



Guía para la preparación de los exámenes de Área Área 2

Parte I

I. Métodos químicos de preparación de materiales en película delgada

1. Depósito electroquímico

- Procesos electroquímicos: reacciones Redox
- Celdas galvánicas y celdas electroquímicas
- Leyes de Faraday de la electrólisis
- Componentes principales para el electrodeposición
- Modos de operación: control de I o V
- Técnicas electroquímicas: Voltametría cíclica ($V - I$), Corriente-tiempo ($I - t$), Carga-tiempo ($Q - t$)
- Principio de la electrólisis para el depósito de películas delgadas
- Parámetros de depósito: concentración molar, especies iónicas, I ó V , t , T , pH, agentes acomplejantes, soluciones buffer, agitación, electrolito auxiliar
- Variables del electrodo: tipo y material del sustrato, área superficial (A), geometría, condición superficial

2. Depósito por baño químico (CBD)

- Reacciones químicas de precipitación controladas en disoluciones acuosas
- Reacción heterogénea o ion por ion
- Reacción homogénea
- Hidrólisis de metales
- Productos de solubilidad
- Definición del pH
- Componentes principales para el depósito por baño químico
- Parámetros de depósito: reactivos químicos (sales de sulfatos, cloruros, acetatos), concentración molar, agente acomplejante, soluciones buffer, pH, T , t , agitación.

3. Depósito por sol-gel

- Proceso sol-gel: disolución, sol, gel
- Etapas del proceso sol-gel: hidrólisis y condensación de alcóxidos metálicos, etapa de secado
- Alcóxidos, química del alcóxido, transición sol-gel
- Alcolgel, hidrogel, xerogel
- Componentes principales para sol-gel

- Parámetros que influyen la reacción química: relación molar entre los reactivos, alcóxidos precursores, tipo de disolvente, naturaleza y concentración de los catalizadores, T , pH, cantidad de agua

4. Depósito por dip coating (recubrimiento por inmersión)

- Inmersión, extracción, depósito, drenado, evaporación y secado
- Parámetros que afectan el depósito: fuerzas de escurrimiento y fuerzas de arrastre
- Etapa de extracción para la formación de la película: menisco estático, menisco dinámico, zona de espesor constante, zona de humectación
- Régimen de flujo viscoso, régimen de drenaje y régimen capilar
- Limpieza de sustratos

5. Depósito por spin coating (recubrimiento por centrifugación)

- Medición de espesor (formulación por Emslie *et al.*)
- Modelo de Meyerhofer
- Factores que afectan el espesor de la película: concentración del material, viscosidad del disolvente, presión del vapor (evaporación), T , humedad local

6. Depósito por spray pyrolysis (rocío pirolítico)

- Reacción pirolítica
- Parámetros de depósito: reactivos químicos (complejos), agentes acomplejantes, disolventes, T , t , P_{gas} portador, espesor, área de depósito, velocidad de flujo, boquilla, distancia sustrato-boquilla
- Influencia de los parámetros de depósito sobre las propiedades de las películas: influencia de la temperatura; influencia de la solución precursora; atomización de la solución precursora; transporte del aerosol; descomposición del precursor
- Propiedades físico-químicas del sustrato
- Efecto del medio ambiente

7. Síntesis solvotermal e hidrotermal

- Diferencias entre síntesis hidrotermal y solvotermal
- Parámetros de depósito: naturaleza química del disolvente, composición molar, estructura y propiedades del precursor, naturaleza de los aditivos, pH, temperatura de reacción, presión, tiempo de reacción
- Efecto del disolvente
- Reacción de síntesis subcrítica
- Reacción de síntesis supercrítica

II. Métodos Físicos de preparación de materiales en película delgada

1. Evaporación térmica

- Conceptos básicos de vacío: equipos para la obtención de vacío bajo y medio; sistemas de obtención de alto vacío; sistemas para ultra-alto vacío; equipos de medida y control de la presión
- Componentes de un sistema de evaporación térmica
- Parámetros de depósito: pureza de los precursores, T_{ev} , velocidad de depósito, T_{sub} , t , presión de la cámara de depósito

Guía para la preparación de Exámenes Generales. Área: Ciencia de Materiales

- Modelo de Hertz-Knudsen
- Efecto de la direccionalidad de los átomos evaporados
- Fuentes de evaporación por calentamiento eléctrico
- Celdas de efusión (Knudsen)
- Sistemas multicomponentes

2. *Sputtering (pulverización catódica)*

- Proceso de depósito (proceso balístico)
- Colisión elástica binaria
- Colisiones múltiples (cascada)
- *Sputtering* de aleaciones y compuestos
- Eficiencia o rendimiento de *sputtering*
- Blancos (tipos, materiales, tamaño)
- Carrusel (múltiples blancos)
- Otros sistemas de *sputtering*: *magnetron sputtering*, *sputtering* en corriente alterna de alta frecuencia (RF), *sputtering* reactivo

3. *Ablación Laser*

- Características de la ablación por láser
- Condiciones de vacío y temperatura
- Intensidad umbral
- Velocidad de crecimiento
- Formación de plasma
- Formación de capas densas
- Formación de micro-gotas para altas intensidades
- No-uniformidad de erosión

III. Criterios de selección de las técnicas de depósito

- Material a depositarse (composición, estructura, etc.)
- Espesor, velocidad de depósito y homogeneidad del recubrimiento
- Temperatura del sustrato (T_s)
- Densidad y adhesión del depósito al sustrato
- Pureza de los materiales de partida y del material depositado
- Disponibilidad y problemas de seguridad en el manejo de materias primas
- Ventajas, desventajas y limitaciones de las técnicas de depósito

IV. Síntesis en Estado Sólido

- Factores que influyen en la reacción de sólidos
- Condiciones de la reacción
- Condiciones estructurales
- Velocidad de reacción
- Área superficial de los sólidos
- Reactividad de sólidos: velocidades de nucleación y difusión
- Estructura superficial y reactividad

- Reactivos
- Mezclado
- Empastillado
- Material del contenedor (reactor)
- Tratamiento térmico

Parte II

- *Microanálisis de Materiales*
 - Fundamentos de los microscopios ópticos y electrónicos de barrido y transmisión (*Goldstein, Cap. 2, 3,4&5*). Interacción del haz de electrones con un material: Emisión de rayos-X, catodoluminiscencia, electrones secundarios y retrodispersados, emisión Auger (*Goldstein, Cap. 2,3,4 y Heubchen, Altpeter & Tschuncky, Cap. 2*)
- *Caracterización Óptica de Materiales*
 - Interacción de la luz con el material: Transmisión, Reflexión y absorción (*Yu-Cardona, Cap. 6*).
 - Funciones respuesta: Función dieléctrica e índice de refracción complejos (*Yu-Cardona, Cap. 6, Pankove, Caps. 3 y 4*).
 - Fotoluminiscencia en materiales cristalinos (*Pankove, Secs. 6A y 6D, Perkowics, Caps. 3 y 4*). Fotoluminiscencia en nanopartículas y películas delgadas (*Gaponenko Cap. 5*).
 - Espectroscopía de fotoluminiscencia de resolución en el tiempo; Determinación del tiempo de vida del portador en semiconductores (*Joseph R. Lakowicz, Cap. 2*).
 - Espectroscopía Raman: Modelo clásico de la dispersión Raman, fonones acústicos y ópticos, tensores de dispersión, Análisis de espectros Raman de sólidos cristalinos (*Yu-Cardona, Sección 7.2, Turrell-Corset, Caps. 1 y 6*)
- *Caracterización Eléctrica y Magnética de materiales.*
 - Definición y estados electrónicos de materiales aislantes, semiconductores y conductores (*MacKelvey, Cap. 1*)
 - Transporte eléctrico en semiconductores (*Kittel, Cap. 8*).
 - Contactos eléctricos (*Pankove Cap. 8, MacKelvey, Cap. 5*).
 - Características I-V y C-V de uniones p-n. (*Pankove, Cap. 8*).
 - Efecto Hall, Magnetoresistencia (*P. Yu, Manuel Cardona, Cap. 5.5*).
- *Caracterización estructural*
 - Ley de Bragg, red recíproca y condiciones de difracción (*Kittel, Cap. 2, pag.23-32, MacKelvey, Cap. 2*)

Bibliografía:

1. José M. Albella (editor). *Láminas delgadas y recubrimientos: preparación, propiedades y aplicaciones*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003.
- Milton Ohring. San Diego, CA: Academic Press, 2002. *Materials science of thin films: deposition and structure*.
2. John E. Mahan. New York: Wiley, 2000. *Physical vapor deposition of thin films*.
3. Milan Paunovic, Mordechai Schlesinger. Hoboken, *Fundamentals of electrochemical deposition*. N.J.: Wiley-Interscience, 2006.
- Gary Hodes. New York: Marcel Dekker, 2003, *Chemical solution deposition of semiconductor films*.
4. Denisse Loeza Díaz; asesora Dra. Mou Pal, 2019. *Síntesis de películas de Bi_2S_3 por baño químico y su caracterización con la perspectiva de incorporarlo a un material ternario Cu_3BiS_3 como capa absorbente para celdas solares*. Tesis de grado de Maestra en Ciencias.
5. José de Jesús Cruz Bueno; asesora Dra. Ma. Estela Calixto Rodríguez, 2015. *Obtención y caracterización de películas delgadas de sulfuro de cadmio por electrodeposito con propiedades ópticas, morfológicas, eléctricas y de composición química adecuadas para su uso en celdas solares*. Tesis de grado de Maestro en Ciencias
6. John D. Wright, Nico A. J. M. Sommerdijk. London: Taylor & Francis, 2001, *Sol-gel materials: chemistry and applications*.
7. C. Jeffrey Brinker, George W. Scherer. Boston: Academic Press, 1990, *Sol-gel science: the physics and chemistry of sol-gel processing*.
8. Editors, J.M. Marshall et al. Singapore; River Edge, N.J.: World Scientific, 1999. *Thin film materials and devices: developments in science and technology. Proceedings of the Tenth International School on Condensed Matter Physics. Varna, Bulgaria, 1-4 September, 1998*.
9. José Emigdio Reyes Ramírez; asesores Dres. César Márquez Beltrán y Julio Villanueva Cab, 2020. *Influencia de capas compactas de TiO_2 , fabricadas por los métodos de inmersión y rocío pirolítico, sobre la eficiencia de celdas solares sensibilizadas por colorante*. Tesis de grado de Maestro en Ciencias.
10. Sergio Isaac Uribe Madrid; asesor Dr. Umapada Pal, 2015. *Fabricación de nanoestructuras compuestas de Fe_3O_4 @meso- SiO_2 para aplicaciones biológicas*. Tesis de grado de Doctor en Ciencias.
11. Edited by John L. Vossen, Werner Kern. Boston: Academic Press, 1991. *Thin film processes II*.
12. Edited by Claude Phipps. New York, NY: Springer, 2010. *Laser ablation and its applications*.
13. R.V. Stuart. Orlando New York: Academic Press, 1983. *Vacuum technology, thin films, and sputtering: an introduction*.
14. David W. Richerson. Boca Raton, FL: CRC Taylor & Francis, 2006. *Modern ceramic engineering: properties, processing, and use in design*.
15. Editors: Govindhan Dhanaraj et al. Berlín, Heidelberg; New York: Springer, 2010. *Springer handbook of crystal growth*.
16. J. I. Goldstein, et al., *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, 4th Edition, ISBN 978-1-4939-6676-9, Springer-Verlag New York 2018.
17. G. Huebshen. I. Altpeter, R. Tschuncky, H.G. Herrmann, *Materials Characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods*, Woodhead Publishing, ISBN: 978-0-08-100040-3, Elsevier, 2016.
18. P. Yu, Manuel Cardona, *Fundamentals of Semiconductors*, second edition, Springer, Germany, 1999.
19. J.I. Pankove, *Optical Processes in Semiconductors*, Dover, New York, 1975.
20. S. Perkowitz, *Optical Characterization of semiconductors: Infrared, Raman, and photoluminescence spectroscopy*, Academic Press, London, GB, 1993.
21. S. V. Gapodenko, *Optical Properties of Semiconductors Nanocrystals*, Cambridge University Press, USA, 1998.
22. J. R. Lakowicz, *Principles of fluorescence spectroscopy*, 3rd Edition, Springer, ISBN-10: 0-387-

31278-1, Singapur, 2006.

23. J.P. McKelvey, R. Williams, *Física del Estado Sólido y Semiconductores*, LIMUSA, México, 1980.

24. George Turrel, Jacques Corset, Editors, *Raman Microscopy*, University press, Cambridge, Great Britain, 1996.

25. C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 8th ed. Wiley, USA 2005.