



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Caracterización Óptica y Eléctrica
Clave de la asignatura:	SEH-2328
SATCA¹:	1 - 3 - 4
Carrera:	Ingeniería en Semiconductores

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

La asignatura de Caracterización Óptica y Eléctrica aporta al perfil del Ingeniero en Semiconductores los elementos necesarios para seleccionar y aplicar las técnicas apropiadas de caracterización óptica y eléctrica de materiales semiconductores, para la solución de problemas relacionados con el análisis óptico y eléctrico de los semiconductores, la identificación de sus aplicaciones potenciales, así como la toma de decisiones en sus procesos de síntesis y transformación.

La presente asignatura se relaciona con la materia de Física Moderna, Óptica y Física del Estado Sólido y requiere que el estudiante sea competente en la aplicación del conocimiento de estructura atómica y molecular, propiedades de los materiales, las leyes de la óptica geométrica y física.

La utilización de mediciones ópticas ha sido una de las formas tradicionales para lograr un entendimiento de las propiedades de los átomos y posteriormente se ha convertido en una de las herramientas más poderosas para obtener las propiedades ópticas y electrónicas de los semiconductores.

En esta asignatura se contemplan los principales métodos de análisis de propiedades ópticas y eléctricas en semiconductores, que incluyen la aplicación específica de las técnicas de caracterización de materiales siguientes: Espectroscopía UV-Vis (de absorción, reflexión y transmisión), Espectroscopía de Fotoluminiscencia, FTIR, FT-Raman, elipsometría, perfilometría y Espectroscopías de Impedancias Eléctrica, para la determinación de las propiedades determinantes en el diseño, procesamiento y fabricación de dispositivos semiconductores para aplicaciones en optoelectrónica.

Se pretende que, al final del curso el alumno posea la capacidad de realizar las caracterizaciones ópticas y eléctricas necesarias para un material, y a partir del análisis de los resultados

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



experimentales de las mismas desarrolle la capacidad de reconocer las aplicaciones potenciales de los mismos. Así mismo se sientan las bases para la caracterización óptica y eléctrica de las estructuras semiconductoras que integras a los dispositivos.

Intención didáctica

El programa de la asignatura de Caracterización Óptica y Eléctrica está constituido de cinco temas de aprendizaje, en los que se incluyen aspectos teóricos y prácticos, resaltando la aplicación para la cual han sido diseñados los equipos de análisis.

En el tema uno se abordan los fundamentos teóricos de la espectroscopía y su importancia en la caracterización óptica de materiales para determinar de manera cualitativa y/o cuantitativa su composición química y comportamiento físico, haciendo énfasis en la naturaleza de la interacción entre la energía y la materia como son: absorción, emisión, fluorescencia, dispersión elástica e inelástica, entre otros.

En el tema dos, se analizan los métodos para la caracterización eléctrica de los dispositivos semiconductores como lo son la medición de resistencia y resistividad eléctrica, Efecto Hall, Curvas de Corriente-Voltaje (I-V) y Capacitancia-Voltaje (C-V) e Impedancia.

Las estrategias metodológicas incluyen exposición del profesor, resolución de problemas y ejercicios, búsqueda bibliográfica por los estudiantes, uso de internet, trabajo en equipo, debates, seminarios o exposición de temas específicos por los alumnos. Para cada técnica de análisis incluida en esta asignatura, el estudiante aplicará los principios teóricos correspondientes para comprender e interpretar las propiedades obtenidas de los equipos de caracterización óptica y eléctrica utilizados.

Los saberes del profesor de la asignatura deben mostrar su conocimiento, habilidades y experiencia en investigación en el área, precisamente, para construir escenarios de aprendizaje significativo en los estudiantes que inician su formación profesional.

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
Aplica las técnicas de caracterización óptica y eléctrica en la determinación de propiedades elementales para el diseño, obtención y modificación de semiconductores para aplicaciones en optoelectrónica.

5. Saberes, habilidades y destrezas previas

- Comprende la formación de los diferentes tipos de enlaces y su origen en las fuerzas que intervienen para que los elementos reaccionen y se mantengan unidos.
- Aplica los conceptos básicos de la naturaleza de la luz y las leyes de la óptica geométrica para el análisis de fenómenos físicos.
- Aplica los principios de interferencia de ondas electromagnéticas para describir a la luz como onda y comprender la interferencia, la difracción y polarización.
- Identifica las diferentes estructuras cristalinas que presentan los materiales para relacionarlas con sus propiedades físicas y la solución de problemas.
- Comprende el concepto de medición y los posibles errores en la misma, y utiliza el análisis estadístico para la interpretación de los datos.
- Utiliza los instrumentos para la medición y el análisis de señales provenientes de circuitos eléctricos y electrónicos reales para la solución de problemas en su entorno profesional.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Caracterización Óptica	1.1. Fundamentos de las Espectroscopías Moleculares 1.1.1. La radiación electromagnética y su interacción con la materia. 1.1.2. Regiones del espectro y tipos de espectroscopías. 1.1.3. Absorción y emisión de radiación. 1.1.4. Ley de Lambert-Beer. 1.1.5. Dispersión de radiación.



		<ul style="list-style-type: none"> 1.2. Espectroscopías UV-Vis <ul style="list-style-type: none"> 1.2.1. Transiciones electrónicas 1.2.2. Espectros de Absorción y Transmisión 1.2.3. Efectos batocrómicos e hiperocrómicos 1.2.4. Espectroscopía de Reflexión y Transmisión. 1.2.5. Instrumentación 1.2.6. Aplicaciones en semiconductores 1.3. Espectroscopía de Fotoluminiscencia <ul style="list-style-type: none"> 1.3.1. Florescencia y fosforescencia 1.3.2. Espectros de Fluorescencia y fosforescencia 1.3.3. Desactivación sin radiación 1.3.4. Relajación por fluorescencia y fosforescencia 1.3.5. Espectros de excitación vs emisión 1.3.6. Instrumentación (fluorímetro y espectrofluorómetro) 1.3.7. Aplicaciones en semiconductores 1.4. Espectroscopía Infrarrojo <ul style="list-style-type: none"> 1.4.1. Fundamento fisicoquímico 1.4.2. Instrumentación 1.4.3. Aplicaciones 1.5. Espectroscopía Raman <ul style="list-style-type: none"> 1.5.1. Dispersión Raman 1.5.2. Líneas Stokes y Antistokes 1.5.3. Intensidad de las líneas Stokes y Antistokes 1.5.4. Principios de la FT-Raman 1.5.5. Preparación y montaje de la muestra 1.5.6. Instrumentación 1.5.7. El problema de la fluorescencia 1.5.8. Aplicaciones en semiconductores 1.6. Métodos ópticos para la medición de espesores en películas delgadas semiconductoras. <ul style="list-style-type: none"> 1.6.1. Elipsometría 1.6.2. Perfilometría 1.6.3. Espectrometría
--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



2	Caracterización Eléctrica	<p>2.1. Resistencia y resistividad eléctrica</p> <p>2.1.1. Medición</p> <p>2.1.2. Aplicaciones</p> <p>2.1.3. Resistencia laminar y resistencia de contactos.</p> <p>2.2. Efecto Hall</p> <p>2.2.1. Medición</p> <p>2.2.2. Aplicaciones</p> <p>2.3. Curvas de Corriente-Voltaje (I-V) y Capacitancia-Voltaje (C-V)</p> <p>2.3.1. Medición</p> <p>2.3.2. Aplicaciones</p> <p>2.4. Impedancia</p> <p>2.4.1. Medición</p> <p>2.4.2. Aplicaciones</p>
---	---------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Caracterización Óptica.	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Emplea métodos de caracterización óptica para el estudio de las propiedades elementales en el diseño, obtención y modificación de semiconductores, para aplicaciones en optoelectrónica.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. ● Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. ● Capacidad de comunicación oral y escrita. ● Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. ● Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. ● Habilidades interpersonales. ● Capacidad de trabajo en equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Consultar las distintas técnicas analíticas de espectroscopías moleculares y sus aplicaciones en Ingeniería en Semiconductores y en panel de discusión comentarlas en clase. ● Investigar y elaborar una tabla comparativa sobre las distintas técnicas espectroscópicas para la caracterización óptica de los materiales semiconductores. ● Identificar las diversas interacciones entre materia y energía y su manifestación con los fenómenos de absorción, emisión, dispersión y fluorescencia. Elabora y expone mapa conceptual. ● Distinguir el fundamento de las técnicas de caracterización óptica. Elabora informe escrito. ● Diseñar una presentación y exponer los resultados de la investigación.



<ul style="list-style-type: none"> Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar coevaluaciones de las exposiciones de los compañeros. Demostrar el conocimiento sobre los equipos de caracterización óptica, su función, técnicas de preparación de muestras y la interpretación de sus resultados experimentales y responder un cuestionario. Conocer el principio de funcionamiento y operación del cada instrumento de caracterización óptica de semiconductores. Describir la secuencia de pasos para su operación. Identificar el potencial de aplicación de los materiales y dispositivos semiconductores, a partir de análisis de los resultados experimentales de su caracterización óptica. Elabora informe escrito documentado con el estado del arte.
2. Caracterización Eléctrica.	
Saberes, habilidades y destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Emplea métodos de caracterización eléctrica para el estudio de las propiedades elementales en el diseño, obtención y modificación de semiconductores para aplicaciones en optoelectrónica.</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. Capacidad de comunicación oral y escrita. Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> Reconocer los distintos métodos para la caracterización eléctrica y sus aplicaciones en Ingeniería en Semiconductores investigando en diferentes fuentes Investigar y elaborar una tabla comparativa sobre los distintos métodos para la caracterización óptica de los materiales semiconductores. Distinguir el fundamento de los métodos de caracterización eléctrica de materiales semiconductores. Elabora informe escrito. Diseñar presentación y expone los resultados de la investigación documental. Realizar coevaluaciones de las exposiciones de los compañeros. Demostrar el conocimiento sobre las técnicas y métodos de caracterización



<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades interpersonales. Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. 	<p>eléctrica, su función, técnicas de preparación de muestras y la interpretación de sus resultados experimentales. Responde al cuestionario.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocer el principio de funcionamiento y operación de los instrumentos de caracterización eléctrica de semiconductores. Describe la secuencia de pasos para su operación. • Identificar el potencial de aplicación de los materiales y dispositivos semiconductores, a partir de análisis de los resultados experimentales de su caracterización eléctrica.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de Espectros de Absorción y Transmisión de películas delgadas semiconductoras mediante las técnicas: Espectroscopías UV-Vis FTIR Fluorescencia • Realizar experimentos de elipsometría espectroscópica para obtener las señales I_s, I_c de distintos micro y nano arreglos. • Métodos de medición de espesores de películas delgadas de óxidos semiconductores. Por Elipsometría Por Perfilometría Por Espectrometría • Determinación de Energía Gap en materiales semiconductores. • Mediciones e interpretación de curvas I-V • Mediciones e interpretación de curvas C-V • Métodos de las 4 puntas. • Obtención e interpretación de curvas de espectroscopía de impedancia eléctrica.

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>



- **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

Instrumentos y herramientas sugeridas para evaluar las actividades de aprendizaje:

- Prácticas de Laboratorio- Guía de observación
- Reporte de las prácticas realizadas- Guía de observación
- Cuestionarios
- Solución de problemas de interpretación de resultados experimentales de la caracterización - Lista de cotejo
- Investigaciones documentales- Lista de cotejo
- Exposición en clase - Guía de observación
- Reporte de visitas - Lista de cotejo
- Participación en clase
- Avances de proyecto y entrega del proyecto final - Rúbrica

11. Referencias

Douglas Skoog, Leary James *Análisis Instrumental* Mc Graw Hill 5^a. Edición

Robinson, James W., Skelly Frame Eileen *Instrumental Análisis* CRC.

Settle, Frank A *Handbook Of Instrumental Techniques For Analytical Chemistry* Prentice Hall

BIVITEC (www.bivitec.org) *Base De Datos De La American Chemical*



Merrit Willard, Settle Dean *Métodos Instrumentales De Análisis* Grupo B editorial Iberoamerica.

Gary D. Christian. *Química Analítica*. Mc Graw Hill 6ª. Edición.

Pankove, J.I., 1971. *Optical processes in Semiconductors*, PrenticeHall, Inc. New Jersey.

[https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica_2.1_\(Harvey\)/10%3A_M%C3%A9todos_espectrosc%C3%B3picos/10.06%3A_Espectroscopia_fotoluminiscente](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica_2.1_(Harvey)/10%3A_M%C3%A9todos_espectrosc%C3%B3picos/10.06%3A_Espectroscopia_fotoluminiscente) Fotoluminiscencia

Optical characterization of semiconductors: infrared, Raman, and photoluminescence spectroscopy. Perkowitz, Sidney. London: Academic Press, 1993.

Villegas, E., Parra, R., & Ramajo, L.. (2018). Métodos de medición de espesores de películas delgadas basadas en óxidos semiconductores. *Revista mexicana de física*, 64(4), 364-367.

Recuperado en 23 de mayo de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2018000400364&lng=es&tlng=es.

Hiroyuki Fujiwara, *Spectroscopic ellipsometry: principles and applications*, John Wiley & Sons, NJ USA (2007)

R.W. Collins, J. Koh, H. Fujiwara, P. I. Rovira, R. Messier, *Appl. Surf. Sci.* 154-155 (2000) 217-228

H. Fujiwara and M. Kondo, *Phys. Rev. B* 71 (2005) 075109-1-10

Ellipsometry and Polarized Light. R.M.A. Azzam and N.M. Bashara. Elsevier Science BV, Amsterdam, 1987.

<https://cuartoslimpiosmexico.com/elipsometria/>

Raman Spectroscopy for Chemical Analysis. Richard L. McCreery. John Wiley & Sons, 2000.

L.J. van der Pauw. A method of measuring the specific resistivity and Hall Effect of discs of arbitrary shapes. *Philips Tech. Rev.* 20, (1958) 220-224.

Semiconductor Material and Device. D.K. Schrode. Segunda edición, John Wiley & Sons, New York, 1998.

Física de los Semiconductores. K.V. Shalímová, 1975.

Physics and technology of semiconductor devices. A. S. Grove, Wiley & Sons., 1967.

Physics of Semiconductor Devices. S. M. Zse, Kwonk K. 3rd edition, Wiley & Sons, 2007.

Procesos Tecnológicos de fabricación de microcircuitos: aspectos básicos. M. Estrada, A. Escobosa., libro 2007 en CD y en internet de la SEES.



Semiconductor Material and Device Characterization. Dieter K. Schroder 2006.

Physics of Semiconductor Devices. S. M. Zse, Kwon K. 3rd edition, Wiley & Sons, 2007.