

Nanostrutture Fotoniche Tridimensionali con Disordine Controllato

Engineering Disorder in 3D Photonic Nanostructures

CANDIDATO: Lorenzo Cortese

RELATORE: Prof. Diederik Wiersma

CORRELATORE: Prof. Massimo Inguscio

In questo lavoro di tesi è stato svolto uno studio di sistemi fotonici complessi. Con questo nome ci riferiamo a sistemi che sono caratterizzati da variazioni di indice di rifrazione su scale comparabili con la lunghezza d'onda della radiazione utilizzata per investigarli. La variazione di indice di rifrazione in un sistema fotonico può avvenire in maniera periodica (i cosiddetti cristalli fotonici) oppure disordinata. Il trasporto della luce in sistemi ordinati ed in sistemi disordinati presenta aspetti comuni al trasporto di elettroni nei solidi. Nel primo caso infatti, all'interno del materiale, sotto particolari condizioni, è inibita la propagazione della luce in determinate regioni spettrali (*bandgaps* fotoniche). Nel secondo caso invece il trasporto della luce può arrestarsi improvvisamente e localizzandosi in certe regioni del materiale (analogo ottico della localizzazione di Anderson).

In questa tesi vengono studiati sistemi fotonici tridimensionali che non possono essere considerati né sistemi ordinati, né sistemi completamente disordinati, affrontando il problema mediante due approcci opposti. Da una parte sono state realizzate ed investigate otticamente strutture disordinate con correlazioni spaziali fra le posizioni delle unità costituenti (sistemi fotonici amorfi). Dall'altra è stato inserito un certo grado di disordine in maniera controllata in strutture ordinate ben note in letteratura. Studi sull'effetto dell'interazione fra ordine e disordine nelle proprietà di trasporto della luce sono di fondamentale importanza dal momento che un certo grado di disordine in strutture ordinate ed un certo grado di correlazione in strutture disordinate sono sempre presenti in natura.

La tecnica di fabbricazione che ci ha permesso di controllare la presenza di ordine in sistemi disordinati e di disordine in sistemi ordinati è il *direct laser writing*. Tale tecnica sfrutta il processo di fotopolimerizzazione a due fotoni indotta da un laser ad impulsi ultracorti fortemente focalizzato in un materiale fotosensibile (*photoresist*), con una metodologia simile alla litografia ottica. L'importante vantaggio della tecnica utilizzata è la possibilità di creare strutture tridimensionali spostando lo spot focale all'interno del photoresist e polimerizzando in questo modo tracciati precedentemente progettati. La fabbricazione viene infine completata con la rimozione delle regioni non polimerizzate del photoresist mediante l'utilizzo di appositi solventi. I campioni fabbricati mediante *direct laser writing* sono in materiale polimerico, e quindi forniscono un basso contrasto di indice di rifrazione. Nonostante la bassa interazione radiazione materia, l'interazione fra disordine ed ordine porta ad interessanti proprietà ottiche che dovranno essere ulteriormente investigate. Inoltre tali strutture possono costituire *templates* per realizzare sistemi ad alto contrasto di indice di rifrazione tramite processi di infiltrazione di silicio, in cui l'interazione luce materia risulta più accentuata.

Nella prima parte del lavoro sono proposti la progettazione, la fabbricazione e la caratterizzazione di un particolare tipo di sistemi fotonici amorfi, ovvero quello costituito da una rete tetraedrica di connessioni di materiale dielettrico. Sistemi analoghi sono stati recentemente ideati e realizzati per operare nella regione delle microonde, ed hanno mostrato proprietà interessanti quali l'apertura di *bandgaps* fotoniche. Le strutture proposte in questa tesi invece possono essere considerate il primo passo per la realizzazione di sistemi, finora mai realizzati, che possano operare a lunghezze d'onda ottiche. I campioni ottenuti, in quanto di dimensioni ridotte, hanno permesso esclusivamente una caratterizzazione ottica preliminare, costituita da misure della luce balistica trasmessa. Nonostante le strutture presentino un basso contrasto d'indice di rifrazione è stato osservato che esse sono estremamente scatteranti, mostrando una trasmissione balistica molto bassa, con uno *scattering mean free path* associato dell'ordine di 2 μm . Tali misure risultano in buon accordo con l'andamento della sezione d'urto di scattering per una singola particella che compone il sistema calcolata con la teoria di Mie.

Nella seconda parte del lavoro sono proposti cristalli fotonici *woodpiles* nei quali sono stati distribuiti in maniera casuale dei centri di disordine in bassa concentrazione. Le strutture fabbricate sono state analizzate tramite misure di diffrazione e tramite una caratterizzazione al microscopio elettronico. Sono state inoltre effettuate misure di trasmissione balistica e di riflessione per incidenza della luce ortogonale ai piani dei *layers* che compongono i *woodpiles*. Dalle misure risulta che le strutture fabbricate possiedono una *stop band* fotonica nella regione spettrale compresa fra 1.2 e 1.35 μm . La presenza dei centri di disordine modifica la struttura dello spettro di trasmissione, creando canali di trasmissione parassiale all'interno della regione proibita di frequenze. La presenza del disordine ha influenza soprattutto nella regione del *band edge*, dove la velocità di gruppo del pacchetto d'onda diminuisce ed aumenta la probabilità dell'interazione della luce con i centri di scattering. In questa regione si osserva un aumento delle perdite di luce dal campione e lo *scattering mean free path* associato alla presenza dei centri di disordine si riduce notevolmente rispetto al caso di una medesima concentrazione di scatteratori inserita però in un mezzo omogeneo.

