



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Introducción a los Semiconductores.
Clave de la asignatura:	FDL-2305
SATCA¹:	4-1-5
Carrera:	Ingeniería en Semiconductores y afines

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

La asignatura de Física de Semiconductores es fundamental para la formación de ingenieros en las áreas de electrónica y telecomunicaciones. A continuación, se detallan los atributos de la asignatura:

1. Aportación al perfil de egreso: Esta materia tiene gran relevancia ya que permite el desarrollo de habilidades para el diseño y análisis de sistemas electrónicos y de comunicaciones, provee el conocimiento y aplicación de las teorías cuánticas y de la física de semiconductores para la comprensión de los fenómenos relacionados con la conducción eléctrica en materiales semiconductores y propicia la habilidad para la utilización de técnicas de caracterización de materiales y dispositivos semiconductores.
2. Importancia de la asignatura: Esta asignatura es crucial para la comprensión de dispositivos electrónicos y su funcionamiento, lo que es relevante en la mayoría de las áreas de la ingeniería pues permite a los estudiantes comprender la base física de la tecnología de semiconductores, que es la base de muchos dispositivos electrónicos actuales pues la física de semiconductores es una rama importante de la física que tiene aplicaciones en una amplia variedad de campos, incluyendo la electrónica, la fotónica, la energía solar, la nanotecnología y la biotecnología.
3. Contenido de la asignatura: La asignatura de Física de Semiconductores proporciona los fundamentos teóricos necesarios para comprender los materiales semiconductores y los dispositivos electrónicos que se basan en ellos. Los temas tratados incluyen la teoría cuántica, los modelos atómicos, la dualidad onda-partícula, la cuantización de la energía, el efecto fotoeléctrico, los semiconductores, los modelos de bandas de energía, el transporte de portadores de carga, las uniones p-n y metal-semiconductor, la caracterización basada en la fotoconductividad y las técnicas de fabricación de semiconductores.
4. Relación con otras asignaturas: La asignatura de Física de Semiconductores se relaciona con varias otras asignaturas, como Circuitos Electrónicos, Dispositivos Electrónicos, Electrónica Analógica y Digital, Telecomunicaciones, Comunicaciones Ópticas, Procesamiento de Señales y Control, entre otras. Los temas que se abordan en la asignatura se relacionan con habilidades, saberes y destrezas específicas relacionadas con el diseño, análisis y aplicación de sistemas electrónicos y de comunicaciones. Esta relación permite la identificación y generación de proyectos integradores que involucren los conocimientos adquiridos en varias asignaturas para resolver problemas específicos.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



Intención didáctica

La intención didáctica de un curso de física de semiconductores es proporcionar a los estudiantes una comprensión profunda y detallada de los conceptos fundamentales de la física de semiconductores y su aplicación práctica en la ingeniería electrónica. Algunas de las intenciones didácticas específicas de este curso podrían incluir:

1. Desarrollar una comprensión detallada de la física cuántica: El curso debe proporcionar una comprensión clara de los conceptos de la física cuántica, incluyendo la cuantización de la energía, la dualidad onda-partícula y la teoría de De Broglie. Los estudiantes deben ser capaces de aplicar estos conceptos a la comprensión de los semiconductores.
2. Comprender el modelo de bandas de energía: El curso debe proporcionar una comprensión detallada del modelo de bandas de energía y cómo se aplica a los semiconductores. Los estudiantes deben ser capaces de identificar las diferentes bandas de energía y cómo los electrones y los huecos contribuyen a la conducción de la corriente.
3. Conocer los diferentes tipos de semiconductores: El curso debe presentar los diferentes tipos de semiconductores, incluyendo los intrínsecos y extrínsecos, y cómo se producen los materiales tipo P y tipo N. Los estudiantes deben ser capaces de identificar las diferencias entre los diferentes tipos de semiconductores y sus aplicaciones en la ingeniería electrónica.
4. Comprender las uniones P-N: El curso debe proporcionar una comprensión clara de las uniones P-N y cómo se producen. Los estudiantes deben ser capaces de explicar la estática y la dinámica de las uniones P-N, la polarización y el diagrama energético de la región vacía, y los portadores mayoritarios y minoritarios.
5. Conocer las técnicas de fabricación de semiconductores: El curso debe presentar las diferentes técnicas de fabricación de semiconductores, incluyendo las uniones de aleación, el crecimiento epitaxial, la difusión térmica y la implantación iónica. Los estudiantes deben ser capaces de identificar las diferencias entre estas técnicas y cómo se aplican en la producción de semiconductores.
6. Desarrollar habilidades prácticas: El curso debe incluir prácticas de laboratorio que permitan a los estudiantes aplicar los conceptos aprendidos en clase en situaciones prácticas. Los estudiantes deben ser capaces de diseñar y llevar a cabo experimentos y analizar los resultados.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
TecNM / Instituto Tecnológico de Aguascalientes, del 25 de marzo al 4 de mayo de 2023.	TecNM / Instituto Tecnológico de Aguascalientes	Reunión para el diseño curricular de las especialidades del proyecto de semiconductores del TECNM.



4. Logro formativo a desarrollar en la asignatura

Habilidades, saberes, destrezas específico(s) de la asignatura

- Identifica las características de la física cuántica y su aplicación en la comprensión de los fenómenos en los semiconductores, considerando los modelos atómicos y la dualidad onda-partícula.
- Comprende el principio de operación de los dispositivos semiconductores desde la perspectiva de su construcción y régimen de operación para su aplicación en el diseño de circuitos electrónicos.
- Describe las propiedades y estructura de los semiconductores, su modelo de enlace covalente, los procesos de dopaje y los tipos de materiales como los semiconductores intrínsecos y extrínsecos.
- Analiza la distribución de equilibrio en los electrones de las bandas y el transporte de portadores de carga en ausencia de equilibrio, identificando la conductividad y las propiedades de los materiales tipo P y tipo N.
- Diferencia la dinámica y estática de las uniones P-N y metal-semiconductor, describiendo las características del diagrama de bandas de energía y la polarización de la región vacía.
- Aplica métodos de caracterización basados en la fotoconductividad para obtener información sobre la estructura y propiedades de los semiconductores.
- Diseña técnicas de fabricación de semiconductores para crear materiales con propiedades y características específicas, aplicando conceptos de difusión térmica, implantación iónica, crecimiento epitaxial y uniones de aleación.

5. Habilidades, saberes, destrezas previas

- Aplica conceptos previos en física y matemáticas, específicamente en álgebra, cálculo diferencial e integral, ecuaciones diferenciales y geometría analítica.
- Maneja herramientas matemáticas y software de simulación para el análisis y la resolución de problemas en física y electrónica.
- Aplica conocimientos básicos en electrónica y circuitos eléctricos.
- Interpreta datos experimentales y los compara con los calculados
- Resuelve problemas y toma decisiones basadas en análisis y razonamiento lógico.
- Aplica conceptos de teoría cuántica, estructura atómica y enlaces para la comprensión de los cristales semiconductores.
- Aplica los conceptos de continuidad, campo eléctrico, densidad de corriente, potencial eléctrico, Ley de Ohm y Leyes de Kirchhoff para comprender las características de operación de los dispositivos semiconductores.
- Opera instrumentos y equipos de medición para la determinación de los parámetros eléctricos que caracterizan la operación de los dispositivos semiconductores.



6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción a la Física Cuántica.	1.1 Los átomos 1.2 Modelos 1.3 Efecto fotoeléctrico 1.4 Teoría de Planck 1.5 Dualidad onda – partícula. Teoría de De Broglie
2	Semiconductores.	2.1 Modelo de enlace covalente para los semiconductores 2.2 Semiconductores intrínsecos y extrínsecos 2.3 Modelo de bandas de energía 2.4 Distribución de equilibrio en los electrones de las bandas 2.5 Transporte de portadores de carga en ausencia de equilibrio 2.6 Materiales tipo P y tipo N 2.7 Conducción de corriente en semiconductores, huecos y electrones
3	Unión P-N.	3.1 Estática de la unión P-N. 3.2 Electrostatica de la región vacía. 3.3 Dinámica de la unión P-N. 3.4 Polarización y diagrama energético de la región vacía. 3.5 Portadores mayoritarios y portadores minoritarios. 3.6 Unión PiN.
4	Unión Metal-Semiconductor.	4.1 Diagrama de bandas de energía de la unión metal-semiconductor. 4.2 Barrera de Schottky. 4.3 Características voltaje-corriente de la barrera Schottky. 4.4 Contactos óhmicos entre un metal y el silicio. 4.5 Diferentes materiales.
5	Métodos de Caracterización Basados en la Fotoconductividad.	5.1 Coeficiente de absorción. 5.2 Luminiscencia. 5.3 Fotoluminiscencia. 5.4 Decaimiento de la fotoconductividad. 5.5 Fotoconductividad modulada. 5.6 Fotoconductividad Transitoria.
6	Técnicas de Fabricación de Semiconductores.	6.1. Uniones de aleación. 6.2. Crecimiento epitaxial. 6.3. Difusión térmica. 6.4. Implantación iónica.



7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Introducción a la Física Cuántica	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Comprender los conceptos fundamentales de la física cuántica, como la cuantización de la energía y la dualidad onda-partícula. Conocer los modelos atómicos y cómo estos han evolucionado a lo largo del tiempo. Entender el efecto fotoeléctrico y su relación con la teoría de De Broglie. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Habilidades básicas del manejo de la computadora para buscar información proveniente de fuentes diversas. Habilidades interpersonales para el trabajo en equipo. Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica de laboratorio Habilidad básica del manejo de la computadora para el uso de software de simulación. 	<ul style="list-style-type: none"> Lectura y discusión de artículos sobre la historia y los conceptos fundamentales de la física cuántica. Investigación de los modelos atómicos y cómo han evolucionado a lo largo del tiempo. Análisis del efecto fotoeléctrico y su relación con la teoría de De Broglie. Explicar el principio de cuantización de la luz. Describir el concepto de cuerpo negro y su espectro de emisión. Explicar el fenómeno de emisión atómica Identificar a través de una línea de tiempo, los diferentes modelos atómicos Explicar las teorías atómicas de los modelos de Bohr y Rutherford. Describir el fenómeno fotoeléctrico. Explicar la generación de energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Identificar las teorías que explican la naturaleza de la luz. Explicar la naturaleza dual de las ondas electromagnéticas. Identificar las características de corriente voltaje.
2. Semiconductores	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Conocer el modelo de enlace covalente para los semiconductores y entender cómo esto determina las propiedades electrónicas de los mismos. Comprender la diferencia entre semiconductores intrínsecos y extrínsecos y cómo estos se dopan para obtener propiedades específicas. Entender el modelo de bandas de energía y cómo se relaciona con la conductividad de los semiconductores. Conocer los conceptos de portadores de carga y transporte de estos en ausencia de equilibrio. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de los diferentes modelos de enlace y cómo afectan las propiedades electrónicas de los semiconductores. Investigación de los diferentes tipos de semiconductores y cómo se dopan para obtener propiedades específicas. Simulaciones y cálculos de las bandas de energía y la conductividad de los semiconductores. Análisis del transporte de portadores de carga en los semiconductores. Diseño y simulación de dispositivos electrónicos basados en semiconductores.



<ul style="list-style-type: none"> Comprender el funcionamiento de los materiales tipo P y tipo N. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Habilidades básicas del manejo de la computadora para buscar información proveniente de fuentes diversas. Habilidades interpersonales para el trabajo en equipo. Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica de laboratorio Habilidad básica del manejo de la computadora para el uso de software de simulación. 	
3. Unión P-N	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Comprender los conceptos de la estática y dinámica de la unión P-N. Conocer la electrostática de la región vacía y cómo esto afecta el comportamiento de la unión P-N. Entender los conceptos de polarización y el diagrama energético de la región vacía. Conocer los conceptos de portadores mayoritarios y minoritarios. Comprender la unión PiN. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Habilidades básicas del manejo de la computadora para buscar información proveniente de fuentes diversas. Habilidades interpersonales para el trabajo en equipo. Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica de laboratorio Habilidad básica del manejo de la computadora para el uso de software de simulación. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigación de las propiedades estáticas y dinámicas de la unión P-N. Análisis de la electrostática de la región vacía y cómo afecta la unión P-N. Diseño y simulación de la unión P-N y sus diferentes polarizaciones. Investigación de la conducción de corriente en la unión P-N y cómo afectan los portadores mayoritarios y minoritarios. Diseño y simulación de dispositivos electrónicos basados en la unión P-N.



4. Unión Metal-Semiconductor	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocer el diagrama de bandas de energía de la unión metal-semiconductor. • Entender los conceptos de la barrera de Schottky y las características voltaje-corriente de la misma. • Comprender el funcionamiento de los contactos óhmicos entre un metal y el silicio. • Conocer las diferencias entre los materiales utilizados en la unión metal-semiconductor. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidades básicas del manejo de la computadora para buscar información proveniente de fuentes diversas. • Habilidades interpersonales para el trabajo en equipo. • Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica de laboratorio • Habilidad básica del manejo de la computadora para el uso de software de simulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación del diagrama de bandas de energía de la unión metal-semiconductor. • Análisis de la barrera de Schottky y sus características voltaje-corriente. • Investigación de los diferentes materiales utilizados en la unión metal-semiconductor. • Diseño y simulación de dispositivos electrónicos basados en la unión metal-semiconductor. • Análisis comparativo entre los diagramas de bandas de la unión PN y la unión metal semiconductor.
5. Métodos de Caracterización Basados en la Fotoconductividad	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprender los conceptos de uniones de aleación, crecimiento epitaxial y difusión térmica. • Conocer el proceso de implantación iónica. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidades básicas del manejo de la computadora para buscar información proveniente de fuentes diversas. • Habilidades interpersonales para el trabajo en equipo. • Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica de laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de los diferentes métodos de caracterización basados en la fotoconductividad. • Análisis de las propiedades de absorción, luminiscencia y fotoluminiscencia. • Diseño y simulación de experimentos de fotoconductividad. • Análisis de la fotoconductividad transitoria y su aplicación en dispositivos electrónicos.



<ul style="list-style-type: none"> Habilidad básica del manejo de la computadora para el uso de software de simulación. 	
6. Técnicas de Fabricación de Semiconductores	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Comprender los conceptos de coeficiente de absorción, luminiscencia y fotoluminiscencia. Entender el decaimiento de la fotoconductividad y la fotoconductividad modulada. Conocer la fotoconductividad transitoria. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Habilidades básicas del manejo de la computadora para buscar información proveniente de fuentes diversas. Habilidades interpersonales para el trabajo en equipo. Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica de laboratorio Habilidad básica del manejo de la computadora para el uso de software de simulación. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigación de los diferentes métodos de fabricación de semiconductores. Análisis de los procesos de unión de aleación, crecimiento epitaxial y difusión térmica. Diseño y simulación de procesos de fabricación de semiconductores. Investigación y análisis de los diferentes materiales utilizados en la fabricación de semiconductores. Diseño y simulación de dispositivos electrónicos basados en semiconductores fabricados con diferentes técnicas.

8. Práctica(s)

<ol style="list-style-type: none"> Experimento de la doble rendija: muestra la dualidad onda-partícula de los electrones. Experimento de Franck-Hertz: verifica la teoría de la cuantización de la energía en los átomos. Experimento del efecto fotoeléctrico: determina la constante de Planck y la función trabajo de un material. Medición de la resistividad de un semiconductor. Determinación de la banda prohibida de un semiconductor: mediante mediciones de la conductividad eléctrica a diferentes temperaturas. Medición de la corriente inversa en un diodo Zener: con la ayuda de un circuito simple que incluye una fuente de voltaje y un resistor variable. Determinación de la capacidad de una unión PN: utilizando un medidor de capacitancia. Medición de la corriente directa en una unión Schottky: con la ayuda de un circuito simple que incluye una fuente de voltaje y un resistor variable. Determinación de la densidad de estados en la banda de conducción de un semiconductor: utilizando una técnica de medición de capacidad. Medición de la respuesta fotovoltaica de un material: utilizando una fuente de luz y un multímetro.
--



11. Medición de la respuesta fotoluminiscente de un material: utilizando una fuente de luz y un espectrómetro.
12. Determinación de la vida media de los portadores de carga: utilizando mediciones de la corriente fotovoltaica a diferentes tiempos de exposición a la luz.
13. Es importante tener en cuenta que la disponibilidad de equipos y materiales de laboratorio puede variar según la institución y los recursos disponibles. Además, siempre es necesario tomar precauciones de seguridad adecuadas al realizar cualquier práctica de laboratorio.
14. Construcción de las curvas características de diodos y transistores con configuraciones básicas. Ejemplos: con trazador de curvas, con temperaturas diferentes, con el empleo de software de simulación.

9. Proyecto de asignatura

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:

- **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 las *habilidades, saberes, destrezas* genéricas y específicas 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”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.



10. Evaluación de habilidades, saberes, destrezas

Son las técnicas, instrumentos y herramientas sugeridas para constatar los desempeños académicos de las actividades de aprendizaje.

La evaluación de esta asignatura puede ser un proceso complejo, ya que requiere de una combinación de instrumentos y técnicas que permitan evaluar tanto el conocimiento teórico como las habilidades prácticas de los estudiantes. Algunas sugerencias de técnicas, instrumentos y herramientas que puedes utilizar son las siguientes:

1. Exámenes escritos: Estos pueden incluir preguntas de opción múltiple, verdadero/falso, ensayos y problemas de cálculo relacionados con los temas de la asignatura.
2. Trabajos escritos: Puedes solicitar a los estudiantes que elaboren trabajos de investigación, análisis de casos, informes técnicos, resúmenes de lecturas, mapas conceptuales, entre otros.
3. Presentaciones orales: Esta técnica puede ser útil para evaluar la capacidad de los estudiantes para comunicar de forma clara y efectiva los conceptos teóricos y prácticos aprendidos.
4. Prácticas y reportes de laboratorio: Las prácticas de laboratorio pueden ser una forma efectiva de evaluar las habilidades prácticas de los estudiantes. Estas pueden incluir la identificación de componentes, medición de parámetros eléctricos, diseño y construcción de circuitos, entre otros.
5. Proyectos integradores: Puedes solicitar a los estudiantes que realicen proyectos que integren los conocimientos teóricos y prácticos aprendidos durante la asignatura. Estos proyectos pueden incluir la construcción y análisis de un dispositivo semiconductor, la simulación de un circuito electrónico, la identificación y solución de problemas en sistemas electrónicos complejos, entre otros.
6. Portafolio de evidencias: El registro de cada una de las actividades anteriores a fin de dar seguimiento al aprendizaje

Es importante que al diseñar los instrumentos de evaluación se consideren los objetivos de aprendizaje de la asignatura, así como las habilidades y destrezas específicas que se espera que los estudiantes desarrollen. Además, es recomendable utilizar una combinación de técnicas e instrumentos de evaluación para obtener una evaluación más completa y objetiva del desempeño académico de los estudiantes.



11. Fuentes de información

1. Pierret, R. F. (1994b). *Fundamentos de semiconductores*. Addison-Wesley Iberoamericana.
2. Neudeck, G. W. (1993a). *El diodo PN de unión*. Addison-Wesley Iberoamericana.
3. Clementi, L. A. (2013a). *Física moderna y aplicaciones* (1.ª ed.). edUTecNe.
4. Colinge, J., & Colinge, C. (2007a). *Physics of Semiconductor Devices*. Springer Science & Business Media.
5. Neamen, D. A. (2012a). *Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles*. McGraw-Hill Education.
6. Peltzer y Blancá, E. L. (2021). *Introducción a la física de semiconductores y dispositivos electrónicos* (1.ª ed.). EDULP.