

7. Proceso de fabricación

El dispositivo que se va a realizar como inicio de la investigación se trata de un nebulizador plano, simple en el que por cuestiones de equipamiento sólo se estudiará el diámetro de chorro.

7.1. Material de fabricación

El material elegido, como se comentó en apartados anteriores, es la resina epoxy fotosensible SU-8. En particular, SU-8 2150 de MicroChem. Para mejorar la adhesión al sustrato se usa OmniCoat®, y como sustancia para hacer el ataque mr-Dev 600, ambos también de MicroChem.

El sustrato elegido no es ninguno de los comentados de uso común, por la dificultad de mecanizado. Se eligió como sustrato FR4, placa de PCB con cobre en una sola cara, en la que la deposición se realiza por el lado en que no está el cobre. La elección se debe a la mayor accesibilidad a este tipo de sustrato, a su precio, y como se dijo antes a su facilidad de mecanizado. Dado que cortar, taladrar o fresar dicha placa presenta muchas menos dificultades que hacerlo en silicio, vidrio, cuarzo o zafiro. Además, se comprobó que se realizaban buenas deposiciones y que la adherencia con el SU-8 es muy buena, mejor que en el vidrio. No se eligió PMMA ni policarbonato debido a que el control de temperatura no es tan bueno como para asegurar que dichos sustratos no entren en transición vítrea.

Introduciendo este sustrato en la clasificación realizada para ellos, se puede decir que se trata de un sustrato opaco, y por tanto, la exposición sólo podrá ser realizada por una cara.

El dispositivo final consta de unas entradas y salidas que serán realizadas por la unión de tubos de distintos diámetros, tanto flexibles como rígidos y de una tapadera de PMMA. Para realizar estas uniones de tubos se usará un pegamento epoxy de dos componentes.

7.2. Máquinas y software utilizados

Las máquinas utilizadas en el proceso de fabricación son:

1. Spin coater.

Es un dispositivo gracias al cual se deposita la resina en la oblea. Dicha deposición se produce aprovechando la fuerza centrífuga a la que somete el spin coater a la oblea. Controlando la velocidad de esta máquina es posible definir valores de espesores de capa diferentes.

2. Hotplate con regulador de temperatura.

La función del hotplate es mantener a la oblea a una determinada temperatura sin fluctuaciones, se usa para calentar la oblea tras la deposición del adhesión promoter y para realizar tanto el softbake como el PEB.

3. Impresora láser.

La impresora láser se usa para imprimir las máscaras que se utilizarán tras el paso del softbake.

4. Insoladora.

La insoladora se usa para realizar el paso de exposición tras el softbake. Se trata de una insoladora de UV de tiempo regulable.

5. Software Pcad.

Dicho software es usado para realizar el diseño de la máscara que posteriormente se imprimirá en la impresora láser.

6. Fresadora.

La fresadora se usa para realizar los orificios en los que se alojan los tornillos para unir el metacrilato con el SU-8.

7. Guillotina.

La guillotina es una herramienta de corte que se usa para cortar el sustrato.

7.3. Proceso de fabricación

En el proceso de fabricación se realizaron varias alternativas hasta llegar a un proceso definitivo, funcional y repetitivo. En los dos apartados siguientes se muestra en primer lugar los problemas encontrados a la hora de realizar el dispositivo completo, y para terminar se explica en detalle el proceso de fabricación final.

7.3.1. Problemas de fabricación

Antes de llegar al proceso de fabricación definitivo se llevaron a cabo, como se ha comentado, otros con resultados poco exitosos. El principal problema a la hora de realizar el dispositivo fue la eliminación de las fugas entre los microcanales y la tapadera. A continuación se comentan brevemente los procesos de fabricación realizados, centrándose únicamente en la realización de la tapadera y obviando el proceso realizado en SU-8 puesto que será explicado en detalle en la realización del dispositivo definitivo.

Realización de la tapadera.

Una vez realizada la red de microcanales con la estructura flow focusing, es necesario tapar los microcanales para realizar canales cerrados y evitar así las fugas.

Los métodos vistos en apartados anteriores para la realización de esta tarea están fuera de las posibilidades del material de laboratorio disponible. Es decir, no se tiene control sobre la radiación en la insoladora por lo que no es posible realizar un multiexposure ni un multilayer. Tampoco se puede hacer ataque con plasma de oxígeno sobre las superficies para mejorar la calidad de la adhesión entre ambas. No es posible realizar el proceso de laminación, ni el mask-process porque tampoco se dispone del material necesario.

1. Llenado.

Para la óptima deposición de SU-8 sobre SU-8 es un requisito indispensable a la hora de realizar el proceso de llenado. Se intentó realizar esta técnica pero la deposición de SU-8 sobre SU-8 proporcionó problemas de uniformidad de la segunda capa, llegando incluso a formarse gotas aisladas de resina tras el proceso del 2º softbake. Ante tal circunstancia se optó por abandonar esta estrategia.

2. Colocación de PMMA.

La colocación de una tapadera de PMMA fue otra de las opciones intentadas, sin embargo aún estando unido mediante tornillos se producían fugas entre los canales. Después de esto se intentó pegar la tapadera de PMMA al SU-8 mediante un pegamento epoxy. Esta estrategia es compleja debido a la invasión del pegamento en los canales y en caso de poderse realizar, la poca repetitividad. No obstante, fue mediante este montaje la primera vez que se consiguió el enfoque de un chorro aunque no en condiciones óptimas dado que, debido a la invasión comentada la distribución no era buena.

3. Soldadura SU-8 con SU-8.

Se intentó realizar la tapadera de SU-8 sobre sustrato PMMA. Los problemas que se encontraron en este caso fueron que debido al poco control de la temperatura el PMMA se deformó, y aún no habiéndose deformado, la soldadura por presión y temperatura no fue buena produciéndose el despegue de ambas caras.

7.3.2. Proceso de fabricación final

En este apartado se explica detalladamente y paso a paso, el proceso de fabricación del dispositivo flow focusing final.

Previamente al proceso de fabricación se termina la geometría de los dispositivos, es la que se observa en la siguiente figura:

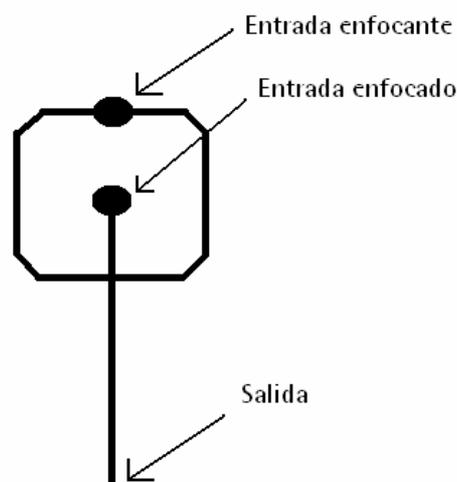


Fig.45. Esquema del diseño del dispositivo flow focusing. Se observan la entrada de enfocante y en enfocado y la salida común.

A continuación se detalla el proceso de fabricación paso a paso.

1. Diseño de la máscara en Pcad e impresión de la misma en acetato. A continuación se muestra la imagen de la máscara utilizada para realizar los dispositivos. Se observan dos dispositivos, el de la derecha de la imagen con una anchura de canal de 300 micras en el diseño y el de la izquierda de 500 micras.

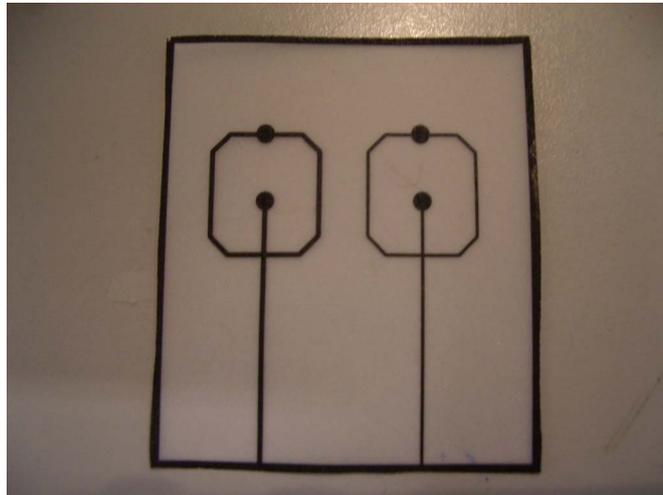


Fig.46. Máscara en acetato de los dispositivos simples diseñados

Las máscaras para este tipo de procesos de fabricación normalmente son de cuarzo con el dibujo en cromo. La elección de acetato se debe a una reducción en el coste, tanto económico como temporal, y además la resolución ofrecida por la máscara de acetato no era mala para los objetivos buscados.

2. Un vez realizada la máscara, y por tanto sabiendo sus dimensiones, se procede al corte del sustrato, PCB, con unas dimensiones tales que se tenga espacio suficiente como para realizar los taladros dónde irán los tornillos.
3. Puesto que la deposición se realiza por la parte en que no está el cobre, es necesario quitar el plástico que protege la cara en que está dicho cobre porque será ésta la que esté en contacto directo con el hotplate. Ante el calor desprendido por el hotplate dicho plástico se funde. También hay que limpiar bien tanto la superficie del cobre, para quitar la resina, como la superficie superior en que se depositará el SU-8. Esta limpieza se realiza con acetona y con alcohol.

4. Una vez se ha hecho la limpieza, se coloca el sustrato en el spin coater. Seguidamente se toma con la pipeta el OnmiCoat®, 1mL por pulgada de sustrato. Se coloca el spinner (spin coater) en la primera velocidad y se deposita poco a poco el adhesión promoter.
5. Se saca el sustrato del spinner y se coloca en el hotplate a 200 °C durante 1 minuto. Se vuelve a colocar el sustrato en el spinner.
6. Se deposita 1mL de SU-8 por pulgada de sustrato en un vaso. Se coloca el spinner en la primera velocidad y se deposita poco a poco el SU-8 asegurándose de que la deposición cubre todo el sustrato.
7. Softbake.
Se extrae el sustrato del spinner y se coloca en el hotplate a una temperatura de aproximadamente 95 °C, durante 3 horas. Este paso se encarga de eliminar el disolvente, ciclopentanona en este caso, de la resina.
En un principio se seguían las recomendaciones de MicroChem, pero los tiempos de softbake no eran suficientes puesto que aparecían gran cantidad de burbujas y arrugas en el paso siguiente.
8. Exposición.
Se extrae el sustrato del hotplate y se coloca en la insoladora. Se insola durante 35 segundos.
9. PEB.
Se vuelve a colocar el sustrato en el hotplate, a una temperatura de 95 °C durante 20 minutos. En los primeros 2 minutos debe verse la impresión de la máscara.
10. Tras el PEB se deja enfriar el sustrato libremente, sin aplicar choque térmico. Esto supone dejar el sustrato en reposo durante unas 12 horas.
11. Una vez pasadas esas 12 horas se procede al paso de grabado. Se realiza un grabado por inmersión durante 7 minutos.
12. Después del grabado, se limpia la superficie de SU-8 con agua destilada y con alcohol. Tras 5 minutos se limpia con acetona. Este es el último paso en cuanto al tratamiento con SU-8. Ahora se pasa al montaje del dispositivo.

13. Se realizan taladros con una broca de 1,5 mm en la entrada de enfocante y enfocado. El taladro se realiza atravesando el sustrato desde la cara en que está el SU-8 hasta el cobre. Debe realizarse en ese sentido puesto que la generación de rebabas pueden afectar a la distribución de fluido.
14. Una vez realizados los taladros se corta una plancha de PMMA con las mismas dimensiones que el sustrato. Y se taladran ambos, al mismo tiempo, con una broca de 4 mm, para realizar los orificios en que irán los tornillos. Las imágenes siguientes muestran tanto el sustrato como el PMMA tras este paso, y los tornillos, tuercas y arandelas utilizados.



Fig.47. A la derecha microcanales del dispositivo flow focusing en SU-8 con los agujeros que alojarán a los tornillos para la unión con el PMMA. A la izquierda tapadera de PMMA con los agujeros correspondientes



Fig.48. Tornillos, arandelas y tuercas usadas para el montaje de la tapadera

15. Se fabrican las conexiones con tubos, tal como se muestra en la figura. Tales conexiones se pegan en las entradas de enfocante y enfocado. Se deja pasar una media hora para que se seque el pegamento.

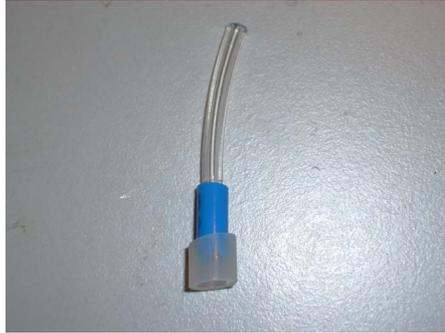


Fig.49. Conector.

16. Se coloca una cinta adhesiva de forma que cubra el dispositivo flow focusing. Se debe tener especial cuidado en que no se pegue en la parte inferior de los canales, y debe asegurarse bien el pegado en toda la superficie de SU-8. Se comprobó que la cinta adhesiva era la solución ante las fugas en el dispositivo.
17. Finalmente, se monta la tapadera sobre la superficie de SU-8 y se atornilla. La función de la tapadera es evitar el abombamiento de la cinta adhesiva al introducirle caudales del orden de mL/h. Además, se aprovecha la presión ejercida por los tornillos para usar la cinta adhesiva como junta. Con este paso el dispositivo flow focusing queda terminado. La imagen del dispositivo terminado se observa en la figura siguiente.

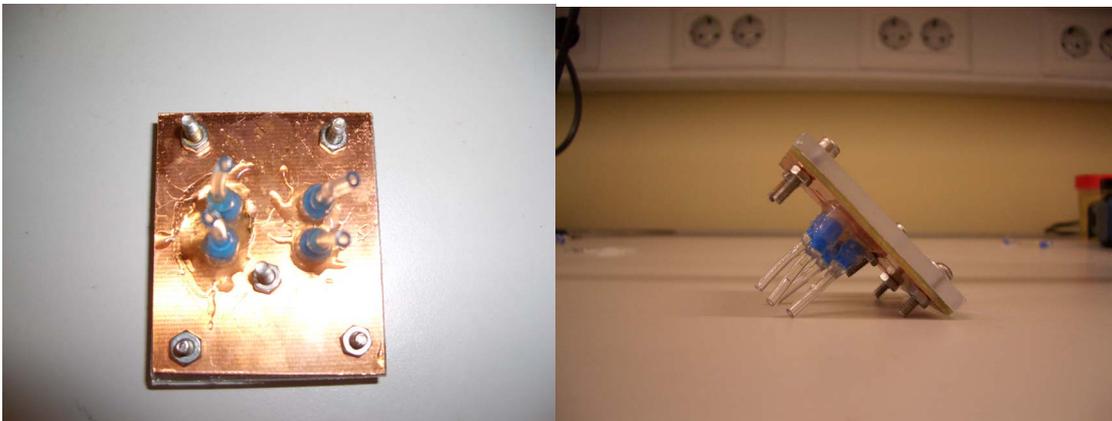


Fig.50. A la derecha, vista posterior del dispositivo terminado. A la izquierda, perfil del dispositivo terminado.

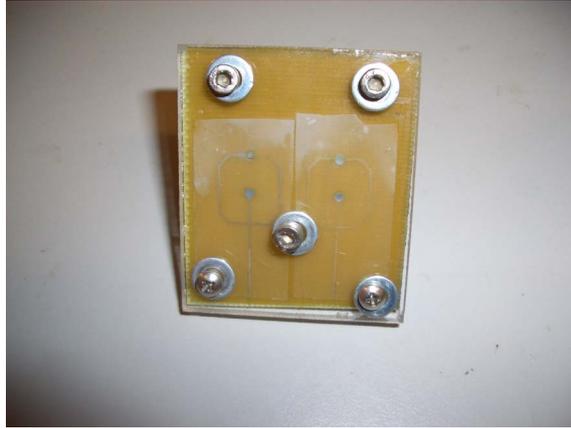


Fig.51. Vista frontal del dispositivo terminado.