InGaN ナノコラムプラズモニック結晶における発光増強ダイナミクス

Emission enhancement dynamics in InGaN nanocolumn plasmonic crystals

1. 山形大院理工　2. 上智大理工　3. 上智大ナノテク　4. 阪府大院工
○大音 隆男 [1]，菊地 主馬 [2]，岡本 晃一 [4]，富樫 理恵 [2,3]，岸野 克巳 [3]
1. Yamagata Univ.　2. Sophia Univ.　3. Sophia Nanotech.　4. Osaka Pref. Univ.
°T. Oto[1], K. Kikuchi[2], K. Okamoto[4], R. Togashi[2,3], and K. Kishino[3]
E-mail: t-oto@yz.yamagata-u.ac.jp

InGaN 系発光素子において特に発光効率の低い赤色領域の発光効率を改善するために，規則配列 InGaN ナノコラム(NC)を用いたプラズモニック結晶(PlC)の研究を推進してきた．ナノコラムプラズモニック結晶(NC-PlC)では，ナノ結晶効果と表面プラズモンポラリトン(SPP)への結合を同時に得ることができ，実際に橙～赤色領域で約 5 倍の発光増強を達成した[1, 2]．一方，ナノコラム構造において高い発光効率を達成するために，キャリアダイナミクスの定量的評価を行ってきた．過去の研究から，コラム径が比較的大きいナノコラムでは自発的にコアシェル構造が形成されてダブルピーク発光となり[3]，シェルからコアへのキャリアの流れ込みが起こっていることを明らかにした[4]．本研究では，PL と TRPL の測定結果から，文献[4]のレート方程式を基にして，輻射・非輻射再結合(τ_r/τ_{nr})，表面再結合(τ_{surf})，低エネルギー側への流れ込み(τ_{trans})に関する寿命に加えて，SPP 結合確率(τ_{SPP}^{-1})や SPP から光への結合割合(C_{ext})についても定量的な議論を試みた．

測定した試料はコラム径 $D = 140$ nm，周期 $L = 200$ nm の三角格子配列 InGaN ナノコラムであり，文献[1]と同じものである．ダブルピーク発光が観測されたことから，近似的に面内ポテンシャルモデルを図 1 のように考える．このモデルでは，$\tau_{r1}, \tau_{nr1}, \tau_{r2}, \tau_{nr2}, \tau_{surf}, \tau_{trans}$ の 6 つの寿命を考え，レート方程式を基に各寿命を分離した（詳細は文献[4]参照）．さらに，PlC 導入後において，上記 6 つの寿命が変化しないという仮定の下で，コアでの SPP 結合による影響[5]も考慮して解析を行った．なお，シェルにおいては，FDTD 解析の結果から SPP 結合の影響は考慮していない．

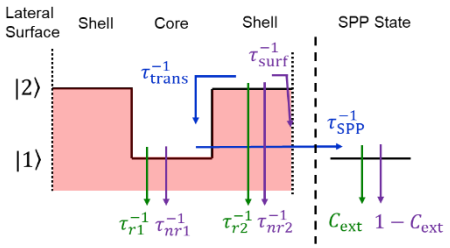

Fig. 1: In-plane potential model of InGaN NC-PlCs and considerable lifetimes.

表 I に示したように，各寿命を一意に分離することに成功し，各寿命を定量的に議論することが可能になった．SPP からフォトンへの結合確率はおよそ 100%であり，岡本らの報告[5]ともいい一致を示した．シェルでは表面再結合の影響により内部量子効率(IQE)が 1.2%と低いのに対し，コアでは PlC 導入によって IQE が 27%から 54%と 2 倍に向上しており，得られたパーセルファクターは~8.5 であった．詳細な解析は当日に報告する．

Tab. I: Each lifetime and rate obtained by PL and TRPL measurements.

τ_{r1}	τ_{nr1}	τ_{r2}	τ_{nr2}
6.0 ns	2.2 ns	18 ns	0.95 ns
τ_{surf}	τ_{trans}	τ_{SPP}	C_{ext}
0.28 ns	0.66 ns	0.37 ns	1.0

謝辞：本研究は卓越研究員，科研費(17K18110, 19H04533, 19H00874)，光科学技術研究振興財団研究助成の援助を受けて行われた．

[1] T. Oto, …, K. Kishino, Appl. Phys. Lett. **111**, 133110 (2017). [2] T. Oto, …, K. Kishino, Appl. Phys. Express **14**, 105002 (2021). [3] T. Oto, …, K. Kishino, AIP Adv. **6**, 115214 (2016). [4] T. Oto, …, K. Kishino, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 105001 (2016). [5] K. Okamoto *et al.*, J. Photochem. Photobio. C **32**, 58 (2017).

© 2022年 応用物理学会