

Nanopartículas triangulares embebidas en estructuras fabricadas mediante microlitografía UV

Damián Gulich^{1,2,3}, Ingrid Y. Medina^{1,2}, Luis J. Mendoza^{1,2},
Ruth D. Mojica^{1,2}, Myrian Tebaldi^{1,2}

¹Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp - CONICET - UNLP - CICPBA) (Argentina)

²Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (Argentina)

³Email: maximiliano.gulich@ing.unlp.edu.ar



Resumen

Presentamos un sistema simple de fotolitografía por proyección UV para fabricar estructuras a escala microscópica utilizando una resina fotosensible con nanopartículas de plata triangulares incorporadas. Este sistema permite la creación de patrones precisos a escala microscópica, aprovechando las propiedades fotoquímicas mejoradas de la resina dopada con nanopartículas. El proceso ofrece potencial para la producción de microestructuras de alta resolución y de bajo costo, con aplicaciones en fotónica, sensores y microelectrónica.

1. Introducción

La fotolitografía UV es una técnica ampliamente utilizada en microfabricación que permite la creación precisa de patrones a microescala mediante la proyección de luz UV a través de una máscara sobre un material fotosensible. Este proceso es esencial para aplicaciones en electrónica, fotónica y sensores, donde un patrón de alta resolución resulta crucial para el rendimiento de los dispositivos.

En este estudio, desarrollamos un método sencillo para crear microestructuras de alta resolución utilizando resinas dopadas con nanopartículas, lo que posibilita la generación de microestructuras permanentes con las nanopartículas fijadas en su lugar. Estas estructuras embebidas conservan las propiedades fotoquímicas únicas de las nanopartículas de plata, lo cual abre posibilidades para su interacción con líquidos

en entornos microfluídicos, la fabricación de componentes electro-ópticos y aplicaciones en sensores, fotónica y sistemas avanzados de materiales.

1.1 Objetivos de la investigación

1. Desarrollar un proceso de fotolitografía UV que integre nanopartículas triangulares.
2. Investigar el impacto de estas nanopartículas en la resolución y precisión de estructuras a microescala.
3. Explorar posibles aplicaciones en fotónica, sensores y microelectrónica.



Un ejemplo de fotolitografía: resultado de una máscara puesta sobre resina dopada con nanopartículas y expuesta a luz láser UV.

2. Parte experimental

2.1 Materiales

• Resina fotosensible: Se seleccionó una resina UV (405 nm) comercialmente disponible y transparente como base para la fabricación de las microestructuras.

• Nanopartículas de plata triangulares: Se incorporaron nanopartículas de plata triangulares en la resina.

2.2 Proceso

1. Preparación de la resina y dispersión de las nanopartículas. Las nanopartículas de plata triangulares se disolvieron en alcohol isopropílico y se dispersaron en la resina para lograr una distribución uniforme.

2. Aplicación de la resina modificada. Se deposita una gota de la resina con nanopartículas sobre un portaobjetos de microscopio. Para obtener una capa uniforme, se coloca una lámina de acetato encima de la resina.

3. Exposición UV. La luz láser UV (405 nm) se expande y atraviesa una fotomáscara binaria (transparente/opaca). Se emplea un sistema óptico

de cámara simple para proyectar el patrón al tamaño deseado sobre la resina.

4. Revelado y curado final. Se retira la lámina de acetato y se lava el portaobjetos expuesto con abundante alcohol isopropílico. Se realiza una exposición UV adicional para consolidar la estructura final.



Configuración del sistema de fotolitografía UV. Los componentes principales son: un diodo láser UV (405 nm, 100 mW); un expansor de haz de alta energía (con pinhole de 15 µm); un espejo de primera superficie; una lente Nikon con un adaptador de enfoque manual (Bellows PB 4) y un soporte ajustable para portaobjetos.

3. Resultados y discusión

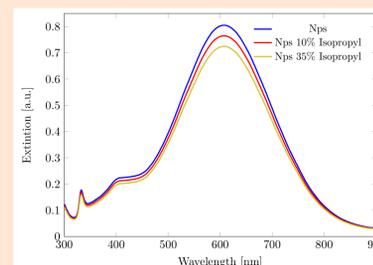
3.1 Preparación de las partículas

En el proceso de fabricación de los patrones, tras curar la combinación de nanoestructuras y resinas en las regiones de interés, se realiza un lavado con alcohol isopropílico para retirar el exceso de material. Por ello, resulta necesario estudiar el comportamiento de las nanoestructuras cuando se exponen a cantidades considerables de dicho solvente. En la siguiente medición se muestra el espectro de extinción de las nanoestructuras sin alcohol y con dos concentraciones diferentes de alcohol isopropílico, observándose que no hay modificación en los picos de extinción (ver Figura 2). Esto permite concluir que el alcohol isopropílico no afecta a las nanoestructuras. Es importante destacar que el pico plasmónico a 614 nm corresponde a la resonancia principal de los nanotriángulos, el pico cercano a 400 nm

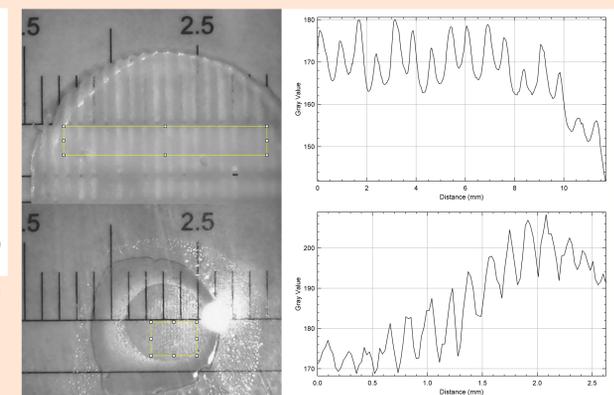
corresponde a nanósferas residuales de la síntesis y el pico de longitud de onda más corta es la resonancia plasmónica asociada al espesor de los nanotriángulos.

3.2 Resolución y precisión

El sistema de litografía demostró la capacidad de producir patrones lineales de alta resolución con un control preciso del tamaño de las estructuras. Tal como se aprecia en la Figura 3, se lograron fácilmente patrones lineales con resoluciones que van de 1,5 a 6 líneas por milímetro. Estos resultados ponen de relieve la habilidad de la técnica para producir microestructuras finas y bien definidas (Figuras 3 y 4), validando la efectividad del sistema en la fabricación a microescala.



Espectro de extinción de las nanoestructuras triangulares en agua y disueltas en alcohol isopropílico.



Dos ejemplos de microestructuras lineales observadas en el microscopio. Las cajas amarillas indican la región de interés empleada para trazar los perfiles de intensidad (derecha) con el fin de estimar el número de líneas por milímetro.

Reproducción de caracteres a pequeña escala. Fotolitografía con la palabra "CIOp" (~1 mm de ancho).

4. Conclusiones

El proceso de fotolitografía UV propuesto es sencillo, económico y capaz de producir estructuras de alta resolución con nanopartículas triangulares embebidas. Las propiedades fotoquímicas de las nanopartículas de plata se conservan dentro de la resina curada.

El uso de luz colimada y una máscara binaria garantiza que el patrón se mantenga enfocado incluso si varía la distancia entre la lámina y el plano focal predeterminado, lo que posibilita la replicación constante y precisa de microestructuras. Al ajustar la posición de la lente de proyección, se puede escalar el tamaño de los patrones impresos, proporcionando flexibilidad en la resolución y la fabricación sin sacrificar nitidez ni alineamiento. Esta configuración mejora el control y la eficiencia del proceso de microlitografía, haciéndolo adaptable a aplicaciones de alta resolución.

Las microestructuras fabricadas con nanopartículas triangulares de plata embebidas en resina fotosensible UV muestran un gran potencial para aplicaciones en fotónica, sensores y microelectrónica, donde la precisión del patrón y las propiedades fotoquímicas mejoradas son fundamentales. En trabajos futuros, se optimizará la concentración de nanopartículas en la resina y se explorarán diferentes patrones estructurales para mejorar la funcionalidad. Asimismo, se investigará de forma sistemática cómo la integración en la resina afecta el comportamiento fotoquímico de las nanopartículas de plata, con el fin de potenciar aún más el rendimiento de estas microestructuras en aplicaciones tecnológicas avanzadas.

Bibliografía

- [1] Rai-Choudhury, P. (1997). Handbook of Microlithography, Micromachining, and Microfabrication. Volume 1: Microlithography. SPIE PRESS. <https://doi.org/10.1117/3.2265070>
- [2] Tani, T. (2015). Silver Nanoparticles. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198714606.001.0001
- [3] Prasher, P., & Sharma, M. (2022). Silver Nanoparticles: Synthesis, functionalization and applications. Bentham Science.

Agradecimientos

Este trabajo fue patrocinado parcialmente por:

- Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (Proyecto I266).
- Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), Argentina, Proyectos PICT N° 4558 y PICT-2021-CAT-I-00074.
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), PIP N° 11220220100080CO, Argentina.
- Financiamiento personal de Damián Gulich.