



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

(Programa del año 2022)

I - Oferta Académica

| Materia | Carrera | Plan | Año | Período |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|------|-----------------|
| Física Electrónica y Dispositivos | INGENIERÍA ELECTRÓNICA | Ord 19/12 -11/2 2 | 2022 | 1° cuatrimestre |
| Semiconductores | | | | |

II - Equipo Docente

| Docente | Función | Cargo | Dedicación |
|------------------------------|-------------------------|-----------|------------|
| ASENSIO, EDUARDO MAXIMILIANO | Prof. Responsable | P.Adj Exc | 40 Hs |
| TRIMBOLI, ROBERTO DANIEL | Responsable de Práctico | JTP Semi | 20 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 | 1° Cuatrimestre |

| Duración | | | |
|------------|------------|---------------------|-------------------|
| Desde | Hasta | Cantidad de Semanas | Cantidad de Horas |
| 14/03/2022 | 24/06/2022 | 15 | 75 |

IV - Fundamentación

Los dispositivos semiconductores cumplen un rol principal en la mayoría de las aplicaciones actuales como sistemas de comunicación, conversión de energía, procesos industriales, en dispositivos hogareños, salud, etc. Por este motivo, es necesario comprender los principios de funcionamiento y operación de los semiconductores actuales, con el objetivo de obtener las herramientas analíticas utilizadas para el diseño de dispositivos discretos e integrados y la posterior aplicación de estas tecnologías en circuitos electrónicos.

La asignatura se basa en los fundamentos de la física electrónica (o física del estado sólido) orientada al diseño y descripción del funcionamiento de dispositivos electrónicos semiconductores modernos. El enfoque parte desde el cuestionamiento del modelo atómico de la mecánica clásica y presenta la necesidad del uso de herramientas brindadas por la mecánica cuántica. Luego, con una mirada orientada a la ingeniería se realiza un análisis teórico de las estructuras de los diferentes dispositivos, obteniendo relaciones analíticas de las que se desprenden sus curvas características. Paralelamente, en prácticas de laboratorio se realizan ensayos experimentales para integrar los conceptos brindados en aplicaciones basadas en circuitos electrónicos simples.

De esta manera, se aportan contenidos fundamentales para la formación del estudiante, tanto teóricos como experimentales, aplicando conceptos y metodologías de análisis propios de la Física y de la Ingeniería electrónica.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

Al finalizar la materia cada estudiante será capaz de:

- Comprender los fundamentos de la física electrónica moderna utilizados para la descripción del funcionamiento de los semiconductores.
- Diferenciar los tipos de materiales aislantes, conductores y semiconductores (intrínseco y extrínseco) en la fabricación de dispositivos semiconductores mediante herramientas analíticas.
- Describir el funcionamiento de los diferentes dispositivos semiconductores a partir de sus curvas características para su aplicación en circuitos básicos.
- Relacionar los conceptos teóricos y prácticos de los dispositivos semiconductores para detectar posibles desperfectos de forma práctica.
- Adquirir destrezas en el uso de herramientas informáticas para la realización de modelado, cálculos y análisis de dispositivos semiconductores elementales.
- Adquirir destrezas en el uso de instrumentos de laboratorio para la medición y el análisis de dispositivos semiconductores elementales en circuitos electrónicos básicos.
- Conocer las tecnologías de fabricación de dispositivos semiconductores que se utilizan en el desarrollo de semiconductores discretos y de circuitos integrados monolíticos.

VI - Contenidos

UNIDAD 1: CONCEPTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA Y FÍSICA MODERNA

Introducción. Estructura cristalina de los sólidos y celda unitaria.

Fallas de la mecánica clásica a nivel atómico.

Cuerpo negro, radiación de cavidad.

Ley de Stefan - Boltzmann.

Átomo de Bohr, postulados, niveles energéticos.

Hipótesis de Planck.

Modelo cuantizado del átomo de Bohr.

Principio de incertidumbre de Heisenberg.

Ecuación de Schrodinger, interpretación física de la función de onda. Aplicación al átomo de hidrógeno.

Números cuánticos. Principio de exclusión de Pauli.

Barrera de potencial, pozo de potencial infinito y finito. Efecto túnel. Efecto fotoeléctrico.

UNIDAD 2: FÍSICA DE LOS SEMICONDUCTORES

Materiales desde el punto de vista eléctrico, conductores y aisladores.

Materiales semiconductores; modelo de enlace del silicio.

Características del Silicio, Germanio y Arseniuro de Galio.

Bandas de Energía. Formación. Electrones y huecos. Masa efectiva.

Semiconductores intrínsecos.

Densidad de estados. Aproximación de Boltzman. Densidades de huecos y electrones.

Distribución fermi-dirac. Nivel de fermi en un semiconductor intrínseco.

Semiconductores extrínsecos (SE). Contaminación (dopado). Semiconductor tipo N y tipo P.

Densidad de portadores en un semiconductor extrínseco. Concentración de portadores, Efectos de la temperatura. Neutralidad de cargas. Nivel de Fermi en un SE.

UNIDAD 3: TRANSPORTE DE PORTADORES EN LOS SEMICONDUCTORES

Movimiento térmico de los portadores.

Proceso de conducción por arrastre de portadores, movilidad, conductividad.

Resistividad.

Difusión. Proceso de conducción por difusión de portadores.
Generación y recombinación de portadores.
Ecuación de continuidad.
Efecto Hall.
Ionización de portadores, energía de ionización.
Relaciones entre el potencial y las concentraciones.

UNIDAD 4: JUNTURA PN

Introducción a la juntura pn. Simbología.
Región de carga espacial. Potencial de barrera y bandas de energía. Corrientes en la juntura.
Electroestática de la juntura pn en equilibrio térmico. Aproximación de vaciamiento.
Potenciales de contacto. Distribución de cargas.
Potencial, campo eléctrico y ancho de la zona de carga espacial.
Aplicación de tensiones a la juntura pn: variación del potencial, campo eléctrico y anchos de zona de carga espacial.
Cálculo de la corriente en la unión pn polarizada. Corriente de saturación.
Curva característica V-I del diodo.
Características del diodo real. Capacidad asociada a la unión pn. Transitorios de almacenamiento de cargas.

UNIDAD 1: CONCEPTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA Y FÍSICA MODERNA

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

UNIDAD 2: FÍSICA DE LOS SEMICONDUCTORES

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

UNIDAD 3: TRANSPORTE DE PORTADORES EN LOS SEMICONDUCTORES

Movimiento térmico de los portadores.
Proceso de conducción por arrastre de portadores, movilidad, conductividad.
Resistividad.
Difusión. Proceso de conducción por difusión de portadores.
Generación y recombinación de portadores.
Ecuación de continuidad.
Efecto Hall.
Ionización de portadores, energía de ionización.
Relaciones entre el potencial y las concentraciones.

UNIDAD 4: JUNTURA PN

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

UNIDAD 5: TRANSISTORES BIPOLARES DE JUNTURA

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

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

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

UNIDAD 7: ESTRUCTURA MOS

Introducción a la estructura MOS.
Diagramas de bandas de energía.
Efectos del voltaje de polarización.
Relaciones analíticas para las densidades de carga.
Ancho de la región de agotamiento y densidad de carga.
Tensión umbral.
Mediciones de capacitancia-voltaje. Acumulación. Agotamiento. Inversión.
Condensador MOS.
Efectos de las funciones trabajo y las cargas de óxidos.

UNIDAD 8: TRANSISTORES EFECTO DE CAMPO MOS (MOSFET)

Introducción a los transistores MOSFET. Estructura, simbología.
Descripción del funcionamiento, regiones operativas.
Características V-I. Derivaciones analíticas.
Transconductancia.
Circuitos equivalentes de pequeña señal. Circuito de baja frecuencia. Circuito de alta frecuencia.
Rendimiento en alta frecuencia.
Comparación del MOSFET y el BJT.
El interruptor MOSFET y el inversor CMOS.

UNIDAD 9: TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

Introducción a las tecnologías de fabricación. Circuitos integrados monolíticos.

Comparación entre silicio, germanio y arseniuro de galio.

El proceso de crecimiento de Czochralski.

Dopantes. Corte de lingotes y preparación de obleas.

Procesos de fabricación. Oxidación Térmica. Técnicas de grabado. Difusión.

Expresiones para la difusión de la concentración de dopante.

Implantación de iones.

Fotomáscaras. Fotolitografía.

Crecimiento epitaxial.

Metalización e interconexiones. Contactos óhmicos. Encapsulados.

Ejemplos de fabricación de dispositivos.

Fabricación de resistencias y condensadores en circuitos integrados.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

A lo largo de la materia se realizarán los siguientes trabajos prácticos:

A - TRABAJOS PRÁCTICOS DE AULA.

Consisten en un listado de ejercicios teóricos que deberán resolverse en clase. El alumno aplicará las herramientas matemáticas adquiridas para las siguientes temáticas:

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

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

Práctico N° 2: “Física de los Semiconductores”.

Semiconductores intrínsecos y extrínsecos. Dopado. Densidad de estados.

Práctico N° 3: “Procesos de conducción.”

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

Práctico N° 4: “Unión PN.”

Electroestática de la juntura con y sin polarización.

Práctico N° 5: “Transistor bipolar.”

Diagramas de Energía, polarización, regiones de funcionamiento.

Práctico N° 6: “Transistores JFET y MOSFET.”

Diagramas de Energía, polarización, regiones de funcionamiento.

Práctico N° 7: “Tecnología de Fabricación de Semiconductores.”

Circuitos integrados monolíticos. Procesos de Fabricación.

B - TRABAJOS PRÁCTICOS DE LABORATORIO.

Consistirán en actividades de manera grupal en laboratorio de electrónica, utilizando instrumentos específicos de medición y herramientas de software para la simulación. En todos los casos se contará con la asistencia de los docentes.

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.

Todos los trabajos prácticos deberán ser resueltos y entregados de forma digital antes de la fecha propuesta por los docentes y en la plataforma asignada.

VIII - Regimen de Aprobación

A - METODOLOGÍA DE DICTADO DEL CURSO:

Las clases teóricas consisten por un lado 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. Luego se realizarán trabajos prácticos en aula orientados a resolver ejercicios teóricos para complementar lo expuesto.

Además, se realizarán trabajos prácticos de laboratorio para que el alumno se familiarice con dispositivos semiconductores de manera experimental y con el uso de herramientas de software para simulación. 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 alcanzar la regularidad se deberá:

- 1.- Cumplir con las condiciones de habilitación (equivalencias) para cursar la materia.
- 2.- Haber asistido al 80 % de las clases teóricas y prácticas.
- 3.- Aprobar la totalidad de los trabajos prácticos.
- 4.- Haber aprobado los 2 (dos) exámenes parciales resolviendo correctamente el 70% de los ejercicios planteados.

C – RÉGIMEN DE APROBACIÓN CON EXÁMEN FINAL

Para aprobar la materia se deberá rendir un examen final donde el tribunal entregará un listado de preguntas sobre dos temas que el/la alumno/a deberá desarrollar en hoja o pizarrón y luego deberá defender de forma oral.

D – RÉGIMEN DE PROMOCIÓN SIN EXAMEN FINAL

El curso no contempla régimen de promoción.

E – RÉGIMEN DE APROBACIÓN PARA ESTUDIANTES LIBRES

Los alumnos libres deberán entregar los trabajos prácticos en su totalidad y luego podrán rendir la materia mediante un examen similar al de alumnos regulares.

IX - Bibliografía Básica

[1] ELECTRONICA DEL ESTADO SOLIDO.- Angel D. Tremosa . Ed. Marymar (Disponible en biblioteca, formato impreso)

[2] APUNTES DE ASIGNATURA.- Asensio Maximiliano (En formato digital)

X - Bibliografía Complementaria

[1] MICROELECTRONICS DEVICES AND CIRCUITS .-Clifton G. FONSTAD .Ed.Mc Graw Hill (Formato Digital).

- [2] SEMICONDUCTOR DEVICES AND APPLICATIONS.- Greiner, R.A. (Formato físico).
[3] DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES; Jasprit Singh; Ed. Mc Graw Hill (Formato físico).

XI - Resumen de Objetivos

- Comprender los fundamentos de la física electrónica moderna.
- Diferenciar los tipos de materiales aislantes, conductores y semiconductores (intrínseco y extrínseco).
- Describir el funcionamiento de los diferentes dispositivos semiconductores.
- Relacionar los conceptos teóricos y prácticos de los dispositivos semiconductores.
- Adquirir destrezas en el uso de herramientas informáticas.
- Adquirir destrezas en el uso de instrumentos de laboratorio.
- Conocer las tecnologías de fabricación de los dispositivos semiconductores.

XII - Resumen del Programa

MECÁNICA CUÁNTICA Y FÍSICA MODERNA

Modelo atómico de Bohr, Barreras y pozos de potencial, números cuánticos, estadística de Fermi Dirac , Niveles de Energía, Nivel de Fermi.

FÍSICA DE LOS SEMICONDUCTORES

Generación de portadores de carga, Ionización de contaminantes, Semiconductores intrínsecos y extrínsecos, Bandas de energía.

TRANSPORTE DE PORTADORES

Concentración de portadores disponibles, Inyección y exceso de portadores, Conducción de corriente por arrastre, difusión, Efecto Hall.

JUNTURA PN

Distribución y densidad de portadores, Potenciales , Campo eléctrico, Regiones características , Capacidades de junturas , Corrientes, Curvas características , Diodos especiales.

TRANSISTORES BIPOLARES DE JUNTURA

Estructuras, Funcionamiento, Zonas de operación, Curvas características V-I , Determinación de las corrientes y sus relaciones .

ESTRUCTURAS MOS

Introducción a la estructura MOS. Diagramas de bandas de energía. Voltaje de polarización. Relaciones analíticas. Acumulación. Agotamiento. Inversión. Condensador MOS.

TRANSISTORES JFET

Regiones de operación con tensiones aplicadas, Condiciones y zonas de funcionamiento , Curvas características V-I, Funcionamiento y operación de los JFET

TRANSISTORES MOSFET

Regiones de operación con tensiones aplicadas, Condiciones y zonas de funcionamiento , Curvas características V-I , Transconductancia , Funcionamiento y operación de los MOSFET

TECNOLOGIA DE FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

XIII - Imprevistos

En caso de que la materia no se pueda dictar de manera presencial por razones de fuerza mayor o imprevistos, se contempla la el dictado de clases de forma virtual. Los trabajos prácticos de laboratorio se realizarán mediante software de simulación en una primera instancia, y luego se coordinará con cada estudiante para que los realice presencialmente antes de rendir el examen final.

XIV - Otros