

フォノンプロセスを考慮した励起子ダイナミクス解析 (PXR モデル)

Exciton dynamics analysis by taking into account phonon processes (PXR model)

千葉大院工¹, [○]石谷善博, 大木健輔, 野町健太郎, 馬ベイ, 森田 健

Chiba Univ., [○]Y. Ishitani, K. Oki, K. Nomachi, B. Ma, and K. Morita

E-mail: ishitani@faculty.chiba-u.jp

GaN や AlN では励起子束縛エネルギーがそれぞれ 27meV および 57meV であり, ZnO の 60meV と並んで室温でも安定な励起子による高効率発光をもたらす可能性が考えられる。発光デバイスでは, ワイドギャップ化に伴って p 型ドーピングが難しくなるため, 励起子や励起子分子の安定性や非輻射再結合速度の低減は重要な問題である。半導体中の励起子のダイナミクスや発光過程に関して多くの研究がなされてきた。GaN では室温のフォトルミネッセンス(PL)測定で励起子発光が確認されているが, 電流注入型レーザーデバイスでは 150K 程度から励起子が関与したレーザー発振がなくなっている。励起子結合エネルギーが量子井戸構造により 60meV ほかに増加した GaInN でもレーザー発振閾値直下の電流注入では室温で励起子がほぼ解離していると報告されている。レーザー素子中で非熱平衡状態でのダイナミクスがどのように起こっているか, それが励起子の安定性にどのように影響しているかについて解明が望まれる。励起子ダイナミクスの解析には様々な研究が行われているが, フォノン過程を取り入れてかつ励起子の主量子数 n 状態間のポピュレーション移行を考慮した解析は殆どない。一方で励起子に似たエネルギー構造を持つ水素原子については, その励起脱励起のポピュレーション分布やその移行過程が詳細に整理されている。我々は, 実験的方法および水素原子に関するモデル (CR モデル) を参考に, フォノン過程と主量子数の異なる準位を区別したレート方程式による励起子ダイナミクスの解析(PXR モデル)を進めており, 本講演では実験結果との比較からこの解析手法の有効性を示す。

実験解析では, GaN エピタキシャル層の時間分解 PL 解析において, A および B 励起子の自由励起子および束縛励起子のゼロフォノン線および 1 次と 2 次の LO フォノンレプリカの発光強度をスペクトルフィッティングより求めた。特に A 励起子では $n=1$ および 2 の準位の励起子温度のフォノン過程による上昇やポピュレーション分布の異常を観測した。¹⁾自由励起子の運動エネルギーや主量子数に関するポピュレーション分布は励起波長に依存するフォノン生成量の影響を受けて大きく変化することや $n=1$ の A 励起子では束縛励起との間での励起・脱励起の結合が強い一方で $n=2$ の A 励起子は解離状態との結合が強いことが分かった。この特徴は, 主量子数の区別とフォノン過程を取り入れたレート方程式(PXR モデル)の数値解の特徴から理解できる。²⁾ 図 2 に励起子各準位間のポピュレーション輸送フラックスを示す。電子温度や励起子温度の上昇により連続状態との結合状態が各準位で変わっており, 実験で見られた主量子状態間の結合様式の変化が説明できる。

- 1) Y. Ishitani, *et al.* J. Phys. D **49**, 245102 (2016)
- 2) K. Oki, B. Ma, and Y. Ishitani, Phys. Rev. B **96**, 205204 (2017)

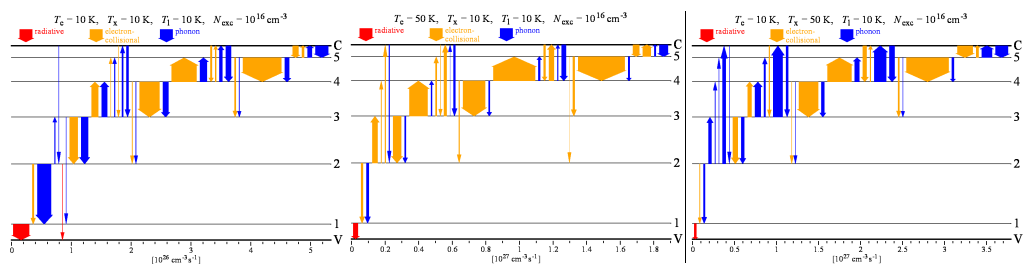


図 2 ポピュレーション移行による主量子数状態間結合状態の電子温度または励起子温度上昇による変化。

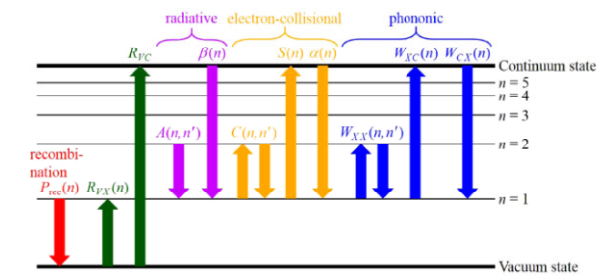


図 1 フォノン・励起子・輻射(PXR)モデルにおいて考慮された素過程。