H3 共振器による Eu 添加 GaN フォトニック結晶共振器の Q 値向上と光学特性評価

Fabrication and optical characterization of Eu-doped GaN-based high-Q H3 photonic crystal cavities

阪大院工 [1]，阪大超高圧電顕センター[2]，
°岩谷 孟学 [1]，市川 修平 [1, 2]，Dolf Timmerman[1]，村上 雅人 [1]，舘林 潤 [1]，藤原 康文 [1]
Osaka Univ.[1], Research Center for UHVEM, Osaka Univ. [2],
°Takenori Iwaya[1], Shuhei Ichikawa[1, 2], Dolf Timmerman[1], Masato Murakami[1],
Jun Tatebayashi[1], Yasufumi Fujiwara[1]
E-mail: takenori.iwaya@mat.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】 我々はこれまでに、有機金属気相エピタキシャル (OMVPE) 法で成長させた Eu 添加 GaN (GaN:Eu) を活性層に用いて GaN 系赤色発光ダイオードを実現している[1]。発光素子のさらなる発展として、2 次元フォトニック結晶 (2D-PhC) ナノ共振器を導入し、LED の発光効率の向上や GaN:Eu レーザダイオードの実現を目指している。しかしながら、GaN のウルツ鉱構造を反映した構造乱れ (作製誤差) が生じ、共振器 Q 値が著しく低減することが現状の課題である。実際、これまでに報告されている可視光域での窒化物半導体 2D-PhC 共振器の Q 値は、5500 以下に留まっている[2]。

窒化物半導体 2D-PhC 共振器の高 Q 値化に向けて、我々は有限差分時間領域 (FDTD) 法で実験的な作製誤差を再現し、HN 型の H3 共振器が、LN 型など他の共振器と比較して、作製誤差が生じた際にも高 Q 値を実現できる可能性を指摘している (Fig.1)[3]。本研究では、シミュレーションによる設計に基づいて H3 共振器を作製し、光学評価を行ったので報告する。

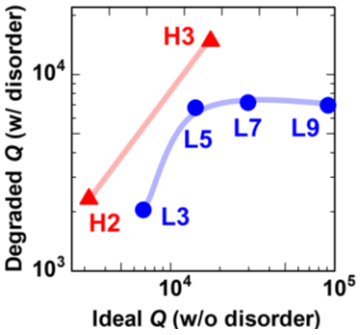

Fig.1 Calculated ideal (w/o disorder) and degraded (with disorder) *Q*-factors of LN and HN cavities.

【実験方法・結果】 試料は *c* 面サファイア基板上に OMVPE 法により作製した。犠牲層の AlInN 層上に GaN:Eu 層を成長し、電子ビームリソグラフィにより PhC パターンを形成した。その際、空気孔の形状は GaN の結晶構造を考慮して六角形とした。続いて反応性イオンエッチングを施し、熱硝酸で犠牲層を除去することで 2D-PhC 共振器を作製した (Fig.2)。設計通り、六角形の空気孔と、H3 共振器が明瞭に観察された。

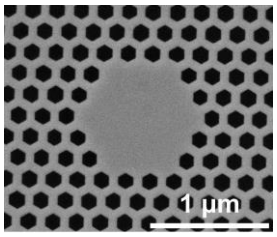

Fig.2 SEM image of a fabricated H3 cavity.

作製した試料に対して顕微フォトルミネッセンス測定を行った。励起光源には He-Cd レーザ (325 nm) を用い、室温下で測定を行った。H3 共振器の発光スペクトルと、GaN:Eu 薄膜 (共振器構造無し) の発光スペクトルを Fig.3 に示す。本来単一モードである共振器モードの縮退が解け、分裂した 2 つの共振器ピークが観察された。フィッティングの結果、短波長側の共振器モードの Q 値は 7500 と見積もられ、これまでに報告されている可視光領域での Q 値 (<5500) を大きく上回る高い Q 値が得られた。これは、H3 共振器の導入により、作製誤差に起因する Q 値の減少を抑制できることを実験的に証明しており、GaN 系 2D-PhC に H3 共振器が有用であることを示している。また、GaN:Eu に H3 共振器を適用することで、GaN 系赤色 LED のさらなる発光効率の向上や、新規レーザ光源の開発が期待される。

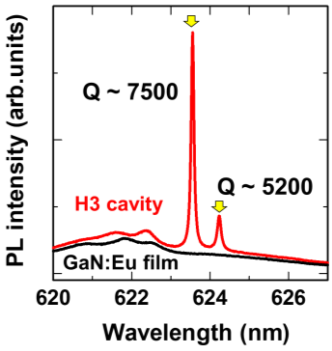

Fig.3 PL spectra of H3 cavity and GaN:Eu film.

【参考文献】[1] A. Nishikawa, Y. Fujiwara, *et al.*, *Appl. Phys. Express* **2**, 071004 (2009). [2] R. Butté, *et al.*, *Nanophotonics* **9**, 569 (2020). [3] 岩谷 孟学, 藤原 康文 他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 **10a-Z18-2** (2020).
【謝辞】本研究の一部は、JSPS 科研費 No. 18H05212、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業 JPMXP09F20OS0026 および JPMXP09S20OS0021 の助成を受けたものです。

© 2021年 応用物理学会