

GUÍA DOCENTE	M4. Técnicas físicas de nanofabricación.
COURSE GUIDE	M4. Physical nanofabrication techniques.

1.- FICHA IDENTIFICATIVA / COURSE DATA

Datos de la Asignatura / Data Subject

Código/Code	310853
ECTS	3
Curso académico/Academic year	2023-24

Profesor/ Professor	Univ.	email	ECTS	Lesson
Díaz, María (coord.)	UA	maria.diaz@ua.es	1,5	1-4
García, Ricardo	CSIC	r.garcia@csic.es	1,5	5-8

2.- RESUMEN / SUMMARY

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

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.

4.- COMPETENCIAS / OUTCOMES

Cód	Competencia	Outcome
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.
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.
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.
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.
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.
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 conocimiento (p.e. química en la resolución de problemas planteados por la Nanociencia y la Nanotecnología Molecular.	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 resolution of problems laid out by the Molecular Nanoscience and Nanotechnology.
CE04	Conocer las aproximaciones metodológicas utilizadas en Nanociencia	To know the methodological approaches used in Nanoscience.
CE06	Conocer las principales técnicas de nanofabricación de sistemas moleculares.	To know the main techniques for molecular systems nanofabrication.

5.- RESULTADOS DE APRENDIZAJE / LEARNING OUTCOMES

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

Número de orden:	1
Nombre de la U.T. (Castellano):	
U.T. Name (English):	
Descripción de contenidos (Castellano):	
<p>1) Introducción: Técnicas litográficas en el contexto de técnicas de nanofabricación.</p> <p>2) Litografía óptica.</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. Litografía holográfica 2.5. Límites y futuro de la técnica. <p>3) Técnicas de ataque.</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. <p>4) Nanolitografía mediante nanoimpresión y microcontacto.</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. <p>5) Litografía por haz de electrones</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 ejemplos: máscaras, nanotransistores <p>6) Litografía por haz de iones focalizado (FIB)</p> <ul style="list-style-type: none"> 6.1 Introducción a la litografía por haz de iones 6.2 Métodos y procesos. 6.3 Aplicaciones y ejemplos: puntas de AFM <p>7) Litografía por sonda de barrido (SPL).</p> <ul style="list-style-type: none"> 7.1 El microscopio de fuerzas. 7.2 La variedad de litografías por sonda de barrido. 7.3 SPL oxidativo. 7.4 SPL térmico. 7.5 Aplicaciones: Transistores de nanohilos de Silicio; sensores bimoleculares; arquitecturas moleculares. <p>8) El microscopio de fuerzas atómicas (AFM) en biología y en ciencia de materiales.</p> <ul style="list-style-type: none"> 8.1 Principios de operación. 	

- 8.2 Modos AFM.
- 8.3 Fuerzas y resolución especial.
- 8.4 Imágenes de alta resolución en polímeros y moléculas biológicas
- 8.5 Espectroscopías de fuerzas nanomecánicas y de moléculas aisladas.

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. Holographic lithography
- 2.5. 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 temperature NIL, solvent-assisted NIL, step and flash NIL, etc...
- 5.3. Molding of plastics: "hot embossing", injection, etc..

5) Electron beam lithography

- 5.1 The scanning electron microscope
- 5.2 Interactions between electrons and matter
- 5.3 Electron beam lithography: protocols and resolution
- 5.4 Applications and some examples: masks and nanotransistors

6) Focused Ion Beam Lithography and other direct patterning methods

- 6.1 Introduction
- 6.2 FIB methods: sputtering, milling, deposition
- 6.3 Applications

7) Scanning probe lithography

- 7.1 The force microscope
- 7.2 The variety of Scanning probe lithographies
- 7.3 Oxidation SPL
- 7.4 Thermal SPL
- 7.5 Applications: Silicon nanowire transistors; bimolecular sensors; molecular architectures.

8) The atomic force microscope in biology and material sciences

- 8.1 Operational principles
- 8.2 AFM modes
- 8.3 Forces and spatial resolution
- 8.4 High resolution imaging of soft matter

8.5 Nanomechanical and single molecule force spectroscopies

7.- VOLUMEN DE TRABAJO

Actividad	Activity	Horas/ Hours/ Hores
Presencial	In-person	
Asistencia a clases de teoría	Evaluation and/or exam.	15
Seminarios teóricos/participativos.	Research work exposition and public defence.	4
Tutorías sobre las clases teóricas	Exams study and preparation.	5
Evaluación y/o examen	Teamwork preparation.	2
No presencial	Not in-person	
Preparación y estudio clases teoría	Laboratory experimental work	10
Estudio y preparación de pruebas	Research work report elaboration.	39
Total presenciales	Total in-person	26
Total no presenciales	Total not in-person	49
Total	Total	75

8.- METODOLOGÍA DOCENTE / TEACHING METHODOLOGY

METODOLOGÍAS DOCENTES	TEACHING METHODOLOGY
Clases teóricas lección magistral participativa	Theory classes, participatory lectures
Discusión de artículos.	Articles discussion.
Debate o discusión dirigida.	Chaired debate or discussion.
Discusión de casos prácticos o problemas en seminario.	Practical cases or seminar problems discussion.
Seminarios.	Seminars.
Problemas.	Problems.
Prácticas y demostraciones de laboratorio y visitas a instalaciones.	Laboratory practices and demonstrations and visit to installations.
Conferencias de expertos.	Experts conferences.

9.- EVALUACIÓN / EVALUATION

EVALUACIÓN	EVALUATION	
Examen escrito sobre contenidos básicos de la materia	Written exam about the subject basic contents	70-90%
Resolución de cuestiones.	Questions answering	10-20%
Asistencia y participación activa en los seminarios.	Attendance and active participation in seminars.	0-10%

10.- REFERENCIAS / REFERENCES

10.1 Básicas/Basic

- 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).
- "Evolution in Lithography Techniques: Microlithography to Nanolithography" (Review) Ekta Sharma, Reena Rathi, Jaya Misharwal, Bhavya Sinhmar, Suman Kumari, Jasvir Dalal, and Anand Kumar. Nanomaterials 12, 2754 (2022).
- Fundamentals of microfabrication and nanotechnology. M.J. Madou, CRC Press (2011)

10.2 Complementarias

- 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).
- Y.F. Dufrêne *et al.* Imaging modes of atomic force microscopy for application in molecular and cell biology. *Nature Nanotechnology* 12, 295-307 (2017).
- Controlling the emission properties of solution-processed organic distributed feedback lasers through resonator design. V. Bonal, J. A. Quintana, J. M. Villalvilla, P. G. Boj, M. A. Díaz-García; *Sci. Rep.*, 9, 11159 (2019).
- N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-dyphenylbenzidine based distributed feedback lasers with holographically fabricated polymeric resonators. V. Bonal, J.A. Quintana, J.M. Villalvilla P.G. Boj, R. Muñoz-Mármol, J.C. Mira-Martínez, M.A. Díaz-García; *Polymers* 13, 3843 (2021).