

広帯域光発生に向けた LiNbO₃ 導波路に関する研究

日大生産工(院) ○北村 大和 日大生産工 石澤 淳
早大 北 智洋 産総研 高 磊

1. まえがき

光周波数コム（光コム）をはじめとし、超高速分光や光コヒーレントトモグラフィ（OCT）技術など様々な分野に対して広帯域光が必要とされている。光コムにおいては、多数の輝線スペクトルコムの周波数が低ノイズかつ安定していることが他のアプリケーションに応用するにあたり重要である。そのためにはキャリアアエンベロープオフセット（CEO）信号のフィードバックが必要であり、自己参照法によるCEO信号の検出に1オクターブ以上のスペクトル帯域を必要とする。近年の研究では、高非線形性の性質を持つ導波路を用いて光コムの広帯域化が行われている¹⁾。

そこで本研究では2次（ $\chi^{(2)}$ ）及び3次（ $\chi^{(3)}$ ）の非線形効果を持ち、広帯域化が可能とされるニオブ酸リチウム（LiNbO₃: LN）を利用した導波路を提案する。LNは、電気光学デバイスや非線形光学デバイス用の材料として普及しており使用されている。Si, Si₃N₄, InPなどの材料と比較して、LNは強い電気光学効果、大きな屈折率、広い透明波長、安定した物理的・化学的特性などといった特徴がある。

2. 提案手法

先行研究として、SiO₂をSiで挟んだ水平スロット導波路（Si-SiO₂-Si 水平スロット導波路）と呼ばれる特殊な構造をした導波路が理論的に提案された²⁾。後に、我々の研究グループの薄膜転写技術によって導波路が作製され、1オクターブ以上の広帯域光の発生が実証されている³⁾。

水平スロット導波路の特徴として、短波長の時は下側のチャンネル導波路に、波長が長くなるとスロット層と呼ばれる中間にある導波路に光モードが閉じ込められ、チャンネル導波路とスロット導波路のハイブリッドモードを形成することにより、フラットな波長分散を得ることができる。

しかし、先行研究においてスロット層であるSiO₂は極めて小さな $\chi^{(3)}$ 効果しか持たない材

料であるため、高機能化および更なる広帯域化は難しい。

そこで本研究では、スロット層をSiO₂からLNに置き換えた水平スロット導波路（Si-LN-Si 水平スロット導波路）（W:750 nm, H₁: 350 nm, H₂: 120 nm, H₃: 80 nm）（Fig. 1）においてゼロ分散波長（ZDW）を調整し広帯域光発生に向けた導波路構造のシミュレーションを実施した。リブ型LN導波路（W: 1300 nm, H: 800 nm）（Fig. 2）と比較を行う。

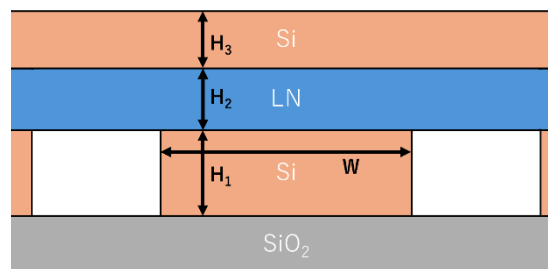


Fig. 1 Si-LN-Si 水平スロット導波路模式図

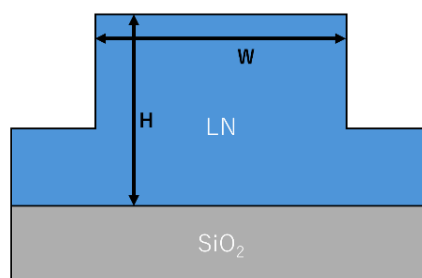


Fig. 2 リブ型 LN 導波路模式図

3. 実験方法および測定方法

本研究では有限差分固有モード(Finite-Difference Eigenmode: FDE)法を用いてシミュレーションを行った。FDE法は、導波路の断面上でマクスウェル方程式を解くことにより、モードの空間プロファイルと周波数依存性を計算する方法である。

Study on LiNbO₃ waveguide for broadband optical generation

Yamato KITAMURA, Atsushi ISHIZAWA, Tomohiro KITA and Rai KOU

FDE法を用いて各材料の厚さや幅のパラメータを変化させ導波路のモード分布及び波長分散のシミュレーションを行った。

4. 結果および検討

以下に得られたシミュレーション結果を示す。Fig. 3は、Si-LN-Si水平スロット導波路とリブ型LN導波路の波長分散特性である。

Fig. 4はSi-LN-Si水平スロット導波路における伝搬モードのy方向の電界分布である。

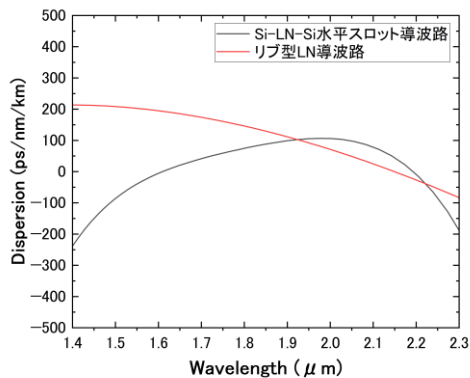


Fig. 3 Si-LN-Si 水平スロット導波路及びリブ型 LN 導波路の波長分散特性

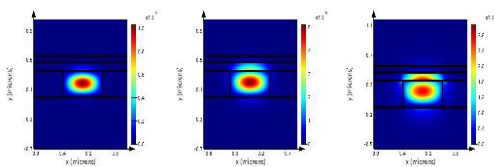


Fig. 4 Si-LN-Si 水平スロット導波路のモード分布
(左図より波長 1.4 μm , 2.0 μm , 2.5 μm)

Fig. 3より、およそ波長1.5 μm から2.1 μm にかけてフラットかつ異常分散領域に制御することができた。

また、Fig. 4より波長1.4 μm では下層のSiチャネル導波路にはほぼ全ての光電界が集中しているのに対して、波長2.0 μm 以遠ではLNによるスロット層に光電界が閉じ込められていることが判る。

5. まとめ

本研究にて、LNをスロット層に用いた導波路構造の最適化をシミュレーションにより行うことができた。今後は薄膜転写プリント技術 (μ -Transfer Printing) を活用した導波路作製に向けて、今回シミュレーションを行った導波路をもとに更に構造の最適化を進めていく。

参考文献

- 1) K. Yugo, et al., "Sub - 30 - fs fibre - coupled electro - optic modulation comb at 1.5 μm with a 25 - GHz repetition rate." Electronics Letters, 59.11, (2023) e12830.
- 2) Z. Lin, et al., "Silicon waveguide with four zero-dispersion wavelengths and its application in on-chip octave-spanning supercontinuum generation." OpticsExpress **20**(2), (2012) pp.1685-1690.
- 3) S. Ryosuke, et al., "An Octave-Spanning Near-Infrared Frequency Comb Broadened by Si-SiO₂-Si Horizontal Slot Waveguide." Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), (2024) SM1M.7.