

Titolo: Dinamica delle repliche fononiche in pozzi quantici di nitruro di gallio

Candidato: Fabio Gabelloni <fabio.gabelloni@alice.it>

Relatore: Prof.ssa Anna Vinattieri <vinattieri@fi.infn.it>

Le nanostrutture costituite da nitrucci (InN , GaN , AlN e leghe ternarie da essi derivate) vengono da vari anni utilizzate per la realizzazione di dispositivi ottici come LED o diodi laser che emettono dall'UV all'IR. L'emissione di questi materiali è dovuta principalmente alla ricombinazione radiativa di eccitoni anche a temperatura ambiente, a causa dell'elevata energia di legame elettrone-lacuna (≥ 20 meV nel caso del GaN). Inoltre nei nitrucci è molto forte l'interazione tra le cariche dell'eccitone ed i fononi del reticolo cristallino, sia ottici che acustici. In particolare l'interazione tra gli eccitoni ed i fononi longitudinali ottici dà luogo alle repliche fononiche, cioè bande di emissione dovute a processi di ricombinazione di eccitoni nei quali vengono emessi uno o più fononi. Queste emissioni sono poste ad energie inferiori rispetto a quella principale (detta *Zero Phonon Line* (ZPL)) di quantità multiple dell'energia dei fononi coinvolti nel processo. In questa tesi ho condotto uno studio sperimentale sulla fotoluminescenza di una nanostruttura costituita da un pozzo quantico (QW) di GaN tra barriere di $Al_xGa_{1-x}N$, aventi una concentrazione di alluminio $x=0.09$, per studiare la dinamica di termalizzazione e ricombinazione degli eccitoni mediante l'analisi delle repliche fononiche. Poiché, in un pozzo quantico, nei processi di ricombinazione radiativa si deve conservare la componente del vettore d'onda eccitonico in un piano ortogonale all'asse di crescita ($K_{||}$), la ZPL è dovuta alla ricombinazione radiativa dei soli eccitoni con vettore d'onda $K_{||} \approx 0$. Invece all'emissione delle repliche contribuiscono anche le ricombinazioni degli eccitoni con vettore d'onda $K_{||} \neq 0$, a causa dell'interazione con fononi di vettore d'onda non nullo. Pertanto, per ricavare informazioni quantitative sulla dinamica di rilassamento e ricombinazione degli eccitoni in un ampio intervallo di valori di $K_{||}$, ho studiato in dettaglio gli spettri delle repliche fononiche. Il campione studiato è stato cresciuto epitassialmente all'École Polytechnique Fédérale di Losanna dall'équipe del Dott. Grandjean su un substrato *freestanding* di GaN ; in base alle sue caratteristiche ottiche (in particolare la larghezza della ZPL) si può definire un campione allo "stato dell'arte". Su questo campione ho effettuato misure di fotoluminescenza integrata in tempo (TI-PL) in funzione della temperatura e misure di fotoluminescenza risolta in tempo (TR-PL), con una risoluzione temporale massima di ≈ 9 ps. Negli spettri risolti in tempo della I e II replica fononica a bassa temperatura ($T=10$ K) si osserva uno spostamento del picco di emissione verso basse energie di ≈ 5 meV ed un restringimento degli spettri nei primi 400 ps dall'eccitazione, che denota una dinamica di rilassamento in energia e raffreddamento della popolazione eccitonica, fino all'instaurarsi di un regime termico, nel quale la popolazione è completamente termalizzata con il reticolo. Inoltre dagli spettri della ZPL in funzione della temperatura emerge una localizzazione degli eccitoni nella *quantum well* (QW) di GaN di ≈ 6 meV a ritardi temporali ≈ 1 ns. Un'analisi accurata degli spettri risolti in tempo a bassa temperatura delle due repliche fononiche ha consentito di determinare l'andamento temporale della temperatura della popolazione eccitonica, nell'ipotesi di una distribuzione eccitonica termalizzata, e di stimare la durata del processo di rilassamento utilizzando un'espressione teorica per la perdita di energia degli eccitoni per emissione di fononi acustici. Dal confronto tra il *rate* di rilassamento ottenuto per la QW di GaN in questa tesi e quello ottenuto in studi precedenti per un film sottile di GaN emerge un rallentamento del processo di raffreddamento degli eccitoni nella QW. La riduzione del *rate* di rilassamento ottenuta per la QW di GaN risulta inferiore rispetto a quella misurata in pozzi quantici di $GaAs$ alle stesse densità di eccitazione ($\approx 10^{11} \text{ cm}^{-2}$), ad indicare che nel caso dei nitrucci il confinamento dell'eccitone in un pozzo quantico non modifica sostanzialmente l'interazione con i fononi acustici.