

Laureando: Giulia Fiaschi (giulia.fiaschi@stud.unifi.it)

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

Titolo: Caratterizzazione ottica di Quantum Dot di Ga(AsN) con posizionamento controllato.

I QD potrebbero aprire la strada a una moltitudine di nuove applicazioni nella crittografia quantistica e nei futuri computer quantistici. Per l'uso dei QD nei dispositivi bisogna però poter controllare il loro posizionamento spaziale. Tale requisito non è soddisfatto dalle attuali tecniche di crescita come la Stanski-Kranstanov che si basano sulla nucleazione spontanea dei QD. Un processo di crescita innovativo che permette di controllare a livello nanometrico il posizionamento dei QD prevede di idrogenare una QW di GaAs/GaAsN/GaAs su cui era stata precedentemente deposta una serie di maschere, di un materiale opaco all'idrogeno, con il *pattern* di emettitori da riprodurre. È noto infatti che l'H permette di passivare l'effetto dell'azoto nel GaAsN riportando le sue caratteristiche, come la band gap, a quelle del GaAs. Alla fine del processo, si dovrebbero formare quindi dei QD di GaAsN sotto le maschere, circondati da GaAs o GaAsN:H. In questo lavoro di tesi abbiamo caratterizzato la fotoluminescenza di QD di Ga(AsN) cresciuti con la tecnica appena descritta. Inizialmente si è caratterizzata la QW originaria, con struttura GaAs/GaAsN(6 nm)/GaAs, con delle mappe di micro-PL. Da queste misure è stato possibile ricavare l'energia media di emissione, per poterla confrontare poi con quella dei QD, e la sua omogeneità spaziale. Successive misure di PL in funzione della potenza di eccitazione ci hanno permesso di riconoscere i tipici effetti del disordine di lega nella QW.

Le immagini di PL hanno mostrato chiaramente un pattern di emissione regolare corrispondente a quello delle maschere originarie, confermando quindi la riuscita del controllo del posizionamento dei QD. Attraverso la mappatura bidimensionale dell'emissione di PL del campione di QD si è osservato uno spostamento del picco di emissione a energie maggiori al diminuire del diametro della maschera di partenza. Si osserva un aumento rispetto all'energia di emissione della QW di partenza che va da circa 25 meV per i dot da 500 nm fino a un massimo di 65 meV per i dot da 80 nm. Per controllare che il confinamento fosse effettivamente tridimensionale, abbiamo analizzato i singoli spettri estratti dalle mappe di PL. Gli spettri hanno mostrato una strutturazione in picchi singoli per tutti i diametri tranne che per i dot da 500 nm in cui lo spettro ha un segnale che ricorda quello della QW. Con delle misure in potenza abbiamo poi cercato di identificare la natura delle varie righe di emissione. In particolare sono stati riscontrati picchi di origine eccitonica, bieccitonica e di trione, che confermano la natura di QD dei nostri centri emittitori. Da misure di fotoluminescenza risolta in tempo si è stimato che la vita media eccitonica è dell'ordine di qualche ns, in linea con i tempi di vita dei QD realizzati con tecniche tradizionali. Le misure in tempo hanno anche mostrato una diminuzione dei tempi di vita radiativi con l'aumentare dell'energia di emissione, interpretabile con il maggior confinamento dei portatori.

Un problema sorto è l'identificazione della natura di questi QD. Infatti le simulazioni sulla diffusione dell'idrogeno sotto le maschere prevedono la formazione di "QD" con un diametro di poco inferiore alla maschera di partenza, sicuramente insufficiente per ottenere un confinamento quantistico nel piano. Le possibilità sono quindi due: o le simulazioni sono inattendibili e la diffusione dell'idrogeno è molto maggiore del previsto oppure le simulazioni sono corrette e i QD osservati sono in realtà QD nativi già presenti nella QW di partenza, che vengono semplicemente isolati grazie all'idrogenazione. Entrambe le ipotesi sono compatibili con i risultati sperimentali e saranno quindi oggetto di indagine in futuro.

L'uso dei QD nei dispositivi prevede che la loro larghezza di riga sia la più stretta possibile. Dall'analisi dei singoli spettri nelle mappe di PL è stato possibile ottenere delle informazioni statistiche sulla larghezza di riga, che risulta essere di diverse centinaia di μeV . Questo valore è purtroppo molto maggiore rispetto ai tipici valori dei QD ottenuti con altre tecniche di crescita, in cui però non è possibile controllare il posizionamento. La grande larghezza di riga potrebbe essere attribuita al Quantum Confined Stark Effect. Infatti le misure hanno mostrato uno spostamento verso energie maggiori del picco di emissione all'aumentare della potenza che può essere attribuito a uno schermaggio del campo elettrico locale. Da una stima del campo elettrico in assenza di centri carichi si è poi riusciti a stimare la distanza media di questi centri dai nostri QD e quindi la loro concentrazione che risulta intorno a $10^{17}\text{-}10^{18}\text{ cm}^{-3}$.

Per concludere possiamo quindi dire che la tecnica di crescita di QD studiata in questa tesi permette un effettivo controllo del loro posizionamento a livello nanometrico. Si è mostrato inoltre che questi QD presentano delle caratteristiche adatte all'integrazione nei dispositivi con l'eccezione di una larghezza di riga troppo elevata (centinaia di μeV) che può essere attribuita a un'eccessiva presenza di difetti carichi nelle vicinanze del QD. Il futuro di questo lavoro sarà quindi da una parte quello di migliorare il processo di crescita per diminuire la larghezza di riga e dall'altra quella di sfruttare la possibilità del controllo spaziale per poter integrare questi QD in dispositivi, come cavità fotoniche.