

Candidato: Veronica Giardini (veronica.giardini@stud.unifi.it)

Relatore: Francesca Intonti (intonti@lens.unifi.it)

Titolo: Ottimizzazione del fattore di qualità di cavità a cristallo fotonico

Negli ultimi 50 anni la corsa alla miniaturizzazione dei circuiti elettronici integrati, con richieste di prestazioni sempre più rapide e dimensioni sempre più ridotte, ha stimolato un considerevole sforzo tecnologico. Ci sono però delle limitazioni: la miniaturizzazione dei circuiti porta all'aumento delle resistenze con conseguenti alti livelli di dissipazione di potenza, e difficoltà nella sincronizzazione dei segnali a causa dell'incremento delle velocità di operazione. Questo ha indirizzato l'interesse della ricerca scientifica e tecnologica alla realizzazione di dispositivi ottici e optoelettronici basati sui cristalli fotonici, in cui l'informazione è trasportata da fotoni anziché da elettroni.

I cristalli fotonici sono sistemi artificiali caratterizzati da una modulazione spaziale periodica dell'indice di rifrazione, che, per opportune scelte dei materiali e particolari configurazioni geometriche, può determinare la presenza di *band gap* fotonici, ovvero intervalli di frequenze per cui la luce non può propagarsi all'interno del cristallo, che possono essere visti come l'analogo dei *band gap* elettronici in un materiale semiconduttore.

L'introduzione di difetti intenzionali che rompano la perfetta periodicità di un cristallo fotonico può portare alla formazione di stati della radiazione elettromagnetica con frequenza all'interno del *band gap* e con distribuzione spaziale localizzata entro i confini del difetto. Questi difetti, in grado di confinare la luce in maniera molto efficace, sono detti cavità fotoniche.

Di fondamentale importanza per le applicazioni pratiche è la realizzazione di cavità fotoniche che abbiano un alto fattore di qualità (Q) e un piccolo volume modale (V). Il primo, definito come il rapporto fra l'energia immagazzinata e l'energia dissipata in un ciclo, rende conto delle perdite della cavità fotonica, sia nel piano della periodicità che nella direzione verticale. Il secondo quantifica l'estensione del campo elettromagnetico all'interno della cavità.

In questo lavoro di tesi è stata effettuata un'analisi spettroscopica di 12 cavità a cristallo fotonico su membrana con differenti configurazioni geometriche dei difetti. Tramite l'utilizzo di un microscopio a scansione a campo vicino (SNOM) è stato possibile ricostruire le mappe spaziali di fotoluminescenza nel vicino infrarosso, con risoluzione spaziale (minore di $\lambda/10$) inferiore al limite di diffrazione.

Le misure sono state effettuate con due differenti tipi di sonde in campo vicino, dielettrica e con rivestimento metallico, caratterizzate da diverse efficienze di raccolta e risoluzioni spaziali. Tramite una procedura di fit con curve lorentziane degli spettri raccolti in ogni scansione, sono state ricostruite le mappe del fattore di qualità e dello spostamento spettrale (*spectral shift*) dei modi fondamentali delle diverse cavità dovuti alla perturbazione della sonda di campo vicino. Lo scopo dell'indagine è quello di verificare la possibilità di ottimizzare il fattore di qualità tramite l'ingegnerizzazione delle cavità, e i risultati ottenuti, in accordo con la teoria, confermano che un'opportuna modifica della cavità porta ad un incremento del fattore di qualità. In particolare, i risultati sperimentali mostrano un incremento massimo di Q di un fattore 1.9 rispetto ad una cavità non modificata. L'indagine condotta costituisce uno strumento efficace per la verifica del buon esito della procedura di ingegnerizzazione e della fabbricazione di cavità fotonici con rapporto Q/V ottimizzato. È stato inoltre verificato, tramite un confronto con simulazioni numeriche (algoritmo *Finite-Difference Time-Domain*) che le mappe di *spectral shift* ottenute con la punta dielettrica e con la punta coated corrispondono rispettivamente all'intensità del campo elettrico ($|\mathbf{E}|^2$) e all'intensità della componente del campo magnetico ortogonale al piano della periodicità ($|H_z|^2$) associati al modo fondamentale della cavità. Questo risultato evidenzia che lo spostamento spettrale dei modi di cavità operato dalla sonda del microscopio a scansione può essere utilizzato per mappare con risoluzione spaziale sotto il limite di diffrazione la distribuzione spaziale dell'intensità di campo elettrico e di campo magnetico associati al modo di cavità.