



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

(Programa del año 2023)
(Programa en trámite de aprobación)
(Presentado el 19/04/2024 14:46:59)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
Física Electrónica y Dispositivos	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	Ord 19/12 -11/2 2	2023	1° cuatrimestre
Semiconductores				

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
ASENSIO, EDUARDO MAXIMILIANO	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
ESTEBAN, FRANCISCO 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
13/03/2023	23/06/2023	15	75

IV - Fundamentación

Los dispositivos semiconductores se encuentran en la mayoría de las aplicaciones actuales: sistemas de comunicación, conversión de energía, procesos industriales, en dispositivos hogareños, salud, etc. Por lo tanto, es necesario comprender los principios de funcionamiento y operación de los dispositivos semiconductores modernos, a partir del uso de herramientas analíticas 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

Interpretar las leyes de la física moderna utilizadas para describir el funcionamiento de los semiconductores aplicando herramientas analíticas y software de cálculo.

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.

Comprender el funcionamiento de dispositivos semiconductores actuales para su aplicación en circuitos electrónicos básicos mediante el análisis cualitativo de las curvas características, el uso de herramientas de simulación y de instrumentos de laboratorio.

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

UNIDAD 1: CONCEPTOS DE MECÁNICA CUÁNTICA Y FÍSICA MODERNA

Materiales semiconductores más utilizados. Cristales y Celdas Unitarias. Fallas de la mecánica clásica a nivel atómico. Hipótesis de Planck. Modelo clásico del átomo de Bohr. Átomo de Hidrogeno, Átomo de hidrogeno como una antena radiante. Modelo cuántico de Bohr. Mecánica cuántica. Principio de Incertidumbre de Heisenberg. Ecuación de Schrödinger, Aplicación al pozo de potencial, Aplicación a la pared de potencial, Ecuación de Schrödinger aplicada a al átomo de un electrón (hidrogeno), Números Cuánticos, Principio de exclusión de Pauli.

UNIDAD 2: FÍSICA DE LOS SEMICONDUCTORES

Electrones en un sólido. División de los niveles de energía. Bandas de energía. Modelo de enlaces covalentes. Conductores, semiconductores y aislantes. Portadores: electrones y huecos. Energía de huecos y electrones. Masa efectiva. Densidad de estados. Distribución Fermi-Dirac. Densidad de Portadores. Densidad de estados en las bandas de valencia y conducción. Densidad de Portadores en un semiconductor Intrínseco. Ubicación del Nivel de Fermi. Semiconductores Extrínsecos, Semiconductor tipo N, Semiconductor tipo P. Equilibrio Térmico. Densidad de Portadores en Semiconductores Extrínsecos. Neutralidad de Cargas. Nivel de Fermi en Semiconductores Extrínsecos. Semiconductores degenerados
Comparación entre semiconductores.

UNIDAD 3: TRANSPORTE DE PORTADORES EN LOS SEMICONDUCTORES

Movimiento térmico de portadores. Movilidad y velocidad de arrastre. Corriente de arrastre, conductividad y resistividad. Difusión. Corriente de Difusión. Corriente total de portadores. Recombinación y Generación de portadores: en equilibrio térmico, en desequilibrio térmico.

UNIDAD 4: JUNTURA PN

Formación de la región espacial de carga. Barrera de potencial y bandas de energía. Electroestática de la región de carga espacial. Nivel de Fermi en la unión PN. Barrera de potencial en función del nivel de Fermi. Barrera de potencial en función de las concentraciones de impurezas. Campo eléctrico y potencial en la región de carga espacial. Ancho de la región de carga espacial. El diodo polarizado. Polarización directa. Ecuación de continuidad. Polarización inversa. Corriente en la juntura PN. Características de los diodos reales. Capacitancias en el diodo. Capacitancia de transición (unión). Capacidad de almacenamiento. Transitorio del diodo

UNIDAD 5: TRANSISTORES BIPOLARES DE JUNTURA

Introducción e Historia del transistor. Estructura y funcionamiento. Terminología y Regiones de operación. Modos de Operación. Polarización. Determinación de las corrientes y sus relaciones. Corriente de Emisor. Corriente de Colector. Corriente de base. El BJT como amplificador de corriente. Corriente de base como corriente de control. Parámetros del transistor. Curvas Características. Emisor común. Configuración Base Común. Relaciones analíticas para las corrientes. Corriente de emisor
Corriente de colector. Corriente de base. Corrientes para un transistor PNP. Corriente de recombinación en la base.

Expresiones para β y β_{DC} ; en función de las constantes físicas.
Modelo Ebers-Moll. El transistor como llave (conmutación).
Carga almacenada. Análisis del control de carga.

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.
Circuito equivalente de pequeña señal. Limitaciones de alta frecuencia. Efectos debido a no idealidades.

UNIDAD 7: TRANSISTORES MOSFET

Introducción a la estructura MOS. Diagramas de bandas de energía. Efectos del voltaje de polarización. Relaciones analíticas para las densidades de carga. Tensión umbral.
Mediciones de capacitancia-voltaje. Acumulación. Agotamiento. Inversión. Condensador MOS. Efectos de las funciones trabajo y las cargas de óxidos.
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 8: 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

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: “Fenómenos de Transporte de Carga y Semiconductores fuera del equilibrio”

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.”

Corrientes, polarización, regiones de funcionamiento.

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

Corrientes, 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 realizadas de forma 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, JFET Y MOSFET”.

Certificación del estado del transistor con multímetro. Polarización. Curvas Características.

Ensayo con osciloscopio.

Todos los trabajos prácticos de laboratorio 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 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.

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

Se considera como alumno regular a todo aquel que cumpla con los siguientes requisitos :

- 1.- Cumplir con las condiciones de habilitación (equivalencias) para cursar la materia.-
- 2.- Haber asistido al 80 % de las clase teóricas y prácticas.
- 3.- Dar cumplimiento a los informes de trabajos de laboratorios
- 4.- Haber aprobado los 2 (dos) parciales con la resolución de problemas de los temas asignados ya sea en primer instancia o en etapas de recuperación. La aprobación se logra al superar los 6 puntos en un examen con ejercicios ponderados en puntaje. Si el/la estudiante obtiene una calificación entre 5 y 6, se le otorga la posibilidad de rendir un coloquio de un tema definido por el docente como etapa etapa previa al recuperatorio.

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 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.

D – RÉGIMEN DE PROMOCIÓN SIN EXAMEN FINAL

“El curso no contempla régimen de promoción”

E – RÉGIMEN DE APROBACIÓN PARA ESTUDIANTES LIBRES

Los alumnos libres podrán rendir la materia según el ítem C, luego de haber entregado y aprobado los trabajos prácticos teóricos y de laboratorio.

IX - Bibliografía Básica

- [1] APUNTES DE ASIGNATURA. Disponible en formato digital brindado por los docentes.
- [2] DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES. Jasprit Singh. Disponible en biblioteca en formato impreso.
- [3] ELECTRONICA DEL ESTADO SOLIDO.- Angel D. Tremosa . Ed. Marymar. Disponible en biblioteca en formato impreso.

X - Bibliografía Complementaria

- [1] SEMICONDUCTOR DEVICES.- Kanaan Kano, Ed. Pearson Prentice Hall.
- [2] SEMICONDUCTORS PHYSICS AND DEVICES .- Donald A. NEAMEN Ed. Mc Graw Hill

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

MECÁNICA CUÁNTICA Y FÍSICA MODERANA

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.

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

Introducción a la estructura MOS. 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

Tecnologías de fabricación de semiconductores y de circuitos integrados monolíticos.

XIII - Imprevistos

En caso de que, por razones de fuerza mayor, la asignatura no pueda dictarse de manera presencial, se contempla la realización 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 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: 1

Cantidad de horas de Práctico Aula: (Resolución de prácticos en carpeta) 1hs

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) 1hs

Cantidad de horas de Formación Experimental: (Laboratorios, Salidas a campo, etc.) 2 hs

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:

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

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.

ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA

Profesor Responsable

Firma:

Aclaración:

Fecha: