

GaN 導波路型微小二重共振器第二高調波発生デバイスの設計と試作

Design and Fabrication of GaN Doubly-Resonant Waveguide Microcavity SHG Device

阪大院工¹, (株)東芝² ○永田 拓実¹, 上向井 正裕¹, 彦坂 年輝², 布上 真也²,

森川 隆哉¹, 藤原 康文¹, 谷川 智之¹, 片山 竜二¹

Osaka Univ.¹, Toshiba Corp.² ○T. Nagata¹, M. Uemukai¹, T. Hikosaka², S. Nunoue²,

T. Morikawa¹, Y. Fujiwara¹, T. Tanikawa¹ and R. Katayama¹

E-mail: nagata.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

窒化物半導体結晶は高い非線形光学特性と光損傷耐性を有するため波長変換デバイスへの応用が期待されるが、高効率化に必要な周期分極反転構造の形成が困難な上、cm オーダの長い相互作用長が必要となる。本研究では分極反転不要で全長 10 μm 程度のパルク微小二重共振器型第二高調波発生 (SHG) デバイスを提案し、青色 SHG 実証に成功した[1]。波長変換効率は基本波パワー密度に比例することから、導波路構造を採用することによりパルクデバイスに対して大幅な高効率化が期待できる。本研究では GaN 導波路型微小共振器 SHG デバイスの設計を行い、その試作を行ったので報告する。

GaN 導波路型微小共振器 SHG デバイスの構造を Fig. 1 に示す。SHG 領域の両側に、GaN/Air 構成より屈折率差は小さくなるものの回折による損失を小さくできる GaN/SiO₂ ブラッグ反射器を設けた。左右反射器の基本波 (波長 810 nm) に対する反射率をほぼ 1 とすることで、左側から入射した基本波を SHG 領域内で顕著に増強させる。SHG 領域内で SH 波は両方向に発生し、SH 波 (405 nm) に対して左右反射器の反射率を各々 1 と 0 とすることで右方向に出射する。SHG 領域と左側反射器の間に位相調整領域を設けることで、前進 SH 波と位相が揃うように後進 SH 波を反射させる (二重共振)。

高反射率ブラッグ反射器を実現するためには、垂直性の高い平坦な GaN 側壁を形成する必要がある。そのため導波路高さを 0.50 μm とし、強い光閉じ込めが得られるよう導波路幅を 1.00 μm と決定した。この導波路における基本波と SH 波の TM 基本導波モードの実効屈折率と電界振幅分布を求め、GaN 非線形光学定数 $d_{33} = 5.0 \text{ pm/V}$ を用いて非線形結合係数 $\kappa = 421 \text{ m}^2 \text{W}^{-1/2}$ を計算した。SHG 領域長は、分極反転構造なしに最大の波長変換効率が得られるコヒーレンス長 680 nm とした。左右反射器の反射率が前述となるよう左右反射器の構造を決定した。伝達行列法により微小共振器内の基本波電界振幅分布 (光軸方向) を計算し (Fig. 2)、これから SHG 領域内で発生する前進および後進 SH 波の複素電界振幅を κ を用いて求めた。さらに前進 SH 波と左側反射器で反射された後進 SH 波を足し合わせ、右側に出射される SH 波パワーを見積もった。波長変換効率 η_{SH} を最大化させる導波路構造として、左側反射器はペア数 9.5、周期 203 nm、デューティ比 0.493、GaN 位相調整領域長 126 nm、SiO₂ 位相調整領域長 215 nm、右側反射器はペア数 9.5、周期 235 nm、デューティ比 0.409 と決定した。入射基本波パワーが 10 mW のとき、 η_{SH} 及び波長許容幅はそれぞれ 50.4% 及び 0.05 nm と見積もられた。ただし、回折による導波光の減衰は無視した。

デバイス作製プロセスを示す。サファイア基板上に成長した+c面 GaN 薄膜を用い、EB 描画と ICP-RIE (Cl₂ ガス) により周期構造を形成する。その後 KOH 水溶液を用いた異方性ウェットエッチング[2]を行い、GaN 側壁 (m 面) の垂直性・平坦性を大きく向上させる。PCVD により SiO₂ 膜を堆積し、GaN 表面が露出するまで SiO₂ 膜を研磨する。EB 蒸着とリフトオフにより Ni ストライプマスクを形成し、ICP-RIE を行うことで導波路を形成する。試作した GaN 導波路型微小共振器 (GaN/Air 構成) を Fig. 3 に示す。GaN 側壁の垂直性が高い導波路型微小共振器 (GaN/Air 構成) の作製に成功した。

[1] 南部他, 応物春季学術講演会, 10p-W541-14 (2019). [2] M. Itoh *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **45**, 3988 (2006).

[謝辞] 本研究は JSPS 科研費 JP17H01063, JP17H05335, JP19H02631 の助成を受けたものです。

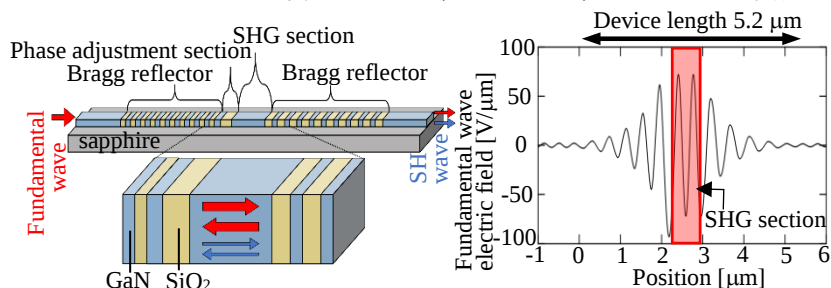


Fig. 1 Schematic of GaN doubly-resonant waveguide microcavity SHG device.

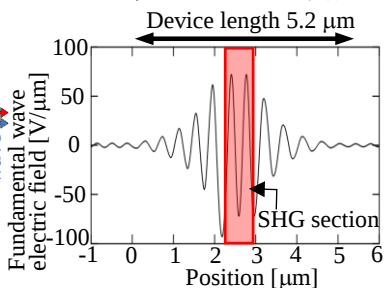


Fig. 2 Calculated electric field distribution of fundamental wave in GaN microcavity.

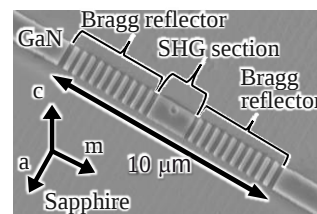


Fig. 3 SEM image of GaN/Air waveguide microcavity.