ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA GEOMETRIA DEL MOLDE EN EL ELECTROFORMADO DE MICROPIEZAS DE NIQUEL

Juan C. Gaviria [1], Johnatan M. Castelblanco [2], Luz M. Ocampo [3], Sergio Lopera [4]*

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (4): 1413-1421

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA GEOMETRIA DEL MOLDE EN EL ELECTROFORMADO DE MICROPIEZAS DE NIQUEL

Juan C. Gaviria [1], Johnatan M. Castelblanco [2], Luz M. Ocampo [3], Sergio Lopera [4]*

1: Estudiante de Maestría en Ingeniería: Área Materiales y Procesos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

2: Estudiante de Ingeniería Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

3: Profesora Asistente Escuela de Ingeniería de Materiales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

4: Estudiante de Doctorado en Ingeniería eléctrica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sao Paulo, Brasil

** E-mail: jcgaviria@gmail.com*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008

Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

UV-LIGA es una técnica versátil de microfabricación que permite la construcción de piezas metálicas con alta relación de aspecto (alto/ancho) mediante la combinación del procesamiento fotolitográfico de un polímero y la electroformación de un metal al interior de las cavidades grabadas en el polímero. Esta técnica de bajo costo es empleada en una gran variedad de áreas que comprenden la microfluídica, la óptica, la instrumentación, el moldeado de plásticos y las telecomunicaciones, entre otras [1,2]. Aprovechando las experiencias desarrolladas por el grupo de Ciencia y Tecnología de Materiales en trabajos previos en conjunto con los grupos de Óptica y de Electroquímica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se plantea en esta propuesta de investigación la apropiación de la tecnología UV-LIGA para la fabricación de micropiezas en níquel, estudiando principalmente los efectos de la geometría del molde en la velocidad e integridad de los depósitos obtenidos, orientados a la producción de partes micrométricas complejas que puedan dar origen a dispositivos y aplicaciones comerciales.

Palabras Claves: *UV-LIGA, Relación de aspecto, Geometría, Micropiezas, Níquel.*

Abstract

UV-LIGA is a technique that allows versatile micromachining construction of metal parts with high aspect ratio (height / width) through a combination of photolithography processes of a polymer and Electroforming of a metal inside the cavities carved into the polymer. This low-cost technique is used in a variety of areas including microfluidics, optics, instrumentation, molded plastics and telecommunications, among others [1,2]. Building on the experiences developed by the group of Materials Science and Technology in previous works in conjunction with groups of optical and electrochemistry of the Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, arises in this research proposal ownership of the UV-LIGA for the manufacture of microparts in nickel, mainly studying the effects of geometry of mold in speed and integrity earned on deposits, aimed at producing parts micrometric complex that may lead to devices and commercial applications.

Keywords*: Guide UV-Liga; Aspect Ratio, Geometry, microparts, Nickel.*

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es la apropiación de tecnologías, que posibiliten la construcción y estudio de dispositivos de dimensiones micrométricas, ya que la miniaturización trae consigo ventajas interesantes, tanto económicas como funcionales, tales como la posibilidad de empaquetar en un ambiente controlado, inmune a interferencias externas, sensores y dispositivos más rápidos, más sensibles con bajo consumo de potencia, elaborados con menor cantidad de material, producidos, ensamblados y probados en masa.

Sin embargo, el paso desde una ingeniería tradicional, macroscópica, hacia una ingeniería de dimensiones micrométricas, donde el peso de los elementos es despreciable en comparación con las fuerzas superficiales de interacción, requiere de un

proceso paulatino de estudio y culturización, de apropiarse de tecnologías modernas de procesamiento de materiales y de la creación de una masa crítica de investigadores que soporte los desarrollos y dé asistencia a los proyectos.

En la tarea de aproximar a Colombia al dominio de tecnologías de microfabricación que posibiliten la construcción de partes y dispositivos de pequeñas dimensiones, se plantea la generación de una técnica fotolitográfica [3] y electroformación [4,5,6] de bajo.

2. PROCEDIMIENTOS

Para poder producir las micropiezas de níquel ha sido necesario la combinación de las técnicas microlitográficas evolucionadas a partir de la microelectrónica, y las técnicas químicas de deposición de metales, surgiendo así la técnica de microfabricación llamada UV-LIGA. En esta técnica capas gruesas de resina fotosensible a la radiación ultravioleta son expuestas a esta a través de una máscara, consiguiendo transmitir el patrón de la mascara (ver Figura 1 (a)) que luego son rellenadas con metal electrodepositado para formar la estructura metálica deseada (ver figura 1. (b)). Esta pieza metálica puede ser utilizada en si misma o en un paso posterior como un inserto en un molde para inyección de plásticos.

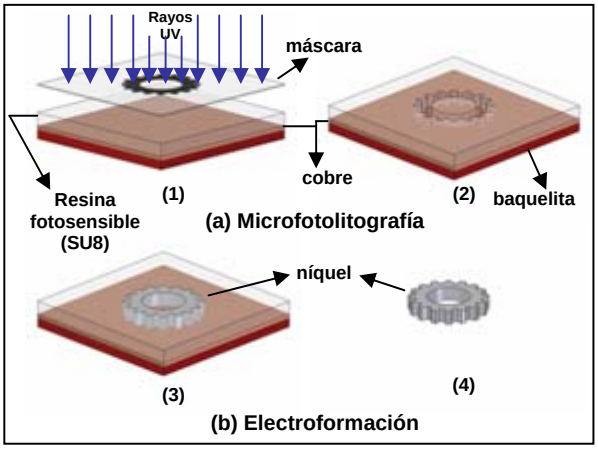


Figura 1. Secuencia de fabricación de una micropieza por la técnica UV-LIGA

2.1 Procedimientos para la etapa fotolitográfica.

Para poder hacer el proceso de Microfotolitografía se requiere una cabina de extracción y purificación de aire, una placa calentadora, un spinner y una lámpara de luz ultravioleta. Para la mascara se puede utilizar un patrón impreso en acetato (ver figura 2 y 3). El cual consiste en figuras geométricas (círculos, cuadrados, rectángulos y triángulos) con diferentes tamaños como se observa en la tabla 1

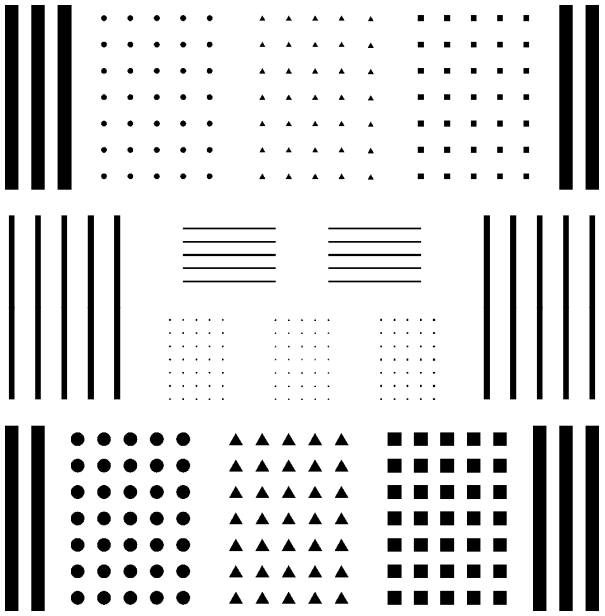


Figura 2. Patrón de la máscara impreso en acetato

Tabla 1. Especificaciones de las figuras geométricas de la máscara

Tipo de figura	*Tamaño 1*	*Tamaño 2*	*Tamaño 3*
Diámetro del Circulo / μm	50	200	500
Lado del Cuadrado /μm	50	200	500
Lado del Triángulo equilátero / μm	50	200	500
Área del rectángulo /μm^2	50x2500	200x7500	500x7500

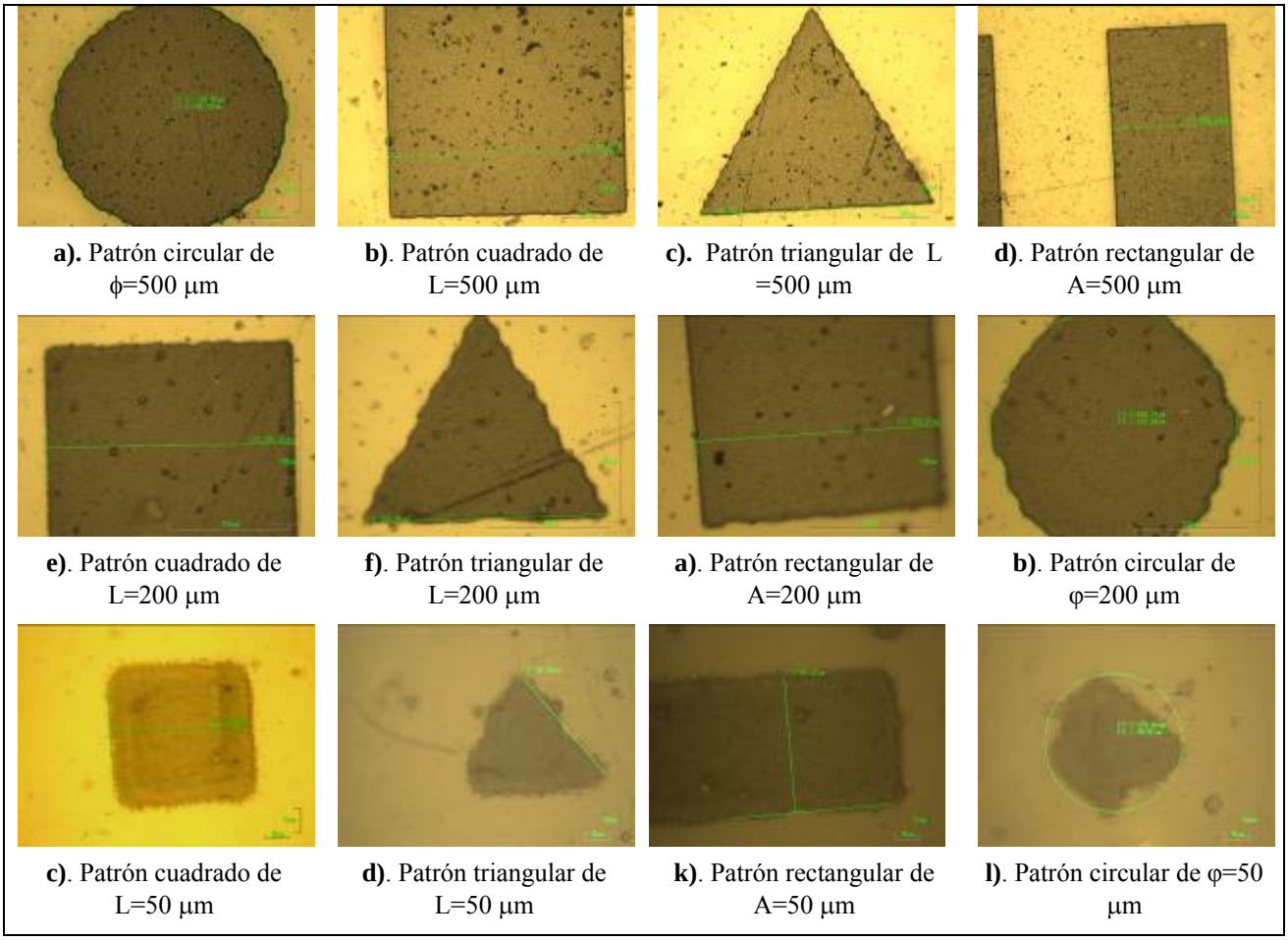


Figura 3. Imágenes en el microscopio del patrón de la máscara impreso en acetato

Como resina fotosensible se utiliza la resina SU8 2100, utilizada en el proceso de microfotolitografía, y para el proceso de revelado y remoción de ésta se utiliza el respectivo revelador y removedor suministrados por MICROCHEM.

Antes de empezar el proceso de microfotolitografía es necesario realizar una buena limpieza del sustrato de cobre el cual consiste en los siguientes pasos:

1. Limpieza con Thiner SU8
2. Limpieza con Revelador del SU8
3. Limpieza con Acetona
4. Limpieza con Alcohol isopropilico
5. Agua destilada y desionizada
6. Horneado del sustrato por un minuto a 200 ºC para evaporar el agua y trazas de los otro químicos

El proceso de microfotolitografía está determinado por los siguientes pasos:

1. Se corta de una placa grande de baquelita y cobre en pedazos de 4.6 x 4.6 cm^2 (21.16 cm^2), los cuales tienen una dimensión mucho mas grandes que la mascara, la cual es de 7.29 cm^2. Esto con el fin de que la mascara siempre este en contacto con el sustrato y no se den efectos de difracción (ver figura 4).

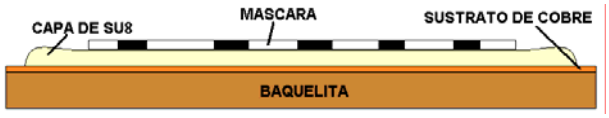


Figura 4: Esquema del montaje para el proceso de exposición con radiación ultravioleta a la capa de resina SU8

2. Limpieza del sustrato del cobre de mediante lija y ataques químicos, para evitar contaminaciones en el proceso y se calienta en la placa calentadora para evaporar los químicos de limpieza.
3. Generar una capa de Omnicoat sobre el sustrato mediante el Spinner, a una velocidad de 1500 rpm por 30 segundos. Para una fácil

manipulación y mejor adherencia del SU8 sobre el sustrato.

4. Curado del Omnicoat en la placa calentadora a 200 ºC por un minuto
5. Precalentamiento del SU8 a 50 °C en baño de María, para bajar viscosidad del la resina.
6. Generación de una capa de SU8 encima de la capa de Omnicoat de 200um espesor mediante el Spinner a 1500 rpm por un tiempo de 30 segundos.
7. Remoción de borde en la capa de resina de SU8 con espátula
8. Homogenización de la capa de SU8 utilizando una placa calentadora, para la evaporación del solvente del SU8, y homogenización del espesor de la capa. En esta etapa el curado se hace a temperaturas 75, 95, 115 °C por un tiempo de 10, 5 y 5 minutos respectivamente, para evitar la generación de tenciones internas en la resina y evitar así problemas de adherencia
9. Evaporación del solvente en la resina SU8 mediante la capa calentadora, esta etapa se hace a temperaturas de 115, 135 y 155 °C, por un tiempo de 5 minutos en cada una de las temperaturas. Esto también se debe por los mismos motivos del punto anterior.
10. enfriamiento lento de la capa se SU8 sobre la placa calentadora apagada por un tiempo de 2 horas, para evitar tenciones internas en la capa
11. Transferencia del patrón de la máscara a la resina, utilizando la lámpara de luz ultravioleta por 50 segundos.
12. Inicio de la polimerización selectiva por temperatura de la resina SU8, por medio una placa calentadora a temperaturas 75, 95, 155 °C por un tiempo de 5, 10 y 5 minutos respectivamente . En este paso la región de la resina que fue expuesta a la radiación ultravioleta se polimeriza y se vuelve resistente al revelador del SU8.
13. Segundo enfriamiento de 2 horas de la resina sobre la placa calentadora apagada, por las mismas razones del primer enfriamiento.
14. Revelado de la resina fotosensible utilizando el revelador y el Thinner del SU8. En este paso es necesario sumergir el molde en Thinner por 2 minutos para mejorar el efecto del revelador. Después se debe sumergir el molde en el revelador por 10 minutos, para luego dejar el molde sumergido en el revelador en ultrasonido por 2 minutos. Por ultimo hay que sumergir la muestra en alcohol isopropílico y ponerlos en ultrasonido ,para limpiar residuos y verificar que si se a removido correctamente el SU8 que no se ha expuesto a la radiación ultravioleta.
15. Endurecimiento del molde mediante sobre-exposición en la lámpara de luz ultravioleta y un tercer horneado

2.2 Procedimientos para la etapa de electroformación.

Se tomó como base las condiciones óptimas obtenidas en los proyectos realizados anteriormente [5,6,7], dadas a continuación: densidad de corriente 10 $A.dm^{-2}$, temperatura del baño de 52°C, sustrato de cobre, pH 3.5, baño Watt estándar [4], como se puede apreciar en la tabla 4. Para este proceso se de utilizar una celda electrolítica (figura 5),

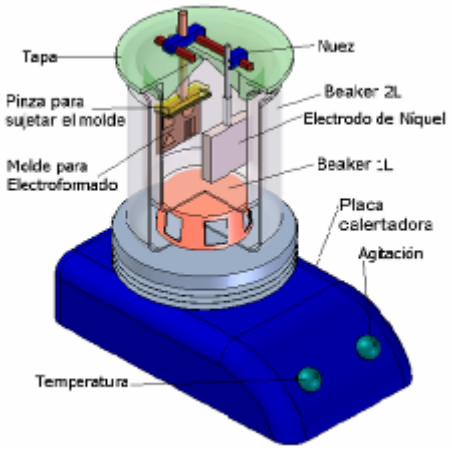


Figura 5. Esquema de la celda electroquímica.

Tabla 2. Composición del baño WATTS

Reactivo	*Concentración*
Sulfato de níquel hexahidratado (NiSO4.6H2O)	340 $g.L^{-1}$
Cloruro de níquel pentahidratado (NiCl2.5H2O)	45 $g.L^{-1}$
Acido Bórico (H3BO3)	hasta ajustar pH=3.4
Lauril sulfato	1 $g.L^{-1}$

El tiempo de electroformado par un espesor de 200um y una densidad de corriente de 60 mA/cm^2 fue de aproximadamente 3 horas. el cual se calculó

mediante la ecuación (1), la cual parte de la ley de Faraday, haciendo una corrección que asume una eficiencia aproximada del 90%, hallada empíricamente para la reacción electroquímica.

$$t = \frac{nF\rho}{iMh \cdot 0.9} \quad \textbf{(1)}$$

Donde n es el número de electrones, F es la constante de Faraday, ρ es la densidad del metal a depositar (en este caso la del níquel), i es la densidad de corriente, M es la masa molar y h es la altura a la cual se desea que queden la piezas electroformadas

2.3 Procedimiento para la obtención de microestructura y el perfil de crecimiento de las distintas micropiezas.

Para poder analizar la microestructura se emplea los siguientes pasos:

1. Se emplea un montaje en el cual las piezas de níquel adheridas todavía al sustrato de cobre se moldean con acrílico en la moldeadora Simplemet 3000, de Buehler, para generar una pieza en forma de moneda.
2. Cortar con una cortadora de disco para poder apreciar las diferentes secciones transversales de las piezas de niquel (ver figura 6).
3. Pulir con un paño con papel de lija de 200, 300, 400 y 600 para lograr llegar a las secciones transversales deseadas de la micro piezas
4. Pulir con un paño con polvo de diamante de 3um
5. Pulir con paño en el pulidor Vibromet 2, de Buhler, para el acabado final
6. Por ultimo se ataca químicamente con una solución de acido clorhídrico, sulfato de cobre y agua destilada (ver tabla 5) la cual se obtuvo mediante la norma ASTM E407.

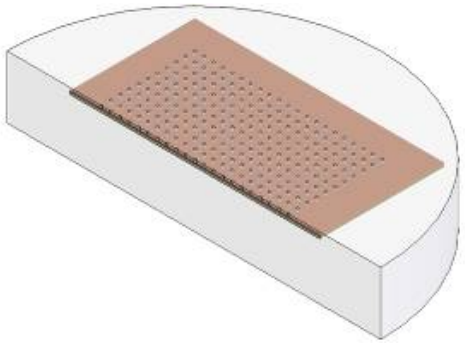


Figura 6. Montaje para poder revelar la microestructura de la sección transversal de las micropiezas de níquel.

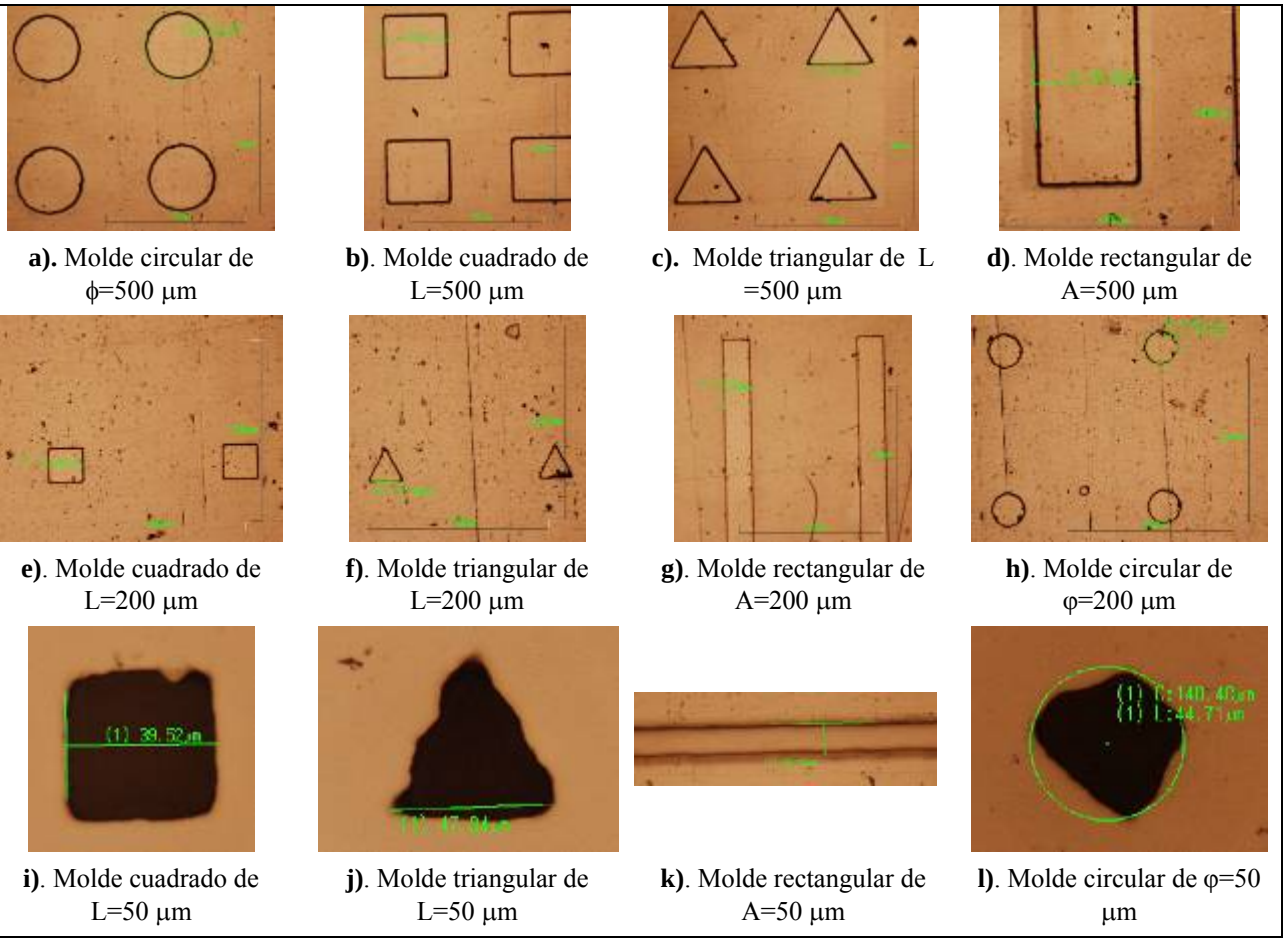
Tabla 3. Composición de la solución para el ataque electroquímico.

Acido clorhídrico	50 ml
Sulfato de cobre	10 g
Agua destilada	50 ml

3. RESULTADOS Y ANÄLISIS DE RESULTADOS

Se han obtenido moldes como se puede apreciar que al comparar la figura 3 con la figura 7, se se puede observar que los moldes copiaron fielmente los patrones de la mascara e incluso en la figuras de 50 um se pueden apreciar los mismos defectos del patrón de la máscara.

También se ha electrodepositado níquel en los moldes anteriores como se puede apreciar en las figura 8 y 9 para depósitos de 3 y 200 μm de espesor respectivamente. Como se puede observar claramente, en los depósitos de 3 μm de espesor, la deposición no es homogénea en toda el área del molde, depositándose primero en los bordes y esquinas. Pero en las figuras de 500 μm sucede un fenómeno bastante extraño, en donde se ve que hay zonas sin depositar en las regiones bajas de las imágenes, como si la gravedad influyera en los depósitos (hay que tener en cuenta que la gravedad al depositarse los moldes, según las imágenes, es hacia arriba).



a). Molde circular de ϕ=500 µm

b). Molde cuadrado de L=500 µm

c). Molde triangular de L =500 µm

d). Molde rectangular de A=500 µm

e). Molde cuadrado de L=200 µm

f). Molde triangular de L=200 µm

g). Molde rectangular de A=200 µm

h). Molde circular de φ=200 µm

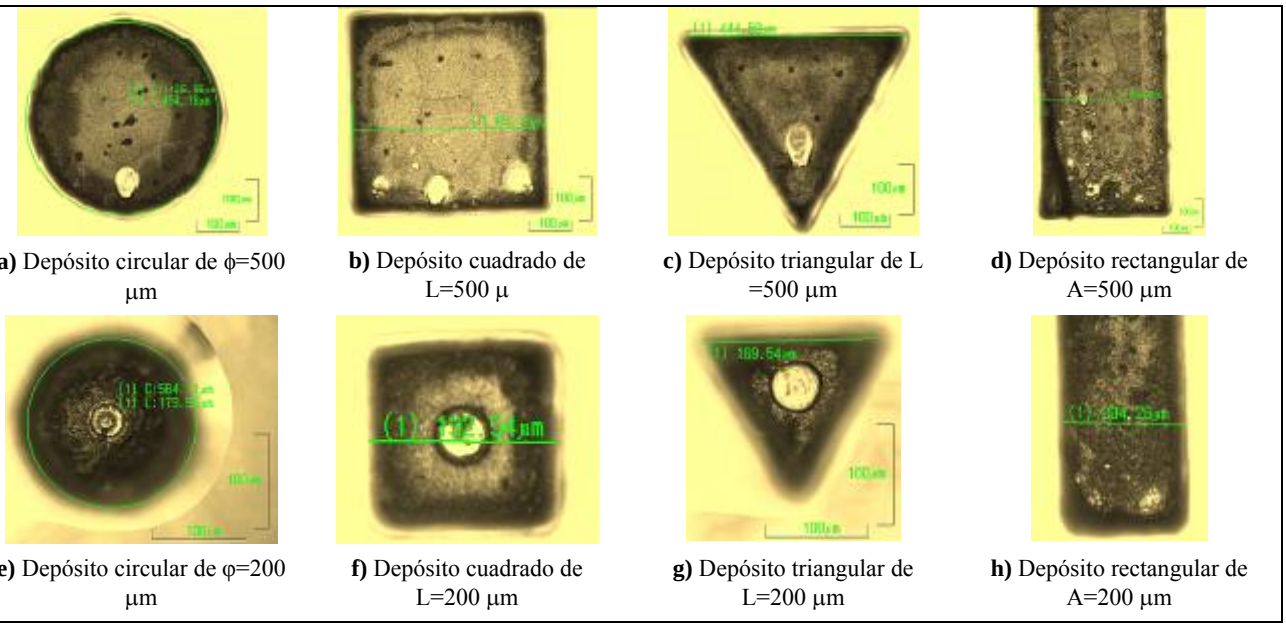
i). Molde cuadrado de L=50 µm

j). Molde triangular de L=50 µm

k). Molde rectangular de A=50 µm

l). Molde circular de φ=50 µm

Figura 7. Moldes utilizados para la deposición de la micropiezas de níquel



a) Depósito circular de ϕ=500 µm

b) Depósito cuadrado de L=500 µ

c) Depósito triangular de L =500 µm

d) Depósito rectangular de A=500 µm

e) Depósito circular de φ=200 µm

f) Depósito cuadrado de L=200 µm

g) Depósito triangular de L=200 µm

h) Depósito rectangular de A=200 µm

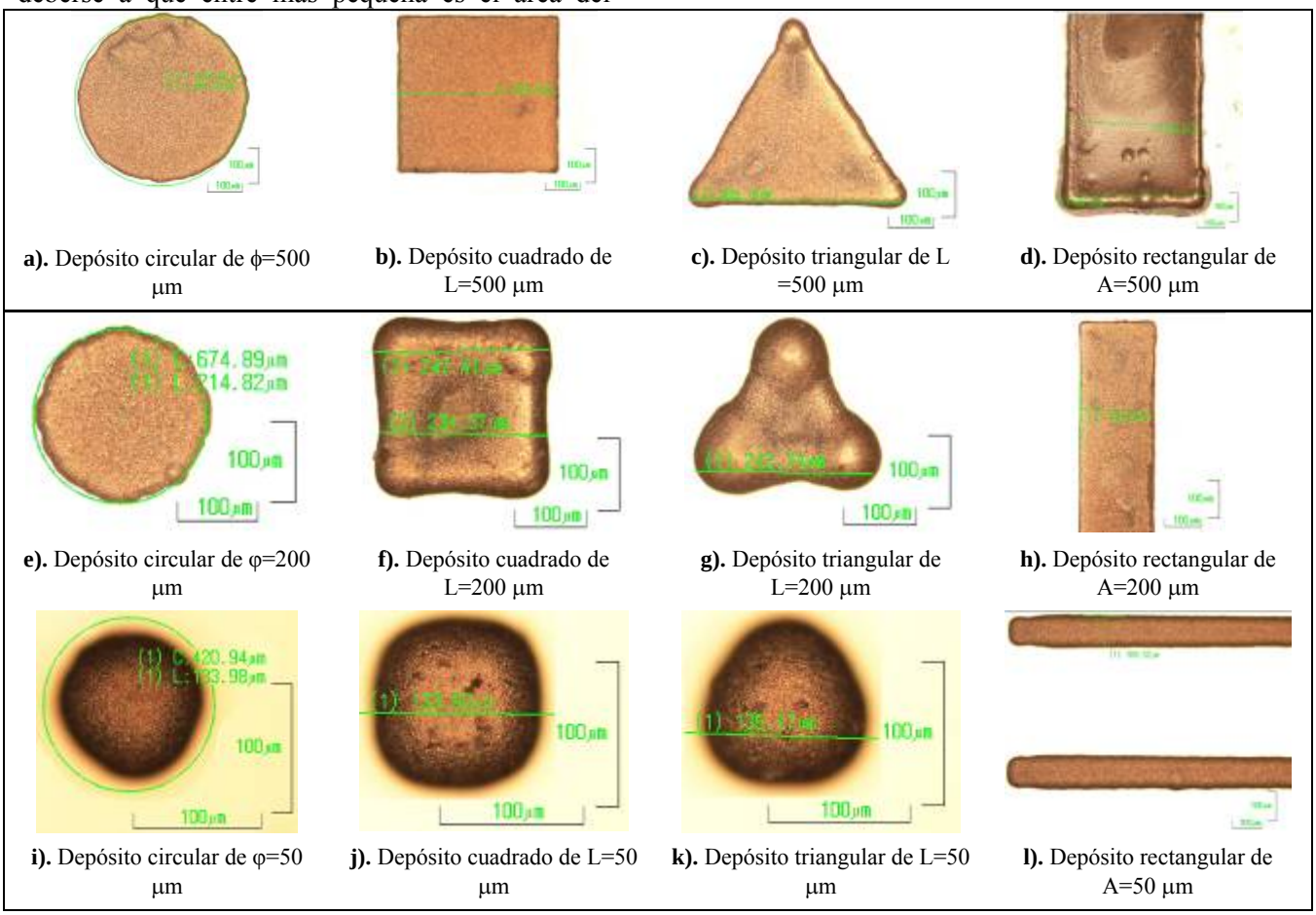
Figura 8. Depósitos de níquel de 3 um de espesor

En la figura 9 se ve claramente que los moldes de dimensiones de 500 y 200 µm existe una preferencia de crecer en los bordes y esquinas, siendo mayor en las esquinas. Mientras que en los moldes de 50 µm se observa todo lo contrario, habiendo una mayor preferencia de crecimiento en el centro

La figura 10 muestra la sección transversal de los diferentes tipos de piezas. Acá se puede confirmar como en la figura 9 la preferencia de los depósitos por crecer más rápido en las paredes del molde.

También se pude observar que a pesar que todos los depósitos se generaron en una misma deposición, por tanto bajo las mismas condiciones (tiempo de deposición y densidad de corriente), se puede apreciar que entre mas pequeña es el área, más rápido crece los depósitos de níquel. Esto pude deberse a que entre mas pequeña es el área del molde a depositar mas evidente es el efecto "punta", el cual hace que halla una mayor densidad de líneas de campo eléctrico, y por tanto una mayor densidad de corriente, en los bordes y esquinas de los moldes 500 y 200 µm y una aun mayor concentración de líneas de campo en todo el área en los moldes de 50 µm (ver figura 11 y 12).

Por otro lado se pude observar que las paredes de los moldes están inclinadas dando un signo claro de atenuación de la radiación ultravioleta. Esto es debido al poco tiempo de exposición a la radiación ultravioleta en la etapa de microfotolitografía, ya que las zonas oscuras de la mascara no bloquea completamente la radiación ultravioleta, y por tanto al exponer la muestra por un tiempo prolongado a esta radiación las muestras de 50 un no se revelarían



a). Depósito circular de ϕ=500 µm

b). Depósito cuadrado de L=500 µm

c). Depósito triangular de L =500 µm

d). Depósito rectangular de A=500 µm

e). Depósito circular de φ=200 µm

f). Depósito cuadrado de L=200 µm

g). Depósito triangular de L=200 µm

h). Depósito rectangular de A=200 µm

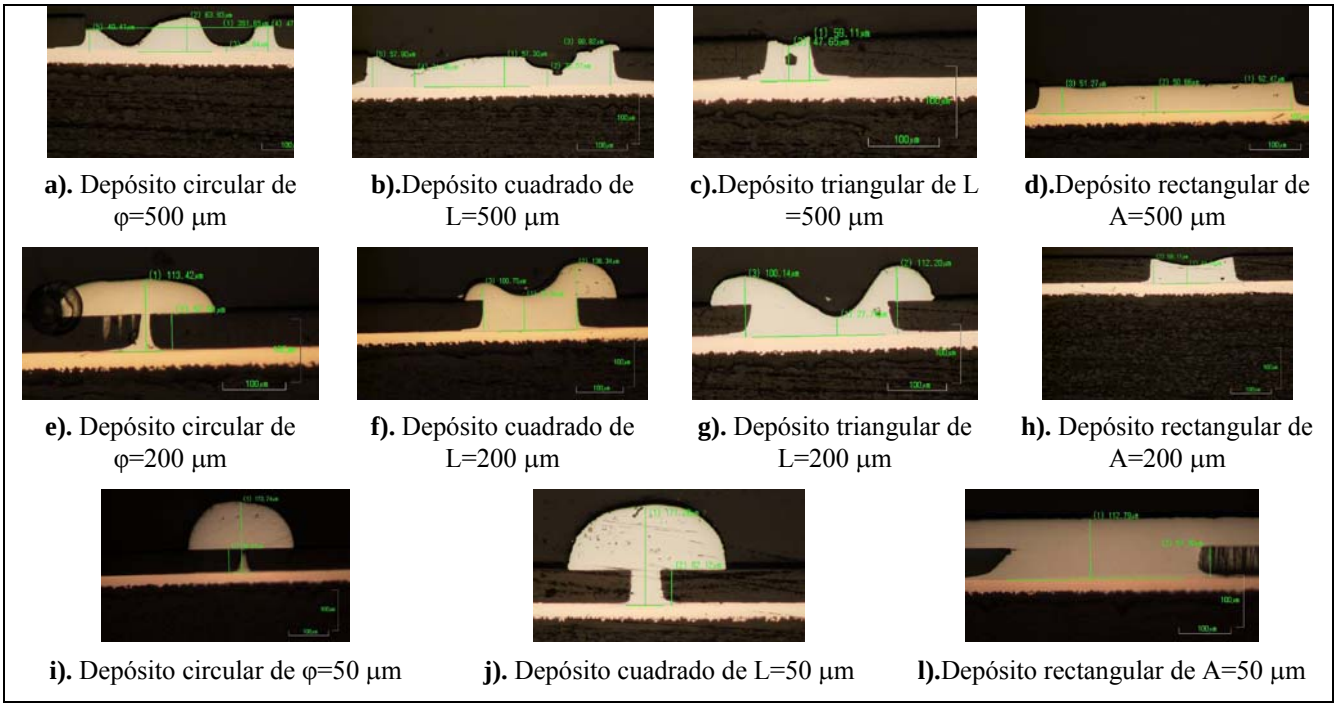
i). Depósito circular de φ=50 µm

j). Depósito cuadrado de L=50 µm

k). Depósito triangular de L=50 µm

l). Depósito rectangular de A=50 µm

Figura 9. Depósitos de níquel de 200 µm de espesor



a). Depósito circular de φ=500 µm **b).**Depósito cuadrado de L=500 µm **c).**Depósito triangular de L =500 µm **d).**Depósito rectangular de A=500 µm

e). Depósito circular de φ=200 µm **f).** Depósito cuadrado de L=200 µm **g).** Depósito triangular de L=200 µm **h).** Depósito rectangular de A=200 µm

i). Depósito circular de φ=50 µm **j).** Depósito cuadrado de L=50 µm **l).**Depósito rectangular de A=50 µm

Figura 10. Sección trasversal de los depósitos de níquel

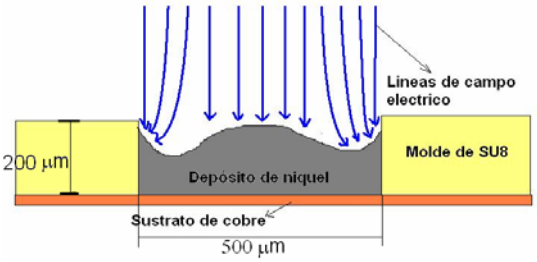


Figura 11. Esquema de las líneas de campo eléctrico en los depósitos de 500 µm

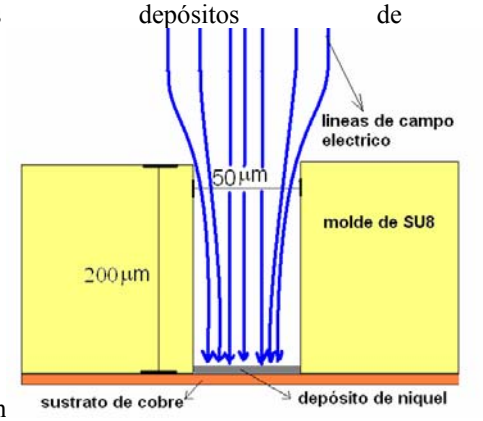
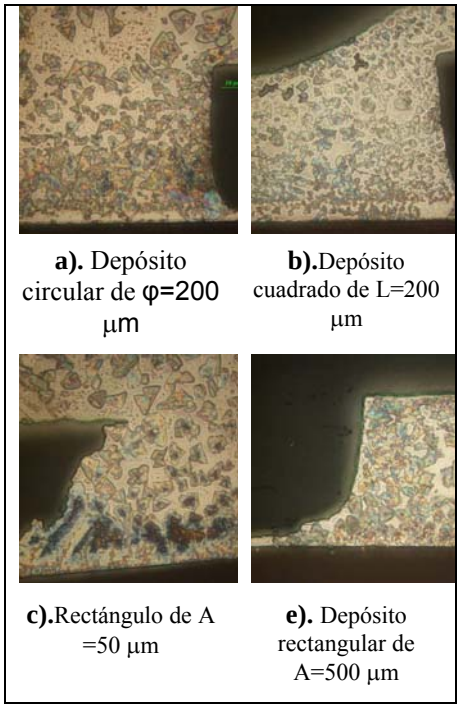


Figura 12. Esquema de las líneas de campo eléctrico en los depósitos de 50 µm

En la figura 13 se pude ver la microestructura de algunas de las micropiezas, en donde se puede apreciar es la misma es todas la micropiezas. Por tanto la geometría del molde no es un factor importante que influya en la microestructura de las micropiezas.



a). Depósito circular de φ=200 µm **b).**Depósito cuadrado de L=200 µm

c). Rectángulo de A =50 µm **e).** Depósito rectangular de A=500 µm

Figura 12. Microestructuras en la sección transversal de algunas de las micropiezas

4. CONCLUSIONES

- Con los resultados de este trabajo se ha podido contribuir a la generación de altas tecnologías en el país, al poder acercarnos más al entendimiento y dominio de las técnicas de microfabricación. De esta manera, en un futuro poder solucionar problemas de índole industrial, generando tecnología y contribuyendo a disminuir la brecha científica y tecnológica que nos separa de los países desarrollados.
- Para mejorar el proceso de fotolitografía se debe cambiar el tipo de máscara, ya que la tinta de la impresora láser no bloquea de manera eficiente la radiación ultravioleta, permitiendo polimerizar las regiones donde están los moldes de 50 μm, haciendo que los tiempos de exposición sean muy cortos para que este fenómeno no ocurra y por tanto se hace difícil generar los moldes de 200 um de espesor, ya que el tiempo de exposición a la luz ultravioleta debe ser muy es corto.
- Con los equipos, insumos y procedimientos que poseemos actualmente en el área de microingeniería se ha podido obtener, con cierta dificultad, piezas de hasta de 50 μm mediante el procedimiento utilizado en el proyecto. Esto es debido a la utilización como mascara tita de impresora láser sobre acetato.
- Hay que tener cuidado al depositar níquel por largos periodos de tiempo y a alta densidad corriente eléctrica, ya que el electrodo de níquel se va desgastando de una manera irregular, específicamente se va corroyendo por adentro dejando la superficie del electrodo débil con la posibilidad de que ésta se desprenda en la forma de costras, contaminando así el baño electrolítico.
- Existe la necesidad de seguir investigando en la fabricación de micropiezas para mejorar los problemas presentados, tales como el crecimiento no homogéneo de las micropiezas, mediante variaciones del proceso como: trabajar con corrientes pulsadas y agregar aditamentos a la solución electrolítica que mejoren el proceso de microfabricación.
- A pesar de las dificultades que todavía se presentan en la fabricación de micropiezas, se puede avanzar en las aplicaciones para generar en el área de microingeniería en la región.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]. Madou, M. Fundamentals Of Microfabrication, (1997). CRC Press LLC. Capítulo 1, 1-50

[2]. Bryzek, J. Impact Of Mems Technology On Society. Sensors and actuators. A56.1996, 1-9p.

[3]. THOMPSON Y BOWDEN. (1983). Introduction to Microlithography: theory, materials and processing. American Chemical Society

[4]. Mordechay, S. Milan, P. Modern Electroplating, Ed John Wiley & Sons, C2000, Four Edition.

[5]. GONZÁLEZ, J. y col. "Implementación De Una Técnica De Microfabricación Por Deposición Electroquímica De Níquel". Proyecto Dime (Dirección De Investigaciones De Medellín). 2004-2005

[6]. Falco, J. R. ; Francisco, F. R. ; Bagnato, O. ; F. Aristone ; Ferreira, L. O. S. "Eletrodeposição De Niquel Sobre Microestruturas Obtidas Com O Processo Liga". In: Xxiii Encontro Nacional De Física Da Matéria Condensada, 2000, São Lourenço. Brazilian Journal Of Physics, 2000.

[7]. LOPERA, S. VELEZ, J. M. JARAMILLO, J. M. "Desarrollo de una técnica fotolitográfica para escritura directa de micro patrones sobre resinas fotosensibles". Proyecto DIME 2004-2005.