UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Fisica dei Materiali con Laboratorio

2021-3-E2701Q045

Obiettivi

Fornire allo studente le basi per la comprensione delle proprietà fisiche dei materiali e della loro misura.

Contenuti sintetici

Introduzione alla fisica dei materiali: proprietà meccaniche, elastiche, elettroniche e magnetiche.

Programma esteso

LABORATORIO DI FISICA DEI MATERIALI

Il laboratorio consiste in una serie di esperienze della durata di due-tre pomeriggi, incentrate soprattutto sulle proprietà dei materiali semiconduttori. Lo scopo delle esperienze è soprattutto quello di sviluppare senso critico e autonomia nel processo di misura delle proprietà fisiche del materiale. Le esperienze includono:

- la misura Hall di proprietà elettriche e di drogaggio di semiconduttori;
- caratteristiche tensione-corrente di una giunzione p-n;
- misura delle proprietà di assorbimento e riflessione;
- misure dell'efficienza di celle fotovoltaiche in funzione della lunghezza d'onda della luce incidente;
- misure del tempo di vita di portatori fotoeccitati.

FISICA DEI MATERIALI

Strutture cristalline

- Descrizione generale delle strutture cristalline
- Alcune importanti strutture cristalline
- Strutture cubiche
- Strutture compatte
- Strutture di solidi covalenti
- Determinazione della struttura cristallina

Diffrazione di raggi X

- Teoria di Bragg
- Piani reticolari e indici di Miller
- Teoria generale della diffrazione
- Il reticolo reciproco
- Significato del reticolo reciproco
- Diffrazione di raggi X da strutture periodiche
- La sfera di Ewald
- Relazione tra la teoria di Bragg e Laue

Legami nei solidi

- Forze attrattive e repulsive
- Legame ionico
- Legame covalente
- Legame metallico
- Legame idrogeno
- Legami di van der Waals

Proprietà meccaniche

- Deformazione elastica
- Descrizione macroscopica
- Costanti elastiche
- Rapporto di Poisson
- Relazione tra costanti elastiche
- Descrizione microscopica
- Deformazione plastica
- Stima dello stress del punto di snervamento
- Difetti puntuali e dislocazioni
- Il ruolo dei difetti nella deformazione plastica

- Frattura

Proprietà termiche del reticolo

- Vibrazioni del reticolo
- Oscillatore armonico
- Catena infinita di atomi
- Catena con un atomo per cella
- La prima zona di Brillouin
- Catena con due atomi per cella
- Catena finita
- Vibrazioni quantizzate, fononi
- Solidi tridimensionali
- Generalizzazione a tre dimensioni
- Stima delle frequenze vibrazionali a partire dalle costanti elastiche
- Capacità termica del reticolo
- Confronto tra la teoria classica e l'esperimento
- Modello di Einstein
- Modello di Debye
- Conduttività termica
- Dilatazione termica
- Transizioni di fase allotropiche e fusione

Proprietà elettroniche dei metalli: approccio classico

- Presupposti di base del modello di Drude
- Risultati dal modello Drude
- Conducibilità elettrica in corrente continua
- Effetto Hall
- Riflettività ottica dei metalli
- Legge di Wiedemann-Franz
- Carenze del modello Drude

Proprietà elettroniche dei solidi: approccio quantistico

- L'idea delle bande energetiche
- Modello di elettrone libero
- Autostati elettronici
- Capacità termica elettronica
- La legge di Wiedemann-Franz
- Descrizione generale degli stati elettronici
- Modello di elettrone quasi libero
- Bande energetiche in solidi reali
- Proprietà di trasporto

Semiconduttori

- Semiconduttori intrinseci
- Dipendenza dalla temperatura della densità dei portatori
- Semiconduttori drogati
- Droganti n e p
- Densità di portatori
- Conducibilità dei semiconduttori
- Dispositivi a semiconduttore
- Giunzione pn
- Transistor JFET
- Sistema metallo-ossido-semiconduttore
- Dispositivi optoelettronici
- Transistor MOSFET

Magnetismo

- Descrizione macroscopica
- Descrizione quantistica del magnetismo
- Paramagnetismo e diamagnetismo
- Paramagnetismo di Curie
- Paramagnetismo di Pauli
- Ordine magnetico e interazione di scambio
- Ferromagnetismo
- Domini ferromagnetici
- Isteresi

Dielettrici

- Descrizione macroscopica
- Polarizzazione microscopica
- Il campo locale
- Dipendenza della costante dielettrica dalla frequenza
- Eccitazione delle vibrazioni del reticolo
- Transizioni elettroniche
- Impurezze nei dielettrici
- Ferroelettrici
- Piezoelettricità
- Breakdown dielettrico

Prerequisiti

Buone conoscenze di Fisica Generale e tecniche di calcolo integrale e differenziale. Conoscenze di base di Fisica Quantistica.

Modalità didattica

Lezioni frontali e esperimentazioni in laboratorio.

Per quel che riguarda le lezioni frontali, nel periodo di emergenza Covid-19 le lezioni si svolgeranno sia in forma di videolezione registrata, sia in forma di incontri telematici interattivi con l'idea di discutere insieme le videolezioni registrate.

Per quel che riguarda gli esperimenti, il distanziamento sociale potrebbe rendere impossibile fruire di tutte le giornate in laboratorio. In questo caso le modalità di fruizione comporteranno anche un lavoro da remoto sui dati sperimentali acquisiti da altri.

Materiale didattico

- Solid State Physics: An Introduction, di Philip Hofmann (Testo principale di riferimento)
- Principi di Fisica dei Semiconduttori di Mario Guzzi (Testo per i semiconduttori)
- Materiale distribuito dal docente.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

I Semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame di Fisica dei Materiali con Laboratorio si articola in prove orali con la compilazione di una relazione di laboratorio. Il corso di Fisica dei materiali con Laboratorio e' composto da 14 CFU. L'esame è diviso in tre moduli, uno di laboratorio e due di teoria. Questi tre moduli possono essere sostenuti o contemporaneamente o separatamente.

Il modulo di laboratorio prevede la valutazione di una relazione su una delle esperienze pratiche che sono state affrontate in laboratorio. La valutazione sulla relazione si basa sulla correttezza, sulla completezza e sulla chiarezza dell'esposizione delle misure. La prova orale invece va ad analizzare le conoscenze su tutte le esperienze che lo studente ha affrontato in laboratorio.

Per questo modulo non è necessario conoscere a fondo la teoria, che e' invece oggetto degli altri moduli, ma è sufficiente conoscere le minime nozioni di fisica dei materiali necessarie alla comprensione dell'esperimento. Queste minime nozioni sono quelle riportate nelle schede di laboratorio relative alle esperienze svolte. Ovviamente si dà per scontato che si conoscano gli argomenti dei laboratori degli anni precedenti. In questo modulo si va ad analizzare principalmente la comprensione della metodologia dell'esperimento, la comprensione della strumentazione (ad esempio il funzionamento, i limiti strumentali, le procedure), e l'analisi dei dati (incertezze, elaborazione, presentazione). Questo modulo pesa circa 3/14 nel voto finale.

I due moduli di Fisica dei Materiali sono invece incentrati sulla teoria della fisica dei materiali e hanno un peso relativo maggiore pari a 5/14 e 6/14. I dettagli della suddivisione dei due moduli sono riportati nell'elearning.

Durante l'emergenza Covid-19, gli esami verranno sostenuti da remoto telematicamente.

Orario di ricevimento

alla fine delle lezioni o su appuntamento, anche telematicamente