

薄膜 LN 導波路を用いた狭線幅波長可変単一モードレーザの特性解析

Numerical Simulation on Output Characteristics of Narrow Linewidth

Tunable Single-Mode Laser Using Thin-Film Lithium Niobate Waveguide

青学大理工¹, 情通機構² ○(B)陳 克霖^{1,2}, 松本 敦², 赤羽 浩一², 山本 直克²,

前田 智弘^{1,2}, 外林 秀之¹

Aogaku Univ.¹, NICT², °Kelin Chen¹, Atsushi Matsumoto², Kouichi Akahane², Naokatsu Yamamoto²,

Tomohiro Maeda^{1,2}, and Hideyuki Sotobayashi¹

E-mail: a5421092@aoyama.jp

1. まえがき

ニオブ酸リチウム (LN) は、高速性・広帯域幅・低損失といった特性を持ち、光変調器の材料として広く用いられている。近年、LN 材料の薄膜化を実現する技術 (Smart Cut) の登場により[1]、薄膜 LN (TFLN) を導波路層として用いたデバイスが次世代フォトニック集積回路のプラットフォームとして期待を集めている。TFLN プラットフォームは従来の SOI プラットフォームと比較して、低損失かつ高い電気光学係数を有する。そのため、TFLN を用いてリング共振器を構成することで、狭線幅かつ広い波長可変範囲を有した波長可変レーザの実現が期待でき、さらに近年報告されているような超高速光変調器の集積も可能である。

本稿では、TFLN を用いた二重トラック型リング構造の外部共振器と量子ドット反射型半導体光増幅器 (QD-RSOA) を集積した波長可変レーザについて、出力光のスペクトルおよび波長可変特性を数値解析により評価した結果を報告する。

2. 波長可変レーザの動作原理と解析概要

二重トラック型リング構造の外部共振器を有した波長可変レーザの特性を、フォトニクス解析ソフトウェア Lumerical を用いて解析した。解析モデルを図 1 に示す。デバイス構造は図 1(a)に示すように、Si 層および SiO₂ 層の上にリブ型の TFLN 導波路層を有する構造とした。QD-RSOA からの出力光は、二重トラック型リング構造 (RR₁ および RR₂) を通過して、一部がループミラーにより反射して QD-RSOA に戻る。バーニア効果により 2 つのリング共振器の共振ピークが一致した波長のみが発振し、一部がループミラーを透過して出力する。ここで、導波路材料は LN のため、電界を印加するとポッケルス効果により屈折率が変化する。すなわち、各リング共振器に配置した電極から導波路に電界を印加することで、光路長を制御することができる。また、TFLN 導波路はシリコン導波路よりも低損失なため、リング共振器の共振器長を大きくすることができ、高い Q 値が得られる。さらに、トラック型の構造を用いることで、二つの導波路間の相互作用長を増加させ、結合係数を高めることができる。

解析では、TFLN 層は電気光学効果が最も顕著な X カット (EO 係数 $r_{33} = 30.9$ pm/V) とした。QD-RSOA はこれまでの実験結果を元に、片側に反射率 85% の高反射率ミラーを有し、中心波長 1550 nm で動作するとした。直線導波路とリング構造の間隔はいずれも 0.7

μm とした。RR₁ および RR₂ の共振器長はそれぞれ 810 μm と 800 μm とした。ループミラーの反射率は 60% とした。

3. 解析結果

図 2(a)に薄膜 LN 波長可変レーザの出力光スペクトルを示す。得られた光出力の線幅は 1.18 kHz、副モード抑圧比 (SMSR) は 70 dB、自由スペクトル間隔 (FSR) は 78 nm であった。図 2(b)は、リング共振器に印加する電圧を変化させた際の共振波長の変化を示している。最大の波長可変範囲は 68 nm であることが確認された。シリコン導波路の場合[2]と比較すると、より簡単な構造でありながら、30 倍以上狭い線幅を実現できることが示された。

解析結果より、薄膜 LN 材料を用いることで、狭線幅かつ広い波長可変範囲のレーザが実現可能であることを示した。この成果は、将来的な TFLN を基盤とした全光学デバイスのオンチップ統合に向けた重要な一歩である。今後は、さらなる高性能化や高速変調器との統合に向けた構造設計に取り組む。

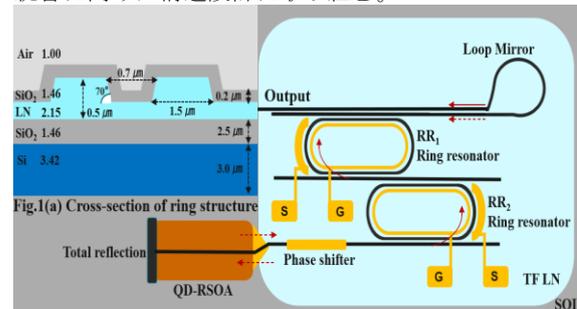


Fig.1. Analysis Model

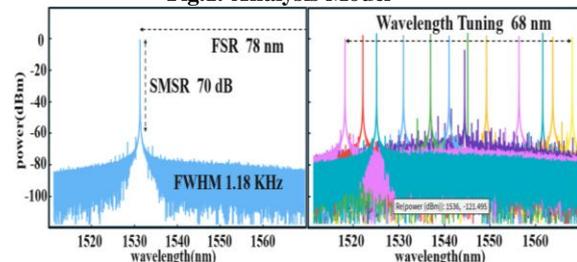


Fig.2. (a) Laser output light spectrum (b) Laser wavelength tuning characteristics

参考文献

- [1] G. Poberaj *et al.*, Laser Photonics Rev., 6(4) 488 (2012).
- [2] Hang Guan *et al.* Opt. Express 26, 7920-7933 (2018)