規則配列 InGaN/GaN ナノコラムにおけるキャリア再結合機構のコラム径依存性

Column diameter dependent carrier recombination mechanisms in regularly-arrayed InGaN/GaN nanocolumns 1. 上智大理工 2. 上智大ナノテク

 O 大音 隆男¹, 水野 祐太郎¹, 宮川 倫¹, 加納 達也¹, 吉田 純¹, 江馬 一弘^{1,2}, 岸野 克巳^{1,2}

1. Sophia Univ. 2. Sophia Nanotech. Res. Center

^oT. Oto¹, Y. Mizuno¹, R. Miyagawa¹, T. Kano¹, J. Yoshida¹, K. Ema^{1,2}, and K. Kishino^{1,2}

E-mail: takao.oto@sophia.ac.jp, kishino@sophia.ac.jp

はじめに:規則配列 InGaN 系ナノコラムは貫通転位の抑制や歪緩和効果により優れた発光効率を有する. 本研究では、高い発光効率および発光色制御を達成することを目的として、規則配列 InGaN/GaN ナノコラ ムのキャリアダイナミクスの定量的評価を行ってきた.カソードルミネッセンスマッピングの結果から、 ナノコラム構造では面内のポテンシャル分布に伴って、ダブルピークの発光になっていることを明らかに した.また、室温において高エネルギー側から低エネルギー側へのキャリアの流れ込みが起こっているこ とを時間分解フォトルミネッセンス(TRPL)測定から見出した[1].本発表では、コラム径の異なる規則配列 InGaN/GaN ナノコラムにおいて、輻射・非輻射再結合(τ_r, τ_n)、表面再結合(τ_{sur})、低エネルギー側への 流れ込み(τ_{tran})に関する寿命をレート方程式による解析により分離し、コラム径依存性を評価したので 報告する.

実験結果と考察: 測定した試料は、コラム径 *D*=170, 210, 240 nm の規則配列 GaN ナノコラム上に InGaN (~3 nm)/GaN (~12 nm)の量子井戸を作製した構造である. すべての試料でダブルピークの発光が観測された. なお、低エネルギー側はコラム中心部、高エネルギー側はコラム周囲の発光である[1]. したがって、面内のポテンシャルモデルは図1のように考えられる. このポテンシャルモデルでは、τ_{rl}, τ_{nrl}, τ_{r2}, τ_{suf}, τ_{rans} の6つの寿命を考える必要がある. ここで、下付き文字の1,2はそれぞれ低エネルギー側、高エネルギー 側を示している. 各寿命を分離するために、レート方程式を基にした解析を行った. 実験結果に合うように、高エネルギー側はキャリア成分を遅い緩和(*n*₂)と速い緩和(*n*₂)とに分けて考えた. レート方程式は、

$$\frac{dn_1}{dt} = g - \frac{n_1}{\tau_1} + \frac{n_{2f}}{\tau_{trans}}, \quad \frac{dn_{2s}}{dt} = (1 - R_f)g - \frac{n_{2s}}{\tau_{2s}}, \quad \frac{dn_{2f}}{dt} = R_f g - \frac{n_{2f}}{\tau_{2f}},$$

とそれぞれ表される. ここで、 $\tau_1^{-1} = \tau_{r1}^{-1} + \tau_{rr1}^{-1}, \tau_{2s}^{-1} = \tau_{2s}^{-1} + \tau_{surf}^{-1} + \tau_{trans}^{-1}$ である. PL と TRPL の結 果から、表1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. コラム径を小さくすると、キャリアの拡散長が相対的に増加することで、 τ_{surf} と τ_{trans} が減少 したと考えられる. さらに、 τ_{r1} と τ_{r2} はコラム径の減少に伴って減少した. これは、低エネルギー側のキャ リアの閉じ込めが増加し、高エネルギー側の歪が減少したからだと考えられる. 詳細は当日に報告する. **謝辞**:本研究は、科研費・特別推進研究(#24000013)の援助を受けて行なわれた.

[1] 大音他, 第75回秋季応用物理学会, 17a-C5-8 (2014). [2] T. Oto et al., E-MRS spring meeting, I-P2 32 (2015).



Fig. 1: In-plane potential model of InGaN/GaN nanocolumns and considerable six lifetimes.

Tab. I: Each lifetime as a	a function of D at 300 K.
----------------------------	---------------------------

D (nm)	τ_{r1} (ns)	τ_{r2} (ns)	$\tau_{surf}(ns)$
170	3.1	7.6	0.28
210	3.7	7.0	0.32
240	3.8	8.8	1.2
D (nm)	τ_{nr1} (ns)	τ_{nr2} (ns)	τ_{trans} (ns)
<i>D</i> (nm) 170	τ _{nr1} (ns) 0.84	τ_{nr2} (ns) 0.85	$\tau_{\text{trans}}(\text{ns})$ 0.19
<i>D</i> (nm) 170 210	$\tau_{nr1} (ns)$ 0.84 0.74	$\tau_{nr2} (ns)$ 0.85 0.85	τ _{trans} (ns) 0.19 0.37