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 リブ導波路型方向性結合器の特性評価

Development of Waveguide Mach-Zehnder Interferometer for Quantum Optical Application: Evaluation of GaN Rib Waveguide Directional Coupler 阪大院工 ⁰三輪 純也,紀平 将史,上向井 正裕,藤 諒健,藤原 康文,片山 竜二 Grad. School of Eng., Osaka Univ.

°J. Miwa, M. Kihira, M. Uemukai, R. Fuji, Y. Fujiwara and R. Katayama

E-mail: miwa.j@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

2 つの方向性結合器 (DC) で構成される光導波路型マッハツェンダ干渉計 (MZI) は光通信や量子情報処理の分野で高い応用性を持ち、光スイッチや量子ゲートの基本素子として用いられる[1,2]。 GaN などの窒化物半導体は同種の材料で青紫色半導体レーザを実現できるうえ、高い光学非線形性を有することから、本研究室ではこれを利用した量子光源などの非線形光学デバイスの開発を進めている。量子光源や MZI を含む将来の量子情報処理デバイスの構築を目指し、前回は光導波路 MZI のための GaN リブ導波路型 DC の設計・作製・評価について報告したが

[3]、本発表ではより詳細な分波特性について報告する。

GaN DC の概略図を Fig. 1 に示す。結合導波路部にお いて 2 本の導波路の結合の程度をリブ高さ H と導波路間隔 S_c で制御できるよう、Fig. 1 下部に示すリブ導波路構造を採 用している。波長 759 nm の TE 基本導波モードを入射光と して、3 次元ビーム伝搬法 (BPM) によるシミュレーションによ り、結合導波路長 L_c が短く、かつ低損失で 1:1 に分波する よう設計を行った結果、 $H = 0.50 \ \mu m$, $S_c = 0.8 \ \mu m$ と決定し た。結合導波路長 $L_c = 242 \ \mu m$ としたとき入力パワーの 99.4% が 2 本の出力導波路から均等に出力されることが分かった。

作製誤差や光学定数のずれを考慮して、設計値を中心と して $S_c = 0.6 \sim 1.0 \ \mu m$ 、 $L_c = 60 \sim 700 \ \mu m$ の GaN DC を作製し た。EB 描画と蒸着・リフトオフにより、GaN 上に Ni ハードマス クを形成した。CH₄/ H₂(1:10) ガスを用いた RIE により、GaN を 0.50 μm エッチングした。Ni をウェットエッチングにより除去 後、導波路保護のための SiO₂ を堆積し、デバイス長が 1.6 mm になるようダイシングし両端面を研磨した。Fig. 2 に作製 した DC の SEM 写真を示す。

作製した GaN DC の分波特性を光学実験により評価した。 今回、設計値である $S_c = 0.80 \ \mu m$ のデバイスに加え $S_c = 0.90 \ \mu m$ のデバイスでも測定を行った。片方のポートに DFB レー ザ光を結合したときの出射光近視野像からクロスポート結合 比を求めた。測定したクロスポート結合比の L_c 依性と BPM シ ミュレーション結果を Fig. 3 に示す。BPM シミュレーションの 結果に近い分波特性を得ることができた。測定データをフィ ッティングしたところ 1:1 分波結合導波路長は $S_c = 0.80, 0.90 \ \mu m$ においてそれぞれ 234 μm 、284 μm であり、分波特性の S_c 依存性も得られた。測定データのばらつきは側壁の平坦 化により改善されると考えている。

[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 DC and 3D BPM simulation result.



Fig. 2. SEM images of fabricated GaN DC.



Fig. 3. Dependence of cross port coupling ratio on coupled waveguide length L_c with (a) $S_c = 0.80 \ \mu m$ and (b) $S_c = 0.90 \ \mu m$.