横型擬似位相整合 GaN 導波路型波長変換デバイスの開発

Development of Transverse Quasi-Phase-Matched GaN Waveguide-Type Wavelength Conversion Device

阪大院工 [1]，（株）東芝 [2]　°小松 天太 [1]，彦坂 年輝 [2]，布上 真也 [2]，
上向井 正裕 [1]，谷川 智之 [1]，片山 竜二 [1]

Osaka Univ.[1], Toshiba Corp.[2] °T. Komatsu[1], T. Hikosaka[2], S. Nunoue[2],
M. Uemukai[1], T. Tanikawa[1] and R. Katayama[1]

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

連続変数量子計算[1]を実装した光量子コンピュータは常温常圧で動作し、量子テレポーテーションを用いて決定論的にゲート操作が行えるという利点を持つ。しかし、自由空間光学系による実装では、光軸合わせが困難で複雑なフィードバック機構を要し、実験系の面積が大きくなってしまう。導波路で光学系を構築すればこれらの問題は解決され、高安定かつ小型なシステムを実現できる。GaN などの窒化物半導体は、大きな光学非線形性、光損傷耐性および高い電気光学効果を有する。そのため、量子ゲートの構成に必要な高効率な光パラメトリック増幅器（OPA）や電界印加型マハツェンダ干渉計（MZI）を同一基板上に作製することができ、量子ゲートの集積化に適している。将来的に GaN OPA を用いた縮退パラメトリック下方変換により発生した 800 nm 帯域のスクイーズド光を量子ビットとして利用することを想定し、本研究ではその逆過程である 400 nm 帯域の第二高調波発生を実証するための波長変換素子の開発を行った。

横型擬似位相整合（Transverse Quasi-Phase-Matched: T-QPM[2,3,4]）GaN 導波路型波長変換デバイスの概略図を Fig. 1 に示す。T-QPM ではモード分散により位相整合条件を満たす。また、高次モードの電界の節で極性を反転させることにより波長変換デバイスの性能を表す非線形結合係数 κ [$W^{-1/2}m^{-1}$] を増大させる。基本波の TM_{00} モードと第二高調波の TM_{01} モードおよび TM_{02} モードが位相整合する導波路高さと幅を求めた。また、極性反転が 1 回の場合について κを計算した。電界分布の計算にはフルベクトル有限差分法を用いた。Fig. 2 に導波路幅が 1.2 μm、基本波の波長 820 nm、パワー200 mW のときの波長変換効率の素子長依存性を示す。素子長 4 mm の時、TM_{00} – TM_{01} モード間および TM_{00} – TM_{02} モード間の波長変換効率はそれぞれ 9.3 % および 8.5 % であった。これらの効率は、極性反転構造のない素子の約 10 倍であり、T-QPM GaN 導波路型波長変換デバイスの原理実証が可能な値と考えられる。

EB 描画と EB 蒸着により、サファイア基板上 2 層極性反転積層構造 GaN の上に膜厚 70 nm 程度のチャネル状のパターンの Ni マスクを形成した。Cl_2 ガスを用いた ICP-RIE により、極性反転二層 GaN チャネル導波路構造を作製した。その後レジストマスクと Ni マスクをウェットエッチングにより除去した。エッチング後の試料の SEM 像を Fig. 3 に示す。Fig. 3 から、設計に近い構造を作製できたことがわかる。表面保護膜をかねた SiO_2 クラッド層をプラズマ CVD で成膜し、ダイシングによりチップ化した後、研磨により入出力端面を形成した。

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

[1] S. L. Braunstein *et al.*, Rev. Mod. Phys. **77**, 513 (2005).
[2] W. Wirges *et al.*, Appl. Phys. Lett. **70**, 3347 (1997).
[3] A. Yamauchi *et al.*, LEDIA, A01-19-1 (2019).
[4] 山内他、応物秋季講演会, 19p-E310-15 (2019).

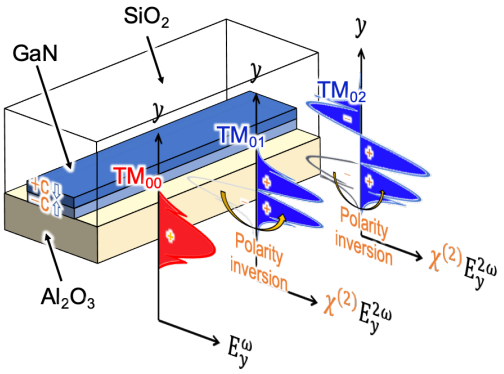

Fig. 1　Schematic of T-QPM GaN waveguide.

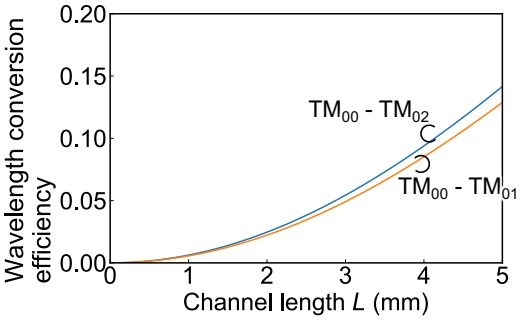

Fig. 2　Dependence of wavelength conversion efficiency on channel length.

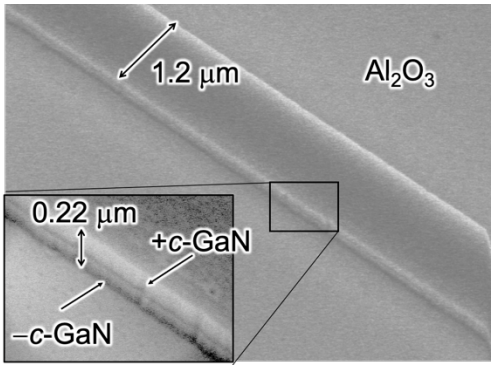

Fig. 3　SEM images of fabricated T-QPM.