UNIVERSITÀ DI PISA

SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI

FRANCESCO FUSO

Academic year	2022/23
Course	FISICA
Code	383BB
Credits	6

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI	FIS/03	LEZIONI	36	FRANCESCO FUSO

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

- Nozioni di base di microscopia elettronica;
- Microscopia ottica di fluorescenza, confocale e oltre il limite di diffrazione;
- Microscopia Raman e Raman coerente;
- Fluorescenza da cromofori, proprietà ottiche e confinamento quantico in nanostrutture di semiconduttori;
- Plasmonica superficiale e localizzata, micoscopia di leakage, fluorescence and Raman enhancement subtrates;
- Fondamenti di nano-fotonica, sistemi a band-gap fotonico, metamateriali;
- Microscopie e spettroscopie a scansione di sonda e a campo ottico prossimo.

Modalità di verifica delle conoscenze

Le conoscenze acquisite dagli studenti e dalle studentesse saranno puntualmente verificati durante il semestre tramite discussioni e approfondimenti in classe. L'esame finale è orale e può includere la preparazione di brevi seminari di approfondimento.

Capacità

Alla conclusione del corso gli studenti e le studentesse avranno acquisito la capacità di analizzare problemi di ottica che coinvolgono nanomateriali, sia per l'analisi delle proprietà su scala locale che per lo sfruttamento delle specifiche caratteristiche ottiche in dispositivi e metodi. Inoltre riceveranno nozioni di base di nanofotonica e microscopia a scansione di sonda anche non ottica.
Pur avendo un carattere prevalentemente fisico di base, il corso favorisce lo sviluppo di capacità inter-disciplinari, strettamente connesse con altri settori, in particolare biofisica e biomateriali.

Modalità di verifica delle capacità

Durante il corso gli studenti sono incoraggiati a discutere gli aspetti di maggior interesse nel corso delle lezioni. Inoltre le capacità acquisite possono essere verificate anche attraverso la preparazione di brevi presentazioni su argomenti inerenti il corso.

Comportamenti

Gli studenti e le studentesse acquisiranno sensibilità specifica nel trattare argomenti di nanomateriali da un punto di vista interdisciplinare, che, partendo dalle proprietà fisiche di base, arriva alle applicazioni attuali e di maggior rilevanza pratica.

Modalità di verifica dei comportamenti

L'atteggiamento di apertura interdisciplinare degli studenti sarà verificato durante le discussioni in classe, anche attraverso specifici test basati su brevi presentazioni.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Conoscenze base di elettromagnetismo e fisica dei materiali, incluse basi di meccanica quantistica.

Indicazioni metodologiche

- lezioni frontali
- discussioni in classe
- visita di laboratori e discussione di pratiche sperimentali

Programma (contenuti dell'insegnamento)

1. Scopi e motivazioni per la spettroscopia di nanomateriali, proprietà specifiche di nanostrutture inclusi fenomeni biomimetici, aspetti tecnologici. Microscopia elettronica come riferimento per l'analisi del nano-mondo: configurazioni strumentali generali di SEM e TEM, principali meccanismi di contrasto, spettroscopie (AES, EDS/EDAX, XPS).

2. Richiami di ottica geometrica, fasci Gaussiani, diffrazione e interferenza; cenni di ottica di Fourier, PSF e potere risolutivo (criteri di Rayleigh, Abbe, Sparrow). Microscopia ottica convenzionale e varianti (polarizzazione, DIC, white-light profilometry). Microscopia di fluorescenza, cromofori e richiami di livelli molecolari e transizioni, applicazioni biofisiche, problematiche di illuminazione, dark-field microscopy. Raman, Raman coerente (SRS, CRS, CARS), esempi di misure alla nanoscala su vari materiali.

3. Emissione stimolata in sistemi multi-livello, pompaggio e saturazione. Spiral phase plates e vortici ottici, STED: potere risolutivo e esempi di applicazoni. Altri metodi di super-resolved microscopy (PALM, STORM, 4Pi, light-sheet, double beam, etc.).
4. Richiami sulle proprietà ottiche dei semiconduttori, transizioni dirette e indirette, buca di potenziale in meccanica quantistica. Confinamento quantico in 3, 2, 1, 0 dimensioni, transisizoni inter e intrabanda, cenni agli eccitoni. Assorbimento ed emissione di quantum dots, inclusi core-shell, tecnologie coinvolte ed esempi di applicazione, in particolare in nanoscopia e nanofotonica.
5. Introduzione alla plasmonica, frequenza di plasma e plasmoni nel bulk, ruolo delle transizioni interbanda, costante dielettrica complessa e indice di rifrazione, modello di Drude. Polaritoni plasmonici superficiali in interfacce piane. Carattere evanescente dei polaritoni e metodi per la loro eccitazione. Leakage microscopy (Fourier plane imaging) e visualizzazione plasmoni in campo prossimo. Plasmonica nel grafene.
6. Emissione di radiazione nel campo lontano da dipoli oscillanti, scattering da nanostrutture (Rayleigh e Mie); espressione di Clausius-Mossotti. Risonanze plasmoniche localizzate, estinzione ottica, relazione di dispersione, nanostrutture di diversa forma (beads, wires e altre forme). Applicazioni sensoristiche in ambito biofisico e terapeutico, nanoantenne, guide d'onda plasmoniche. Fluorescence enhancement e substrati SERS: esempi di applicazione.
7. Interferenza di Bragg, presenza di band-gap fotonici; similitudini con funzioni d'onda elettroniche nei semiconduttori. Rassegna di strutture a band gap fotonico in diverse dimensioni, cenni di tecnologia ed esempi di applicazione. Fondamenti di metamateriali: single and double negative materials, indice di rifrazione negativo e conseguenze.
8. Concetti ed elementi di base di microscopia a scansione di sonda, ruolo del feedback, richiami di effetto tunnel e STM. Descrizione avanzata: LDOS e spettroscopie di bias, sonde funzionalizzate s- e p-, osservazione di orbitali molecolari, esempi inclusi UHV- e LT-STM.
9. Misura di forze con cantilever, tecnologia delle sonde AFM. Forze tra punta e superficie, modi di operazione dell'AFM, contact vs tapping mode, modulazione/demodulazione (ampiezza, frequenza e fase), mappe di fase e loro interpretazione, ampiezza costante. Esempi di applicazione, inclusa operazione in liquido per campioni biologici. Microscopie di forza e analisi delle proprietà meccaniche della materia soffice alla nanoscala.
10. Concetti generali del campo ottico prossimo, calcolo del campo prossimo prodotto da un dipolo oscillante, problema ideale di Bethe-Bouwkamp, carattere evanescente e implementazioni pratiche. SNOM in emissione e raccolta: elementi strumentali, metodo della shear-force, spettroscopie accessibili in campo prossimo. Esempi di SNOM in fluorescenza e label-free per campioni biologici, applicazioni alla plasmonica; SNOM in modulazione di polarizzazione e applicazioni. Apertureless SNOM: fluorescenza di singola molecola, esempi di applicazione in spettroscopia IR, cenni di SNOM al THz. Tip-enhanced microscopy, TERS, esempi e varianti.

Bibliografia e materiale didattico
La bibliografia specifica per ogni argomento trattato, inclusi anche articoli di ricerca, à comunicata agli studenti e studentesse al termine delle lezioni e resa disponibile nel sito di e-learning del corso.

Indicazioni per non frequentanti
Mettersi in contatto preliminarmente con il docente e seguire il materiale didattico fornito via web.

Modalità d'esame
Esame finale orale, parte del quale può essere sostenuta basandosi su una breve presentazione su argomento concordato (tipicamente un recente sviluppo sperimentale di spettroscopia dei nanomateriali).

Note
Ulteriori informazini sul corso sono reperibili alle seguenti pagine web:
pagina di e-learning del corso

Ultimo aggiornamento 21/08/2022 13:22