



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### FISICA DEI MATERIALI PER LA FOTONICA

**RICCARDO FARCHIONI**

Anno accademico 2022/23  
CdS FISICA  
Codice 026BB  
CFU 3

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
FISICA DEI MATERIALI PER LA FOTONICA	FIS/03	LEZIONI	24	RICCARDO FARCHIONI

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Il corso non è particolarmente spinto dal punto di vista del formalismo matematico; le formule servono a illustrare in modo sintetico come le grandezze fisiche sono coinvolte nei fenomeni studiati. Verrà fatto un breve richiamo alla meccanica quantistica.

#### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Introduzione al corso. Caratteristiche dei materiali utilizzati per la fotonica. Principali applicazioni: transistor, Led, Laser, celle fotovoltaiche. Materiali disponibili in natura e possibilità di loro modifiche per nuove applicazioni. “Ingegneria delle bande”. Composti di semiconduttori. Metodi di crescita. Metodo di Czochralski, metodo di Bridgman, Molecular Beam Epitaxy.

Strutture geometriche dei reticoli. Cella primitiva, cella di Wigner-Seitz, reticolo reciproco. Teorema di Bloch, concetto di bande di energia e gap di energia, significato del momento dell'elettrone nel cristallo.

Bande di energie, caso di bande parzialmente o completamente occupate/vuote. Concetto di buca. Introduzione al metodo tight-binding del calcolo delle bande. Orbitali molecolari come sovrapposizione di orbitali atomici (LCAO).

Hamiltoniana di tight binding, equazione di Schroedinger, risoluzione nel caso di singola banda da orbitale s. Concetto di massa effettiva. Effetti dell'interazione spin-orbita, split della banda di valenza, bande Heavy Hole e Light Hole.

Rappresentazione degli stati in termini del'osservabile momento angolare in relazione agli orbitali molecolari s,p. Descrizione delle strutture a bande dei principali semiconduttori e composti. Concetto di densità degli stati, densità dei portatori di carica intrinseci. Difetti nei cristalli, strain.

Influenza dello strain sulle bande di valenza e conduzione vicino al punto gamma. Densità degli stati di portatori intrinseci. Drogaggio n e drogaggio p. Andamento della densità dei portatori di carica con la temperatura (regime intrinseco-regime di freezout).

Proprietà dei composti di semiconduttori: approssimazione di cristallo virtuale (VCA), calcolo di passo reticolare, gap e masse effettive del composto a partire da quelli degli



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

elementi costituenti.

Eterostrutture di tipo I, II, III. Densità degli stati in sistemi a bassa dimensionalità.

Proprietà elettroniche di Quantum Well. Effetti del confinamento elettronico

Equazioni di Maxwell. Hamiltoniana con potenziali vettori e scalari. Rate d'assorbimento e di emissione. Transizioni interbanda in quantum well; oltre alla densità degli stati.

Definizione di eccitone, risoluzione della equazione di Schroedinger.

Proprietà elettroniche in quantum wells, forma a gradini della densità degli stati, rate di assorbimento ed emissione in quantum well. Definizione di fonone. Transizioni indirette in presenza di fononi. Coefficiente di assorbimento in caso di transizioni indirette.

Definizione di eccitone. Risoluzione dell'equazione di Schroedinger, forma della funzione d'onda. Proprietà ottiche in presenza di eccitoni, forma del coefficiente di assorbimento vicino all'onset del gap. Rate delle transizioni ottiche in presenza di effetti eccitonici

Giunzioni p-n. Led: principio di funzionamento a partire dalla giunzione p-n polarizzata.

Efficienza radiativa ed esterna. Efficienza quantica. Discussione sulle perdite nel mezzo e in uscita. Distribuzione spettrale al variare della frequenza di emissione. Condizione per l'inversione di popolazione fra due livelli in un laser. Coefficienti di Einstein, giunzione p-n con inversione di popolazione. Sistemi a tre e a quattro livelli.

Campo nella cavità risonante di un laser, modi risonanti, perdite. Guadagno del laser,

soglie. Intensità di emissione in funzione della frequenza, selezione della frequenza

desiderata. Sistemi organici: ibridizzazioni di tipo  $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$ . Strutture dei più rilevanti polimeri utilizzati per la fotonica.

Descrizione delle caratteristiche dell'Hamiltoniana per lo studio dei polimeri.

Approssimazione di Born-Oppenheimer e riduzione agli orbitali di tipo  $\pi$  greco. Modello Su-Shrieffer-Heeger per lo studio del polyacetilene, stima dell'energia di gap in funzione dei parametri dell'Hamiltoniana. Stato fondamentale degenere, solitone. Difetti nel caso di stato fondamentale non degenere. Polaroni e bipolaroni e relativi livelli inseriti nello spettro.

### Bibliografia e materiale didattico

J. Singh, Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures, Cambridge University Press (capitoli 1, 2, 3, 9 e 10)

<https://drive.google.com/file/d/1Fc88Kqg83A3MzKJOhFv2DNGTJois6ZOP/view?usp=sharing>

### Modalità d'esame

L'esame è solo orale e si svolge con la seguente modalità: quando ci si sente pronti, mi si invia una email e io spedisco un articolo di ricerca sugli argomenti trattati nel corso. Lo studente dovrà leggere tale articolo riconoscendone le tematiche rilevanti, che saranno poi esposte all'esame fornendo da spunto per il colloquio globale. Quando si sentirà pronto, verrà fissato l'esame su appuntamento.

Ultimo aggiornamento 13/09/2022 11:12