

5. Proceso de fabricación

5.1 Introducción

Una vez estudiados y definidos todos los parámetros del sensor de flujo basado en el principio calorimétrico se pasará a describir su proceso de fabricación.

En este capítulo se detallarán los diversos procesos de fabricación que se han ido realizando en la etapa de diseño para caracterizar cada componente del sensor de flujo. Para desarrollarlo según el orden de aparición, primero se describirá el proceso de fabricación de las distintas máscaras utilizadas y posteriormente se definirán los procesos utilizados para la preparación de los PCBs para caracterizar níquel y oro.

Por último se describirá el proceso de fabricación del prototipo final, dividido en dos partes. Por un lado se detallarán los pasos realizados para obtener los sensores de temperatura y poder así caracterizar su comportamiento y una segunda parte que comprenderá todos los pasos necesarios para fabricar el prototipo del sensor de flujo. Para llegar a este proceso de fabricación se realizaron varias alternativas hasta llegar a un proceso definitivo, funcional y repetitivo.

Se ha añadido el proceso de fabricación de los sensores de temperatura debido a que son una parte fundamental del sensor de flujo. Mediante la obtención de unos sensores de temperatura que sean fiables, estables y lineales se puede obtener un sensor de flujo con unas características aceptables.

El material elegido, como se comentó anteriormente, es la resina epoxy fotosensible SU-8 serie 2000 de MicroChem. El sustrato elegido es FR4, placa de PCB con cobre por una sola cara, en la que la deposición se realizará por el lado en el que no está el cobre. La elección se debe a la mayor accesibilidad a este tipo de sustrato, a su precio, a la buena adherencia que presenta con el SU-8 y la fácil integración de electrónica y microfluídica.

El dispositivo final constará de unas entradas y salidas que serán fabricadas por la unión de tubos de distinto diámetro, tanto flexibles como rígidos y de una tapadera de acetato. Para realizar estas uniones se usará un pegamento epoxy de dos componentes.

5.2 Fabricación de máscaras

En este apartado se detallará el proceso utilizado para fabricar las máscaras en fotolito a través del Photoplotter.

Las máscaras fabricadas fueron dos, la que contenía las pistas para caracterizar el oro y las del serpentín.

Máscara para caracterización de oro

- a) Para fabricar la máscara con la que se caracterizará el oro, previamente hubo que diseñar las dimensiones de las pistas mediante el software L-EDIT. El diseño fueron dos grupos de cuatro pistas rectas con un ancho de 100 μm y longitudes de 2 mm, 7 mm, 10 mm y 15 mm. Cada pista tenía dos pads cuadrados de 2 mm de lado para poder medir su resistencia con las pinzas del multímetro. Estas pistas se diseñaron bastante separadas una de la otra para facilitar el despegue de la máscara de SU-8 del PDMS y reducir así el riesgo de que aparecieran grietas. Alrededor de la máscara se creó también un marco de 2mm de espesor. El diseño se muestra en la Figura 5.1.

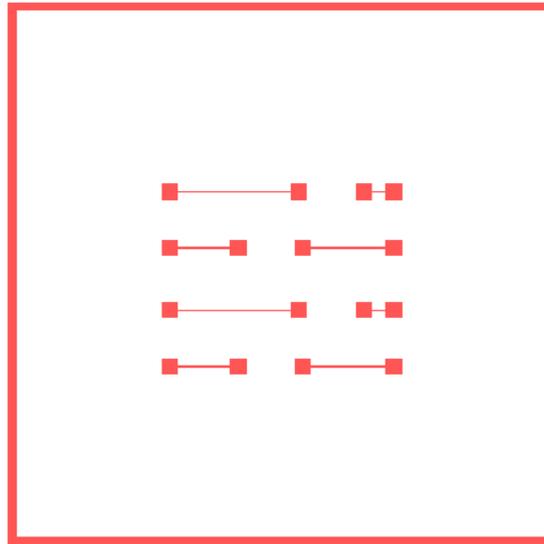


Figura 5.1. Diseño de la máscara para caracterizar Oro

- b) Tras diseñar la máscara mediante el software L-Edit se deben realizar unos pasos intermedios para obtener el formato de archivo necesario para que el Photoplotter, encargado de revelar y fabricar la máscara trabaje adecuadamente.

El software *L-Edit* exporta el archivo en formato GDS y esta extensión se convertirá a .GERBER mediante el software *Linkcad*. Esta nueva extensión será convertida a FPF con una resolución de 4064 ppp mediante el software *Convert Gerber into FPF*. Finalmente, el Photoplotter será ejecutado mediante el software *Photoplotter via USB*, que será configurado a una resolución de 4064 x 8600 ppp. Una vez configurado el Photoplotter y antes de continuar se apagarán tanto la luz del monitor del PC como la luz blanca de la sala y se encenderá una luz verde especial que no afectará al fotolito donde se grabará la máscara.

Se recortará un trozo cuadrado de fotolito, de aproximadamente 10 centímetros de lado, y será pegado al torno del Photoplotter mediante cinta adhesiva, con la cara oscura hacia afuera. Tras cubrir el torno del Photoplotter con la carcasa protectora que evita el deterioro del fotolito debido a una luz externa, se enciende el monitor del PC y se ejecuta la orden Plot, que comienza el proceso de revelado de la máscara.



Figura 5.2. Photoplotter

- c) Mientras está el fotolito en el Photoplotter (proceso que dura aproximadamente 40 minutos), se preparan los líquidos necesarios para revelar la máscara. Estos líquidos serán colocados en bandejas independientes y son el revelador concentrado del fotolito Kodak RA-2000, agua y el fijador concentrado Kodak RA-3000. El revelador concentrado Kodak RA-2000 será diluido en agua en una relación en volumen revelador:agua de 1:2 y el fijador Kodak RA-3000 en una relación en volumen fijador:agua de 1:3.

Una vez finalizado el Photoplotter y con la luz blanca apagada, se coge el fotolito y se introduce en la primera bandeja que contenía el revelador concentrado Kodak RA-2000 y se mantiene sumergido durante un minuto. Es importante conseguir que el fotolito se empape bien de líquido. Tras finalizar este período de tiempo, se introdujo el fotolito en la segunda bandeja, que contiene agua, durante otro minuto.

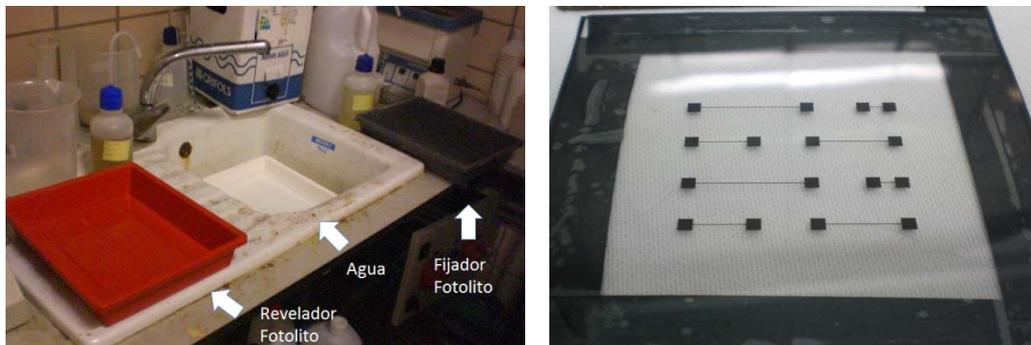


Figura 5.3. Bandejas con los líquidos de revelado (izquierda) y máscara obtenida en el Photoplotter (derecha)

- d) Finalmente, se mantiene cinco minutos en la última bandeja que contiene el fijador Kodak RA-3000. Tras este procedimiento se obtuvo el fotolito con la máscara diseñada. Solo quedaba limpiarla, enjuagarla en agua y dejarla secar.

Máscara de los calentadores de cobre

Para obtener el calentador de cobre mediante técnicas de fotolitografía fue necesario fabricar una máscara a través del Photoplotter debido a la poca distancia que hay entre las pistas del serpentín.

Por ello se diseñó una máscara en acetato mediante Photoplotter y el software L-Edit con un serpentín de 100 μm de ancho de pista, con una separación entre pistas de 200 μm y una

longitud aproximada de 3,5 cm de largo. En la Figura 5.4 se muestran tanto las dimensiones del serpentín como las pistas de cobre que se usaron para conectar tanto el serpentín como los sensores de temperatura de oro que se depositaran posteriormente

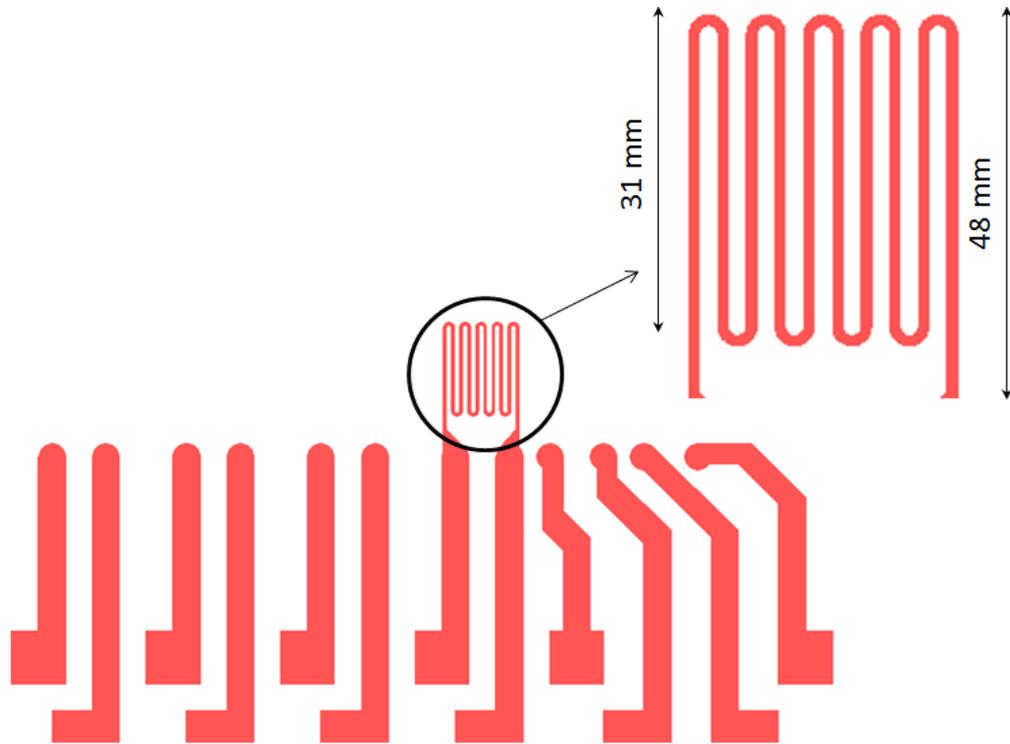


Figura 5.4. Máscara para el calentador de cobre

El proceso de fabricación fue el mismo utilizado anteriormente para la fabricación de la máscara para caracterización de oro, por ello no se vuelven a detallar todos los pasos. El resultado final puede observarse en la Figura 5.5

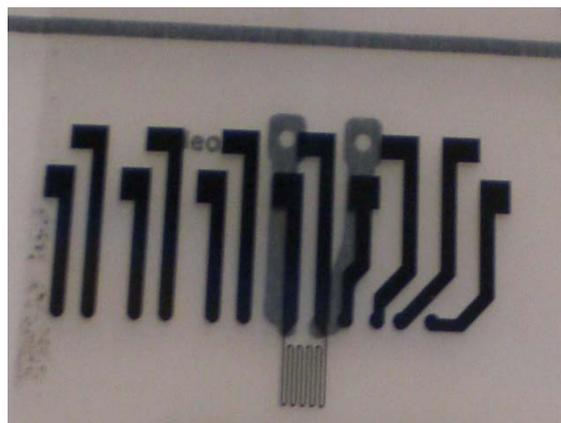


Figura 5.5 Máscara para el calentador de cobre

5.3 Proceso de SU-8 para caracterización de níquel y oro

En este apartado se describirán los distintos procesos de fabricación a los que se ha hecho referencia en el “Capítulo 4. Diseño” para caracterizar el comportamiento de níquel y oro.

Caracterización de níquel

A continuación se detalla el proceso de fabricación utilizado para caracterizar el níquel.

Primero, se preparó el sustrato donde se depositó el níquel y se realizaron las pruebas. Se usó un PCB como sustrato rígido y por la cara donde no hay cobre se depositó una capa de SU-8 y tras endurecerlo, sirvió de sustrato para las deposiciones.

- a) Se buscó un trozo de PCB de una sola cara y se cortó un cuadrado de 7 cm. de lado aproximadamente. Se eliminó mediante acetona la resina que hay en la cara opuesta a la cara con cobre. Este proceso se realizó en el taller para evitar ensuciar la sala blanca con virutas.
- b) Se encendió la luz amarilla y se colocó el PCB en la máquina Spin Coater. Se activó la bomba de vacío para adherir el PCB al plato del Spin Coater y se programó a 1500 rpm que equivale a un espesor de capa de 115 μm . Se depositó sobre el PCB un poco de SU-8 2025 directamente desde la botella y se pulsó el botón RUN para que el Spin Coater comenzará el proceso, el cual dura 60 segundos.
- c) Para el Soft-Bake se colocó la placa en el Hot-Plate para curarla el tiempo mostrado en la Tabla 5.1.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo (min)
65	2
95	20

Tabla 5.1. Tiempos de Soft-Bake

- d) Tras pasar por el Hot-Plate, se insoló la placa por una sola cara durante un minuto en la insoladora.
- e) Se realizó la etapa Post Exposure Bake durante el tiempo mostrado en la Tabla 5.2.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo (min)
65	2
95	3

Tabla 5.2. Tiempos de Post Exposure-Bake

- f) Por último, se limpió la placa con Isopropanil (IPA)

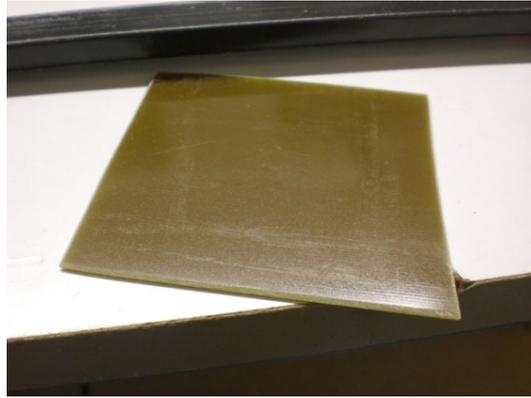


Figura 5.6. Placas PCBs después de depositar una capa de SU-8 encima

Tras estos seis pasos se tuvo lista la placa donde se realizaron las deposiciones de níquel.

Caracterización de oro mediante máscara de SU-8

Para caracterizar el oro utilizando la máscara de SU-8 se utilizó el proceso de fabricación que se describe a continuación:

Primero se preparó un trozo de PCB cuadrado de 8 cm de lado y se depositó encima una capa de SU-8 de 115 μm de espesor. Para ello se utilizó el proceso de fabricación empleado anteriormente para la caracterización del níquel, por lo que no se volverá a nombrar todo el proceso.

Tras preparar el PCB, se fabricó la máscara de SU-8 sobre PDMS y acetato. Para ello:

- a) Se recortó un trozo cuadrado de acetato, de aproximadamente 8 centímetros de lado, sobre el que se depositó el PDMS. Éste estuvo formado por una mezcla de 4 gramos de prepolímero y 0,4 gramos de agente curador que fueron mezclados en un envase específico para ello. Se intentó mezclarlos durante un tiempo suficiente para que se garantizase una mezcla lo más homogénea posible.
- b) Para eliminar las burbujas originadas debido a la mezcla se introdujo el envase en la campana de vacío durante 40 minutos con un vacío de 500 mbar.
- c) Se colocó el acetato en el plato del Spin Coater y se activó la bomba de vacío para que lo fijase al plato y evitase que se desplazara. Se depositó el PDMS sobre el acetato y con una aguja limpia se pincharon las burbujas que aparecieron en la superficie, para evitar irregularidades en la superficie del PDMS. Se programó el Spin Coater a 700 rpm durante 60 segundos, que equivale a un espesor aproximado de 115 μm .
- d) Tras acabar este minuto se colocó el acetato en el Hot-Plate durante 20 minutos a 80°C para que curase el PDMS.



Figura 5.7. Deposición del PDMS sobre acetato en Spin Coater.

Tras finalizar la preparación del PDMS se depositó encima SU-8 para fabricar la máscara. Para ello se utilizó el SU-8 2025 de Micro-Chem. Toda la preparación del SU-8 se realizó con luz amarilla.

- e) Se programó el Spin Coater a 1800 rpm durante un minuto y se colocó el acetato sobre el plato. Se depositó el SU-8 sobre el PDMS y se activó la máquina, obteniéndose de este modo un espesor de SU-8 de 110 μm .
- f) Se colocó el acetato en el Hot-Plate para realizar el Soft-Bake y eliminar el disolvente del SU-8. Los tiempos que se tomaron fueron los estimados para garantizar que se eliminara el disolvente poco a poco, evitando que el SU-8 se arrugará debido a un calentamiento rápido. Éstos se muestran en la Tabla 5.3.

Temperatura	Tiempo
40°C	1 h
50°C	1 h
60°C	2 h
50°C	20 min
40°C	20 min
30°C	20 min

Tabla 5.3. Tiempos y temperaturas utilizados en Soft-Bake.

- g) Tras esta etapa el SU-8 se encontraba preparado para ser insolado con la máscara de acetato fabricada anteriormente. Para ello se utilizó la alineadora, aunque en nuestro caso no hubo que alinear máscaras. Hubo que tener en cuenta que el SU-8 es una resina negativa, por lo que grabará la zona donde no se proyecte la luz. El tiempo de insolado fue 40 segundos.
- h) Una vez insolado, se colocó el acetato en el Hot-Plate a distintas temperaturas y tiempos para que polimerizara el SU-8 iluminado y evitar que se eliminase todo al revelar. Los tiempos y las temperaturas se muestran en la siguiente Tabla 5.4.

Temperatura	Tiempo
50°C	3 minutos
45°C	2 minutos
40°C	2 minutos
35°C	2 minutos
30°C	2 minutos

Tabla 5.4. Tiempos y temperaturas utilizados en Post Exposure-Bake

- i) Una vez retirada del Hot-Plate se eliminó el SU-8 no polimerizado por inmersión en una bandeja que contenía PGMEA durante 5 minutos. Tras este período de tiempo, se enjuagó con Isopropanol (IPA) y se dejó secar.

Una vez secado el SU-8 se tuvo la máscara lista para ser utilizada.

5.4 Calentador

El calentador del sensor de flujo se fabricó en cobre mediante técnicas de fotolitografía. La máscara utilizada se describió anteriormente en el apartado 2. “Fabricación de máscaras” del presente capítulo. Mediante el proceso de fabricación que se detallará a continuación se obtendrá un calentador de cobre con geometría de serpentín de 3,5 cm de longitud ocupando un área de 9,8 mm².

El proceso de fabricación que se utilizó fue:

- a) Se cortó con la segueta un trozo de PCB rectangular de 5 x 3 cm y posteriormente se limó el canto para eliminar posibles virutas y salientes que pudieran quedar en los bordes.
- b) Una vez preparado el PCB se procedió a insolar la placa. Para ello se quitó el protector azul del cobre de la placa y se colocó en la insoladora. Encima de la placa se colocó centrada la máscara del serpentín y las pistas que deseamos. Se bajó la cubierta de plástico de la insoladora y se activó el botón de “Vacío”, para que de este modo se hiciera el vacío entre el cristal donde está colocada la placa y el plástico superior para que quedando la máscara totalmente unida al PCB y evitando que se levantase y no salieran bien las pistas cobre. Tras comprobar que la máscara estaba correctamente situada se configuró la insoladora para que insolase por una sola cara durante 2,5 minutos.
- c) Transcurrido este tiempo se desactivó el botón de “Vacío”, se levantó la tapa de plástico y se introdujo el PCB en una bandeja que contenía el revelador del PCB. Con este proceso se pretendía eliminar la resina que había sido expuesta a la luz de la insoladora, es decir, las zonas donde no se deseaba que hubiera cobre. Se mantuvo la placa sumergida en el revelador aproximadamente 2 minutos.
- d) Tras revelar la placa se enjuagó con agua para eliminar restos de revelador y se introdujo en una bandeja con el ácido que arrancará el cobre que no está cubierto por el revelador. Este ácido es una mezcla de agua oxigenada, agua fuerte y agua en proporciones de 1:1:2 respectivamente. En nuestro caso como las placas son pequeñas se utilizaron 20 ml de agua oxigenada, 20 ml de agua fuerte y 40 ml de agua. Tras preparar la mezcla se introdujo el PCB en la bandeja con el ácido para que fuese eliminándose el cobre sobrante. Es muy importante estar atento en esta etapa porque al ser el serpentín tan fino (100 µm de ancho) y ser el ácido tan agresivo puede romper alguna pista y evitar que haya continuidad en la pista. Una vez revelada la pista y comprobado que el serpentín había sido fabricado correctamente se enjuagó el PCB con agua.
- e) El último paso es eliminar la resina que había quedado depositada sobre las pistas de cobre de nuestra placa. Esto se consigue frotando las pistas con un trapo mojado con acetona.

Tras este clásico proceso de revelado de placas se obtuvo el serpentín y las pistas de cobre donde se conectaron los sensores de temperatura.

5.5 Sensores de temperatura

Para poder caracterizar el comportamiento de los sensores de temperatura y comprobar el buen funcionamiento de la electrónica de adaptación de señal es necesario fabricar un prototipo de sensor de temperatura que sea análogo al que se utilizará posteriormente en el sensor de flujo. Para ello se utilizarán las mismas máscaras que en el prototipo final, siendo las longitudes del serpentín de oro y su comportamiento similar al que se obtendrá una vez que sean instalados en el sensor de flujo.

El método de fabricación será parecido al comentado anteriormente para obtener los serpentines de oro o cobre. Para ello, primero se grabarán en un PCB las pistas de cobre para luego depositar una capa de SU-8 encima y por último obtener los sensores de temperatura de oro.

Lo primero de todo y antes de comenzar a fabricar el sensor de temperatura es diseñar la máscara con las pistas de cobre de modo que al depositar oro se obtenga continuidad eléctrica entre ambos metales y de este modo poder soldar cables a los pads de cobre y poder alimentar el sensor de temperatura para poder realizar medidas. Este diseño comprenderá distintas pistas de un ancho de 1 mm coincidiendo con el ancho de los pads de la máscara de acetato de los serpentines de oro. Como al fabricar los sensores de temperatura y depositar oro, éste se deposita en toda la superficie de la placa introducida en el Sputtering, se puede aprovechar un mismo proceso para fabricar varios sensores de temperatura a la vez. Por ello, cuando se diseñe la máscara, se duplicará para obtener dos grupos de pistas de cobre para de este modo tener la posibilidad de poder fabricar dos conjuntos de sensores de temperatura.

El diseño de la máscara se realizó mediante el software L-Edit y se tuvo cuidado para conseguir hacer coincidir los pads de cobre con los pads de la máscara de acetato. El proceso de fabricación utilizado fue el mismo que el descrito en el apartado 2. “Fabricación de máscaras”, de este mismo capítulo, por ello no se vuelve a repetir.

En la Figura 5.8 puede observarse tanto el diseño de la máscara como el resultado final una vez fabricada en Photoplotter.

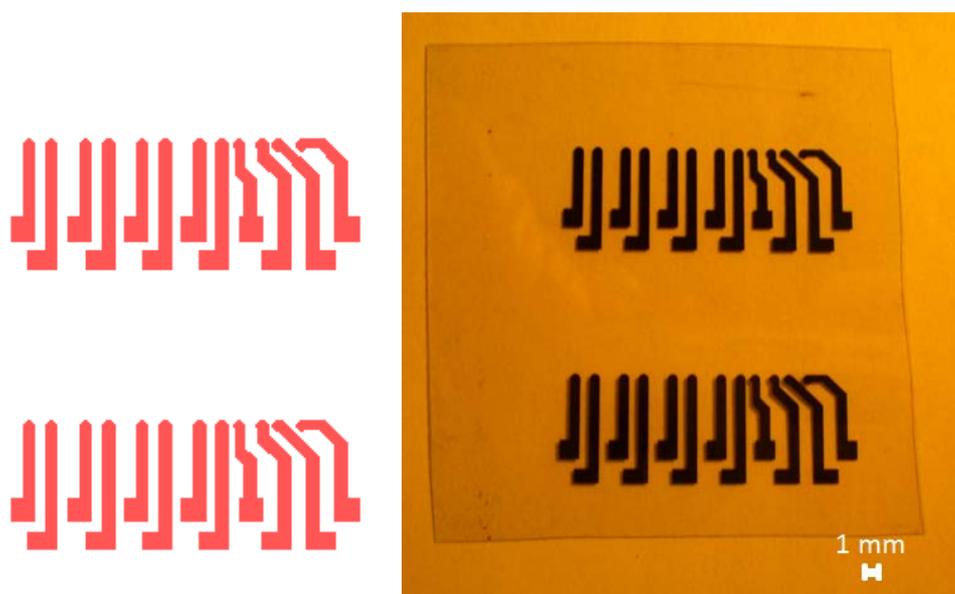


Figura 5.8. Diseño y resultado de las máscaras para las pista de cobre

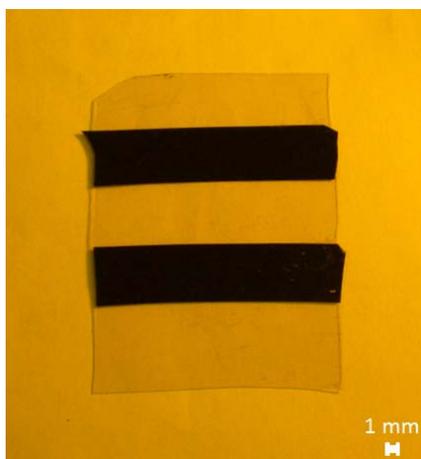
Una vez fabricada la máscara pasaremos a fabricar los sensores de temperatura. A continuación se describe el proceso de fabricación que se ha llevado a cabo.

- a) Lo primero fue cortar un trozo de PCB de una sola cara de aproximadamente 6 x 4 cm. Tras ello se limaron los cantos para eliminar virutas.
- b) Para obtener las pistas de cobre se utilizó el proceso de fabricación descrito en el apartado 4 "Calentador" del presente capítulo, donde se utilizó la máscara mostrada en la Figura 5.8.
- c) Para depositar el SU-8 sobre el que se fabricaron los sensores de oro se introdujo la placa en Spin Coater y se activó la bomba de vacío para fijar el PCB al plato. Se programó a 2700 rpm que equivale a unas 50 μm de espesor y se activó para que comenzase la deposición durante un minuto.
- d) Tras finalizar este minuto se realizó en el Hot-Plate el Soft-Bake a las temperaturas y tiempos indicados en la Tabla 5.5.

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
65	2
95	20

Tabla 5.5. Tiempos y temperaturas de Soft-Bake

- e) Tras finalizar el Soft-bake se retiró la placa del Hot-Plate y se dejó enfriar. Se introdujo en la insoladora y se insoló durante 25 segundos.



La máscara que se utilizó es la mostrada en la Figura 5.9 y su función fue eliminar el SU-8 que había sobre los pads de cobre para poder así soldar cables en ellos para poder caracterizar y medir los sensores de temperatura de oro.

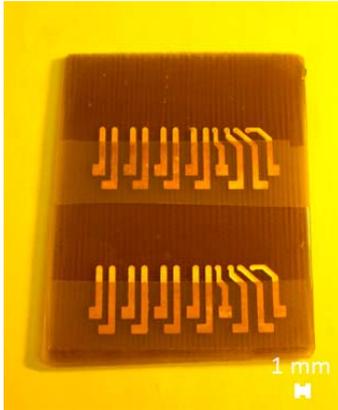
Figura 5.9. Máscara para eliminar el SU-8 de los pads de cobre

- f) Tras insolar se realizó el Post Exposure-Bake para polimerizar el SU-8. Éste se realizó en el Hot-Plate a los tiempos y temperaturas mostradas en la Tabla 5.6.

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
65	3
95	5

Tabla 5.6. Tiempos y temperaturas de Post Exposure-Bake

- g) Tras polimerizar el SU-8 deseado ya sólo quedaba eliminar el que había sobre los pads de cobre. Para ello se introdujo en un bote el revelador PGMEA y se sumergió la placa durante 4 minutos. Transcurrido este tiempo ya se vieron los huecos sobre el SU-8. Este



paso del proceso de fabricación puede observarse en la Figura 5.10.

Figura 5.10. Placa con SU-8 en las zonas donde se depositará oro

- h) El último paso fue depositar oro en las zonas donde había SU-8. Para ello se utilizó la máscara de acetato fabricada con el láser que tenía los serpentines grabados. Se colocó la máscara en la zona donde correspondía en la placa teniendo precaución para que coincidieran las pistas de cobre con los pads de la máscara y así establecer continuidad eléctrica entre el serpentín de oro y los pads de cobre. Una vez fijada con cinta adhesiva la máscara al PCB, se recubrió el resto de la placa con cinta adhesiva para evitar que se llenasen de oro zonas de que no deseábamos.

Una vez preparada se introdujo en el Sputtering y se programó a una corriente de 30 mA, que se corresponde a una deposición aproximada de 10 nm. por minuto. Como se estudió anteriormente, el espesor de oro depositado fueron 120 nm., por lo que se depositaron en tres pasos de cuatro minutos cada una. Las condiciones de estas deposiciones son mostradas en la Tabla 1 del “Anexo 4. Tablas del sensor de temperatura”.

En la Figura 5.11 se muestran las imágenes de este paso de deposición de oro. A la izquierda se puede observar como se ha preparado la placa con la máscara y la cinta adhesiva antes de introducirla en Sputtering y a la derecha como resulta tras ser depositados 120 nm. en la superficie de la placa.

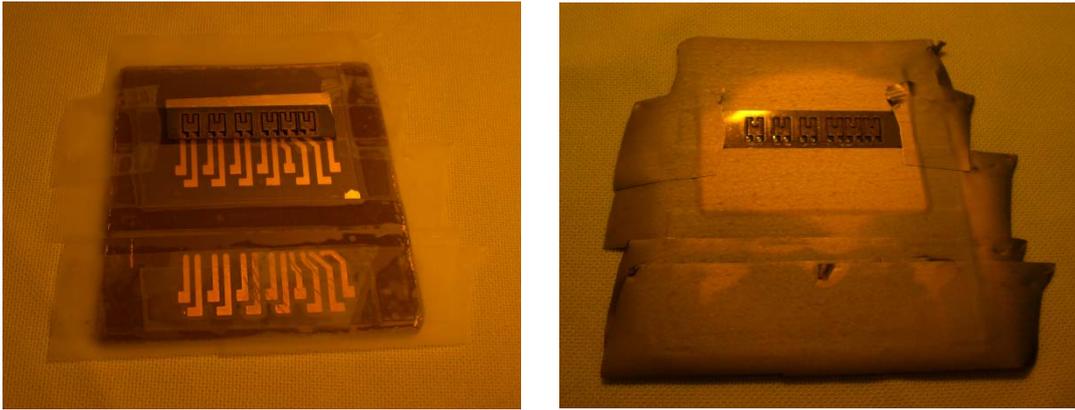
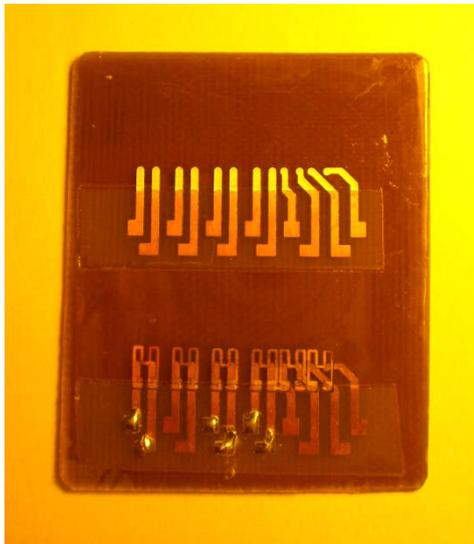


Figura 5.11. Placa antes y después de depositar oro con Sputtering.

- i) Por último solo quedan soldar cables a las pistas de cobre para poder así alimentar el sensor de temperatura y realizar medidas.



Tras este proceso de fabricación ya se tuvo prepara la placa con los serpentines de oro para poder así caracterizar su comportamiento como sensor de temperatura.

Figura 5.12. Resultado final de los sensores de temperatura

5.6 Sensor de flujo

Una vez detallado el proceso de fabricación de los sensores de temperatura, se mostrará el necesario para el sensor de flujo. La idea es análoga a la utilizada en los sensores de temperatura, aunque en este caso se grabarán en el PCB todas las pistas necesarias para la electrónica de adaptación de señal. Sin embargo, una vez depositado oro, se procederá a generar un microcanal mediante SU-8 y se finalizará cubriendo este canal con una tapadera.

Al final, el prototipo quedará con toda la electrónica por una cara y la microfluídica por la otra, como se muestra en la Figura 5.13.

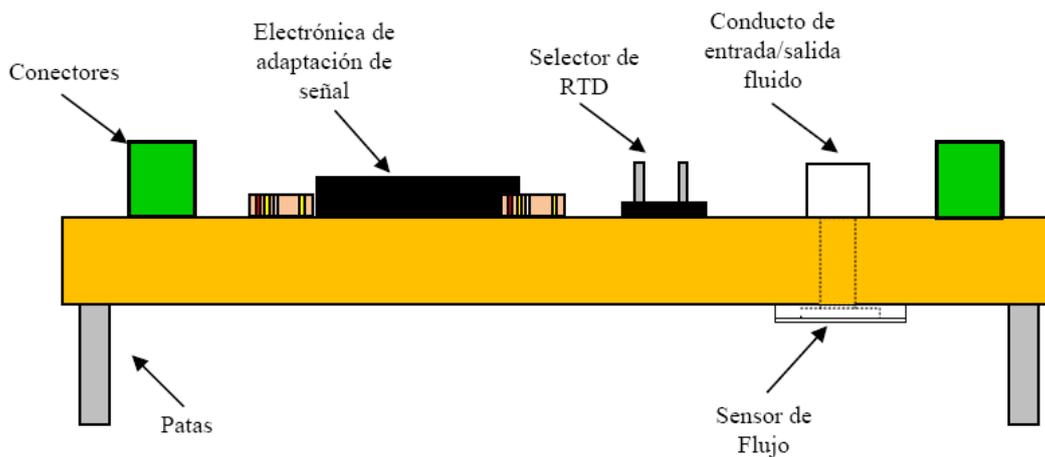


Figura 5.13. Distribución del prototipo del sensor de flujo

Se procede a continuación a describir el proceso de fabricación que se llevó a cabo para fabricar el sensor de flujo.

- Lo primero fue cortar con una sierra un trozo de PCB de aproximadamente 10 x 6 cm de lado. Una vez cortado se limaron los cantos para eliminar las virutas.
- Se pasó a insolar la placa. Para ello se utilizó una máscara diseñada mediante el software P-CAD donde se encontraban todas las conexiones necesarias para el tratamiento de señal. Este circuito engloba todos los componentes necesarios para poder adaptar las señales del sensor y comprende unos conectores de tornillo para poder conectar las tensiones de alimentación, así en una misma placa se obtendrá el sensor y la electrónica. Esta máscara fue imprimida en papel cebolla.

Además de las pistas de cobre que conectaban toda la electrónica, el calentador también fue un serpentín de cobre. Debido a las pequeñas dimensiones que tiene el serpentín no fue posible imprimirla en papel cebolla debido a que la rugosidad de este papel no lo hace apto para anchos de pista tan pequeños. Por ello se utilizó el serpentín fabricado en acetato mediante Photoplotter y que se utilizó para diseñar el comportamiento del serpentín. Debido a que se utilizaron dos máscaras de materiales distintos se procedió a hacer un hueco en lugar donde iba el serpentín en el papel de cebolla y en ese hueco se situó el serpentín de acetato, haciendo coincidir las zonas oscuras donde se alimenta el calentador.

De este modo, una vez situadas ambas máscaras se procedió a insolar el PCB durante 2 minutos y medio y luego a realizar el proceso de revelado descrito en los sensores de

temperatura. Es muy importante tener precaución a la hora de introducir la placa en el ácido debido a que éste es muy corrosivo y puede dañar el serpentín. Por ello se reveló utilizando una disolución con una relación en volumen de agua, agua fuerte y agua oxigenada 3:1:1, para que no fuese tan agresivo el ataque y se pudiera controlar mejor.

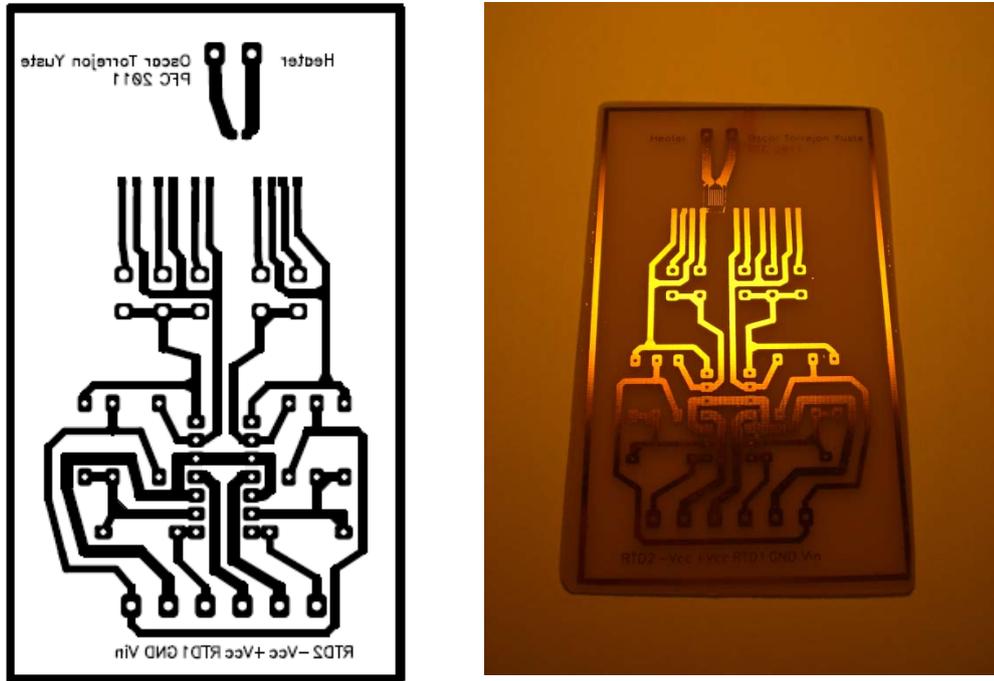


Figura 5.14. Diseño de la distribución de las pistas

- c) Tras fabricar la placa con las pistas de cobre y el serpentín se depositó una fina capa de SU-8 2025.

Para ello se utilizó el mismo proceso que se describió anteriormente en la fabricación de los sensores de temperatura, donde se consiguió un espesor de SU-8 de 50 μm , utilizando una máscara oscura donde solo se proyectaba la luz en el canal.

De este modo se eliminará todo el SU-8 del PCB excepto el canal donde se fabricaron los sensores de temperatura. La máscara utilizada y el resultado tras finalizar esta etapa del proceso se pueden observar en la Figura 5.15.

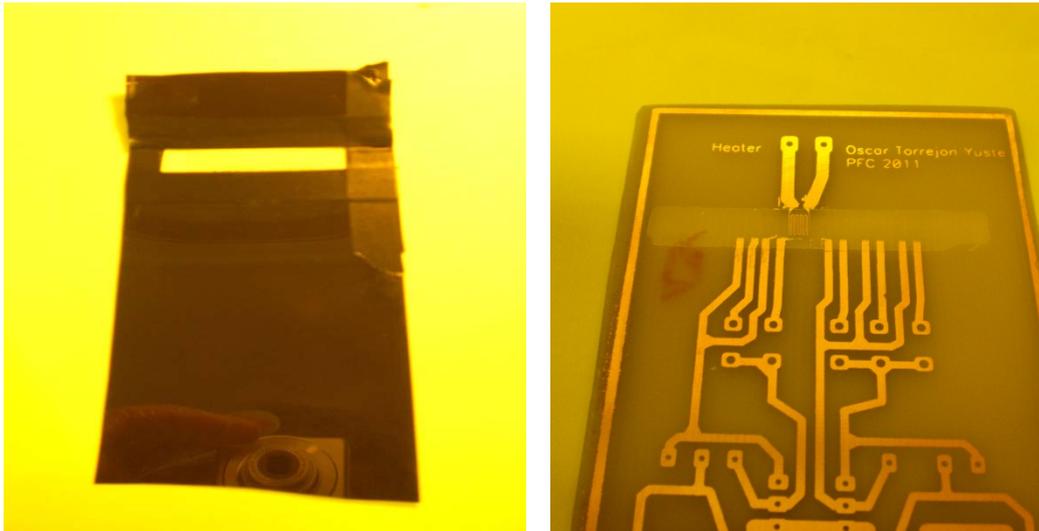


Figura 5.15. Máscara utilizada para fabricar el canal de SU-8 (izq) y placa una vez grabado el canal del sensor de flujo (dcha)

- d) Tras preparar la placa con el canal de SU-8 de 30 μm , se pasó a depositar oro. Para ello se usó la estrategia de pegar la máscara de acetato al PCB con cinta adhesiva teniendo cuidado de hacer coincidir los pads de la máscara con las pistas de cobre. Como se observa en la Figura 9 se ha tapado un serpentín debido a que en la máscara original se estudió la posibilidad de realizar el calentador de oro pero se descartó y se fabricó de cobre. Una vez fijada la máscara se cubrió el resto de la placa con cinta adhesiva para evitar que se depositase oro y cortocircuitase las pistas de cobre. Se encendió el Sputtering y se programó de nuevo a una corriente de 30 mA, realizando la deposición de los 120 nm de oro en tres pasos de 4 minutos. Las condiciones a las que se depositó el oro fueron las mismas que en el apartado 5. “Sensores de temperatura” del presente capítulo.

Una vez depositado oro sobre la placa se procedió a retirar la cinta adhesiva con cuidado de no forzar la máscara y evitar que se pudiese romper.

Tras observar que no se había levantado la máscara ni difuminado el serpentín de oro se comprobó que había continuidad eléctrica entre el serpentín de oro y las pistas de cobre mediante un multímetro.

Los resultados obtenidos al finalizar esta etapa del proceso de fabricación del sensor de flujo se pueden observar en las figuras 5.16 y 5.17.

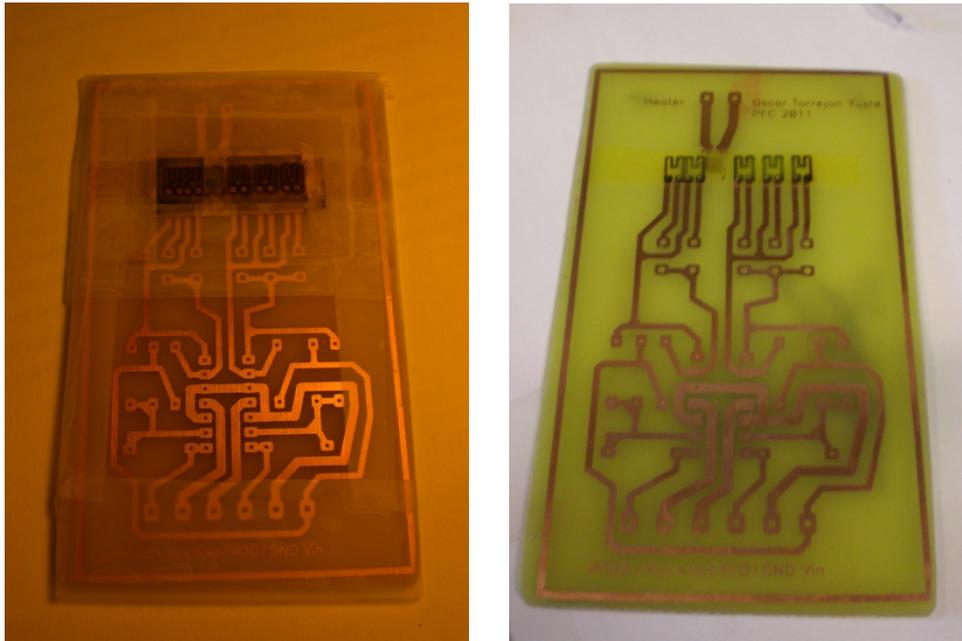


Figura 5.16. Preparación de la máscara antes de introducirla en Sputtering (izq) y resultado de la placa una vez depositados los sensores de temperatura (dcha)

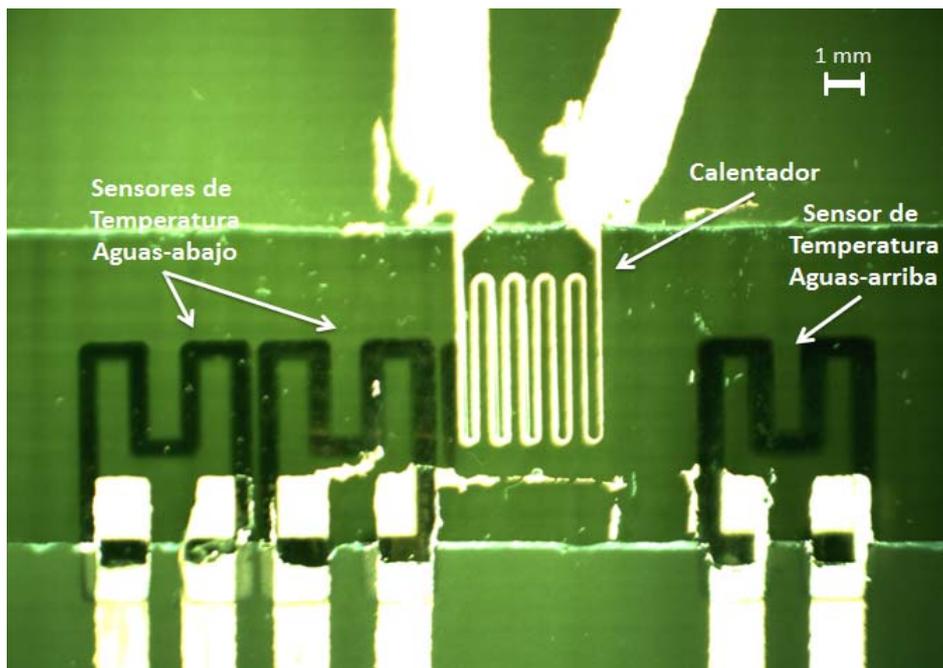


Figura 5.17. Zoom del calentador y los sensores de temperatura

- e) Una vez fabricados los sensores de temperatura se pasó a construir el microcanal de SU-8. El ancho del canal fueron 4 milímetros con una profundidad de 300 μm y una longitud de 55 mm, valores que aseguraban la buena continuidad del desplazamiento del fluido a través del mismo. Para conseguir este microcanal se utilizó SU-8 2050 que es más viscoso que el modelo 2025, pudiéndose conseguir mayores espesores. Sin embargo esta deposición se realizó en dos etapas obteniéndose aprox. 150 μm en cada una.

Para ello se introdujo la placa en Spin Coater y se programó a 700 rpm durante un minuto, obteniéndose 150 μm de espesor. Tras acabar la deposición se realizó el Soft-Bake en el Hot-Plate a los tiempos y temperaturas indicados en la Tabla 5.7.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo (minutos)
65	2
80	60

Tabla 5.7. Tiempos y temperaturas del primer Soft-Bake

Una vez realizado este primer Soft-Bake se pasó a depositar de nuevo encima la segunda capa de SU-8. Para ello se volvió a programar a 700 rpm el Spin Coater y tras finalizar este minuto se realizó de nuevo otro Soft-Bake según las condiciones indicadas en la Tabla 5.8.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo (minutos)
65	2
80	90

Tabla 5.8. Tiempos y temperaturas del segundo Soft-Bake

Tras comprobar que el SU-8 se había endurecido se pasó a fabricar el microcanal. Para ello se utilizó una máscara oscura con la forma del marco del canal. Se insoló durante 3 minutos debido al gran espesor de SU-8 que había que insolar. Sin embargo, este período de tiempo se realizó en 6 pasos de 30 segundos debido a que si se insolaba durante un tiempo demasiado elevado se podía calentar en exceso el SU-8 de la base y despegarse del sustrato, además de estrecharse el canal. Para evitar esto, entre cada paso de insolación se esperó aproximadamente un minuto con la insoladora abierta para refrigerar la placa.

Tras insolar la placa se realizó el Post Exposure-Bake los tiempos y temperaturas mostradas en la Tabla 5.9.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo (minutos)
65	3
95	7

Tabla 5.9. Tiempos y temperaturas de Post Exposure-Bake

Tras realizar el Post Exposure-Bake se introdujo la placa en un recipiente con PGMEA para eliminar el SU-8 no polimerizado. Este proceso duró aproximadamente 7 minutos debido a la gran cantidad de SU-8 que se debía eliminarse. Una vez finalizada esta etapa se enjuagó la placa con Isopropanol (IPA) y se dejó secar.

En la Figura 5.18 se observa la máscara utilizada para grabar el canal y el resultado final.

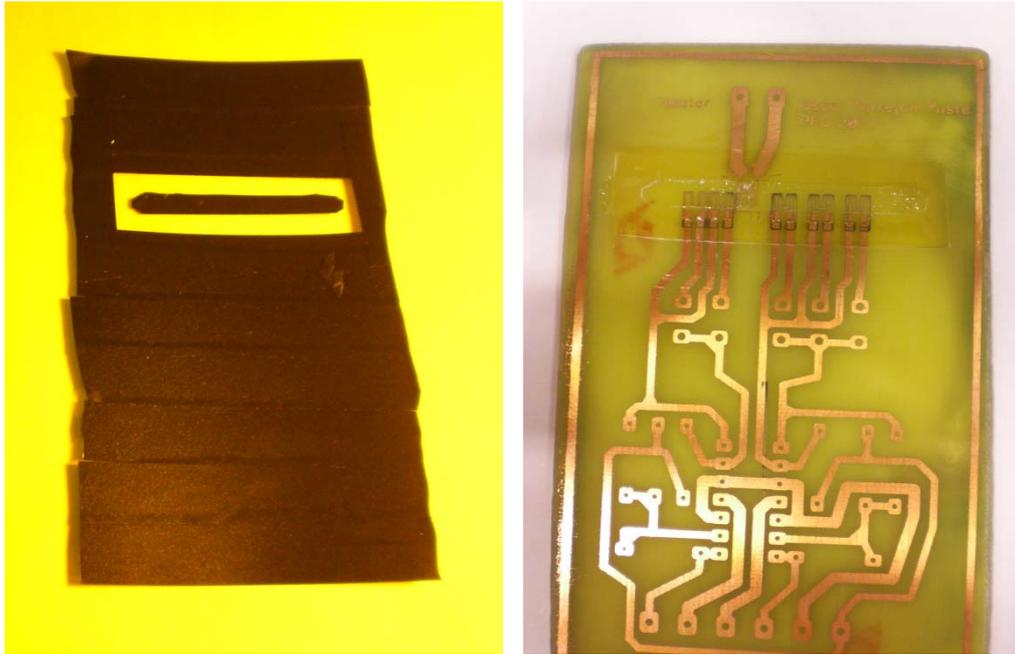


Figura 5.18. Máscara utilizada para fabricar el canal (izq) y resultado final una vez grabada (dcha)

- f) Tras fabricar el microcanal se procedió a realizar los agujeros por donde se inyectará el fluido. Este paso se realizó en el taller y para ello se utilizó un minitaladro y una broca con un diámetro de 1 mm. Fueron dos taladros situados a ambos lados del microcanal, uno para la entrada del fluido y otro para su salida. Tras perforar la placa se eliminó la viruta generada mediante una broca de un diámetro de 1,5 mm y haciéndola girar manualmente se rascaron los bordes del agujero.
- g) Una vez realizados los taladros se procedió a cubrir el microcanal con una tapadera. Para ello se utilizó un trozo de acetato del mismo tamaño que el marco del canal. Se empleó este material debido a que es lo suficientemente rígido para soportar la presión dentro del canal y además es transparente por lo que se podrá visualizar el recorrido del fluido dentro del canal.



Para unir la tapadera al marco del canal de SU-8 se utilizó un adhesivo epoxy de dos componentes de secado rápido modelo Araldit de Ceys que seca muy rápidamente y está especialmente indicado para unir y rellenar superficies pequeñas soportando en servicio hasta $320 \frac{Kg}{cm^2}$.

Figura 5.19. Adhesivo epoxy Araldit de Ceys

Se mezclaron una pequeña cantidad de los dos componentes en un recipiente y se procedió a depositar una pequeña cantidad sobre el marco de SU-8 con precaución de que no cayese pegamento dentro del canal y cubriera los sensores o los taladros. Para evitar que esto sucediera, la máscara de la Figura 5.18 que se utilizó para insolar el canal fue creada con un marco suficientemente ancho para facilitar la adhesión de la tapadera. Tras este paso se depositó la tapadera sobre el marco y mediante una aguja se

fue presionando la máscara para que el pegamento fuese fijándola y se consiguiera estanqueidad en el canal.

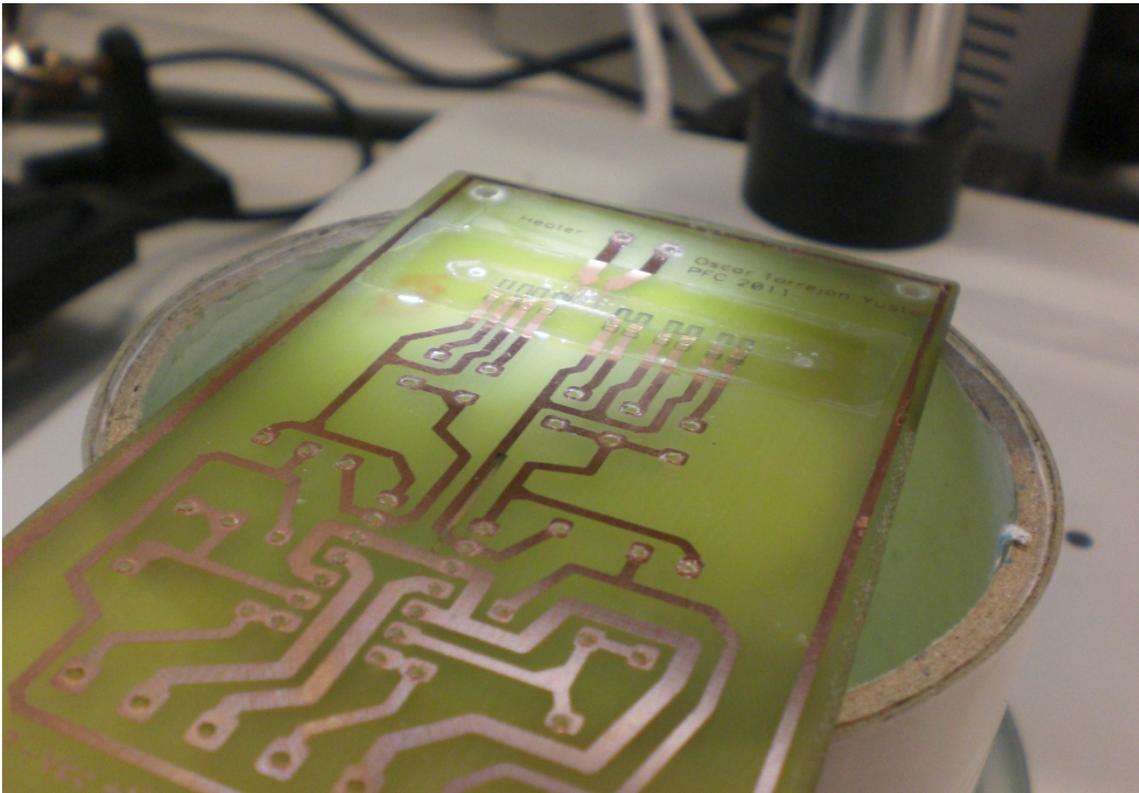


Figura 5.20. Sensor de flujo una vez depositada la tapadera

- h) Tras fabricar el sensor de flujo se pasó a preparar la placa para añadirle los componentes electrónicos necesarios para la adaptación de señal. Para ello se taladraron sus pads utilizando el minitaladro y una broca de 1 mm de diámetro. Una vez taladrada la placa se soldaron los componentes electrónicos utilizando un soldador de 11W y estaño. También se taladró un agujero en cada esquina de la placa para poder colocar las patas y así evitar que cuando se sitúe la placa en un lugar no haya contacto de las pistas de cobre con el lugar donde se deposite.
- i) Por último quedaba pegar los tubos de entrada y salida del sensor de flujo. Éstos fueron de plástico con un diámetro interior de 6 mm. Fueron fijados a la placa mediante el pegamento Araldit de Ceys utilizado para fijar la tapadera al marco de SU-8. Tras dejar secar los tubos durante aproximadamente una hora se pusieron las etiquetas In y Out correspondientes a los conductos de entrada y salida, respectivamente.

Tras este proceso de fabricación se obtiene el sensor térmico de flujo objetivo del presente proyecto. En la Figura 5.21 se muestran algunas imágenes del prototipo fabricado. En la Figura 5.21a se aprecia un zoom del canal con los sensores de temperatura y el calentador. En las Figuras 3.21b, c y d se observan distintos ángulos del sensor de flujo.

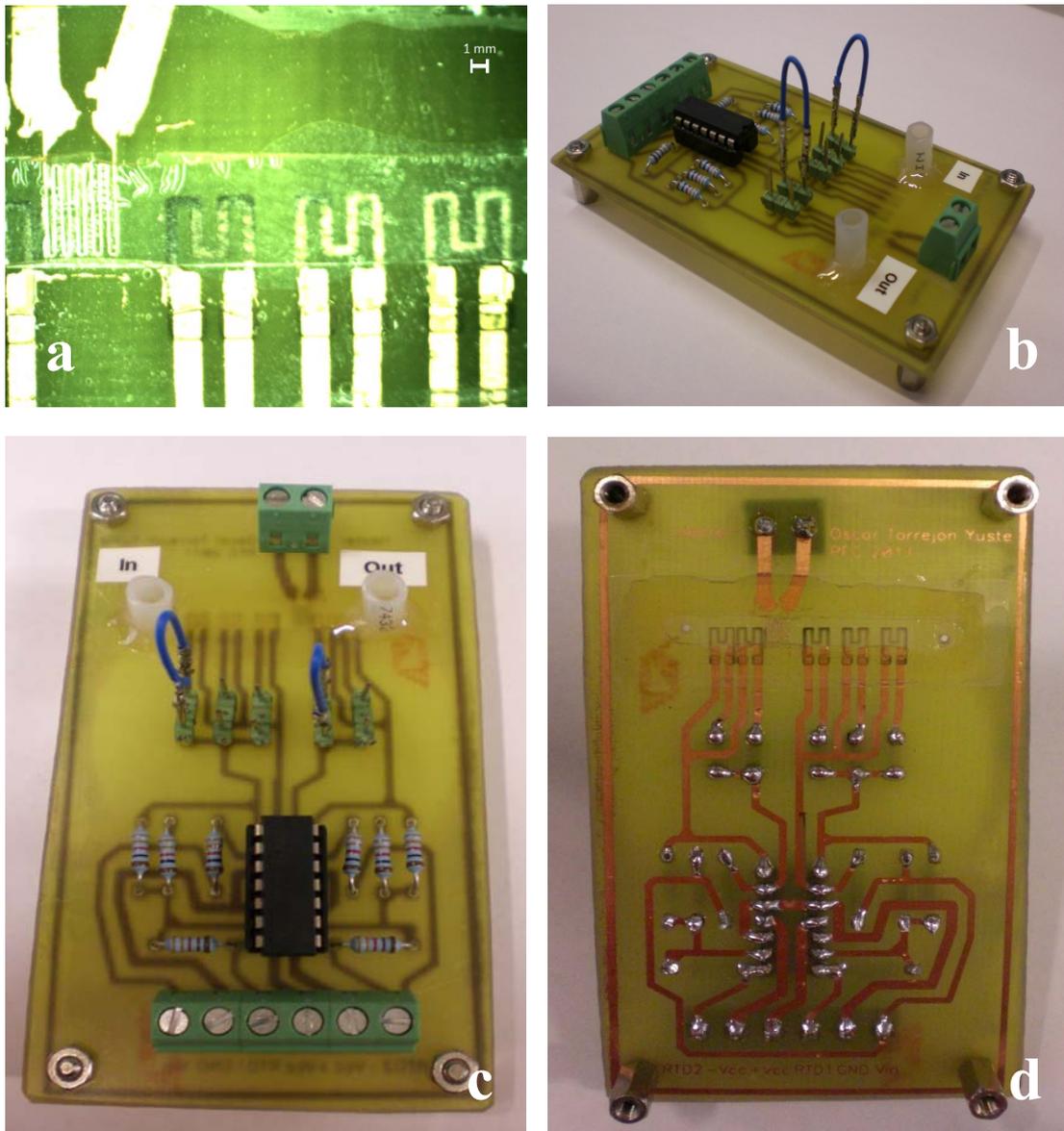


Figura 5.21. Prototipo fabricado de sensor de flujo.