

Si フォトニック結晶スローライト導波路のインフォマティクス最適化

Si photonic crystal slow-light waveguide optimized by informatics technology

横国大院工, °廣谷 圭祐, 白鳥 遼, 馬場 俊彦

Yokohama Nat'l Univ., °Keisuke Hirotoni, Ryo Shiratori, Toshihiko Baba

E-mail: hirotoni-keisuke-fn@ynu.jp

フォトニック結晶導波路では、構造パラメータを調整することで分散が制御され、広帯域なスローライトが得られる^{1,2)}。一方、最近、機械学習を用いたフォトニック構造の最適化の研究が行われている³⁻⁵⁾。本研究では、SiO₂クラッドつきSi格子シフト型フォトニック結晶導波路の格子シフト量を機械学習により探索することで、規格化遅延帯域積NDBPで0.45という巨大な値を示す低分散スローライト構造が得られた。

図1に円孔三角格子配列、単一線欠陥で構成された標準的なPCWの単一セルを示す。格子定数 a 、円孔直径 $2r$ 、Siスラブ厚 t 、線欠陥幅 $\sqrt{3}a - \Delta w$ に加え、2~5列目の円孔の横方向シフト、3, 4列目の縦方向シフトを変数とした。Lumerical FDTD Solutionsを用いてフォトニックバンド計算を行い、6400個のデータを収集して、全結合型ニューラルネットワークモデル(隠れ層数2, 各ニューロン数77)を作成した。このモデルを粒子群最適化アルゴリズムと組み合わせ、 n_g が高く、 $\Delta\lambda$ が広い構造を探索した。最終的に得られたフォトニックバンドと各パラメータを図2に示す。破線はSiO₂のライトラインである。実線は36点の計算プロットの6次多項式近似である。その傾斜から求めた n_g スペクトルを図3に示す。灰色領域に示すように n_g が $\pm 10\%$ となる範囲で帯域 $\Delta\lambda$ を定義した結果、 $n_g \approx 20$, $\Delta\lambda = 35$ nm (Cバンド全域), NDBP=0.45となった。これは以前に我々が報告した3列目のみをシフトさせたときの $n_g \approx 20$, $\Delta\lambda = 20$ nm, NDBP = 0.258⁶⁾と比べて1.7倍、別のフルCバンド構造の $n_g \approx 9$, $\Delta\lambda = 42$ nm, NDBP = 0.244⁷⁾と比べて1.8倍である。また、同様の探索はエアブリッジ構造に対しても行われているが⁸⁾、その最大値はNDBP=0.38であり、本研究の値はそれと比べても大きい。

本研究では、得られたLSPCWとSiチャネル導波路の接続構造も最適化した。我々は最近、粒子群最適化により、単純な3列目シフトLSPCWに対する低損失なテーパ型接続構造を導出しており⁹⁾、本研究では共分散行列適応進化戦略を適用した。最終的に得られた接続構造と透過スペクトルを図4に示す。Cバンド全域での平均透過率は94.6%であり、接続箇所あたりの損失は0.12 dBとなった。3列目シフトLSPCWのときの接続損失は0.12 dBであり、同程度に実用的な低損失である。このようなフルCバンド動作はスローライトの有用性を大いに高める。

なお、この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業総合技術開発機構(NEDO)の委託業務JPNP13004の結果、得られたものである。

参考文献 1) J. Li et al, Opt. Express **16**, 6227 (2008). 2) T. Tamura et al, J. Lightw. Technol. **33**, 3034 (2015). 3) T. Asano et al, Nanophotonics **8**, 2243 (2019). 4) R. Abe et al, Opt. Lett. **45**, 319 (2020). 5) 白鳥ら, 春季応物, 10-a-W321-5 (2019). 6) Y. Hinakura et al. Photonics **3**, 17 (2016). 7) Y. Terada et al, Opt. Lett **42**, 4695 (2017). 8) D. Verduynde et al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. **26**, 8301706 (2019). 9) R. Shiratori et al, Opt.Lett.**46**, 1904 (2021).



図1 構造探索により求めた最適なLSPCWの単一セルの拡大。

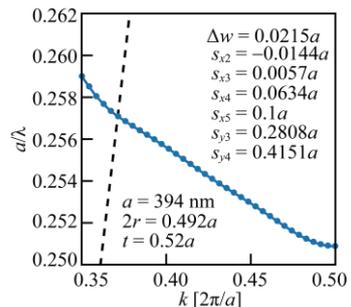


図2 フォトニックバンド。

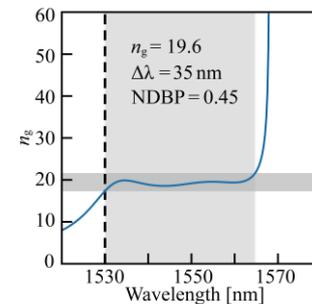


図3 n_g スペクトル。

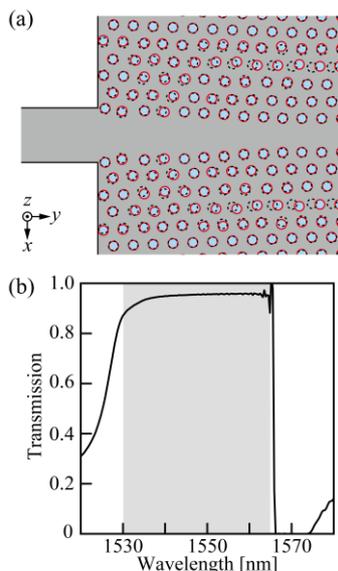


図4 細線導波路との接続の最適化。(a) 接続構造。黒は9)で報告した構造。赤は本研究の構造。(b) 2箇所接続があるときの透過スペクトル。灰色はCバンド。