

## CARTA DESCRIPTIVA FÍSICA Y MODELADO DE DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

| <b>I. Identificadores de la asignatura</b> |   |                   |            |                     |
|--|---|-------------------|------------|---------------------|
| <b>Instituto:</b>                          | IIT   | <b>Modalidad:</b> | Presencial |                     |
| <b>Departamento:</b>                       | Ingeniería Eléctrica y Computación                | <b>Créditos:</b>  | 6          |                     |
| <b>Materia:</b>                            | Física y Modelado de Dispositivos Semiconductores | <b>Carácter:</b>  | Optativa   |                     |
| <b>Programa:</b>                           | Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica      | <b>Tipo:</b>      | Curso      |                     |
| <b>Clave:</b>                              |   |                   |            |                     |
| <b>Nivel:</b>                              | Avanzado  |                   |            |                     |
| <b>Horas:</b>                              | 48  | <b>Teoría:</b>    | 30         | <b>Práctica:</b> 18 |

| <b>II. Ubicación</b>   |   |
|--|---|
| <p><b>Antecedentes:</b><br/>Fundamentos de semiconductores orgánicos e inorgánicos.</p> <p><b>Consecuente:</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>Clave</b></p> |

| <b>III. Antecedentes</b>   |
|--|
| <p><b>Conocimientos:</b> Estructura cristalina, bandas de energía, concentración de portadores en equilibrio térmico y mecanismos de transporte.</p> <p><b>Habilidades:</b> Razonamiento lógico y abstracto, capacidad de análisis y síntesis para la solución</p> |

de problemas y trabajo en equipo.

**Actitudes y valores:** Puntualidad, responsabilidad, honestidad, respeto, creatividad, dedicación y constancia. Disposición para trabajar en equipo

#### **IV. Propósitos Generales**

Los propósitos fundamentales del curso son:

Que el alumno adquiera conceptos avanzados de la física de dispositivos semiconductores, incluyendo mecanismos de generación-recombinación, densidad de estados y los mecanismos de rompimiento; características esenciales del comportamiento en corriente alterna, transitorio y de conmutación en uniones pn, transistores bipolares y MOS. Todo este análisis es fundamental para el correcto modelado, perspectivas y limitaciones de los dispositivos semiconductores.

Este curso es optativo y se recomienda para alumnos que cursan estudios de posgrado en Microelectrónica. El curso aborda conceptos físicos y tecnológicos avanzados de dispositivos electrónicos de estado sólido.

#### **V. Compromisos formativos**

**Intelectual:** El alumno se autodirige en la búsqueda de información y aprendizaje de técnicas o métodos que permitan la solución de problemas relativos a su investigación. Pone en práctica las metodologías aprendidas para el análisis y modelado de dispositivos semiconductores.

**Humano:** Aporta esfuerzo, compromiso, integridad y honestidad a cualquier actividad de investigación científica en la industria, organización pública o privada en donde ejerza sus servicios profesionales. Participa como un miembro productivo cuando integre equipos de trabajo.

**Social:** Respeta las leyes y normas establecidas por la sociedad y de manera particular aquellas relacionadas con el ejercicio de su profesión. Es cauteloso al actuar bajo los principios éticos de su profesión. Se muestra interesado por contribuir, desde el ejercicio de su profesión, a la conservación del medio ambiente.

**Profesional:** El alumno entiende, analiza y aplica los conocimientos de la física y modelado de dispositivos semiconductores en diferentes actividades y proyectos de investigación.

## VI. Condiciones de operación

**Espacio:** Aula tradicional

**Laboratorio:** CICTA

**Mobiliario:** Mesa y sillas

**Población:** 1-10 alumnos

**Material de uso frecuente:**

- A) Cañón
- B) Computadora portátil
- C) Estaciones de trabajo
- D) Licencias del software de Silvaco.

**Condiciones especiales:**

## VII. Contenidos y tiempos estimados

| Temas   | Contenidos   | Actividades  |
|---|--|--|
| I. Revisión de la electrónica de semiconductores (3 horas). | <ul style="list-style-type: none"><li>• Introducción al curso.</li><li>• Modelo de bandas de energía para sólidos.</li><li>• Estadísticas Fermi-Dirac y Boltzman</li><li>• Modelos de densidad de Estados</li><li>• Mecanismos de transporte en semiconductores.</li></ul> | <p>El instructor expone la importancia de la física de los semiconductores y el modelado de los dispositivos electrónicos.</p> <p>El instructor presenta el programa, las políticas y la forma de evaluar el curso.</p> <p>El instructor expone conceptos físicos avanzados de estadísticas de portadores e impurezas y mecanismos de transporte y densidad de estados. El alumno toma nota y pregunta dudas.</p> <p>El alumno realiza una investigación para establecer un modelo para la distribución de carga en una interfaz semiconductor-semiconductor en función de las condiciones de la interfaz.</p> |
| II. Ecuaciones fundamentales para                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ecuación de continuidad.</li><li>• Ecuación de Poisson.</li></ul>  | El instructor explica lo que representan las ecuaciones de Poisson, continuidad y transporte para encontrar las  |

|                                       |  |  |
|---------------------------------------|--|--|
| <p>semiconductores<br/>(3 horas).</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ecuación de transporte.</li> </ul>  | <p>propiedades electrónicas de un dispositivo electrónico.</p> <p>El alumno aplica la ecuación de Poisson para determinar la distribución de potencial electrostático en una homounión y una unión metal-semiconductor.</p>  |
| <p>III. Uniones P-N<br/>(6 horas)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Barreras de potencial</li> <li>• Quasi-neutralidad</li> <li>• Equilibrio térmico</li> <li>• Polarización Inversa</li> <li>• Polarización directa</li> <li>• Efecto Avalancha</li> <li>• Tuneleo</li> <li>• Rompimiento</li> </ul> | <p>El instructor explica los conceptos de distribución de impurezas, barrera de potencial y aproximaciones relacionadas tales como agotamiento cuasi-neutralidad.</p> <p>El instructor explica el concepto de la longitud de Debye.</p> <p>El instructor explica el concepto de unión abrupta y linealmente graduada.</p> <p>El alumno calculará el perfil de dopado de unión P-N asimétrica en función de las características Capacitancia – Voltaje.</p> <p>El instructor explica el concepto de voltaje de rompimiento en relación con los fenómenos de avalancha y voltaje Zener.</p> <p>El instructor explica los conceptos y las diferencias entre donadores, aceptores, trampas (defectos), centros de recombinación, función de probabilidad de Fermi y densidad de estados.</p> <p>El alumno aplicará el modelo de Shockley-Hall-Read para determinar las razones de recombinación de los portadores en un semiconductor.</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>IV. Corriente en uniones P-N (6 horas).</p>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo Shockley-Hall-Read</li> <li>• Características C-V</li> <li>• Capacitancia de unión y difusión.</li> <li>• Almacenamiento de carga y análisis transitorio.</li> <li>• Solución numéricas de las Ecuaciones Diferenciales Parciales de una unión P-N</li> </ul>                      | <p>El instructor explicará los conceptos de recombinación Auger y recombinación superficial.</p> <p>El alumno determinará el tiempo de vida de los portadores con los diferentes mecanismos de recombinación definidos anteriormente.</p> <p>El alumno realizará la simulación numérica de una unión P-N con las herramientas de Silvaco para estimar y discutir la importancia de las corrientes en la zona de agotamiento de la unión.</p>                                 |
| <p>V. Transistores Bipolares de unión BJT(6 horas).</p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades básicas del dispositivo.</li> <li>• Análisis de las uniones P-N en el transistor.</li> <li>• Operación del transistor.</li> <li>• Regiones de operación (corte, saturación, lineal e inversa)</li> <li>• Número de Gummel.</li> <li>• Amplificación y conmutación.</li> </ul> | <p>El instructor explicará a detalle el principio de operación del BJT y las diferencias entre un prototipo un transistor real.</p> <p>El alumno calculará el número de Gummel de un BJT.</p> <p>El instructor explicará el efecto Early y sus efectos en el desempeño del BJT.</p>  |
| <p>VI. Transistores Bipolares, limitaciones y modelos (6 horas).</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto Early</li> <li>• Polarización baja y alta del emisor.</li> <li>• Resistencia de la base.</li> <li>• Modelo de control de carga – tiempo transitorio.</li> </ul>  | <p>El instructor explicará los efectos de polarizaciones pequeñas y altas del emisor en el desempeño del BJT.</p> <p>El alumno realizará un ensayo sobre el efecto Kirk en los BJT.</p> <p>El alumno estimará los efectos de la resistencia de la base en el desempeño del BJT.</p> <p>El instructor explicará el tiempo de transito en la base de un BJT en función del dopado de la base.</p> <p>El alumno utilizará el modelo de control de carga para determinar las</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | características de conmutación de un BJT.  |
| VII. Sistema MOS (6 horas)                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de energías</li> <li>• Región de acumulación</li> <li>• Región de agotamiento</li> <li>• Región de inversión</li> <li>• Análisis de capacitancia y curvas C-V</li> <li>• Voltaje de umbral o encendido.</li> <li>• Cargas en la interface óxido – semiconductor.</li> </ul>                      | <p>El instructor explicará el concepto de agotamiento y su influencia en las curvas Capacitancia – Voltaje de una estructura MOS.</p> <p>El alumno determinará y analizará las diferentes regiones de operación de las curvas C-V de un MOS.</p> <p>El instructor explicará los diferentes componentes de las cargas en el óxido y su influencia en el voltaje de banda plana, y el voltaje de encendido.</p>  |
| VIII. MOSFET teoría básica y modelos (9 horas) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros del MOSFET</li> <li>• Efecto de cuerpo.</li> <li>• Transconductancia.</li> <li>• Velocidad de respuesta.</li> <li>• Modulación de la longitud del canal.</li> <li>• Diseño de MOSFETs</li> <li>• Control del voltaje de encendido.</li> <li>• Tecnología CMOS.</li> <li>• Evolución</li> </ul> | <p>El instructor explicará la diferencia entre el modelo de gran señal (control de carga) y el modelo de zona de agotamiento variable del MOSFET.</p> <p>El alumno estimará teóricamente el tiempo transitorio de un MOSFET antes de llegar al punto de saturación.</p> <p>El instructor explicará diferentes definiciones y técnicas de extracción del voltaje de umbral.</p> <p>El alumno extraerá el voltaje de umbral de un MOSFET utilizando datos experimentales.</p> <p>El instructor explicará las reglas de diseño del voltaje de encendido de un MOSFET.</p> |
| IX. MOSFET limitaciones (3 horas).             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente de sub-umbral</li> <li>• Velocidad de saturación</li> <li>• Movilidad en la superficie</li> <li>• Efectos de canal corto y angosto.</li> <li>• Portadores calientes en el MOSFET.</li> <li>• Escalamiento del MOSFET</li> <li>• Simulación numérica de las</li> </ul>                           | <p>El instructor explicará la importancia de las características de sub-umbral del MOSFET y la relación con la densidad de trampas o defectos.</p> <p>El alumno estimará la magnitud de la corriente de sub-umbral en un MOSFET a través de la simulación numérica de</p>  |

|  |                                    |  |
|--|------------------------------------|--|
|  | <p>características del MOSFET.</p> | <p>un MOSFET.</p> <p>El instructor explicará el concepto de modulación de velocidad del canal y movilidad en un MOSFET</p> <p>El alumno discutirá los efectos de portadores calientes en MOSFETs de canal largo y corto en el desempeño de los dispositivos.</p> <p>El instructor explicará las reglas de escalamiento en dispositivos de canal corto.</p> |
|--|------------------------------------|--|

### VIII. Metodología y estrategias didácticas

#### Metodología Institucional:

- a) Elaboración de ensayos e investigaciones consultando fuentes bibliográficas.
- b) Elaboración de reportes de laboratorio.
- c) Elaboración de reportes de los procesos de simulación numérica.
- d) Uso y manejo del software matemático, herramientas de simulación de dispositivos semiconductores.

Estrategias del Modelo UACJ Visión 2020 recomendadas para el curso:

### IX. Criterios de evaluación y acreditación

#### a) Institucionales de acreditación:

Acreditación mínima de 80% de clases programadas

Entrega oportuna de trabajos

Calificación ordinaria mínima de 7.0

Permite examen único: no

#### b) Evaluación del curso

Acreditación de los temas mediante los siguientes porcentajes:

|                 |       |
|-----------------|-------|
| Tareas/Reportes | 25%   |
| Exámenes        | 50%   |
| Proyecto Final  | 25%   |
| Total           | 100 % |

#### **X. Bibliografía**

1. Solid State Electronic Devices  
Ben G. Streetman and Sanjay Banerjee,  
Séptima Edición  
Prentice Hall, 2000/2006
2. Semiconductor Device Fundamentals  
Pierret, Robert F.  
Addison-Wesley  
1996
3. Semiconductor Physics And Devices: Basic Principles  
Donald A. Neamen  
ISBN-13: 978-0073529585  
2011
4. Libro en línea  
<http://ecee.colorado.edu/~bart/book/contents.htm>  
Prof. Bart Van Zeghbroeck  
University of Colorado.

#### **X. Perfil deseable del docente**

#### **XI. Institucionalización**

Responsable del Departamento:



Jesús Armando Gándara Fernández

Coordinador/a del Programa:

M.C. Alejandra Mendoza Carreón

Fecha de elaboración:

10 / 12 / 2014

Elaboró:

Dr. Abimael Jiménez Pérez

Fecha de rediseño:

Rediseñó: