

**Planificación de la Asignatura:** Tópicos Especiales en Tecnologías Aplicadas: Microelectrónica

**Fecha:** 23/10/2024 13:02

**Código:** B0871-3

**Carrera:** Bioingeniería

**Departamento Académico:** Electrónica

**Docente a cargo:**

**Correo del docente a cargo:** martin.zalazar@uner.edu.ar

**Régimen de Dictado:** Cuatrimestral 2º Cuatrimestre

**Carga Horaria Semanal:** 5 horas semanales

**Carga Horaria Total:** 70 horas

---

**Contenidos Mínimos:**

- Nuevas tecnologías aplicadas al área de la Bioingeniería.

Programa resumido:

- Dispositivos MOS, Fabricación de circuitos integrados, Circuitos Digitales CMOS, Diseño analógico, Consideraciones de diseño de circuitos integrados.
- 

**Correlativas Regulares para cursar:**

No posee

**Correlativas Aprobadas para cursar:**

Ciclo Básico aprobado + Específica indicada en Planificación

**Correlativas Aprobadas para promocionar o rendir el examen final:**

Ciclo Básico aprobado

**Objetivo General:**

- Estudiar el diseño de circuitos integrados en tecnología CMOS para aplicaciones biomédicas.

**Objetivos Particulares:**

- Conocer y comprender la tecnología microelectrónica para aplicaciones biomédicas.
- Diseñar, simular y fabricar un chip.
- Conocer y analizar inductores, antenas y la transmisión de energía y señales.
- Conocer aplicaciones de dispositivos implantables.
- Formar recursos humanos en temáticas relacionadas con Microelectrónica para aplicaciones biomédicas.
- Desarrollar tareas de investigación y de asistencia al medio, con énfasis en el diseño e implementación de circuitos electrónicos de aplicación específica (ASIC).

**Programa Analítico:****Introducción**

A partir de los años setenta, la tecnología de circuitos integrados CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), basada en la utilización de transistores MOS superó a la tecnología basada en transistores bipolares integrados. Desde ese momento, la tecnología CMOS se convirtió en el pilar del diseño de circuitos integrados tanto analógicos como digitales.

La microelectrónica se puede definir como el conjunto de ciencias y técnicas con las que se realizan y fabrican circuitos electrónicos sobre una pastilla de un semiconductor, lo cual formará un circuito integrado (CI). La aparición del sector de la microelectrónica ha ejercido un efecto profundo en la evolución y estructura de la economía mundial. En el ritmo del cambio en los países industrializados del mundo han influido enormemente los avances en este sector, sobre todo por la evolución del circuito integrado.

El objetivo central de esta asignatura es introducir a los estudiantes en el diseño en microelectrónica haciendo hincapié en las aplicaciones biomédicas. El contenido de la materia está orientado a los circuitos integrados digitales y analógicos en tecnología CMOS y cubre todos los aspectos teóricos y prácticos necesarios para un abordaje de diseño, en el cual los estudiantes sean capaces de diseñar y enviar a fabricar un circuito integrado de prueba sencillo.

**Contenidos y Programa:**

El capítulo 1 brinda una explicación sintética de los pasos fundamentales de un proceso de fabricación, comenzando por el diseño y simulación, incluyendo el proceso fotolitográfico, la oxidación de Silicio, la introducción de dopantes y la deposición de materiales. El capítulo 2 muestra un resumen de los modelos eléctricos de los distintos dispositivos involucrados en un circuito integrado. Se describe la juntura semiconductor y su modelo. El capítulo 3 ahonda en la topología de los circuitos microelectrónicos digitales más utilizados y sus aplicaciones. El capítulo 4 introduce la necesidad de utilizar reglas de diseño que limiten los tamaños y distancias de las distintas estructuras definidas en las máscaras y se destaca su significancia para lograr circuitos funcionales y confiables. En el capítulo 5 se describen los circuitos analógicos más relevantes como los amplificadores operacionales CMOS. El capítulo 6 detalla el proceso de fabricación de un circuito integrado, desde las obleas de silicio hasta los diferentes tipos de encapsulados y profundiza en la caracterización de los mismos. El capítulo 7 muestra un panorama actualizado de las aplicaciones bioingenieriles de dispositivos microelectrónicos. Se detallan las características de los microsensors más estudiados y sus ventajas con respecto a los dispositivos clásicos, asociadas directamente a la miniaturización de tecnologías y procedimientos habituales. El capítulo 8 profundiza aún más en las aplicaciones bioingenieriles de dispositivos microelectrónicos. Se verán los modelos, simulación y fabricación

para la miniaturización de los procesos tecnológicos mediante la cual se intenta reducir el tamaño de los dispositivos electrónicos.

A continuación se detallan los contenidos de cada unidad temática.

### 1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO CMOS

Modelos de circuitos eléctricos. Introducción a los semiconductores. Juntura semiconductor y diodos. Capacitor MOS. Transistor MOS. Procesos tecnológicos: oxidación, deposición, grabado, difusión e implantación. Fotolitografía.

### 2. MODELOS Y SIMULACION DE CIRCUITOS CMOS

Procesos de diseño de circuitos CMOS. Modelos de transistores. Simulación. Lenguaje SPICE. Tecnología CAD: modelado numérico de los procesos de tecnología de semiconductores y características de los dispositivos.

### 3. CIRCUITOS DIGITALES CMOS

Inversores. Velocidad de propagación. Oscilador en anillo. Compuertas. Características estáticas y dinámicas. Disipación de potencia.

### 4. LAYOUT DE CIRCUITOS MICROELECTRÓNICOS

Capas de Procesos. Reglas de diseño. Layout de resistencias, capacitores e inductancias. Layout de transistores MOS. Capacidades de un transistor MOS. Procesos de verificación: DCR, LVS.

### 5. CIRCUITOS ANALÓGICOS LINEALES

Amplificadores operacionales CMOS. Amplificadores de alta frecuencia. Receptores de radio frecuencia.

### 6. FABRICACION Y TESTEO DE CIRCUITOS CMOS

Tecnologías de los procesos de fabricación. Fabricantes (MOSIS). Costos de fabricación. Tipos de encapsulados. Wire bonding. Métodos y herramientas de medición y testeo.

### 7. APLICACIONES BIOMÉDICAS EN MICROELECTRÓNICA I

Sensor de Presión implantable. Implante retinal. Sistemas de liberación de drogas. Sensor de proteínas. Aplicaciones recientes.

### 8. APLICACIONES BIOMÉDICAS EN MICROELECTRÓNICA II

Biosensores CMOS. "Energy harvesters" implantables. Resonadores piezoeléctricos como sensores. Materiales piezoeléctricos biocompatibles. Órganos artificiales. Sensores IR CMOS para Lab On a Chip.

### Listado de Actividades de Formación Práctica:

Listado de trabajos prácticos

Resolución de problemas:

1. Proceso fotolitográfico. Transistor MOS: Curvas características.
2. Compuerta AND. Inversor.
3. Compuerta XOR. Componentes pasivos: R y C.
4. Amplificadores operacionales CMOS.
5. Padframe. Soldado "wire bonding".

Trabajo final ABP

Trabajo integrador final utilizando la metodología del Aprendizaje Basado en Problemas.



**Metodología de Evaluación Durante el cursado:**

Las instancias de evaluación propuestas, tienen como objetivo:

- Reconocer éxitos parciales.
- Crear situaciones de éxito.
- Evaluar sin necesidad de esperar un examen.

Durante el cursado se realizan trabajos prácticos sobre temas específicos del programa. Los mismos se aprueban presentando un informe en una fecha previamente determinada (mitad de cuatrimestre) y se califica con Aprobado o Insuficiente y puede recuperarse.

Además, con el objetivo de facilitar la retención y así retrasar el olvido de lo aprendido, el docente efectuará preguntas a los alumnos. Estas preguntas estarán referidas a la última clase de teoría y se llevarán a cabo al comienzo de cada clase de laboratorio.

**Metodología de Evaluación en Exámenes Finales:**

Para aprobar la materia, se realizará un trabajo integrador final sobre conceptos adquiridos durante el cuatrimestre, utilizando la metodología ABP. Dicho trabajo consistirá en el diseño de un circuito microelectrónico como parte de un dispositivo médico. El chip será, potencialmente, enviado a fabricar. Llegando al final del cuatrimestre, se deberá exponer el trabajo realizado frente a los docentes y demás alumnos debiendo además entregar un informe; el trabajo se expondrá en un póster, emulando de esta manera una presentación en un congreso. Esta evaluación de características teórico-práctica, se aprobará con un mínimo de 60/100 y tendrá una instancia de recuperación.

Para aprobar la asignatura, se llevará a cabo un proyecto integrador final que englobará los conceptos aprendidos a lo largo del cuatrimestre, empleando la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Este proyecto implicará el diseño de un circuito microelectrónico para su integración en un dispositivo médico. Existe la posibilidad de que el chip diseñado sea enviado a producción. Al finalizar el cuatrimestre, los estudiantes deberán presentar su trabajo ante los profesores y compañeros, acompañado de un informe detallado. La exposición se realizará a través de un póster, siguiendo el formato típico de presentaciones en congresos. Esta evaluación, que combina aspectos teóricos y prácticos, se considerará aprobada con una

calificación mínima de 60/100 y se ofrecerá una oportunidad de recuperación en caso necesario.

Para evaluar trabajo en forma grupal, se utilizarán rúbricas. Una para la evaluación de la exposición y otra para la evaluación del informe escrito. Ambas se puntuarán con la escala: E:Excelente (10), MB: Muy Bueno (8-9), B: bien (6-7), R: regular (4-5), M: malo (1-3)

#### Rúbrica del informe

- A- Avances durante la elaboración del ABP Planteo de interrogantes Resolución de interrogantes
- B- Adecuada contextualización del problema a resolver
- C-Justificación de la tecnológica propuesta
- D-Adecuada descripción de la tecnología propuesta
- E-Cumplimiento de los objetivos propuestos
- F-Resultados obtenidos coherentes con los objetivos planteados.
- G-Adecuado uso de los recursos (papers, libros, patentes, productos del mercado, etc.).
- H-Adecuado espacio de discusión/conclusión.

#### Rúbrica de la Exposición

- A- Adecuada contextualización del problema a resolver
- B- Justificación de la tecnológica propuesta
- C- Adecuada descripción de la tecnología propuesta
- D- Cumplimiento de los objetivos propuestos
- E- Resultados obtenidos coherentes con los objetivos planteados.
- F- Adecuado uso de los recursos (papers, libros, patentes, productos del mercado, etc.).
- G- Adecuado espacio de discusión/conclusión.
- H-Exposición
  - a. Manejo del tiempo estipulado
  - b. Claridad en las ideas expuestas
  - c. Comprensión de los conceptos expuestos
  - d. Uso de recursos audiovisuales

Con esta última rúbrica se busca evaluar la exposición utilizando los mismos criterios de la Rúbrica del informe. De esta manera se evalúa la coherencia entre lo escrito y lo expuesto en la defensa



oral.

La nota final está fijada por una ecuación, considerando la exposición del trabajo final ABP, su informe correspondiente y los trabajos prácticos desarrollados durante las clases de práctica.

La ecuación (suma ponderada) tiene la forma:

$$\text{NOTA FINAL} = (\text{nota TP}) \cdot 0.35 + (\text{nota exposición}) \cdot 0.4 + (\text{nota informe final}) \cdot 0.25$$



**Condiciones de Regularidad :**

Para regularizar, se deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Asistencia obligatoria al 75% de las clases de teoría.
- Asistencia obligatoria al 75% de los TP.
- Presentar y aprobar el informe de todos los TP.

Quienes no cumplan con la condición de regularidad serán considerados estudiantes libres.

Para la promoción directa de la materia se deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Cumplir con las condiciones de regularidad.
- Presentar y aprobar el informe del TP final ABP con exposición.
- Se prevé fijar una fecha para el recuperatorio en la última semana de cursado (para los TPs y TP final ABP con exposición).

“Artículo 26º: Para promocionar una asignatura, al finalizar el dictado de la misma los alumnos deberán tener aprobadas las correlativas correspondientes y cumplir los requisitos establecidos por la cátedra.”

Para la aprobación de la materia, los estudiantes en condición de regular deben:

- Presentar y aprobar el informe del TP final ABP con exposición.
- Responder un cuestionario de carácter teórico.

Para la aprobación de la materia, los estudiantes en condición de libres deberán:

- Presentar y aprobar el informe del TP final ABP con exposición.
- Responder un cuestionario de carácter teórico-práctico.

Resulta importante resaltar que el requisito de asistencia obligatoria (>75%) se fundamenta en que la construcción del conocimiento es un proceso paulatino que demanda tiempos necesarios para la asimilación de los conceptos presentados. El mencionado proceso se ve beneficiado y es más eficiente si se realiza con el acompañamiento del docente a través de las instancias de Teoría y Práctica. Es por esto que sólo aquellos alumnos que deseen y puedan recorrer este camino, tendrán la posibilidad de acceder a la promoción directa de la asignatura.



**Bibliografía Principal:**

## LIBROS

1. P. Julian, Introducción a los dispositivos semiconductores: principios y modelos, Editorial de la Universidad Nacional del Sur. 2011.
2. P. Gray, P. Hurst, S. Lewis and R. Meyer, Analysis And Design Of Analog Integrated Circuits, John Wiley, 2001.
3. M. Madou, Fundamentals of Microfabrication and Nanotechnology, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012.
4. S. Senturia, Microsystem Design, Kluwer Academic Publishers, 2002.
5. G. Gudnason and E. Brnun, CMOS CIRCUIT DESIGN FOR RF SENSORS, Kluwer Academic Publishers, 2002.
6. P. Allen and D. Holberg, CMOS Analog Circuit Design, 2Ed Oxford University Press, 2002.
7. W. Sansen, Analog Design Essentials, Springer, 2006.
8. F. Maloberti, Analog Design for CMOS VLSI Systems, Kluwer Academic Publisher, 2001.
9. A. Grebene, Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design, John Wiley, 2003.
10. R. Baker, CMOS Circuit, Layout and Simulation, Wiley Interscience, 2002.
11. B. Razzavi, Fundamentals of Microelectronics, John Wiley, 2006.
12. M. Zalazar, "Mass Microsensors for Implantable MEMS", ISBN 978-3-639-70836-3, 268 p., Scholars' Press (2014).

**Bibliografía Complementaria:**

## ARTÍCULOS

1. Zalazar, M. and Guarnieri, F., "Diamond-Based Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonator for Biomedical Applications", Journal of Physics: Conference Series 477, 012009, 2014.
2. Garcialnza, M., Carbonetto, S., Lipovetzky, J., Carra, M., Sambuco Salomone, L., Redin, E. and Faigon, A., "Switched Bias Differential MOSFET Dosimeter", IEEE Transactions on Nuclear Science, 2014.
3. Lipovetzky, J., Garcialnza, M., Carbonetto, S., Carra, M., Redin, E., Sambuco Salomone and L., Faigon, A., "Field Oxide nchannel MOS Dosimeters Fabricated in CMOS Processes" IEEE Transactions on Nuclear Science, 2013.
4. Pérez, M., Zalazar, M., Vottero, N., Schaumburg, F. and Guarnieri, F. "A 13.56 MHz RFID Microtransponder for Active Micro-valve for the treatment of Glaucoma XIX Congreso Argentino de Bioingeniería SABI 2013, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina, ISBN 978-978-23950-7-0, 2013.
5. Zalazar, M., Gurman, P., Park, J., Kim, D., Hong, S., Stan, L., Divan, R., Czpalewski, D. and Auciello, O.,

"Integration of Piezoelectric Aluminum Nitride and Ultrananocrystalline Diamond Films for Implantable Biomedical Microelectromechanical Devices", Appl. Phys. Lett. 102, 104101 (2013).

6. Zalazar, M., Gurman, P., Auciello, O. and Guarnieri, F., "Design, Fabrication and Characterization of Ultrananocrystalline Diamond (UNCD) Membranes for Drug Delivery Devices", New Diamond and Nano Carbons Conference, San Juan, Puerto Rico, 2012.

7. Carbonetto, S., Garcia Inza, M., Lipovetzky, J., Redin, G., Sambuco, L., Salomone, and Faigón, A. "Zero Temperature Coefficient bias in MOS devices. Dependence on interface traps density, application to MOS dosimetry", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol: 58, Issue: 6, pag: 33483353, ISSN: 00189499, 2011.

8. Zalazar, M. and Guarnieri, F., "Análisis y Evaluación del Comportamiento de Sensores Piezoeléctricos", Mecánica Computacional, Vol XXIX, 6665-6684, 2010.

#### PATENTES

1. A. Faigón, J. Lipovetzky, M. Garcia Inza, S. Carbonetto, et al., "Método para la construcción de un dosímetro MOS de radiación ionizante empleando óxidos gruesos de procesos CMOS estándar" presentada la solicitud el día 11/03/2013. N° de Expediente 20130100872.

2. A. Lamagna, A. Boselli, M. Perez, P. Julián, P. S. Mandolesi, P. Pareja Obregón, Dispositivo electrónico integrado con recubrimiento sensible para la detección de gases o moléculas biológicas y método de fabricación del mismo, Nro. Solicitud: P09-01-04092, Fecha: 3/10/2009, Argentina.