

**COURSE DATA****Data Subject**

<b>Code</b>	43305
<b>Name</b>	Optoelectronic materials and devices
<b>Cycle</b>	Master's degree
<b>ECTS Credits</b>	6.0
<b>Academic year</b>	2023 - 2024

**Study (s)**

<b>Degree</b>	<b>Center</b>	<b>Acad. Period</b>	<b>year</b>
2150 - Master's degree in Advanced Physics	Faculty of Physics	1	First term

**Subject-matter**

<b>Degree</b>	<b>Subject-matter</b>	<b>Character</b>
2150 - Master's degree in Advanced Physics	5 - Optoelectronics	Optional

**Coordination**

<b>Name</b>	<b>Department</b>
MARTINEZ PASTOR, JUAN PASCUAL	175 - Applied Physics and Electromagnetism
MARTINEZ TOMAS, M DEL CARMEN	175 - Applied Physics and Electromagnetism
MUÑOZ SANJOSE, VICENTE	175 - Applied Physics and Electromagnetism

**SUMMARY**

The content of the course develops the different aspects of materials and devices technologies, and is organized in three parts:

**PARTE 1: CRYSTAL GROWTH AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION**

1. Concepts and growth methods.



2. Deposition of thin films and nanostructures: MOCVD and Spray-Pyrolysis.
3. Structural characterization.

## PARTE 2: MICROELECTRONICS AND BANDGAP ENGINEERING

4. Microelectronics: wafers (coatings, oxydation, diffusion), lithography techniques (optical, electron beam), chemical and plasma etching.
5. Bandgap engineering of semiconductor heterostructures for optoelectronic devices.

## PARTE 3: OPTOTELECTRONIC DEVICES

6. Electroluminescent diodes (LED) in visible and NIR: from lighting to quantum light devices.
7. Technology of laser diodes.
8. Technology of photo-detectors: photodiodes (p-i-n, avalanche), CCD and CMOS.

## PREVIOUS KNOWLEDGE

### Relationship to other subjects of the same degree

There are no specified enrollment restrictions with other subjects of the curriculum.

### Other requirements

To follow up the contents of the module a basic background in Physics of Solids (band theory, lattice vibrations, electrical properties) is needed, as well as a basic but more specific knowledge in Physics of Semiconductors (statistical of carriers, carriers out of equilibrium and optical properties) and in basic electronic devices (p-n diode, for example).

## COMPETENCES (RD 1393/2007) // LEARNING OUTCOMES (RD 822/2021)

### 2150 - Master's degree in Advanced Physics

- Students should demonstrate self-directed learning skills for continued academic growth.
- Students should possess and understand foundational knowledge that enables original thinking and research in the field.
- Ser capaz de gestionar información de distintas fuentes bibliográficas especializadas utilizando principalmente bases de datos y publicaciones internacionales en lengua inglesa.
- ?
- ?



- Poseer la capacidad para el desarrollo de una aptitud crítica ante el aprendizaje que le lleve a plantearse nuevos problemas desde perspectivas no convencionales.  
?  
?
- Comprender de una forma sistemática el campo de estudio de la Física y el dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho campo.
- Concebir, diseñar, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación con seriedad académica.
- Realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas en el área de la Física.
- Analizar una situación compleja extrayendo cuales son las cantidades físicas relevantes y ser capaz de reducirla a un modelo parametrizado.
- Evaluar la validez de un modelo o teoría propuesto por otros miembros de la comunidad científica.
- Saber modelizar matemáticamente los problemas físicos sencillos nuevos, conectados con problemas conocidos. Ser capaz de expresar en términos matemáticos nuevas ideas.
- Elaborar una memoria clara y concisa de los resultados de su trabajo y de las conclusiones obtenidas en el área de la Física.
- Exponer y defender públicamente el desarrollo, resultados y conclusiones de su trabajo en el área de la Física.
- Comprender las bases físicas de las propiedades de los materiales que determinan sus aplicaciones optoelectrónicas.
- Comprender cómo se modifican las propiedades optoelectrónicas de los materiales en medios nanoestructurados y su influencia en dispositivos optoelectrónicos/fotónicos.
- Comprender las técnicas más habituales de preparación, crecimiento y caracterización de materiales optoelectrónicos en monocristal, capa delgada o nanoestructura.
- Comprender el funcionamiento de los dispositivos optoelectrónicos a partir de las propiedades de los materiales y la estructura del dispositivo, así como conocer los avances recientes en el campo.
- Ser capaz de seleccionar los materiales y diseñar (aspectos más básicos) un dispositivos optoelectrónico que permita abordar una aplicación o problema planteado.

## LEARNING OUTCOMES (RD 1393/2007) // NO CONTENT (RD 822/2021)

At the end of the teaching-learning process the student must have learned:

1. Understanding the physical basis of the material properties that determine their optoelectronic applications.



2. Understanding how to modify the optoelectronic properties of nanostructured materials.
3. Understanding the most common techniques of preparation and crystal growth of optoelectronic materials (bulk, films and layers, nanostructures) and characterization techniques relevant to optoelectronic applications and photonics.
4. Understanding the operation of optoelectronic devices (emission, modulation and detection of light) from the basic properties and structure of the device.
5. Being able to select or design optoelectronic devices that allow to solve an application or problem, both in basic research laboratories, such as R & D as in an industrial environment (sensors and bio-optical sensors, spectroscopy for physic-chemical process control, optical communications, ...).

## DESCRIPTION OF CONTENTS

### 1. Concepts and growth methods

En este tema se proporcionan las bases generales del crecimiento de cristales y su caracterización estructural, con especial énfasis en materiales semiconductores. En una primera parte se empieza con unas nociones básicas sobre el crecimiento cristalino, como son los diagramas de fase, dinámica de fluidos, los elementos básicos de un laboratorio de crecimiento... Seguidamente se aborda el crecimiento de cristales en volumen, tanto desde el fundido, como en disolución y en fase gaseosa. Se analizan los procesos básicos que dan lugar al crecimiento y las características de cada uno de los métodos descritos. También se aborda el proceso de recristalización.

### 2. Deposition of thin films and nanostructures: MOCVD and Spray-Pyrolysis

En este tema se describen los principales métodos para el crecimiento de materiales cristalinos de capas homo y heteroepitaxiales. Se abordan de forma genérica diferentes métodos para elaborar capas, como son la evaporación en vacío, la pulverización catódica, el uso de diferentes tipos de haces y la ablación láser. Seguidamente se describen métodos específicos para obtener capas epitaxiales como la epitaxia en fase líquida (LPE), la epitaxia en fase vapor (CVD y MOCVD) y el método de espray pirólisis. En todos los casos se analizan las características del método y las variables que permiten el control de las propiedades del material crecido.

### 3. Structural characterization

En la tercera parte del BLOQUE 1 se aborda la caracterización de las propiedades estructurales de materiales cristalinos. Se empieza por describir cómo es la interacción de la radiación con la materia. Seguidamente, se analizan de forma general diferentes técnicas de caracterización en función del tipo de haz, tanto para rayos X (XRD, FRX) como electrones (SEM, TEM). Seguidamente, se amplía la parte referida a difracción de rayos X, describiendo con más detalle los difractómetros convencionales de polvo y los de alta resolución. Se describe la información estructural que se puede obtener con ellos y cómo se aplican las diferentes técnicas de medida según el material sea policristalino, en volumen, en forma de capa o nanoestructuras.

**4. Microelectronics Technology**

In this lesson we explain different processes on semiconductor wafers: coatings, silicon oxidation, impurity diffusion, definition of apertures by lithographic techniques (optical, electron beam), and material removal (chemical and plasma etching).

**5. Bandgap engineering**

La mayoría de dispositivos optoelectrónicos emisores actuales se basan en heteroestructuras y nanoestructuras semiconductores. Estas quedan definidas por la diferencia entre los parámetros de red y las bandas prohibidas de los materiales involucrados (semiconductores III-V y sus aleaciones, por ejemplo), así como el alineamiento relativo de sus bandas de valencia. Estos aspectos determinarán una heteroestructura con un perfil de potencial que, eventualmente, se puede aprovechar para confinar los portadores y determinar su función de ondas y transiciones ópticas intersubbanda e interbanda. Hetero-unión semiconductor, unión metal-semiconductor y unión metal-óxido-semiconductor.

**6. Electroluminescent diodes (LED) in visible and NIR.**

En este tema se parte del concepto básico de un diodo electroluminiscente (asignatura de Fundamentos de Optoelectrónica) para revisar su evolución histórica, destacando los materiales y las estructuras usadas. Por su importancia, se discutirán los casos del LED de GaN, por su repercusión en iluminación, y de nuevos conceptos.

**7. Technology of laser diodes**

Se define el concepto básico de un diodo láser de emisión lateral (resonador Fabry-Pérot), así como las magnitudes que definen su funcionamiento: confinamiento óptico, ganancia, corriente umbral, parámetro de temperatura, ..., así como las ecuaciones de balance que permiten determinar la potencia óptica de emisión láser. Se discutirán diferentes tipos de láseres de emisión lateral así como el diodo VCSEL.

**8. Technology of Photodetectors and photovoltaic devices.**

Se examinarán los casos más básicos de dispositivos fotodetectores, como el caso de fotoconductores y fotodiodos p-n y p-i-n, para revisar otras arquitecturas más complejas, como el caso de dispositivos CCD y CMOS.



**WORKLOAD**

ACTIVITY	Hours	% To be attended
Theory classes	36,00	100
Laboratory practices	4,00	100
Seminars	3,00	100
Development of group work	8,00	0
Development of individual work	8,00	0
Preparing lectures	45,00	0
Preparation of practical classes and problem	46,00	0
<b>TOTAL</b>	<b>150,00</b>	

**TEACHING METHODOLOGY**

- MD1 - Standar theory lecture
- MD3 - Problems solving
- MD4 - Problems
- MD5 - Seminars.
- MD6 - Visit to external scientific facilities and companies
- MD7 - Addressed debate or discussion.

**EVALUATION**

- SE1 - Written exam on the theory and practical lectures: based on the results of learning and the specific objectives of each subject.
- SE3 - Continuous evaluation of students in the classes of theory and practice: participatory assistance and exercises in the classroom.
- SE5 - Evaluation of non-presential activities related to theory and practical lectures: reports (and problems) zsubmitted.

**REFERENCES****Basic**

- Quantum Wells, Wires and Dots, Paul Harrison, Ed. Wiley, 2007.
- Crystal Growth Processes, J.C. Brice, Ed. Wiley, 1986.



- Physics of Optoelectronic Devices, S. L. Chuang, Ed. Wiley, 1995.
- Fundamentals of Semiconductor Fabrication, G.S. May & S.M. Sze, Ed. Wiley (2003).
- Physics of semiconductor devices, S.N. Sze, Ed. John Wiley (1981 y ediciones posteriores).
- Fundamentos de electrónica física y microelectrónica", J.M. Albella, J.M. Martínez-Duart, Ed. Addison-Wesley/U.A. Madrid (1996).
- Semiconductor laser physics, W.W. Chow, S.W. Koch, M. Sargent, Ed. Springer-Verlag (1994).
- Richard S. Quimby, Photonics and lasers: an introduction