

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
COORDINACIÓN GENERAL DE FORMACIÓN BÁSICA
COORDINACIÓN GENERAL DE FORMACIÓN PROFESIONAL Y VINCULACIÓN UNIVERSITARIA
PROGRAMA DE UNIDAD DE APRENDIZAJE

I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

1. **Unidad Académica:** Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Ensenada; Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Tijuana y Facultad de Ingeniería, Mexicali.
2. **Programa Educativo:** Ingeniero en Electrónica
3. **Plan de Estudios:** 2020-1
4. **Nombre de la Unidad de Aprendizaje:** Introducción a la Fabricación Microelectrónica
5. **Clave:** 36177
6. **HC:** 02 **HL:** 00 **HT:** 02 **HPC:** 00 **HCL:** 00 **HE:** 02 **CR:** 06
7. **Etapas de Formación a la que Pertenece:** Disciplinaria
8. **Carácter de la Unidad de Aprendizaje:** Optativa
9. **Requisitos para Cursar la Unidad de Aprendizaje:** Ninguno



Equipo de diseño de PUA

Abraham Arias León
Juan Jesús López García
Paola Góngora Lugo
Arturo Velázquez Ventura
David Alejandro Zevallos Castro

Fecha: 19 de febrero de 2019

Firma

Vo.Bo. de Subdirectores de Unidades Académicas

Humberto Cervantes de Ávila
Rocío Alejandra Chávez Santoscoy
Alejandro Mungaray Moctezuma

Firma

II. PROPÓSITO DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

La Fabricación Microelectrónica representa en la actualidad la serie de procesos necesarios para la integración de microcircuitos a gran escala, ha permitido la evolución de la electrónica en aspectos como miniaturización, rapidez, confiabilidad y bajo consumo de potencia. Gracias a esta disciplina es posible agrupar diversas funciones en dispositivos como teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras personales, entre otros.

La unidad de aprendizaje proporcionará al alumno conocimientos de los diversos procesos de fabricación microelectrónica necesarios para la elaboración de microcircuitos como la oxidación, fotolitografía, difusión, implantación iónica, deposición de películas delgadas, metalización, interconexión, entre otros. Además el alumno será capaz de generar habilidades de análisis, interpretación de diagramas y tablas, modelado de procesos físicos y selección de materiales.

Esta asignatura es de carácter optativo de la etapa disciplinaria y corresponde al área de Ingeniería Aplicada.

III. COMPETENCIA DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE

Analizar e interpretar el proceso de fabricación microelectrónica de dispositivos semiconductores y circuitos integrados, mediante el estudio de los fundamentos teóricos y las técnicas de caracterización tecnológicas, para el planteamiento de soluciones a los problemas relacionados con la industria semiconductor, con actitud responsable, analítica y de colaboración.

IV. EVIDENCIA(S) DE DESEMPEÑO

Elabora un reporte técnico, fundamentado en fuentes confiables y citadas de manera pertinente, que describa las etapas del proceso de fabricación de un dispositivo microelectrónico. El reporte debe incluir la descripción del caso de estudio como introducción, los requerimientos tecnológicos para el proceso de fabricación, el análisis del proceso y los resultados esperados de operación del dispositivo fabricado. Debe entregarse en tiempo, estructurado y ortográficamente correcto.

V. DESARROLLO POR UNIDADES

UNIDAD I. Introducción al proceso de fabricación microelectrónica

Competencia:

Distinguir los diferentes procesos involucrados en la fabricación de dispositivos o microcircuitos electrónicos, mediante la comprensión de su metodología, para diferenciar las tecnologías, con actitud sistemática y responsable.

Contenido:**Duración:** 4 horas

- 1.1. Perspectiva histórica de la fabricación microelectrónica
- 1.2. Proceso de fabricación de estructuras monolíticas
- 1.3. Proceso de fabricación de dispositivos MOS
 - 1.3.1. Proceso básico del transistor nMOS y pMOS
 - 1.3.2. Proceso básico de tecnología CMOS
- 1.3. Proceso básico de fabricación de dispositivos bipolares

UNIDAD II. Fotolitografía

Competencia:

Comprender los subprocesos foto-litográficos, mediante la explicación de las distintas etapas, para la selección óptima de los agentes y sustancias químicas a utilizarse, con organización y responsabilidad al medio ambiente.

Contenido:

Duración: 4 horas

2.1. Proceso de Fotolitografía

- 2.1.1. Tipos de Oblea y procedimientos de limpieza
- 2.1.2. Formación capas barrera
- 2.1.3. Aplicación de fotorresina
- 2.1.4. Precocido
- 2.1.5. Alineación de máscaras
- 2.1.6. Exposición y revelado
- 2.1.7. Cocido fuerte

2.2. Técnicas de abrasión

- 2.2.1. Abrasión química (Wet etch)
- 2.2.2. Abrasión por plasma (Dry etch)
- 2.2.3. Remoción de fotorresina

2.3. Fabricación de máscaras

2.4. Sistemas y fuentes de exposición

2.5. Microscopía óptica y electrónica

UNIDAD III. Oxidación térmica

Competencia:

Comprender el proceso y aplicación de la oxidación, a través del estudio de los parámetros termodinámicos que intervienen y su interacción, para obtener las propiedades y funciones del óxido requeridas, con actitud minuciosa y disciplinada.

Contenido:**Duración:** 6 horas

- 3.1. Proceso de oxidación
- 3.2. Modelos del proceso de oxidación
- 3.3. Tasa de oxidación
- 3.4. Tecnología y sistemas de oxidación
- 3.5. Oxidación selectiva y formación de trincheras poco profundas
- 3.6. Caracterización del óxido

UNIDAD IV. Difusión

Competencia:

Comprender el proceso de difusión, mediante el desarrollo de conceptos y modelos físicos, para su aplicación en el dopaje de semiconductores, demostrando responsabilidad y disciplina.

Contenido:**Duración:** 6 horas

- 4.1. Proceso de difusión y modelado
 - 4.1.1. Difusión de fuente constante
 - 4.1.2. Difusión de fuente limitada
 - 4.1.3. Difusión en dos pasos
- 4.2. Coeficiente de difusión
- 4.3. Límite de solubilidad sólida
- 4.4. Formación y caracterización de la unión
- 4.5. Resistencia laminar
- 4.6. Perfil de dopaje
- 4.7. Sistemas de difusión

UNIDAD V. Implantación iónica

Competencia:

Describir el proceso de implantación iónica, mediante la aplicación de fórmulas y modelos físico-matemáticos, para su utilización en el dopaje de semiconductores, con una actitud analítica y sistemática.

Contenido:

Duración: 4 horas

- 5.1. Proceso de implantación iónica y su modelado
- 5.2. Implantación selectiva
- 5.3. Profundidad de unión y resistencia laminar mediante implantación iónica
- 5.4. Fenómenos anómalos durante la implantación: canalización, recocido y daños en la red
- 5.5. Implantaciones poco profundas
 - 5.5.1. Implantación de baja energía
 - 5.5.2. Recocido térmico rápido (RTA)

UNIDAD VI. Deposición de películas delgadas

Competencia:

Analizar las distintas técnicas de deposición de películas delgadas, mediante la descripción de los requerimientos técnicos y aplicaciones, para la selección adecuada de la tecnología acorde a las propiedades de la película a depositar, con disciplina y responsabilidad al medio ambiente.

Contenido:

Duración: 4 horas

- 6.1. Deposición Física de Vapor
 - 6.1.1. Evaporación Térmica
 - 6.1.2. Evaporación por haz de electrones (e-beam)
 - 6.1.3. Evaporación por destello (Flash)
 - 6.1.4. Erosión Iónica (Sputtering)
 - 6.1.5. Deposición por láser pulsado (PLD)
- 6.2. Deposición Química de Vapor
- 6.3. Epitaxia
 - 6.3.1. Epitaxia por fase de vapor
 - 6.3.2. Epitaxia por fase líquida
 - 6.3.3. Epitaxia por haces moleculares

UNIDAD VII. Interconexiones y contactos

Competencia:

Comprender el comportamiento de los tipos de contactos y su interconexión, por medio de la descripción de sus propiedades, para la selección de materiales y procesos idóneos de acuerdo a los requerimientos solicitados, con una actitud crítica y responsable.

Contenido:

Duración: 4 horas

7.1. Interconexiones metálicas y tecnología de contactos

7.1.1. Contacto óhmico

7.1.2. Resistencia de contacto

7.1.3. Electromigración

7.2. Interconexiones de silicio policristalino y contactos enterrados

7.3. Proceso *Lift-off*

7.4. Metalización multinivel

7.5. Interconexiones de cobre

VI. ESTRUCTURA DE LAS PRÁCTICAS DE TALLER

No. de Práctica	Competencia	Descripción	Material de Apoyo	Duración
1	Identificar los distintos procesos de la fabricación de circuitos electrónicos, mediante la comprensión de estos, para determinar la metodología adecuada en la fabricación microelectrónica, con actitud sistemática y responsable.	El docente explica los distintos procesos de fabricación empleados para la elaboración de un microcircuito. El alumno elabora un diagrama de flujo, ordenando adecuadamente los procesos para obtener un dispositivo microelectrónico funcional.	Pintarrón, proyector, computadora, apuntes de clase, bibliografía, lápiz, cuaderno y calculadora.	4 horas
2	Explicar el proceso de la fotolitografía, mediante la solución de ejercicios, para comprender los fenómenos ópticos y químicos que intervienen en el proceso, de manera organizada y con respeto al medio ambiente.	El docente plantea ejercicios para la elaboración de máscaras o patrones para fotolitografía. El alumno resuelve los ejercicios, aplicando las fórmulas y modelos físico-matemáticos.	Pintarrón, proyector, computadora, apuntes de clase, bibliografía, lápiz, cuaderno y calculadora.	4 horas
3	Identificar los parámetros termodinámicos que intervienen en el proceso de oxidación, mediante la aplicación de modelos físicos y matemáticos, para obtener distintos tipos y propiedades en los óxidos, con actitud minuciosa y disciplinada.	El docente plantea ejercicios de los distintos tipos de oxidación en diversas condiciones de temperatura. El alumno resuelve los ejercicios, aplicando teoremas, principios, métodos, modelos y leyes.	Pintarrón, computadora, apuntes de clase, tablas, gráficas, bibliografía, lápiz, cuaderno y calculadora.	6 horas
4	Identificar los parámetros termodinámicos que intervienen en el proceso de difusión, mediante la aplicación de modelos físicos y matemáticos, para obtener distintas concentraciones de dopaje con distintos elementos químicos, con actitud crítica y disciplinada.	El docente plantea ejercicios de difusión con fuente limitada y fuente constante a distintos tiempos y temperaturas. El alumno resuelve los ejercicios, aplicando métodos y modelos físico-matemáticos.	Pintarrón, computadora, apuntes de clase, tablas, gráficas, bibliografía, lápiz, cuaderno y calculadora.	6 horas
5	Identificar los parámetros físicos que intervienen en el proceso de implantación iónica, mediante la aplicación de modelos físicos y	El docente plantea ejercicios de implantación iónica con distintos rangos de trabajo, energía y concentración de impurezas.	Pintarrón, computadora, apuntes de clase, tablas, gráficas, bibliografía, lápiz, cuaderno y calculadora.	4 horas

	matemáticos, para obtener distintos tipos de concentraciones y profundidades de dopaje, con actitud minuciosa y disciplinada.	El alumno resuelve los ejercicios, aplicando métodos y modelos físico-matemáticos.		
6	Identificar las diferentes técnicas de deposición de películas delgadas, mediante el estudio de manuales, hojas de aplicación y artículos científicos, para seleccionar la técnica de deposición que proporcione los parámetros deseados en la película, atendiendo la normatividad internacional vigente, con actitud profesional y visión de desarrollo sustentable.	El alumno realiza una investigación documental profunda de artículos y textos con rigor científico, sobre una técnica de deposición de películas delgadas, para ser expuestos de manera clara y concisa a sus compañeros de clase.	Pintarrón, proyector, computadora y bibliografía.	4 horas
7	Analizar el comportamiento de los contactos y su interconexión, mediante la revisión de literatura especializada y el estudio de casos, para la selección de materiales y procesos que solventen las necesidades de la aplicación, de forma organizada, clara y profesional.	El alumno realiza una investigación documental profunda de artículos científicos y textos con rigor científico y factor de impacto, sobre un material y una técnica de interconexión de contactos, para exponer de manera clara y concisa a sus compañeros de clase.	Pintarrón, proyector, computadora y bibliografía.	4 horas

VII. MÉTODO DE TRABAJO

Encuadre: El primer día de clase el docente debe establecer la forma de trabajo, criterios de evaluación, calidad de los trabajos académicos, derechos y obligaciones docente-alumno.

Estrategia de enseñanza (docente)

El maestro expondrá de forma ordenada, clara y concisa los antecedentes históricos, conceptos básicos de la fabricación microelectrónica como la fotolitografía, la oxidación, la difusión, la implantación iónica, el depósito de películas delgadas y la metalización. Incorporará estudio de casos reales, proporcionando atmósferas de aprendizaje donde se fomente el desarrollo de la capacidad de análisis y la argumentación entre los estudiantes. Además, guiará al estudiante en la elaboración de un reporte técnico, revisando que se encuentre fundamentado en fuentes de información confiables y citadas de manera pertinente. Realizará una retroalimentación en cada etapa del proceso de la elaboración del reporte técnico, revisando la congruencia y pertinencia de su trabajo, la factibilidad y la metodología utilizada para la elaboración del dispositivo semiconductor propuesto.

Estrategia de aprendizaje (alumno)

El estudiante realizará trabajos de investigación de forma individual y en equipo, a través de la revisión de fuentes de información confiable y rigurosa. Elaborará de manera individual organizadores gráficos que comparará con los de sus compañeros en un proceso de retroalimentación para fomentar la autoevaluación. Resolverá mediante la aplicación de modelos físicos y matemáticos los parámetros de fabricación de los distintos procesos industriales. En equipo, preparará presentaciones orales sobre el contenido temático del curso; también formará parte de un equipo de trabajo que propondrá tecnología y metodología para el desarrollo de un proceso que desarrolle un dispositivo microelectrónico del cual deberá elaborar un reporte técnico.

VIII. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

La evaluación será llevada a cabo de forma permanente durante el desarrollo de la unidad de aprendizaje de la siguiente manera:

Criterios de acreditación

- Para tener derecho a examen ordinario y extraordinario, el estudiante debe cumplir los porcentajes de asistencia que establece el Estatuto Escolar vigente.
- Calificación en escala del 0 al 100, con un mínimo aprobatorio de 60.

Criterios de evaluación

- | | |
|--|------|
| - Evaluaciones teóricas..... | 30% |
| - Prácticas de taller..... | 30% |
| - Evidencia de desempeño.....
(Reporte técnico) | 40% |
| Total..... | 100% |

IX. REFERENCIAS

Básicas	Complementarias
Balasiniski, A. (2016). <i>Semiconductors: Integrated Circuit Design for Manufacturability</i> . USA: CRC Press.	Friedman, E.G. (2019). <i>Microelectronics Journal</i> . USA: Elsevier. Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de https://www.journals.elsevier.com/microelectronics-journal
Campbell, S. A. (2012). <i>Fabrication Engineering at the Micro- and Nanoscale (The Oxford Series in Electrical and Computer Engineering)</i> . U.K.: Oxford University Press. [clásica]	International Roadmap for Devices and Systems. (2017). What is the IRDS™?. USA: IEEE. Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de https://irds.ieee.org/
Doering, R. and Nishi, Y. (2007). <i>Handbook of semiconductor manufacturing technology</i> . CRC Press. [clásica]	iMAPS. (2019). Advancing Microelectronics. USA: iMAPSource. Recuperado el 18 de septiembre de 2018 de http://www.imapsource.org/loi/amim
Geng, H. (2014). <i>Semiconductor manufacturing handbook</i> . USA: McGraw-Hill, Inc.	May, G. S. & Spanos, C. J. (2006). <i>Fundamentals of semiconductor manufacturing and process control</i> . USA: John Wiley & Sons. [clásica]
Jaeger, R. C. (2001). <i>Introduction to Microelectronic Fabrication: Volume 5 of Modular Series on Solid State Devices (Vol. 2)</i> . USA: Prentice Hall. [clásica]	Wolf, S. (2004). <i>Microchip manufacturing</i> (p. 308). USA: Lattice press. [clásica]
May, G. S. & Sze, S. M. (2004). <i>Fundamentals of semiconductor fabrication</i> (pp. 218-222). USA: Wiley. [clásica]	
Van Zant, P. (2014). <i>Microchip fabrication: A practical guide to semiconductor processing</i> . USA: McGraw-Hill Professional.	

X. PERFIL DEL DOCENTE

El docente que imparta esta asignatura debe contar con título en Ingeniero en Semiconductores, Electrónica, Materiales o área afín, preferente con maestría y/o doctorado en Microelectrónica, Semiconductores o Manufactura Electrónica. Se sugiere experiencia laboral de al menos tres años de experiencia en procesos de manufactura de la industria de semiconductores o en manejo de equipos de crecimiento de películas delgadas, experiencia mínima de un año como docente en nivel universitario y con cursos pedagógicos. Proactivo, facilidad para transmitir el conocimiento y responsable.