EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Síntesis de nanoestructuras de CuO mediante un proceso económico y de bajo impacto ambiental usando plantillas de óxido de aluminio anódico

Juan Pablo Rojas[1], Miguel Ángel Zapata Zapata[1], Hélver Augusto Giraldo D.[1-2], César Leandro Londoño Calderón[2]

[1]Universidad de Manizales
[2]Universidad Autónoma de Manizales
Manizales, Colombia

Resumen

El estudio de nanoestructuras de óxido de cobre (CuO) ha atraído la atención en los últimos años debido a sus potenciales aplicaciones como sensores, en la producción de energía termoeléctrica y en la purificación de aguas, entre otras. Investigaciones previas han destacado diversos métodos de síntesis de estas nanoestructuras, principalmente mediante el uso de plantillas porosas, como la alúmina anódica porosa (AAO). Una revisión de los métodos tradicionales en la síntesis de estos materiales permitió identificar tres principales problemáticas en el proceso convencional: alta contaminación por el uso de ácidos fuertes (como el ácido sulfúrico y oxálico), sofisticados sistemas para mantener la temperatura cerca de 0°C y alto costo asociado al uso de la materia prima (aluminio de alta pureza como ánodo) y al cátodo de la celda electroquímica (titanio o sus aleaciones). Para reducir el impacto ambiental y los costos de la síntesis de estas nanoestructuras, se propone el uso de un ácido débil (fosfórico), la utilización de un voltaje pulsado con el fin de trabajar a temperatura ambiente y aluminio comercial en lugar de aluminio de alta pureza.

El proceso de síntesis se llevó a cabo mediante anodización en dos etapas, que incluyó un pretratamiento de las muestras de aluminio. Este pretratamiento consistió en el lavado de las muestras, un recocido a 500 °C durante 5 horas y un desengrasado posterior en una solución de etanol y acetona en un baño ultrasónico durante 15 minutos.

El primer anodizado se realizó durante 2 horas, aplicando pulsos de voltaje de 60 V y 0 V, con una duración de 1 segundo por pulso, en una solución de ácido fosfórico y agua destilada. Tras esta etapa, se llevó a cabo un decapado químico en una solución acuosa de trióxido de cromo y ácido fosfórico con agitación magnética a tiempo y temperatura controlada. El segundo anodizado se realizó bajo las mismas condiciones que el primero. Finalmente, se llevó a cabo la electrodeposición en una solución que contenía el precursor de Cu, utilizando el mismo montaje

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4619

experimental del anodizado. La electrodeposición de las nanoestructuras obtenidas fue confirmada por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD).

Palabras clave: nanoestructuras de C_uO; anodizado; electrodeposición

Abstract

The study of copper oxide (CuO) nanostructures has attracted attention in recent years due to their potential applications in sensors, thermoelectric energy production, and water purification, among others. Previous research has highlighted various methods for synthesizing these nanostructures, mainly using porous templates such as porous anodic alumina (AAO). A review of traditional synthesis methods for these materials identified three main issues in the conventional process: high contamination due to the use of strong acids (such as sulfuric and oxalic acid), sophisticated systems required to maintain the temperature near 0°C, and the high cost associated with the use of raw materials (high-purity aluminum as an anode) and the cathode of the electrochemical cell (titanium or its alloys). To reduce the environmental impact and costs of synthesizing these nanostructures, this study proposes the use of a weak acid (phosphoric acid), the application of pulsed voltage to allow processing at room temperature, and commercial aluminum instead of high-purity aluminum.

The synthesis process was carried out through a two-step anodization, which included a pre-treatment of the aluminum samples. This pre-treatment consisted of washing the samples, annealing at 500°C for 5 hours, and subsequent degreasing in an ethanol and acetone solution using an ultrasonic bath for 15 minutes.

The first anodization was performed for 2 hours, applying voltage pulses of 60 V and 0 V, with a duration of 1 second per pulse, in a solution of phosphoric acid and distilled water. After this stage, a chemical etching process was carried out in an aqueous solution of chromium trioxide and phosphoric acid under controlled temperature and magnetic stirring. The second anodization was performed under the same conditions as the first one. Finally, electrodeposition was carried out in a solution containing the Cu precursor, using the same experimental setup as the anodization. The electrodeposition of the obtained nanostructures was confirmed by Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-ray Diffraction (XRD).

Keywords*: C_uO nanostructures; anodization; electrodeposition*

1. Introducción

El incremento sostenido de la demanda energética mundial y la creciente preocupación por las emisiones contaminantes han impulsado la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan la valorización de fuentes de energía residual. Entre las alternativas más prometedoras, la conversión directa de calor en electricidad mediante dispositivos termoeléctricos ha cobrado especial atención. En este contexto, los nanomateriales basados en óxidos metálicos semiconductores han emergido

como candidatos clave, destacándose particularmente el óxido de cobre (CuO) por su combinación de bajo costo, abundancia, estabilidad química y propiedades físicas atractivas.

El CuO es un semiconductor tipo-p con una banda prohibida (bandgap) relativamente estrecha, que varía entre 1.2 y 1.9 eV dependiendo de su estructura y tamaño a nanoescala. Esta característica lo convierte en un material atractivo para aplicaciones termoeléctricas, ya que un bandgap moderado favorece la eficiencia en la generación de portadores de carga bajo un gradiente térmico. Además, la naturaleza unidimensional de los nanohilos de CuO introduce efectos de confinamiento cuántico y dispersión fonónica que contribuyen a una reducción significativa de la conductividad térmica sin afectar drásticamente la conductividad eléctrica, mejorando así el factor de mérito termoeléctrico ZT.

Las nanoestructuras de CuO presentan una densidad alta de límites de grano y superficies libres, lo cual promueve la dispersión de fonones y la reducción de la conductividad térmica, uno de los desafíos principales en la mejora de materiales termoeléctricos (Chung et al., 2010). Asimismo, su compatibilidad con técnicas de síntesis controlada como la electrodeposición asistida por plantillas de óxido de aluminio anódico (AAO) permite fabricar estructuras altamente ordenadas y reproducibles, ajustando la morfología y tamaño de las nanoestructuras mediante parámetros electroquímicos (Chen et al., 2014; Chung et al., 2010; Ospina Hoyos, 2024).

Estudios recientes han reportado que la micro y nanoestructura del CuO juega un papel decisivo en sus propiedades eléctricas y térmicas. A escalas nanométricas, es posible alcanzar un equilibrio entre la conductividad eléctrica y la reducción de la conductividad térmica, que es esencial para obtener valores de ZT superiores a los materiales volumétricos convencionales. Además, la posibilidad de formar heteroestructuras basadas en CuO y otros materiales en configuraciones tipo p–n abre la puerta al desarrollo de dispositivos termoeléctricos híbridos con mejores rendimientos, aprovechando la sinergia entre ambos materiales.

En consecuencia, el presente trabajo se orienta al estudio de la fabricación y caracterización morfológica y química de nanoestructuras de CuO utilizando plantillas nanoporosas de AAO (Ospina Hoyos, 2024; Chen et al., 2014; Santos & Losic, 2015; Chung et al., 2010).

2. Nanoestructuras

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación y aplicación de materiales y dispositivos mediante la manipulación de la materia a escala nanométrica (1–100 nm). Uno de los nanomateriales más prometedores son los nanohilos, estructuras unidimensionales cuya relación longitud/diámetro permite propiedades físicas emergentes, como el confinamiento cuántico, alta área superficial y transporte electrónico y térmico direccionado (Chen, Shen, Wang, & Huang, 2014).

En particular, las nano estructuras de este estudio son semiconductores. El CuO ha demostrado un amplio potencial en dispositivos termoeléctricos, sensores, optoelectrónica, fotocatálisis y recolección de energía. Su eficiencia está directamente relacionada con el control de su estructura cristalina, tamaño, pureza y orientación dentro de plantillas.

3. Proceso de Anodizado y Plantillas De Óxido De Aluminio Anódico (AAO)

Las plantillas de óxido de aluminio anódico (AAO) son estructuras nanoporosas obtenidas mediante la anodización electroquímica del aluminio. Se caracterizan por presentar una elevada densidad de poros, alta uniformidad estructural y un ordenamiento hexagonal autoorganizado. Estas cualidades las convierten en moldes ideales para el crecimiento de nanoestructuras de diversos materiales, como CuO o metales nobles. El proceso de anodización consiste en transformar la superficie del aluminio metálico en una capa de alúmina porosa mediante la aplicación de un voltaje constante o pulsado, en presencia de un electrolito ácido. Este procedimiento se realiza comúnmente en dos etapas: en la primera, se forma una capa inicial desordenada que se elimina mediante ataque químico; en la segunda etapa, se genera una matriz de poros uniformes y altamente ordenados. Los electrolitos más utilizados en este proceso son los ácidos sulfúrico, oxálico y fosfórico, en los cuales se lleva a cabo el proceso de formación de una capa de óxido de aluminio Al_2O_3.

Figura 1. Micrografía SEM de una plantilla de AAO obtenida por anodización pulsada. Fuente propia. Esta figura muestra la vista superior de una plantilla AAO con poros bien definidos y distribuidos. Representa una anodización efectiva bajo condiciones controladas.

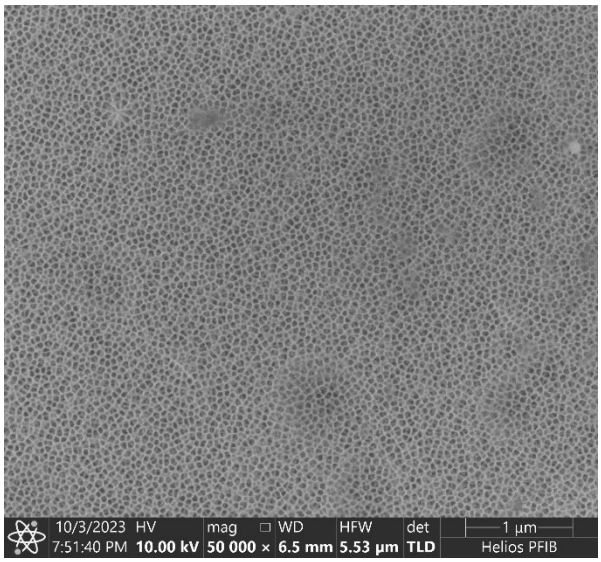


Figura 1. Micrografía SEM de una plantilla de AAO

Propiedades de las plantillas AAO

- **Diámetro de poro:** Es ajustable mediante el voltaje y tipo de ácido.
- **Espesor de capa:** Hasta cientos de micrómetros.
- **Químicamente estables y reutilizables.**
- **Alta ordenación estructural:** Especialmente bajo condiciones de anodización dura.

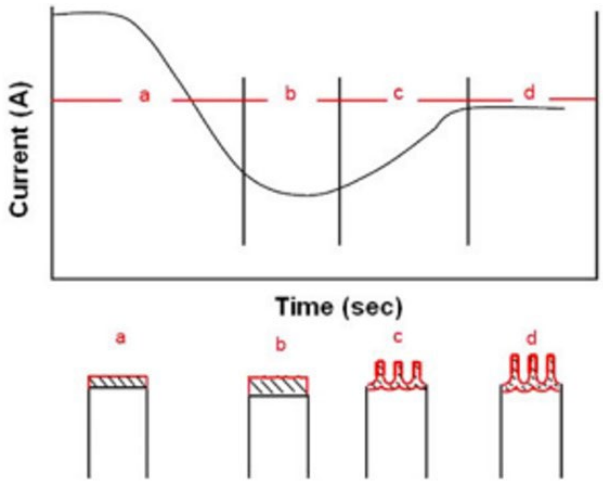


Figura 2. Curva de corriente Vs tiempo en el proceso de anodizado

3.1 Gráfica del Proceso de Anodizado: Evolución de la Corriente en el Tiempo

La figura 2 muestra la evolución de la corriente eléctrica en función del tiempo durante la fabricación de óxido de aluminio anódico (AAO), mediante anodización. Esta gráfica representa 4 etapas (a, b, c y d) en el crecimiento de la capa de óxido de aluminio sobre el material. La figura y su interpretación han sido tomadas y adaptadas de Chung et al. (2010). En la etapa a, la corriente es alta debido a que esta fluye directamente a través del aluminio metálico, el cual presenta baja resistencia eléctrica. A medida que se forma una delgada capa de óxido compacto no poroso en la superficie del aluminio, la resistencia del sistema aumenta, provocando una caída progresiva de la corriente.

Durante la etapa b, la disminución de corriente continúa mientras la capa de óxido se hace más gruesa. Sin embargo, comienzan a formarse pequeñas imperfecciones en el óxido compacto, las cuales reducen localmente la resistencia. Estas imperfecciones se convierten en puntos activos donde se inicia la disolución localizada del óxido, lo cual favorece la nucleación de los poros. Este fenómeno se traduce en una ligera recuperación de la corriente hacia el final de esta etapa.
En la etapa c, se establece un crecimiento activo de la capa porosa, donde los poros comienzan a desarrollarse a partir de las imperfecciones iniciales. La corriente eléctrica vuelve a incrementarse, ya que la disolución y regeneración del óxido se vuelven procesos dinámicos y localizados, aumentando también la temperatura del electrolito por efecto Joule.

Finalmente, en la etapa d, se alcanza un equilibrio entre la formación del óxido y su disolución asistida por campo eléctrico. En este punto, la corriente se estabiliza, indicando que el sistema ha llegado a un estado estacionario, caracterizado por un crecimiento regular y sostenido de los poros.

4. Caracterización de Nanoestructuras

Las muestras obtenidas fueron caracterizadas utilizando Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para determinar la morfología, alineación y diámetro de los nanohilos. La composición elemental fue verificada mediante Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) y la estructura cristalina mediante Difracción de Rayos X (XRD).

4.1. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM):

La SEM se emplea para analizar la morfología, alineación y diámetro de las nanoestructuras y la estructura superficial de las plantillas AAO. Esta técnica permite obtener imágenes de alta resolución y estudiar la distribución uniforme de los poros y la calidad del crecimiento de las nanoestructuras (Korchinski, et. al. ,2019).

La SEM convierte lo invisible en visible, transformando estructuras de 50 nm en imágenes detalladas, cruciales para ajustar parámetros como tiempo de anodización o condiciones de electrodeposición (Wang & Petrova,2012).

4.2. Difracción de Rayos X (XRD):

La XRD permite identificar la fase cristalina, orientación preferencial y pureza estructural de las nanoestructuras sintetizadas. En estudios con CuO, se ha observado que los nanoestructuras presentan estructuras bien definidas con orientación c-axis al usar AAO como molde (Andrei et. al., 2015).

4.3. Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS):

La técnica EDS, acoplada generalmente a SEM, permite la verificación elemental de las nanoestructuras. Confirma la presencia de los elementos esperados (por ejemplo, Zn, Cu, O) y descarta impurezas indeseadas. Esto es vital cuando se emplean electrólitos o condiciones de crecimiento con componentes múltiples (Hodoroaba, 2020).

4.4. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR):

La FTIR puede emplearse para detectar grupos funcionales o compuestos superficiales residuales. Esto resulta especialmente útil cuando se aplican tratamientos químicos o térmicos sobre la plantilla o las nanoestructuras.
En sensores o aplicaciones biomédicas, el FTIR puede asegurar la limpieza superficial y compatibilidad química del sistema.

5. Procedimiento experimental

Las plantillas de AAO fueron fabricadas mediante anodización en dos pasos que incluyó un pretratamiento de las muestras de aluminio. Este pretratamiento consistió en el lavado de las

muestras con agua y detergente, posteriormente se llevaron a un horno para un recocido a 500 °C durante 5 horas dejando enfriar lentamente con el fin de permitir la recristalización y la eliminación de defectos cristalinos en el material. Luego se realizó un desengrasado en una solución de etanol y acetona en un baño ultrasónico durante 15 minutos.

El primer anodizado se realizó durante 2 horas, aplicando pulsos de voltaje de 60 V y 0 V, con una duración de 1 segundo por pulso, en una solución de ácido fosfórico y agua destilada. Tras esta etapa, se llevó a cabo un decapado químico en una solución acuosa de trióxido de cromo y ácido fosfórico con agitación magnética. El segundo anodizado se realizó bajo las mismas condiciones que el primero. Finalmente, se llevó a cabo la electrodeposición en una solución que contenía el precursor de Cu, utilizando el mismo montaje experimental del anodizado (Wang & Han, 2003).

6. Resultados y discusión

La figura 3 muestra una micrografía obtenida mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) correspondiente a una plantilla de óxido de aluminio anódico (AAO) fabricada mediante un proceso de anodización en dos pasos. Se observa una estructura de poros ordenada con distribución ramificada de los poros. El insert en la figura 3, corresponde a la distribución estadística para el diámetro de poro con un promedio de 30.36 ± 3.65 nm, lo que indica una baja dispersión en la distribución del tamaño de poro.

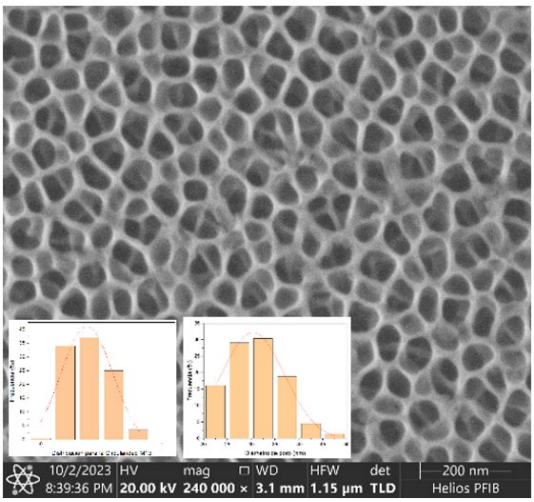


Figura 3. Micrografía SEM para la muestra

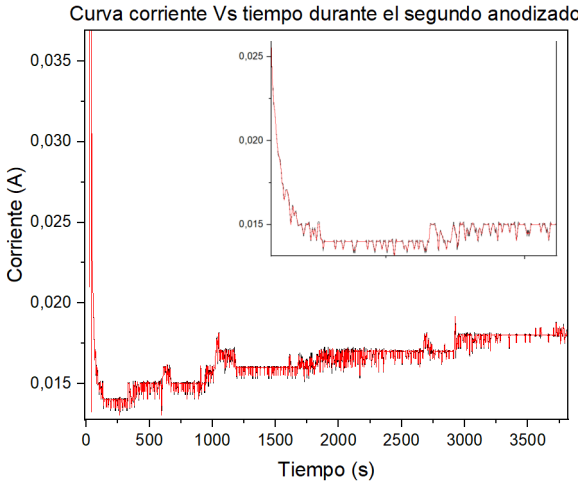


Figura 4. Curva corriente Vs tiempo

En la figura 4 se puede apreciar la curva experimental de la corriente contra el tiempo para el proceso del segundo anodizado. Esta curva está de acuerdo con lo reportado por Chung et al. (2010) en la figura 2 que corresponde a la curva teórica de corriente vs. tiempo. Este resultado revela una coherencia general en la evolución del proceso, aunque con diferencias propias de la dinámica real del sistema. En la curva teórica se distinguen claramente cuatro etapas: (a) una corriente inicial alta asociada al contacto eléctrico y formación de la capa barrera; (b) una caída abrupta de corriente por el crecimiento de dicha capa compacta; (c) una recuperación de la

corriente debido al inicio de la formación de poros en regiones defectuosas; y (d) una estabilización de la corriente indicando el crecimiento poroso en estado estacionario. Esta secuencia es reflejada cualitativamente en la curva experimental, donde se observa una corriente inicial elevada que desciende rápidamente en los primeros segundos, seguida de una fase de oscilaciones leves con tendencia al alza, hasta alcanzar una meseta relativamente estable. Esta última corresponde al equilibrio entre la formación y disolución del óxido durante la anodización. Las variaciones presentes en la curva experimental se deben posiblemente a factores como fluctuaciones térmicas, heterogeneidades del sustrato, inestabilidad del sistema electroquímico, y otras condiciones de laboratorio.

Por otro lado, la figura 5 muestra los patrones de difracción de rayos X (XRD) correspondientes a una plantilla de óxido de aluminio anódico (AAO) tras el proceso de electrodeposición, en la que se identifican tres fases principales: aluminio (Al), cobre metálico (Cu) y óxido de cobre (CuO). Las señales del aluminio (curva azul), atribuidas a los planos cristalográficos (111), (200), (220) y (311), son coherentes con el sustrato base. Las señales correspondientes al cobre metálico (curva roja) presenta picos característicos en (111), (200), (220), indicando que parte del precursor metálico se depositó como Cu sin oxidarse completamente. Por otro lado, la presencia de CuO se confirma por los picos más anchos y menos definidos en la curva negra, especialmente en las posiciones angulares cercanas a (111) y (222).

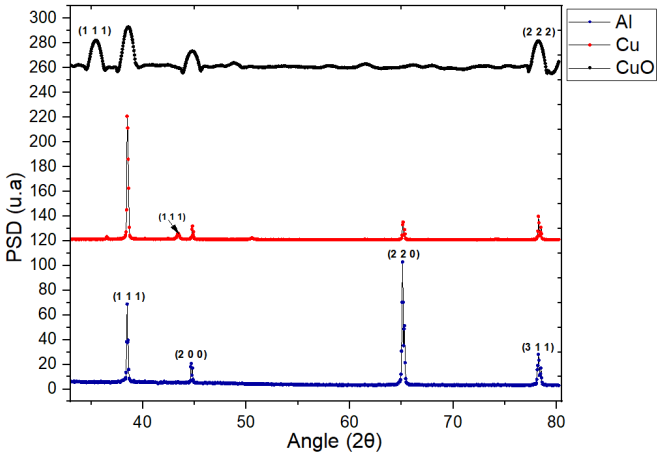
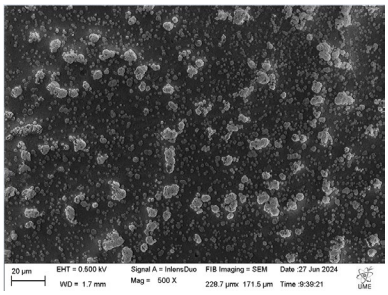
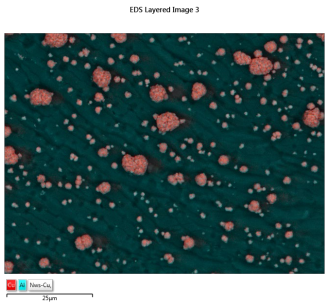


Figura 5. Patrones de difracción de rayos X (XRD) obtenidos de una plantilla de óxido de aluminio anódico (AAO) después del proceso de electrodeposición de CuO.





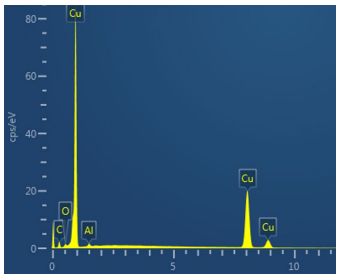


Figura 6 a. Micrografía SEM. Figura 6 b. Resultados EDS Figura 6 c. Espectro EDS

La Figura 6 presenta los resultados del análisis morfológico y composicional del material obtenido tras el proceso de electrodeposición sobre la plantilla de óxido de aluminio anódico (AAO). En la Figura 6a, la micrografía SEM muestra una distribución heterogénea de depósitos superficiales sobre la plantilla, con partículas de distintos tamaños dispersas a lo largo de toda la superficie. Esta morfología es indicativa de una nucleación inicial seguida por un crecimiento progresivo de las islas metálicas o de óxido. En la Figura 6b, el mapeo elemental por espectroscopía de dispersión de energía (EDS) confirma que los dominios depositados (representados en rojo) están compuestos principalmente por cobre (Cu), mientras que la matriz subyacente corresponde al aluminio de la plantilla AAO. Finalmente, la Figura 6c muestra el espectro EDS correspondiente, donde se observan picos prominentes de Cu, junto con señales correspondientes a Al (del sustrato) y O, lo cual sugiere la presencia de óxido de cobre (CuO) como fase mayoritaria. Esta evidencia es coherente con un proceso de electrodeposición en medio acuoso bajo condiciones oxidantes, donde se favorece la formación de compuestos oxidados del cobre sobre la superficie de la plantilla. En conjunto, los resultados SEM y EDS permiten confirmar tanto la deposición efectiva del cobre como su posible oxidación parcial en la superficie de las plantillas AAO.

7. Conclusiones

La implementación de una metodología que emplea ácido fosfórico (un ácido débil), aluminio comercial y condiciones de temperatura ambiente mediante el uso de voltaje pulsado, permitió reducir significativamente el uso de insumos costosos y contaminantes, como ácidos fuertes y aluminio de alta pureza. Esto evidencia una alternativa sostenible y de bajo costo para la fabricación de plantillas de óxido de aluminio anódico (AAO).

El proceso de anodización en dos pasos, complementado con tratamientos térmicos y químicos controlados, permitió la fabricación de plantillas AAO con una estructura porosa ordenada y uniforme. La micrografía SEM mostraron poros bien distribuidos con un diámetro promedio de 30.36 ± 3.65 nm, lo que indica una baja dispersión y, por tanto, un alto grado de control morfológico del proceso.

Las técnicas de caracterización empleadas (SEM, EDS y XRD) confirmaron la presencia de depósitos superficiales de Cu y la formación parcial de óxido de cobre (CuO) sobre las plantillas. Se identificaron fases cristalinas correspondientes a Al, Cu y CuO, lo cual valida la efectividad de la electrodeposición en medio acuoso y demuestra que el proceso permite obtener nanoestructuras funcionales con potencial para aplicaciones termoeléctricas.

8. Referencias

- Chen, Y.-H., Shen, Y.-M., Wang, S.-C., & Huang, J.-L. (2014). Fabrication of one-dimensional ZnO nanotube and nanowire arrays with an anodic alumina oxide template via electrochemical deposition. *Thin Solid Films, 572*, 258–263. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2014.03.014
- Chung, C.-K., Liu, T.-Y., & Chang, W.-T. (2010). Effect of oxalic acid concentration on the formation of anodic aluminum oxide using pulse anodization at room temperature. *Microsystem Technologies, 16*(9), 1451–1456. https://doi.org/10.1007/s00542-009-0944-9

- Bunaciu, A. A., Udriştioiu, E. G., & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-ray diffraction: Instrumentation and applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry, 45*(4), 289–299. https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616
- Wang, X., & Han, G.-R. (2003). Fabrication and characterization of anodic aluminum oxide template. *Microelectronic Engineering, 66*(1–4), 166–170. https://doi.org/10.1016/S0167-9317(03)00042-X
- Michalska-Domańska, M., Stępniowski, W. J., & Salerno, M. (2018). Effect of inter-electrode separation in the fabrication of nanoporous alumina by anodization. *Journal of Electroanalytical Chemistry, 823*, 47–53. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.05.038
- Khan, G. G., Mukherjee, N., Mondal, A., Bandyopadhyay, N. R., & Basumallick, A. (2010). Optical and field emission characteristics of anodic aluminium oxide/ZnO hybrid nanostructure. *Materials Chemistry and Physics, 122*(1), 60–63. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.02.074
- Cheng, C.-L., Lin, J.-S., & Chen, Y.-F. (2009). A simple approach for the growth of highly ordered ZnO nanotube arrays. *Journal of Alloys and Compounds, 476*(1–2), 903–907. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.09.132
- Santos, A., & Losic, D. (Eds.). (2015). *Nanoporous alumina: Fabrication, structure, properties and applications*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20334-8
- Wang, Y., & Petrova, V. (2012). Scanning electron microscopy. En G. W. Padua & Q. Wang (Eds.), *Nanotechnology research methods for foods and bioproducts* (pp. 103–126). John Wiley & Sons, Inc.
- Hodoroaba, V.-D. (2020). Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). En C. M. S. Torres & M. S. Bellido (Eds.), *Characterization of nanoparticles* (pp. 397–417). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814182-3.00021-3
- Polaki, S. R., Kamruddin, M., & Tyagi, A. K. (2011). A facile route for room temperature synthesis of alumina nanostructures. *2011 IEEE International Conference on Nanoscience, Technology and Societal Implications (NSTSI)*, 330–333.
- Korchinski, D. J., Duereth, J., McNeil, R., Au, M., & Schmid, V. (2019). A Brief Introduction to Scanning Electron Microscopy.
- Ospina Hoyos, J. E. (2024). *Implementación de un proceso de anodizado pulsado de bajo costo para la obtención de nanoporos que sirven como plantilla para el crecimiento de nanohilos* [Trabajo de investigación, Universidad Autónoma de Manizales].

Sobre los autores

- **Juan Pablo Rojas**: Estudiante Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones. Investigador en formación, Universidad de Manizales. Jprojas95395@umanizales.edu.co
- **Miguel Ángel Zapata Zapata**: Estudiante Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones. Investigador en formación, Universidad de Manizales. mazapata100389@umanizales.edu.co
- **Hélver Augusto Giraldo Daza**: Ingeniero Físico. Magíster en Ciencias-Física. Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Universidad Autónoma de Manizales. Profesor Universidad de Manizales. hdaza@umanizales.edu.co, helvera.giraldo@autonoma.edu.co
- **César Leandro Londoño Calderón**. Ingeniero Físico. Magíster en Ciencias-Física. Doctor en Ingeniería Universidad de Buenos Aires. Profesor Universidad Autónoma de Manizales. cesarl.londonoc@autonoma.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)