量子光学応用のための光導波路型マッハツェンダ干渉計の開発: GaN ストリップ導波路型方向性結合器の設計

Development of Waveguide Mach-Zehnder Interferometer for Quantum Optical Application: Design of GaN Strip Waveguide Directional Coupler 阪大院工 ^O紀平 将史, 三輪 純也, 上向井 正裕, 藤 諒健, 藤原 康文, 片山 竜二 Grad. School of Eng., Osaka Univ.

> °M. Kihira, J. Miwa, M. Uemukai, R. Fuji, Y. Fujiwara and R. Katayama E-mail: kihira.m@goe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

本研究室では現在、方向性結合器 (DC) で構成される光導波路型マッハツェンダ干渉計 (MZI)を基本デバイスとして用いる量子ゲート型[1,2]の量子情報処理システムの実現を目指し、光導波路型 MZI の開発を行っている。特に GaN を用いることで、同種材料で作製した青紫色半導体レーザや波長変換デバイスなどからなる量子光源を集積したシステムの実現が期待される。これまで GaN リブ導波路型 DC を報告したが[3]、より高い集積度の実現のためにはフットプリントの更なる縮小が望まれる。そこで本研究では、リブ構造に代えてストリップ構造を採用することで短尺化を狙い、数値計算により構造最適化を行った。

GaN DC の概略図を Fig. 1 に示す。デバイス短尺化と放射損失抑制を目指し、3 次元ビーム伝搬法 (BPM)により 1:1 分波 DC の設計を行った (Fig. 1 右上)。他のデバイスとの集積化を考慮し、入出力導

波路の幅および高さをそれぞれ 1.0 µm、0.50 µm とした。入 出力導波路中心間隔を21 µm とし、折れ曲がり部分での放 射損失を低減するため入出力導波路と結合導波路の間は S 字導波路で連結した構成とする。この導波路構造は光閉 じ込めが強いため S 字導波路長 L_s = 150 μm(最大傾斜 7.2°)としても曲げ損失は 0.16%程度に抑制できるが、予備 実験において再現性よく作製できた導波路間隔 0.3 µm で は 1:1 分波結合長 L1:1 は約 640 µm と非常に長くなることが 分かった。そこで L1:1を短くするため、結合導波路部におい てのみ Fig. 1 下部に示すような導波路断面構造を採用する ことを検討した。Fig. 2にL1:1および放射損失の導波路間膜 厚T依存性を示す。Tを厚くするとLillは短くなるが、S字導 波路/結合導波路境界において電界分布不整合が大きくな り放射損失が増大する。L1:1が短く損失が0.5%以下となるよ う、T = 0.15 μm と決定した。このとき L1:1 は 218 μm、S 字導 波路区間も合わせたデバイス長は 520 µm となり、リブ導波 路に比べて約1/3に短尺化できることがわかった。

GaN DC の作製プロセスについて検討を行った(Fig. 3)。 サファイア基板上に成膜した膜厚 0.50 µm の+c-GaN を用 い、EB 描画と蒸着・リフトオフにより SrF2 マスクを形成する。 CH4/H2 ガスを用いた RIE により、GaN を 0.35 µm エッチン グする。ネガ型 EB レジストを用いて結合導波路間にマスク を形成し、再び CH4/H2 ガスを用いた RIE により導波路以外 の GaN を完全に除去する。レジストと SrF2を除去した後、導 波路保護のため Al₂O₃を EB 蒸着し、ダイシングと研磨によ り入出力端面を形成する。現在予備実験を行っており、当 日、GaN DC の作製と分波特性について報告したい。

[1] A. Politi *et al.*, IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. 15, 1673 (2009).
[2] Y. Zhang *et al.*, Appl. Phys. Lett. 99, 161119 (2011).
[3] 三輪他, 応物学術講演会, 7p-a301-1 (2017).
〔謝辞〕本研究は JSPS 科研費 JP17H01063, JP17H05335 の助成を受けたものです。



Fig. 1. Schematic of GaN strip waveguide DC and result of 3D BPM simulation.



Fig. 2. Dependence of 1:1 splitting length and radiation loss on thickness between waveguides.



Fig. 3. Fabrication process