UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Materials Spectroscopy and Microscopy

2425-1-FSM01Q003

Obiettivi

Il corso ha lo scopo di condurre gli studenti verso la comprensione dei concetti fondamentali della risposta dei materiali alla radiazione elettromagnetica, incluse le implicazioni per le applicazioni in fotonica, in optoelettronica e nelle comunicazioni in fibra ottica, unitamente alla conoscenza dei principi delle principali tecniche di microscopia.
Al termine del corso lo studente sarà in grado di:
• Comprendere i requisiti dei materiali per specifiche funzionalità in cui è implicata l'interazione con la radiazione elettromagnetica;
• Progettare una strategia per la caratterizzazione sperimentale delle proprietà dei materiali in relazione alle loro applicazioni, sia con approcci spettroscopici sia con microscopie;
• Avere un atteggiamento proattivo e responsabile durante le attività di laboratorio.

Contenuti sintetici

Il corso affronta i campi a) della spettroscopia, ovvero lo studio dell'interazione della radiazione elettromagnetica con la materia e le sue estese applicazioni, e b) della microscopia, principalmente le microscopie ottiche, elettroniche e a scansione. Gli aspetti fondamentali sono trattati accanto agli approcci sperimentali che possono essere adottati. Tecniche classiche e strumenti avanzati sono proposti sia durante le lezioni che durante l'analisi di casi studio e nella parte interattiva di gruppo. Gli studenti acquisiscono mature competenze in tali argomenti, riuscendo ad applicarle anche in contesti interdisciplinari. Durante la parte di lavoro di gruppo, gli studenti sono invitati ad affrontare specifici problemi di ricerca e a trovare soluzioni originali in modo maturo e collaborativo.

Programma esteso

- Primo Semestre -

LEZIONI

SEZIONE A.1. INTRODUZIONE
• Illustrazione dei contenuti del corso e delle modalità d'esame

SEZIONE A.2. INTERAZIONE DELLA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA CON LA MATERIA NEL REGIME DI RISPOSTA LINEARE
• Soluzione dell'equazione delle onde elettromagnetiche in un materiale
• Funzione dielettrica e indice di rifrazione
• Modelli di Lorentz e di Drude
• Relazioni di Kramers-Kronig
• Risposta alla radiazione eletromagnetica di materiali reali (metalli, semiconduttori e isolanti)

SEZIONE A.3. STUDIO DI MATERIALI ATTRAVERSO FENOMENI DI RISONANZA
• Spettroscopia d'impedenza
• Spettroscopia di risonanza di spin elettronico
• Assorbimento ottico
• Luminescenza in stato stazionario e risolta in tempo
• Luminescenza Anti-Stokes

SEZIONE A.4. INTRODUZIONE ALLA RISPOSTA NON LINEARE DEI MATERIALI ALLA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA
• Fondamenti di risposta non lineare
• Non linearità del secondo e del terzo ordine
• Effetto elettro-ottico ed effetto Kerr
• Origine della non linearità nei materiali (cristalli, vetri, polimeri)

- Secondo Semestre -

B. APPLICAZIONI ED ESERCITAZIONI DI SPETTROSCOPIA DEI MATERIALI

SEZIONE B.1. Dai principi alla tecnologia - aspetti pratici della relazione tra polarizzazione e trasmissione
• Perché la velocità della luce nei materiali è minore che nel vuoto
• Significato fisico e uso pratico della parametrizzazione di Sellmeier nella progettazione di materiali ottici
• coefficicienti termo-ottici e elasto-ottici e loro imoprtanza tecnologica nell'ottica in fibra e nella sensoristica ottica

SEZIONE B.2. Bragg gratings - principi e applicazioni
• Meccanismi di fotosensibilità per la funzionalizzazioni di materiali dielettrici
• Ingegneria dei materiali vetrosi e strumenti per la descrizione della propagazione di onde elettromagnetiche in eterostrutture dielettriche
• dai coefficienti di Fresnel alle matrici di trasferimento e di scattering

SEZIONE B.3. Ruolo della strutture, del disordine, e dello spettro fononico nella progettazione di materiali ottici a base vetrosa
• Dielettrici amorfi nella tecnologia ottica
• Quantificare e controllare il disordine strutturale – tecniche diffrattometriche e spettroscopia Raman
• Effetti del disordine sull'energy gap e transizioni localizzate
• Spettroscopia degli ioni dei metalli di transizione e delle terre rare in materiali a base vetrosa

C. PRINCIPI DI MICROSCOPIA E ATTIVITA' SPERIMENTALI

SEZIONE C.1. MICROSCOPIA OTTICA
a. Principi e richiami di geometria ottica
b. Diffrazione della luce e criterio di Abbe
c. Progettazione e struttura di un microscopio ottico

d. microscopia di fluorescenza e microscopia confocale
e. Oltre il limite di Abbe: structured-illumination microscopy (STED)
f. Microscopia a super-risoluzione: PALM e STORM.

SEZIONE C.2. MICROSCOPIA ELETTRONICA
a. Natura ondulatoria degli elettroni e principi di ottica elettronica
b. Interazione tra elettroni e materia
c. Microscopia elettronica a trasmissione (TEM)
i. Struttura di un microscopio TEM
ii. Imaging modes (bright e dark field), diffrazione e cristallografia
iii. Ampiezza, diffrazione e contrasto di fase nel TEM
iv. High-Resolution TEM, magnetic TEM, Scanning TEM
v. Preparazione campioni TEM
d. Scanning Electron Microscopy (SEM)
i. Struttura di un microscopio SEM
ii. Secondary electron contrast e imaging modes;
iii. Electron Back-Scatter Diffraction (EBSD)
e. Electron and Photon Spectroscopies in SEM e TEM
i. Energy-Dispersive X-Ray spectroscopy (EDX)
ii. Electron Energy Loss Spectroscopy (EELS)
iii. Auger Electron Microscopy (AEM)
iv. Cathodoluminescence (CL)

SEZIONE C.3. SCANNING-PROBE MICROSCOPY
a. Concetti generali sulle tecniche di scansione
b. Tip-sample forces e piezo-electric scanners;
c. Atomic Force Microscopy (cantilevers, detection methods, imaging modes);
d. Scanning Tunnelling Microscopy (tunnelling phenomenon, detection methods, imaging modes, spectroscopic capabilities)

Prerequisiti

Conoscenza di struttura della materia (argomenti trattati nei corsi della laurea triennale in Scienza dei Materiali)

Modalità didattica

Il corso prevede sia lezioni, con discussioni di specifici casi studio e applicazioni, sia attività interattive in lavori di gruppo e in esperienze pratiche in piccoli gruppi. In particolare, sono previste le seguenti attività:

- 12 lezioni da 2 ore svolte in modalita? erogativa in presenza.
- 28 esercitazioni da 2 ore svolte in modalita? erogativa nella parte iniziale, volta a coinvolgere gli studenti in modo interattivo nella parte successiva. Tutte le attivita? sono svolte in presenza.
- 6 esercitazioni da 2 ore svolte in modalita interattiva in gruppi interdipendenti. Tutte le attivita? sono svolte in presenza.
- 2 esercitazioni da 2 ore svolte inizialmente in modo indipendente dagli studenti e poi discusse in modo interattivo nella parte successiva. Tutte le attivita? sono svolte in presenza.

Materiale didattico

F. Wooten, "*Optical properties of solids*", Academic Press
J. G. Solé, L.E. Bausà, D. Jaque, "*Optical spectroscopy of Inorganic Solids*", Wiley
H. Kuzmany, "*Solid State Spectroscopy*", Springer
B.E.A. Saleh and M.C. Teich, "*Fundamentals of Photonics*", Wiley
R. Feynman, *"Lectures on Physics*" vol. 1, part 2, Inter European Editions
J.C. De Mello, *"An Improved Experimental Determination of External Photoluminescence Quantum Efficiency*", Advanced Materials vol. 9, 230 (1997)
G. Blasse and B.C. Grabmaier, *"Luminescent materials",* Springer Verlag
A.V. Chadwick and M. Terenzi, *"Defects in solids: Modern techniques"*, NATO ASI Series B: Physics, vol. 147, Plenum Press, 1986

M.B.James,D.J.Griffiths,Why the speed of light is reduced in a transparent medium,Am.J.Phys.60(1992)309
K.S. Potter, J.H. Simmons, Optical Materials, Elsevier, 3rd chapter
A. Othonos, K. Kally, Fiber Bragg Gratings, Artech House, ch.1, ch. 2 from 2.8 to 2.9, ch. 3, from 3.1 to 3.2…
B.E.A. Saleh, M.C. Teich, Fundamentals of Photonics, Wiley, section 6.2, 7.1.
N.E. Cusak, The physics of structurally disordered matter, IOP, sec. 1.1-1.9, 2.1-2.3, 10.6.
F.L. Geleener, Planar Rings in Glasses, Sol. St. Commun. 44 (1982) 1037.
D. Weaire, M.F. Thorpe, Electronic properties of an amorphous solid. I. A simple tight-binding theory, Phys. Rev. B 4 (1971) 2508.
G.D. Cody et al., Disorder and the optical absorption edge of hydrogenated amorphous silicon, Phys. Rev. Lett. 47 (1981) 1480.
L. Skuja, Optical properties of defects in silica, in "Defects in SiO2 and related dielectrics: science and technology" ed. G. Pacchioni, L. Skuja, D.L. Griscom, Kluwer Academic, pp. 73.

E. Hecht, Optics, 4th ed.; Addison-Wesley, 2002.
D. B. Murphy, Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging, 1st Edition; Wiley-Liss, 2001.
D. B. Williams and C. B. Carter, Transmission Electron Microscopy; Springer, 2009.
R. F. Egerton, Physical Principles of Electron Microscopy: An introduction to TEM, SEM, AEM; Springer, 2008.
E. Meyer, H. J. Hug, R. Bennewitz, Scanning Probe Microscopy: The Lab on a Tip; Springer, 2003.

Ulteriori risorse:
Slides dei docenti, tavole, diagrammi, disponibili sulla piattaforma e-learning.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Il corso è annuale. Le lezioni della Parte A sono nel primo semestre. Le Parti B e C, riguardanti discussioni su applicazioni e casi studio, esercitazioni di gruppo, e principi di microscopia comprensiva di parte pratica interattiva, sono nel secondo semestre.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

a) Prove in itinere. Il corso prevede tre prove in itinere, una per ciascuna delle tre parti del programma. Per la prima parte è previsto un colloquio orale sui contenuti delle lezioni che può essere sostenuto a partire dalla fine del primo semestre, su appuntamento. Per la seconda parte è previsto un test scritto comprensivo di domande a risposta multipla e una domanda a risposta aperta, proposto alla fine delle attività della seconda parte durante il secondo semestre. Per la terza parte del corso è previsto un test scritto con alcune domande a risposta aperta, proposto alla fine del semestre. I due test scritti possono essere sostituiti su richiesta dello studente da un colloquio orale, su

appuntamento, alla fine delle attività della seconda parte o della terza parte, durante il secondo semestre o al suo termine.

b) Competenze valutate. Nelle prove in itinere sono valutate le seguenti capacità: 1. Individuare i requisiti di risposta alla radiazione elettromagnetica necessari affinché un materiale sia idoneo per specifiche funzionalità; 2. Progettare strategie di misura per la caratterizzazione spettroscopica e microscopica delle proprietà dei materiali in relazione alle loro applicazioni.

c) Criteri per la valutazione. Sia nei colloqui sia nei test scritti sono valutati i seguenti parametri: i) percentuale delle domande proposte alle quali viene data risposta corretta; ii) per ogni risposta, percentuale dei dettagli sperimentali e teorici forniti dallo studente rispetto a quelli esposti, discussi ed applicati durante il corso; iii) per ogni argomento proposto durante la prova, percentuale dei commenti sugli aspetti applicativi rispetto a quelli discussi e compresi nei contenuti del programma. La valutazione finale è la media delle valutazioni sulle tre parti del corso, ciascuna secondo tutti i criteri indicati.

Orario di ricevimento

8 - 18

Gli studenti possono prendere appuntamento con i docenti tramite e-mail per colloqui individuali.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE | CONSUMO E PRODUZIONE RESPONSABILI