

Scrittura laser di quantum dot mediante nanojet fotonici

Candidato: Andrea Ristori (andrea.ristori1@stud.unifi.it)

Relatore: Dr. Francesco Biccari (francesco.biccari@unifi.it)

Negli ultimi anni la ricerca scientifica si è indirizzata verso lo studio delle nanotecnologie ovvero quell'insieme di tecniche e conoscenze atte alla realizzazione di strutture di dimensioni nanometriche ottenute dalla manipolazione dei materiali a livello atomico e molecolare. Grazie alle loro dimensioni ridotte sono caratterizzate da una serie di effetti non classici molto interessanti. Tra le varie nanotecnologie, quelle con maggiori potenzialità e che hanno già trovato applicazione sul mercato, sono i *quantum dot* (QD, in italiano punti quantici).

I QD sono nanostrutture formate da un semiconduttore di dimensioni nanometriche (decine di migliaia di atomi) circondato da un altro semiconduttore, di proprietà opportune, affinché sia presente una barriera energetica per le cariche, del semiconduttore più interno, provocandone il confinamento tridimensionale. Presentano delle interessanti proprietà: una densità degli stati energetici discreta, analoga a quella atomica; la possibilità di controllarne l'emissione variandone le dimensioni; la possibilità di sfruttarli come emettitori di singolo fotone. Quest'ultima proprietà li ha resi degli ottimi candidati per la realizzazione di dispositivi per le *Quantum Information Technologies* (QIT), in particolare nel campo del *Quantum Computing* e della *Quantum Cryptography*.

I QD possono essere realizzati con varie tecniche. Lo stato dell'arte in termini di proprietà spettrali è rappresentato dalla Stranski-Krastanov, che conduce alla creazione di QD autoassemblati, la cui densità è però troppo elevata per le applicazioni e sul cui posizionamento non c'è alcun controllo. In questo lavoro di tesi proponiamo una tecnica alternativa per la realizzazione di QD attraverso scrittura laser e ne verifichiamo l'efficacia. Tale tecnica si basa sullo sfruttare le proprietà del GaAsN ed in particolare sull'effetto che l'idrogeno ha su questo materiale. Il GaAsN fa parte dei nitruri diluiti, composti formati da elementi del III e V gruppo, in questo caso GaAs, che vengono drogati con azoto. Così facendo si ottiene un materiale con una *energy gap* (E_g) via via minore di quella del composto iniziale all'aumentare della concentrazione di azoto. Ancora più sorprendente è l'effetto dell'idrogeno su tale materiale: l'idrogeno, legandosi all'azoto, forma dei complessi che annullano tutti gli effetti di quest'ultimo, per esempio l' E_g , l'indice di rifrazione, le masse efficaci ritornano al valore del GaAs. Inoltre, l'idrogeno può essere rimosso rompendo i legami N-H attraverso una radiazione laser, quest'ultima proprietà è alla base della tecnica di realizzazione dei QD da noi proposta.

La tecnica da noi utilizzata è suddivisa in vari passaggi: si realizza una *quantum well* di GaAs/GaAsN/GaAs, la si idrogena e poi si rimuove l'idrogeno in regioni nanometriche in modo da ottenere dei QD di GaAsN. Per rimuovere l'idrogeno abbiamo utilizzato dei *photonic jet*, intensi fasci di luce, caratterizzati da una ridotta dispersione spaziale (200 nm), ottenuti illuminando microsferi di dielettrico depositate sul campione. L'utilizzo delle microsferi è stato dettato anche dalla proprietà di incrementare la raccolta di segnale emesso dal QD, che con la nostra tecnica viene a trovarsi perfettamente allineato sotto di essa. Tale proprietà è stata da noi verificata con una misura di luminescenza risolta nello spazio dei vettori d'onda.

Abbiamo realizzato molti QD, utilizzando diverse potenze di fabbricazione e tempi di esposizione, al fine di poter variare la loro dimensione e di conseguenza la loro energia di emissione. Ne abbiamo poi caratterizzato la fotoluminescenza, con tecniche di alta risoluzione spettrale, spaziale e temporale, rivelando delle buone proprietà ottiche. Infine abbiamo verificato, attraverso una misura della funzione di autocorrelazione del secondo ordine ($g^{(2)}$), che gli emettitori da noi realizzati sono effettivamente degli emettitori di singolo fotone ($g^{(2)}(0) = 0.15 \pm 0.11$).

La tecnica mostrata in questo lavoro di tesi apre nuove strade per la fabbricazione di QD senza tecniche litografiche e in posizioni controllate. Infatti, le attuali tecniche che permettono di controllare la posizione dei QD sono basate su processi litografici complessi, costosi e deleteri per le proprietà ottiche del materiale. Nel nostro caso il posizionamento controllato dei QD potrebbe essere realizzato in vari modi: controllando il posizionamento delle microsferi tramite l'ingegnerizzazione delle proprietà chimiche superficiali del materiale di partenza; accoppiando una microsfera all'estremità di una fibra ottica montata su dei movimenti piezoelettrici per essere utilizzata come punta ottica di scrittura dei QD; realizzando degli *array* di microsferi per poter creare degli insiemi ordinati di QD in un singolo processo di scrittura.