



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

(Programa del año 2020)  
 (Programa en trámite de aprobación)  
 (Presentado el 09/09/2020 12:59:22)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
Física Electrónica y Dispositivos	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	19/12	-Mod. 2020	1° cuatrimestre
Semiconductores		17/15		

### II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
ASENSIO, EDUARDO MAXIMILIANO	Prof. Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
TRIMBOLI, ROBERTO DANIEL	Responsable de Práctico	A.1ra Semi	20 Hs

### III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
Hs	2 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
09/03/2020	19/06/2020	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 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

- Comprender los fundamentos de la física electrónica moderna, de los dispositivos semiconductores actuales y de sus principios de operación para su aplicación en circuitos electrónicos básicos.
- Diferenciar los tipos de materiales aislantes, conductores y semiconductores (intrínseco y extrínseco) mediante el uso de herramientas analíticas para el diseño de dispositivos semiconductores.
- Comprender el uso de dispositivos semiconductores de manera experimental aplicados en circuitos electrónicos básicos.
- Adquirir destrezas en el uso de instrumentos de laboratorio y herramientas informáticas para la realización de modelado, cálculos y análisis de dispositivos semiconductores elementales.
- Conocer las tecnologías de fabricación de los dispositivos aplicados 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 corrimiento de portadores, movilidad, conductividad.

Resistividad.

Proceso de inyección de portadores.

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**

**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  $V_p$ .

## VIII - Regimen de Aprobación

### METODOLOGÍA DE DICTADO Y APROBACIÓN DE LA ASIGNATURA

#### METODOLOGÍA:

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.

#### REGIMEN DE REGULARIDAD:

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.-

La materia se aprobará rindiendo un examen final oral.

Condiciones para promocionar el curso:

-

Régimen de Promoción sin examen final:

-

Régimen de Promoción con examen final para Alumnos Libres:

Los alumnos libres podrán rendir la materia mediante un examen oral, luego de haber entregado los trabajos prácticos teóricos y de laboratorio.

## IX - Bibliografía Básica

- [1] APUNTES DE ASIGNATURA.- Asensio Maximiliano, Roberto Trimboli
- [2] ELECTRONICA DEL ESTADO SOLIDO.- Angel D. Tremosa . Ed. Marymar
- [3] SEMICONDUCTOR DEVICES.- Kanaan Kano, Ed. Pearson Prentice Hall.

## X - Bibliografía Complementaria

- [1] MICROELECTRONICS DEVICES AND CIRCUITS .-Clifton G. FONSTAD .Ed.Mc Graw Hill
- [2] SEMICONDUCTORS PHYSICS AND DEVICES .- Donald A. NEAMEN Ed. Mc Graw Hill
- [3] DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES .- Pedro Julian . Ed. Alfaomega
- [4] FUNDAMENTOS DE MICROELECTRONICA, NANOELECTRONICA Y FOTONICA .- Abella, Martinez , Agullo-Rueda Ed.Pearson Prentice Hall
- [5] CIRCUITOS MICROELECTRONICOS .- Sedra-Smith . Ed. Oxford

## XI - Resumen de Objetivos

Los alumnos estarán capacitados para comprender los fundamentos y funcionamiento de los dispositivos semiconductores utilizados actualmente en el campo de la electrónica para su adecuada aplicación en circuitos electrónicos básicos.

## 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 .

#### 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

Tecnologías de fabricación de semiconductores y de circuitos integrados monolíticos.

### **XIII - Imprevistos**

En caso de no poderse completar el dictado del programa de la asignatura en forma presencial por razones de fuerza mayor, se dictaran clases de manera online, además de clases de apoyo y consultas.

En caso de metodología online, las clases de laboratorio se realizarán utilizando software afín. Los laboratorios presenciales se realizarán antes de que el alumno rinda el exámen final coordinando con el equipo docente.

### **XIV - Otros**

--

**ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA**

**Profesor Responsable**

Firma:

Aclaración:

Fecha: