GaN における非熱平衡系励起子遷移過程の水素プラズマモデルに基づいた計算

Theoretical investigation of non-thermal equilibrium exciton dynamics based on hydrogen plasma model in GaN

○岩堀　友洋、竹内　和真、馬　蓓、森田　健、石谷　善博（千葉大工）

○Tomohiro Iwahori, Bei Ma, Ken Morita, Yoshihiro Ishitani (Chiba Univ.)

E-mail: irohawi@chiba-u.jp

GaN は室温エネルギーに近い 26 meV の励起子束縛エネルギーを持つため、室温動作励起子デバイスの材料として期待されている。しかしレーザデバイスにおいては励起子が 150 K 程度までしか確認できないことが報告され、[1] 時間分解 PL 測定においてはパルス励起後に励起子の運動エネルギーが結晶温度より高い状態が 100 ps 程度持続することが確認されている。[2] したがって励起子ダイナミクス解析には電子系だけでなくフォノン系まで含めた非熱平衡モデルが必要である。そこで励起子と同様に正負電荷から成る水素原子と、電子および水素イオンから構成される水素プラズマ系における非熱平衡状態での遷移過程が「衝突輻射モデル」として整理されていることに注目した。[3] このモデルを参考に、励起子の遷移過程を整理できる体系の構築を試みた。

GaN の発光は主量子数 n = 1 の A,B,C 励起子および $n \geqq 2$ の励起子に由来するものが観測されている 。計算では簡単のためこれらの状態を n = 1~5 の主量子数の違いとして表現した。そして励起子状態遷移の素過程として電子衝突、輻射および LO・LA フォノンとの相互作用による過程を考慮したマスター方程式を立て、これを解いて各量子準位のポピュレーションを求めた。ここで電子温度T_e、励起子温度T_x、格子温度T_lおよび電子密度n_eをパラメータとして与え、各粒子の運動量分布はそれぞれの温度から決まるものとした。図 1 に$T_e = T_x = T_l = 10$ K、$n_e = 10^{15}$ cm^{-3}としたときの励起子準位間遷移の様子を示す。図中の矢印の横幅は単位時間当たりに準位間遷移する粒子数に比例する。図 2 にはポピュレーション比のn_e依存性を、図 3 には$T_l = 10$ K、$T_e = T_x$のときの準位間遷移をまとめて示す。図 2 における n_e の増加とともに $n \geqq 2$ の割合が減る傾向は、励起密度増加時に n = 2 の励起子の発光強度が相対的に減る実験結果との一致を示す。[4] 図 3 を見ると与えるパラメータによって遷移過程に占める電子衝突過程とフォノン過程のバランスが変化する様子が分かる。このことから、本研究手法により条件毎の励起子状態間遷移の特徴の整理が可能であると考えられる。

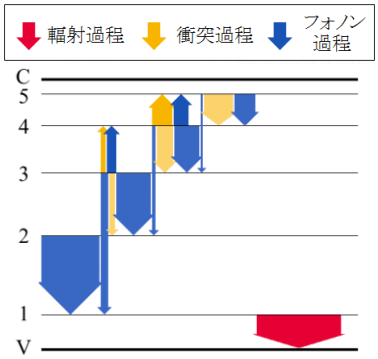

図 1. 励起子状態間遷移
($T_e = T_x = T_l = 10$ K, $n_e = 10^{15}$cm^{-3})

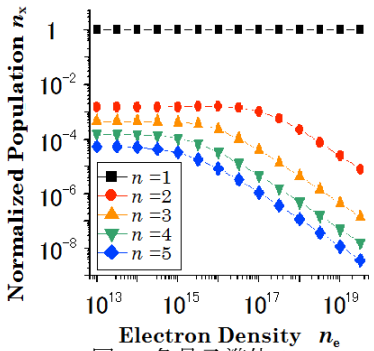

図 2. 各量子準位の
ポピュレーション比

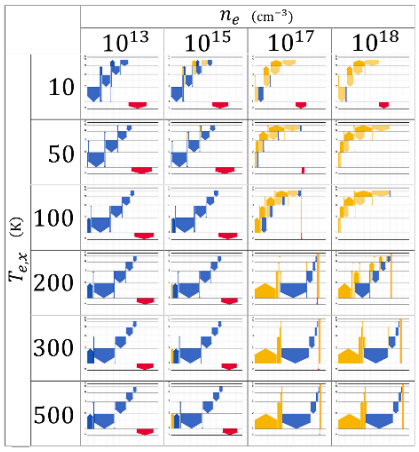

図 3. 条件毎の励起子準位間遷移
($T_e = T_x$、$T_l = 10$ K)

参考文献
[1] S.Bidnyk *et al.*, Appl. Phys. Lett. **74**, 1 (1999)
[2] A, Vinattieri,　Phys. Rev. B **87**, 82 235203 (2013)
[3] T. Fujimoto,　J. Phys. Soc. Jpn. **47**, 1 (1979)
[4] 竹内和真,　第 62 回応用物理学会春季学術講演会 (2015)

© 2015年 応用物理学会