



## Doctorado en Ingeniería

Facultades de Cs. Agropecuarias; Cs. de la Alimentación e Ingeniería

Carrera: **Doctorado en Ingeniería**

Mención: **Bioingeniería**

Curso de Posgrado: **TÓPICOS AVANZADOS DE ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA APLICADAS A LA INGENIERÍA: “Microelectrónica: tecnología y aplicaciones biomédicas”**

Carga Horaria: **90hs**

Docente/s a cargo: **Dr. Martín Zalazar**

Semestre: **Segundo 2018**

### Características del curso

1. **Carga horaria:** la cantidad de horas reloj: **90hs**
2. **Curso teórico-práctico:** curso que articula la modalidad del curso teórico con una actividad de la práctica con relación a la temática de estudio. Lo teórico y lo práctico se dan simultáneamente en forma interrelacionada:
3. **Carácter:** si son del ciclo común o del ciclo electivo: **Curso del ciclo electivo**

Programa Analítico de foja: **a foja:**

Bibliografía de foja: **a foja:**

Aprobado Resoluciones de Consejos Directivos:

Fecha:

Modificado/Anulado/ Res. Cs. Ds.:

Fecha:

Carece de validez sin la certificación del Director/a del Doctorado:



**Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y  
Ciencias de la Alimentación  
Oro Verde-Concordia, E. R.  
República Argentina**

## **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 este curso es introducir a los estudiantes en el diseño en microelectrónica haciendo hincapié en las aplicaciones biomédicas. El curso está orientado a los circuitos integrados digitales en tecnología CMOS y cubre todos los aspectos teóricos y prácticos necesarios para un primer abordaje de diseño, en el cual los estudiantes sean capaces de diseñar y enviar a fabricar un circuito integrado de prueba sencillo.

Durante el cursado se realiza un proyecto en el cual el alumno debe diseñar, simular, enviar a producir y medir un CI. El circuito se enviará a fabricar a una foundry con una tecnología de  $0,5\mu\text{m}$  a través del consorcio MOSIS.

### **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 profundiza en los modelos, simulación y fabricación para la miniaturización de los procesos tecnológicos mediante la cual se intenta reducir el tamaño de los dispositivos electrónicos. El capítulo 8 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.

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. MODELOS, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE TAMAÑO REDUCIDO**

*Modelos analíticos y numéricos de microdispositivos (resonadores piezoeléctricos, bobinas, válvulas, sistemas microfluídicos). Método de los Elementos Finitos. Fabricación de los dispositivos.*

**8. APLICACIONES BIOMÉDICAS EN MICROELECTRÓNICA**

*Sensor de Presión implantable. Implante retinal. Sistemas de liberación de drogas. Generadores de energía implantables. Resonadores piezoeléctricos como sensores. Materiales piezoeléctricos biocompatibles. Biosensores CMOS.*



Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y  
Ciencias de la Alimentación  
Oro Verde-Concordia, E. R.  
República Argentina

## BIBLIOGRAFIA

### 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 Piezoelectricos", Mecánica Computacional, Vol XXIX, 6665-6684, 2010.

## 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).

## PATENTES

1. A. Faigon, 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. Nº 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.

*Nota: La literatura en su totalidad se encuentra en dominio de los docentes del curso, tanto en papel como en formato digital y será provista a los alumnos.*



Facultades de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y  
Ciencias de la Alimentación

Oro Verde-Concordia, E. R.

República Argentina

## PLANIFICACIÓN DEL CURSO

### 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.
- Conocer y analizar inductores, antenas y la transmisión de energía y señales.
- Conocer aplicaciones de dispositivos implantables.
- Diseñar, simular y fabricar un chip.

**Conocimientos previos requeridos: no se requieren.**

### Fecha tentativa de inicio del dictado y duración del Curso (en semanas):

Inicio: 09 de agosto de 2018. Fin: 15/11/2018

Duración: 15 semanas (incluyendo recuperatorio) de 5hs cada clase.

Fechas: 09, 16, 23, 30/08 – 06, 13, 27/09 – 4, 11, 18, 25/10 – 1, 8 y 15/11/2018

### Cupo de alumnos (cantidades mínima y máxima):

Mínimo: 8 alumnos Máximo: 25 alumnos

**Lugar:** FI-UNER. Aula de posgrado y laboratorio de computación.

**Día(s) y horario(s) tentativo(s) de dictado:** Jueves de 9hs-14hs.

### Metodología de Trabajo:

El curso se dictará en 14 clases teórica-prácticas de 5 horas de duración cada una. Se prevé 1 encuentro semanal a lo largo de 14 semanas, totalizando 70hs de clases presenciales, complementadas con 20hs nominales de trabajo no presencial para la resolución de las guías de trabajos prácticos y la realización

del trabajo final.

El contenido de la materia se desarrollará en clases teóricas y clases prácticas. A través de estas dos instancias se busca que el alumno asimile, sobre la base de los conocimientos que ya posee, los nuevos conceptos asociados con situaciones prácticas.

#### Clases teóricas

En las clases teóricas (de 2 horas de duración) se hará un desarrollo de los temas del programa con ejemplos y aplicaciones que servirán para una mejor aprehensión por parte del alumno y fomentarán su participación.

Estas clases tendrán un sesgo teórico-coloquial, permitiendo de esta manera ser más descriptivas. En ellas se enunciarán los aspectos fundamentales del tema a desarrollar, aplicando el rigor matemático/físico necesario y apelando a conceptos desarrollados en asignaturas anteriores del plan de estudios. Se busca generar un espacio de intercambio con el alumno en el cual se plantean experiencias externas que permitan desarrollar los esquemas internos del conocimiento a través de preguntas disparadoras. De esta manera se espera que el alumno realice una ponderación de las ideas desarrolladas y establezca un orden de las mismas de manera de asimilar los conceptos fundamentales del tema en cuestión.

#### Clases de trabajos prácticos

En las clases de trabajos prácticos (de 3 horas de duración) se llevarán a cabo resoluciones de problemas de diseño, cálculo, simulación y análisis.

Se trata que el alumno tenga la oportunidad de volcar efectivamente los conocimientos brindados en la clase de teoría en una actividad que implica la aplicación de los mismos. De esta forma se favorece el intercambio de ideas con otros compañeros, permitiéndole afianzar los conocimientos a partir de la competencia natural por comparación. Siempre se busca que el alumno llegue a un resultado positivo, no necesariamente al funcionamiento de un circuito, sino a una idea acertada que le permita comprender los resultados obtenidos. Los trabajos prácticos han sido diseñados de manera que el alumno vaya adquiriendo progresivamente destreza en el manejo de los softwares de diseño y simulación, obteniendo así criterios adecuados de diseño.

#### Uso de TICs

Se prevé, la creación de un grupo en las redes sociales (Facebook) para ir actualizando el estado del arte de los chips y mostrando las últimas noticias relacionadas con los desarrollos nacionales e internacionales.

#### Aprendizaje Basado en Proyectos

Como herramienta complementaria para el aprendizaje, se propone incluir en las clases prácticas la metodología del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). El ABP es un modelo de aprendizaje en el que los estudiantes planean, implementan y evalúan proyectos que tienen aplicación en el mundo real más allá del aula de clase. La propuesta de innovación está sustentada en la metodología del aprendizaje basado en problemas, la formación en competencias en bioingeniería y el fortalecimiento del aprendizaje autónomo.

Desde esta perspectiva se plantea la realización de un trabajo final como estrategia didáctica para iniciar

al alumno en la realización de un proyecto de ingeniería en una etapa intermedia de su formación académica. Se trata de implicar al alumno en su propio proceso de aprendizaje favoreciendo el aprendizaje significativo y autónomo. Desde la perspectiva teórica, a partir de la formulación de un problema, la búsqueda de la solución adecuada que concluye en una realización práctica, el alumno recorre los mecanismos clave del aprendizaje autónomo.

En este contexto, se realiza un trabajo final en el cual el alumno debe diseñar, simular, enviar a producir y testear un CI. El circuito se enviará a fabricar a una foundry con la tecnología actual de 0,5 $\mu$ m a través del consorcio MOSIS.

Para desarrollar este trabajo final, se facilitará una guía a los alumnos. El desarrollo de esta guía se divide en tres etapas con objetivos claros y planteando interrogantes que el alumno encontrará en sus respuestas la información necesaria para desarrollar el trabajo:

- **Primera etapa:** *Hacer un análisis y describir el dispositivo médico que el equipo de trabajo ha seleccionado.*

*Se efectúan preguntas tales como ¿qué es lo que se quiere fabricar?, ¿para qué sirve? ¿cómo se los puede clasificar?, etc.*

- **Segunda etapa:** *Seleccionar, describir y diseñar la etapa del circuito microelectrónico a fabricar. Describir, si corresponde, las simplificaciones realizadas. Describir las distintas etapas del proceso de fabricación y los materiales necesarios para su implementación.*

*Se efectúan preguntas tales como ¿cuáles son las distintas etapas de las que se compone el dispositivo?, ¿dónde adquiere la tecnología necesaria para esta fabricación?, etc.*

*En esta etapa se profundizará en el diseño y simulación del bloque que involucra al circuito microelectrónico propuesto.*

- **Tercera etapa:** *Fabricar y realizar mediciones sobre el dispositivo en cuestión.*

*Se efectúan preguntas tales como ¿qué instrumentos se necesitan para caracterizar el circuito?, ¿qué implicancias acarrearán las simplificaciones realizadas?, etc.*

*En esta etapa, se llevará a cabo el diseño del layout del circuito propuesto; además de describir el proceso de fabricación y testeado del dispositivo, se hará hincapié en la fabricación del circuito microelectrónico a través de un foundry (a través de la empresa MOSIS y su programa educacional).*

## Listado de trabajos prácticos

### Resolución de problemas:

1. Proceso fotolitográfico.
2. Transistor MOS: Curvas características.



3. Compuerta AND.
4. Inversor.
5. Compuerta XOR.
6. Componentes pasivos: R y C.
7. Amplificadores operacionales CMOS.
8. Padframe.
9. Soldado "wire bonding".

Trabajo final ABP

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

**Profesores**

**Docentes responsables:**

- Dr. Martín Zalazar

**Docente(s) colaborador(es):**

- Ing. Luciano Rau

La colaboración del Ing. Rau estará sujeta a las condiciones del dictado del curso. La propuesta es la de agregar viáticos para los días de dictado del curso (todos los días jueves desde el 09/08 al 15/11 (15 clases)), considerando su traslado desde la ciudad de Santa Fe (CV adjunto).

**Cronograma**

Se dictarán 14 clases, 1 por semana, en forma consecutiva desde la semana del 09 de agosto de 2018 hasta la del 08 de noviembre del mismo año, en días y horario a convenir según la disponibilidad de aulas. El objetivo de este cronograma es facilitar el traslado y la asistencia de alumnos de otras ciudades.

El cronograma tentativo es el siguiente:

**Segundo cuatrimestre**

SEMANA	TEORÍA	TP
1	Tema 1	TP1
2	Tema 2	TP2
3	Tema 2	TP3
4	Tema 4	TP4
5	Tema 3	TP4
6	Tema 3	TP4
7	Tema 4	TP5
8	Tema 4	TP5
9	Tema 5	TPABP
10	Tema 5	TPABP
11	Tema 6	TPABP
12	Tema 7	TPABP

13	Tema 8	TPABP
14	Defensa ABP	
15	Recuperatorio	

**Condiciones de Regularidad y Promoción:**

La **regularidad** será obtenida con la asistencia al 80% de las clases teóricas y prácticas.

La promoción del curso será obtenida con la presentación de los trabajos prácticos desarrollados durante el cursado y un examen final integrador de características teórico – práctico donde cada una de estas instancias de evaluación se aprobará con un mínimo de 60/100. El mismo tendrá una instancia de recuperación.

**Infraestructura necesaria:**

- Aula de posgrado para las clases teóricas.
- Laboratorio de computación para las clases prácticas.
- Cañón proyector.
- Insumos para registros: marcadores, cinta adhesiva.
- Software libre de diseño y simulación de microelectrónica (LTSPICE, ELECTRIC) y simulación computacional.