

量子光学応用のための GaN 導波路型波長フィルタの開発

Development of GaN Waveguide Wavelength Filter for Quantum Optical Application

阪大院工¹, (株)東芝² °小松 天太¹, 紀平 将史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. Komatsu¹, M. Kihira¹, T. Hikosaka², S. Nunoue²,
M. Uemukai¹, T. Tanikawa¹ and R. Katayama¹

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

光を用いた連続変数量子計算[1]は常温常圧で動作し、量子テレポーテーションを用いて確定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ふ。導波路で光学系を構築すればこれらの問題を解決でき、小型かつ高安定なシステムを実現できる。GaN などの窒化物半導体は、高い電気光学効果、光学非線形性および光損傷耐性を有する。そのため、量子ゲートの構成に必要な電界印加型マハツェンダ干渉計 (MZI) や高効率な光パラメトリック増幅器 (OPA) を同一基板上に作製することができる。また、縮退パラメトリック下方変換によって得られる波長 810 nm のスキューズド光は GaN 光導波路での吸収がなく安価な Si フォトダイオードで高感度に検出できる。本研究では、GaN OPA から出力される波長 810 nm のスキューズド光を波長 405 nm の透過ポンプ光から分離するために使用する導波路型波長フィルタ[2]を報告する。

GaN 導波路型波長フィルタの概略図を Fig. 1 に示す。波長フィルタは1つの結合導波路と2つの S 字導波路から構成される。一方の導波路を伝搬する導波光は S 字導波路を伝搬し、結合導波路で他方の導波路へ同方向結合する。このとき、導波光の波長によりエバネッセント波の分布が異なり、結合係数は波長依存性を持つ。そのため、最適な結合効率を有するように設計することで Fig. 1 の構造は波長フィルタとして機能する。入射光のパワーおよび出射光のパワーをそれぞれ P_{in} および P_{out1} , P_{out2} とする。OPA との集積化を考慮し、導波路の高さおよび GaN 膜厚をそれぞれ $0.345 \mu\text{m}$ および $0.42 \mu\text{m}$ とした。導波路幅と結合導波路間隔はそれぞれ $0.8 \mu\text{m}$ と $0.3 \mu\text{m}$ とした。3次元ビーム伝搬法を用いて損失が少ない S 字導波路長さ L_s を $200 \mu\text{m}$ と求めた。波長 810 nm の TM 基本モードおよび波長 405 nm の TM 基本モードの入出力比と L_c の関係を求めた (Fig. 2)。 L_c が $433 \mu\text{m}$ のとき波長 810 nm および 405 nm に対する出力比 P_{out2}/P_{in} はそれぞれ -0.0047 dB および -56.61 dB であった。情報処理に用いる 810 nm の光をほとんど損失することなく、405 nm の光を除去できる。

サファイア基板上に MOCVD 法で成膜した膜厚 $0.42 \mu\text{m}$ の +c-GaN 薄膜を用い、リブ導波路型波長フィルタを作製した。まず EB 描画と EB 蒸着により GaN 上に膜厚 50 nm 程度の波長フィルタパターン Ni マスクを形成した。 CH_4/H_2 ガスを用いた CCP-RIE により、GaN を $0.345 \mu\text{m}$ エッチングした。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。次に、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。当日は作製した波長フィルタの分波特性を報告する。

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

[1] S. L. Braunstein *et al.*, Rev. Mod. Phys. **77**, 513 (2005).

[2] Alferness, R. C *et al.*, IEEE Quantum Electron. **14**, 11 (1978).

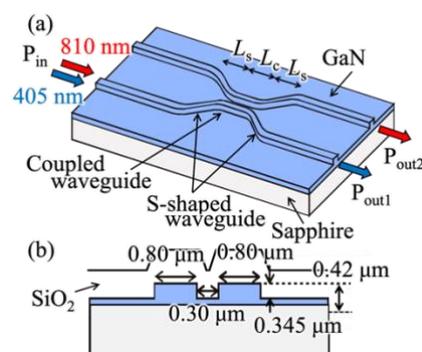


Fig. 1 Schematic of GaN waveguide wavelength filter. (a) Perspective view. (b) Cross sectional view.

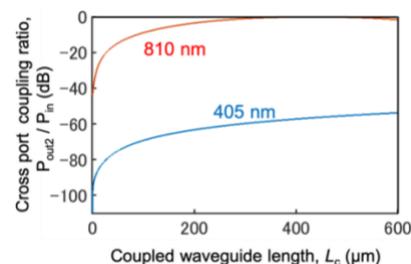


Fig. 2 Dependence of input-output characteristics of GaN waveguide wavelength filter on wavelength ($L_c=404 \mu\text{m}$).

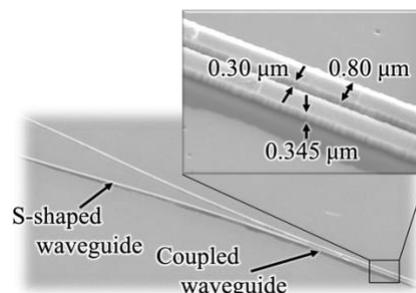


Fig. 3 SEM images of fabricated GaN waveguide wavelength filter.