

PLAN DE ESTUDIOS

DOCTORADO EN CIENCIA DE MATERIALES

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROYECTOS



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria de Jalisco

CUCEI

INDICE:	PAG.
1.Datos del Programa.....	4
2. Objetivos	4
3.Perfil de ingreso	5
4.Perfil de Egreso.....	5
5.Requisitos de Ingreso.	5
6.Requisitos de Permanencia.....	6
7.Requisitos de Egreso.....	6
8.Mapa Curricular	7
10 Propuestas para cubrir los créditos de los programas de estudios.....	11
11 Contenido de los cursos del área de Formación Básica Obligatoria	13
11.1 Matemáticas para materiales.....	13
11.2 Estructura y caracterización de materiales.....	18
11.3 Propiedades de materiales I.....	21
11.4 Propiedades de materiales II.....	27
12 Contenido de los cursos del Área de Formación Optativa.....	32
12.1 Diseño para microsistemas.....	32
12.2 Procesos para microsistemas.....	38
12.3 Diseño de MEMS asistido por computadora.....	44
12.4 Temas selectos de MEMS.....	47
12.5 Procesamiento y caracterización de películas delgadas.....	48
12.6 Ciencia de materiales de películas delgadas.....	50
12.7 Aplicaciones de películas delgadas.....	52
12.8 Películas delgadas duras.....	54
12.9 Temas selectos de películas delgadas.....	58
12.10 Biomateriales.....	59

12.11	Interacción de la radiación con la materia.....	62
13	Seminarios del Doctorado en Ciencia de Materiales.....	67
13.1	Seminario DI.....	67
13.2	Seminario DII.....	68
13.3	Seminario DIII.....	69
13.4	Seminario DIV.....	70
13.5	Seminario DV.....	72
13.6	Seminario DVI.....	73

1. Datos del Programa

Nombre del Programa:

Doctorado en Ciencia de Materiales

Centro universitario que lo imparte:

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías

Tipo de programa:

Investigación

Modalidad en que se impartirá:

Escolarizada

Duración del Programa:

El Doctorado en Ciencia de Materiales tiene una duración de 6 semestres en su opción Tradicional (con Maestría previa); tiempo contado a partir del ingreso al programa. El plazo máximo para obtener el grado será de doce meses, una vez concluido el tiempo de duración del programa, de acuerdo con el Artículo 71 del Reglamento General de Posgrado de la Universidad de Guadalajara. Actualmente sólo se encuentra en operación la modalidad tradicional (con maestría previa).

Número de alumnos y promoción:

La promoción de este programa será semestral, siendo 1 el número mínimo de alumnos para su apertura; con un máximo de 12, siempre que la planta académica tenga capacidad numérica para dirigirlos y sea avalado por la Junta Académica.

El Dictamen número I/2007/222 mediante el cual se aprueba la creación del Posgrado en Ciencia de Materiales, con sede en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías se encuentra en el siguiente enlace:

<https://www.cucei.udg.mx/doctorados/materiales/es/documento/dictamen-de-creacion-del-posgrado-en-ciencia-de-materiales>

2. Objetivos

En general, son objetivos del programa de posgrado:

Formar profesionales altamente calificados con sólidos conocimientos y experiencia en investigación, capaces de realizar contribuciones originales en áreas específicas de la Ciencia de Materiales, y de formar recursos humanos de la más alta calidad.

Formar expertos en las áreas especializadas de Ciencia de Materiales Poliméricos, Procesamiento y Caracterización de Películas Delgadas, Ciencia de los Materiales Fibrosos, Biomateriales, Materiales Ópticos, Semiconductores, Metalurgia y Corrosión.

Complementar la oferta de posgrados existentes a nivel local, atendiendo a la demanda en los sectores privado, gubernamental, académico y social de la región, y contribuyendo así al desarrollo socioeconómico.

Fortalecer y dinamizar la investigación y la docencia en el campo de los materiales, fomentando la generación de conocimiento y la transferencia de tecnología.

Establecer un polo regional de excelencia que atraiga y retenga talentos en el área de la Ciencia de Materiales, contribuyendo al avance de la investigación a nivel nacional y al desarrollo del posgrado en el país.

En particular, son objetivos del Doctorado en Ciencia de Materiales: La formación de profesionales con sólidos conocimientos y experiencia en investigación que les permitan realizar contribuciones originales y formar recursos humanos de la más alta calidad.

3. Perfil de ingreso

El Doctorado en Ciencia de Materiales busca atraer a profesionales con formación en materiales, física, química, ingeniería química, ingeniería mecánica, mecatrónica y campos afines, quienes deben demostrar curiosidad, pensamiento crítico, creatividad y habilidades para la resolución metódica de problemas. Se valoran la experiencia en laboratorio, una actitud proactiva, y la capacidad de trabajo en equipo. Este programa está diseñado para individuos comprometidos con la investigación de alta calidad y el avance en el campo de los materiales, brindándoles la oportunidad de contribuir significativamente a esta disciplina de manera ética y sostenible.

4. Perfil de egreso

Los egresados del Doctorado en Ciencia de Materiales serán profesionales con la habilidad y destreza necesarias para plantear, llevar a cabo y resolver investigaciones científicas, técnicas y tecnológicas en su campo de especialización. Estarán capacitados para comprender, caracterizar y modelar las propiedades electrónicas, mecánicas y magnéticas de los materiales, así como para proponer y aplicar métodos de modificación. Además, serán competentes en la concepción, diseño, desarrollo y evaluación de nuevos materiales destinados a aplicaciones específicas en áreas como materiales ópticos, polímeros, metales, películas delgadas, cerámicos y biomateriales. Los egresados del programa de doctorado estarán preparados para investigar y generar conocimiento en campos innovadores dentro de la ciencia de materiales.

5. Requisitos de ingreso

Los requisitos de ingreso al programa de Doctorado en Ciencia de Materiales. Además de los establecidos por la normatividad universitaria vigente son:

I) Para ingresar al Doctorado Directo:

- a) Presentar y aprobar el examen de diagnóstico y selección;
- b) Haber obtenido el grado de licenciatura en física, química, ingeniería mecánica, electrónica, mecatrónica, electromecánica y química, o una carrera afín al área de materiales;
- c) Tener promedio mínimo de 80 en los estudios previos;
- d) Entrevista con resultados aprobatorios con la Junta Académica;
- e) Aprobar los cursos propedéuticos que en su caso le sean asignados como prerrequisito de ingreso, y
- f) Aprobar examen de comprensión oral y escrita en idioma inglés, avalado por el Departamento de Lenguas Modernas de la Universidad de Guadalajara.

Para ingresar al doctorado para alumnos con maestría previa:

- a) Haber obtenido el grado de maestría en posgrados afines. La afinidad de los posgrados estará determinada a juicio de la Junta Académica y mediante el análisis de las materias cursadas por el alumno;
- b) Tener promedio mínimo de 80 en los estudios previos;

- c) Presentar y aprobar el examen de diagnóstico y selección;
- d) Presentar una propuesta del programa de trabajo a desarrollar;
- e) Entrevista con resultados aprobatorios con la Junta Académica;
- f) Aprobar los cursos propedéuticos que en su caso le sea asignado como prerrequisito de ingreso, el cual pueden consistir de alguno o todos los cursos propedéuticos para ingresar a la maestría o alguna(s) de las materias de formación obligatoria, y
- g) Tener dominio del idioma inglés en un nivel de al menos 350 puntos del examen TOEFL o equivalente a juicio de la junta académica.

6. Requisitos de permanencia

Son requisitos de permanencia en el programa de Doctorado en Ciencia de Materiales, además de los señalados en la normatividad universitaria vigente los siguientes:

- a) Aprobar los avances semestrales del trabajo de investigación o tesis, a juicio del comité tutorial responsable;
- b) En el doctorado directo el estudiante deberá acreditar el curso Trabajo de Investigación (que incluye el examen predoctoral) a más tardar al final del sexto semestre y deberá registrar su tema de tesis a más tardar en el séptimo semestre de permanencia en el programa de posgrado;
- c) En el doctorado con maestría previa el estudiante deberá acreditar el Trabajo de Investigación (que incluye el examen predoctoral) a más tardar al final del cuarto semestre y deberá registrar su tema de tesis a más tardar en el quinto semestre de permanencia en el programa de posgrado.

7. Requisitos de egreso

Los requisitos para obtener el grado del programa de Doctorado en Ciencia de Materiales, además de los establecidos por la normatividad universitaria son los siguientes:

- a) Haber concluido el programa de doctorado correspondiente;
- b) Haber cumplido los requisitos señalados en el plan de estudios;
- c) Presentar tesis y aprobar el examen respectivo, y
- d) Para solicitar el examen de grado el alumno deberá comprobar nivel de inglés con examen TOEFL de al menos 450 puntos.

8. MAPA CURRICULAR:

El plan de estudios del programa académico de Maestría y Doctorado en Ciencia de Materiales, es un programa de modalidad escolarizada enfocado a la investigación y comprende la siguiente estructura y unidades de aprendizaje.

DOCTORADO EN CIENCIA DE MATERIALES

AREAS DE FORMACIÓN	CRÉDITOS	%
Área de Formación Básica Particular Obligatoria	72	48
Área de Formación Optativa Abierta	24	16
Área de Formación Especializante Obligatoria	12	8
Tesis de Doctorado	42	28
Número Mínimo de Créditos para Obtener el Grado	150	100

DOCTORADO DIRECTO EN CIENCIA DE MATERIALES

AREAS DE FORMACIÓN	CRÉDITOS	%
Área de Formación Básica Común Obligatoria	48	19
Área de Formación Básica Particular Obligatoria	96	37
Área de Formación Optativa Abierta	60	23
Área de Formación Especializante Obligatoria	12	5

Tesis de doctorado	42	16
Número Mínimo de Créditos para Obtener el Grado	258	100

ÁREA DE FORMACIÓN BÁSICA PARTICULAR OBLIGATORIA

UNIDAD DE ENSEÑANZA	TIPO	HORAS BCA*	HORAS AMI**	HORAS TOTALES	CRÉDITOS
Seminario DI	S	64	128	192	12
Seminario DII	S	64	128	192	12
Seminario DIII	S	64	128	192	12
Seminario DIV	S	64	128	192	12
Seminario DV	S	64	128	192	12
Seminario DVI	S	64	128	192	12

ÁREA DE FORMACIÓN OPTATIVA ABIERTA

Las siguientes son las unidades de enseñanza del área de Formación Optativa Abierta, tanto para la Maestría como para el Doctorado.

UNIDAD DE ENSEÑANZA	TIPO	HORAS BCA*	HORAS AMI**	HORAS TOTALES	CRÉDITOS
Biomateriales	C-T	64	128	192	12
Interacción de la Radiación con la Materia	C-T	64	128	192	12
Materiales Fibrosos	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Biomateriales I	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Biomateriales II	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Materiales Fibrosos I	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Materiales fibrosos	C-T	64	128	192	12

II					
Biopolímeros	C-T	64	128	192	12
Reología de Fibras	C-T	64	128	192	12
Ciencia de Materiales Poliméricos	CT	64	128	192	12
Síntesis y Caracterización de Polímeros	CT	64	128	192	12
Temas Selectos de Polímeros I	CT	64	128	192	12
Temas Selectos de Polímeros II	CT	64	128	192	12
Óptica de Materiales	C-T	64	128	192	12
Diseño y Modelado de Dispositivos Semiconductores	C-T	64	128	192	12
Procesos Tecnológicos en Semiconductores	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Materiales Ópticos I	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Materiales Ópticos II	C-T	64	128	192	12
Procesamiento y Caracterización de Películas Delgadas	CT	64	128	192	12
Ciencia de Materiales de Películas Delgadas	C-T	64	128	192	12
Aplicaciones de Películas Delgadas	C-T	64	128	192	12
Películas Delgadas Duras	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Películas Delgadas	C-T	64	128	192	12
Análisis de Superficies	C-T	64	128	192	12
Ciencia de Cerámicas	C-T	64	128	192	12

Temas Selectos de Cerámicas I	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Cerámicas II	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Cerámicas III	C-T	64	128	192	12
Diseño para Microsistemas	C-T	64	128	192	12
Procesos para Microsistemas	C-T	64	128	192	12
Diseño de MEMS asistido por Computadora	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de MEMS	C-T	64	128	192	12
Metalurgia Física	C-T	64	128	192	12
Temas Selectos de Metalurgia	C-T	64	128	192	12
Corrosión	C-T	64	128	192	12
Corrosión en Instalaciones Industriales	C-T	64	128	192	12
Electroquímica	C-T	64	128	192	12
Electroquímica Aplicada	C-T	64	128	192	12
Tribología	C-T	64	128	192	12

ÁREA DE FORMACIÓN BÁSICA PARTICULAR OBLIGATORIA

UNIDAD DE ENSEÑANZA	TIPO	HORAS BCA*	HORAS AMI**	HORAS TOTALES	CRÉDITOS
Trabajo de Investigación	C	64	128	192	12

9. Propuesta para cubrir los créditos de los programas de estudio.

Doctorado Directo en Ciencia de Materiales

Duración del programa: 8 semestres.

Primer semestre	Segundo semestre	Tercer semestre	Cuarto semestre	Quinto semestre	Sexto – Octavo semestre
Propiedades de Materiales I	Propiedades de Materiales II	Optativa II	Optativa V	Actividades de Investigación	Actividades de Investigación
Matemáticas para Materiales	Optativa I	Optativa III	Actividades de Investigación	Trabajo de Investigación (Examen predoctoral)	
Estructura y Caracterización de Materiales		Optativa IV			
Seminario DDI	Seminario DDII	Seminario DDIII	Seminario DDIV	Seminario DDV	Seminario DD VI al VIII

Doctorado en Ciencia de Materiales

Duración del programa: 6 semestres (además 12 meses máximo para titulación, Art. 71 RGP).

Primer semestre	Segundo semestre	Tercer semestre	Cuarto semestre	Quinto semestre	Sexto Semestre
Optativa I		Actividades de Investigación	Actividades de Investigación	Actividades de Investigación	Actividades de Investigación y titulación
Optativa II					

Requisitos establecidos por la Junta Académica (en su caso)		Trabajo de Investigación (Examen predoctoral)			
Seminario DI	Seminario DII	Seminario DIII	Seminario DIV	Seminario DV	Seminario DVI

Las líneas de conocimiento, junto con sus vertientes, del Doctorado en Ciencia de Materiales se centran en:

Macromoléculas y biomateriales:

- Nanocompuestos y materiales híbridos
- Biopolímeros y bioplásticos
- Procesamiento de materiales compuestos

Tecnología de superficies:

- Caracterización de nanoestructuras
- Tribología y corrosión
- Recubrimientos y películas delgadas
- Tratamiento de superficies con láser

Propiedades electrónicas y sus aplicaciones:

- Semiconductores nanoestructurados
- Materiales optoelectrónicos
- Modelado de estructura electrónica
- Sistemas micro y nano electro mecánicos

10. Contenido de los cursos del área de Formación Básica Obligatoria

11.1 Matemáticas para materiales

Clave: H0738	Tipo de curso: Curso
Curso: Básico	Ciclo: Primer semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 horas de curso• 2 horas de trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivo del curso

Formar al estudiante para un manejo adecuado de las matemáticas necesarias para el estudio, el modelado y la simulación de fenómenos físicos y de procesos en el área de materiales.

Actividades de aprendizaje

Durante el curso los estudiantes harán uso de herramientas computacionales, principalmente de Matlab/Simulink y de SolidWorks/Cosmos, para analizar los problemas estudiados o propuestos en clase.

El alumno debe realizar lecturas de manera obligatoria para lo cual deberá entregar un análisis de cada una de ellas en donde incluya la resolución de un problema que ilustre claramente los conceptos del tema tratado.

Para cada unidad, el estudiante debe investigar la solución de un problema real en donde se haga uso de alguno de los temas tratados en clase.

El estudio de ejemplos estará basado en la programación y simulación en computadora por lo que el estudiante tendrá que resolver problemas por su cuenta y realizar la programación y/o simulación correspondiente.

El estudiante debe trabajar en equipo para el análisis, la resolución y la documentación de un problema sobre una de las unidades 6 a 8 del programa.

Al final del semestre, el alumno debe presentar el análisis de la solución analítica de un problema real relacionado con la línea de investigación que le interesa.

Los trabajos realizados por los estudiantes sólo serán aceptados si están bien presentados, bien redactados y bien documentados.

Criterios de evaluación y de acreditación

• Participación y presentaciones orales	5 %
• Tareas	25 %
• Proyectos y trabajos de investigación	20 %
• Exámenes parciales (mínimo 30%)	50 %
TOTAL	100 %

Asistencia mínima al curso: 80%

Programa:

1. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS MATEMÁTICO (8 hrs – Semana 1 y 2)
 - Conjuntos
 - Números reales
 - Errores
 - Concepto de función
 - Límite de una función
 - Continuidad de una función
 - Operaciones con funciones continuas
2. VARIABLES COMPLEJAS (8 hrs – Semana 3 y 4)
 - Concepto de variable compleja
 - Funciones elementales
 - Integración
 - Series
 - Residuos y sus aplicaciones
3. SERIES (6 hrs – Semana 5 y 6)
 - Series numéricas
 - Series de funciones
 - Series de potencias
4. SERIES Y TRANSFORMADA DE FOURIER (10 hrs – Semana 6, 7 y 8)
 - Funciones periódicas

- Ortogonalidad del sistema
 - Serie de Fourier para una función periódica
 - Condiciones suficientes para el desarrollo de una función en serie de Fourier
 - Serie de Fourier para la función de período arbitrario
 - Notación compleja de la serie de Fourier
 - Integral de Fourier
 - Transformada de Fourier
 - Propiedades de la transformada de Fourier
 - Aplicaciones de la transformada de Fourier
 - Transformada de Laplace
 - Propiedades de la transformada de Laplace
 - Aplicaciones de la transformada de Laplace
5. PRIMER EXAMEN PARCIAL (4 hrs – Semana 9)
6. ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS (8 hrs – Semana 10 y 11)
- Ecuaciones diferenciales de primer orden
 - Variación de parámetros
 - Existencia y unicidad de soluciones
 - Ecuaciones diferenciales de orden superior
 - Solución general
 - Existencia y unicidad de soluciones
 - Ecuaciones lineales homogéneas
 - Ecuaciones lineales no homogéneas
 - Método general para resolver ecuaciones no homogéneas
 - Solución de ecuaciones diferenciales mediante series de potencias
7. ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES (8 hrs – Semana 12 Y 13)
- Conceptos básicos
 - Separación de variables
 - Clasificación de las ecuaciones diferenciales lineales
 - Planteamiento de problemas principales
8. TEORÍA DE LA ESTABILIDAD (8 hrs – Semana 14 y 15)
- Definiciones

- Estabilidad según Lyapunov
- Estabilidad de sistemas autónomos
- Método de funciones de Lyapunov
- Estabilidad según una aproximación lineal

9. SEGUNDO EXAMEN PARCIAL (4 hrs – Semana 16)

Bibliografía básica

1. M. B. Allen III, I. Herrera, G. F. Pinder, *Numerical Modeling in Science and Engineering*, John Wiley, N.Y., 1988.
2. W. F. Ames, *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 3rd ed., Academic Press, San Diego, CA, 1992.
3. S. J. Farlow. *Partial Differential Equations for Scientists and Engineers*. Dover Books on Advanced Mathematics, Dover Publications, New York, 1993.
4. E. Kreyszig. *Advanced Engineering Mathematics*. Wiley, 8th ed., 1998.
5. M. D. Greenberg, *Foundations of Applied Mathematics*, Prentice-Hall, N.J., 1987.
6. L. Lyons, *All you wanted to know about mathematics but were afraid to ask, Vol I & II*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, GB, 1995.
7. R. Shankar, *Basic Training in Mathematics. A Fitness Program for Science Students*, Plenum Press, New York, 1995.
8. H. F. Weinberger. *A First Course in Partial Differential Equations with Complex Variables and Transform Methods*. Dover Books on Mathematics, Dover Publications, 1995.
9. D. V. Widder, *Advanced Calculus*, 2nd. Ed., Dover Publ., New York, USA, 1989.

Bibliografía complementaria

10. G. Arfken. *Mathematical Methods for Physicist*. Academia Press, 1970.
11. K. Binder, D. W. Heermann. *Monte-Carlo Simulation in Statistical Physics: An introduction*. Springer Verlag Series in Solid-State Sciences, 1980.
12. J. Gilbert, L. Gilbert, *Linear Algebra and Matrix Theory*, 2nd ed., Academic Press, San Diego, CA, 1995.
13. F. B. Hildebrand. *Advanced Calculus for Applications*. Prentice Hall, 1976.
14. K. H. Hoffmann, M. Schreiber. *Computational Physics*. Springer Verlag, Berlin. 1996.
15. M. Krasnov, A. Kiseliyov, G. Makarenko, E. Shikin. *Curso de Matemáticas Superiores para Ingenieros*. Vol. 1. Editorial Mir Moscú, 1990.
16. M. Krasnov, A. Kiseliyov, G. Makarenko, E. Shikin. *Curso de Matemáticas Superiores para Ingenieros*. Vol. 2. Editorial Mir Moscú, 1990.

11.2 Estructura y caracterización de Materiales.

Clave: H0739	Tipo de curso: Curso
Curso: Básico	Ciclo: Primer semestre (sugerido)
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría y práctica• 32 horas de trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 horas de curso• 2 horas de trabajo individual
Créditos: 12	Fecha de actualización:

Prácticas: Difracción de rayos X y Microscopía Óptica disponibles en el CIM-Dip.

Objetivos

El curso cubrirá los principios básicos de Cristalografía, Microscopía Óptica, Microscopía electrónica y técnicas espectroscópicas como EDXS, XPS, RBS y AES, con el fin de que el alumno adquiera los conocimientos necesarios para poder aplicar estos métodos en el análisis de diversos tipos de materiales. Se empezará con los principios de simetría, grupos espaciales y conceptos de la red recíproca hasta terminar con la solución de estructuras cristalinas a partir de datos de difracción de rayos X así como la aplicación de las técnicas analíticas arriba mencionadas para caracterizar materiales. El propósito de este curso es proporcionar al estudiante los conocimientos requeridos para que comprenda el papel que juega la estructura de materiales en las propiedades que éstos presentan.

Metodología

Exposición de clase por el profesor en un 60 % con participación de los estudiantes tanto en prácticas como en la presentación de diversos tópicos que se les asignarán. El estudiante deberá entregar tareas obligatorias además de aprobar tres exámenes.

Forma de evaluación

Tareas 40%

Se asignarán una serie de problemas en un conjunto de 8 a 10 tareas en el semestre. Además de que los alumnos deberán exponer en clase un tópico que se les asigne.

Exámenes 60%

Dos exámenes, uno a medio semestre y otro al final del semestre.

CONTENIDO TEMÁTICO SINTÉTICO:
ESTRUCTURAS CRISTALINAS

1. Estructuras cristalinas

- El estado cristalino
- Geometría cristalina
- Simetría
- Índices de Millar
- Grupos puntuales
- Redes cristalinas
- Grupos espaciales
- Introducción a Macro, Meso, Micro y Nano estructuras de Materiales

TECNICAS DE CARACTERIZACION DE MATERIALES.

2. Microscopía y análisis de imagen

- Microscopía Óptica
- Naturaleza de la luz
- Principios de Óptica geométrica aplicables a Microscopía
- Principios de Óptica Física aplicados a Microscopía
- Características del movimiento ondulatorio
- Interacción de ondas
- Efectos de interferencia y patrones de difracción
- Microscopía de polarización
- Microscopía de contraste de fase
- Microscopía de contraste interferencial diferencial
- Preparación de muestras

2.2 Microscopía Electrónica

- Elementos básicos de la Microscopía electrónica de transmisión (TEM)
- Campo claro
- Campo oscuro
- Espectroscopía electrónica por TEM
- El Microscopio electrónico de alto voltaje
- Preparación de muestras para TEM
- Elementos básicos de la Microscopía electrónica de barrido (SEM)
- Modo de electrones secundarios
- Modo de emisión por retrodispersión
- Métodos de Análisis elemental por SEM
- Preparación de muestras

2.3 Análisis de imagen.

2.4 Difracción de rayos X

- Propiedades de rayos-X
- Fuentes de rayos X
- Difracción de rayos
- La red recíproca
- Ecuaciones de Laue
- La esfera de Ewald
- Métodos de difracción aplicables a policristales
- Métodos de difracción aplicables a monocristales

3. TECNICAS ESPECTROSCOPICAS.

- Espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDXS)
- Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS)
- Espectroscopía por Retrodispersión de Rutherford (RBS)
- Espectroscopía electrónica Auger (AES)

BIBLIOGRAFIA

- 1 Crystals and the Polarising Microscope. N. H. Hartshorne y A. Stuart. Edward Arnold Publ. Ltd. Londres, 1970.
- 2 Advanced Light Microscopy. 4 Vols. Maksymilian Pluta, Elsevier-PWN-Polish Scientific Publ. Amsterdam-Varsovia, 1988
- 3 Methods in X-Ray rystallography. J.W. Jeffery. Academic Press, Londres, 1971
- 4 Structure determination by X-Ray Crystallography. M.F.C. Ladd y R.A. Palmer. Plenum Press. Nueva Cork, 1978
- 5 Light and Electrón Microscopy. Elizabeth M. Slayter y Henry S. Slayter. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- 6 Microstructural characterization of Materials. David Brandon y Wayne Kaplan, John Wiley and Sons. Nueva York. N.Y. 1999.

11.3 Propiedades de Materiales I

Clave: H0740	Tipo de curso: Curso
Curso: Básico	Ciclo: Primer semestre (sugerido)
Duración total del curso: 62 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría y práctica• 32 horas de trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 4 horas de curso• 4 horas de trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivos generales

Que el alumno adquiera conocimientos sólidos sobre la relación entre propiedades mecánicas y la microestructura y defectos de los materiales. Que el alumno conozca las características mecánicas distintivas de cada tipo de material. Que sepa controlar las propiedades mecánicas de metales a través del control de su microestructura. Que el alumno conozca y prevenga el deterioro y falla de los materiales causados por el desgaste y la corrosión.

Objetivos de adquisición de habilidades:

El alumno sabrá medir y modificar la dureza de un material. El alumno medirá la corrosión y el desgaste y los relacionará con la microestructura. El alumno podrá diseñar componentes en cuanto a sus propiedades mecánicas y tribológicas.

Modalidad de Actividades de aprendizaje

Esta asignatura tiene una orientación teórica y práctica y requiere que el alumno dedique de 4 a 6 horas por semana de trabajo individual extra clase. La distribución de las actividades será la siguiente:

4 horas por semana de asistencia al aula

3 horas de exposición del profesor por semana

1 hora por semana de solución de problemas numéricos, de diseño y de laboratorio

4 prácticas de laboratorio de 2 horas cada una

FORMA DE EVALUACIÓN

Tareas 30 %, 2 series de problemas a entregar antes de cada examen, algunos serán de diseño de partes aplicando el conocimiento de materiales. Serán distribuidos en forma

personal.

2 Exámenes parciales, 50%.

Revisión bibliográfica y elaboración de reporte, exposición y discusión de las propiedades mecánicas de su material de estudio o que planea estudiar o de uno de los temas señalados como optativos con asterisco. 20 %. Para acreditar el curso se requiere aprobar los dos exámenes parciales-departamentales.

Contenido

1 Introducción

- Repaso de Enlaces atómicos y estructura atómica.

2. Defectos en el arreglo atómico

- Defectos puntuales
- Dislocaciones; Caso general, dislocación de tornillo y de borde
- Movimiento de las dislocaciones (vector de Burgers)
- Interacción entre dislocaciones rectilíneas
- Interacción entre dislocación y esfuerzo aplicado (Ley de Schmid)
- Interacción entre dislocación y defectos puntual
- Tensión de línea
- Fuerzas imágenes
- Dislocaciones parciales
- Defectos de superficie

3. Difusión

- Mecanismos de difusión
- Difusión en estado estacionario
- Difusión en estado no estacionario
- Factores de difusión
- Difusión y tratamientos de los materiales

4. Deformación Elástica

- Conceptos de deformación, esfuerzos, energía elástica
- Constantes elásticas, ley de Hooke,
- Bases atómicas del comportamiento elástico
- Efectos térmicos

- Anisotropía elástica
- Anelastecidad

5. Deformación Plástica

- Monocristales
- Interacción entre dislocaciones
- Esfuerzo de cedencia
- Esfuerzo real deformación real
- Endurecimiento por deformación
- Límites de grano
- Interacción entre defectos lineales y dislocaciones
- Endurecimiento de aleaciones
- Efecto de la temperatura

6. Ensayos mecánicos y tribológicos

- Prueba de tensión
- Prueba de flexión
- Prueba de impacto
- Prueba de rayado
- Prueba de dureza
- Ensayo de termofluencia
- Medición del desgaste y la fricción

7. Fractura

- Introducción
- Fractura Frágil, teoría de Griffith
- Fractura dúctil
- Mecánica de la fractura
- Aplicaciones en el diseño.

8. Fatiga

- Introducción
- Ensayo de fatiga
- Curva S-N. Límite de fatiga
- Iniciación de fisuras y su propagación
- Rapidez de propagación de fisura. Ley de Paris

- Factores que afectan la vida a la fatiga
- Aplicaciones en el diseño

9. Influencia de la microestructura sobre las propiedades mecánicas

- Diagramas de equilibrio de fases
- Transformaciones de fase en estado sólido
- Tratamientos térmicos de las aleaciones metálicas.
- Mecanismos de endurecimiento

10. Deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales

- Importancia y costos del desgaste y la corrosión.
- Efecto de la corrosión
- Corrosión bajo tensión
- Desgaste
- Detección y prevención de fallas
- Diseño para prevenir el desgaste y la corrosión
- Tratamientos superficiales

11. Propiedades mecánicas de los materiales cerámicos*

- Fractura frágil de los cerámicos
- Comportamiento elástico
- Cerámicas cristalinas y no cristalinas
- Influencia de la porosidad
- Dureza
- Termofluencia
- Vidrios, transición vítrea

12. Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos*

- Tipos de polímeros
- Comportamiento mecánico
- Mecanismos de deformación de polímeros semicristalinos
- Polímeros termoplásticos y termofijos
- Viscoelasticidad.- Módulo de relajación
- Termofluencia viscoelástica
- Elastómeros
- Resistencia al impacto, fatiga, resistencia al desgarre

- Aditivos
- Aplicaciones

13. Materiales compuestos*

- Tipos de materiales compuestos
- Compuestos reforzados con partículas
- Compuestos reforzados con fibras
- Requerimientos para la matriz
- Refuerzos

14. Propiedades mecánicas de microdispositivos*

- Materiales usados en la microelectrónica
- Efecto del proceso de depósito y las propiedades de los materiales
- Medición de propiedades a nivel micro y nano.
- Multicapas

15. Propiedades termodinámicas*

- Introducción
- Energías libres
- Potenciales termodinámicos
- Equilibrio de fases
- Regla de la palanca
- Energía superficial
- Velocidad de las reacciones
- Cambios de fase
- Sinterización
-

16. Prácticas de laboratorio

1 Medición de dureza

2 Control de dureza con Tratamientos térmicos

3 Relación de la microestructura con las Propiedades Mecánicas.

4 Relación de resistencia a la corrosión y microestructura, tratamiento térmico, trabajado en frío.

**Material a ser tratado como taller con la participación de los alumnos.*

Bibliografía Básica

1. Dieter G.E., *Mechanical Metallurgy*, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1986.
2. Nabarro F.R.N., *Theory of Crystal Dislocation*, Clarendon Press, Oxford, 1967.
3. Hirth J.P., Lothe J., *Theory of Dislocations*, McGraw-Hill Book, N.Y., 1968.
4. Ashby M.F. and Jones D.R.H., *Engineering Materials 1 & 2*, Pergamon Press, Oxford, 1980.
5. Young R.J., *Introduction to Polymers*, 2nd. Edition, Chapman and Hall, London, 1991.
6. Courtney, T.H., ***Mechanical Behavior of Materials***. McGraw-Hill, N.Y., 1990.
7. Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R., ***Introduction to Ceramics***. John Wiley, N.Y., 1976 (2da ed.).

Bibliografía Complementaria

- Reed-Hill R.E. and Abbaschian R., *Physical Metallurgy Principles*, 3rd. Edition, PWS Publishing Company, Boston, 1994.
- Burke J., *The Kinetics of Phase Transformations in Metals*, Pergamon Press, Oxford, 1968.
- Felbeck D.K. and Atkins A.G., *Strength and Fracture of Engineering Solids*, 2nd. Edition, Prentice Hall Engineering, Science & Math., 1996.
- W.D. Callister Jr., *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Reverté, 1995.

Bibliografía Introductoria

- D.R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Thomson, 1998.
- W.F. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Mc Graw Hill, 1998.
- Schaffer, et al. *Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería*, CECSA, 1999.
- J.H. Brophy, R.M. Rose y J. Wulff, *Propiedades termodinámicas, Ciencia de los materiales II*, Limusa, 1978.

11.4 PROPIEDADES DE MATERIALES II

Clave: H0741	Tipo de curso: Curso
Curso: Básico	Ciclo: Segundo semestre (sugerido)
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría y práctica• 32 horas de trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 horas de curso• 2 horas de trabajo individual
Créditos: 12	

Contenido temático: Fundamentos de la teoría electrónica. Propiedades eléctricas de los materiales. Propiedades ópticas de los materiales. Propiedades magnéticas de materiales.

Objetivos

Que el alumno adquiera y aplique conocimientos sólidos sobre las propiedades electrónicas de los materiales y como se originan. Que el alumno conozca y utilice las características distintivas de cada tipo de material.

Objetivos de adquisición de habilidades

Aplica los conocimientos en su proyecto de investigación o tesis. Que sea capaz de modificar las propiedades electrónicas de los materiales.

Forma de evaluación

Tareas 40 %, 2 series de problemas a entregar antes de cada examen, algunos serán de diseño de partes aplicando el conocimiento de materiales. Serán distribuidos en forma personal.

2 Exámenes parciales, 60%.

Para acreditar el curso se requiere aprobar los dos exámenes parciales-departamentales.

CONTENIDO TEMÁTICO SINTÉTICO.

1. Fundamentos de la teoría electrónica.

1.1. Dualidad onda – partícula; ecuación de Schrödinger.

1.2. Solución de la ecn. de Schöringen para problemas específicos.

1.2.1. Electrón libre

- 1.2.2. Electrón en un pozo de potencial
 - 1.2.3. Barrera finita de potencial
 - 1.2.4. Electrón en un potencial periódico (cristal)
- 1.3. Teoría de bandas en un cristal.
 - 1.3.1. Zonas de Brillouin
 - 1.3.2. Estructura de bandas de algunos metales y semiconductores
- 1.4. Electrones en cristales.
 - 1.4.1. Energía de Fermi y superficie de Fermi.
 - 1.4.2. Densidad de estados
 - 1.4.3. Consecuencias del modelo de bandas
 - 1.4.4. Masa efectiva
- 2. Propiedades eléctricas de los materiales.
 - 2.1. Conducción eléctrica en metales y aleaciones.
 - 2.1.1. Teorías sobre la conductividad: Modelo clásico y consideraciones cuánticas
 - 2.1.2. Resultados experimentales en materiales
 - 2.1.2.1. Metales puros
 - 2.1.2.2. Aleaciones
 - 2.1.2.3. Fenómenos termoeléctricos
 - 2.1.3. Superconductividad
 - 2.2. Semiconductores.
 - 2.2.1. Semiconductores intrínsecos
 - 2.2.2. Semiconductores extrínsecos
 - 2.2.2.1. Donadores y aceptores
 - 2.2.2.2. Estructura de bandas
 - 2.2.2.3. Efectos térmicos

- 2.2.2.4. Conducción
- 2.2.3. Efecto Hall
- 2.2.4. Dispositivos semiconductores.
 - 2.2.4.1. Contactos metal – semiconductor (Schottky, óhmico)
 - 2.2.4.2. Diodos: p – n, zener.
 - 2.2.4.3. Fotodiodos: Celdas solares
 - 2.2.4.4. Transistores
 - 2.2.4.5. Circuitos digitales y dispositivos de memoria
- 2.3. Conducción eléctrica en polímeros, cerámicas y materiales amorfos.
 - 2.3.1. Conducción en polímeros y materiales orgánicos
 - 2.3.2. Conducción iónica
 - 2.3.3. Conducción en óxidos metálicos
 - 2.3.4. Conducción en materiales amorfos
- 3. Propiedades ópticas de los materiales.
 - 3.1. Constantes ópticas
 - 3.1.1. Índice de refracción
 - 3.1.2. Constante de amortiguamiento
 - 3.1.3. Profundidad de penetración y absorbancia
 - 3.1.4. Reflectividad y transmitividad
 - 3.1.5. Relaciones de Hagen - Rubens
 - 3.2. Tratamiento clásico de las propiedades ópticas.
 - 3.2.1. Electrones libres en metales
 - 3.2.2. Reflectividad
 - 3.2.3. Electrones en materiales dieléctricos
 - 3.2.4. Contribuciones de los electrones libres y los osciladores armónicos a las

constantes ópticas

3.3. Tratamiento cuántico de las propiedades ópticas

3.3.1. Absorción de luz mediante transiciones inter e intra banda

3.3.2. Espectros ópticos de materiales

3.3.3. Dispersión

3.4. Aspectos prácticos.

3.4.1. Medidas de las propiedades ópticas

3.4.2. Espectro óptico de metales puros

2.4.3. Espectro óptico de aleaciones

2.4.4. Semiconductores y aislantes

2.4.5. Dispositivos ópticos

2.4.5.1. Láseres

2.4.5.2. Dispositivos optoelectrónicos

2.4.5.3. Dispositivos de almacenamiento óptico

4. Propiedades magnéticas de los materiales.

4.1. Tratamiento clásico de fenómeno magnético

4.1.1. Diamagnetismo

4.1.2. Paramagnetismo

4.1.3. Ferromagnetismo

4.1.4. Antiferromagnetismo y ferrimagnetismo

4.1.5. Teoría de Langevin

4.2. Consideraciones cuánticas

4.2.1. Paramagnetismo y diamagnetismo

4.2.2. Ferromagnetismo y antiferromagnetismo

4.3. Aspectos prácticos.

4.3.1. Materiales magnéticos suaves

4.3.2. Materiales magnéticos duros

4.3.3. Grabación magnética

4.3.4. Memorias magnéticas

REFERENCIAS

Libro de texto:

Hummel R.E., *Electronic Properties of Materials*, Springer-Verlag, Second edition, 1993.

Bibliografía Complementaria

1. Sutton A.P., *Electronic Structure of Materials*, 1st. Edition, Oxford Science Pub., 1994.
2. Kittel C., *Introduction to Solid State Physics*, John Wiley & Sons, 7th. edition, 1996.
3. McKelvey J.P., *Física del Estado Sólido y de Semiconductores*, Editorial Limusa, 1980.
4. Ibach H. and Lüth H., *Solid State Physics*, 3th. edition, Springer Verlag, 1993.
5. Harrison W.A., *Electronic Structure and the Properties of Solids*, Dover Publications, 1989.

11. Contenido de los cursos del Área de Formación Optativa

12.1 Diseño para microsistemas

Clave: H0761	Tipo de curso: Curso
Curso: Optativo	Ciclo:
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivo del curso

Formar al estudiante sobre los aspectos de diseño y de análisis de MEMS a través del modelado matemático, la simulación numérica y el uso de herramientas computacionales especializadas, tomando en cuenta cómo los procesos de fabricación influyen en la estrategia de diseño, y haciendo un énfasis particular en los aspectos teóricos involucrados de las diferentes ramas de la ingeniería, de la física y de las matemáticas.

Actividades de aprendizaje

El alumno debe realizar lecturas obligatorias y entregar un análisis de cada una de ellas. Algunas lecturas son las siguientes:

- Lectura unidad 2, restricciones para el diseño: *Introduction to Mems Physics and Design*.
- Lectura unidad 4: *Feynman et al. Lectures on Physics, Vol. 2, Chap. 36, 37*
* *J. Judy. PhD Thesis, Berkeley, 1996.*
- Lectura unidad 5: *W. C. Tang et al. Laterally driven polysilicon resonant microstructures. Proc. IEEE MEMS Workshop, pp. 53-59, 1989.*
* *T. Hirano, T. Furuhashi, K. J. Gabriel, H. Fujita. Design, Fabrication, and Operation of Submicron Gap Comb-Drive Microactuators. J. MEMS, Vol. 1, p. 52, 1992.*
- Lectura unidad 8: *Roark's Formulas for Stress and Strain. 6th ed. Warren C. Young, McGrawHill.*
- Lectura unidad 12, piezoeléctricos: *B. Kloeck, N. F. de Rooij. Mechanical Sensors, in Semiconductor Sensors, S. M. Sze (ed.), Ch. 4.*
- Lectura unidad 12, acelerómetros: *Tutorial, ADI VG on Accelerometer Design and Applications.*
* *ADXL202 Data Sheet.*
- Lectura unidad 12, giroscopio piezoeléctrico: *Maluf. An Introduction to MEMS Engineering. Pp. 31-35.*

El estudiante debe seleccionar un dispositivo MEMS ya comercializado y realizar un estudio completo relacionado con este dispositivo. El estudio debe incluir el diseño, el modelado, el análisis y el estudio de mercado de tal dispositivo.

El estudiante debe desarrollar un proyecto final por equipos que incluya el diseño, el análisis y las diferentes etapas de diseño de un dispositivo MEMS. El análisis debe ser analítico y numérico. Además, se debe hacer un estudio de mercado, así como un comparativo con soluciones similares pero que no incluyen MEMS.

Al final del semestre el estudiante debe entregar un reporte del proyecto y una presentación. El formato del proyecto deberá estar conforme al formato solicitado por alguna revista o congreso especializados en MEMS.

Los trabajos realizados por los estudiantes sólo serán aceptados si están bien presentados, bien redactados y bien documentados.

Criterios de evaluación y de acreditación

• Participación y presentaciones orales	10 %
• Tareas	30 %
• Proyectos y trabajos de investigación	40 %
• Examen final (mínimo 30%)	20 %
TOTAL	100 %

Asistencia mínima al curso: 80%

Programa

1. INTRODUCCIÓN (3 hrs – Semana 1)
 - Aplicación de los microsistemas
 - Tecnologías de fabricación
 - Microfísica y Escalado
 - Complejidad de los microsistemas
 - Estudios de mercado
 - Literatura
2. PRINCIPIOS DE DISEÑO DE SENSORES Y ACTUADORES (3 hrs – Semana 1 y 2)
 - Objetivos de diseño

- Elementos de un MEMS
 - Especificaciones de diseño
 - Reglas previas al inicio del diseño
 - Diseño y modelado de MEMS
 - Flujo de diseño de MEMS
 - Restricciones para el diseño
3. MODELADO Y SIMULACIÓN (4 hrs – Semana 2 y 3)
- Modelado matemático
 - Programas de cómputo
 - Simulación numérica
4. MODELADO DE SISTEMAS MAGNÉTICOS (6 hrs – Semana 3 y 4)
- Fenómenos y dispositivos magnéticos
 - Modelado y simulación
5. MODELADO DE SISTEMAS ELECTROESTÁTICOS (6 hrs – Semana 5 y 6)
- Fenómeno electrostático
 - Dispositivos
 - Modelado y simulación
6. DINÁMICA DE SISTEMAS (4 hrs – Semana 6 y 7)
- Dinámica de lazo abierto y de lazo cerrado
 - Compensación
 - Metodología de diseño
 - Dinámica no lineal
7. MODELADO DE ESTRUCTURAS ELÁSTICAS (6 hrs – Semana 7 y 8)
- Estructuras elásticas en MEMS
 - Tipos de estructuras
 - Estrés y esfuerzos
 - Modelado y simulación
8. MODELADO DE ESTRUCTURAS MECÁNICAS (6 hrs – Semana 9 y 10)
- Estructuras mecánicas en MEMS
 - Principios de medición

- Sensores y actuadores
- Método de Rayleigh-Ritz

9. MODELADO DE MEMS BASADOS EN EFECTOS TÉRMICOS (6 hrs – Semana 10 y 11)

- Principios físicos
- Modelado y simulación
- Dispositivos térmicos

10. RF MEMS (4 hrs – Semana 12)

- Introducción a los sistemas de RF
- Descripción de los dispositivos MEMS para RF
- Diseño, desempeño y confiabilidad
- Interruptores capacitivos y metálicos
- Modelado estático y dinámico
- Capacitores variables e inductancias con alto Q
- VCOs
- Resonadores y filtros
- Aplicaciones inalámbricas
- Antenas reconfigurables

11. MICROFLUÍDICA (2 hrs – Semana 13)

- Mecánica de fluidos
- Propiedades de los fluidos
- Dispositivos
- Modelado y simulación

12. CASOS DE ESTUDIO (8 hrs – Semana 13 a 15)

- Sensores piezoeléctricos
- Acelerómetros capacitivos
- Dispositivos de microespejos digitales
- Grating light valve
- Giroscopio piezoeléctrico

13. SENSORES INTELIGENTES Y MEMS (2 hrs – Semana 15)

- Introducción

- Sensores inteligentes
- Dispositivos MEMS

14. DISEÑO DE MÁSCARILLAS (4 hrs – Semana 16)

- Disposición física de los dispositivos diseñados
- Conexiones
- Generación de mascarillas

Bibliografía básica

1. J. A. Pelesko, D. H. Bernstein. *Modeling MEMS and NEMS*. Chapman & Hall/CRC, 2003.
2. S. D. Senturia. *Microsystem Design*, Kluwer Academic Publishers, 2001. ISBN: 0792372468.
3. S. M. Sze (ed.). *Semiconductor Sensors*. John Wiley & Sons, 1994. ISBN: 0-471-54609-7.
4. G.M. Rebeiz. *RF MEMS: Theory, Design, and Technology*, John Wiley & Sons, 2002.

Bibliografía complementaria

5. G. Arfken. *Mathematical Methods for Physicist*. Academia Press, 1970.
6. M.-H. Bao. *Micromechanical Transducers: Pressure sensors, accelrometers, and gyroscopes*. Elsevier, New York, 2000.
7. H. J. De Los Santos. *Introduction to Microelectromechanical (MEM) Microwave Systems*, Artech House, Boston, 1999.
8. S. Fatikow, U. Rembold. *Microsystem Technology and Microrobotics*. Springer, 1997.
9. M. Gad-El-Hak. *The MEMS Handbook*, CRC Press (September 27, 2001). ISBN: 0849300770.
10. J. W. Gardner, V. K. Varadan, O. O. Awadelkarim. *Microsensors, MEMS and Smart Devices*. John Wiley & Sons, December 2001. ISBN: 047186109X.
11. J. W. Gardner, *Microsensors: Principles and Applications*, Wiley, 1994.
12. J. M. Gere, S. P. Timoshenko, *Mechanics of Materials*, 2nd Edition, Brooks/Cole Engineering Division, 1984.
13. T. R. Hsu. *MEMS and Microsystems*. McGrawHill, 2002.
14. JEAGER
15. G. Kovacs. *Micromachined Transducers Sourcebook*, McGraw-Hill, Boston, 1998. ISBN 0-07-290722-3.
16. M. J. Madou. *Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization*.

- CRC Press, 2 edition (March 13, 2002). ISBN: 0849308267
17. N. Maluf. *An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering*. Artech House Publishers, 2nd edition (December 1, 1999). ISBN: 0890065810.
 18. G. S. May, S. M. Sze. *Fundamentals of Semiconductor Fabrication*. John Wiley & Sons, 2004.
 19. J. MEMS. Materials Selection in Micromechanical Design: An Application of the Asgby Approach, *Journal of MEMS*, 12(1), 2003, pp. 3-10.
 20. R. Muller, R. T. Howe, S. Senturia, R. Smith, R. White. *Microsensors*. IEEE Press, IEEE Number PC 0257-6, 1991. ISBN: 0-87942-245-9.
 21. L. Ristic (ed.). *Sensor Technology and Devices*, Artech House, 1994.
 22. S. M. Spearing. "Materials Issues in Microelectromechanical Systems", *Acta Materialia*, 48 (2000), pp. 179-196.
 23. M. Tabib-Azar, *Microactuators*, Kluwer, 1998.
 24. W. Trimmer (ed.). *Micromechanics and MEMS: Classic and Seminal Papers to 1990*. IEEE Press, IEEE Number PC4390, ISBN 0-7803-1085-3, New York, 1997.
 25. S. Wolf, R. N. Tamber. *Silicon Processing for the VLSI Era*. Vol. I: Process Technology, 1986.
 26. ZANT

Revistas

27. J. Microelectromechanical Systems (IEEE/ASME)
28. Sensors and Actuators (Elsevier)
29. Sensors and Materials (MYU, Japan -- in English)
30. J. Micromechanics and Microengineering (IOP)

Congresos

31. Transducers – International Conference on Solid-State Sensors and Actuators. Odd-numbered years since 1983. Proceedings available from IEEE (US Meetings), Elsevier (European Meetings), IEE Japan (Japanese Meetings).
32. MEMS – IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems. Annual since 1989.
33. Eurosensors. Annual since 1987. Proceedings published in special issues of Sensors and Actuators.
34. Solid-State Sensors and Actuators Workshop. Even-numbered years since 1984. Proceedings available from Transducer Research Foundation.
35. Japanese Sensor Symposium. Annual since 1982. Technical digest published in English by the Institute of Electrical Engineers of Japan (IEE).

12.2 Procesos para microsistemas

Clave: H0762	Tipo de curso: Curso
Curso: Optativo	Ciclo: Tercer semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 horas de curso• 2 horas de trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivo del curso

Proporcionar al estudiante una formación sólida en lo referente a los materiales, a las tecnologías y a los procesos utilizados para la fabricación de MEMS.

Actividades de aprendizaje

El alumno debe realizar lecturas obligatorias, las cuales le serán asignadas durante el semestre, y al final deberá entregar un análisis de cada una de ellas. Por ejemplo, leer los artículos de Richard Feynman sobre "Micro visión".

El alumno debe buscar la literatura necesaria para describir, de manera bien documentada, los materiales, las tecnologías y los procesos, haciendo énfasis en los pros y contras de cada uno de ellos, para la fabricación de un MEMS particular elegido por el propio estudiante o asignado por el maestro de la clase.

Además del proyecto individual de cada estudiante, éste deberá trabajar en equipo para desarrollar un proyecto de grupo.

Los trabajos realizados por los estudiantes sólo serán aceptados si están bien presentados, bien redactados y bien documentados.

Criterios de evaluación y de acreditación

• Participación y presentaciones orales	5 %
• Tareas	15 %
• Proyectos y trabajos de investigación	30 %
• Exámenes parciales y final (mínimo 30%)	50 %
TOTAL	100 %

Asistencia mínima al curso: 80%

Programa

1. DISEÑO Y ANÁLISIS DE MEMS (8 hrs – Semana 1 y 2)

- Introducción
- Principios de operación
- Cómo modelar y analizar un MEMS
- Proceso de diseño de un MEMS
- Métodos computacionales para el desarrollo de MEMS
- Procesos de fabricación
- Tratamiento de superficies, bonding, ensamblado, empaquetado, interfaceado, metrología/pruebas
- Diseño de un microsistema de acuerdo a un proceso de fabricación
- Diseño de mascarillas
- Modelado y simulación de MEMS
- Principios de operación
- Aplicaciones en los automóviles, en la medicina, en la biotecnología, en la tecnología ambiental, en la electrónica de consumo, en los sistemas inteligentes, en las comunicaciones, ...

2. SEMICONDUCTORES (8 hrs – Semana 3 y 4)

- Introducción
- Física de semiconductores
- Cristalografía y estructura cristalina
- Crecimiento de cristales
- Dopado de semiconductores
- Procesamiento general del silicio
- Metalización
- Tecnologías de la microelectrónica
- Fabricación microelectrónica

3. FENÓMENOS FÍSICOS EN LOS MEMS (4 hrs – Semana 5)

- Mecánica continua
- Conducción de calor
- Elasticidad

- Termoelasticidad
- Dinámica de fluidos
- Sistemas electromecánicos
- Electromagnetismo
- Piezoelectricidad
- Escalado

4. PRIMERA EVALUACIÓN PARCIAL (2 hrs – Semana 6)

5. PROCESOS DE FABRICACIÓN (2 hrs – Semana 6)

- Métodos por remoción de material
- Métodos por depósito de material

6. OXIDACIÓN TÉRMICA (4 hrs – Semana 7)

- Modelo de oxidación
- Estructura del SiO_2
- Caracterización
- Efecto de los dopantes durante la oxidación
- Dieléctricos térmicos alternativos
- Sistemas de oxidación

7. FOTOLITOGRAFÍA (4 hrs – Semana 8)

- Introducción
- Fundamentos físicos y químicos
- Tecnologías: óptica, rayo de electrones, ultravioleta, rayos X, rayo iónico
- Litografía óptica
- Fotoresistivos
- Litografía no óptica

8. GRABADO (2 hrs – Semana 9)

- Grabado húmedo
- Grabado seco
- Descripción de las tecnologías, procesos y potencialidades del grabado seco

9. DIFUSIÓN (2 hrs – Semana 9)

- Modelos de difusión
- Soluciones analíticas
- Análisis de perfiles difundidos
- Sistemas de difusión

10. IMPLANTACIÓN DE IONES (2 hrs – Semana 10)

- Sistemas ideales de implantación de iones
- Implantación de iones
- Daños de implantación y templado
- Procesos relacionados

11. PROCESOS TÉRMICOS RÁPIDOS (2 hrs – Semana 10)

- Radiación, intercambio de calor y absorción óptica
- Fuentes ópticas de alta intensidad y cavidad de reflexión
- Medición de temperatura
- Estrés
- Activación térmica rápida de impurezas
- Dieléctricos
- Formación de silicatos y contactos
- Sistemas avanzados

12. DEPÓSITO DE PELÍCULAS POR MÉTODOS FÍSICOS (4 hrs – Semana 11)

- Diagramas de fase
- Velocidades de depósito
- Sistemas de evaporación
- Crecimiento epitaxial
- Estructura y defectos en capas epitaxiales
- Crecimiento selectivo
- Depósito de dieléctricos
- Depósito de polisilicio
- Metalización

13. DEPÓSITO DE PELÍCULAS POR VAPOR QUÍMICO (4 hrs – Semana 12)

- Depósito por vapor químico (CVD)

- Equilibrio químico y ley de la acción de la masa
- Flujo de gas y capas limítrofes
- Evaluación del CVD
- Dieléctricos
- CVD de baja presión
- CVD con plasma
- CVD de metales

14. SEGUNDA EVALUACIÓN PARCIAL (2 hrs – Semana 13)

15. MICROMAQUINADO (4 hrs – Semana 13 y 14)

- Capacidades y limitaciones del micromaquinado
- Materiales para micromaquinado
- Micromaquinado de volumen
- Micromaquinado de superficie
- Tecnología de las capas de sacrificio
- Problemas de adhesión en micromaquinado de superficie

16. INTEGRACIÓN DE PROCESOS (4 hrs – Semana 14 y 15)

- Componentes pasivos
- Tecnología de semiconductores
- Tecnología MEMS
- Planarización
- Manufactura y pruebas
- Empaquetado
- Cableado e interconexiones
- Tipos de empaquetado
- Cuartos limpios
- Trabajo en cuartos limpios

PROCESOS PARA MEMS (4 hrs – Semana 15 y 16)

- LIGA
- MUMPS (Micromaquinado de superficie)
- SUMMiT Process (Micromaquinado de superficie)
- Polysilicon germanium (Integrated MEMS)
- SOI MEMS (Integrated MEMS)

- CMOS Foundry Process (Integrated MEMS)
- Microchannels etched in silicon or glass (Microfluidic chip)
- Polymer Molding Technique with PDMS (Microfluidic chip)

17. EVALUACIÓN FINAL (2 hrs – Semana 16)

Bibliografía básica

1. S. A. Campbell. *The science and engineering of microelectronic fabrication*. Oxford, 1996.
2. S. Fatikow, U. Rembold. *Microsystem Technology and Microrobotics*. Springer, 1997.
3. G. Kovacs. *Micromachined Transducers Sourcebook*, WCB McGraw-Hill, Boston, 1998. ISBN 0-07-290722-3.
4. M. J. Madou. *Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization*. CRC Press, 2 edition (March 13, 2002). ISBN: 0849308267
5. N. Maluf. *An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering*. Artech House Publishers, 2nd edition (December 1, 1999). ISBN: 0890065810.
6. G. S. May, S. M. Sze. *Fundamentals of Semiconductor Fabrication*. John Wiley & Sons, 2004.
7. S. D. Senturia. *Microsystem Design*. Kluwer Academic Publishers, 2001. ISBN: 0792372468.
8. S. M. Sze (ed.). *Semiconductor Sensors*. John Wiley & Sons, 1994. ISBN: 0-471-54609-7.

Bibliografía complementaria

9. M.-H. Bao. *Micromechanical Transducers: Pressure sensors, accelerometers, and gyroscopes*. Elsevier, New York, 2000.
10. M. Gad-EI-Hak. *The MEMS Handbook*, CRC Press (September 27, 2001). ISBN: 0849300770.
11. J. W. Gardner, V. K. Varadan, O. O. Awadelkarim. *Microsensors, MEMS and Smart Devices*. John Wiley & Sons, December 2001. ISBN: 047186109X.
12. R. Muller, R. T. Howe, S. Senturia, R. Smith, R. White. *Microsensors*. IEEE Press, 1991. ISBN: 0-87942-245-9.
13. J. A. Pelesko, D. H. Bernstein. *Modeling MEMS and NEMS*. Chapman & Hall/CRC, 2003.
14. W. Trimmer. *Micromechanics and MEMS: Classic and Seminal Papers to 1990*. IEEE Press, IEEE Number PC4390, ISBN 0-7803-1085-3, New York.
15. M. N. Horenstein. *Microelectronic circuits and devices*. 2nd ed.

12.3 Diseño de MEMS asistido por computadora

Clave: H0763	Tipo de curso: Curso
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 horas de curso• 2 horas de trabajo individual
Créditos: 8	

Objetivo del curso

Proporcionar al estudiante los conocimientos y las habilidades necesarias para un rápido desarrollo de sistemas microelectromecánicos haciendo uso del diseño asistido por computadora, favoreciendo a la vez un mejor conocimiento de la metodología de simulación, de las capacidades de determinadas herramientas y de una adecuada interpretación de resultados.

Actividades de aprendizaje

Los estudiantes deben realizar una investigación para conocer las herramientas desarrolladas para el diseño y el análisis de MEMS, así como de sus características, al momento de llevar a cabo dicha investigación.

El alumno debe realizar las lecturas obligatorias que le pida el maestro y para lo cual debe entregar un análisis de cada una de ellas.

El estudiante debe trabajar en equipo para hacer un análisis comparativo entre los diferentes métodos de diseño de los MEMS.

Al final del semestre, el alumno debe presentar el diseño y el análisis completo de un MEMS.

Los trabajos realizados por los estudiantes sólo serán aceptados si están bien presentados, bien redactados y bien documentados.

Criterios de evaluación y de acreditación

• Participación y presentaciones orales	10 %
• Tareas	20 %
• Proyectos y trabajos de investigación	35 %
• Examen parcial y final (mínimo 30%)	35 %
TOTAL	100 %

Asistencia mínima al curso: 80%

Programa

1. INTRODUCCIÓN (4 hrs – Semana 1)
 - Características de diseño de los microsistemas
 - Etapas de diseño de los microsistemas
 - Herramientas de cómputo actualmente disponibles
 - Ventajas y limitaciones de los programas disponibles
2. HERRAMIENTAS DE DISEÑO (4 hrs – Semana 2)
 - Modelado y simulación de MEMS
 - Programas para el diseño y análisis numérico
 - Programas para el diseño y análisis de MEMS
 - Programas para el diseño y análisis de sistemas
3. DISEÑO Y ANÁLISIS NUMÉRICO (8 hrs – Semana 3 y 4)
 - Aspectos básicos
 - Aspectos avanzados
 - Simulación numérica
4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE MEMS (8 hrs – Semana 5 y 6)
 - Características principales
 - Herramientas de diseño
 - Herramientas de análisis
 - Ejemplo de diseño
5. DISEÑO Y ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS (8 hrs – Semana 7 y 8)
 - Características principales
 - Herramientas de diseño
 - Herramientas de análisis
 - Ejemplo de diseño
6. EVALUACIÓN PARCIAL (4 hrs – Semana 9)
7. DISEÑO DE MASCARILLAS (4 hrs – Semana 10)
 - Disposición física de los dispositivos diseñados
 - Conexiones

- Generación de mascarillas
8. APLICACIONES INDUSTRIALES (4 hrs – Semana 11)
- Aplicaciones automotrices
 - Aplicaciones en tecnologías de la información
 - Aplicaciones biomédicas
 - Otras aplicaciones
9. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LOS MEMS (4 hrs – Semana 12)
- Electrostáticos
 - Magnéticos
 - Térmicos
 - De elasticidad
 - Fluídicos
 - Ópticos
10. DISEÑO DE MEMS (12 hrs – Semana 13 a 15)
- Modelado matemático
 - Simulación numérica
 - Análisis por elementos finitos
 - Análisis con dominios acoplados
 - Análisis de resultados
11. EVALUACIÓN FINAL (4 hrs – Semana 16)

Bibliografía básica

1. J. A. Pelesko, D. H. Bernstein. *Modeling MEMS and NEMS*. Chapman & Hall/CRC, 2003.
2. G.M. Rebeiz. *RF MEMS: Theory, Design, and Technology*, John Wiley & Sons, 2002.
3. S. D. Senturia. *Microsystem Design*, Kluwer Academic Publishers, 2001. ISBN: 0792372468.
4. S. M. Sze (ed.). *Semiconductor Sensors*. John Wiley & Sons, 1994. ISBN: 0-471-54609-7.
5. Manuales de Matlab/Simulink, Coventor, ANSYS, ...

Bibliografía complementaria

6. M.-H. Bao. *Micromechanical Transducers: Pressure sensors, accelerometers, and gyroscopes*. Elsevier, New York, 2000.
7. H. J. De Los Santos. *Introduction to Microelectromechanical (MEM) Microwave Systems*, Artech House, Boston, 1999.

8. S. Fatikow, U. Rembold. *Microsystem Technology and Microrobotics*. Springer, 1997.
9. M. Gad-El-Hak. *The MEMS Handbook*, CRC Press (September 27, 2001). ISBN: 0849300770.
10. J. W. Gardner, V. K. Varadan, O. O. Awadelkarim. *Microsensors, MEMS and Smart Devices*. John Wiley & Sons, December 2001. ISBN: 047186109X.
11. J. W. Gardner, *Microsensors: Principles and Applications*, Wiley, 1994.
12. T. R. Hsu. *MEMS and Microsystems*. McGrawHill, 2002.
13. G. Kovacs. *Micromachined Transducers Sourcebook*, McGraw-Hill, Boston, 1998. ISBN 0-07-290722-3.
14. R. Muller, R. T. Howe, S. Senturia, R. Smith, R. White. *Microsensors*. IEEE Press, IEEE Number PC 0257-6, 1991. ISBN: 0-87942-245-9.
15. L. Ristic (ed.). *Sensor Technology and Devices*, Artech House, 1994.
16. M. Tabib-Azar. *Microactuators*, Kluwer, 1998.
17. W. Trimmer (ed.). *Micromechanics and MEMS: Classic and Seminal Papers to 1990*. IEEE Press, IEEE Number PC4390, ISBN 0-7803-1085-3, New York, 1997.

12.4 Temas selectos de MEMS

Cave: H0764	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de taller	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 taller
Créditos: 12	

Objetivo del curso

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre un tema avanzado de MEMS.

12.5 Procesamiento y Caracterización de Películas Delgadas

Clave: H0770	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de taller	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 taller
Créditos: 1 2	

Prerrequisito: Estructura y caracterización de materiales

Objetivo del curso

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre procesamiento por métodos de vacío y caracterización de películas delgadas.

Contenido temático: Ciencia y tecnología del vacío. Métodos físicos de depósito. Métodos químicos de depósito. Estructura y formación de películas. Caracterización de películas.

CONTENIDO TEMÁTICO SINTÉTICO.

1. Tecnología del vacío (4 HORAS)

- Teoría cinética de gases
- Clasificaciones del vacío y sus características de presión, y camino libre medio.
- Transporte de gases y bombeo
- Bombas mecánicas, difusoras y turbo moleculares
- Medidores de presión y de flujo másico

2. Métodos físicos de depósito de películas (16 HORAS)

- Técnicas PVD, evaporación, chapeado iónico, arco catódico.
- Fundamentos de la descarga gaseosa y conceptos generales de plasmas
- Erosión iónica (sputtering)
- Mecanismos de sputtering
- Eficiencia de sputtering
- Erosión iónica con magnetron
- El campo magnético del magnetron
- Tipos de Magnetrones (Cilíndrico, S-gun, Planar)

- Sputtering reactivo y su histéresis
- Haz de iones
- Preparación de superficies para depósito de recubrimientos y películas

3. Métodos químicos de depósito de películas (4 HORAS)

- Depósito por solución
- Fundamentos de depósito por CVD
- Métodos físico – químicos de depósito

4. Crecimiento de películas (12 HORAS)

- Capilaridad
- Procesos de nucleación
- Diagramas de zonas de microestructura
- Técnicas de control del crecimiento
- Morfología de los granos

Capítulo 5. Caracterización de películas (16 horas)

- Espesor
- Rugosidad
- Caracterización de estructura y microestructura
- Caracterización de composición
- Medición de propiedades Mecánicas
- Medición de propiedades electrónicas

6. Temas optativos (8 horas)

- Medición de la densidad por RBS
- Medición del perfil de composición por AES y RBS.
- Medición de tensiones por DRX

Bibliografía.

1. Maissel L., Glang R., *Handbook of thin film technology*, McGraw Hill (1970)
2. Vossen J.L., Kern W., Eds., *Thin film processes*, Academic Press (1978)
3. Ohring M., *The materials science of thin films*, Academic Press (1992)
4. S. Rosnagel, J. Cuomo y W.D. Westwood, editores, *Handbook of Plasma Processing Technology*, Noyes Publications, (1990).

12.6 Ciencia de Materiales de Películas Delgadas

Clave: H0771	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Tercer semestre
Duración total del curso: 62 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de taller	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 taller
Créditos: 12	

Tipo: curso

Carácter del curso: Optativo

Carga total de horas: 60 horas de teoría

Prerrequisito: Propiedades de materiales II

Objetivo del curso

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre propiedades y caracterización de películas delgadas en un nivel avanzado.

Contenido temático: Propiedades de películas delgadas. Epitaxia. Interdifusión y reacciones en películas.

CONTENIDO TEMÁTICO SINTÉTICO.

1. Propiedades de películas delgadas

1.1. Propiedades mecánicas

- Elasticidad, plasticidad y comportamiento mecánico
- Tensiones en películas delgadas
- Adhesión
- Medición de dureza
- Desgaste
- Fatiga
- Interacción con el ambiente y corrosión

1.2. Propiedades eléctricas y magnéticas

- Conducción en películas metálicas
- Transporte eléctrico en películas aislantes
- Contactos semiconductores y estructuras MOS

- Superconductividad, ferroelectricidad y ferromagnetismo en películas delgadas
- Propiedades ópticas
- Óptica de películas delgadas

2. Epitaxia

- Aspectos estructurales
- Imperfecciones y desajustes en la red cristalina
- Métodos de depósito
- Crecimiento y caracterización de películas epitaxiales

3. Interdifusión y reacciones en películas delgadas

- Fundamentos de la difusión
- Interdifusión en películas metálicas
- Electromigración
- Reacciones metal –semiconductor
- Barreras de difusión
- Difusión y crecimiento de películas

4. Control de las propiedades

- Influencia del sustrato
- Influencia de los parámetros de depósito
- Polarización del sustrato y bombardeo iónico

Bibliografía.

1. Ohring M., *The materials science of thin films*, Academia Press (1992)
2. Maissel L., Glang R., *Handbook of thin film technology*, McGraw Hill (1970)
3. Adamson, A., Gast A., *Physical chemistry of surfaces*, Wiley Interscience (1997)

12.7 Aplicaciones de Películas Delgadas

Clave: H0772	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 62 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de taller	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 taller•
Créditos: 12	

Objetivo del curso

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre aplicaciones de películas delgadas en un nivel avanzado.

Contenido temático: Modificación de películas y superficies. Películas delgadas y sus aplicaciones. Películas delgadas de materiales emergentes y sus aplicaciones.

CONTENIDO TEMÁTICO SINTÉTICO.

Capítulo 1. Modificación de películas y superficies.

1.1. Efectos de modificación por láser y sus aplicaciones

1.2. Modificación por haz de iones y sus aplicaciones

Capítulo 2. Películas delgadas y sus aplicaciones

2.1. Películas delgadas para dispositivos magnéticos

2.1.1. Memorias de acceso aleatorio (RAM)

2.1.2. Memorias secuenciales

2.1.3. Dispositivos de grabado magnético

2.2. Películas delgadas para dispositivos activos

2.2.1. Transistores de efecto de campo (TFT's)

2.2.2. Diodos

2.2.3. Películas fotoconductoras

2.3. Dispositivos ópticos

2.3.1. Grabado óptico

2.3.2. Óptica integrada

Capítulo 3. Películas delgadas de materiales emergentes y sus aplicaciones.

3.1. Dispositivos superconductores

3.1.1. Uniones Josephson

3.1.2. Detectores de radiación

3.2. Dispositivos de materiales ferroicos

3.2.1. Memorias ferroeléctricas de acceso aleatorio (FRAM's)

3.2.2. Dispositivos electroópticos

3.3 Recubrimientos metalúrgicos

3.4 MEMS

3.5 Multicapas

Bibliografía

1. Ohring M., *The materials science of thin films*, Academia Press (1992)
2. Maissel L., Glang R., *Handbook of thin film technology*, McGraw Hill (1970)
3. Xu, Y., *Ferroelectric materials and their applications*, North-Holland (1991)

12.8 Películas delgadas duras

Clave: H0773	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas taller	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 taller
Créditos: 12	

Objetivos generales

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre el crecimiento y aplicaciones de los recubrimientos duros. Que el estudiante sea capaz de aplicar y evaluar recubrimientos para mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste de aceros.

Objetivos particulares

Que el estudiante conozca los métodos para controlar las propiedades en películas delgadas y recubrimientos. Que el estudiante sea capaz de interpretar los resultados de las caracterizaciones estructurales y de propiedades de los recubrimientos. Que sea capaz de correlacionar la resistencia a la corrosión con la microestructura.

Actividades de aprendizaje

Se impartirá el contenido de los cursos en el aula y algunos temas serán tratados en forma de seminario con la participación de los estudiantes en la exposición. Como parte fundamental del curso el alumno elaborará un reporte de los resultados de la caracterización de los recubrimientos proporcionados por el profesor después de realizar los depósitos. Se depositarán grupos de muestras a diferentes condiciones como la temperatura del sustrato y su polarización, las muestras se distribuirán entre los alumnos y al final se discutirán las diferencias en la microestructura y en sus propiedades. Para depositar los recubrimientos se realizará una práctica presencial-participativa. Para caracterizar los recubrimientos el estudiante realizará la práctica con la supervisión del profesor.

Forma de evaluación

40% Examen

40% Reporte escrito de los resultados de la caracterización

20% Exposición del reporte de los resultados de la caracterización

Contenido

1. Recubrimientos metalúrgicos

1.1. Materiales para recubrimientos duros

4.1.1 Recubrimientos metálicos

4.1.2 Recubrimientos cerámicos

4.1.3 Carburos

4.1.4 Nitruros

4.1.5 Recubrimientos de carbono: DLC y diamante

1.2 Tratamientos superficiales

2. Medición de las propiedades de los recubrimientos

2.1 Mecánicas

2.2 Tribológicas

2.3 Electroquímicas

2.4 Composición, Estructura y Morfología

3. Correlación de las propiedades con los parámetros de depósito

3.1 Características del plasma (densidad, temperatura, V_p - V_f)

3.2 Reacciones en el plasma

3.3 Bombardeo de las películas en crecimiento

3.3.1 Energía de los adátomos

3.3.2 Calentamiento atómico

3.3.3 Relación de arribo ión-átomo y energía de las partículas

3.4 Relación entre la microestructura y las propiedades

4. Multicapas

- 4.1 Características de multicapas respecto a monocapas
- 4.2 Efectos del periodo y la composición en la deformación y fractura de multicapas
- 4.3 Depósito de multicapas
- 4.4 Control de las propiedades de multicapas nanoestructuradas
- 4.5 Multicapas metal-cerámico
- 5. Aplicaciones
 - 5.1 Aplicaciones tribológicas
 - 5.2 Resistencia a la corrosión y biomateriales
 - 5.3 Recubrimientos multifuncionales
- 6. Depósito y Caracterización
 - Depósito de recubrimientos, preparación del sustrato, parámetros de depósito por espurreo.
 - Identificación de fases, y medición microestructura de recubrimientos de TiN por DRX
 - Medición de la resistencia a la corrosión en recubrimientos
 - Medición y cálculo de tensiones en películas por DRX
- 7. Prácticas de laboratorio
 - 1. Depósito de recubrimientos con las condiciones y con la combinación sustrato-película diseñadas por el estudiante.
 - 2. Medición de la corrosión electroquímica, comparación entre las muestras depositadas y el sustrato.
 - 3. Identificación de fases por DRX
 - 4. Cálculo del tamaño de grano y de tensiones por DRX.

Bibliografía.

1. B. Bhushan, B.K. Gupta, Handbook of Tribology Materials, Coatings, and surface Treatments, Krieger Publishing Company, (1997).
2. S. Rossnagel, J. Cuomo y W.D. Westwood, editores, *Handbook of Plasma Processing Technology*, Noyes Publications, (1990).
3. Maissel L., Glang R., *Handbook of thin film technology*, McGraw Hill (1970)
4. Vossen J.L., Kern W., Eds., *Thin film processes*, Academic Press (1978)
5. Ohring M., *The materials science of thin films*, Academic Press (1992)
6. B. D. Cullity, *Elements of X-ray Diffraction*, Wesley, (1978).

7. D. A. Jones, Principles and prevention of corrosion, Macmillan, (1992).

Artículos de revistas

1. G.S. Was and T. Foecke, *Deformation and Fracture in microlaminates*, Thin Solid Films, 286, pp. 1-31, (1996).
2. Stephen J. Lloyd and Jon M. Molina-Aldareguia¹, Multilayered materials: a palette for the materials artist, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* (2003).

12.9 Temas selectos de películas delgadas

Clave: H0774	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de taller	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 taller
Créditos: 12	

Objetivo del curso

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre un tema avanzado de películas delgadas el cual podría ser impartido por profesores huéspedes.

12.10 Biomateriales

Clave: H0776	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de laboratorio	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 curso• 2 taller
Créditos: 12	

ORGANIZACIÓN DEL CURSO

4 h/semana semana

3 h/semana exposición

1 h/semana laboratorio

Mínimo 3 prácticas de laboratorio de 2 horas cada una

OBJETIVOS

Entender cómo las propiedades físicas, químicas, ultraestructurales y morfológicas determinan las propiedades de materiales biológicos, para ser capaces de diseñar biomateriales con propiedades específicas para aplicaciones especiales.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Propiedades de materiales (I) o similar.

ORIENTACIÓN

Esta asignatura tiene una orientación teórica y práctica y requiere que el alumno dedique de 2 a 4 horas por semana de trabajo individual extra clase.

FORMA DE EVALUACIÓN

Proyecto en biomateriales 30%

Tareas 10%

Exámenes parciales 60%

TEMARIO

Introducción

1. Teoría básica de elasticidad y viscoelasticidad

2. Proteínas
3. Azúcares
4. Fibras y Gelatinas
5. Mucosas
6. Matrices flexibles
7. Esqueletos blandos y absorbedores de impacto
8. Materiales rígidos –compositos fibrosos
9. Cerámicas biológicas
10. Biomimetismo y materiales inteligentes

Biomecánica

1. Propiedades mecánicas de:
 - a) Líquidos
 - b) Cerámicas
 - c) Compositos
 - d) Fibras
 - e) Cartílagos y coyunturas
2. Plantas
3. Adhesivos

Biomateriales

1. Propiedades de materiales (Superficiales y de volumen)
2. Materiales utilizados en medicina
3. Tejidos
4. Biocompatibilidad
5. Implantación.

REFERENCIAS

- 1 Vincent, J. *Structural Biomaterials*, Revised edition, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1990.
- 2 Vincent, J. F. V. Editor. *Biomechanics Materials a Practical Approach*, IRL Press at Oxford University Press, Oxford New York Tokyo, 1992.
- 3 Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., and Lemons, J. E. Editores. *Biomaterials Science an Introduction to Materials in Medicine*, Academic Press, 1996.
- 4 Sheldon, R. P. *Composite Polymeric Materials*, Applied Science Publishers, 1982.
- 5 Seymour, R. B., and Carraher, Ch. E. *Structure-Property Relationships in Polymers*, Plenum Press, 1984.
- 6 Kausch, H. H. *Polymer Fracture* Springer-Verlag (1987).

- 7 Young R.J., *Introduction to Polymers*, 2nd. Edition, Chapman and Hall, London, 1991.
- 8 Courtney, T.H., *Mechanical Behavior of Materials*, McGraw-Hill, N.Y., 1990.
- 9 Paul, D. R. and Sperling, L. H. editors, *Multicomponent Polymer Materials*, American Chemical Society, 1986.
- 10 Tuttle, M. E., *Structural Analysis of Polymeric Composite Materials*, New York: Marcel Dekker Incorporated, 2003.

12.11 Interacción de la radiación con la materia

Clave: H0777	Tipo de curso: Curso - Taller
Curso: Optativo	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de teoría• 32 horas de laboratorio	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 3 curso• 1 taller
Créditos: 12	

Objetivos

- Entender los procesos fundamentales que ocurren en la interacción de la radiación con la materia.
- Analizar los efectos principales que ocurren en distintos materiales, incluyendo los biológicos, al ser expuestos a la radiación ionizante.
- Conocer los mecanismos de detección de la radiación, así como mejorar y/o diseñar métodos para medir la dosis depositada por radiación en diferentes materiales y diferentes aplicaciones, incluyendo el área de la salud.

Habilidades

Diseñará métodos para medir la dosis depositada por radiación en diferentes materiales y diferentes aplicaciones, incluyendo el área de la salud.

Evaluación

Teoría -70%:

3 exámenes parciales: 25%

1 examen final: 25%

Tareas: 20%

Laboratorio – 30%

Es requisito indispensable asistir a las prácticas de laboratorio, y se tomará en cuenta el

desarrollo del trabajo experimental y la calidad del reporte escrito.

Para aprobar el curso es necesario tener calificación aprobatoria en la teoría y en el laboratorio.

1.- Introducción: Estructura atómica de la materia y radiación atómica

1. Naturaleza atómica de la materia
2. El átomo de Rutherford
3. El átomo de Bohr
4. Mecánica semiclásica:

Mecánica cuántica:

- 4.1. Principio de De Broglie
- 4.2. Principio de Exclusión de Pauli
5. Descubrimiento de los rayos-X

2.- Nociones de física nuclear

1. Notación y definiciones (isótopos, isóbaros, isótonos e isodiáferos)
2. Masa atómica
3. Tabla nuclear
4. Energía de enlace por nucleón
5. Principales modelos nucleares
6. Espectro electromagnético

3.- Estructura nuclear y la radiación nuclear

1. El núcleo
2. Decaimientos radiactivos:

Decaimiento alfa

- 2.2. Decaimiento beta más y beta menos
- 2.3 Conversión interna
- 2.4 Captura electrónica
- 2.5 Emisión de rayos gamma

4.- Actividad y equilibrio

1. Actividad
2. Decaimiento exponencial

3. Actividad específica
4. Decaimiento radiactivo serial:

5.- Radiación Ionizante

1. Tipos de radiación ionizante
2. Consecuencias de la naturaleza azarosa de la radiación

6.- Interacción de partículas cargadas con la materia

1. Tipos de colisiones
 - 1.1. Colisiones inelásticas
 - 1.2. Colisiones elásticas
2. Concepto de Poder de frenado
3. Concepto de Alcance
 - 3.1. Alcance CSDA
 - 3.2. Alcance proyectado
4. Concepto de LET

7.- Interacción de la radiación electromagnética con la materia

1. Efecto Compton
2. Efecto fotoeléctrico
3. Producción de pares

8.- Efectos de la radiación en diferentes materiales

1. Concepto de dosis
2. Ejemplos de los efectos de la radiación en polímeros y compuestos químicos
3. Efectos de la radiación en materiales biológicos

9.- Detectores de radiación

1. Detectores que contienen gas: Principios básicos
 - 1.1. Cámaras de ionización
 - 1.2. Detectores proporcionales
 - 1.3. Contadores Geiger-Muller
2. Detectores semiconductores

- 2.1. Detectores centelladores
- 2.2. Propiedades básicas
- 2.3. Tubos fotomultiplicadores
- 2.4. Centelladores orgánicos e inorgánicos
- 3. Películas radiográficas y de tinte radiocrómico
- 4. Detectores termoluminiscentes

10.- Instrumentación electrónica en sistemas de detección de la radiación

- 1. Preamplificadores y amplificadores
- 2. Analizadores de pulso alto
- 3. Contadores digitales
- 4. Tubo de rayos catódicos
- 5. Osciloscopios
- 6. Monitores de televisión

Bibliografía recomendada:

- Atoms, radiation and radiation protection
J. Turner
John Wiley & Sons, Inc.
- Radiation detection and measurement
G. F. Knoll
John Wiley & Sons, Inc.
- The atomic nucleus
Evans, R. D.
Mc. Graw-Hill Book Co. Inc.
- Basic ideas and concepts in nuclear physics
K. Heyde
Institute of physics publishing.
- Introductory nuclear physics
Krane, K. S.
John Wiley & Sons, Inc.
- Introduction to radiological physics and radiation dosimetry

F. Attix

John Wiley & Sons, Inc.

- Tabla periódica de elementos
- Tabla de radionúclidos
- Artículos de investigación en revistas especializadas

13 Contenido de las unidades de aprendizaje del área de formación metodológica para cada nivel y programa

13. Seminarios del doctorado en Ciencia de Materiales

13.1 Seminario DI

Clave: H0746	Tipo de curso: Taller
Curso: Obligatorio	Ciclo: Primer semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de taller• 32 horas trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 taller• 2 trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivos generales

Que el alumno defina el área y el alcance de su tema de tesis.

Habilidades

El alumno será capaz de: hacer búsquedas en bases de datos, revisar bibliografía, hacer síntesis del avance de la técnica.

Calificación:

50% Presentación oral y escrita de una de las técnicas experimentales y del proyecto de investigación.

50% Reporte de la revisión bibliográfica.

Actividades de aprendizaje

Actividades del profesor

- Explicar las partes que contiene un proyecto de investigación (antecedentes, justificación, metodología, cronograma de actividades, objetivos y metas).
- Asesorar al alumno en la elaboración del proyecto de investigación que defenderá en el examen de candidatura al doctorado.
- Revisar el avance del desarrollo de proyecto de investigación

Actividades del alumno

- Hacer revisión bibliográfica del tema de investigación
- Entregar reporte de avance de proyecto de investigación, presentación oral y escrita.
- Exponer ante el grupo una o varias de las técnicas experimentales o teóricas usadas en el desarrollo de su tema de tesis.

13.2 Seminario DII

Clave: H0747	Tipo de curso: Taller
Curso: Obligatorio	Ciclo: Segundo semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de taller• 32 horas trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 taller• 2 trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivos generales

Que el alumno avance en el desarrollo de su investigación. Que identifique la originalidad de su investigación.

Habilidades

Evaluar su investigación. Presentación oral de proyectos.

Calificación:

50% Presentación oral y escrita de una de las técnicas experimentales contempladas en el proyecto de tesis y reporte de la revisión bibliográfica.

50% Presentación oral y escrita del reporte de avance del proyecto de investigación

Actividades del profesor

- Explicar la forma de establecer el “estado del arte” de un campo de investigación.
- Asesorar al alumno para que pueda identificar si su tema de investigación esta dentro del “estado del arte” y su originalidad.

Actividades del alumno

- Entregar avances del proyecto de investigación durante el semestre
- Exponer ante el grupo una(s) de las técnicas experimentales o teóricas usadas en el desarrollo de su tema de tesis.

13.3 Seminario DIII

Clave: H0748	Tipo de curso: Taller
Curso: Obligatorio	Ciclo: Tercer semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de taller• 32 horas trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 taller• 2 trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivos generales

Que el alumno avance en el desarrollo de su investigación. Que maneje las técnicas usadas en su tesis.

Habilidades

Presentación oral de un proyecto.

Calificación:

80 % Borrador de tesina y proyecto de investigación.

20 % Ensayo de examen de candidatura.

Actividades del profesor

- Explicar la forma de procesar y presentar los datos experimentales.
- Explicar la forma de evaluar el avance de un proyecto de investigación.
- Asesorar al alumno en la forma de escribir la tesina y proyecto de investigación que defenderá en el examen de candidatura al doctorado, incluyendo citas. índice, antecedentes, desarrollo experimental, resultados, conclusiones e introducción.
- Asesorar al alumno en la revisión de la redacción de la tesina.
- Exponer las partes de una disertación oral de examen de candidatura y comentar la forma de mejorar el ensayo hecho por el alumno.
- Asesorar al alumno en la elaboración del reporte de avance del proyecto de investigación.

Actividades del alumno

- Entregar avances de la redacción de la tesina durante el semestre
- Al final del semestre debe presentar el borrador de la tesina y proyecto de investigación,
- Ensayo de examen de candidatura ante el profesor del seminario.

13.4 Seminario DIV

Clave: H0749	Tipo de curso: Taller
Curso: Obligatorio	Ciclo: Cuarto semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de taller• 32 horas trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 taller• 2 trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivos generales

Que el alumno avance en el desarrollo de su investigación. Que avance en la redacción de su tesis.

Habilidades

Redacción de documentos científicos.

Calificación:

50% Avance de tesis, presentación oral y escrita que incluya los antecedentes y el índice.
50% Borrador de artículo de investigación.

Actividades del profesor

- Explicar las partes que contienen, una tesis, un artículo de investigación, un reporte técnico y una memoria.
- Asesorar al alumno para elaborar un artículo en inglés.
- Revisar el avance del proyecto de tesis
- Asesorar al alumno en la elaboración del esquema o índice de la tesis.

Actividades del alumno

- Entregar reportes de avance de redacción de la tesis, presentación oral y escrita.
- Diseñar los capítulos de la tesis.
- Escribir los antecedentes de la tesis.

13.5 Seminario DV

Clave: H0750	Tipo de curso: Taller
Curso: Obligatorio	Ciclo: Tercer semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de taller• 32 horas trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 taller• 2 trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivos generales

Que el alumno avance en el desarrollo de su investigación. Que avance en la redacción de su tesis.

Habilidades

Redacción de artículos de investigación científica.

Calificación

50% copia de artículo enviado o aceptado en revista internacional con arbitraje estricto.

50% Borrador de la tesis con un avance significativo excepto en la parte de resultados.

Actividades del profesor

- Asesorar al alumno para elaborar las partes de un artículo en inglés para una revista internacional.
 - a) Contenido del resumen
 - b) Palabras clave
 - c) Introducción, como plantear la originalidad y la necesidad o hueco que llena el artículo.
 - d) Descripción de los experimentos con información suficiente para que sean reproducibles
 - e) Presentación de resultados, gráficas, tablas etc.
 - f) Discusión y conclusiones
- Revisar el avance del proyecto de tesis.
- Asesorar al alumno en la corrección de la redacción de la tesis.

Actividades del Alumno

- Exponer en forma oral los resultados obtenidos y que se publicarán.

- Escribir y enviar el artículo de investigación
- Analizar los resultados y avanzar en la redacción de la tesis.

13.6 Seminario DVI

Clave: H0751	Tipo de curso: Taller
Curso: Obligatorio	Ciclo: Tercer semestre
Duración total del curso: 64 hrs <ul style="list-style-type: none">• 32 horas de taller• 32 horas trabajo individual	Horas semanales: <ul style="list-style-type: none">• 2 taller• 2 trabajo individual
Créditos: 12	

Objetivos generales

Que el alumno avance en el desarrollo de su investigación. Que concluya la redacción del borrador de su tesis y lo presente al jurado de examen.

Habilidades

Redacción de documentos científicos. Presentaciones orales de resultados.

Calificación

80% Borrador de la tesis revisado por el asesor.

20% Ensayo de examen de grado

Actividades del profesor

- Asesorar al alumno en la corrección de la redacción de la tesis.
- Asesorar al alumno para mejorar el ensayo de examen de grado.
- Revisar el borrador de la tesis respecto a su presentación.

Actividades del alumno

- Entregar reportes de avance de redacción de la tesis,
- Al final del semestre entregar borrador completo de la tesis revisado por el asesor.
- Presentar ensayo de examen de grado

Bibliografía recomendada para todos los seminarios

- 1 A. L. Cervo, P.A. Bervian, Metodología Científica, Mc Graw Hill, 1980.
- 2 Ángeles Mendieta Altorre, Métodos para la investigación y manual académico, Porrúa, México 1996.
- 3 Miguel López Ruiz, Elementos para la investigación (Metodología y redacción), UNAM, México, 1992.
- 4 Booth W. C., Colomb G. G., Williams J. M. (2001). Cómo convertirse en un hábil investigador. Gedisa.
- 5 Galindo C., Galindo M., Torres-Michúa A. (1997). Manual de redacción e investigación. Guía para el estudiante y el profesionista. Grijalbo.
- 6 Gutiérrez Sáenz R., Sánchez González J. (1998). Metodología del trabajo intelectual. Esfinge. 16ª edición.
- 7 Muñoz Razo C. (1998). Como elaborar y asesorar una investigación de tesis. PEARSON, Prentice Hall.
- 8 Orna E., Stevens G. (2001). Cómo usar la información en trabajos de investigación. Gedisa.
- 9 Phillips E. M., Pugh D. S. (2000). Cómo obtener un doctorado. Manual para estudiantes y tutores. Gedisa.
- 10 Readers's Digest. (1994). Hablar y escribir bien. La llave del éxito. Readers's Digest México.
- 11 Rojas Soriano R. (1981). El proceso de la investigación científica. Trillas.
- 12 Teresa Serafini M. (1991). Cómo se estudia. La organización del trabajo intelectual. Instrumentos Paidós, No. 8. México.
- 13 Walker M. (2000). Cómo escribir trabajos de investigación. Gedisa.

