caso particular comentado arriba en el que el diseño final es un circuito cerrado con puntos de interconexión entre todas las zonas.

3.3. UTILES DISEÑADOS

Una vez llevadas a cabo la pruebas preliminares para conocer y entender las diferentes etapas de cada uno de los procesos, nos queda la parte más elaborada que consiste en definir el proceso completo para llegar a nuestro objetivo final, que no es otro que estandarizar todas las etapas que intervienen en el proceso de chapado de

cobre sobre sustratos y definir la interfaz entre cada uno de las etapas. Con las pruebas preliminares se controlan cada una de las diferentes etapas del diseño por separado. Ahora toca realizar todas las etapas en el orden correspondiente y solucionar las incompatibilidades que nos surjan en la consecución de las diferentes etapas.

Como se ha comentado anteriormente, la parte más delicada y en la que se tenía que trabajar más a fondo era en la etapa de electroplating. Para el sputtering hay en el laboratorio el instrumental necesario, siendo este un proceso muy sencillo y estar bien definido. Ocurre lo mismo para la etapa de la fotolitografía. Aunque es bastante más laboriosa que el sputtering, está muy estandarizado dicho proceso. Sin embargo, no se dispone en el laboratorio de ningún útil orientado a llevar a cabo el proceso de electroplating y como se comento en apartados anteriores, el kit flash copper que se ha adquirido, está orientado a chapar de cobre pequeños objetos y no sustratos que serán tratados en etapas posteriores para conseguir un diseño final.

Por lo tanto, para llevar a cabo la etapa de electroplating, es necesario el diseño de una serie de útiles que faciliten el chapado de sustratos.

Hay que construir por un lado un recipiente para llevar a cabo dentro de este, el proceso de chapado, y por otro lado, hay que realizar un soporte que sujete el sustrato y lo sumerja dentro del electrolito de manera estable y controlada.

Los útiles diseñados tienen que cumplir una serie de características:

- No pueden ser conductores
- Resistente a compuestos químicos
- Resistente a la temperatura y a la electricidad
- Manejable y resistente

Se pensó por tanto en llevar a cabo los útiles haciendo uso de metacrilato. El metacrilato es un material relativamente sencillo de manipular, barato y cumple las características necesarias comentadas anteriormente.

Abajo se muestra la estructura del diseño del recipiente.

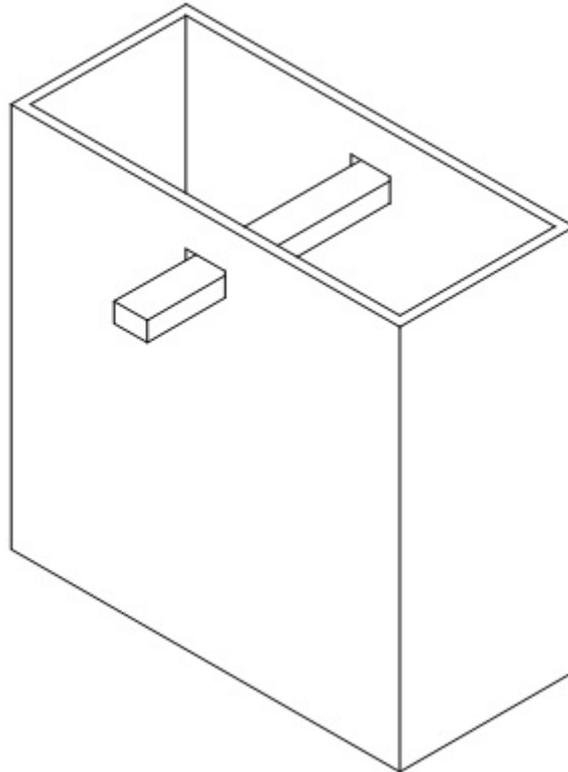


Figura 29. Recipiente electroplating

Las dimensiones del soporte son 200 x 90 mm de base y 200 mm de altura.

Tiene una apertura superior que se usa para estabilizar el soporte cuando lo introducimos dentro del recipiente.

El soporte es un elemento más elaborado y en el que hay que tener en cuenta más detalle.

Para el diseño del soporte hubo que tomar algunas precauciones:

- Por un lado necesita un contacto conductor para conectar a la fuente de alimentación y que este contacto haga contacto con la superficie conductora del sustrato.
- El contacto metálico tiene que estar aislado del electrolito. Esto es por un lado para evitar el deterioro de este contacto en continuados usos, así como evitar la contaminación del chapado realizado.

- Por otro lado hay que tener en cuenta la posibilidad de usar diferentes tipos de sustratos, así como diferentes tamaños.
- Hacer este soporte lo más sencillo, estándar y estable posible.

A continuación se muestra la imagen del soporte diseñado.

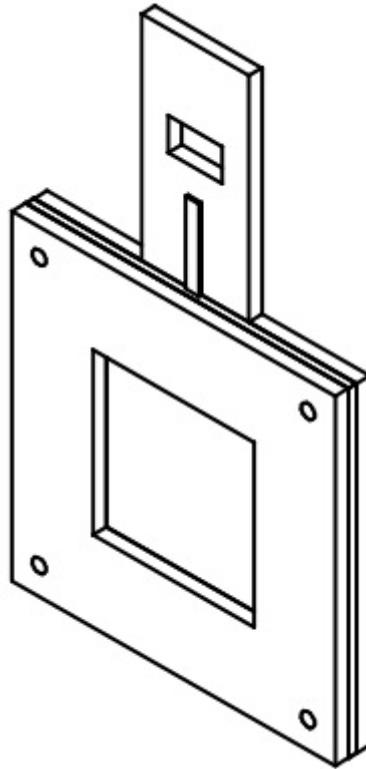


Figura 30. Soporte sustrato

Este soporte está compuesto por varias partes. Por un lado el soporte trasero sobre el que hay una lámina de material aislante. Las medidas de este soporte son de 120 x 120 mm. Esta parte tiene una apertura arriba que se usa para pasar la varilla que lo une al recipiente y hacer estable la sujeción.

La parte delantera está diseñada con una apertura interior para llevar a cabo chapados en una superficie de 60 x 60 mm. Esta parte frontal tiene una lámina de cobre de 1 cm de grosor alrededor de la apertura interior que hará de contacto con el sustrato y que se conectará a la fuente de alimentación por la parte superior.

Para unir la parte frontal y trasera se usan unos tornillos de Nylon para fijar el sustrato dentro del soporte.

Cuando se pensó en el diseño se optimizó para que cuando se desee chapar otro tipo de sustrato, simplemente haya que diseñar la parte frontal según las nuevas dimensiones y formas del sustrato que se desee chapar.

El diseño actual está realizado para sustratos cuadrados de 70 x 70 cm.

3.4. IMPLEMENTACIÓN SPUTTERING

El sputtering es un proceso que consiste en depositar finas películas de material, del orden de nanómetros, sobre sustratos. Se trata de un proceso físico en el que se produce la vaporización de los átomos de un material sólido mediante el bombardeo de iones energéticos. Este material sólido se desprende y se adhiere mediante un plasma al sustrato que se encuentra abajo en posición horizontal.

Este proceso es más estándar y sencillo que los procesos de fotolitografía y electroplating que se comentan en puntos posteriores. Consiste en depositar de forma horizontal el sustrato dentro del recinto y siguiendo los pasos definidos en el manual, obtener el grosor deseado. La deposición es independiente del sustrato que se utilice y depende de la presión de argón que se determine dentro del recinto, la intensidad que se aplique y el tiempo de exposición que se crea conveniente siguiente los datos facilitados por el fabricante.

En el laboratorio se dispone de oro y de níquel para usar con el sputter coater K550X. En este proyecto se usará el oro al ser un material muy buen conductor y resistente a la oxidación.



Figura 31. Sputter Coater

Siguiendo las indicaciones del manual se realizan pruebas para ver el funcionamiento completo de este proceso en el laboratorio.

En la gráfica aparece relacionado los grosores de oro que se obtienen en función de la intensidad que se seleccione y el tiempo de deposición que se determine.

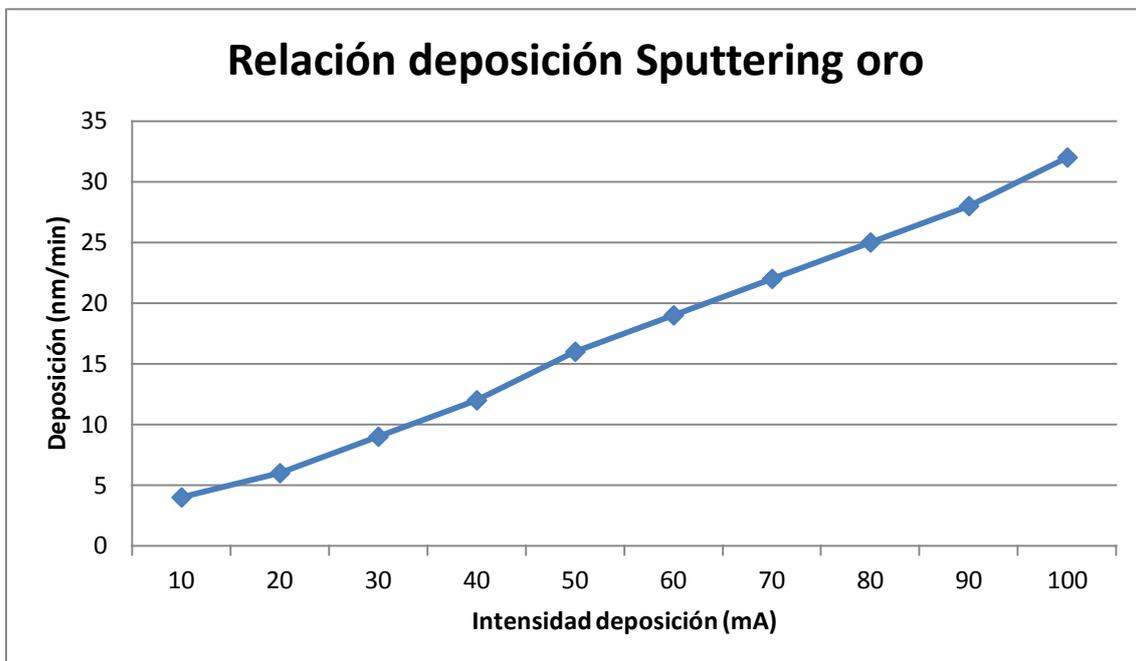


Figura 32. Relación, tiempo de exposición, intensidad y grosor de la capa de oro

Entrando en la parte práctica, el proceso tal y como se ha indicado es muy sencilla.

Por un lado es necesario un proceso de limpiado previo del sustrato, para que las partículas de oro se depositen sobre una superficie limpia y evitar problemas de adhesión.

En cuanto a configuración de los parámetros antes de depositar, por un lado hay que abrir la bomba de argón hasta que la presión sea de 0.3 mbar aproximadamente. Por otro es necesario configurar los parámetros de intensidad, tiempo de exposición y presión en el sputter. En principio, en función del grosor que se desee depositar, y atendiendo a la gráfica de la Figura 32, se obtienen los parámetros de intensidad y tiempo necesarios para llevar a cabo la deposición.

En la figura puede observarse una prueba de deposición en la que se depositaron diferentes grosores para hacer una comparativa entre ellos.



Figura 33. De izquierda a derecha, deposición de 40 nm, 60 nm y 20 nm

Puede observarse que conforme el grosor de la capa de oro es mayor, más intenso es el color dorado de la misma.

En esta etapa, en el caso de usar PCB, es muy importante elegir el lado sobre el que se deposita la capa de oro, ya que influía en gran medida en la etapa del chapado de cobre. Este punto se trata con más detalle en el punto 3.5.4.

Para el uso por el cual está orientado esta etapa, que no es otro que disponer de una capa semilla que haga de conductor para la etapa posterior de electroplating, grosores en torno a 20 ó 30 nm, son suficientes para conseguir correctos chapados.

Las diferentes pruebas realizadas, sobre oblea de silicio o PCB (esta segunda en mayor medida) está orientado para conseguir deposiciones del orden de 20 y 30 nm sobre la superficie. Estos grosores se consiguen en una única etapa de deposición. Los parámetros que dan lugar a la consecución de estos grosores son:

Presión: $\leq 1 \times 10^{-1}$ mbar.

Intensidad: 30 mA.

Tiempo exposición: 2 – 3 min.

3.5. IMPLEMENTACIÓN ELECTROPLATING

La implementación del chapado de cobre haciendo uso del electroplating es la parte más compleja y novedosa.

Tal y como se comenta en el apartado 3.2.1 donde se tratan las primera pruebas realizadas y las conclusiones preliminares, en esta etapa hay que definir todo el proceso completo ya que no se ha desarrollado ni probado anteriormente este tipo de proceso en el laboratorio, por lo que no hay ninguna herramienta o utensilio orientado a dicho proceso.

Tal y como se comentó y como se ha definido en el apartado 3.3, se han elaborado útiles para aplicar este proceso sobre sustratos.

El resultado obtenido tras llevar a cabo su maquetación se muestra en la siguiente figura:

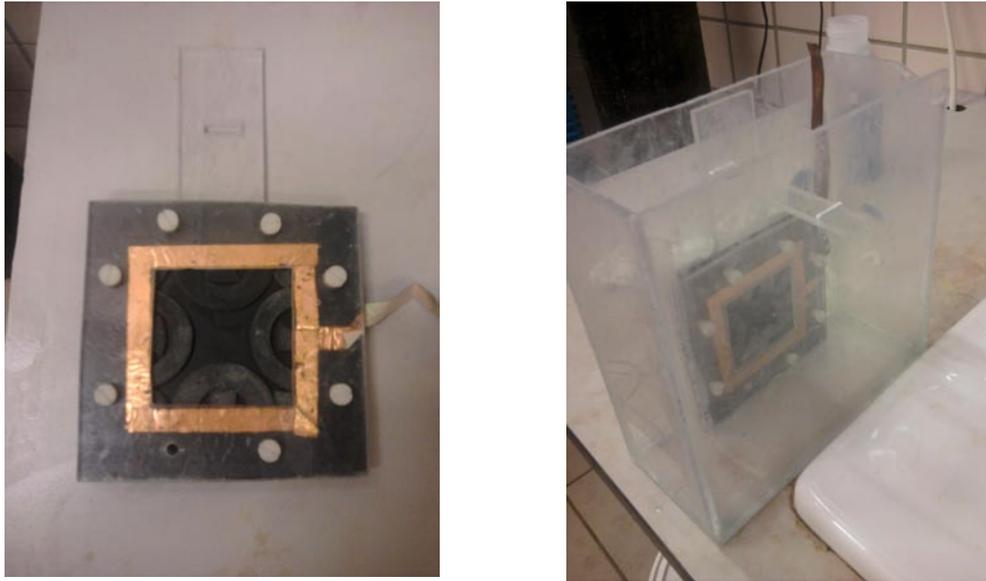


Figura 34. Soporte y recipiente diseñados para electroplating

Tal y como se puede ver, con este soporte, podemos chapar cualquier tipo de sustrato (únicamente cambiando el soporte frontal, por otro del tamaño), solucionando uno de los principales problemas que se comento en los apartados anteriores que es la inestabilidad de la sujeción de las piezas a chapar.

3.5.1. Electrolito

Para la composición del medio conductor, se hace uso de las proporciones marcadas por el fabricante y que se indican en la Tabla 3.

La capacidad del recipiente diseñado es de 1500 ml por lo que la cantidad necesaria de cada compuesto es:

TIPO DE COMPUESTO	CANTIDAD (ml)
Flash copper part A	333,33
Flash copper part B	83,33
Flash copper part C	83,33
Agua destilada	1000

Tabla 5. Cantidades para formar electrolito

Esta solución una vez realizada, es reutilizable durante varios procesos de chapado, pero requiere un mantenimiento.

Por un lado cada vez que se realice un chapado de cobre, es necesario filtrar la solución para eliminar las impurezas que quedan depositadas. Este filtrado se puede llevar a cabo fácilmente haciendo uso del típico filtro de café.

Por otro lado, hay que controlar el nivel de solución. En el recipiente hay una marca que determina la altura de la solución. Esta marca es muy importante ya que en cada proceso de chapado, al realizarse el proceso a una determinada temperatura, el agua que compone la solución se evapora poco a poco. Por ello, cada vez que se realice un chapado, es necesario controlar este nivel y rellenar con agua destilada en caso de ser necesario hasta llegar a dicho nivel.

3.5.2. Bomba agitadora

En el apartado 2.2.6 se trata el tema de la bomba agitadora. Tal y como se indica, durante la operación de chapado, una pequeña cantidad de hidrógeno se forma sobre el sustrato. Este hidrógeno es necesario eliminarlo ya que en caso contrario se forman pequeñas burbujas en la superficie del sustrato, que darían como resultado un chapado defectuoso. Otro de los motivos por el cual es necesario el uso de una bomba agitadora es para mover la solución y administrar solución fresca sobre la superficie del sustrato.

Para implementar el movimiento de la solución, se ha hecho uso de un ultrasonido que se dispone en el laboratorio. Se introduce el recipiente dentro del ultrasonido y con ello se consigue el objetivo de incluir una bomba agitadora que no es otro que evitar el estancamiento de la solución.

Una de las ventajas de usar el ultrasonido es que, el modelo que se dispone en el laboratorio, también permite calentar hasta 65°C. Con ello se consigue calentar la solución hasta los 40°C indicados por el fabricante, sin necesidad de usar el calentador y termoestator que vienen incluido en el kit.



Figura 35. Ultrasonido P-selecta

3.5.3. Chapado de cobre

A continuación se define el proceso de chapado, una vez que se han definido los utensilios e instrumentos que son necesarios.

Lo primero es realizar la composición del electrolito en las cantidades definidas en el apartado 3.5.1 e introducirlos dentro del recipiente. Se configura la temperatura a 40°C y se espera que la solución alcance la temperatura.

Mientras la solución llega a la temperatura deseada, colocar dentro del soporte el sustrato y atornillar los tornillos de Nylon.

Pese a que la apertura del soporte es de 6 x 6 cm, el sustrato tiene que tener unas dimensiones de 7 x 7 cm. Esto es así ya que el borde del sustrato tiene que hacer contacto con una fina lámina de cobre de 1 centímetro de grosor que hay en el borde interior del soporte frontal.

Una vez alcanzada la temperatura optima de la solución, introducir la lámina de cobre y el soporte dentro del recipiente uno en frente del otro.

La lámina de cobre se cablea al positivo de la fuente de alimentación, mientras que el contacto del soporte se cablea con el negativo de la fuente de alimentación.

La fuente de alimentación se configura a 2 voltios durante el proceso de chapado.

Se deja chapar durante el tiempo que se estime oportuno según el grosor buscado. En la Tabla 6 se muestra los grosores que se obtienen según el tiempo de chapado.

TIEMPO DE CHAPADO	GROSOR DE CHAPADO
15 minutos	6,35 μm
30 minutos	12,7 μm
60 minutos	25,4 μm

Tabla 6. Relación grosor – tiempo de chapado

Las diferentes pruebas llevadas a cabo, se uso un tiempo de chapado en torno a 20 – 30 minutos. Con ello se consiguen grosores en torno a 8 – 12 μm de cobre sobre la capa semilla de oro.

Se realizaron pruebas de chapado de menor y mayor tiempo, desde 7 minutos hasta 60 minutos, obteniendo correctos resultados.

3.5.4. Conclusiones

Durante las diferentes pruebas llevadas a cabo para el chapado se pudieron observar algunos puntos a tener en cuenta para conseguir un correcto chapado y para que estos no afecten negativamente en las etapas posteriores.

Por un lado se hicieron pruebas de chapado haciendo uso del ultrasonido y sin él. Se comprobó que el chapado si no se usaba el ultrasonido tenía un color rojizo oscuro, mientras que si se usaba el ultrasonido el chapado tenía un color mas “limpio”. Esto es debido a lo que se comento arriba de que era necesario el aporte de solución fresca sobre la superficie a chapar.

Por otro lado, se observó un problema en la adhesión del cobre y el oro según el sustrato utilizado.

En las diferentes pruebas de chapado llevadas a cabo, se ha hecho uso de PCB de dos caras y de PCB de una cara. Este PCB se trataba inicialmente para eliminar la capa de cobre que trae incorporada y usábamos el FR4 para llevar a cabo el proceso.

Las primeras pruebas consistían en depositar una capa semilla de oro para posteriormente llevar a cabo el proceso de chapado de cobre.

Se comprobó que en el caso de los PCB de 2 caras, el chapado se realizaba correctamente. Sin embargo, en los PCB de una sola cara, el chapado no siempre era correcto. Se comprobó que si se deposita el oro sobre la cara que inicialmente el PCB tenía cobre, al realizar el proceso de chapado de cobre, la adhesión de la lámina no es buena, llegando a despegarse en el propio proceso de chapado o en etapas posteriores.

Este problema puede observarse fácilmente ya que tanto la deposición del oro primero, como la deposición de cobre después, tienen un color muy brillante.

Los problemas de adhesión en función del lado sobre el que se lleva a cabo el proceso, quedan patentes al introducir la fotolitografía en el proceso.

3.6. IMPLEMENTACIÓN FOTOLITOGRAFÍA

Otro de los instrumentos a estudiar se trata del spin coater. Este instrumento se utiliza para depositar resina sobre sustratos.

Consiste en hacer girar un sustrato con resina a alta velocidad. Se deposita el sustrato dentro del spin coater y se activa la bomba de vacío que fija el sustrato sobre el soporte giratorio. Se deposita la resina con la ayuda de una jeringuilla sobre el sustrato y se hace girar este durante el tiempo y la velocidad que se haya calculado anteriormente a su deposición.



Figura 36. Spin Coater y bomba de vacío de izquierda a derecha.

Hay que recordar que para trabajar con fotorresina sensible a la luz, es necesario apagar las luces del laboratorio y solo se puede trabajar con luz blanca dentro de esta. Cualquier luz distinta de esta, reacciona con la resina y esta dejaría de ser útil para trabajar con ella.

Para hacer uso de esta técnica dentro del proceso que se está estudiando en este proyecto, el departamento ha adquirido una fotorresina positiva del grupo AZ-4500. Concretamente se trata de la fotorresina positiva AZ-4562. Se trata de una fotorresina muy útil cuando se desea depositar finas capas de resina del orden de 3-10 micrómetros.

3.6.1. Resina AZ-4562

Esta resina permite depositar hasta 10 micrómetros en una sola etapa de giro a 2000 rpm aproximadamente.

Otra de las características de esta resina es que se pueden depositar varias capas de resina intercalando cada una de las etapas de deposición de resina, con un calentamiento de esta que no exceda los 90°C o la temperatura máxima del último calentamiento que viene especificado en el data sheet.

Es aconsejable, después de hacer girar la resina para su correcta expansión sobre el sustrato, dejar el sustrato con la resina algunos minutos en posición horizontal para que se eliminen los vapores que se generan al usar este tipo de resina.

El grosor de la resina depositada depende en gran medida de la velocidad de giro que se utilice en el spin coater. A continuación se muestra una tabla que relaciona el grosor de la resina depositada en función de la velocidad elegida.

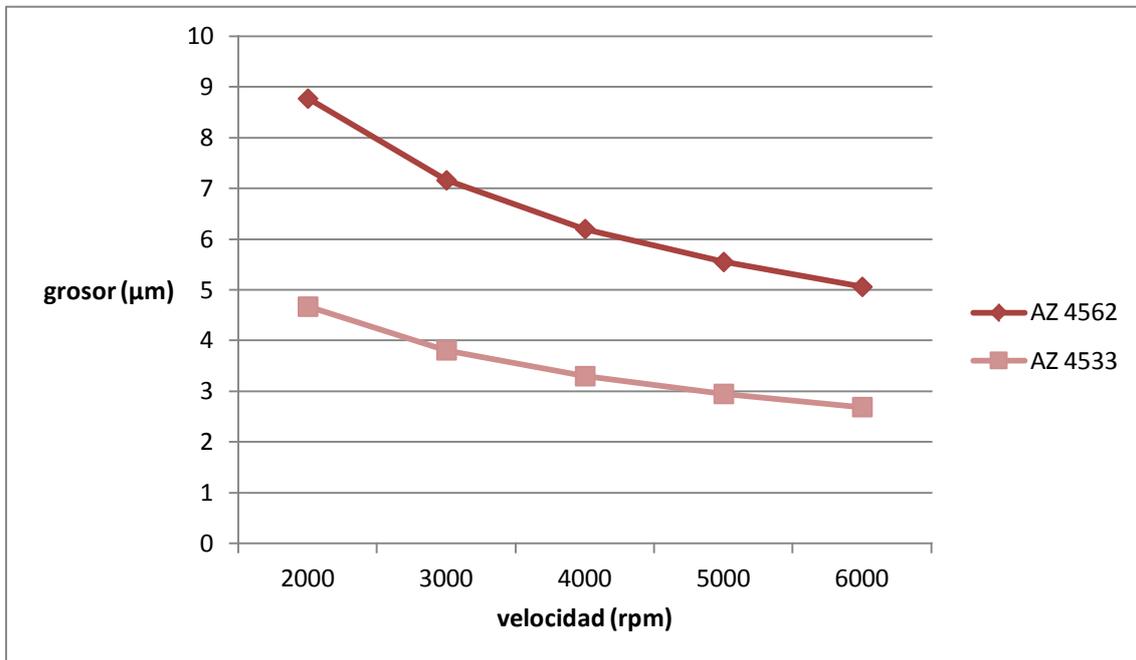


Figura 37. Relación de grosores con la velocidad de dos tipos de resinas de la familia AZ4500.

Otras de las resinas muy comúnmente usadas en el laboratorio se trata del SU-8. Dentro de esta resina aparecen varios tipos según la viscosidad que presentan. Se trata de una resina negativa con la que se llegan a conseguir grosores desde 0,5 micrómetros hasta 200 micrómetros en una única etapa de deposición. Debido a esto, se suele utilizar como sustrato para llevar a cabo diseños sobre ella.

A continuación se muestra una gráfica donde aparece relacionada la velocidad de giro y el grosor de resina que se consigue para diferentes tipos de resina SU-8 según su viscosidad.

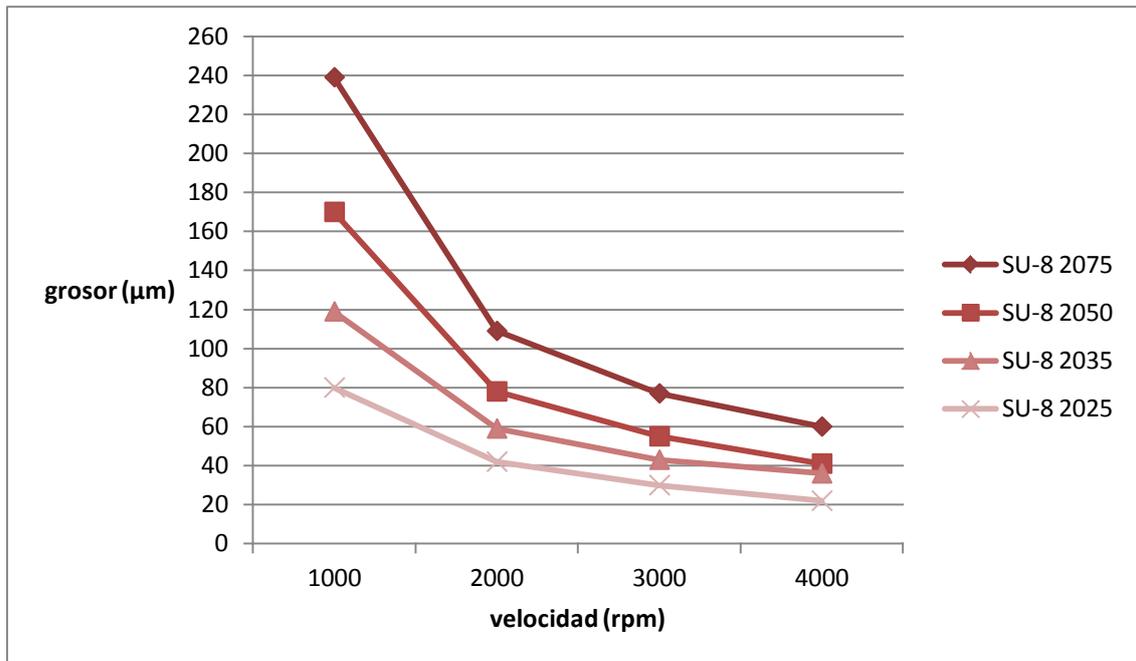


Figura 38. Relación de grosores de resina SU-8 de distinta viscosidad según la velocidad.

Como se puede observar las capas de resina que se consiguen con el SU-8 son mucho mayores que las que se consiguen con el AZ-4562. Este es uno de los motivos por lo que no se usa el SU-8 para utilizarla como capa aislante que posteriormente se eliminará. Las capas que se crean con el SU-8 al ser más gruesas, necesitan mayor tiempo de calentado después de la deposición, por no hablar el tiempo dedicado a eliminar la resina. Al ser una resina muy densa y las capas mucho mayores, hay que emplear bastante tiempo para llegar a conseguir eliminar la resina de las zonas deseadas.

Para nuestro diseño, se necesita una fina película de resina, y los tiempos empleados para conseguir el diseño deseado sobre la resina, deben de ser los menores posibles, ya que en este proceso que se está optimizando, la resina se elimina completamente y simplemente se utilizará en una etapa intermedia para conseguir el diseño final. Por ello, se necesita una resina, que deposite una pequeña capa sobre el sustrato y que el tiempo empleado en llevar a cabo el proceso completo de fotolitografía sea el menor posible. Estas características son las que hacen que la resina AZ-4562 sea ideal, de ahí que sea necesario su estudio y comprensión para este proyecto.

Pruebas

Las primeras pruebas llevadas a cabo dieron como resultado una deposición de la resina errónea. Los efectos encontrados fueron por un lado zonas sin resina y por otro la aparición de cometas.

El primero de los problemas tiene fácil solución ya que este problema surge debido a que se ha depositado poca resina sobre la superficie del sustrato.

La aparición de las rayas o cometas aparece debido a que la aceleración inicial del spin coater es muy elevada. La solución es calibrar un periodo inicial de 10 segundos aproximadamente en la que la aceleración sea más baja de la aceleración final recomendada por el fabricante. Con ello se consigue que en esa etapa inicial, se extienda la resina sobre la superficie, y una vez pasada dicha etapa inicial se alcanza la velocidad indicada por el fabricante para conseguir el grosor deseado.

Con todo esto, los parámetros configurados para conseguir grosores en torno a 8 μm sobre sustratos de 7 x 7 cm aproximadamente son los siguientes:

Resina depositada: 2ml aprox. (depende tamaño sustrato)

Aceleración inicial: 50 rpm durante 10 s.

Aceleración máxima: 2000 rpm

Tiempo total: 40 – 45 s.

3.6.2. Prebake

Una vez que se ha depositado la fotorresina, el siguiente paso es calentar el sustrato para que esta se endurezca.

Antes de llevar a cabo este calentamiento, tal y como se indica en el data sheet, es necesario dejar el sustrato en torno a 15 minutos a temperatura ambiente después de la deposición para eliminar los gases que se producen durante el proceso.

Una vez pasado estos 15 minutos, se lleva a cabo el calentamiento.

Según indicaciones del fabricante hay que calentar a 100 °C durante 50 segundos. Este paso hay que controlar muy bien el tiempo ya que si se deja más tiempo se producen pequeñas grietas en la resina.

3.6.3. Insolado

En esta etapa se expone, haciendo uso de máscaras, a luz ultravioleta, para definir el diseño sobre la resina para posteriormente eliminar la resina.

En este proceso influyen 2 parámetros:

- La máscara o fotolito.
- El tiempo de insolado.

Al tratarse de una fotorresina positiva, la máscara debe de ser de campo oscuro, es decir, en la etapa posterior de revelado, la resina que no se elimina es la parte que estaba debajo de la zona oscura de la máscara, eliminándose el resto.

El tipo de máscara y calidad de la impresión del diseño afectan en gran medida al tiempo necesario para llevar a cabo el proceso de insolado. En el caso ideal en el que la máscara sea totalmente opaca la zona oscura y transparentes el resto de zonas, el tiempo de insolado ha de ser el mínimo que sensibilice por completo las zonas transparentes de la máscara.

En nuestro caso se hizo uso de mascarar de acetato que presentan muy buenas características de opacidad y transparencia por lo que, tiempos de insolado de 1:30 minutos dieron magníficos resultados para la posterior etapa de revelado.

3.6.4. Revelado

Una vez insolado, hay que llevar a cabo el proceso de revelado. Para este proceso es necesario usar el revelador AZ 400K específico para esta resina disuelto en agua destilada. Las proporciones para preparar la solución son de 1:4 de agua destilada y revelador respectivamente.

Cuanto mayor es la concentración del revelador, menos tiempo tarda el sustrato en revelarse. El tiempo de revelado, también depende del tiempo de insolado en la etapa anterior.

Las proporciones usadas para llevar a cabo la solución han sido las siguientes:

TIPO DE COMPUESTO	CANTIDAD (ml)
Agua destilada	80
Revelador AZ400K	20

Tabla 7. Cantidades para formar revelador resina

Según el fabricante la velocidad del revelado es de $30''/\mu m$ para finas capas de fotorresina.

Para deposiciones en torno a $8 - 10 \mu m$ que se han llevado a cabo, tiempos de revelado entre $4 - 5$ minutos son suficientes para un revelado correcto.

Este revelado es aconsejable hacerlo en 2 etapas. Una primera etapa de 3 minutos, y posteriormente introducir en un nuevo baño entre 1 y 2 minutos aproximadamente para eliminar por completo la resina que pueda quedar.

3.6.5. Postbake

En esta última etapa se busca el endurecimiento de la fotorresina y mejorar la adherencia a la superficie del sustrato. Además, esta última etapa de calentado ayuda a la fotorresina a resistir un ataque ácido que se llevará en una etapa posterior dentro del proceso que se está definiendo.

Para la realización de este calentamiento, se utiliza el mismo hotplate que el usado en la etapa de prebake. Se deja calentar a $115^\circ C$ durante 50 segundos.

3.6.6. Remover

Para llevar a cabo la eliminación total de la resina depositada sobre toda la superficie, es necesario el uso del remover AZ100 mezclado con agua destilada.

Las proporciones de ambos componentes son 1:1. Tiempos en torno a 5 minutos consiguen eliminar todo resto de resina que pudiera existir en la superficie del sustrato.

Las cantidades usadas para llevar a cabo la solución son:

TIPO DE COMPUESTO	CANTIDAD (ml)
Agua destilada	40
Remover AZ100	40

Tabla 8. Cantidades para formar remover resina

3.7. IMPLEMENTACIÓN ATAQUE ÁCIDO

Esta etapa se trata de la penúltima etapa en el proceso que se está definiendo (ver Figura 25) pero la más crítica en el desarrollo del proceso completo.

Se trata de eliminar mediante el uso de ácidos el metal de las zonas donde no se desean.

Se usan 2 ácidos altamente tóxicos y corrosivos por lo que en esta etapa es muy importante, además de las medidas de seguridad básicas de una sala blanca, el uso de gafas y mascarilla (ver ANEXOS). También es muy importante tener totalmente controlada y despejada la zona de trabajo, además de tener una correcta ventilación.

Los ácidos usados son el ácido nítrico y ácido clorhídrico. Estos ácidos se mezclan en las proporciones de 1:3 partes en volumen respectivamente dando una solución denominada agua regia.

El ácido nítrico, es un potente oxidante, que puede disolver una cantidad de metal como, por ejemplo, el oro.

Por otro lado el ácido clorhídrico, proporciona iones de cloruro, que coordina a los iones del metal a eliminar, sacando dicho metal de la disolución. Esto permite que siga oxidándose el metal, por lo que el metal acaba disolviéndose.

El agua regia es una de las pocas mezclas que son capaces de disolver el oro, platino y el resto de metales. El agua regia no es una solución muy estable, por lo que se debe preparar justo antes de ser utilizada.

Tratando el tema de manera práctica, en el laboratorio, se dispone de una zona con correcta ventilación y con un fregadero donde llevar a cabo la solución.

Como se ha comentado anteriormente es muy importante cumplir las normas de seguridad e ir bien equipado con gafas y mascarillas entre otros.

Ayudados con una pipeta, hay que llevar a cabo la mezcla de los ácidos en la proporción 1:3 de ácido nítrico y ácido clorhídrico respectivamente.

La solución se debe de realizar sobre un recipiente de cristal ya que repetidas pruebas en recipientes de plásticos, acaban por perforar dicho material.

Las proporciones tomadas en el laboratorio, son las suficientes para que la solución cubra por completo el sustrato.

La relación de proporcionalidad 1:3 de ambos ácidos, es una mezcla muy agresiva y que ataca rápidamente al metal a eliminar. Una relación de proporcionalidad de 9:41 hace que la solución sea menos agresiva en la eliminación del metal, teniendo mayor control del proceso y obteniendo el mismo resultado.

Las proporciones usadas en el laboratorio para llevar a cabo la eliminación del metal son:

COMPONENTE	PROPORCIÓN (1:3)	PROPORCIÓN (9:41)
Ácido Nítrico	20 ml	18 ml
Ácido Clorhídrico	60 ml	82 ml

Tabla 9. Cantidades composición agua regia.

El agua regia tiene una velocidad de eliminación de metal en torno a $10 \mu\text{m}/\text{min}$, por lo que para chapados de cobre de 15 minutos basta con menos de 1 minuto para conseguir eliminar el metal de la superficie del sustrato.