

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MATERIALI NANOSTRUTTURATI PER L'ELETTRONICA

NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ELECTRONICS

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI (LM-SC.MAT)
Codice	8066217	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MASSIMO LONGO

CODOCENTE

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI L'obiettivo principale del corso è quello di approfondire i concetti relativi alle caratteristiche strutturali e funzionali dei materiali a scala nanometrica per una comprensione critica delle loro proprietà e funzionalità nel campo di applicazione della micro- e dell'optoelettronica. Gli obiettivi specifici riguardano l'acquisizione della conoscenza della struttura molecolare e 3D di tali materiali. L'acquisizione della conoscenza della correlazione tra struttura chimica, reattività, proprietà ottiche e di trasporto di carica di tali sistemi. L'acquisizione della conoscenza delle strategie di sintesi (top-down e bottom-up) e di assemblaggio in sistemi organizzati, nonché della caratterizzazione di tali materiali in vista del loro trasferimento tecnologico in dispositivi elettronici ed optoelettronici di largo consumo e a basso impatto ambientale. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE L'insegnamento fornisce agli studenti gli strumenti concettuali e metodologici necessari per comprendere le correlazioni tra composizione chimica, struttura cristallina e struttura elettronica dei materiali micro- e nanostrutturati, nonché il legame tra tali caratteristiche e le peculiari proprietà fisiche da essi esibite. Gli studenti acquisiranno inoltre la capacità di analizzare criticamente i materiali trattati, comprendendone le principali metodologie di sintesi e caratterizzazione e valutandone le applicazioni nei diversi settori dell'elettronica. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE Al termine dell'insegnamento, lo studente dovrà essere in grado di: correlare composizione chimica, struttura cristallina, struttura elettronica e proprietà funzionali dei materiali micro- e nanostrutturati; selezionare e applicare modelli teorici appropriati per descrivere il comportamento dei materiali avanzati; individuare le metodologie di sintesi più idonee per la preparazione di materiali innovativi destinati ad applicazioni elettroniche; interpretare criticamente i risultati ottenuti mediante le principali tecniche di caratterizzazione strutturale, morfologica, composizionale ed elettronica.
----------	---

	Lo studente dovrà inoltre essere in grado di valutare l'influenza della riduzione dimensionale sulle proprietà dei materiali e di analizzare criticamente vantaggi, limiti e potenzialità delle diverse classi di materiali nanostrutturati impiegate nell'elettronica moderna. L'insegnamento mira infine a fornire gli strumenti necessari per affrontare la lettura critica della letteratura scientifica specialistica, anche in lingua inglese, relativa alla sintesi, caratterizzazione e applicazione di materiali innovativi per dispositivi elettronici, optoelettronici ed energetici. Gli studenti dovranno essere in grado di applicare in modo autonomo le conoscenze acquisite per analizzare problemi scientifici e tecnologici connessi all'impiego di materiali nanostrutturati in contesti di ricerca e sviluppo. AUTONOMIA DI GIUDIZIO Individuare le strategie di lavorazione in termini di progettazione, caratterizzazione, preparazione e trattamento di materiali micro- e nanostrutturati inorganici ed organici coniugati in funzione del contesto di studio e applicazione. Valutare criticamente gli approcci metodologici suggeriti dalla letteratura per sviluppare un protocollo di processing del materiale adeguato alla soluzione della problematica in studio. Valutare la consistenza logica della metodologia proposta, sia in ambito teorico sia nell'analisi di dati sperimentali. Saper riconoscere eventuali errori tramite un'analisi critica del metodo applicato. ABILITÀ COMUNICATIVE Durante l'insegnamento viene prestata particolare attenzione alla capacità di comunicare in modo chiaro e rigoroso le conoscenze acquisite nell'ambito dei materiali micro- e nanostrutturati, con particolare riferimento alle relazioni tra struttura, proprietà e applicazioni in campo elettronico. Gli studenti dovranno acquisire familiarità con il linguaggio tecnico-scientifico proprio della scienza dei materiali e sviluppare la capacità di descrivere, discutere e presentare risultati sperimentali e modelli interpretativi utilizzando una terminologia appropriata. Al termine dell'insegnamento, gli studenti saranno in grado di interagire efficacemente con specialisti provenienti da differenti ambiti disciplinari, quali chimica, fisica, scienza dei materiali e ingegneria, comprendendone i diversi approcci metodologici e integrandoli criticamente nell'analisi di problemi scientifici e tecnologici complessi. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO Maturare una capacità di apprendimento delle tematiche affrontate durante il corso, sia mediante la consultazione di libri e pubblicazioni scientifiche, che di banche dati e altre informazioni in rete, che sarà necessaria sia per intraprendere studi successivi con un approccio critico ed alto grado di autonomia, che per inserirsi prontamente in ambienti culturali e di lavoro multidisciplinari.
English	LEARNING OBJECTIVES The primary objective of the course is to explore the concepts related to the structural and functional characteristics of nanoscale materials for a critical understanding of their properties and functionality in the fields of microelectronics and optoelectronics. Specific objectives include acquiring knowledge of the molecular and 3D structure of these materials; understanding the correlation between chemical structure, reactivity, optical properties, and charge transport of these systems; and understanding the synthesis strategies (top-down and bottom-up) and assembly into organized systems, as well as the



characterization of these materials with a view to their technological transfer into consumer electronic and optoelectronic devices with low environmental impact.

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING

The course provides students with the conceptual and methodological tools necessary to understand the correlations between the chemical composition, crystalline structure, and electronic structure of micro- and nanostructured materials, as well as the link between these characteristics and their unique physical properties. Students will also acquire the ability to critically analyze the materials covered, understanding their main synthesis and characterization methodologies, and evaluating their applications in various fields of electronics.

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING

Upon completion of the course, students should be able to: correlate the chemical composition, crystalline structure, electronic structure, and functional properties of micro- and nanostructured materials; select and apply appropriate theoretical models to describe the behavior of advanced materials; identify the most suitable synthesis methodologies for the preparation of innovative materials for electronic applications; and critically interpret the results obtained using the main structural, morphological, compositional, and electronic characterization techniques. Students should also be able to evaluate the influence of size reduction on material properties and critically analyze the advantages, limitations, and potential of the various classes of nanostructured materials used in modern electronics. Finally, the course aims to provide the tools necessary to critically read the specialized scientific literature, including literature written in English, relating to the synthesis, characterization, and application of innovative materials for electronic, optoelectronic, and energy devices. Students should be able to independently apply their acquired knowledge to analyze scientific and technological problems related to the use of nanostructured materials in research and development contexts.

MAKING JUDGEMENTS To be able to identify the processing strategies in terms of design, characterization, preparation and treatment of micro- and nanostructured inorganic and conjugated organic materials according to the context of study and application.

To be able to critically evaluate the methodological approaches suggested by the literature to develop a material processing protocol suitable for solving the problem under study.

To be able to evaluate the logical consistency of the proposed methodology, both in theory and in the analysis of experimental data.

To be able to recognize potential errors through a critical analysis of the applied method.

COMMUNICATION SKILLS

During the course, particular emphasis is placed on the ability to clearly and rigorously communicate the knowledge acquired in the field of micro- and nanostructured materials, with particular reference to the relationships between structure, properties, and applications in electronics. Students will be expected to become familiar with the technical and scientific language of materials science and develop the ability to describe, discuss, and present experimental results and interpretative models using appropriate terminology. By the end of

	the course, students will be able to interact effectively with specialists from different disciplines, such as chemistry, physics, materials science, and engineering, understanding their different methodological approaches and critically integrating them in the analysis of complex scientific and technological problems. LEARNING SKILLS Develop an ability to learn the topics covered during the course, both by consulting books and scientific publications, as well as databases and other online information, which will be necessary both to undertake subsequent studies with a critical approach and a high degree of autonomy, and to fit readily into multidisciplinary cultural and work environments.
--	---

PREREQUISITI

<i>Italiano</i>	Conoscenze di base di chimica e di fisica, concetti di base di meccanica quantistica.
<i>English</i>	Background knowledge of chemistry and physics, basic notions of quantum mechanics.

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

<i>Italiano</i>	Lezioni frontali (40 ore) Introduzione alle nanotecnologie e ai nanomateriali: stato dell'arte e prospettive (2 h). Classificazione dei solidi; portatori di carica e meccanismi di trasporto di carica di semiconduttori (8 h). Materiali e proprietà a bassa dimensionalità: metalli e semiconduttori su scala nanometrica, quantum well, quantum wire e quantum dot (4 h). Sintesi bottom-up di nanomateriali: deposizione chimica da fase vapore - CVD ed epitassia (4 h), deposizione CVD da metallorganici - MOCVD - e a strato atomico - ALD (6 h), deposizione fisica da fase vapore - PVD sputtering, Molecular beam epitaxy - MBE, Pulsed laser deposition - PLD (6 h), Epitassia da fase liquida - LPE - Elettrodeposizione e processo Sol-Gel (6 h). Tutte le tecniche saranno accompagnate da esempi applicativi per realizzazione di dispositivi nel campo dell'optoelettronica (Laser, LED), della conversione energetica (celle solari a multigiunzione, dispositivi termoelettrici a nanofili), microelettronica (transistor High Electron Mobility Transistor - HEMT) e sensoristica. Fabbricazione top-down di nanomateriali: tecniche litografiche e nanolitografiche come UV, EBL, nanoimprinting e focus sulle memorie non volatili a cambiamento di fase - PCM (4 h). Esperienze di laboratorio (12 ore) Questa sezione del corso comprenderà delle esperienze relative a tecniche di sintesi e nanostrutturazione bottom-up e top down (es. CVD, MBE, nanolitografia).
-----------------	---

<i>English</i>	Lectures (40 hours) Introduction to nanotechnology and nanomaterials: state of the art and perspectives (2 hours). Classification of solids; charge carriers and charge transport mechanisms of semiconductors (8 hours). Low-dimensional materials and properties: metals and semiconductors at the nanoscale, quantum wells, quantum wires, and quantum dots (4 hours). Bottom-up synthesis of nanomaterials: chemical vapor deposition (CVD) and epitaxy (4 hours), metalorganic CVD (MOCVD) and atomic layer deposition (ALD) (6 hours), physical vapor deposition (PVD sputtering), molecular beam epitaxy (MBE), pulsed laser deposition (PLD) (6 hours), liquid phase epitaxy (LPE) and electrodeposition and sol-gel processes (6 hours). All techniques will be accompanied by application examples for the fabrication of devices in the fields of optoelectronics (lasers, LEDs), energy conversion (multi-junction solar cells, nanowire thermoelectric devices), microelectronics (High Electron Mobility Transistors - HEMTs), and sensors. Top-down fabrication of nanomaterials: lithographic and nanolithographic techniques such as UV, EBL, nanoimprinting, and a focus on non-volatile phase-change memories - PCM (4 hours). Laboratory experiences (12 hours) This section of the course will include experiences with bottom-up and top-down synthesis and nanostructuring techniques (e.g., CVD, MBE, nanolithography).
----------------	--

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

<i>Italiano</i>	Nanomaterials, Nanotechnologies and Design , by Schodek, Ferriera and Ashby , Elsevier, ebook ISBN 9780080941530 Springer Handbook of Nanotechnology, Ed Bharat Bhushan, Springer Handbooks, ebook ISBN 978-3-662-54357-3 Diapositive del Docente condivise sul Canale della piattaforma Teams
<i>English</i>	Nanomaterials, Nanotechnologies and Design , by Schodek, Ferriera and Ashby , Elsevier, ebook ISBN 9780080941530 Springer Handbook of Nanotechnology, Ed Bharat Bhushan, Springer Handbooks, ebook ISBN 978-3-662-54357-3 Teacher slides shared on the Teams platform channel

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

<i>Italiano</i>	L'insegnamento è svolto mediante lezioni frontali supportate da presentazioni multimediali, utilizzate per illustrare i concetti teorici, le proprietà dei materiali studiati, le metodologie di sintesi e caratterizzazione e le principali applicazioni in campo elettronico.
-----------------	--

	Le lezioni sono integrate dalla discussione di immagini, schemi, dati sperimentali e risultati tratti dalla letteratura scientifica, al fine di favorire il collegamento tra i fondamenti teorici e le applicazioni tecnologiche dei materiali micro- e nanostrutturati. Quando opportuno, l'attività didattica è arricchita dall'utilizzo di campioni e materiali dimostrativi reali, che consentono agli studenti di acquisire una percezione diretta delle caratteristiche morfologiche e funzionali dei materiali trattati. L'attività didattica comprende inoltre esperienze di laboratorio finalizzate alla sintesi ed analisi di materiali micro- e nanostrutturati, nonché all'applicazione delle conoscenze teoriche acquisite durante il corso. Durante le lezioni viene costantemente incoraggiata l'interazione con gli studenti attraverso domande, discussioni e approfondimenti sugli argomenti trattati.
<i>English</i>	Teaching is conducted through lectures supported by multimedia presentations, used to illustrate theoretical concepts, the properties of the materials studied, synthesis and characterization methodologies, and the main applications in the electronics field. Lectures are complemented by discussions of images, diagrams, experimental data, and results from the scientific literature, to foster a connection between the theoretical foundations and the technological applications of micro- and nanostructured materials. When appropriate, teaching activities are enhanced by the use of real samples and demonstration materials, allowing students to gain a direct understanding of the morphological and functional characteristics of the materials being studied. The teaching activity also includes laboratory experiences aimed at the synthesis and analysis of micro- and nanostructured materials, as well as the application of the theoretical knowledge acquired during the course. During lectures, interaction with students is constantly encouraged through questions, discussions, and in-depth exploration of the topics covered.

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

<i>Italiano</i>	La frequenza del corso non è obbligatoria, ma è fortemente consigliata, al fine di favorire una piena comprensione delle correlazioni tra struttura, proprietà e applicazioni dei materiali micro- e nanostrutturati trattati durante le lezioni. La partecipazione alle attività didattiche consente inoltre agli studenti di beneficiare della discussione di casi di studio, dell'analisi di risultati sperimentali e dell'osservazione diretta di campioni e materiali dimostrativi utilizzati a supporto degli argomenti trattati. Le lezioni si svolgono presso le aule del Dipartimento.
<i>English</i>	Attendance is not mandatory, but is strongly recommended to foster a full understanding of the relationships between the structure, properties, and applications of the micro- and nanostructured materials discussed during the lectures. Participation in the teaching activities also allows students to benefit from the discussion of case studies, the analysis of experimental results, and direct observation of samples and demonstration materials used to support the topics covered. Lectures are held in the Department's classrooms.

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☐ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica
☐ Valutazione in itinere ☐ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

OLTRE AL TITOLARE MASSIMO LONGO, 1 o 2 fra i seguenti esperti nel settore: SILVIA ORLANDUCCI; EMANUELA TAMBURRI; VALERIA GUGLIELMOTTI, SILVIA BATTISTONI, MASSIMO TOMELLINI.

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La verifica dell'apprendimento avviene attraverso un esame finale consistente in una prova orale. Tale prova è finalizzata ad accertare l'acquisizione delle conoscenze e delle competenze previste dagli obiettivi formativi dell'insegnamento e consiste in una discussione su tutti gli argomenti trattati nel corso, con particolare riferimento alle correlazioni tra struttura, proprietà e funzionalità dei materiali micro- e nanostrutturati, alle metodologie di sintesi e caratterizzazione e alle loro applicazioni nel campo dell'elettronica. Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi. I criteri di cui si terrà conto per la formulazione del voto saranno: livello di conoscenza degli argomenti del programma, capacità di analisi e di ragionamento critico, capacità di applicare le conoscenze acquisite all'interpretazione delle proprietà dei materiali e delle relative applicazioni tecnologiche, capacità di collegamento tra i diversi argomenti trattati nel corso, proprietà di linguaggio e correttezza nell'utilizzo della terminologia tecnico-scientifica. Criteri di attribuzione del voto 18-21: lo studente ha acquisito i concetti fondamentali dell'insegnamento e possiede una conoscenza essenziale delle principali classi di materiali micro- e nanostrutturati, delle loro proprietà e delle metodologie di sintesi e caratterizzazione. Il linguaggio risulta complessivamente corretto, pur in presenza di alcune imprecisioni. 22-25: lo studente ha acquisito in maniera adeguata e approfondita i concetti fondamentali dell'insegnamento. È in grado di descrivere correttamente le relazioni tra struttura e proprietà dei materiali e di discutere le principali tecniche di sintesi e caratterizzazione. Il linguaggio è appropriato e corretto. 26-29: lo studente possiede una conoscenza completa e ben strutturata degli argomenti trattati. È in grado di applicare e rielaborare autonomamente le conoscenze acquisite, interpretando criticamente le proprietà dei materiali e le loro applicazioni nei dispositivi elettronici e optoelettronici. 30-30 e lode: lo studente possiede una conoscenza completa, approfondita e critica degli argomenti trattati. È in grado di applicare le conoscenze a problemi complessi, collegare in modo autonomo temi differenti del corso e discutere criticamente vantaggi, limiti e prospettive delle diverse classi di materiali nanostrutturati. L'esposizione è particolarmente rigorosa, matura e caratterizzata da piena padronanza del linguaggio scientifico. È garantita equità di trattamento: i criteri valutativi non presentano discriminazioni tra studentesse/studenti frequentanti e non frequentanti.
English	Learning assessment is achieved through a final oral exam. This exam is designed to assess the acquisition of the knowledge and skills required by the course's learning objectives and consists of a discussion of all the topics covered in the course, with particular emphasis on the correlations between the structure, properties, and functionality of micro- and nanostructured materials, synthesis and characterization methodologies, and their applications in the field of electronics. The exam score is awarded using a grade expressed out of 30.

The following criteria will be taken into account in determining the grade: level of knowledge of the syllabus topics, analytical and critical reasoning skills, ability to apply acquired knowledge to the interpretation of materials properties and their technological applications, ability to connect the various topics covered in the course, and fluency in the use of technical and scientific terminology.

Grading Criteria

18-21: The student has acquired the fundamental concepts of the course and possesses a basic understanding of the main classes of micro- and nanostructured materials, their properties, and synthesis and characterization methods. The language is generally correct, despite some inaccuracies.

22-25: The student has adequately and thoroughly acquired the fundamental concepts of the course. The student is able to correctly describe the relationships between the structure and properties of materials and discuss the main synthesis and characterization techniques. The language is appropriate and correct.

26-29: The student possesses a comprehensive and well-structured knowledge of the topics covered. The student is able to independently apply and rework the acquired knowledge, critically interpreting the properties of materials and their applications in electronic and optoelectronic devices.

30-30 cum laude: The student possesses a comprehensive, in-depth, and critical understanding of the topics covered. He or she is able to apply knowledge to complex problems, independently connect different course topics, and critically discuss the advantages, limitations, and prospects of different classes of nanostructured materials. His or her presentation is particularly rigorous, mature, and characterized by a thorough command of scientific language.

Fair treatment is guaranteed: the evaluation criteria do not discriminate between students who attended classes and those who did not.