Er,O 共添加 GaAs を用いた 高 *Q* 値 2 次元フォトニック結晶ナノ共振器の光学特性

Optical characteristics of high-Q two-dimensional photonic crystal structures with Er,O-codoped GaAs

阪大工¹, 阪大基礎工² ⁰小川 雅之¹, 舘林 潤¹, 半澤 弘昌², 東 諒磨¹, 保見 凌平¹,

市川 修平¹, 近藤 正彦¹, 藤原 康文¹

¹Grad. Sch. Eng., Osaka Univ., ²Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ., ^{o1}Masayuki Ogawa, ¹Jun Tatebayashi, ²Hiromasa Hanzawa, ¹Ryoma Higashi, ¹Ryohei Homi, ¹Shuhei Ichikawa, ¹Masahiko Kondow, ¹Yasufumi Fujiwara

E-mail: masayuki.ogawa@mat.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】 GaAs 結晶中に酸素と共添加した Er³⁺イオンは、4f 殻内遷移(⁴I_{13/2}→⁴I_{15/2})により、 波長 1.5 µm 帯での発光を示すが¹、発光波長の温度安定性が 1 pm/K と非常に高く、かつ鋭い輝線 スペクトルを示すため、光周波数基準光源への応用が期待される。当グループでは、Er,O 共添加 GaAs を利得媒質とするレーザー光源を作製することを目的として、Er,O 共添加 GaAs を用いた微 小共振器を作製し、光学特性の評価を行っている。既に我々は高い共振器 Q 値を持つ 2 次元フォ トニック結晶ナノ共振器である H0 型構造と Er³⁺イオンによる発光のカップリングに成功した²。 しかしながら、本来単一モードである H0 型構造による共振器モードの輝線が構造揺らぎ等に起 因し 2 本に分裂する現象が生じており、フォトニック結晶光共振器と希土類原子発光の相互作用 を詳細に議論することが困難であった。そこで今回、単一の共振器モードをもつ高 Q 値構造であ るマルチステップ・ダブルへテロ共振器³を作製し光学特性を評価したので、これを報告する。

【実験手法】 マルチステップ・ダブルヘテロ共振器の構造を Fig. 1 に示す。 $a_3 - a_2 = a_2 - a_1 = 5$ nm、 $r = 0.26 a_1$ 、t = 250 nm と し、構造毎に $a_1 = 300 \sim 500$ nm の範囲で 1.25 nm 刻みに変化さ せ、複数の試料を作製した。また、共振器 Q 値の設計値を、有 限差分時間領域法 (FDTD)を用いたシミュレーションにより求 めた。試料の作製については、GaAs 基板上の AlGaAs 犠牲層の 上に、有機金属気相エピタキシャル法を用いて Er,O 共添加 GaAs 層(厚さ 250 nm)を成長した後、電子線描画及び ICP ドライエ ッチングによりフォトニック結晶ナノ共振器の円孔パターンを 作製した。作製した試料について、He-Ne レーザー(波長 633 nm) を励起光源とし室温で顕微フォトルミネッセンス (μ -PL) 測定 を行った。試料の格子定数を変化させることにより、共振器モー ドを Er³⁺イオンと結合させた。

【実験結果と考察】 FDTD の結果から、共振器 Q 値は 160 万 程度と見積もられた。我々の過去の報告において、この共振器 Q 値からレーザー発振が可能であることを、活性層の光学利得及 び電磁界シミュレーションにより予想している^{4,5}。作製した試 料の断面 SEM 像を Fig. 2 に示すが、垂直に近い円孔が作製され、

犠牲層のエッチングにより良好なエアブリッジ構造が作製されていることがわかる。作製した試料の μ -PL 測定の結果を Fig. 3 (Fig. 7) に示す。格子定数 a = 417.5 nm において、 Er^{3+} イオンの発光と共振器モードのもつ鋭い輝線のカップリングが確認された。詳細な光学特性については当日議論を行う。

【謝辞】本研究は科研費「特別推進研究 (No.18H05212)」の支援を受けた。 ¹G.S. Pomrenke, P.B. Klein, and D.W. Langer, **301**, (1993).

- ² N. Fujioka, M. Ogawa, Y. Fujiwara et al., OPIC 2018, ICNN4-3 (2018).
- ³ T. Tanabe et al., Nat. Photonics. 1, 49 (2007).
- ⁴ P.G. Eliseev, Y. Fujiwara et al., Quantum Electron. **31**(11), 962-964 (2001).
- ⁵ M. Ogawa, Y. Fujiwara et al., OPIC 2017, ICNN3-5 (2017)



GaAs (n = 3.4) 厚み:t Fig. 1. Schematic of a multi-step double heterostructure.



Fig. 2. Cross-sectional SEM image of the fabricated sample.



Fig. 3. Room temperature PL spectra of the fabricated samples with different lattice constants.