

<b>GUÍA DOCENTE</b>	<b>M4. Técnicas físicas de nanofabricación.</b>
<b>COURSE GUIDE</b>	<b>M4. Physical nanofabrication techniques.</b>
<b>GUIA DOCENT</b>	<b>M4. Tècniques físiques de caracterització.</b>

### 1.- FICHA IDENTIFICATIVA / COURSE DATA/ FITXA IDENTIFICATIVA

#### Datos de la Asignatura / Data Subject/ Dades de l'assignatura

<b>Código/Code/Codi</b>	54073 (UVA)/44420 (UV)
<b>ECTS</b>	3
<b>Curso académico/Academic year/ Curs acadèmic:</b>	2021-22

<b>Profesor/ Professor</b>	<b>Univ.</b>	<b>email</b>	<b>Lesson</b>
Díaz, María	Alicante	maria.diaz@ua.es	1-4
García, Ricardo	CSIC	r.garcia@csic.es	5-8

Seminarios: Profesores UVA

### 2.- RESUMEN / SUMMARY/ RESUM

Valencià
Es pretén que els alumnes adquirisquen aquells coneixements bàsics relacionats amb l'aproximació ascendent per a la nanofabricació, en particular les possibilitats i els límits de les tècniques litogràfiques com a ferramenta per a la nanofabricació.

Castellano
Se pretende que los alumnos adquieran aquellos conocimientos básicos relacionados con la aproximación ascendente para la nanofabricación, en particular las posibilidades y los límites de las técnicas litográficas como herramienta para la nanofabricación.

English
The aim is that students learn basic concepts related to nanofabrication based on a bottom-up approach. Particular focus will be devoted to the possibilities and limits of the lithographic techniques, as nanofabrication tools.

### 3.- CONOCIMIENTOS PREVIOS / PREVIOUS KNOWLEDGE/ CONEIXEMENTS PREVIS

#### Relación con otras asignaturas de la misma titulación

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

#### Relationship to other subjects of the same degree

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



**Relació amb altres assignatures de la mateixa titulació**

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

**4.- COMPETENCIAS / OUTCOMES/ COMPETÈNCIES**

Cód	Competencia	Outcome	Competència
CB07	Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.	Students can apply the knowledge acquired and their ability to solve problems in new or unfamiliar environments within broader (or multidisciplinary) contexts related to their field of study.	Que els estudiants sàpiguen aplicar els coneixements adquirits i la seua capacitat de resolució de problemes en entorns nous o poc coneguts dins de contextos més amplis (o multidisciplinaris) relacionats amb la seua àrea d'estudi
CB08	Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.	Students are able to integrate knowledge and handle the complexity of formulating judgments based on information that, while being incomplete or limited, includes reflection on social and ethical responsibilities linked to the application of their knowledge and judgments.	Que els estudiants siguen capaços d'integrar coneixements i afrontar la complexitat de formular judicis a partir d'una informació que, sent incompleta o limitada, incloga reflexions sobre les responsabilitats socials i ètiques vinculades a l'aplicació dels seus coneixements i judicis.
CB10	Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.	Students have the learning skills that will allow them to continue studying in a way that will be largely self-directed or autonomous.	Que els estudiants posseïsquen les habilitats d'aprenentatge que els permeten continuar estudiant d'una forma que haurà de ser en gran manera autodirigida o autònoma.
CB6	Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.	Students have the knowledge and understanding that provide a basis or an opportunity for originality in developing and/or applying ideas, often within a research context.	Posseir i comprendre coneixements que aportin una base o oportunitat de ser originals en el desenvolupament i / o aplicació d'idees, sovint en un context de recerca
CE01	Que los estudiantes hayan adquirido los conocimientos y habilidades necesarias para seguir futuros estudios de doctorado en Nanociencia y Nanotecnología.	To possess the necessary knowledge and abilities to continue with future studies in the PhD program in Nanoscience and Nanotechnology.	Que els estudiants hagen adquirit els coneixements i habilitats necessàries per a seguir futurs estudis de doctorat en Nanociencia i Nanotecnologia.
CE02	Que los estudiantes de un área de conocimiento (p.e. física) sean capaces de comunicarse e interactuar científicamente con colegas de otras áreas de	For students from field of knowledge (e.g. chemistry) to be able to scientifically communicate and interact with colleagues from another field (e.g. physics) in the	Que els estudiants d'una àrea de coneixement (p.e. física) siguen capaços de comunicar-se i interactuar científicament amb col·legues d'altres àrees de coneixement

	conocimiento (p.e. química en la resolución de problemas planteados por la Nanociencia y la Nanotecnología Molecular.	resolution of problems laid out by the Molecular Nanoscience and Nanotechnology.	(p.e. química en la resolució de problemes plantejats per la Nanociencia i la Nanotecnologia Molecular
<b>CE04</b>	Conocer las aproximaciones metodológicas utilizadas en Nanociencia	To know the methodological approaches used in Nanoscience.	Conèixer les aproximacions metodològiques utilitzades en Nanociència.
<b>CE06</b>	Conocer las principales técnicas de nanofabricación de sistemas moleculares.	To know the main techniques for molecular systems nanofabrication.	Conèixer les principals tècniques de nanofabricació de sistemes moleculares.

**5.- RESULTADOS DE APRENDIZAJE / LEARNING OUTCOMES/ RESULTATS DE L'APRENTATGE**

Valencià
Es pretén que els alumnes adquirisquen aquells coneixements bàsics relacionats amb l'aproximació ascendent per a la nanofabricació, en particular les possibilitats i els límits de les tècniques litogràfiques com a ferramenta per a la nanofabricació.

Castellano
Se pretende que los alumnos adquieran aquellos conocimientos básicos relacionados con la aproximación ascendente para la nanofabricación, en particular las posibilidades y los límites de las técnicas litográficas como herramienta para la nanofabricación.

English
The aim is that students acquire basic concepts related to a top-down approximation to nanofabrication. In particular, we will focus on the possibilities and limits of the different available lithographic techniques as tools for nanofabrication.

**6.- DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS / DESCRIPCIÓ DE CONTINGUTS**

<b>Número de orden:</b>	1
<b>Nombre de la U.T. (Castellano):</b>	
<b>U.T. Name (English):</b>	
<b>Nom de la U.T. (valencià)</b>	
<b>Descripción de contenidos (Valencià):</b>	
<p>1) <b>Introducció:</b> Tècniques litogràfiques en el context de tècniques de nanofabricació.</p> <p>2) <b>Litografia òptica.</b></p> <p>2.1. Processos bàsics i " lift-off".</p> <p>2.2. Deposició de pel·lícules primes de foto-resina per mitjà de "spin-coating".</p>	

2.3. Exposició de la foto-resina a través d'una màscara: mètodes i resolució; tècniques per a millorar la resolució; Foto-resines: tipus, exemples, paràmetres d'avaluació, foto-resines amplificades químicament.

2.4. Límits i futur de la tècnica.

### 3) Tècniques d'atac.

3.1 Tècniques d'atac humit.

3.2 Tècniques d'atac sec: atac iònic reactiu (RIE) i variants, sputtering, ablació làser, etc.

3.3 Sales netes.

### 4) Nanolitografia mitjançant de nanoimpressió i microcontacte.

4.1. Impressió per microcontacte.

4.2. Litografia de nanoimpressió (NIL) i variants: NIL tèrmic, NIL a temperatura ambient, NIL assistit per dissolvents, *step* i flaix NIL, etc...

4.3. Emmotllament de plàstics: "hot embossing", injecció, etc..

### 5) Litografia per feix d'electrons

5.1 El microscopi electrònic d'agranat (SEM).

5.2 Interaccions entre els electrons i la matèria.

5.3 Litografia per feix d'electrons.

5.4 Aplicacions i alguns exemples.

### 6) Litografia per sonda d'agranat (SPL).

6.1 El microscopi de forces.

6.2 La varietat de litografies per sonda d'agranat.

6.3 SPL oxidatiu.

6.4 SPL tèrmic.

6.5 Aplicacions: Transistors de nanofils de Silici; sensors bimoleculars; arquitectures moleculars.

### 7) El microscopi de forces atòmiques (AFM) en biologia i en ciència de materials.

7.1 Principis d'operació.

7.2 Modes AFM.

7.3 Forces i resolució especial.

7.4 Imatges d'alta resolució de matèria blana.

7.5 Espectroscòpies de forces nanomecàniques i de molècules aïllades.

### 8) Litografia per feix d'ions focalitzat (FIB) i altres mètodes directes de gravat.

4.1 Introducció als mètodes de gravat directe.

4.2 Litografia per feix làser.

4.3 Gravats assistits per feix d'electrons.

4.4 Litografia per feix d'ions focalitzat.

**Descripción de contenidos (Castellano):**

**1) Introducción:** Técnicas litográficas en el contexto de técnicas de nanofabricación.

**2) Litografía óptica.**

- 2.1. Procesos básicos y “lift-off”.
- 2.2. Deposición de películas delgadas de foto-resina mediante “spin-coating”.
- 2.3. Exposición de la foto-resina a través de una máscara: métodos y resolución; técnicas para mejorar la resolución; Foto-resinas: tipos, ejemplos, parámetros de evaluación, foto-resinas amplificadas químicamente.
- 2.4. Límites y futuro de la técnica.

**3) Técnicas de ataque.**

- 3.1 Técnicas de ataque húmedo.
- 3.2 Técnicas de ataque seco: ataque iónico reactivo (RIE) y variantes, sputtering, ablación láser, etc.
- 3.3 Salas limpias.

**4) Nanolitografía mediante nanoimpresión y microcontacto.**

- 4.1. Impresión por microcontacto.
- 4.2. Litografía de nanoimpresión (NIL) y variantes: NIL térmico, NIL a temperatura ambiente, NIL asistido por disolventes, step and flash NIL, etc...
- 4.3. Moldeado de plásticos: “hot embossing”, inyección, etc.

**5) Litografía por haz de electrones**

- 5.1 El microscopio electrónico de barrido (SEM).
- 5.2 Interacciones entre los electrones y la materia.
- 5.3 Litografía por haz de electrones.
- 5.4 Aplicaciones y algunos ejemplos.

**6) Litografía por sonda de barrido (SPL).**

- 6.1 El microscopio de fuerzas.
- 6.2 La variedad de litografías por sonda de barrido.
- 6.3 SPL oxidativo.
- 6.4 SPL térmico.
- 6.5 Aplicaciones: Transistores de nanohilos de Silicio; sensores bimoleculares; arquitecturas moleculares.

**7) El microscopio de fuerzas atómicas (AFM) en biología y en ciencia de materiales.**

- 7.1 Principios de operación.
- 7.2 Modos AFM.
- 7.3 Fuerzas y resolución especial.
- 7.4 Imágenes de alta resolución de materia blanda.
- 7.5 Espectroscopías de fuerzas nanomecánicas y de moléculas aisladas.

**8) Litografía por haz de iones focalizado (FIB) y otros métodos directos de grabado.**

- 4.1 Introducción a los métodos de grabado directo.
- 4.2 Litografía por haz laser.
- 4.3 Grabado asistido por haz de electrones.
- 4.4 Litografía por haz de iones focalizado.

**Descripción de contenidos (English):**

**1) Introduction:** Lithographic techniques in the context of nanofabrication techniques.

**2) Optical lithography**

- 2.1. Basic processes and lift-off.
- 2.2. Thin film deposition of resists by spin-coating.
- 2.3. Photoresist exposition through a mask: methods and resolution; techniques for resolution improvement; Photoresists: types, examples, evaluation parameters, chemically amplified photoresists.

2.4. Limits and future of the technique.

**3) Etching techniques**

- 3.1 Wet etching techniques
- 3.2 Dry etching techniques: reactive ion etching (RIE) and variants, sputtering, laser ablation, etc...
- 3.3 Clean rooms.

**4) Nanolithography by nanoimprinting and microcontact.**

- 5.1. Microcontact printing.
- 5.2. Nanoimprint lithography (NIL) and variants: thermal NIL, room temperatura NIL, solvent-assisted NIL, step and flash NIL, etc...
- 5.3. Molding of plastics: "hot embossing", injection, etc..

**5) Electron beam lithography**

- 3.1 The scanning electron microscope
- 3.2 Interactions between electrons and matter
- 3.3 electron beam lithography
- 3.4 Applications and some examples

**6) Scanning probe lithography**

- 6.1 The force microscope
- 6.2 The variety of Scanning probe lithographies
- 6.3 Oxidation SPL
- 6.4 Thermal SPL
- 6.5 Applications: Silicon nanowire transistors; bimolecular sensors; molecular architectures.

**7) The atomic force microscope in biology and material sciences**

- 7.1 Operational principles
- 7.2 AFM modes
- 7.3 Forces and spatial resolution
- 7.4 High resolution imaging of soft matter
- 7.5 Nanomechanical and single molecule force spectroscopies

**8) Focused Ion Beam Lithography and other direct patterning methods**

- 4.1 Introduction to direct patterning Methods
- 4.2 Laser Beam Lithography
- 4.3 eBeam assisted Patternning
- 4.4 Focused ion Beam Lithography

**7.- VOLUMEN DE TRABAJO / WORKLOAD/ VOLUM DE TREBALL**

Actividad	Activity	Activitat	Horas/ Hours/ Hores
Presencial	In-person	Presencial	
Asistencia a clases de teoría	Evaluation and/or exam.	Clases de teoria	15
Seminarios teóricos/participativos.	Research work exposition and public defence.	Seminaris	4
Tutorías sobre las clases teóricas	Exams study and preparation.	Tutories sobre les classes teòriques.	5
Evaluación y/o examen	Teamwork preparation.	Avaluació i/o examen,	2
No presencial	Not in-person	No presencial	

Preparación y estudio clases teoría	Laboratory experimental work	Preparació i estudi classes de teoria.	10
Estudio y preparación de pruebas	Research work report elaboration.	Estudi i preparació de les proves.	39
Total presenciales	Total in-person	Total presencials	26
Total no presenciales	Total not in-person	Total no presencials	49
<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>75</b>

## 8.- METODOLOGÍA DOCENTE / TEACHING METHODOLOGY / METODOLOGIA DOCENT

METODOLOGÍAS DOCENTES	TEACHING METHODOLOGY	Metodologies docents
Clases teóricas lección magistral participativa	Theory classes, participatory lectures	Classes teòriques lliçó magistral participativa.
Discusión de artículos.	Articles discussion.	Discussió d'articles.
Debate o discusión dirigida.	Chaired debate or discussion.	Debat o discussió dirigida.
Discusión de casos prácticos o problemas en seminario.	Practical cases or seminar problems discussion.	Discussió de casos pràctics o problemes en seminari.
Seminarios.	Seminars.	Seminaris
Problemas.	Problems.	Problemes.
Prácticas y demostraciones de laboratorio y visitas a instalaciones.	Laboratory practices and demonstrations and visit to installations.	Pràctiques i demostracions de laboratori i visites a instal·lacions.
Conferencias de expertos.	Experts conferences.	Conferències d'experts.

## 9.- EVALUACIÓN / EVALUATION/ AVALUACIÓ

EVALUACIÓN	EVALUATION	AVALUACIÓ	
Examen escrito sobre contenidos básicos de la materia	Written exam about the subject basic contents	Examen escrit sobre continguts bàsics de la matèria.	70-90%
Resolución de cuestiones.	Questions answering	Resolució de qüestions.	10-20%
Asistencia y participación activa en los seminarios.	Attendance and active participation in seminars.	Assistència i participació activa en els seminaris.	0-10%

## 10.- REFERENCIAS / REFERENCES/ REFERÈNCIES

### 10.1 Básicas/Basic/ Bàsiques

- From Instrumentation to Nanotechnology, J.W. Gardner, H.T. Hingle, Gordon & Breach Publishing Group, 1999.
- Micromachines & Nanotechnology: The Amazing New World of the Ultrasmall, David Darling, Silver Burdett Press, 1995.
- Zheng Cui (Author) "Micro-Nanofabrication: Technologies and Applications"; Higher Education Press; Springer; 2005.
- E. Menard et al. "Micro- and Nanopatterning Techniques for Organic Electronic an optoelectronic system"; Chem. Rev. 107, 1117, 2007.

- P. Rai-Choudhury (Ed) "Handbook of Microlithography, Micromachining and Microfabrication", Vol. 1, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, 1997
- Kazuaki Suzuki & Bruce W. Smith (Eds.) "Microlithography: Science & Technology", 2nd Ed. (Optical Sci. and Eng.); CRC Press, 2007
- D. Xia, Z. Ku, S.C. Lee, and S.R.J. Brueck, "Nanostructures and Functional Materials Fabricated by Interferometric Lithography," Adv. Mater. 23, 147 –179 (2011).

## 10.2 Complementarias

- Fundamentals of microfabrication and nanotechnology. M.J. Madou, CRC Press (2011)
- Amplitude modulation AFM, R. Garcia, Wiley-VCH (2010)
- Scanning Probe Microscopy: The lab on a tip, E. Meyer, H. Hug, R. Bennewitz, Springer (2004)
- Advanced scanning probe lithography, R.. Garcia, A.W. Knoll, E. Riedo, Nature Nanotechnology 9, 577-587 (2014)

## ADENDA

FITXA D'ADDENDA DE LA GUIA DOCENT - FICHA DE ADENDA A LA GUÍA DOCENTE
TEACHING GUIDE ADDENDUM FORM
<b>1. Contenido /Contingut/ Content</b>
Contents initially included in the teaching guide are maintained.
<b>2. Volum de treball i planificació temporal de la docència</b>
<b>2. Volumen de trabajo y planificación temporal de la docencia</b>
<b>2. Workload and teaching time planning</b>
<b>3. Metodología docente / Metodología docente/ Teaching Methodology</b>



The workload of different teaching activities (theory classes, seminars and tutorials) is maintained.

The **theory classes**, which should have been taught intensively in Alicante during two weeks, are being recorded as a slide show with narration. This material will be available to students in a e-learning platform (Moodle (Aula Virtual), MS Teams or similar) . Students will be informed how to access these classes.

All these lessons have a **seminar** part, which is planned to be given online by each professor using the common videoconference programs available in the participating universities (Blackboard collaborate, Teams, Zoom, etc.). This seminar part includes solving practical problems, questions and student doubts related to the subject. The attendance to these online videoconferences will be compulsory for all master students and will be recorded and uploaded in the e-learning platform. This part will be tentatively scheduled during the last week of January and/or beginning of February. The students will be informed about the time schedule for these online seminars with at least 7 days in advance.

Finally, person to person **tutorials** to answer questions / doubts will be available as in previous years through telephone, E-mail and, additionally, through chats in the e-learning platform.

#### 4. Avaluació/Evaluación/ Evaluation

Given that this exam will be carried out by small groups of students in each university (maximum of 10 students in the University of Valladolid), it will be attempted to do it "in person". If the face-to-face examination would not be possible, it will be carried out telematically using the e-learning platform videoconference.

'Questions answering' and 'Attendance and active participation in seminars' will be evaluated during the online seminars.

Students will be informed with at least 10 days in advance if the exams will be done in-person or telematically.

#### 5. Bibliografía/Bibliografía/Bibliography

Some of the recommended bibliography is available online. In case a student wants more detailed information on a specific topic, professors will provide it through scientific articles (to which the Universities are subscribed or published with open-access), doctoral PhD theses in public repositories, etc.

