

Dedicatoria

*A mi amada esposa
Xochitl E. Holguin, a mis hijos
Diego Eli y David Alejandro, y
a toda mi familia en especial a
mi madre Lucia Aguirre, por
que todos ellos me apoyaron
siempre para que este sueño
fuera posible.*

Agradecimientos:

Al Dr. Francisco Paraguay Delgado, quien fue mi asesor y maestro de enseñanzas. Gracias por proporcionarme los medios y los conocimientos requeridos para la realización de este proyecto.

Al CONACYT quien fue el proveedor del sustento para que yo pudiera realizar mis estudios de maestría en el CIMAV.

Al CIMAV por abrir las puertas a personas como yo que tienen la finalidad de superarse académicamente estudiando un postgrado.

Al comité de sinodales por su valiosa aportación y conocimiento para la evaluación y mejora de este proyecto. Dra. Hilda Esparza, Dra. María Elena Fuentes y el Dr. Armando Zaragoza.

Al Dr. Mario Miki por permitirnos el uso de su laboratorio de películas delgadas, así como del equipo y material con que cuenta en este.

A los técnicos encargados de los distintos laboratorios, quienes me apoyaron con su trabajo y experiencia. Ing. Wilbert Antúnez e Ing. Enrique Torres.

A todos los profesores que en un momento de la maestría me dieron clases de alguna asignatura.

A los compañeros de siempre como Isis, Elizabeth, Pacheco, David (mi compadre), Miguelito, Ana, Jorge, Sandino, Leny, Rafa, Alejandro y Luis Carlos.

“Síntesis y Caracterización de nanoestructuras de óxido de estaño”

Indice	Página
Resumen	1
Abstract	2
I. Introducción	3
Hipótesis.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos particulares.....	5
II. Marco Teórico	6
III. Materiales y Métodos	12
1. Aspersión Piroclítica.....	12
2. Preparación del precursor.....	13
2.1. Síntesis usando solución reciente.....	13
2.2. Síntesis usando solución Añeja (envejecida).....	13
3. Síntesis del material.....	13
4. Preparación de las muestras.....	16
4.1. Muestra para TEM.....	16
4.2. Muestra para SEM.....	16
4.3. Muestra para DRX.....	16
5. Caracterización de partículas obtenidas.....	17
5.1. Caracterización por DRX.....	17
5.2. Caracterización por TEM.....	17
5.3. Patrón de difracción de electrones	17
5.4. Caracterización en SEM	18
5.5. Análisis elemental.....	18
IV. Resultados y Discusión	19
1. Parámetros de Aspersión Piroclítica.....	19
2. Medición de tamaños (partículas alargadas).....	20
3. Composición elemental por EDS en el SEM.....	21
4. Difracción de Rayos X.....	22
5. Estudio por Microscopía Electrónica de Barrido.....	29
5.1. Tubo Completo.....	30
5.2. Diferentes morfologías encontradas.....	36
5.3. Comparación de morfologías de la zona cuatro en distintas pruebas.....	40
6. Estudio por Microscopía Electrónica de Transmisión.....	42
7. Discusión.....	53
V. Conclusiones	60
VI. Bibliografía	62
VII. Anexos	64
1. Apendice I	64
2. Apendice II.....	66

Lista de Figuras

	Páginas
1. Diagrama del sistema de Aspersión Pirolítica.....	15
2. Horno tubular.....	15
3. Tubo con material depositado.....	15
4. Horno tubular en sección transversal, zonas de análisis del tubo.....	19
5. Diámetros de la muestra ES915.....	21
6. Longitudes de la muestra ES915.....	21
7. Análisis cualitativo elemental del material de SnO ₂	22
8. Patrón DRX modelado de SnO ₂ por Carine.....	23
9. Difractograma de rayos-X, de los fragmentos del tubo completo muestra ES26.....	23
10. Comparación de Morfologías.....	24
11. Patrón de DRX zona 4 diferentes muestras.....	26
12. Patrón de DRX de la muestra ES915.....	27
13. Patrón de DRX de la muestra ES15.....	27
14. Muestra Es15 1.....	30
15. Muestra Es15 2.....	30
16. Muestra Es15 3.....	30
17. Muestra Es15 4.....	31
18. Muestra Es15 5.....	31
19. Muestra Es15 6.....	31
20. Muestra Es15 7.....	31
21. Muestra Es15 8.....	32
22. Muestra Es15 9.....	32
23. Muestra ES15 10.....	32
24. Muestra Es15 11.....	32
25. Muestra Es15 12.....	33
26. Muestra Es15 13.....	34
27. Muestra Es15 13.....	34
28. Muestra Es15 14.....	34
29. Muestra Es15 15.....	34
30. Muestra Es15 16.....	34
31. Muestra Es15 17.....	34
32. Esferas colapsadas Muestra Es7 7	36
33. Muestra Es29 5.....	37
34. Muestra ES9 6.....	38
35. Muestra Es9 15.....	38
36. Muestra Es25 15.....	39
37. Muestra ES27 4.....	40
38. Muestra Es29 4.....	40
39. Muestra Es30 4.....	40
40. Muestra Es31 4.....	40
41. Morfologías encontradas en el tubo reactor.....	42
42. Imagen por TEM. a, c, SAED. C, partículas y cristal modelado.....	43

43. Imagen por TEM. a, SAED. b, partículas y cristal modelado.....	43
44. Imagen por TEM a,b, imagen CC de partículas de Flores.....	44
45. Imagen por TEM. a, SAED b,c, imagen CC de Flores.....	44
46. Imagen por TEM de una esfera colapsada.....	45
47. Imagen de varillas en modo STEM. a, CC. b,CO. c, mapeo de Sn. d, mapeo de O.....	46
48. Imagen por TEM de nanovarillas. a, CC. b, imagen a mayor amplificación. c, imagen HREM CC.....	46
49. Imagen por TEM de varillas. a, SAED, b, sección amplificada. c, imagen CC y cristal modelado.....	47
50. Imagen por TEM de varillas. a, SAED, b, imagen CC y cristal modelado.....	47
51. Imagen por TEM de varillas.....	48
52. Imagen por TEM de varillas. a, SAED. b, imagen CC y cristal.....	48
53. Imagen CC en modo STEM.....	49
54. Imagen CO en modo STEM.....	49
55. Imagen por TEM de varillas de SnO ₂ . a,c,e SAED. b, imagen CC. d, imagen CO.....	50
56. Imagen por TEM de nanovarillas de SnO ₂ . a, CBED CC. b, CO. c, SAED.....	51
57. Imagen por TEM. a, imagen CC de nanopartículas de SnO ₂ . b, imagen amplificada CC. c, imagen HREM CC. d, SAED.....	52
58. Esquema del modelo de evaporación del solvente de la gota dentro del horno tubular [Lengoro et al].....	53
59. Detalle de la evaporación del solvente en fusión de la concentración de la sal precursora.....	54
60. Evaporación del solvente de las gotas pulverizadas.....	55
61. Colapso de la superficie de una gota de sal fundida.....	55
62. Estallido del material contenido en la gota.....	56
63. Generación de las partículas cónicas.....	56
64. Generación de partículas alargadas.....	57
65. Generación de las partículas pequeñas.....	57
66. a). Imagen TEM en sección transversal de la muestra crecida a temperatura media (435 °C).....	58
67. Imagen TEM en sección planar (a) y HRTEM en sección transversal (b) de la capa crecida a baja temperatura (375 °C).....	58
68. Cristal de SnO ₂ modelado en el programa Carine.....	68