UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Fisica dei Materiali con Laboratorio

2526-3-ESM01Q017

Obiettivi

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

I principali obiettivi formativi sono:

- conoscenza e capacità di comprensione delle proprietà fisiche dei materiali;
- conoscenza e capacità di comprensione delle proprietà fisiche dei materiali applicate ai principali utilizzi;
- autonomia di giudizio (making judgements) nell'analisi di proprietà fisiche e nell'impostazione di esperimenti scientifici;
- abilità comunicative (communication skills) nell'esposizione di teorie fisiche complesse e nella relazione di esperimenti scientifici;
- capacità di apprendere in modo autonomo dal materiale didattico aggiuntivo, dai manuali e dalle specifiche tecniche della strumentazione (learning skills).

Contenuti sintetici

- Proprietà dei materiali (meccaniche, vibrazionali, termiche, elettroniche, magnetiche, dielettriche, ottiche,..)
- Materiali (metalli, semiconduttori, dielettrici, magneti, piezoelettrici,...)
- Dispositivi a stato solido (cella fotovoltaica, LED, termocoppia, transistor, ...).
- Strumentazione di un laboratorio di fisica dei materiali (misure elettriche, misure ottiche, ...)

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

Introduzione al laboratorio. Fotoni, Spettroscopia, Trasmissione, Assorbimento, Emissione, Interferenza, Sorgenti, Lenti e specchi, Elementi dispersivi, Monocromatore, Rivelatori,Spettrofotometro, Parametri misura spettroscopica, Sicurezza, Semiconduttori, Elettroni e buche, Droganti, Giunzione pn, Diodo, Fotodiodo, Cella fotovoltaica, LED, Conducibilità, Mobilità, Ohmicità contatti, Metodo di Hall, Metodo di VanDerPauw, Assorbimento ottico in semiconduttori.

Cristalli. Strutture cristalline, Legami nei solidi, Indici di Miller, Onde piane e reticolo, Serie di Fourier, Reticolo reciproco.

Proprietà meccaniche. Curve stress-strain, Rapporto di Poisson, Elasticità, Deformazione plastica, Difetti puntuali ed estesi, Notazione matriciale stress strain.

Proprietà vibrazionali e termiche. Richiami a distribuzione di Boltzmann, teorema equipartizione e capacità termica DP, Oscillatori indipendenti, Catena monoatomica lineare, Velocità di fase e di gruppo, Dispersione di cristali con più atomi per cella, Interazione tra branca ottica e radiazione, Cristallo finito, Richiami quantizzazione oscillatori, Fononi, Dispersione solidi 3D, Dispersione per il cristallo di silicio, Richiami statistica di Bose-Einstein, Modello di Einstein, Densità di stati, Modello di Debye, Conducibilità termica, Espansione termica, Transizioni di fase, Fusione, Criterio di Lindemann

Proprietà classiche dei metalli. Modello di Drude per i metalli, Mobilità, Conducibilità, Effetto Hall, Funzione dielettrica, Epsilon complessa, Indice di rifrazione, Coefficiente di estinzione, Riflettività dei metalli, Omega di plasma, Penetrazione della luce nei metalli, Legge di Wiedemann-Franz, Effetto termoelettrico, Limiti del modello di Drude.

Proprietà elettroniche quantistiche. Elettroni liberi, Energia di Fermi, Densità di stati elettronici, Richiami statistica di Fermi-Dirac, Capacità termica elettronica, Enunciato e significato del teorema di Bloch, Momento cristallino, Elettroni quasi liberi, Struttura a bande di solidi 3D, Velocità di gruppo, Densità di stati, Equazione del moto, Trasporto in metalli e semiconduttori, Massa efficace, Analisi delle strutture a bande, Trasporto in un metallo reale, Lacuna o buca, Struttura a bande di Si Ge GaAs.

Semiconduttori. Semiconduttori intrinseci e estrinseci, Modello atomo idrogenoide, Semiconduttori degeneri, Statistica qualitativa, Maggioritari e minoritari, Statistica quantitativa: impostazione del problema, Funzione di Fermi approssimata, Statistica quantitativa del semiconduttore intrinseco, Posizione dell'energia di Fermi, Statistica quantitativa semiconduttori estrinseci, Legge azione di massa, Relazione estrinseci-intrinseco, Proprietà di trasporto in semiconduttori reali.

Dispositivi. Introduzione alla giunzione pn, Livello di Fermi nella giunzione, Allineamento delle bande, Potenziale interno dalla termodinamica, Potenziale interno dall'elettrostatica, Dimensione zona svuotata, Polarizzazione diretta e inversa, Correnti di generazione e ricombinazione, Bilancio delle correnti ed equazione del diodo, Diodo non ideale. Giunzione pn illuminata, Cella fotovoltaica, LED, Transistor BBS, J-FET, Sistema Metallo-Ossido-Semiconduttore, MOS-FET, Cella di memoria, Array di celle, Tecnologia dei semiconduttori.

Magnetismo. Grandezze caratteristiche del magnetismo nei materiali, Richiami dell'origine del magnetismo negli atomi, Paramagnetismo, Origine microscopica del ferromagnetismo, Ferromagnetismo di un sistema a due livelli, Domini di Weiss e pareti di Bloch, Ciclo di isteresi, Magneti dolci e duri.

Dielettrici. Introduzione ai dielettrici, Funzione dielettrica, Polarizzazione nei materiali, Modello di Lorentz senza e con dissipazione, Eps immaginaria e potenza dissipata, Eps con molte risonanze, Eps statica e gap, Assorbimento nei solidi, modello TART, Il colore, Eps statica e gap, Impurezze e colore, Cenni sui ferroelettrici, Cenni sui piezoelettrici, Cenni sul breakdown elettrico.

Superconduttori. Scoperta della superconduttività. Proprietà dei superconduttori. Effetto Meissner. Superconduttori tipo I e II.

Prerequisiti

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

Modalità didattica

34 lezioni da 2 ore svolte in modalità erogativa in presenza per il modulo di Fisica dei Materiali e l'introduzione al laboratorio;
9 attività di laboratorio da 4 ore ciascuna svolte in modalità interattiva in presenza;
Lezioni frontali e laboratori sono tenuti in lingua italiana.

Materiale didattico

Solid State Physics: An Introduction, di Philip Hofmann (Testo principale di riferimento)
Materiale distribuito dal docente.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

II Semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

In sintesi le prove si compongono di:

- Colloqui sugli argomenti svolti a lezione;
- Colloquio sulla relazione di laboratorio;
- Colloquio sulle esperienze di laboratorio.

- Di seguito vengono descritti i dettagli delle prove.
- 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 10 CFU. L'esame è diviso in moduli di laboratorio e di teoria. Questi 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).

I moduli di Fisica dei Materiali sono invece incentrati sulla teoria della fisica dei materiali. I dettagli della suddivisione dei due moduli sono riportati nell'elearning. Per i moduli di Fisica dei Materiali verranno valutate la comprensione dei fenomeni fisici, la capacità di ricondurre fenomeni complessi a modelli semplici, l'abilità di utilizzare modelli matematici per quantificare le proprietà fisiche dei materiali.

Il modulo di Laboratorio e il primo modulo di Fisica dei Materiali vengono erogati prima e pertanto possono essere sostenuti anche prima della fine del corso (valutazione in itinere).

Orario di ricevimento

Alla fine delle lezioni o su appuntamento.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ | ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE | LAVORO DIGNITOSO E CRESCITA ECONOMICA | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE | CONSUMO E PRODUZIONE RESPONSABILI | LOTTA CONTRO IL CAMBIAMENTO CLIMATICO