

## 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： 電界制御型位相変調器の設計

### Development of Waveguide Mach-Zehnder Interferometer for Quantum Optical Application: Electric field control type phase modulator

阪大院工 ○小松 天太, 紀平 将史, 上向井 正裕, 片山 竜二

Grad. School of Eng., Osaka Univ.

○T. Komatsu, M. Kihira, M. Uemukai and R. Katayama

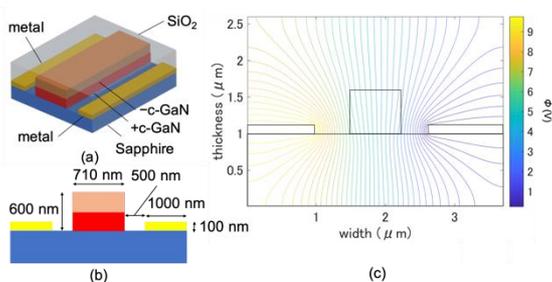
E-mail: [komatsu.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp](mailto:komatsu.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp)

本研究室では、モノリシックな光導波路型量子計算システムの開発を進めている[1,2]。これまで自由空間光学系による実装を想定して提案されている、光を用いた連続変数量子計算に要するユニバーサルなゲートセット[3]を同一積層構造をもつ光導波路ベースのデバイスとしてモノリシックに実装することによって、光軸合わせの困難さや結合損失がなく、複雑なフィードバック機構が不要で高安定・小型なシステムを実現できる。また近年、ループ型光回路と位相変調器を組み合わせることにより、スケラブルかつプログラマブルな量子計算を実現する画期的なアーキテクチャが提案された[4]。これには GHz オーダーの高速変調を要するが、光導波路型システムにおいても、電界制御型の位相変調器およびマッハツェンダ干渉計 (MZI) により実装できる。

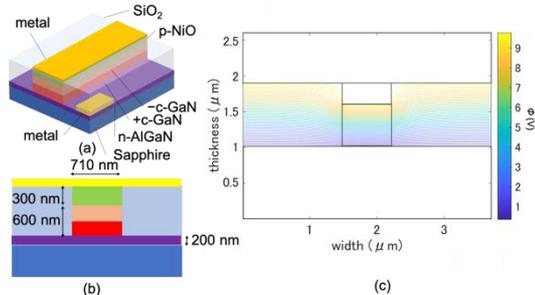
本研究では、図 1(a,b)に示す水平電界印加構造と、図 2(a,b)に示す垂直電界印加構造を持つ位相変調器を検討した。両構造共に、基板、導波層の材料、厚さおよび幅は同一の積層構造で集積する波長変換素子の要請から決定し、それぞれサファイア、GaN、厚さ 600 nm、幅 710 nm とした。水平電界印加構造の導波層と金属電極間の距離、および垂直電界印加構造での p-NiO<sub>x</sub> 導電性上部クラッド層の厚みは導波層からの光の染み出し長さから求め、それぞれ 500 nm, 300 nm とした。また後者についてはサファイアと GaN の間に n-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N 導電性下部クラッド層を配置し、集積する波長変換素子の位相整合条件から求めた厚さ 200 nm とした。c 軸配向したウルツ鉱型構造 GaN の電気光学テンソルの非零成分を考慮し、水平電界印加構造においては TM モードのみ、垂直電界印加構造においては TM・TE 両モードの光波伝搬とした。10 V の電圧印加のもとでの電位分布を有限要素静電界解析により求め (図 1,2(c))、有限要素フルベクトルモードソルバを用いて求めた導波モードの実効屈折率と電界分布を併せて用いることで、位相を  $\pi$  変調できる素子長を求めた。詳細については当日報告する。

謝辞：本研究の一部は科研費 JP17H01063, JP17H05335 の助成を受けたものです。

[1] 山口他, 応物春, 17a-E202-1 (2017). [2] 紀平他, 応物春, 17a-E202-4 (2017). [3] S. L. Braunstein et al., Rev. Mod. Phys. 77, 513, 2005. [4] S. Takeda and A. Furusawa, Phys. Rev. Lett. 119, 120504 (2017).



**Figure 1** Phase modulator with horizontal electric field application: (a) schematic, (b) cross section, and (c) potential distribution under external voltage application of 10 V.



**Figure 2** Phase modulator with vertical electric field application: (a) schematic, (b) cross section, and (c) potential distribution under external voltage application of 10 V.