

課題番号 : F-21-NM-0016  
利用形態 : 機器利用  
利用課題名(日本語) : 窒化ガリウム半導体へのフォトニック結晶構造形成  
Program Title (English) : Photonic Crystal Structure Formation on Gallium Nitride Semiconductors  
利用者名(日本語) : 佐藤真一郎  
Username (English) : S.-I. Sato  
所属名(日本語) : 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Affiliation (English) : National Institutes for Quantum Science and Technology  
キーワード/Keyword : フォトニクス、リソグラフィ・露光・描画装置、成膜・膜堆積、膜加工・エッチング

## 1. 概要(Summary)

窒化ガリウム(GaN)半導体にドーパされたネオジウム(Nd)、線幅の狭い安定した近赤外の発光を示すため、室温動作する単一光子源への応用が期待できるが、発光レーターの改善が課題となる。そこで本研究では、フォトニック結晶(PhC)との光学カップリングにより Nd 発光の自発放出レートを向上させ、室温での単一希土類からの単一光子発生の観測を目指している。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

プラズマ CVD 装置、100kV 電子ビーム描画装置、多目的ドライエッチング装置、ICP 原子層エッチング装置

### 【実験方法】

Nd をイオン注入(100 keV,  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ )したシリコン(Si)基板上 GaN (300 nmt) に  $\text{SiO}_2$  ハードマスクを約 100 nm 積層し、高速熱処理(1200°C, 2 min)により Nd を活性化させた。その後、電子ビーム描画装置を用いて形成した PhC L3 共振器のパターンを RIE ドライエッチング( $\text{CHF}_3$ , 3.0 Pa, 100 W, 5min)によって  $\text{SiO}_2$  層に転写し、さらに ICP ドライエッチング( $\text{BCl}_3:\text{Cl}_2=1:4$ , 0.5 Pa, 50 W, 3.5 min)によって GaN に転写した。最後に、RIE ドライエッチング( $\text{SF}_6$ , 5.0 Pa, 50 W, 25 min)によって Si 基板をエッチングし、エアギャップ構造を形成した。得られた L3 共振器中央部に存在する Nd の室温での発光スペクトルを、通常の Nd 発光スペクトルと比較した。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

PL スペクトルを Fig. 1 に示す。Nd 4f 殻内遷移発光に起因する 916 nm, 934 nm, 943 nm のピークが現れたが、L3 共振器では 916 nm ピークが顕著に増

加した。これはパーセル効果による自発放出レート向上によるものと考えられるため、発光遷移寿命や Q 値の評価等、詳細な解析を進めている。今後、作製条件をさらに見直すことで光学カップリングの精度を高め、イオン注入量を減らし、単一 Nd 発光観測に挑戦する。

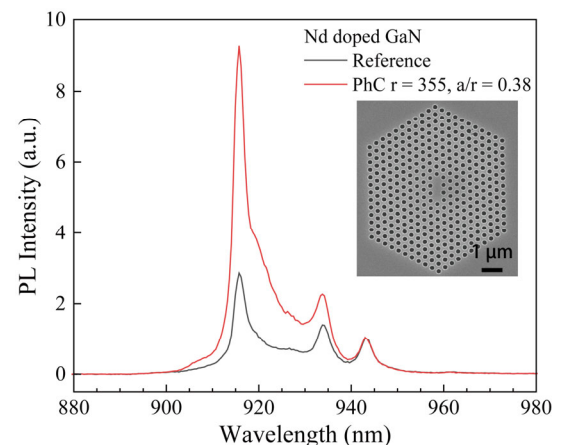


Fig. 1 PL spectrum of Nd doped GaN in PhC-L3 cavity (red), shown in the inset (SEM image). The ordinate is normalized by values at 943 nm for comparison to the spectrum without L3 cavity (black).

## 4. その他・特記事項(Others)

- ・共同研究者: 山形大 大音隆男様
- ・競争的資金: JST 創発的研究支援事業 JPMJFR203G、JSPS 科研費 18H01483
- ・技術支援者: 大里啓孝様、吉田美沙様、河野久雄様 (NIMS 微細加工 PF)

## 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 佐藤ら、第 22 回「イオンビームによる表面・界面の解析と改質」特別研究会、2021 年 12 月 4 日

## 6. 関連特許(Patent)

なし。