

6. CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de la presente tesis consistió en establecer un protocolo para la obtención de nanoestructuras en masa por medio del procesamiento de óxido de zinc utilizando el método de descarga de arco y de oxidación térmica. Para ello, se propuso y se desarrolló un protocolo para lidiar con el problema de inaccesibilidad a nanoestructuras en masa. Con esto, se busca crear un estándar económico para la producción de nano-objetos de calidad y de alta cristalinidad producibles de forma escalable para poder abrir más el acceso industrial a nanoestructuras, de manera que puedan ser aplicadas para solucionar problemas de la vida cotidiana.

En este proyecto de tesis se reporta el crecimiento de diferentes nanoestructuras, específicamente de nanotetrápodos, nanobelts y nanoribbons, para las que se llevó a cabo el mismo protocolo de fabricación. Para lograr el óptimo crecimiento y control sobre las propiedades de dichas nanoestructuras, se necesitó encontrar los parámetros adecuados (temperatura de calentamiento, flujo de gas inerte y tiempo de calentamiento) para que las condiciones fueran adecuadas, efectivas y óptimas. Las imágenes tomadas por SEM y TEM muestran que las nanoestructuras son densas y de alta cristalinidad. Por medio de la observación y el análisis de las nanoestructuras sintetizadas, se concluyó que la temperatura de procesamiento es el parámetro más importante. Las estructuras que se obtuvieron fueron todas unicristalinas, lo que fue más notorio en el caso de los nano tetrápodos. Esto fue probado utilizando imágenes por SEM y TEM incluyendo patrones de difracción de rayos X e imágenes de alta resolución.

Se cumplieron con todos los objetivos de manera satisfactoria. Se sintetizó exitosamente ZnO en masa partiendo de zinc metálico y oxígeno gaseoso por el método de

descarga de arco. Derivado del cumplimiento de este primer objetivo, se pudo cumplir con el segundo objetivo: se procesó la masa de ZnO obtenida para la obtención de nanoestructuras de ZnO utilizando el método de oxidación térmica. Inicialmente, se planeó la formación de nanotetrápodos, sin embargo se logró sintetizar tres nanoestructuras diferentes excediendo el objetivo planteado (nanotetrápodos, nanobelts y nanorribbons). Por último, se logró tener un mejor entendimiento del papel del flujo de gas inerte y la temperatura en el proceso de oxidación térmica siendo, de estos dos, la temperatura de procesamiento el factor más importante en la formación de estructuras nanométricas.

En resumen, se pueden concluir dos cosas: (1) El método de descarga de arco es altamente efectivo para la producción en masa de estructuras en el rango nanométrico como semillas para el crecimiento de estructuras más complejas y, (2) la oxidación térmica permite el tratamiento de ZnO para producir nanoestructuras definidas en masa.

Por sus propiedades, las nanoestructuras derivadas del ZnO son de gran interés en la industria. Sus aplicaciones se extienden a una amplia gama de áreas, en las que sin duda representan estructuras de interés por el gran número de usos que poseen. Es por esto que la síntesis y crecimiento a gran escala de nanoestructuras de ZnO, son actualmente un estudio de vanguardia en las nanociencias y la nanotecnología. La importancia del presente estudio reside en la facilidad para obtener nanoestructuras en masa y en la escalabilidad de este protocolo a la industria.

La combinación de estos dos métodos llevados a cabo para el presente estudio (descarga de arco y oxidación térmica), ofrece la gran ventaja de obtener nanoestructuras listas para ser utilizadas en un sin número de aplicaciones. Debido a su versatilidad y diversidad en morfologías, el ZnO es adecuado para su uso en sensores, transductores y

catálisis. En la actualidad su uso se ha visto crecer en el sector energético como componente de celdas solares. Esto debido a su alta transferencia de electrones y su brecha de valencia. También se han reportado aplicaciones en dispositivos electrónicos y optoelectrónicas como en sensores piezoeléctricos, diodos emisores de luz ultravioleta/azul, transistores y pantallas de emisión de campo.

El protocolo propuesto cuenta con sus propias limitaciones, como es el caso de todo método de síntesis. Primero, obtener y mantener constantes las condiciones experimentales puede resultar complicado debido a que es necesario el uso de altas temperaturas (entre 500 y 1000 grados centígrados) y el uso de un flujo constante de gas inerte. En el caso del proceso de descarga de arco, necesita de un alto consumo energético y esto puede parecer económicamente contraproducente, pero se contrarresta con las ventajas de tener nanoestructuras en masa y su valor comercial.

Finalmente, destacando el gran número de aplicaciones de estas nanoestructuras sintetizadas a gran escala, del presente trabajo se puede concluir que fue llevado a cabo de manera efectiva y óptima, lo que se demuestra en los resultados obtenidos. Para futuras líneas de investigación, el estudio debe concentrarse en la optimización del control sobre el tamaño de las estructuras nanométricas en el proceso de oxidación térmica. Para esto se sugiere investigar más sobre los mecanismos de crecimiento de estas estructuras para simplificar el debate actual sobre su crecimiento. Para ampliar las aplicaciones de este material se puede abrir una línea de investigación sobre como incorporar elementos de dopaje en el tratamiento de oxidación térmica ya que el efectivo dopaje de óxido de zinc es una meta en la comunidad científica ampliamente buscada. De cualquier manera, las nanoestructuras de óxido de zinc ya poseen por sí solas una gran capacidad para revolucionar una gran cantidad de áreas

científicas e industriales, por lo que merece la pena este tipo de estudios en donde se buscó y, hasta cierto grado, se logró optimizar los métodos de síntesis y crecimiento para la fabricación en masa de dichas estructuras.