



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Procesos de Fabricación y Diseño de Layout para Circuitos Integrados.
Clave de la asignatura:	DCF-2306
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería en Semiconductores y afines

2. Presentación

Caracterización de la asignatura
<p>Esta asignatura tiene un enfoque muy práctico, es el enlace entre el diseño de un circuito integrado y su fabricación.</p> <p>Aporta al perfil del egresado conocimiento de las reglas de diseño físico de un circuito integrado, las diferencias entre circuitos digitales y analógicos, resaltando el reto que implican dichas diferencias en el diseño. Desarrolla habilidades en el uso de software de diseño utilizado para la elaboración de las foto máscaras requeridas en el proceso fotolitográfico de fabricación de los circuitos integrados.</p> <p>La asignatura de Procesos de Fabricación y Diseño de Layout para Circuitos Integrados es de gran importancia para el Ingeniero con esta especialidad, ya que, como se mencionó, es el enlace entre el diseño y la fabricación. La industria actual de semiconductores requiere ingenieros con estas habilidades y saberes para acelerar sus procesos de diseño-producción-comercialización. La asignatura se relaciona con las materias de Análisis y Síntesis de Circuitos digitales y Arquitecturas de procesamiento y memorias, ya que es el paso siguiente al diseño de los circuitos, además se relaciona con la materia de Caracterización de Dispositivos Electrónicos para comprender como se construyen los dispositivos que serán utilizados en el diseño de los CI.</p>
Intención didáctica
<p>Se organiza el contenido en seis temas que abarcan desde el proceso fotolitográfico para la fabricación de los circuitos integrados hasta el encapsulamiento de los circuitos.</p> <p>El primer tema aborda el proceso fotolitográfico, las partes del proceso, la importancia de la óptica y las fuentes de luz para la fabricación de los circuitos integrados.</p> <p>En el segundo tema se explica cómo es la construcción de los dispositivos electrónicos, tales como diodos y transistores, como se lleva a cabo el proceso fotolitográfico para la fabricación de cada dispositivo, identificando cada una de las capas y los materiales utilizados en cada etapa de la construcción, tales como materiales semiconductores con diferentes grados de dopaje, óxidos, metales, polysilicio, etc.</p> <p>El tercer tema se enfoca en el uso de las herramientas CAD (Software para layout) para el diseño físico de circuitos integrados. Se interpretan diagramas esquemáticos que representan los circuitos electrónicos, se explica el concepto de la jerarquía en los diagramas y se realiza el layout de circuitos digitales, desde simples compuertas lógicas hasta circuitos más complejos, como</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



pequeños sistemas de procesamiento o interfaces de comunicación. Utiliza las herramientas de verificación para asegurar la funcionalidad de los circuitos diseñados.

El cuarto tema utiliza las habilidades adquiridas en el tema 3 para el diseño físico de circuitos analógicos, cuyo nivel de complejidad es más alto. Explica conceptos de desviación de parámetros y como se pueden reducir sus efectos.

El tema 5 aborda el tema de la electricidad estática y cómo ésta afecta a los circuitos integrados. Se analizan técnicas y circuitos de protección antiestática para ser utilizados en el diseño de los circuitos integrados, además de abordar el tema de diseño de pads de entrada y salida para los CI.

El tema 6 aborda el tema del proceso final en el diseño de los circuitos integrados, partiendo de la oblea de silicio al encapsulado del circuito, analizando los diferentes tipos de empaque utilizados en la industria.

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 de un circuito electrónico, tanto analógico como digital. Describir los diferentes procedimientos utilizados para la fabricación de los circuitos integrados, desde el proceso fotolitográfico hasta el empaque y test.
- Realiza la planeación del diseño físico y utiliza software especializado para representar el diseño del chip.
- Conoce como se realiza la construcción física de los dispositivos electrónicos e interpreta diagramas electrónicos para diseñar las foto máscaras utilizadas en el proceso fotolitográfico.
- Conoce, comprende y aplica las reglas de diseño utilizadas en el proceso de diseño físico de los circuitos integrados.
- Comprende y aplica las herramientas de verificación para el diseño de los circuitos integrados.



5. Habilidades, saberes, destrezas previas

- Maneja herramientas de software de simulación para el análisis de circuitos eléctricos y electrónicos.
- 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.
- Conoce los fundamentos de los semiconductores y los relaciona con los dispositivos electrónicos.
- Aplica conocimientos básicos en electrónica y circuitos eléctricos.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Proceso Fotolitográfico para Fabricación de CI.	1.1 Introducción a la fabricación de Circuitos integrados. 1.2 Proceso fotolitográfico en la fabricación de CI 1.2.1 Tipos de fuente de luz. 1.2.2 Óptica. 1.2.3 Fotomáscaras. 1.2.4 Materiales fotosensibles. 1.2.5 Proceso de limpieza.
2	Construcción de Dispositivos Electrónicos.	2.1 Dispositivos electrónicos 2.1.1 Diodo 2.1.2 MOSFET 2.1.3 Resistencia 2.1.4 Capacitor 2.1.5 BJT 2.1.6 Inductor semiconductor 2.1.7 MEMS 2.2 Conectividad 2.3 Parámetros eléctricos y parasíticos 2.4 Procesos de diseño PDK y nodos de fabricación
3	Celdas Estándar en Circuitos Digitales.	3.1 Herramientas CAD para layout de CI 3.2 Compuertas lógicas 3.3 Arquitectura y distribución física del CI (Floor planning) 3.4 Verificación y validación
4	Técnicas de Layout para CI Analógicos.	4.1 Efectos parasíticos 4.2 Desviación de parámetros 4.3 Técnicas de matching 4.4 Técnicas de shielding 4.5 Técnicas de routing



5	Protección Electrostática.	5.1 Generación de electrostática 5.2 Efectos de la estática 5.3 Dispositivos de protección 5.4 Pad ring
6	Encapsulados.	6.1 THT 6.2 SMT 6.3 Servicios de producción electrónica (EMS)

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Proceso Fotolitográfico para Fabricación de CI	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad cognitiva para abstraer ideas e información. • Capacidad de análisis y síntesis. • Conceptualizar el estado del arte para diseñar CI a través de técnicas fotolitográficas. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de analítica, sintética y crítica • Conocimientos básicos de la carrera • Conocimiento de una segunda lengua • Habilidades de gestión de información habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas, propuestas acerca de los sistemas fotolitográficos. • Analizar los diferentes elementos del proceso fotolitográfico, resaltando características ventajas y desventajas de acuerdo a los procesos actuales. • Analizar las diferentes etapas del proceso fotolitográfico, identificando cada etapa, resaltando la parte óptica y la parte de fotomascaras.
Construcción de Dispositivos Electrónicos	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocer cómo se construyen los diferentes tipos de dispositivos electrónicos. • Reconoce las capas que componen cada parte del dispositivo y las relaciona con cada parte del proceso de fabricación. <p>Genéricas:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza búsquedas de información en las diferentes fuentes bibliográficas o en línea acerca de la construcción de los dispositivos electrónicos. • Identifica cada parte de los dispositivos electrónicos y los materiales utilizados en la construcción de cada sección de dichos dispositivos. • Conoce y comprende como las características físicas (geométricas) de los



<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de analítica, sintética y crítica • Conocimientos básicos de la carrera • Conocimiento de una segunda lengua • Habilidades de gestión de información habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de investigación. 	<p>dispositivos afectan las características eléctricas de los dispositivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza la construcción de los dispositivos electrónicos e identifica los efectos parasíticos generados por la geometría de los dispositivos.
<p>Celdas Estándar en Circuitos Digitales</p>	
<p>Habilidades, saberes, destrezas</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad en el manejo de software CAD para la elaboración de layout de CI. • Conoce, comprende y realiza los procesos de verificación de reglas de diseño <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad de trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidad para buscar y analizar información de fuentes diversas. • Capacidad para diseñar y espíritu emprendedor 	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretar e implementar dibujos mecánicos de componentes electrónicos. • Representar módulos mediante expresiones booleanas. • Desarrollar una representación del circuito basada en el diseño lógico. • Conoce, analiza y utiliza archivos de procesos de fabricación (PDK) de un fabricante de circuitos integrados. • Identifica celdas digitales estándar para diseñar circuitos digitales. • Utiliza el software para el diseño físico (layout) de circuitos digitales y realiza los procesos de verificación. • Planea la arquitectura de un CI
<p>Técnicas de Layout para CI Analógicos</p>	
<p>Habilidades, saberes, destrezas</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad en el manejo de software CAD para la elaboración de layout de CI analógico. • Conoce, comprende y realiza los procesos de verificación de reglas de diseño DRC y layout vs schematic LVS. • Comprende los efectos de la desviación de parámetros de los dispositivos que se generan durante el proceso de fabricación y que afectan el comportamiento de los circuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretar e implementar dibujos mecánicos de componentes electrónicos. • Analiza y dibuja diagramas esquemáticos para comprender los conceptos de jerarquía en éstos. • Conoce, analiza y utiliza archivos de procesos de fabricación (PDK) de un fabricante de circuitos integrados. • Identifica celdas analógicas • Utiliza el software para el diseño físico (Layout) de circuitos analógicas y realiza los procesos de verificación.



<ul style="list-style-type: none"> • Conoce y aplica técnicas de layout para mitigar los efectos de la desviación de parámetros <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad de trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidad para buscar y analizar información de fuentes diversas. • Capacidad para diseñar y espíritu emprendedor 	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza el layout de bloques analógicos aplicando técnicas para la reducción de los efectos negativos de la desviación de parámetros. Técnicas de matching, shielding y routing. • Comprende que es un archivo gds.
<p>Protección Electroestática</p>	
<p>Habilidades, saberes, destrezas</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Conceptualizar el estado del arte sobre los tipos dispositivos de protección antiestática ESD en los circuitos integrados. • Conoce, analiza y diseña mecanismos de protección antiestática. • Conoce que es el PAD RING de un circuito integrado y comprende su función dentro del esquema de protección ESD <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad de trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidad para buscar y analizar información de fuentes diversas. • Capacidad para diseñar y espíritu emprendedor 	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza búsquedas de información respecto al concepto de electricidad estática y cómo es que afecta a los circuitos integrados. • Realiza investigación sobre los efectos de la estática en los circuitos electrónicos. • Identifica y utiliza dispositivos de protección ESD durante el diseño del layout del circuito integrado. • Diseña pads de protección antiestática y los integra dentro de un diseño de CI. • Comprende que es un archivo gds.



Encapsulados	
Habilidades, saberes, destrezas	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad cognitiva para abstraer ideas e información • Capacidad de análisis y síntesis • Conceptualizar el estado del arte sobre los tipos de encapsulados existentes y sus aplicaciones. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de analítica, sintética y crítica • Conocimientos básicos de la carrera • Conocimiento de una segunda lengua • Habilidades de gestión de información habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas, propuestas acerca de diseño y aplicaciones de los encapsulados de circuitos electrónicos. • Analizar la información y analizar las diferentes características de los encapsulados, resaltando características ventajas y desventajas de acuerdo con los procesos actuales.

8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un proceso completo de diseño fotolitográfico (Coating, exposure, transfer, strip y cleaning). • Caracterizar y medir las propiedades físicas de los encapsulados actuales. • Utilizar el software CAD de layout para diseñar celdas digitales básicas. • Realizar diseño de layout de diferentes celdas digitales, utilizando celdas básicas para su construcción, verifica el diseño para reglas de diseño DRC y layout vs schematic LVS. • Realiza diseño de layout de diferentes celdas analógicas, verifica el diseño para reglas de diseño DRC y layout vs schematic LVS. • Diseña arquitectura de circuitos integrados (Flooplanning) • Diseñar pads de entrada, salida, power.



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

Se realizará evaluación formativa continua utilizando los siguientes instrumentos:

- Examen escrito para evaluación del trabajo en el aula.
- Desarrollo de prácticas en el laboratorio.
- Desarrollo de reporte escrito en formato internacional.
- Evaluación de trabajos de investigación.
- Evaluación de solución de problemas.
- Reporte de las simulaciones software.
- Desarrollo de un proyecto de ingeniería aplicada.



11. Fuentes de información

1. Nanohub. (s.f.). Fotolitografía Opción A.
https://nanohub.org/resources/33771/download/Fotolitografia_-_Opcin_A.pdf
2. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. (2018). Diseño e implementación de un sistema de fotolitografía para fabricar microestructuras en sustratos de vidrio y silicio.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532018000200294
3. Sahrling, Mikael (2022). Layout Techniques for Integrated Circuit Designers. Artech House.
4. Pappas, Nicholas (2014). L. CMOS Circuit Design - Analog, Digital, IC Layout.
5. Baker, Jacob. (2019). CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation 4th Editionn. IEEE press series.
6. Sedra, Adel S.; Smith, Kenneth (2019). Microelectronic Circuits, 8th edition. Oxford University Press.
7. Corey, Richard. (2022). Understanding Semiconductors: A Technical Guide for Non-Technical People 1st ed. Edición. APRES.