

GaN におけるキャリア・励起子エネルギー緩和過程の 励起条件依存に関する数値解析

Numerical analysis of the effect of excitation condition on energy relaxation processes of carriers and excitons in GaN

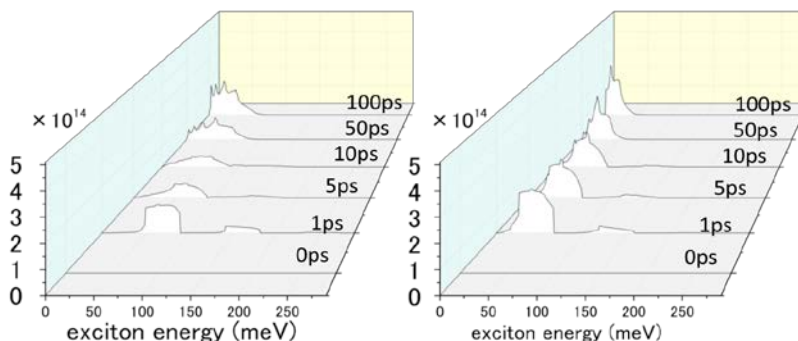
○馬 蓓, 森田 健, 石谷 善博(千葉大工)

○Bei Ma, Ken Morita, and Yoshihiro Ishitani (Graduate School of Engineering, Chiba Univ.)

E-mail: mabei@chiba-u.jp

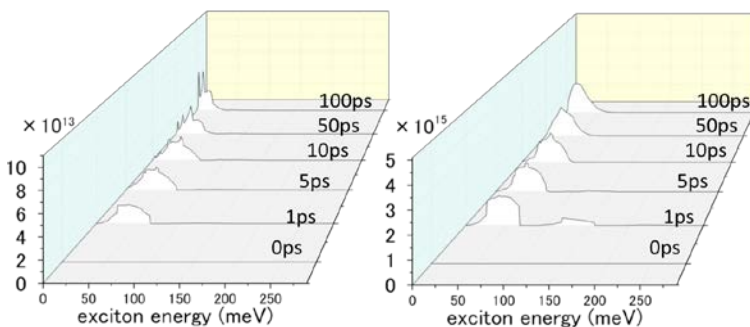
AlGaN 系半導体材料は深紫外高速光・電子デバイスとして注目されており、特に高効率低閾値レーザを可能にするために励起子・励起子分子系の応用が期待されている。然し、GaN レーザ素子では 150K 以上で電子・正孔プラズマ状態が支配的になるとの報告があり、非熱平衡系の励起子系応用には課題がある。特にキャリア・フォノン相互作用は半導体デバイスの発光特性に強く影響を与えるため[1]、非熱平衡条件下のフォノンの生成状態を評価する必要がある。本研究では、励起密度、励起位置により励起子・電子・正孔・フォノンの状態がどのように変化するかを数値計算により見積もった。

計算では、GaN をポテンシャル井戸としたダブルヘテロ構造を想定した。キャリア・励起子はフレリッヒ相互作用による LO フォノン放出・吸収、変形ポテンシャル相互作用とピエゾ電気相互作用による LA フォノン放出・吸収、発光再結合を取り入れた。図 1 は励起エネルギーが 3.840 eV と 3.633 eV のとき 0 ps ~ 100 ps における励起子状態分布を示す。励起密度は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。励起子は、電子・正孔の LO フォノン放出の後、バンド端付近での LA フォノン放出により生成すると仮定した。励起後 1 ps において、励起エネルギーが 3.840 eV の場合、全体的に励起子運動量が高い。100 ps においても、同様に 3.840 eV で励起子分布が大きい。これは励起された電子・正孔がバンド端に到達までに放出・吸収するフォノンの量の違いによるものと思われる。図 2 は励起キャリア密度を $10^{15} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に変化させたときの励起子状態分布を示す。これらの結果 GaN の輻射寿命である 100 ps 程度の時間領域で、励起密度や励起位置により励起子密度分布に大きく影響を与えることが分かる。これは、LO および LA フォノンの存在量の変化が起因となっている。講演では、LO フォノンの分解・再生成過程、フォノンの散逸過程を取入れて、励起子と電子・正孔の密度バランスの変化を示す。



(a) 励起エネルギー3.840eV (b) 励起エネルギー3.633eV

図 1 励起エネルギーによる励起子状態分布の比較



(a) 励起密度 10^{15} cm^{-3} (b) 励起密度 10^{17} cm^{-3}

図 2 励起密度による励起子状態分布の比較

[1] Lucia Cavigli, et al., PRB 82, 115208 (2010)