



Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias
Departamento: Ingeniería
Area: Electrónica

(Programa del año 2024)
(Programa en trámite de aprobación)
(Presentado el 12/08/2024 09:09:26)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
Física de los Semiconductores	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	OCD N° 23/22	2024	2° cuatrimestre

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
BOSSA, JOSE LUIS	Prof. Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
ASENSIO, EDUARDO MAXIMILIANO	Prof. Colaborador	P.Adj Exc	40 Hs
SOMALO, JESUS EDUARDO	Responsable de Práctico	JTP Simp	10 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
1 Hs	1 Hs	1 Hs	2 Hs	5 Hs

Tipificación	Periodo
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio	2° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
05/08/2024	15/11/2024	15	75

IV - Fundamentación

En el mundo actual, los dispositivos semiconductores desempeñan un papel esencial en una amplia gama de aplicaciones de la vida cotidiana. Al comprender los principios fundamentales de funcionamiento y operación de los semiconductores modernos, se adquieren las bases necesarias para desarrollar herramientas analíticas cruciales en el diseño de dispositivos tanto discretos como integrados. Estas tecnologías, a su vez, impulsan la creación y optimización de circuitos electrónicos innovadores.

Esta asignatura se basa en los fundamentos de la física electrónica y la física del estado sólido, centrándose en el diseño y funcionamiento de dispositivos electrónicos semiconductores de última generación. El enfoque se inicia cuestionando los modelos atómicos de la mecánica clásica y, consecuentemente, se introduce la necesidad de emplear las herramientas provistas por la mecánica cuántica. Luego, la perspectiva se orienta hacia la ingeniería, donde se lleva a cabo un análisis teórico exhaustivo de las estructuras de diversos dispositivos, derivando relaciones analíticas de sus curvas características.

De manera simultánea, se brinda un enfoque práctico y tangible mediante actividades de laboratorio, donde los estudiantes realizan experimentos para aplicar y consolidar los conceptos teóricos vistos.

Esta asignatura aporta una base sólida para la formación integral del estudiante al impartir conocimientos tanto teóricos como prácticos, que abarcan las disciplinas de la Física y la Ingeniería Electrónica. Al finalizar el curso, cada estudiante estará capacitado para describir el funcionamiento de los dispositivos semiconductores más utilizados y sus tecnologías de fabricación.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

- 1) Interpretar las leyes de la física moderna utilizadas para describir el funcionamiento de los semiconductores aplicando herramientas analíticas y software de cálculo.
- 2) Relacionar las propiedades de materiales aislantes, conductores y semiconductores utilizados en la fabricación de dispositivos actuales para comprender sus estructuras y funcionamiento, aplicando leyes de la física cuántica de sólidos cristalinos y diagramas de banda de energía.
- 3) Comprender el funcionamiento de dispositivos semiconductores actuales para su aplicación en circuitos electrónicos básicos a partir del análisis de sus estructuras físicas y curvas características con herramientas de simulación y el uso de instrumentos de laboratorio.
- 4) Describir los procesos y tecnologías aplicadas en el diseño y fabricación de dispositivos semiconductores y circuitos integrados considerando las estructuras físicas y sus limitaciones.

VI - Contenidos

1. UNIDAD 1 : CONCEPTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA Y FÍSICA MODERNA

- 1.1. Introducción. Estructura cristalina de los sólidos y celda unitaria.
- 1.2. Fallas de la mecánica clásica a nivel atómico.
- 1.3. Cuerpo negro, radiación de cavidad.
- 1.4. Ley de Stefan - Boltzmann.
- 1.5. Átomo de Bohr, postulados, niveles energéticos.
- 1.6. Hipótesis de Planck.
- 1.7. Modelo cuantizado del átomo de Bohr.
- 1.8. Principio de incertidumbre de Heinsenberg.
- 1.9. Ecuación de Schrodinger, interpretación física de la función de onda. Aplicación al átomo de hidrógeno.
- 1.10. Números cuánticos. Principio de exclusión de Pauli.
- 1.11. Barrera de potencial, pozo de potencial infinito y finito. Efecto túnel.
- 1.12. Efecto fotoeléctrico.

2. UNIDAD 2 : FÍSICA DE LOS SEMICONDUCTORES

- 2.1. Materiales desde el punto de vista eléctrico, conductores y aisladores.
- 2.2. Materiales semiconductores; modelo de enlace del silicio.
- 2.3. Características del Silicio, Germanio y Arseniuro de Galio.
- 2.4. Bandas de Energía. Formación. Electrones y huecos. Masa efectiva.
- 2.5. Semiconductores intrínsecos.
- 2.6. Densidad de estados. Aproximación de Boltzman. Densidades de huecos y electrones.
- 2.7. Distribución fermi-dirac. Nivel de fermi en un semiconductor intrínseco.
- 2.8. Semiconductores extrínsecos (SE). Contaminación (dopado). Semiconductor tipo N y tipo P.
- 2.9. Densidad de portadores en un semiconductor extrínseco. Concentración de portadores, Efectos de la temperatura. Neutralidad de cargas. Nivel de Fermi en un SE.

3. UNIDAD 3: TRANSPORTE DE PORTADORES EN LOS SEMICONDUCTORES

- 3.1. Movimiento térmico de los portadores.
- 3.2. Proceso de conducción por arrastre de portadores, movilidad, conductividad.
- 3.3. Resistividad.
- 3.4. Difusión. Proceso de conducción por difusión de portadores.

- 3.5. Generación y recombinación de portadores.
- 3.6. Ecuación de continuidad.
- 3.7. Efecto Hall.
- 3.8. Ionización de portadores, energía de ionización.
- 3.9. Relaciones entre el potencial y las concentraciones.

4. UNIDAD 4 : JUNTURA PN

- 4.1. Introducción a la juntura pn. Simbología.
- 4.2. Región de carga espacial. Potencial de barrera y bandas de energía. Corrientes en la juntura.
- 4.3. Electroestática de la juntura pn en equilibrio térmico. Aproximación de vaciamiento.
- 4.4. Potenciales de contacto. Distribución de cargas.
- 4.5. Potencial, campo eléctrico y ancho de la zona de carga espacial.
- 4.6. Aplicación de tensiones a la juntura pn: variación del potencial, campo eléctrico y anchos de zona de carga espacial.
- 4.7. Cálculo de la corriente en la unión pn polarizada. Corriente de saturación.
- 4.8. Curva característica V-I del diodo.
- 4.9. Características del diodo real. Capacidad asociada a la unión pn. Transitorios de almacenamiento de cargas.
- 4.10. Respuesta en frecuencia.
- 4.11. Modelo del diodo: circuito equivalente en pequeña señal.
- 4.12. Aplicaciones de los diodos semiconductores.
- 4.13. Diodos especiales: varicap, zener.

5. UNIDAD 5: TRANSISTORES BIPOLARES DE JUNTURA

- 5.1. Introducción a los transistores bipolares de juntura. Simbología.
- 5.2. Estructura y descripción de su funcionamiento.
- 5.3. Terminología y características en sus modos de operación.
- 5.4. Determinación de las corrientes y sus relaciones.
- 5.5. Curvas características de salida. Derivaciones analíticas.
- 5.6. Modelo de Ebers y Moll.
- 5.7. Limitaciones del transistor bipolar. Efectos en las características estáticas.
- 5.8. El transistor bipolar como llave electrónica.
- 5.9. Circuito equivalente en pequeña señal. Figura de mérito.

6. UNIDAD 6 : TRANSISTORES DE JUNTURA - EFECTO DE CAMPO (JFET)

- 6.1. Introducción a los transistores de efecto de campo. Simbología.
- 6.2. Construcción y modos de operación.
- 6.3. Ecuación característica de corriente-voltaje. Derivaciones analíticas.
- 6.4. Conductancia del canal y transconductancia del JFET.
- 6.5. Efectos secundarios: Modulación de longitud de canal, ruptura, variación en la movilidad, efectos de la temperatura.
- 6.6. Circuito equivalente de pequeña señal.
- 6.7. Figura de mérito del JFET.
- 6.8. Limitaciones de alta frecuencia.

7. UNIDAD 7: ESTRUCTURA MOS y TRANSISTORES EFECTO DE CAMPO MOS (MOSFET)

- 7.1. Introducción a la estructura MOS.
- 7.2. Diagramas de bandas de energía.
- 7.3. Efectos del voltaje de polarización.
- 7.4. Relaciones analíticas para las densidades de carga.
- 7.5. Ancho de la región de agotamiento y densidad de carga
- 7.6. Tensión umbral.
- 7.7. Mediciones de capacitancia-voltaje. Acumulación. Agotamiento. Inversión.
- 7.8. Condensador MOS.
- 7.9. Efectos de las funciones trabajo y las cargas de óxidos.
- 7.10. Introducción a los transistores MOSFET. Estructura, simbología.
- 7.11. Descripción del funcionamiento, regiones operativas.
- 7.12. Características V-I. Derivaciones analíticas.

- 7.13. Transconductancia.
- 7.14. Circuitos equivalentes de pequeña señal. Circuito de baja frecuencia. Circuito de alta frecuencia.
- 7.15. Rendimiento en alta frecuencia.
- 7.16. Comparación del MOSFET y el BJT.
- 7.17. El interruptor MOSFET y el inversor CMOS.

8. UNIDAD 8: TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

- 8.1. Introducción a las tecnologías de fabricación. Circuitos integrados monolíticos.
- 8.2. Comparación entre silicio, germanio y arseniuro de galio.
- 8.3. El proceso de crecimiento de Czochralski.
- 8.4. Dopantes. Corte de lingotes y preparación de obleas.
- 8.5. Procesos de fabricación. Oxidación Térmica. Técnicas de grabado. Difusión.
- 8.6. Expresiones para la difusión de la concentración de dopante.
- 8.7. Implantación de iones.
- 8.8. Fotomáscaras. Fotolitografía.
- 8.9. Crecimiento epitaxial.
- 8.10. Metalización e interconexiones. Contactos óhmicos. Encapsulados.
- 8.11. Ejemplos de fabricación de dispositivos.
- 8.12. Fabricación de resistencias y condensadores en circuitos integrados.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

PRÁCTICO TEÓRICO N° 1: “Niveles de Energía y Mecánica Cuántica.”

Niveles de energía del electrón. Principio de incertidumbre. Números Cuánticos.

PRÁCTICO TEÓRICO N° 2: “Semiconductores intrínsecos y extrínsecos.”

Dopado. Densidad de estados.

PRÁCTICO TEÓRICO N° 3: “Procesos de conducción.”

Corrientes de portadores. Movilidad. Conductividad. Resistividad. Recombinación.

PRÁCTICO TEÓRICO N° 4: “Unión PN.”

Electroestática de la juntura con y sin polarización.

PRÁCTICO TEÓRICO N° 5: “Transistor bipolar.”

Diagramas de Energía, polarización, regiones de funcionamiento.

PRÁCTICO TEÓRICO N° 6: “Transistores JFET y MOSFET.”

Diagramas de Energía, polarización, regiones de funcionamiento.

PRÁCTICO DE LABORATORIO N° 1 : DIODOS

Obtención de las características V-I del diodo.

Ensayo con multímetro y osciloscopio.

PRÁCTICO DE LABORATORIO N° 2: TRANSISTORES BJT.

Comprobación del transistor con multímetro.

Ganancia de corriente del transistor.

El transistor como llave.

Seguidor de emisor (configuración colector común).

Seguidor de emisor con fuente de alimentación única.

Amplificador con emisor común.

PRÁCTICO DE LABORATORIO N° 3: TRANSISTORES JFET Y MOSFET

Determinación de I_{dss} y V_p .

Estudio del comportamiento del FET como resistencia variable con la tensión de compuerta.

VIII - Regimen de Aprobación

A - METODOLOGÍA DE DICTADO DEL CURSO:

Las clases teóricas consisten en taller de aula mediante exposición de presentación en PC. Las mismas fomentan la discusión en clase y sientan las bases para la realización de trabajos prácticos. La clase alternará entre exposición del docente y uso de scripts como complemento para la comprensión de la teoría.

Se realizarán trabajos prácticos en aula orientados a la teoría para complementar lo expuesto en clases.

Además, se realizarán trabajos prácticos de laboratorio para que el alumno se familiarice con dispositivos semiconductores de manera experimental. Se busca fomentar el trabajo en equipo y el uso de instrumentos para la adquisición y análisis de datos.

B - CONDICIONES PARA REGULARIZAR EL CURSO

Para obtener la regularidad, se exige lo siguiente

1. Cumplir con las condiciones de habilitación (equivalencias) para cursar la materia.
2. Haber asistido al 80 % de las clases teóricas y prácticas.
3. Aprobación de los informes de laboratorio. Esta se presentará 15 días luego de terminado cada laboratorio
4. Haber aprobado los 2 (dos) parciales con la resolución de problemas de los temas asignados. Para aprobar los exámenes el alumno debe llegar a una nota de 7/10, siendo que con 6/10 se llega a la instancia de coloquio donde recupera sólo el tema donde tuvo menos rendimiento. Se brindará la posibilidad de (2) dos recuperatorios por examen.

C – RÉGIMEN DE APROBACIÓN CON EXÁMEN FINAL

La materia se aprobará rindiendo un examen final escrito con defensa oral. Se sorteará un tema específico y se le brindará al estudiante una capilla de 15 minutos de repaso. Luego de este tiempo el estudiante deberá desarrollar el tema de manera escrita y posteriormente defenderlo oralmente. Se valorarán: detalle de la explicación, comprensión del tema, ejemplos, respuestas ante casos específicos.

Es requisito haber regularizado la asignatura.

D – RÉGIMEN DE PROMOCIÓN SIN EXAMEN FINAL

El curso no contempla régimen de promoción.

E – RÉGIMEN DE APROBACIÓN PARA ESTUDIANTES LIBRES

El curso no contempla régimen de aprobación para estudiantes libres

IX - Bibliografía Básica

[1] ELECTRONICA DEL ESTADO SOLIDO. Angel D. Tremosa, Marymar.

[2] Tipo: Libro

[3] Formato: impreso

[4] Disponibilidad: Biblioteca VM

[5] APUNTES DE ASIGNATURA – Asensio Maximiliano

[6] Tipo: Manual.

[7] Formato: digital

[8] Disponibilidad: Distribución gratuita

X - Bibliografía Complementaria

[1] SEMICONDUCTOR DEVICES.- Kanaan Kano, Ed. Pearson Prentice Hall.

[2] Tipo: Libro

[3] Disponibilidad: Sin disponibilidad

[4] MICROELECTRONICS DEVICES AND CIRCUITS .-Clifton G. FONSTAD .Ed.Mc Graw Hill

[5] Tipo: Libro

[6] Disponibilidad: Sin disponibilidad

[7] SEMICONDUCTORS PHYSICS AND DEVICES .- Donald A. NEAMEN Ed. Mc Graw Hill

[8] Tipo: Libro

[9] Disponibilidad: Sin disponibilidad

[10] DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES .- Pedro Julian . Ed. Alfaomega

[11] Tipo: Libro

[12] Disponibilidad: Sin disponibilidad

[13] FUNDAMENTOS DE MICROELECTRONICA, NANOELECTRONICA Y FOTONICA .- Abella, Martinez , Agullo-Rueda Ed.Pearson Prentice Hall

[14] Tipo: Libro

[15] Formato: impreso

[16] Disponibilidad: Biblioteca VM

[17] CIRCUITOS MICROELECTRONICOS .- Sedra-Smith . Ed. Oxford

[18] Tipo: Libro

[19] Formato: impreso

[20] Disponibilidad: Biblioteca VM

XI - Resumen de Objetivos

Interpretar las leyes de la física moderna utilizadas para describir el funcionamiento de los semiconductores.

Relacionar las propiedades de materiales aislantes, conductores y semiconductores utilizados en la fabricación de dispositivos actuales para comprender sus estructuras y funcionamiento.

Comprender el funcionamiento de dispositivos semiconductores actuales para su aplicación en circuitos electrónicos básicos mediante el análisis cualitativo de las curvas características.

Describir los procesos y tecnologías aplicadas en el diseño y fabricación de dispositivos semiconductores y circuitos integrados

XII - Resumen del Programa

UNIDAD 1 : CONCEPTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA Y FÍSICA MODERNA

UNIDAD 2 : FÍSICA DE LOS SEMICONDUCTORES

UNIDAD 3: TRANSPORTE DE PORTADORES EN LOS SEMICONDUCTORES

UNIDAD 4 : JUNTURA PN

UNIDAD 5: TRANSISTORES BIPOLARES DE JUNTURA

UNIDAD 6 : TRANSISTORES DE JUNTURA - EFECTO DE CAMPO (JFET)

UNIDAD 7: ESTRUCTURA MOS y TRANSISTORES EFECTO DE CAMPO MOS (MOSFET)

UNIDAD 8: TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

XIII - Imprevistos

En el caso de que por algún motivo de fuerza mayor no se pudiese dictar todo el programa, se dará alguna clase recuperatoria con los temas principales faltantes.

En caso que las actividades sean virtuales o no presenciales, se dictarán las clases con apoyo de la plataforma de Google, tanto en reuniones mediante Google Meet como en aula virtuales en Google Classroom.

Los trabajos prácticos de laboratorio se realizarán mediante software de simulación en una primera instancia, y luego se coordinará con el alumno para que los realice presencialmente antes de rendir el examen final.

XIV - Otros

Aprendizajes Previos:

Resolver ecuaciones diferenciales que describan fenómenos físicos.

Manejar herramientas de computación para el cálculo y gráfica de variables físicas.

Aplicar leyes físicas básicas que describan características eléctricas de los materiales.

Detalles de horas de la Intensidad de la formación práctica.

Cantidad de horas de Teoría:30

Cantidad de horas de Práctico Aula: (Resolución de prácticos en carpeta) 20hs

Cantidad de horas de Práctico de Aula con software específico: (Resolución de prácticos en PC con software específico)

propio de la disciplina de la asignatura) 10hs

Cantidad de horas de Formación Experimental: (Laboratorios, Salidas a campo, etc.) 15hs

Cantidad de horas de Resolución Problemas Ingeniería con utilización de software específico: (Resolución de Problemas de ingeniería con utilización de software específico propio de la disciplina de la asignatura)

Cantidad de horas de Resolución Problemas Ingeniería sin utilización de software específico: (Resolución de Problemas de ingeniería SIN utilización de software específico)

Cantidad de horas de Diseño o Proyecto de Ingeniería con utilización de software específico: (Horas dedicadas a diseño o proyecto con utilización de software específico propio de la disciplina de la asignatura)

Cantidad de horas de Diseño o Proyecto de Ingeniería sin utilización de software específico: (Horas dedicadas a diseño o proyecto SIN utilización de software específico)

Aportes del curso al perfil de egreso:

Especificar las competencias definidas por el plan de estudio, a las cuales aporta el curso, de la siguiente manera:

[competencia]+[(Nivel de dominio – (si corresponde))]. Solo se deberán especificar aquellas a las que se realiza algún aporte y en los casos que corresponda con qué nivel de dominio.

1.1 Identificar, formular y resolver problemas. (Nivel 3)

1.5. Certificar el funcionamiento, condición de uso o estado. (Nivel 2)

1.6. Proyectar y dirigir lo referido a la higiene, seguridad, impacto ambiental y eficiencia energética. (Nivel 2)

2.1 Utilizar y adoptar de manera efectiva las técnicas, instrumentos y herramientas de aplicación.

3.1. Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo multidisciplinares. (Nivel 1)

3.2. Comunicarse con efectividad en forma escrita, oral y gráfica.

3.3. Manejar el idioma inglés con suficiencia para la comunicación técnica. (Nivel 3)

ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA

Profesor Responsable

Firma:

Aclaración:

Fecha: