GaN におけるフォノン-キャリアダイナミクス解析

Phonon-carrier dynamics simulation of GaN material

○馬 蓓 [1]、竹内 和真 [1]、岩堀 友洋 [1]、三宅 秀人 [2]、平松 和政 [2]、石谷 善博 [1]
(千葉大院工 [1]、三重大院工 [2])
°B. Ma[1], K. Takeuchi[1], T. Iwahori[1], H. Miyake[2], and K. Hiramatsu[2], and Y. Ishitani[1]
(Graduate School of Engineering, Chiba Univ.[1], Graduate School of Engineering, Mie Univ.[2])
E-mail: mabei@chiba-u.jp

現在、III 族窒化物半導体の発光効率・スペクトル解析では主にキャリア・励起子が議論されているが、実際には準熱平衡状態のフォノンが活発にエネルギーやり取りに関与し、キャリア・励起子のダイナミクスの変化をもたらしている。我々は数値計算により III 族窒化物半導体の局在フォノンのキャリアダイナミクスへの影響による発光効率低下を検証した。本研究ではフォノンを含めた励起部位の全エネルギーに着目し、数値計算及び光学特性計測を用いた局在フォノンの発光特性への影響の解明を目的とした。

数値計算は定常、時間分解の各状態において行い、前者では励起子主量子数を区別した。GaN バルク構造想定し、フェルミの黄金率を用いてキャリア・フォノンの遷移率計算を行った。時間分解モデルでは励起波長を 266nm、不純物のイオン化エネルギーを 10meV とした。

図 1 は TRPL 測定実験におけるスペクトル分解をした時間変化解析を示し、A 励起子の主量子数 n=2 : FXA(n=2)、n=1 : FXA(n=1)、束縛励起子:BX の立ち上がりに順次遅れが観測される。励起強度 1mW に比べ 10mW では遅れが顕著に表れている。励起強度の高い 10mW ではキャリア・フォノン相互作用が激しく、励起準位からバンド端への緩和時間が長くなり、高密度のフォノンによる励起子温度の上昇効果を示唆している。スペクトル解析から結晶温度 23K 時の励起後 200ps において、10mW、1mW 励起の場合、キャリア温度が其々 180K、115K で、FXA(n=2)温度が 40K、35K で、FXA(n=1)温度では両者ともに 23K であった。

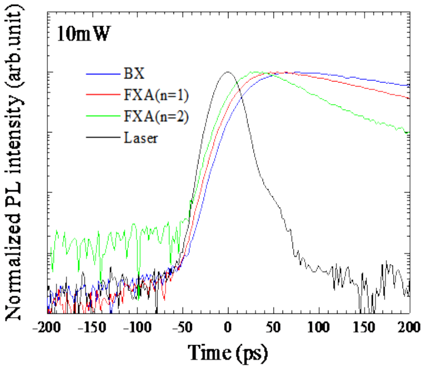

図 1　22K、10mW 励起 TRPL スペクトル

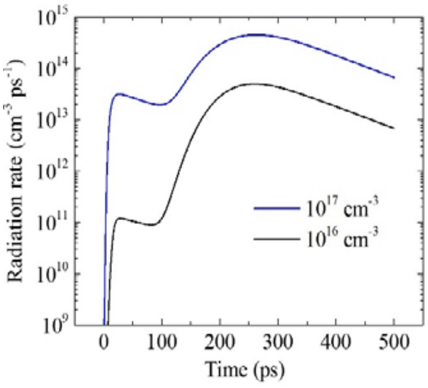

図 2　励起子発光レートの時間依存性

数値計算による励起子発光強度の時間依存曲線（図 2）では２つのピークが表れた。1 つは励起直後の 26ps 付近にあり、240ps 付近に高密度の励起子発光ピークがあった。電子・正孔対励起密度の 10^{16}から 10^{17}(cm^{-3})の変化時に 1 桁のメインピークの発光レート増加に対して、初期ピークの発光レートは 2 桁以上変化した。これは、生成されたフォノンとの相互作用により不純物から放出された電子がバンド端付近の正孔と励起子を生成して発光することによる。励起密度が大きいほうがキャリア緩和過程に多くのフォノン放出し、中性不純物が電離しやすいと考えられる。定常状態の数値計算では、電子密度、電子温度による励起子準位間遷移速度バランスの変化やフォノン過程と電子過程の変化を数値計算から明らかにした。これらの結果は、励起強度が高いほどフォノン生成量が多く、励起部でのフォノン局在時間(＞200ps)において励起子ダイナミクスに対するキャリア・フォノン相互作用を無視することができず、励起子状態の運動量変化や準位間遷移のバランスは主量子数に大きく依存すると言える。時間分解発光の立ち上がり部の詳細な解析により、ダイナミクスの解明を進める必要がある。

© 2015年 応用物理学会