

Analisi delle proprietà ottiche di semiconduttori elementari e composti

Questa esperienza proposta mira a mettere gli studenti a contatto con due tecniche spettroscopiche di fondamentale importanza nella scienza dei materiali e nella fisica dello stato solido, cioè **le misure di trasmissione ed assorbimento della luce da parte di materiali semiconduttori**.

Nei semiconduttori gli elettroni, che sono le particelle che trasportano la corrente elettrica, possiedono un'energia che è distribuita in diversi livelli, detti anche *bande energetiche*. Generalmente sono considerate le bande di valenza, nella quale gli elettroni non contribuiscono alla corrente, e la banda di conduzione – ad energia maggiore – in cui invece gli elettroni possono contribuire al trasporto di corrente. La distanza energetica tra le due bande è detta **“gap energetico”** ed è una delle grandezze fondamentali che caratterizzano un semiconduttore.

Nell'**effetto fotoelettrico interno** un fotone – quanto elementare di radiazione luminosa – che abbia un'energia maggiore o uguale del gap energetico può essere assorbito da un elettrone in banda di valenza: questo elettrone acquisisce dal fotone un'energia sufficiente a promuoverlo in banda di conduzione (ciò che viene detto *transizione interbanda*), dove esso potrà contribuire alla corrente elettrica. La presenza di elettroni in banda di conduzione rende quindi il campione più conduttivo (*fotoconducibilità*). Nessuna transizione può essere invece indotta da fotoni con energia minore del gap (Fig.1). Si tratta dunque di un effetto genuinamente quantistico.

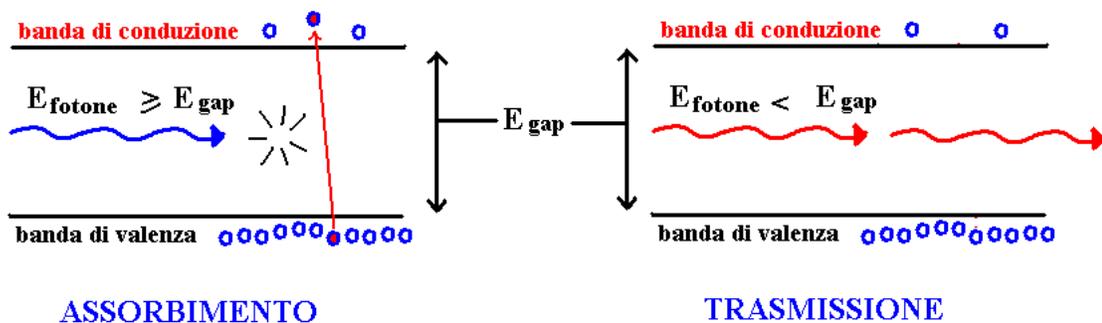


Figura 1 Interazione tra elettroni in un semiconduttore e fotone incidente di diversa energia

L'esperienza (Fig. 2 e 3) consiste nel far incidere su un campione semiconduttore un fascio di luce monocromatica (cioè in cui sono presenti solo fotoni di una ben determinata energia) e nel misurare, in funzione della lunghezza d'onda λ della luce incidente, sia la variazione di resistenza del campione (fotoconducibilità) sia l'intensità della luce da esso trasmessa.

La lampada ha uno spettro d'emissione che va dal visibile al vicino infrarosso. La prima lente è posizionata sul cammino della luce in modo da rendere parallelo il fascio di luce che incide sul reticolo di diffrazione a riflessione. Il fascio emergente viene focalizzato sul campione da una seconda lente.

Facendo ruotare il reticolo con un motoriduttore, al variare dell'angolo R varia la lunghezza d'onda della luce che incide sul campione. La variazione dell'angolo è rilevata da un **sensore angolare**

che misura la rotazione relativa alla posizione iniziale. Il campione ha spessore di qualche decimo di millimetro per permettere la trasmissione di un fascio sufficientemente intenso e la sua resistenza dipende dalla densità di portatori di carica elettrica: la tensione ai suoi capi viene modulata quindi dalla luce incidente (**sensore fotoconduttivo**). Il **sensore piroelettrico** è invece posto dietro al campione, e misura la quantità di luce trasmessa.

Entrambi i segnali, di luce trasmessa e di fotoconduttività, vengono preamplificati e resi immuni da rumore e luce ambiente mediante un apposito filtro, detto *lock-in*. L'amplificazione del segnale è resa possibile modulando la luce incidente ad una certa frequenza per mezzo di un disco rotante forato, detto *chopper*. L'amplificatore lock-in è in grado di amplificare il solo segnale a quella stessa frequenza, eliminando così

gran parte del rumore sovrapposto al segnale. Il principio di funzionamento del lock-in è molto utilizzato nella comune pratica sperimentale, ed è reso facilmente comprensibile dalla presente apparecchiatura.

L'interfaccia, collegata a PC o a Calcolatrice Grafica tramite porta seriale, permette l'acquisizione diretta dei segnali prodotti dai **3 sensori**.

È semplice a questo punto convertire i valori di lunghezze

d'onda in valori di energia del fotone: $E=hc / \lambda$ dove h è una costante universale (di Planck) e c è la velocità della luce.

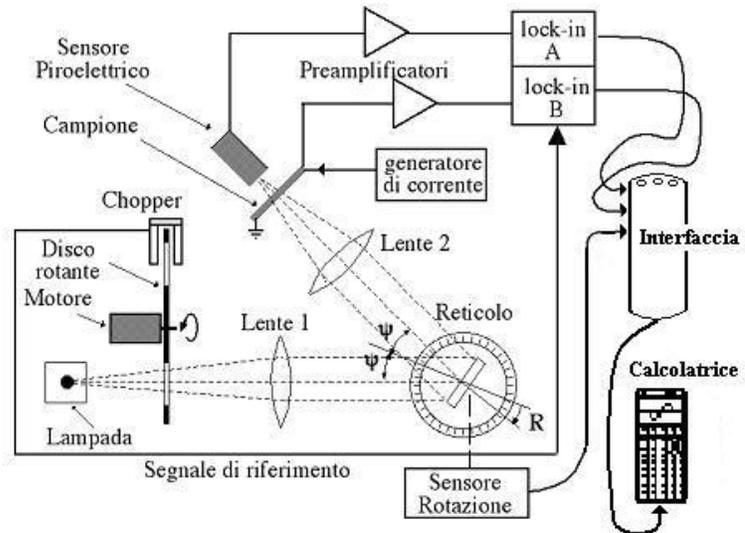


Figura 2 Setup sperimentale per le misure di trasmissione ed assorbimento della luce da parte di un materiale semiconduttore



Figura 3 Apparato sperimentale

Il grafico riportato qui sotto (Fig.3) mostra il segnale fotoconduttivo (in blu) ed il segnale proporzionale all'intensità della luce trasmessa (in rosso): i valori dell'energy gap si ottengono individuando con due rette orizzontali il fondo dei segnali nella zona ad energie minori (λ maggiori) ed interpolando con due rette i fronti di salita e discesa; le intersezioni delle rette inclinate con quelle orizzontali forniscono i due valori di soglia, cioè l'energia minima a cui inizia l'effetto fotoelettrico. Nell'esempio riportato in figura, si vede l'elaborazione dei dati relativi ad un campione di Germanio. I punti che si ritrovano dai due spettri forniscono valori di energy gap compresi nell'intervallo 0.6-0.65 eV.

L'esperimento può essere ripetuto per diversi materiali (Si, Ge, GaAs...) in modo da evidenziarne le differenze, nonché per offrire ad un numero maggiore di studenti la possibilità di eseguire *personalmente* l'esperienza.

Gli studenti potranno quindi rapidamente stimare, analizzando gli spettri raccolti, la **larghezza del gap energetico fra banda di conduzione e banda di valenza**.

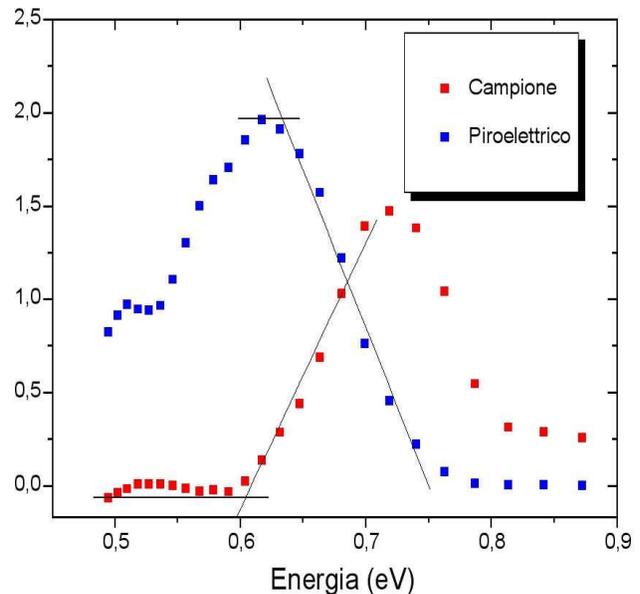


Figura 4 Esempio di spettri di assorbimento (rosso) e trasmissione (blu) di un semiconduttore

Le misure spettroscopiche di assorbimento e trasmissione della luce rivestono tuttora un ruolo fondamentale nella caratterizzazione dei nuovi materiali semiconduttori. Recenti ricerche condotte sul composto ternario $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ hanno messo in luce che il gap di questo materiale, sotto opportune condizioni di crescita, può variare da 3.4 eV a 0.7 eV. Questo può avere importanti ricadute applicative, perchè renderebbe possibile la produzione di celle fotovoltaiche (dette "celle a multigiunzione") in grado di sfruttare l'intero spettro della radiazione solare, a differenza delle comuni celle in silicio.

Per una più approfondita descrizione dell'esperimento, si veda

http://www.padova.infm.it/torzo/Photocon_AJP.doc

Per l'attuale ricerca sul bandgap del composto $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, si veda per esempio

http://www.lbl.gov/msd/PIs/Walukiewicz/02/02_8_Full_Solar_Spectrum.html