

Fabricación de un Disco de Nipkow por Técnicas Litográficas

Lizeth T. González Vargas¹ and John W. Sandino del Busto¹

¹Departamento de Física,

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,
Colombia

Abstract

Se fabricó un disco de Nipkow funcional para ser utilizado en un microscopio confocal de disco rotante, por medio de un procedimiento que permite la microfabricación de patrones de plata mediante litografía. Se obtuvo una buena estructura de los *pinholes*, con bordes bien definidos y de tamaño esperado. Sin embargo, se evidenció que no todos se revelan de manera uniforme, lo que ocasiona que una fracción de ellos permanezca parcialmente o totalmente sin destapar. Como trabajo futuro, se propone realizar una caracterización detallada del proceso de caracterización y llevar a cabo pruebas de oxidación o sulfuración del recubrimiento de plata con el fin de disminuir su reflectividad.

Palabras Clave: Disco de Nipkow/Petráñ, Litografía, Microfabricación, Microscopio Confocal de Disco Rotante

I. INTRODUCCIÓN

El disco de Nipkow fue desarrollado por el inventor Paul Nipkow en 1884 como una forma de descomponer una imagen en una señal lineal analógica que pudiese ser transmitida electrónicamente y ser luego reconstruida en otro lugar [1]. Este consistía en una serie de cuadrados pequeños distribuidos en un disco en arreglo de una espiral de Arquímedes; al rotar el disco, la luz de un objeto transmitida a través de los cuadrados permitía su escaneo. Esta invención dio paso a la primera demostración de la televisión.

En 1967, el disco de Nipkow resurgió cuando David Eger y Mojmir Petráñ crearon una versión más avanzada para ser utilizada en el primer microscopio confocal de disco rotante [2]. Contrario al disco original de Nipkow, este disco, ahora conocido como disco de Petráñ, contenía aperturas circulares o *pinholes* en múltiples espirales de Arquímedes en lugar de una sola. Esto permitió obtener un microscopio confocal en el cual, en lugar de tener sólo un punto de enfoque en la muestra, se podían tener varios en paralelo, lo que permitió obtener mayor velocidad de escaneo [1].

A. Halpern et al. (2022) diseñaron un módulo de microscopio confocal de disco rotante de bajo costo donde utilizaron un disco de *pinholes* fabricado por un proceso fotolitográfico comercial utilizando una máscara de cromo [3]. D.T. Fewer et al. (1998) realizaron un estudio para evaluar el uso de una fuente coherente en el desempeño de microscopios de tipo de disco rotante utilizando como arreglo de *pinholes* una máscara fabricada por litografía por haz de electrones a partir de un sustrato con recubrimiento de cromo [4].

II. METODOLOGÍA

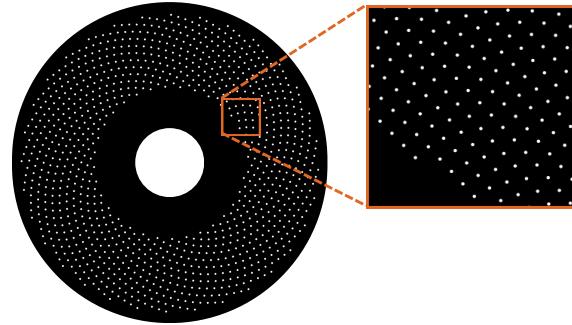


Figura 1: Diagrama de la distribución de *pinholes* en un arreglo de espirales de Arquímedes.

Los *pinholes* en el disco de Nipkow/Petráñ se encuentran distribuidos en un arreglo de espirales de Arquímedes. A pesar de que una sola espiral es suficiente para hacer un barrido, el uso de varias espirales permite obtener una sensibilidad menor frente al desplazamiento del mismo respecto a su centro [3]. Un conjunto de n espirales está definido por la expresión matemática en coordenadas polares mostrada en 1, donde i hace referencia a la i -ésima espiral, r_{start} al radio inicial, n al número total de espirales y s al espaciamiento entre ellas. La figura 1 muestra un diagrama de cómo se ven los *pinholes* en la distribución de espirales de Arquímedes.

$$r_i = r_{start} + \left(\frac{ns}{2\pi}\right) \left(\theta + \frac{2\pi i}{n}\right) \quad (1)$$

El disco se diseñó para ser fabricado sobre un disco de vidrio de 10cm de diámetro exterior y 1cm de diámetro interno. Los *pinholes* se distribuyen en el disco sobre un anillo de 2,5cm de radio interno y un grosor de 1,5cm, quedando así a 1cm del borde. Se decidió utilizar 32 espirales; el diámetro de los *pinholes* se definió en un valor de $38\mu m$ y su separación s igual a $190\mu m$. Los valores de estos parámetros dependen de características del diseño del microscopio confocal de disco rotante, como lo son la longitud de onda y el objetivo a utilizar. Los respectivos cálculos se encuentran en el documento titulado “Diseño y Fabricación de un Microscopio Confocal de Disco Rotante a Bajo Costo” escrito como parte de este trabajo de grado, en el cual los cálculos se basan los mostrados por A. Halpern et al. en su publicación [3].

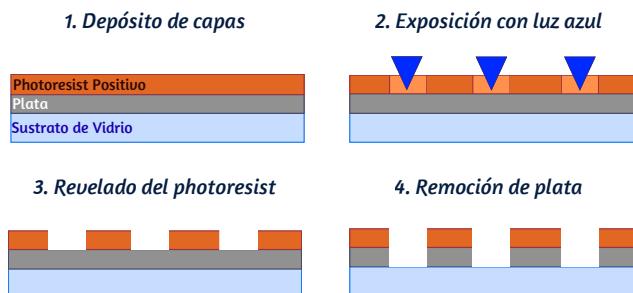
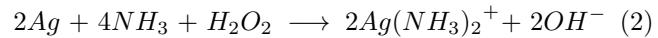


Figura 2: Diagrama del proceso realizado para la microfabricación del arreglo de *pinholes*.

La fabricación del disco se realizó en la empresa *Combustión Ingenieros S.A.S.* utilizando técnicas litográficas. El proceso realizado se muestra en la figura 2. Como sustrato se utiliza un disco de vidrio común previamente cortado, al que se le realiza una limpieza rigurosa. Este se recubre con una película de plata depositada por medio de la técnica de deposición física de vapor utilizando 0,5g de plata. Luego, se recubre con una película de *photoresist* positivo [5] por medio de la técnica de *spin coating* a aproximadamente 4000 rev/s para obtener un espesor aproximado de $1\mu m$.

A continuación, se realiza la exposición de solamente la región de los *pinholes* con luz azul utilizando una máquina de litografía. Las regiones expuestas son removidas por medio del revelador, obteniendo *pinholes* sin *photoresist*, pero aún con plata. Finalmente, para la remoción de la plata se utiliza una solución de amoníaco (NH_3), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y agua destilada en una proporción de 1 : 1 : 12. Se sumerge el disco y se agita suavemente por aproximadamente 2min.

La reacción química que se lleva a cabo se muestra en la expresión 2 [6]; el peróxido de hidrógeno oxida la plata generando iones Ag^+ que reaccionan inmediatamente con el amoníaco generando cationes complejos diamino plata (I) que son altamente solubles.



III. RESULTADOS Y ANÁLISIS



Figura 3: Fotografía del disco con el arreglo de *pinholes* ya fabricado.

En la figura 4 se observan imágenes tomadas del disco fabricado bajo el microscopio óptico a diferentes magnificaciones. Se observa la mayor parte de *pinholes* destapados donde su tamaño se excede en unas cuantas micras del tamaño esperado formado por el *photoresist* (circunferencia oscura). Esto se debe a la concentración de la solución de amoníaco y al tiempo que se sumerge la muestra en la solución.

Fue evidente, en pruebas realizadas con anterioridad utilizando diferentes concentraciones de la solución, que los *pinholes* no se “destapan” de manera uniforme, es decir, algunos se demoran más tiempo en remover que otros. Al usar una solución más concentrada, los *pinholes* que se destapan más fácilmente crecen en tamaño más rápido si se deja la muestra más tiempo dentro de la solución, ya que empieza a remover horizontalmente la plata. Utilizando una solución más diluida, como la de esta prueba, se puede dar más tiempo a los *pinholes* que no se destapan tan rápido, mientras que los demás no aumentan de tamaño de forma acelerada. En la figura 3 se observa una fotografía del disco fabricado. Se observa el anillo de color más claro donde se encuentran las espirales de *pinholes*.

Entre las dificultades encontradas en su fabricación se encuentra la afectación que ocasionó la solución utilizada para la remoción de plata a los bordes del disco, levantando en ciertas partes la plata con el *photoresist*. Esto puede ser causa de la agresividad de la concentración utilizada. Además de esto, se evidenció que una fracción de

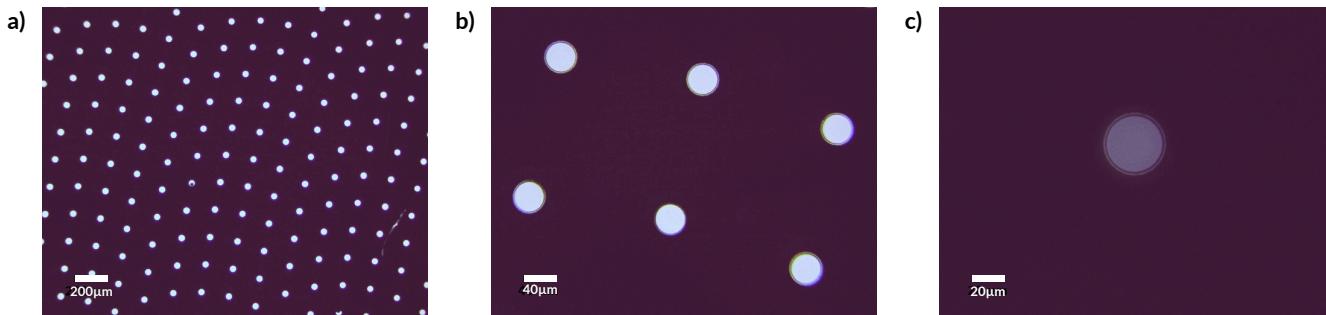


Figura 4: Imágenes a diferente magnificación del arreglo de pinholes fabricado. Se observan a a) 4x , b) 20x y c) 40x de magnificación.

los *pinholes* permaneció parcialmente o totalmente sin destapar, como se muestra en la figura 5. Esto sugiere poca uniformidad en el recubrimiento de plata o en la acción de la solución. Por esta razón, se planea realizar a futuro una caracterización más detallada del proceso para ser mejorado.

Una característica relevante del disco fabricado es que, al estar recubierto con plata, presenta una superficie altamente reflectante. Esto presenta un inconveniente en el diseño del microscopio confocal, ya que la luz reflejada puede llegar al sensor que captta la imagen y afectar la medida. Para las primeras pruebas, se inclinará el disco unos pocos grados con el fin de desviar dicha luz fuera del camino óptico. Sin embargo, a futuro se planea realizar tratamientos de oxidación o sulfuración del recubrimiento para disminuir su reflectividad.

IV. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Se diseñó un proceso que permite la microfabricación de patrones de plata mediante litografía. Con este se logró fabricar un disco de Nipkow funcional, que consiste en un arreglo de *pinholes*, para uso en un microscopio confocal de disco rotante.

Se evidenció que el proceso utilizado genera una buena estructura de los *pinholes*, con bordes bien definidos y de tamaño esperado. Aun así, se evidenció que no todos los *pinholes* se revelan al mismo tiempo, ocasionando que una minoría permanezca sin destapar o destapados a medias. Además de esto, se observó un afectación de los recubrimientos en el borde del disco. Todo esto puede ser causa de la agresividad de la solución o de problemas con el recubrimiento de plata. Por esta razón se planea continuar realizando pruebas para caracterizar el proceso y así encontrar los mejores parámetros y la mejor concentración de la solución para obtener un mejor resultado.

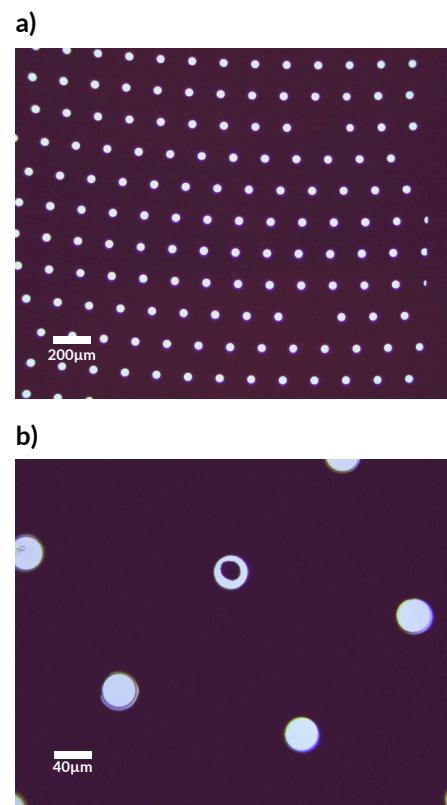


Figura 5: Fotografías de los *pinholes* fabricados. Se observan en a) un par de *pinholes* sin revelar y en b) uno que no se reveló por completo.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional y, en especial, al profesor Ricardo Amézquita, así como a su equipo de investigación de la empresa *Combustión Ingenieros*, Jefferson, Jorge, Óscar y Andrés, por el apoyo brindado y por facilitar los equipos necesarios para la fabricación del disco.

REFERENCIAS

- [1] D. K. Toomre, M. F. Langhorst, and M. W. Davidson, “Introduction to spinning disk confocal microscopy.” <https://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/spinningdisk/introduction.html>, 2009. Accedido: Dic-2025.
- [2] M. Petráň and M. Hadravsky, “Tandem-Scanning Reflected-Light Microscope,” *Journal of The Optical Society of America*, vol. 58, May 1968.
- [3] A. R. Halpern, M. Y. Lee, M. D. Howard, M. A. Woodward, P. R. Nicovich, and J. C. Vaughan, “Versatile. do-it-yourself, low-cost spinning disk confocal microscope,” *Biomedical Optics Express*, vol. 13, Feb. 2022.
- [4] D. Fewer, S. Hewlett, and E. M. McCabe, “Laser sources in direct-view-scanning, tandem-scanning, or Nipkow-disk-scanning confocal microscopy,” *Applied Optics*, vol. 37, Jan. 1998.
- [5] Room and H. E. Materials, “Microposit™ s1818™ positive photoresist datasheet.” https://www.nano.pitt.edu/sites/default/files/S1818_photoresist.pdf, 2004. Accedido: Dic-2025.
- [6] F. Okamoto, “Etching solution for silver,” 1975.