

Emettitori di singolo fotone a posizionamento controllato realizzati con la luce

Candidata: Alice Boschetti

Relatore: dr. Francesco Biccari

Le sorgenti di singolo fotone sono di grande interesse per tutti i campi inerenti la Quantum Information Technology (QIT), come la Crittografia Quantistica o la Computazione Quantistica. Sebbene diversi sistemi quantistici possono essere usati per realizzare un quantum-bit, i fotoni sono i più semplici per portare l'informazione sia a lunghe distanze che a brevi distanze all'interno di un chip. La sorgente a singolo fotone più promettente basata su semiconduttori è il Quantum Dot (QD). Un QD è una nanostruttura dove i portatori sono confinati in tutte e tre le direzioni spaziali. Come in un atomo, anche in un quantum dot, la densità degli stati elettronici è discreta e le transizioni elettromagnetiche sono caratterizzate da linee di emissioni strette. Per questa ragione i QD sono anche chiamati "atomi artificiali". Un prerequisito per la fabbricazione di massa di dispositivi integrati complessi è quello di avere un metodo di fabbricazione scalabile e deterministico, che permetta di creare QD spazialmente ordinati, uniformi e spettralmente regolati rispetto all'architettura del dispositivo. Questo requisito diventa ancora più stringente considerando che, per le applicazioni reali, le sorgenti di singolo fotone vanno accoppiate con micro-cavità ottiche, il che richiede una precisione dell'ordine di 10 nm. Questa sfida non può essere vinta dalle tecniche di fabbricazione tradizionali, che danno attualmente i migliori risultati in termini di proprietà ottiche. Infatti queste tecniche generano QD la cui posizione laterale non è controllata. Diversi approcci sono stati studiati per ovviare a questo problema ma si basano tutti su complicate tecniche litografiche e di etching.

In questa tesi è stato proposto per la prima volta un nuovo metodo di fabbricazione di QD a posizionamento controllato ed è stata dimostrata la sua efficacia. È stata anche dimostrata la loro natura di emettitori di singolo fotone. Questa nuova tecnica è basata sull'effetto dell'idrogeno sui materiali cosiddetti "nitrucci diluiti", composti basati su elementi III-V, come il GaAs e il GaP, con una piccola aggiunta di azoto ($< 1\%$). L'effetto principale dell'azoto è quello di diminuire la band gap rispetto al materiale originale. Ancora più sorprendente è il ruolo giocato dall'idrogeno. Gli atomi di H si legano agli atomi di azoto formando dei complessi che neutralizzano gli effetti dell'azoto, per esempio ristabilendo il valore originale del band gap a quello del materiale senza azoto. Inoltre, siccome è stato osservato che i legami azoto-idrogeno possono essere rotti con la luce, per esempio focalizzando un fascio laser sulla superficie di un campione di GaAsN idrogenato, abbiamo sfruttato questa proprietà per fabbricare QD per laser writing. Uno dei più significativi miglioramenti è venuto dall'uso di un apparato SNOM, che ha permesso di creare nanostrutture di poche decine di nanometri di diametro, con un fine controllo della loro posizione. Abbiamo sperimentalmente caratterizzato un QD attraverso misure di micro-PL, micro-PL risolta in tempo, e misure di correlazione di fotoni. Attraverso delle mappe iperspettrali dell'emissione, è stato possibile confermare l'effettiva realizzazione del posizionamento controllato. Abbiamo infine misurato l'autocorrelazione della luminescenza ottenendo un antibunching nel profilo della funzione di correlazione al second'ordine, che è la prova della natura di emittori di singolo fotone dei nostri QD. Abbiamo infine studiato come i parametri di crescita influenzino le proprietà ottiche dei QD. Un'analisi delle righe spettrali ha mostrato che la larghezza di riga più stretta è stata di 200 μeV , circa un fattore due maggiore delle altre tecniche per la crescita di QD a posizionamento controllato. Una stima della riproducibilità della nostra tecnica di crescita è data invece dal valore dell'allargamento inhomogeneo che è risultato di circa 10 meV. In conclusione questa tesi è un passo fondamentale nello sviluppo di un nuovo approccio per la fabbricazione di QD a posizionamento controllato, rendendo la loro integrazione nelle cavità fotoniche un traguardo più semplice e vicino.