

PREFAZIONE

Come ben noto a chi si occupa di qualunque tipo di progettazione (ad es. di una struttura, di una “macchina”, di un dispositivo, ecc.), questa non può assolutamente prescindere dalle proprietà dei materiali a disposizione. Inoltre, la conoscenza delle correlazioni proprietà-struttura consente di scegliere, ed anche ideare, materiali adatti a specifiche applicazioni. E’ proprio l’utilizzo di materiali avanzati (citiamo un esempio noto a tutti, quello dei materiali nanostrutturati, che oggi sono oggetto di approfondite ricerche) che sta consentendo grandi balzi in avanti in quasi tutti i campi dell’Ingegneria. Ciò è particolarmente vero nel campo dell’elettronica, dove la necessità di una sempre maggiore miniaturizzazione dei circuiti e dei dispositivi si sta tuttavia scontrando con la difficoltà di reperire materiali adatti, tenendo conto che passando dalla *microelettronica* alla *nanoelettronica* si manifestano sempre più rilevanti gli effetti quantistici. E’ quindi necessario che agli studenti delle Facoltà di Ingegneria siano fornite le basi di Chimica e di Fisica che consentano loro innanzitutto di comprendere la struttura di un materiale; a queste devono essere poi aggiunte nozioni più approfondite e specifiche, per collegare le diverse proprietà alla struttura stessa.

In quest’ottica, il presente testo, rivolto agli studenti dei Corsi di Laurea in Ingegneria Elettronica (che nelle diverse Sedi hanno oggi assunto varie denominazioni), si propone di fornire, in modo semplice ed utilizzando strumenti matematici relativamente poco complessi, le nozioni indispensabili per lo studio e l’interpretazione delle *proprietà elettriche* ed *ottiche* dei materiali di largo impiego nel campo dell’elettronica, con particolare riguardo ai semiconduttori. Esso nasce dall’esperienza didattica maturata dagli Autori nello svolgimento di un corso sulle proprietà chimico-fisiche dei materiali rivolto agli allievi ingegneri elettronici, che ha avuto come titolari prima A. Desalvo, ora a riposo, e poi, sino ad oggi, A. Munari.

Il testo si articola nel modo seguente. Dopo aver richiamato le caratteristiche fondamentali delle onde elettromagnetiche e delle onde di materia, con particolare riferimento a quelle relative agli elettroni (Cap. I), viene presentata la risoluzione dell’equazione di Schrödinger in alcuni casi particolari (Cap. II): il gradino e la barriera di potenziale, con particolare riferimento all’effetto tunnel, la buca di potenziale a pareti infinite e l’oscillatore armonico monodimensionale. Successivamente (Cap. III) viene analizzato il legame covalente puro e quello polarizzato nelle molecole

biatomiche mediante il metodo degli Orbitali Molecolari, ottenendo risultati che saranno successivamente utilizzati per la descrizione del legame nei solidi tramite la teoria del *tight-binding*. Nel Capitolo IV vengono introdotte le nozioni fondamentali di cristallografia, la nozione di reticolo reciproco e sono quindi analizzati i fenomeni di diffrazione dei raggi X e degli elettroni da parte dei reticoli cristallini, con le relative applicazioni allo studio della struttura dei cristalli e alla microscopia elettronica. Nel Capitolo V vengono studiate le vibrazioni nelle molecole e nei cristalli, con accenni alle tecniche spettroscopiche infrarosse e Raman per l'analisi di queste proprietà nei materiali, mentre nel Capitolo VI viene analizzato il legame nei cristalli mediante il modello dell'elettrone quasi libero e quello del *tight-binding*. Entrambi i metodi vengono estesi al caso dei semiconduttori ed in particolare è analizzata la dipendenza del *gap* di energia proibita dalla composizione per i semiconduttori composti. Osserviamo che la trattazione dei semiconduttori mediante il metodo del *tight-binding*, che mette in evidenza la relazione tra il *gap* di energia proibita e la forza del legame covalente, non si trova comunemente nei testi più diffusi. Tale trattazione è comunque indispensabile per comprendere la struttura a bande dei semiconduttori amorfi, sui quali ha lavorato uno di noi (A. D.), che altrimenti risulta inspiegabile utilizzando gli usuali metodi validi per un reticolo periodico. Sono poi studiate le proprietà elettriche dei metalli e dei semiconduttori (Cap. VII), con particolare attenzione alla dipendenza dalla temperatura del numero dei portatori e della mobilità in questi ultimi, ed infine, nel Capitolo VIII, vengono esaminate le proprietà ottiche dei metalli, dei semiconduttori e degli isolanti nell'infrarosso, nel visibile e nell'ultravioletto.

Vogliamo sottolineare che nei casi semplici la trattazione matematica è stata sviluppata per intero, mentre in quelli più complessi ci si è limitati a riportare e commentare il risultato finale. Il lettore potrà a limitarsi a ciò anche nei casi più semplici, mentre lo studente più portato alla matematica potrà seguire senza difficoltà le dimostrazioni. Nel testo si è usato il sistema di unità SI, salvo che nel capitolo VIII, relativo alle proprietà ottiche, dove si è preferito l'uso del sistema CGS, perché in questo caso è quello più diffuso, dato che molte espressioni matematiche risultano in tal modo più semplici.

Per gli studenti interessati ad approfondire i temi affrontati in questo libro, offriamo una selezione di riferimenti, pur se necessariamente incompleta.

Tra i testi, diciamo così, "generalisti", ricordiamo innanzi tutto il classico C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics* (J. Wiley, New York), giunto all'ottava edizione (2005), di cui esiste anche un'edizione italiana, C. Kittel, *Introduzione alla Fisica dello Stato Solido* (Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 2008). Altri due testi "generalisti" sono: H. Ibach e H. Lüth, *Solid State Physics, An Introduction to Principles of Materials Science*, Quarta

edizione (Springer, Berlin, Heidelberg, 2009) e S. R. Elliott, *The Physics and Chemistry of Solids* (J. Wiley, New York, 1998).

Un testo scritto per studenti di Ingegneria è: R. E. Hummel, *Electronic Properties of Materials*, Terza edizione (Springer, Berlin, Heidelberg, 2001). Per studenti con inclinazioni teoriche, ricordiamo: J. M. Ziman, *Principles of the Theory of Solids*, Seconda edizione (Cambridge University Press, Cambridge, 1972), di cui esiste una traduzione italiana fuori commercio, J. M. Ziman, *I principi della teoria dei solidi* (Tamburini Editore, Milano, 1975), e N. W. Ashcroft e N. D. Mermin, *Solid State Physics* (Brooks Cole, Florence, KY, USA, 1976).

Infine vogliamo citare il testo in cui è trattata in dettaglio la struttura a bande dei semiconduttori utilizzando la teoria degli orbitali molecolari: W. A. Harrison, *Electronic Structure and the Properties of Solids, The Physics of the Chemical Bond* (W. H. Freeman, S. Francisco, 1980; ristampata da Dover, New York, 1989).

Confidiamo che il presente volume possa riscuotere il favore di studenti e colleghi, diventando un valido ausilio per la comprensione della struttura e delle proprietà dei materiali di largo impiego nell'elettronica e, più in generale, un mezzo per diffondere la conoscenza dei materiali, che, come già ricordato, al giorno d'oggi rappresentano una importante frontiera nei diversi campi dell'Ingegneria.

Bologna, Febbraio 2010

Agostino Desalvo
Andrea Munari