

窒化ガリウム (GaN) を用いた可視光領域 空孔型トポロジカルフォトリック結晶スラブ導波路の設計

Design of gallium nitride topological photonic slab waveguide based on air-holes

上智大理工¹, 上智ナノテクセンター² ○(M2) 石井 空良¹, 菊池 昭彦^{1,2}

Sophia Univ.¹, Sophia Nanotech Research Center², °Sora Ishii¹, Akihiko Kikuchi^{1,2}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに：誘電体円柱からなる六角形クラスタの三角格子配列フォトリック結晶 2 次元スラブ導波路においてトポロジカルエッジ伝搬がすることが Hu らによって報告された^[1]。この成果は、シリコンフォトリック結晶などの実用的な光デバイス応用の可能性を示しており重要な意味を持つ。しかしながら、実際に光波長域でスラブ導波路デバイスを構成する場合、誘電体円柱構造では面外への散乱が生じ、金属による閉込めは損失が大きくデバイス応用が難しい。最近になり、正三角形の空孔を用いた GaAs スラブ導波路の理論計算が報告され^[2]、光子の偏光状態を利用する形で実験的な検証も報告された^[3]。本研究ではこれらの先行研究に基づき、窒化ガリウム (GaN) を用いた可視領域のトポロジカルフォトリック結晶の作製に向けた基礎的な設計と検討を行った。

実験：Fig.1 に示すように、三角形の空孔からなる六角形クラスタの三角格子配列フォトリック結晶スラブ導波路を設計した。空気 ($n=1.0$) /GaN ($n=2.4$) /空気のメンブレン構造でスラブ厚さを $d=100\text{nm}$ 、周期を $a=300\text{nm}$ とし、一辺 $T=105\text{nm}$ の正三角形を六角形の中心に $R=0.31a$ で近接させた配置 (trivial) 及び中心から $R=0.35a$ で離隔させた配置 (topological) のフォトリック結晶を接合させ、界面に生じるトポロジカルエッジ伝搬状態について有限差分時間領域法(FDTD)による 3D 導波シミュレーションを行った。

結果と考察： Fig.2 に設計したフォトリック結晶スラブ導波路の導波シミュレーションの結果を示す。Fig.2(a)は波長 435nm の光の導波の様子を示しており、trivial と topological のフォトリック結晶の接合部を中心に伝搬の様子が確認された。また、Fig.2(b)は波長 460nm の場合であり、光は接合部を伝搬せずに trivial と topological の両フォトリック結晶内を伝搬していることからフォトリックギャップを外れていることが分かる。このように、可視領域におけるトポロジカルフォトリックエッジ伝搬現象の可能性が確認された。実際の素子寸法は波長 450nm において一辺 105nm の三角空孔や最小梁部幅 30nm という微細加工が必要であると予測され、今後は加工精度などの影響を考慮した構造設計についても検討を進める予定である。

謝辞：日頃ご支援いただく上智大学の岸野克巳教授、トポロジカルフォトリックデバイス関係のご議論をいただいた物質・材料研究機構の胡曉先生に感謝いたします。本研究の一部は、JSPS科研費JP16K14260およびJP17H02747の援助を受けて行われた。

参考文献： [1] Xiao Hu, et al. Physical review letters 114.22 (2015): 223901. [2] Barik, et al. New Journal of Physics 18.11 (2016): 113013. [3] Barik, Sabyasachi, et al. "A topological quantum optics interface." *Science* 359.6376 (2018): 666-668.

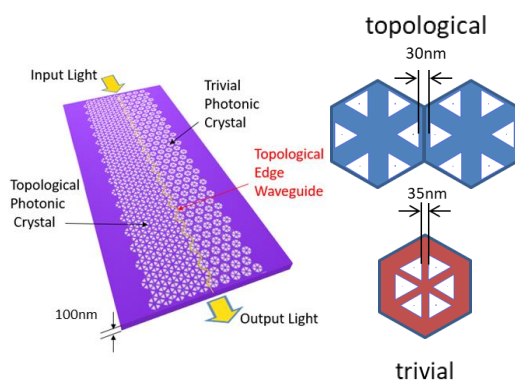


Fig.1 Scheme of photonic crystal slab waveguide.

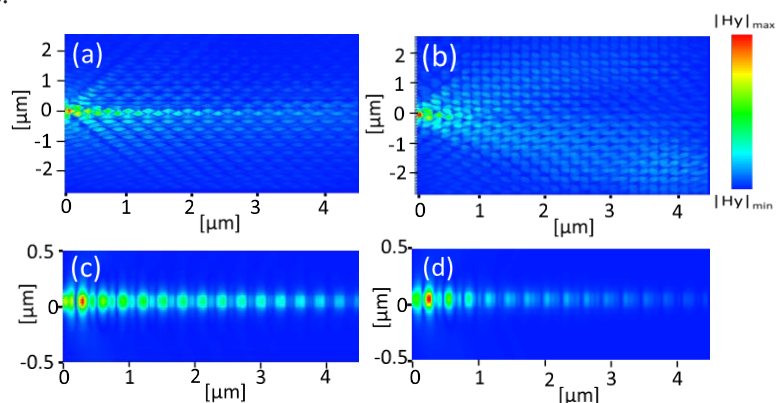


Fig.2 Magnetic field intensities for the 3D photonic crystal slab waveguides with $n_{\text{GaN}} = 2.4$, $n_{\text{Air}} = 1.0$. (a) wavelength= 435nm (b) wavelength= 460nm (c)&(d) Cross-section view along the topological edge waveguide.