

**Nanofabricació**

Codi: 103306  
Crèdits: 6

Titulació	Tipus	Curs	Semestre
2501922 Nanociència i Nanotecnologia	OB	4	1

### Professor/a de contacte

Nom: Francisco Torres Canals

Correu electrònic: francesc.torres@uab.cat

### Idiomes dels grups

Podeu accedir-hi des d'aquest [enllaç](#). Per consultar l'idioma us caldrà introduir el CODI de l'assignatura. Tingueu en compte que la informació és provisional fins a 30 de novembre de 2023.

### Equip docent

Xavier Borrise Nogué

### Prerequisits

És recomanable haver aprovat les assignatures dels tres cursos anteriors, especialment les relacionades amb les àrees de física, enginyeria i electrònica.

### Objectius

L'objectiu del mòdul és donar a conèixer les tècniques i mètodes que existeixen de fabricació a escala micro i nanomètrica, de manera que l'alumne queda capacitats per definir una seqüència adient de processos per a la realització de qualsevol tipus de dispositiu o estructura funcional. El contingut està focalitzat a la fabricació d'estructures i dispositius funcionals i no a l'obtenció o preparació de materials. Es veuran exemples pràctics i variats de fabricació d'estructures i dispositius nanomètrics (estructures nanomecàniques, dispositius basats en grafè, nanosensors, dispositius fotònics, micro/nano fluídica, etc) Es durà a terme també, una introducció a l'operació i realització de processos en Sala Blanca.

### Competències

- Adaptar-se a noves situacions.
- Aplicar els conceptes, principis, teories i fets fonamentals relacionats amb la nanociència i la nanotecnologia a la resolució de problemes de natura quantitativa o qualitativa en l'àmbit de la nanociència i la nanotecnologia.

- Aplicar les normes generals de seguretat i funcionament d'un laboratori i les normatives específiques per a la manipulació de la instrumentació i dels productes i materials químics i biològics tenint en compte les seves propietats i els riscos.
- Aprendre de manera autònoma.
- Comunicar-se amb claredat en anglès.
- Comunicar-se oralment i per escrit en la llengua pròpia.
- Demostrar motivació per la qualitat.
- Demostrar que es comprenen els conceptes, principis, teories i fets fonamentals relacionats amb la nanociència i la nanotecnologia.
- Desenvolupar treballs de síntesi, caracterització i estudi de les propietats dels materials en la nanoescala a partir de procediments establerts prèviament.
- Gestionar l'organització i la planificació de tasques.
- Liderar i coordinar grups de treball.
- Manipular els instruments i materials estàndards propis dels laboratoris d'assaigs físics, químics i biològics per a l'estudi i l'anàlisi de fenòmens en la nanoescala.
- Mantenir un compromís ètic.
- Mostrar sensibilitat en qüestions mediambientals.
- Obtenir, gestionar, analitzar, sintetitzar i presentar informació, incluent-hi la utilització de mitjans telemàtics i informàtics.
- Operar amb un cert grau d'autonomia.
- Proposar idees i solucions creatives.
- Raonar de forma crítica.
- Reconèixer els termes relatius als àmbits de la física, la química, la biologia, la nanociència i la nanotecnologia en llengua anglesa i fer servir l'anglès de manera eficaç per escrit i oralment en l'àmbit laboral.
- Reconèixer i analitzar problemes físics, químics i biològics en l'àmbit de la nanociència i la nanotecnologia i plantejar respostes o treballs adequats per a la seva resolució, incloent-hi en els casos necessaris l'ús de fonts bibliogràfiques.
- Resoldre problemes i prendre decisions.
- Treballar en equip i cuidar les relacions interpersonals de treball.

## Resultats d'aprenentatge

1. Adaptar-se a noves situacions.
2. Aplicar els continguts teòrics adquirits a l'explicació de fenòmens experimentals.
3. Aprendre de manera autònoma.
4. Avaluar els resultats experimentals de manera crítica i deduir-ne el significat.
5. Caracteritzar correctament els processos de nanofabricació usant les tècniques adequades en cada cas.
6. Comprendre textos i bibliografia en anglès sobre cadascuna de les tècniques, metodologies, eines i instruments de la matèria.
7. Comunicar-se amb claredat en anglès.
8. Comunicar-se oralment i per escrit en la llengua pròpia.
9. Demostrar motivació per la qualitat.
10. Descriure els aspectes generals de síntesi, fabricació i processat en la nanoescala.
11. Descriure els principals processos tecnològics de la tecnologia planar i els límits físics, tecnològics i econòmics de la miniaturització.
12. Descriure els principis de la manipulació atòmica i molecular.
13. Descriure els processos d'autoassemblatge per a la fabricació de nanoestructures funcionals i dispositius: Blocs copolímers, acoblament molecular, autoordenació de partícules
14. Descriure els processos de creixement de nanoestructures i dispositius a partir d'elements nanomètrics (nanofils, molècules, nanotubs,...) i amb l'ús de plantilles.
15. Distingir els diferents tipus de nanolitografia: per feix d'electrons i ions, nanoimpresió, nanostencil i per tècniques de microscòpia per sonda local
16. Especificar les principals característiques d'una sala blanca.
17. Exposar informes breus sobre la matèria en anglès.
18. Fer cerques bibliogràfiques de documentació científica.
19. Gestionar l'organització i la planificació de tasques.

20. Identificar les situacions en les quals les diferents metodologies estudiades poden ajudar a resoldre situacions problemàtiques i saber seleccionar la tècnica més òptima
21. Liderar i coordinar grups de treball.
22. Manipular adequadament els equips específics per dur a terme processos de nanofabricació.
23. Mantenir un compromís ètic.
24. Mostrar sensibilitat en qüestions mediambientals.
25. Obtenir, gestionar, analitzar, sintetitzar i presentar informació, incluent-hi la utilització de mitjans telemàtics i informàtics.
26. Operar amb un cert grau d'autonomia.
27. Proposar els mètodes adequats de caracterització per a cada un dels processos usats durant la nanofabricació
28. Proposar els processos de nanofabricació adequats per a l'obtenció d'estructures i dispositius en la nanoescala.
29. Proposar idees i solucions creatives.
30. Raonar de forma crítica.
31. Realitzar processos de nanofabricació per a l'obtenció de dispositius i sistemes en la nanoescala.
32. Reconèixer els termes propis de cadascun dels tòpics de la matèria Metodologies i experimentació en nanociència i nanotecnologia.
33. Redactar informes sobre la matèria en anglès.
34. Resoldre problemes amb l'ajuda de bibliografia complementària proporcionada.
35. Resoldre problemes i prendre decisions.
36. Seguir adequadament els protocols de seguretat en laboratoris amb ambient controlat i en sales netes (o sala blanca).
37. Treballar en equip i cuidar les relacions interpersonals de treball.

## Continguts

L'assignatura es divideix en quatre grans blocs:

- Mòdul 1. Tecnologia planar (10 h.Teo, 5 h.Prob)

Es descriuen individualment els principals processos de la tecnologia planar i es presenten els aspectes generals de la tecnologia micro/nano electrònica, així com la seva evolució (miniaturització)

- Introducció a la tecnologia planar: concepte, oblies, seqüència de processos, etc
- Processos tecnològics individuals: deposició (PVD i CVD), gravats (secs i humits), processos tèrmics, implantació, litografia.
- Integració de processos, tecnologia CMOS.
- Evolució i límits de la tecnologia micro/nano electrònica

- Mòdul 2. Nanolitografies i "nanopatterning" (8h.T, 4 h.Prob)

Es descriuen les tècniques de litografia i nanopatronejat per a la definició de nanoestructures i nanodispositius en superfícies. Es presenten exemples de l'estat de l'art actual.

- Litografia òptica avançada
- Litografia per feix d'electrons
- Litografia per feix d'ions
- Litografia per nanoimpressió
- Nanofabricació mitjançant SPMs
- Altres nanolitografies

- Mòdul 3 Nanofabricació "bottom-up" (6h.T)

Es descriuen mètodes de realització de nanoestructures i dispositius basats en una aproximació "bottom-up", basats en l'ensamblatge d'elements individuals nanomètrics per construir estructures i dispositius funcionals.

- Auto-ensamblatge i auto-ensamblatge guiat.
  - Estructures i dispositius basats en nanofils i nanotubs.
  - Estructures i dispositius basats en nanoparticules.
  - Origami d'ADN
  - Altres mètodes de fabricació químics i electroquímics.
- Mòdul 4 Treball pràctic de nanofabricació

S'introdueix a l'alumne als principis d'operació d'una Sala Blanca i s'introdueix la metodologia de disseny de màscares i micro-xips.

- Disseny d'una màscara amb un programa d'edició dedicat. (dues sessions).
- Observació òptica d'una fotolitografia usant la màscara que l'alumne ha dissenyat (una sessió).
- Observació amb microscopi electrònic d'estructures bottom-up.
- Visita guiada a la sala blanca del Centre Nacional de Microelectrònica.

A més, s'han previst seminaris amb investigadors especialistes en nanofabricació.

## Metodologia

La docència es realitzarà mitjançant 24 hores lectives de teoria, 9 h de problemes i 15 hores de pràctiques de laboratori. A més es reserven 5 hores de sessions de seminaris per a completar qualsevol aspecte de la formació.

Pràctiques: Les classes pràctiques i els seus corresponents informes es realitzaran en grups d'un màxim de dues persones. No s'acceptaran grups formats per més de dues persones. El lliurament dels informes estarà regit per una data d'entrega, via campus virtual, que es comunicarà després d'haver realitzat la pràctica.

Exercicis extra: Durant el curs es podran lliurar als alumnes exercicis extres que s'hauran de fer fora de les hores lectives i que seran avaluable.

Seminaris: Durant el curs es podran realitzar un màxim de cinc seminaris impartits per investigadors en el camp de la micro i nanofabricació, encarats a presentar a l'alumne el món de la recerca, més enllà de la visió acadèmica que es dona al curs. L'assistència a aquest seminaris és obligatòria per a poder ser avaluat del conjunt de l'assignatura.

Nota: es reservaran 15 minuts d'una classe, dins del calendari establert pel centre/titulació, per a la complementació per part de l'alumnat de les enquestes d'avaluació de l'actuació del professorat i d'avaluació de l'assignatura/mòdul.

## Activitats formatives

Títol	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Tipus: Dirigides			
classes de teoria	24	0,96	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
pràctiques de laboratori	15	0,6	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 31, 33, 36, 37
problemes	9	0,36	2, 4, 9, 20, 26, 27, 30, 32, 34, 35, 37
seminaris	5	0,2	2, 3, 4, 8, 17, 18, 20, 21, 29, 30, 32

Tipus: Autònomes

lectura d'apunts de classe	30	1,2	3, 23, 25, 26
lectura de guions de pràctiques	9	0,36	3, 6, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 30, 32, 33
realització d'exercicis i tests	32	1,28	3, 4, 8, 12, 13, 14, 15, 19, 26, 29, 32, 35

## Avaluació

L'assignatura consta de les activitats d'avaluació següents:

Dos examens escrits parcials, (teoria i problemes), un a la meitat de l'assignatura i l'altre al final, amb un pes sobre la qualificació final d'un 65% (32.5% cada ú). L'assistència a aquests exàmens parcials és obligatòria per a poder-se presentar a l'examen de recuperació.

Informes corresponents a les pràctiques de laboratori amb un pes sobre la qualificació final d'un 30%. Aquesta nota es tindrà en compte per a l'avaluació final de l'assignatura sempre i quan l'alumne superi la nota de 4.5 com a nota mitja dels dos parcials o com a nota de l'examen de recuperació.

NOTA: L'assistència a les sessions de pràctiques, la seva realització i el lliurament de l'informe corresponent són condició indispensable per aprovar l'assignatura.

Exercicis sobre classes teòriques: amb un pes sobre la qualificació final d'un 5% (2.5 % per a cada parcial).

NOTA: L'assistència als seminaris i els exercicis sobre les classes teòriques són obligatoris per a poder aprovar l'assignatura.

Examen escrit (teoria i problemes), per a la recuperació: L'assistència a l'examen escrit de recuperació serà recomanable en el cas d'haver tret unanota inferiora 5 en algun dels dos examens parcials. Tindrà un pes d'un 65% de la nota final. S'avaluaran per separat els continguts referents al primer parcial i al segon. Això permet presentar-se a la recuperació d'un sol dels parcials o al total de l'assignatura. La nota final dels exàmens escrits serà la mitjana entre les dues parts de l'assignatura, escollint per a cada part la millor nota entre l'examen parcial i l'examen de recuperació.

Avaluació única:

L'alumnat que s'hagi acollit a la modalitat d'avaluació única haurà de realitzar una única prova final que consistirà en un examen amb una part de teoria i una part de problemes on haurà de resoldre una sèrie d'exercicis semblants als que s'han treballat a les sessions de Pràctiques d'Aula. El mateix dia que realitzi la prova escrita haurà de lliurar els informes de totes les pràctiques. Aquest examen i el lliurament de tots els informes de pràctiques es farà el dia de l'examen del segon parcial fixat per als alumnes d'avaluació continuada per la coordinació de la titulació. L'examen escrit (teoria i problemes) es lliurarà en paper i les pràctiques en format PDF via campus virtual.

La qualificació final de l'estudiant serà la següent: l'examen escrit (teoria i problemes) tindrà un pes d'un 70% de la nota final i els informes de pràctiques un total d'un 30%. La nota dels informes de pràctiques es tindrà en compte per a la nota final només si l'alumne ha superat la nota de 4.5 a l'examen escrit (teoria i problemes) o a l'examen de recuperació.

Si la nota final no arriba a 5, l'estudiant té una altra oportunitat de superar l'assignatura mitjançant l'examen de recuperació que se celebrarà en la data que fixi la coordinació de la titulació. En aquesta prova es podrà recuperar el 70% de la nota corresponent a la teoria i els problemes. La part de pràctiques no és recuperable.

## Activitats d'avaluació continuada

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
avaluació continuada, exercicis, quizzes	5 %	10	0,4	1, 3, 6, 7, 9, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 37
informes de pràctiques	30%	10	0,4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 37
parcials	65%	6	0,24	8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 27, 28, 32, 35

## Bibliografia

Introduction to Microfabrication / Sami Franssila. ISBN 978-0-470-74983-8, John Wiley & Sons, 2010.

Nuevas Tecnologías en los Dispositivos Electrónicos / A. Godoy et. al: Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores, Universidad de Granada, ISBN: 978-84-691-4090-1, 2008.

Nanofabrication, Nanolithography techniques and their applications / José María de Teresa et al. / Online ISBN: 978-0-7503-2608-7 • Print ISBN: 978-0-7503-2606-3, 2020.

Nanofabrication, Techniques and Principles / Maria Stepanova & Steven Dew / ISBN 978-3-7091-0423-1, Springer, 2012.

Optical Lithography, Here is Why / Burn J. Lin / ISBN 978-0-8194-7560-2 Spie Press, 2010.

Fundamentals of microfabrication and nanotechnology / Marc J. Madou; Boca Raton, FL Taylor & Francis, 2011.

Articles publicats en revistes de recerca. Els professors donaran la informació adient

## Programari

El programari funciona sota el sistema operatiu Windows

Programari *Glade* (disseny de màscares de litografia i és d'accés obert)