



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Proceso de Fabricación de Materiales Semiconductores y Circuitos Integrados.
Clave de la asignatura:	FDL-2301
SATCA¹:	4-1-5
Carrera:	Ingeniería en Semiconductores y afines

2. Presentación

<p>Caracterización de la asignatura</p> <p>El contenido de la asignatura comprende el estudio de los métodos de purificación y crecimiento de los cristales, los métodos de dopaje, el proceso litográfico, la inspección y ensamble en el proceso de fabricación de materiales semiconductores y circuitos integrados.</p> <p>Esta asignatura aporta al perfil del egresado la capacidad para explicar los principios del proceso de fabricación de materiales semiconductores para conocer, identificar y comprender las bases, fundamentos, el comportamiento y operación, así como su aplicación en el proceso de fabricación de circuitos electrónicos para ser utilizados en las asignaturas de Diodos y Transistores, Diseño con Transistores y demás materias afines.</p> <p>Se recomienda el uso de las nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación, para la adquisición y procesamiento de datos. Así como comunicarse con efectividad en forma oral y escrita.</p> <p>Realizando la selección y operación del equipo de medición y prueba para identificar los parámetros eléctricos de los dispositivos.</p>
<p>Intención didáctica</p> <p>Se organiza el contenido en cinco temas que abarcan desde la Introducción a la fabricación de los circuitos integrados hasta la Inspección y el ensamble más comunes en la industria.</p> <p>En el primer tema introduce o refuerza los conocimientos básicos de los semiconductores, propiedades de los materiales y la importancia de la calidad en la fabricación.</p> <p>El segundo tema aborda los conceptos de los métodos de purificación y crecimiento de cristales, Así como, Control de calidad y caracterización de los cristales para su uso en la fabricación de semiconductores.</p> <p>Los Métodos de dopaje para semiconductores se aborda en el tercer tema, se introduce al estudiante en la adición de impurezas en los semiconductores por difusión e implantación de iones con el fin de identificar las propiedades y aplicaciones particulares que los han llevado, están llevando y los llevarán a un uso extensivo en diversos circuitos electrónicos.</p> <p>El tema cuarto permite al estudiante comprender el proceso fotolitográfico, dando origen a las diferentes estructuras que componen el circuito integrado. Finalmente, el tema cinco integra los conocimientos de inspección y ensamble de los semiconductores en la concepción del cómo se fabrican los circuitos electrónicos.</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



Se sugieren actividades integradoras durante el curso que permitan aplicar conceptos estudiados en temas anteriores para visualizar un aspecto mucho más amplio del proceso de fabricación de materiales semiconductores y circuitos integrados, versiones cambiantes en desarrollo tecnológico e investigación. Esto permite cerrar la materia mostrándola como útil en el desempeño profesional, independientemente de la utilidad que representa en el tratamiento de temas en asignaturas posteriores.

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

El estudiante conoce acerca del proceso productivo de los semiconductores y en general de los circuitos integrados. Es capaz de analizar cada parte del sistema productivo y el valor que agrega al producto final. Describir los diferentes procedimientos existentes para la impurificación controlada de semiconductores. Además, establecer las principales ventajas, inconvenientes y diferencias de los procedimientos de fabricación de los semiconductores.

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.



6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción.	1.1 Introducción a la fabricación de Circuitos integrados 1.1.1 Introducción a los semiconductores y su importancia en la tecnología moderna 1.1.2 Introducción al proceso de fabricación de semiconductores y circuitos integrados 1.1.3 Propiedades de los materiales semiconductores: conductividad, el dopaje, la pureza y la estructura cristalina 1.1.4 La importancia de la calidad en la fabricación de materiales semiconductores y circuitos integrados
2	Métodos de Purificación y Crecimiento de Cristales.	2.1 Métodos de purificación de materiales para la fabricación de semiconductores 2.1.1 Purificación por zona 2.1.2 Purificación por deposición química en fase vapor (CVD) 2.2 Métodos de crecimiento de cristales utilizados en la fabricación de semiconductores 2.2.1 Método Czochralski 2.2.2 Método de epitaxia por haz molecular (MBE) 2.2.3 Método de deposición química en fase vapor asistida por plasma (PECVD). 2.3 Control de calidad y caracterización de los cristales para su uso en la fabricación de semiconductores 2.3.1 Pureza 2.3.2 Uniformidad 2.3.3 Orientación cristalográfica 2.3.4 Defectos del cristal 2.3.5 Propiedades ópticas
3	Métodos de Dopaje para Semiconductores.	3.1 Difusión de impurezas 3.1.1 Difusión 3.1.1.1 Ecuación de difusión de Fick 3.1.2 Perfiles de difusión 3.1.2.1 Difusión con concentración de dopante constante en la superficie 3.1.2.2 Difusión con cantidad total de dopante constante 3.1.3 Difusión extrínseca 3.1.4 Efectos relacionados con la difusión 3.1.5 Efecto de difusiones sucesivas 3.1.5.1 Máscaras para la difusión de SiO ₂ 3.1.5.2 Redistribución de impurezas durante la oxidación térmica



		<p>3.1.5.3 Redistribución de impurezas durante el crecimiento epitaxial</p> <p>3.1.6 Difusión lateral</p> <p>3.2 Implantación de iones</p> <p>3.2.1 Implantes múltiples</p> <p>3.2.2 Capas de enmascaramiento</p> <p>3.2.3 Implantes de ángulos de inclinación</p> <p>3.2.4 Implantes de alta energía</p> <p>3.2.5 Implantes de alta corriente</p>
4	Proceso Fotolitográfico.	<p>4.1 Proceso fotolitográfico en la fabricación de CI</p> <p>4.1.1 Fuentes de luz</p> <p>4.1.2 Óptica</p> <p>4.1.3 Fotomáscaras</p> <p>4.1.4 Materiales fotosensibles</p>
5	Inspección y Ensamble.	<p>5.1 Test funcional</p> <p>5.2 Corte de la oblea</p> <p>5.3 Ensamble</p> <p>5.4 Enlace</p> <p>5.5 Moldeo</p> <p>5.6 Corte y formado</p> <p>5.7 Prueba eléctrica</p>

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Introducción	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Comprende y aplica los aspectos fundamentales del proceso de fabricación de semiconductores, incluyendo las propiedades de los materiales semiconductores, la importancia de la calidad y los procesos de aseguramiento de la salud y seguridad en el diseño y manufactura de semiconductores. <p>Genéricas:</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, 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar una línea de tiempo que resuma la historia y evolución de la tecnología de semiconductores y su impacto en la sociedad. Organizar un debate sobre los pros y contras del uso de los semiconductores en la tecnología moderna. Desarrollar un cuadro de análisis comparativo de los procesos de fabricación utilizados por diferentes empresas de semiconductores. Investigar un estudio de casos de fallas de fabricación y su impacto en la calidad y rendimiento de los circuitos integrados. Realizar un mapa mental sobre los estándares de calidad utilizados en la industria de semiconductores y su impacto en la fiabilidad y rendimiento de los circuitos integrados. Exponer un análisis comparativo de los sistemas de control de calidad utilizados por diferentes empresas de semiconductores.



<ul style="list-style-type: none"> Habilidades de investigación. Capacidad de aprender, capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> Investigación sobre las técnicas de prueba y caracterización utilizadas para evaluar la calidad de los materiales semiconductores y los circuitos integrados.
2. Métodos de Purificación y Crecimiento de Cristales	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Conoce y comprende la purificación de materiales y métodos de crecimiento de cristales en la fabricación de semiconductores. Comprende y aplica el control de calidad y caracterización de los cristales en el contexto de la fabricación de semiconductores. <p>Genéricas:</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"> Realización de experimentos prácticos para purificar materiales usando los métodos de purificación por zona y deposición química en fase vapor (CVD). Investigación sobre las ventajas y desventajas de cada método de purificación y comparación de su eficacia. Análisis comparativo de los procesos de purificación utilizados por diferentes empresas de semiconductores. Exponer mediante videos los métodos de crecimiento de cristales, como el método Czochralski, el método de epitaxia por haz molecular (MBE) y el método de deposición química en fase vapor asistida por plasma (PECVD). Debatir sobre los desafíos y tendencias actuales en la fabricación de materiales semiconductores utilizando diferentes métodos de crecimiento de cristales. Investigación sobre las técnicas de prueba y caracterización utilizadas para evaluar la calidad de los materiales semiconductores. Análisis de estudios de casos de fallas de fabricación relacionadas con la calidad de los cristales y su impacto en el rendimiento de los circuitos integrados.
3. Métodos de Dopaje para Semiconductores	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Conocer las razones por las que es necesario contaminar determinadas zonas de una muestra semiconductor. Describir los diferentes procedimientos existentes para la impurificación controlada de semiconductores. Establecer las principales ventajas, inconvenientes y diferencias de los diferentes procedimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> Analizar y describir los fenómenos que se presentan en el dopaje para la construcción de semiconductores. Analizar de forma teórica y práctica las técnicas: difusión o implantación iónica. Graficar y describir el comportamiento del perfil de dopado. Elaborar un cuadro comparativo de los diferentes sistemas de difusión, con fuentes líquidas, gaseosas y sólidas.



<ul style="list-style-type: none"> • Obtener modelos analíticos que nos proporcionen el perfil de dopado en función de las variables tecnológicas de proceso. • Obtener la ecuación de la difusión de Fick y obtener soluciones a la misma una vez establecidas las condiciones iniciales y de contorno. • Obtención de máscaras para la difusión y la implantación iónica a partir de dióxido de silicio. <p>Genéricas:</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"> • Calcular la concentración de dopante con la ecuación de difusión de Fick. • Explicar las diferencias en los casos de difusión: a) Difusión Intrínseca: difusión con concentración de dopante constante en la superficie y difusión con cantidad total de dopante constante, y b) Difusión extrínseca • Identificar los efectos relacionados con la difusión. • Investigar el concepto de la implantación iónica y sus características. • En mesa de discusión comentar las principales ventajas, inconvenientes y diferencias de los diferentes procedimientos. • Analizar y describir los fenómenos que se presentan en la reactivación de impurezas; desorden y recocido.
<p>4. Proceso Fotolitográfico</p>	
<p>Habilidades, saberes, destrezas</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprender el proceso fotolitográfico para la fabricación de circuitos integrados y las partes que componen este proceso. • Conoce y comprende los procesos de diseño de las foto-máscaras utilizadas en la fabricación de los circuitos integrados. • Conoce la estructura física de diversos dispositivos electrónicos y los relaciona con el diseño de las foto-mascaras del proceso fotolitográfico. • Conoce los materiales utilizados en el proceso fotolitográficos en la fabricación de circuitos integrados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar que es el proceso fotolitográfico y como este proceso es utilizado en la fabricación de los materiales semiconductores. • Investigar sobre los materiales fotosensibles, solventes y sistemas especiales de iluminación utilizados en esta industria. • Investiga los tipos de dispositivos electrónicos, su estructura física e identifica las capas de material requeridas para cada dispositivo. • Utilizar software especializado para diseñar fotomáscaras (layout) de circuitos electrónicos. • Separar las capas que componen cada dispositivo y relaciona cada una de ellas, con las etapas de fabricación de los semiconductores. Tipos de dopaje, intensidad de dopaje, deposición e vapor, etc.



<p>Genéricas:</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) 	
<p>5. Inspección y Ensamble</p>	
<p>Habilidades, saberes, destrezas</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conoce y describe el procedimiento para el corte y ensamble de los semiconductores en la fabricación de circuitos electrónicos. • Conoce e identifica los materiales y herramientas que se necesitan para elaborar las operaciones, transportes e inspecciones en la fase final del proceso de fabricación de circuitos electrónicos. • Identifica las pruebas que se realizan a las obleas antes y después del corte de éstas. <p>Genéricas:</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"> • Investigar cómo se realiza un test para comprobar el buen funcionamiento de cada chip en las obleas resultantes de todos los procesos de fabricación sin olvidar los cuidados que se deben tener en las áreas donde se realizan éstos, determinando cuál es el destino de los chips defectuosos. • Realizar un diagrama de flujo que muestre cómo se realiza el corte en las obleas (singulación) una vez que se comprobó que cumplen sus funciones, qué elementos intervienen en este proceso sin olvidar en los pasos el reemplazo de la sierra de corte y la separación de los elementos conformes y no conformes. • Simular en una maqueta los elementos que intervienen en el ensamble de los chips en su carcasa (wire bonding y die bonding) incluyendo también el proceso de embalaje investigando qué requisitos térmicos, eléctricos y de estabilidad mecánica se deben tener en cuenta. • Realizar una investigación sobre la manera en que se puede proteger un chip frente a daños tras la unión de éste y el proceso de wire bond. • Presentar y debatir en grupo todas las pruebas que se realizan al producto final y de qué manera se podría lograr reducir las piezas rechazadas.



8. Práctica(s)

- Desarrollar experimentos prácticos para medir la conductividad y resistividad de diferentes materiales semiconductores.
- Realización de experimentos prácticos para medir la pureza, uniformidad, orientación cristalográfica y propiedades ópticas de los cristales.
- Realiza el layout (foto mascarar) de diferentes dispositivos electrónicos. Separa las capas que componen cada dispositivo, los identifica y relaciona con los procesos de dopaje y deposición de materiales.

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) donde se fundamenta el proyecto según un diagnóstico realizado, que permite a los estudiantes comprender la realidad o situación en estudio para definir un proceso de intervención o diseñar 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

Instrumentos y herramientas sugeridas para evaluar las actividades de aprendizaje:

- Proyectos de investigación.
- Participación y exposiciones.
- Examen escrito.
- Portafolio de evidencias.
- Resolución de ejercicios propuestos.
- Análisis y resolución de problemas en casos reales.



11. Fuentes de información

1. Balasinski, A. (2018). Semiconductors (1st edition). CRC Press.
2. Geng, H. (2017). Semiconductor manufacturing handbook, second edition (2nd edition). McGraw-Hill Education.
3. May, G. S., & Spanos, C. J. (2006). Fundamentals of semiconductor manufacturing and process control. IEEE; Wiley-Interscience.
4. Zorich, R. (1991). Handbook of quality integrated circuit manufacturing. Academic Press.
5. Sharma B. L. & Purohit R. K (2015). Semiconductor Heterojunctions. Pergamon.
6. Berger L. I. (2020). Semiconductor Materials. CRC Press.
7. Milnes A. G. & Feucht D. L. (1972). Heterojunctions and Metal-Semiconductor Junctions. Academic Press.
8. Seeger K. (2004). Semiconductor Physics. Springer-Verlag Wien GmbH.
9. Rockett A. (2008). The Materials Science of Semiconductors. Springer.
10. Chu J., Sher A. (2008). Physics and Properties of narrow Gap Semiconductors. Springer.
11. Takahashi K., Yoshikawa A. (2007). Fundamental Properties and Modern Photonic and Electronic Devices. Springer.
12. Sahrling, Mikael (2022). Layout Techniques for Integrated Circuit Designers. Artech House.
13. Pappas, Nicholas (2014). L. CMOS Circuit Design - Analog, Digital, IC Layout.
14. Baker, Jacob. (2019). CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation 4th Edition. IEEE press series.
15. Sedra, Adel S.; Smith, Kenneth (2019). Microelectronic Circuits, 8th edition. Oxford University Press.
16. Corey, Richard. (2022). Understanding Semiconductors: A Technical Guide for Non-Technical People 1st ed. Edición. APRES.