



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Caracterización Estructural
Clave de la asignatura:	SEC-2302
SATCA¹:	2-2-4
Carrera:	Ingeniería en Semiconductores

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil de egreso del Ingeniero en Semiconductores la capacidad de análisis para la caracterización de nuevos materiales semiconductores, que le permita realizar y colaborar en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico para el diseño y fabricación de circuitos integrados y nuevos materiales semiconductores.

La importancia de esta asignatura radica en la habilitación del estudiante de ingeniería en semiconductores en los principios teóricos de cada técnica, lo cual le permite la caracterización estructural de diferentes tipos de muestras, que incluye la interpretación de morfologías, la comprensión de la estructura y microestructura, la identificación de fases y la interpretación semi cualitativa y cuantitativa. Con la información generada podrá ser capaz de identificar propiedades y explicar los fenómenos involucrados en el comportamiento de los materiales semiconductores.

Con la asignatura de caracterización estructural, el estudiante selecciona e identifica las técnicas de análisis en materiales semiconductores. Emplea técnicas de morfología de superficies, difracción de rayos X y microscopías electrónicas de barrido y transmisión para identificar la estructura de los materiales.

Esta asignatura complementa y hace uso de la materia de técnicas de análisis, cursada previamente, donde son abordadas las técnicas que permiten el análisis cualitativo y cuantitativo de los materiales, mediante métodos espectrométricos y fisicoquímicos.

Intención didáctica

En la asignatura de caracterización estructural, se abordan tres técnicas y en cada una se analizan los principios fundamentales, las características de los equipos, así como los métodos de preparación de muestras.

El primer tema de difracción de rayos X, se inicia con el estudio de la naturaleza y la generación de los rayos X, con los principios de difracción y la ley de Bragg para establecer las condiciones de la interferencia constructiva de las ondas que permiten el fenómeno de difracción.

El estudiante será capaz de identificar las características estructurales a nivel cristalográfico de una muestra a partir de los patrones de difracción. Así mismo, emplear métodos de análisis de patrones de difracción, como el de Rietveld para la identificación de fases cristalográficas, porcentaje de fases, tamaños de cristal y distancias entre planos. Además, seleccionar la técnica adecuada según las características de cada material.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



El segundo tema aborda la técnica de microscopía electrónica de barrido, donde se establecen las ventajas y limitaciones con respecto a la microscopía óptica. Con esta técnica el estudiante de ingeniería en semiconductores comprenderá e identificará los principios de la óptica electrónica y su interacción con la materia para la generación de las imágenes, para el análisis de la morfología o la dispersión de energía para el análisis elemental.

El estudio del microscopio electrónico de transmisión corresponde al tercer y último tema de la asignatura. Parte del conocimiento general del equipo, componentes y principio de funcionamiento. El estudiante comprende la interacción de un haz de electrones con la materia y las respuestas que de esta interacción resultan permitiendo el análisis estructural a una mayor resolución. La microscopía electrónica de transmisión permitirá al alumno identificar patrones de difracción de electrones y la formación de imágenes por electrones transmitidos, y la generación de imágenes en el espacio recíproco, la dispersión de energía, electrones secundarios, retrodispersados, etc. Esta herramienta de caracterización estructural requiere del conocimiento de métodos especiales para la preparación de muestras, por lo que se hace énfasis en ellas para obtener una muestra de buena calidad que permita el paso de los electrones.

El enfoque sugerido para la asignatura requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis y trabajo en equipo.

En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el docente guíe a los estudiantes en el proceso de preparación de muestras y análisis, pero que ellos sean los responsables del proceso completo de la actividad práctica desde la planificación hasta la ejecución.

En las actividades de aprendizaje sugeridas, se propicia que el estudiante se enfrente a los contenidos didácticos mediante la observación, la reflexión y la discusión de ejemplos específicos de cada tema.

Las estrategias metodológicas por parte del docente son la planeación de las actividades de la asignatura, su evaluación y el desarrollo de los mismos, retroalimentando al estudiante en la adquisición de habilidades y comprensión de los temas. Al estudiante le corresponde la resolución de problemas y ejercicios, búsqueda bibliográfica, valiéndose en el uso de internet, el trabajo en equipo, debates, realización de prácticas, exposición de temas específicos, visitas a industrias referentes a la caracterización estructural de materiales.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Tecnológico Nacional de México, del 24 al 28 de abril de 2023.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Chihuahua, Irapuato, Mérida, Purísima del Rincón, Querétaro y Tijuana.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Semiconductores.



Tecnológico Nacional de México, del 22 al 24 de mayo de 2023.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Chihuahua, Irapuato, Mérida, Purísima del Rincón, Querétaro y Tijuana.	Reunión Nacional de Consolidación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Semiconductores.
---	--	---

4. Logro formativo a desarrollar en la asignatura

Saberes, habilidades y destrezas de la asignatura

Emplea las diferentes técnicas de caracterización para el análisis de materiales semiconductores, interpretando la información obtenida de los patrones de difracción de rayos X y las señales generadas por la interacción del haz de electrones con la materia para el análisis de las características estructurales y su relación con las propiedades.

5. Saberes, habilidades y destrezas previas

- Aplica los conceptos fundamentales de tópicos selectos de física y física moderna.
- Aplica los conceptos de estructuras cristalinas para la caracterización de materiales.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Difracción de rayos X	1.1. Naturaleza de los rayos X 1.2. Generación de rayos X 1.3. Ley de Bragg 1.4. Factor de estructura 1.5. Técnicas de difracción de rayos X 1.6. Patrones de difracción 1.7. Simulación de estructuras y patrones de difracción 1.8. Método Rietveld
2	Microscopía Electrónica de Barrido	2.1. Óptica electrónica 2.2. Interacción haz de electrones–materia 2.3. Formación de imágenes 2.4. Microanálisis por dispersión de energía 2.5. Microanálisis por dispersión de longitud de onda 2.6. Preparación de muestras
3	Microscopía Electrónica de Transmisión	3.1. Descripción y principios de funcionamiento 3.2. Técnicas de preparación de muestras 3.3. Poder de resolución 3.4. Formación de imágenes 3.5. Formación de patrones de difracción 3.6. Reglas de indexación



		3.7. Teoría cinemática 3.8. Teoría dinámica 3.9. Microscopía de alta resolución
--	--	---

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Técnica de Difracción de Rayos X	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Implementa los principios de la difracción de los rayos X, empleando las diferentes técnicas y métodos para el análisis de patrones de difracción y su tratamiento para el estudio de la estructura cristalina.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de integración. • Capacidad de análisis y síntesis, • Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. • Comunicación oral y escrita. • Sentido ético de la vida, • Habilidades de investigación. • Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Esquematizar de las fuentes de información la naturaleza y generación de los rayos X mediante cuadros conceptuales. • Demostrar la comprensión de la ley de Bragg en una presentación para explicar los fenómenos involucrados para su utilización en difractogramas de rayos X. • Emplear adecuadamente las técnicas de difracción de rayos X para la obtención de los patrones de difracción de materiales en muestras para interpretar los patrones obtenidos. • Analiza patrones de difracción por el método Rietveld para la determinación de las estructuras cristalinas.
2. Microscopía Electrónica de Barrido	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Comprende y aplica los principios de la interacción del haz de electrones con la materia para la generación de imágenes y la dispersión de energía</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de integración. • Capacidad de análisis y síntesis, • Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. • Comunicación oral y escrita. • Sentido ético de la vida, • Habilidades de investigación. • Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). 	<ul style="list-style-type: none"> • Demostrar la comprensión de la interacción del haz de electrones con la materia con una presentación mediante un diagrama de flujo. • Esquematizar las diferentes señales generadas por los electrones para la formación de imágenes. • Interpretar las diferentes señales de energía dispersada para un correcto microanálisis por espectroscopía de rayos X (EDS) en muestras de laboratorio. • Elegir y aplicar las técnicas adecuadas para la preparación de muestras en el MEB.



3. Microscopía electrónica de Transmisión	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Comprende la interacción del haz de electrones con la materia e identifica las señales generadas de las técnicas empleadas adecuadamente en la MET para la caracterización de un material.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capacidad de integración. ● Capacidad de análisis y síntesis, ● Habilidad para buscar y analizar fuentes diversas. ● Comunicación oral y escrita. ● Sentido ético de la vida, ● Habilidades de investigación. ● Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Identificar los principios de funcionamiento del MET mediante una simulación ● Demostrar la comprensión de las técnicas de preparación de muestras mediante una presentación. ● Identificar las capacidades de resolución de un MET. ● Simular la formación de imágenes generadas de la interacción de los electrones con la materia. ● Simular la formación de patrones de difracción de electrones en un MET . ● Aplicar las reglas de indexación de patrones. ● Demostrar comprensión de la teoría cinemática y dinámica de la difracción de electrones mediante una presentación. ● Elegir adecuadamente las técnicas para el análisis de alta resolución.

8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> ● Simulación de estructuras cristalinas y patrones de difracción. ● Interpretación de patrones de difracción de muestras cristalinas de rayos X. ● Observación e interpretación de imágenes obtenidas utilizando el microscopio electrónico de barrido. ● Preparación de muestras para análisis en los diferentes microscopios. ● Análisis de imágenes y patrones de difracción de electrones en el MET.
--

9. Proyecto de asignatura

<p>El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance del(los) logro(s) formativo(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fundamentación: marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo. ● Planeación: con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo. ● Ejecución: consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o
--



construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de los saberes, habilidades y destrezas a desarrollar.

- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación de saberes, habilidades y destrezas

- Presentaciones
- Esquemas
- Simulaciones
- Reportes
- Exámenes
- Proyecto integrador de asignatura.

Las técnicas, herramientas y/o instrumentos sugeridos que permitan constatar el logro o desempeño de las competencias del estudiante: listas de cotejo, listas de verificación, matrices de valoración, guías de observación, coevaluación y autoevaluación.

11. Referencias

1. Cullity Bernard. (1981) X – Ray Diffraction. McGraw – Hill.
2. Waseda, Y., Matsubara, E., & Shinoda, K. (2011). X-Ray Diffraction Crystallography: Introduction, Examples and Solved Problems. Springer Berlin Heidelberg.
3. Lee, M. (2017). X-Ray Diffraction for Materials Research: From Fundamentals to Applications. Apple Academic Press.
4. Yacaman, Reyes Gasca, (1995) Microscopía Electrónica una visión del microcosmos, Estados Unidos de América: Fondo de Cultura Económica.
5. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2018). Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. New York, NY: Springer New York.
6. Hawkes, P. W., & Reimer, L. (2013). Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis. Springer Berlin Heidelberg.
7. Williams, D. B., & Carter, C. B. (2009). Transmission Electron Microscopy (2nd ed.). Boston, MA: Springer US.
8. Thomas, J., & Gemming, T. (2014). Analytical Transmission Electron Microscopy: An Introduction for Operators. Springer Netherlands. Pennycook, S. J., & Nellist, P. D. (2011). Scanning Transmission Electron Microscopy: Imaging and Analysis. Springer New York.
9. Keyse, R. (2018). Introduction to Scanning Transmission Electron Microscopy. CRC Press.



10. ZhiLi, D. (2022). Fundamentals of Crystallography, Powder X-ray Diffraction, and Transmission Electron Microscopy for Materials Scientists. CRC Press.