

**FICHA IDENTIFICATIVA****Datos de la Asignatura**

Código	36543
Nombre	Física y Nanotecnología de Semiconductores
Ciclo	Grado
Créditos ECTS	6.0
Curso académico	2021 - 2022

Titulación(es)

Titulación	Centro	Curso	Periodo
1105 - Grado en Física	Facultad de Física	4	Segundo cuatrimestre

Materias

Titulación	Materia	Carácter
1105 - Grado en Física	16 - Complementos de Física	Optativa

Coordinación

Nombre	Departamento
MARTINEZ PASTOR, JUAN PASCUAL	175 - Física Aplicada y Electromagnetismo

RESUMEN

La «Física y Nanotecnología de Semiconductores» es una asignatura de carácter optativo que se imparte en el segundo cuatrimestre de cuarto curso de los estudios del Grado en Física y consta de 6 créditos ECTS, de los cuales 4,5 son teóricos y 1,5 son de laboratorio.

El objetivo de esta materia es proporcionar a los estudiantes una introducción a las propiedades básicas de los semiconductores (estructura electrónica, estadística de electrones y huecos, mecanismos de dispersión, generación y recombinación de portadores fuera de equilibrio, propiedades ópticas) y mostrar cómo estas propiedades se modifican en estructuras semiconductoras de baja dimensionalidad (pozos, hilos y puntos cuánticos). Se estudiarán las uniones y heterouniones semiconductoras, como base de los dispositivos electrónicos y optoelectrónicos actuales, cuyo funcionamiento básico también se estudiará en esta asignatura.

**CONOCIMIENTOS PREVIOS****Relación con otras asignaturas de la misma titulación**

No se han especificado restricciones de matrícula con otras asignaturas del plan de estudios.

Otros tipos de requisitos

Mecánica y Ondas, Electromagnetismo, Óptica, Física Cuántica, Mecánica Cuántica, Física del Estado Sólido, Física Estadística.

COMPETENCIAS (RD 1393/2007) // RESULTADOS DEL APRENDIZAJE (RD 822/2021)**1105 - Grado en Física**

- Poseer y comprender los fundamentos de la Física en sus aspectos teóricos y experimentales, así como el bagaje matemático necesario para su formulación.
- Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la actividad profesional, saber resolver problemas y elaborar y defender argumentos, apoyándose en dichos conocimientos.
- Ser capaz de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios.
- Resolución de problemas: Ser capaz de evaluar claramente los órdenes de magnitud, de desarrollar una percepción de las situaciones que son físicamente diferentes pero que muestran analogías, permitiendo, por lo tanto, el uso de soluciones conocidas a nuevos problemas.
- Modelización y resolución de problemas: Ser capaz de identificar los elementos esenciales de un proceso/situación y de establecer un modelo de trabajo del mismo. Ser capaz de realizar las aproximaciones requeridas con el objeto de reducir un problema hasta un nivel manejable. Pensamiento crítico para construir modelos físicos.
- Cultura General en Física: Haberse familiarizado con las áreas más importantes de la Física y con enfoques que abarcan y relacionan diferentes áreas de la Física, así como relaciones de la Física con otras ciencias.
- Investigación básica y aplicada: Adquirir una comprensión de la naturaleza de la investigación Física, de las formas en que se lleva a cabo, y de cómo la investigación en Física es aplicable a muchos campos diferentes, por ejemplo la ingeniería; habilidad para diseñar procedimientos experimentales y/o teóricos para: (i) resolver los problemas corrientes en la investigación académica o industrial; (ii) mejorar los resultados existentes
- Destrezas generales y específicas en lenguas extranjeras: Haber mejorado el dominio del inglés (o de otra lengua extranjera de interés) a través de: acceso a bibliografía fundamental, comunicación oral y escrita (inglés científico-técnico), cursos, estudios en el extranjero, reconocimiento de créditos en universidades extranjeras etc.



- Búsqueda de bibliografía: Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía en Física y otra bibliografía técnica, así como cualquier fuente de información relevante para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos.
- Capacidad de aprendizaje: Ser capaz de iniciarse en nuevos campos de la Física y de la ciencia y tecnología en general, a través del estudio independiente.
- Comunicación oral y escrita: Ser capaz de transmitir información, ideas, problemas y soluciones mediante la argumentación y el razonamiento propios de la actividad científica, utilizando los conceptos y herramientas básicas de la Física.
- Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
- Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
- Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
- Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.
- Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (RD 1393/2007) // SIN CONTENIDO (RD 822/2021)

- Comprensión de los esquemas de bandas de los diferentes tipos de heterouniones y del uso de esos esquemas para determinar las características y aplicaciones.
- Comprensión básica de las bases físicas de la detección de luz.
- Conocimiento de los parámetros básicos de la estructura electrónica de un semiconductor.
- Conocimientos de la estadística de electrones y vacíos y el papel de las impurezas aceptores y donadores.
- Conocimiento de los fenómenos básicos de transporte en semiconductores intrínsecos y extrínsecos.
- Comprensión del comportamiento de portadores fuera de equilibrio y del papel que juegan en los dispositivos electrónicos.
- Comprensión de la relación entre la estructura electrónica y las propiedades ópticas de un semiconductor.
- Comprensión de la modificación de la estructura electrónica en sistemas de baja dimensionalidad respecto a la del material masivo.
- Comprensión de la física básica de la unión p-n y de la relación entre su estructura electrónica y sus características y aplicaciones.
- Comprensión básica de las bases físicas de la detección de luz por los dispositivos semiconductores.
- Comprensión básica de la emisión de luz por Ledes y láseres semiconductores.



DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

1. Estructuras cristalina y estructura electrónica de los semiconductores

Estructura cristalina de algunos semiconductores. Estructuras de bandas de los semiconductores IV, III-V e II-VI. Parámetros básicos de la estructura electrónica: banda prohibida y masas efectivas. Semiconductores directos e indirectos.

2. Estadística de electrones y huecos y propiedades de transporte

Se introducirá el concepto de densidad de estados y, partiendo de la estadística de Fermi-Dirac en un semiconductor intrínseco, se verá cómo la concentración de electrones y huecos está determinada por la temperatura, el gap de energía y las masas efectivas. Se estudiarán las modificaciones introducidas en el semiconductor dopado con impurezas dadoras yceptoras: control del nivel de Fermi. Partiendo primero del modelo simple de Drude, se introducirán los parámetros de transporte para, en un segundo paso, dar una versión sencilla de la ecuación de Boltzmann y mostrar cómo permite abordar problemas de transporte más complejos, como la conductividad eléctrica o el poder termoeléctrico.

3. Dispersión de portadores y portadores fuera de equilibrio

Se introduce el concepto de probabilidad de dispersión y tiempo de relajación y se estudia la dispersión de los portadores por impurezas ionizadas y vibraciones de la red. Se discute la dependencia de la movilidad con la temperatura. Se introducen los conceptos de generación y recombinación de portadores y la diferencia entre difusión y arrastre de portadores, llegando a la relación de Einstein y la ecuación de difusión.

4. Propiedades ópticas de los semiconductores

Se introducen los parámetros ópticos y su relación con la función dieléctrica a partir de un modelo sencillo de absorción resonante. Se estudia la absorción fundamental en torno al gap de energía del semiconductor, distinguiendo entre los umbrales de absorción para semiconductores directos e indirectos. Se introduce el concepto de excitón y las relaciones de Einstein para la emisión espontánea y estimulada.

5. Sistemas electrónicos de baja dimensionalidad

Pozos, hilos y puntos cuánticos. Estados electrónicos en un sistema 2D. Densidad de estados en sistemas de baja dimensionalidad. Nivel de Fermi en un sistema 2D. Pozos de potencial triangulares y cuadrados. Pozos acoplados y superredes. Hilos cuánticos. Puntos cuánticos.

**6. Tecnología de semiconductores, dispositivos y nanoestructuras**

Síntesis y crecimiento cristalino de semiconductores. Crecimiento epitaxial por haz molecular y metalorgánico. Fabricación de dispositivos: epitaxia y fotolitografía. Técnicas de capa delgada. Crecimiento de nanoestructuras semiconductoras.

7. Uniones p-n, heterouniones, diodos Schottky y dispositivos MOS

Esquema de bandas y características $I(V)$ y $C(V)$ de la unión p-n. Unión entre semiconductores degenerados: el diodo túnel. Heterouniones: esquemas de bandas. Unión metal-semiconductor (diodo Schottky). Estructura del diodo MOS: inversión y acumulación, características $C(V)$.

8. Sistemas electrónicos de baja dimensionalidad: propiedades ópticas y de transporte

Propiedades ópticas de sistemas de baja dimensionalidad: excitones en pozos, hilos y puntos cuánticos. Transporte en sistemas de baja dimensionalidad. Dispositivos de efecto túnel resonante.

9. Fotodetectores y células solares: de la primera a la tercera generación

La unión p-n bajo iluminación. Fotodetectores. Espectro fotovoltaico. Células solares: parámetros de rendimiento. Rendimiento máximo y valor óptimo del gap. Limitaciones del rendimiento: pérdidas por reflexión, recombinación superficial, efecto de resistencia serie y paralelo. Células solares de alto rendimiento y nanoestructuradas.

10. Dispositivos emisores basados en semiconductores de diferente dimensionalidad

Emisión de luz en semiconductores de diferente dimensionalidad. Diodo electroluminiscente (LED). Bases físicas del láser semiconductor. Inversión de población, ganancia y modos. Láseres de unión: corriente umbral. Láseres y emisores de luz cuántica basados en nanoestructuras semiconductoras.

**VOLUMEN DE TRABAJO**

ACTIVIDAD	Horas	% Presencial
Clases de teoría	45,00	100
Prácticas en laboratorio	15,00	100
Lecturas de material complementario	5,00	0
Preparación de actividades de evaluación	15,00	0
Preparación de clases de teoría	30,00	0
Preparación de clases prácticas y de problemas	25,00	0
Resolución de casos prácticos	15,00	0
TOTAL	150,00	

METODOLOGÍA DOCENTE**Clases teóricas:**

Se establecerán las bases de la Física de Semiconductores, introduciendo los aspectos fundamentales y derivando las propiedades eléctricas y ópticas de los semiconductores de cara a comprender como determinan su uso en dispositivos electrónicos.

Clases de problemas:

Se realizan ejercicios complementarios orientados fundamentalmente a entender los órdenes de magnitud de los diferentes parámetros físicos de un semiconductor y las diferentes figuras de mérito de los dispositivos electrónicos.

Sesiones de laboratorio:

Las prácticas de laboratorio se realizarán en grupos reducidos. Los estudiantes trabajan en grupo en la toma de datos y discusión de los resultados, en un análisis preliminar.

EVALUACIÓN**Parte teórico-práctica (75 % de la nota final):**

— Exámenes escritos: se evaluará fundamentalmente la comprensión de las propiedades y procesos físicos en los semiconductores y dispositivos a través de cuestiones teórico-prácticas.

— Evaluación continua: se evaluará la realización de problemas propuestos durante el curso. Esta evaluación supondrá al menos un 30 % de la nota de la parte teórico-práctica.

Parte experimental (laboratorio, 25 % de la nota final):



— Control individual del trabajo en el laboratorio y de la elaboración de datos, resultados y conclusiones de cada práctica mediante un cuestionario.

REFERENCIAS

Básicas

- «Física del estado sólido y de semiconductores», J.P. McKelvey, Ed. Limusa, Méjico, 1976.
- «Fundamentals of semiconductors», P.Y. Yu y M. Cardona, Springer-Verlag, 1996.
- «Basic semiconductor Physics», C. Hamaguchi, Springer-Verlag, 2001.
- «The Physics of Low-dimensional Semiconductors: An Introduction», J. H. Davies, Cambridge U. Press, 1997.
- «Physics of Semiconductor devices», 3rd Edition, S. M. Sze and K. K. Ng, John Wiley & Sons, 2007.

Complementarias

- «Semiconductor physics», K. Seeger, Ed. Springer-Verlag, Berlín, 1982.
- «Optoélectronique», E. Rosencher, B. Vinter, Ed. Masson, Paris, 1998.
- «The Physics of Semiconductors: An Introduction Including Devices and Nanophysics», M. Grundmann, Springer, 2006.

ADENDA COVID-19

Esta adenda solo se activará si la situación sanitaria lo requiere y previo acuerdo del Consejo de Gobierno

METODOLOGÍA DOCENTE:

En caso de que la situación sanitaria requiera un modelo de docencia híbrida, se adoptará la modalidad docente aprobada en la Comisión Académica de Título en sesión de 23 de julio de 2020, que para cuarto curso consiste en:

— Asignaturas obligatorias: Presencialidad del 50% del alumnado con un aforo en aula del 50% en las clases de teoría, de manera que el alumnado que no está en el aula recibe las clases por videoconferencia síncrona. Los Laboratorios tienen una presencialidad del 100%. La asistencia del alumnado a las clases de teoría se hará en alternancia de días y semanas para asegurar que todo el estudiantado tenga garantizado un 50% de presencialidad en las clases de teoría.

— Asignaturas optativas: Presencialidad 100% en todas las actividades.



Si se necesitara una reducción total de la presencialidad, entonces se utilizaría la modalidad de videoconferencia síncrona impartida en el horario fijado por la asignatura y el grupo, durante el período que determine la Autoridad Sanitaria.

