

**FITXA IDENTIFICATIVA****Dades de l'Assignatura**

<b>Codi</b>	36543
<b>Nom</b>	Física i Nanotecnologia de Semiconductors
<b>Cicle</b>	Grau
<b>Crèdits ECTS</b>	6.0
<b>Curs acadèmic</b>	2024 - 2025

**Titulació/titulacions**

<b>Titulació</b>	<b>Centre</b>	<b>Curs</b>	<b>Període</b>
1105 - Grau en Física	Facultat de Física	4	Segon quadrimestre

**Matèries**

<b>Titulació</b>	<b>Matèria</b>	<b>Caràcter</b>
1105 - Grau en Física	16 - Complementos de Física	Optativa

**Coordinació**

<b>Nom</b>	<b>Departament</b>
MARTINEZ PASTOR, JUAN PASCUAL	175 - Física Aplicada i Electromagnetisme
MOLINA SANCHEZ, ALEJANDRO	175 - Física Aplicada i Electromagnetisme

**RESUM**

La «Física i Nanotecnologia de Semiconductors» és una assignatura de caràcter optatiu que s'imparteix en el segon quadrimestre de quart curs dels estudis del Grau en Física i consta de 6 crèdits ECTS, dels quals 4,5 són teòrics i 1,5 són de laboratori.

L'objectiu d'aquesta matèria és proporcionar als estudiants una introducció a les propietats bàsiques dels semiconductors (estructura electrònica, estadística d'electrons i buits, mecanismes de dispersió de portadors, generació i recombinació de portadors fora d'equilibri, propietats òptiques) i mostrar com aquestes propietats es modifiquen en estructures semiconductoras de baixa dimensionalitat (pous, fils i punts quàntics). S'estudiaran les unions i heterojuncions semiconductoras, com a base dels dispositius electrònics i optoelectrònics actuals, el funcionament bàsic també s'estudiarà en aquesta assignatura.



## CONEXEMENTS PREVIS

### Relació amb altres assignatures de la mateixa titulació

No heu especificat les restriccions de matrícula amb altres assignatures del pla d'estudis.

### Altres tipus de requisits

Mecànica i Ones, Electromagnetisme, Òptica, Física Quàntica, Mecànica Quàntica, Física de l'Estat Sòlid, Física Estadística.

### 1105 - Grau en Física

- Posseir i comprendre els fonaments de la física en els aspectes teòrics i experimentals, així com el bagatge matemàtic necessari per a la seua formulació.
- Saber aplicar els coneixements adquirits a l'activitat professional, saber resoldre problemes i elaborar i defensar arguments, recolzant-se en els dits coneixements.
- Ser capaç de reunir i interpretar dades rellevants per emetre judicis.
- Resolució de problemes: ser capaç d'avaluar clarament els ordres de magnitud, de desenvolupar una percepció de les situacions que són físicament diferents però que mostren analogies, per permetre, doncs, l'ús de solucions conegudes a problemes nous.
- Modelització i resolució de problemes: ser capaç d'identificar els elements essencials d'un procés/situació i d'establir-ne un model de treball. Ser capaç de realitzar les aproximacions requerides amb l'objecte de reduir un problema fins a un nivell manejable. Pensament crític per construir models físics.
- Cultura general en física: haver-se familiaritzat amb les àrees més importants de la física i amb enfocaments que compreguen i relacionen diferents àrees de la física, així com relacions de la física amb altres ciències.
- Investigació bàsica i aplicada: adquirir una comprensió de la naturalesa de la investigació física, de les formes en què es du a terme, i de com la investigació en física és aplicable a molts camps diferents, per exemple l'enginyeria; habilitat per dissenyar procediments experimentals i/o teòrics per: (i) resoldre els problemes corrents en la investigació acadèmica o industrial; (ii) millorar els resultats existents.
- Destreses generals i específiques en llengües estrangeres: haver millorat el domini de l'anglès (o d'una altra llengua estrangera d'interès) mitjançant: accés a bibliografia fonamental, comunicació oral i escrita (anglès científicotècnic), cursos, estudis a l'estranger, reconeixement de crèdits en universitats estrangeres etc.
- Cerca de bibliografia: ser capaç de buscar i utilitzar bibliografia en física i altra bibliografia tècnica, així com qualsevol font d'informació rellevant per a treballs d'investigació i desenvolupament tècnic de projectes.



- Capacitat d'aprenentatge: ser capaç d'iniciar-se en nous camps de la física i de la ciència i la tecnologia en general, a través de l'estudi independent.
- Comunicació oral i escrita: ser capaç de transmetre informació, idees, problemes i solucions mitjançant l'argumentació i el raonament propis de l'activitat científica, utilitzant els conceptes i les eines bàsiques de la física.
- Que els estudiants hagen demostrat posseir i comprendre coneixements en una àrea d'estudi que parteix de la base de l'educació secundària general, i se sol trobar a un nivell que, si bé descansa en llibres de text avançats, inclou també alguns aspectes que impliquen coneixements procedents de l'avantguarda del seu camp d'estudi.
- Que els estudiants sàpien aplicar els seus coneixements al seu treball o vocació d'una forma professional i posseïsquen les competències que solen demostrar-se per mitjà de l'elaboració i defensa d'arguments i la resolució de problemes dins de la seua àrea d'estudi.
- Que els estudiants tinguen la capacitat d'arreplegar i interpretar dades rellevants (normalment dins de la seua àrea d'estudi) per emetre judicis que incloguen una reflexió sobre temes rellevants d'índole social, científica o ètica.
- Que els estudiants puguen transmetre informació, idees, problemes i solucions a un públic tant especialitzat com no especialitzat.
- Que els estudiants hagen desenvolupat aquelles habilitats d'aprenentatge necessàries per a emprendre estudis posteriors amb un alt grau d'autonomia.

- 
- Coneixement dels paràmetres bàsics de l'estructura electrònica d'un semiconductor.
  - Coneixements de l'estadística d'electrons i buits, així com el paper de les impureses acceptores i donadores.
  - Coneixement dels fenòmens bàsics de transport en semiconductors intrínsecs i extrínsecs.
  - Comprensió del comportament de portadors fora d'equilibri i del paper que juguen en els dispositius electrònics.
  - Comprensió de la relació entre l'estructura electrònica i les propietats òptiques d'un semiconductor.
  - Comprensió de la modificació de la estructura electrònica en sistemes de baixa dimensionalitat respecte a la del material massiu.
  - Comprensió de la física bàsica de la unió p-n i de la relació entre la seua estructura electrònica i les seues característiques i aplicacions.
  - Comprensió dels esquemes de bandes dels diferents tipus d'heterounions i de l'ús d'aquests esquemes per determinar-ne les seues característiques i aplicacions.



- Comprensió de les bases físiques de la detecció de llum pels dispositius semiconductors.
- Comprensió bàsica dels díodes electroluminescents (LEDs) i dispositius làser.

## DESCRIPCIÓ DE CONTINGUTS

### 1. Estructures cristal·lina i estructura electrònica dels semiconductors

Estructura cristal·lina d'alguns semiconductors. Estructures de bandes dels semiconductors IV, III-V i II-VI. Paràmetres bàsics de l'estructura electrònica: banda prohibida i masses efectives. Semiconductors directes i indirectes.

### 2. Estadística d'electrons i buits i propietats de transport

S'introduirà el concepte de densitat d'estats  $i$ , partint de l'estadística de Fermi-Dirac en un semiconductor intrínsec, es veurà com la concentració d'electrons i buits està determinada per la temperatura, el gap d'energia i les masses efectives. S'estudiaran les modificacions introduïdes en el semiconductor dopat amb impureses donadores i acceptores: control del nivell de Fermi. Partint primer del model molt simple de Drude, s'introduiran els paràmetres de transport per, en un segon pas, donar una versió senzilla de l'equació de Boltzmann i mostrar com permet abordar problemes de transport més complexos, com la conductivitat elèctrica o el poder termoelèctric.

### 3. Dispersió de portadors i portadors fora d'equilibri

S'introdueix el concepte de probabilitat de dispersió i de temps de relaxació i s'estudia la dispersió dels portadors per impureses ionitzades i vibracions de la xarxa. Es discuteix la dependència de la mobilitat amb la temperatura. S'introdueixen els conceptes de generació i recombinació de portadors i la diferència entre difusió i deriva de portadors, arribant a la relació d'Einstein i l'equació de difusió.

### 4. Propietats òptiques dels semiconductors

S'introdueixen els paràmetres òptics i la seva relació amb la funció dielèctrica a partir d'un model senzill d'absorció ressonant. S'estudia l'absorció fonamental al voltant del gap d'energia del semiconductor, distingint entre els límits d'absorció per a semiconductors directes i indirectes. S'introdueix el concepte de excitó i les relacions d'Einstein per a l'emissió espontània i estimulada.

### 5. Sistemes electrònics de baixa dimensionalitat: estructura electrònica

Estats electrònics en un sistema 2D. Densitat d'estats en sistemes de baixa dimensionalitat. Nivell de Fermi en un sistema 2D. Pous de potencial triangulars i quadrats. Pous acoblats i superredes. Fils i punts quàntics.



## 6. Tecnologia de semiconductors, dispositius i nanoestructuras

Síntesis i creixement cristal·lí de semiconductors. Creixement epitaxial per feix molecular i metalorgànic. Fabricació de dispositius: epitàxia i fotolitografia. Tècniques de capa prima. Creixement de nanoestructures semiconductores.

## 7. Unions p-n, heterojuncions, díodes Schottky i dispositius MOS

Esquema de bandes i característiques  $I(V)$  i  $C(V)$  de l'unio p-n. Unió entre semiconductors degenerats: el díode túnel. Heterojuncions: esquemes de bandes. Unió metall-semiconductor (díode Schottky). Estructura del díode MOS: inversió i acumulació, característiques  $C(V)$ .

## 8. Sistemes electrònics de baixa dimensionalitat: propietats òptiques i de transport

Propietats òptiques de sistemes de baixa dimensionalitat: excitones en pous, fils i punts quàntics. Transport en sistemes de baixa dimensionalitat. Dispositius d'efecte túnel ressonant.

## 9. Fotodetectors i cèl·lules solars: de la primera a la tercera generació

La unió p-n sota il·luminació. Fotodetectors. Espectre fotovoltaic. Cèl·lules solars: paràmetres de rendiment. Rendiment màxim i valor òptim del gap. Limitacions del rendiment: pèrdues per reflexió, recombinació superficial, efecte de resistència sèrie i paral·lel. Cèl·lules solars d'alt rendiment i nanoestructurades.

## 10. Dispositius emissors basats en semiconductors de diferent dimensionalitat

Emissió de llum en semiconductors de diferent dimensionalitat. Díode electroluminescent (LED). Bases físiques del làser semiconductor. Inversió de població, guany i modes. Làsers d'unio: corrent llindar. Làsers i emissors de llum quàntica basats en nanoestructures semiconductores.

**VOLUM DE TREBALL**

ACTIVITAT	Hores	% Presencial
Classes de teoria	45,00	100
Pràctiques en laboratori	15,00	100
Lectures de material complementari	5,00	0
Preparació d'activitats d'avaluació	15,00	0
Preparació de classes de teoria	30,00	0
Preparació de classes pràctiques i de problemes	25,00	0
Resolució de casos pràctics	15,00	0
<b>TOTAL</b>	<b>150,00</b>	

**METODOLOGIA DOCENT**

Classes teòriques:

S'establiran les bases de la Física i Nanotecnologia de Semiconductors, introduint els aspectes fonamentals i derivant les propietats elèctriques i òptiques dels semiconductors (massius i de baixa dimensionalitat) de cara a comprendre com determinen el seu ús en dispositius electrònics.

Classes de problemes:

Es realitzen exercicis complementaris orientats fonamentalment a entendre els ordres de magnitud dels diferents paràmetres físics d'un semiconductor i les diferents figures de mèrit dels dispositius electrònics.

Sessions de laboratori:

Les pràctiques de laboratori es realitzaran en grups reduïts. Els estudiants treballen en grup en la presa de dades i discussió dels resultats, en una anàlisi preliminar.

**AVALUACIÓ**

Part teórico-pràctica (75% de la nota final):

— Exàmens escrits: s'avaluarà fonamentalment la comprensió de les propietats i processos físics en els semiconductors i dispositius a través de qüestions teórico-pràctiques.

— Avaluació contínua: s'avaluarà la realització de problemes proposats durant el curs. Aquesta avaluació suposarà almenys un 30% de la nota de la part teórico-pràctica.

Part experimental (laboratori, 25% de la nota final):



— Control individual de la feina al laboratori i de l'elaboració de dades, resultats i conclusions de cada pràctica mitjançant un qüestionari.

## REFERÈNCIES

### Bàsiques

- «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.

### Complementàries

- «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.