

Oral presentation | CS Code-sharing session : 【CS.4】 Code-sharing Session of 3.10 & 3.11

📅 Thu. Sep 19, 2024 9:00 AM - 12:00 PM JST | Thu. Sep 19, 2024 12:00 AM - 3:00 AM UTC 🏢 A33 (TOKI MESSE 3F)

[19a-A33-1~11] CS.4 Code-sharing Session of 3.10 & 3.11

Minoru Fujii(Kobe Univ.), Menaka De Zoysa(Kyoto Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[19a-A33-1]

Enhancing thermal radiation by thermal extraction of silicon micropyramids

○(M2)Ryugo Hosokawa^{1,2}, Etsuko Shimada¹, Satoshi Ishii^{1,2} (1.NIMS, 2.Univ. of Tsukuba)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[19a-A33-2]

Angular selective thermal radiation from plasmonic resonator

○Makoto Shimizu¹, Rihab Benlyas¹, Zhen Liu¹, Hiroo Yugami¹ (1.Tohoku Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[19a-A33-3]

Photocurrent Enhancement via Fabry-Pérot BICs in Silicon Metasurface on Mirror for NIR Photodetection

○Keisuke Moriasa¹, Hiroaki Hasebe¹, Hiroshi Sugimoto¹, Minoru Fujii¹ (1.Kobe Univ.)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[19a-A33-4]

Design of a Higher-order Weyl Phononic Crystal based on a Spiral Stacked Kagome Lattice

○Yusuke Hata¹, Kenji Tsuruta¹ (1.Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama Univ.)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[19a-A33-5]

OAM optical waveguides created by loading metal nanostructures

○Ryuji Kuruma^{1,3}, Masato Takiguchi^{2,3}, Peter Haidt³, Yuto Moritake¹, Masaya Notomi^{1,2,3} (1.Tokyo Tech, 2.NTT NPC, 3.NTT BRL)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[19a-A33-6]

Fabrication of H1-type photonic crystal nanocavities based on yttrium iron garnet

○Kota Taniguchi¹, Tatsuya Kitai¹, Takeru Yambe¹, Gao Siyuan¹, Satoshi Iwamoto², Yasutomo Ota¹ (1.Keio Univ., 2.RCAST, the Univ. of Tokyo)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[19a-A33-7]

Fabrication and characterization of magneto-optical microdisk resonators based on yttrium iron garnet

○(M1)Takeru Tambe¹, Kitai Tatsuya¹, Taniguchi Kota¹, Gao Siyuan¹, Imamura Riku¹, Hajime Kumazaki¹, Shum Fujii¹, Takasumi Tanabe¹, Satoshi Iwamoto², Yasutomo Ota¹ (1.Keio Univ., 2.RCAST, the Univ. of Tokyo)

◆ English Presentation

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[19a-A33-8]

Optical Rectenna Based on a Hollow Resonator for Mid-Infrared Energy Harvesting

○Zhen Liu¹, Yuji Oka¹, Makoto Shimizu¹, Hiroo Yugami¹ (1.Tohoku Univ.)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[19a-A33-9]

Evaluation of Thermophysical Properties of Micro Pillars and Holes by Laser Heterodyne Photothermal Displacement Method

○Takahiro Iwakiri¹, Tomoki Harada¹, Satoshi Ishii², Tetsuo Ikari¹, Atsuhiko Fukuyama¹ (1.Univ. of Miyazaki, 2.NIMS)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[19a-A33-10]

Performance of Thermoelectric Device loaded with Ag Nanoparticle Electrode

○(M2)Hidezumi Tamehiro¹, Wakana Kubo¹ (1.Tokyo Univ. of Agri. Technol.)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[19a-A33-11]

Investigation of BIC slow light waveguides on a magneto-optical thin film II

○Yuta Tanimura¹, Yuki Ishii¹, Takahiro Uemura², Satoshi Iwamoto³, Yasutomo Ota¹ (1.Keio Univ., 2.Tokyo Tech., 3.Rcast the Univ. of Tokyo)

シリコンピラミッドを用いた熱放射取出しによる熱輻射増強 Enhancing thermal radiation by thermal extraction of silicon micropyramids

物材機構¹, 筑波大² ◯(M2)細川 竜牙^{1,2}, 鷲田 悦子¹, 石井 智^{1,2}

NIMS¹, Univ. of Tsukuba.², ◯Ryugo Hosokawa^{1,2}, Etsuko Shimada¹, Satoshi Ishii^{1,2}

E-mail: hosokawa.ryugo@nims.go.jp

近年、日中放射冷却素材^[1]や放射冷却を利用した環境発電^[2]などの研究が活発になっている。しかし、熱放射は温度の4乗に比例するため、300 K 付近の屋外での放射冷却能力は 100 W/m² 程度に限られる。もし温度一定で熱放射を増大させることができれば冷却能力は向上するが、その方法の一つとして高屈折率の半球を熱放射面に被せる方法がある^[3]。この方法では、半球半径を半球の屈折率と熱放射面の半径の積とすることで、全反射を低減して熱放射取出し効率を最大化するため、熱放射面が大きくなるに従って半球は高くなる。そこで、中赤外域の屈折率と透過率が高いシリコン(Si)上にピラミッド構造を作製することで、熱放射取出し構造を薄く出来るかを計算と実験から検討した。

有限要素法に基づく数値計算では、300 K の黒体放射強度で重みづけした双極子からの放射を熱放射として模擬し、中赤外の波長域について電場強度を積分することで熱放射強度を見積もった。表面にピラミッド構造がある Si 中の双極子から真空中への放射強度を計算し、その値を平坦な Si の場合で規格化したものを Fig. 1. (a)に示す。Fig. 1. (a)より、ピラミッド構造があることで真空中への熱放射取出しが増強していて、最適なピラミッド幅が存在することが分かる。実験では、厚さ 500 μm 大きさ約 1 cm 角の Si 基板をウェットエッチングしてマイクロスケールのピラミッド構造(Fig. 1. (b))を作製した^[4]。ピラミッド構造による熱放射取出しは、熱流束計を用いた真空中での測定で評価した。その結果、ピラミッド構造がある Si 基板は平坦な Si 基板や Si 基板がない場合より、熱流束計が大きな値を示した。これらの計算と実験は、Si ピラミッド構造が従来よりも薄い構造であるにも関わらず、熱放射取出しによる熱輻射増強が可能であることを示唆する。

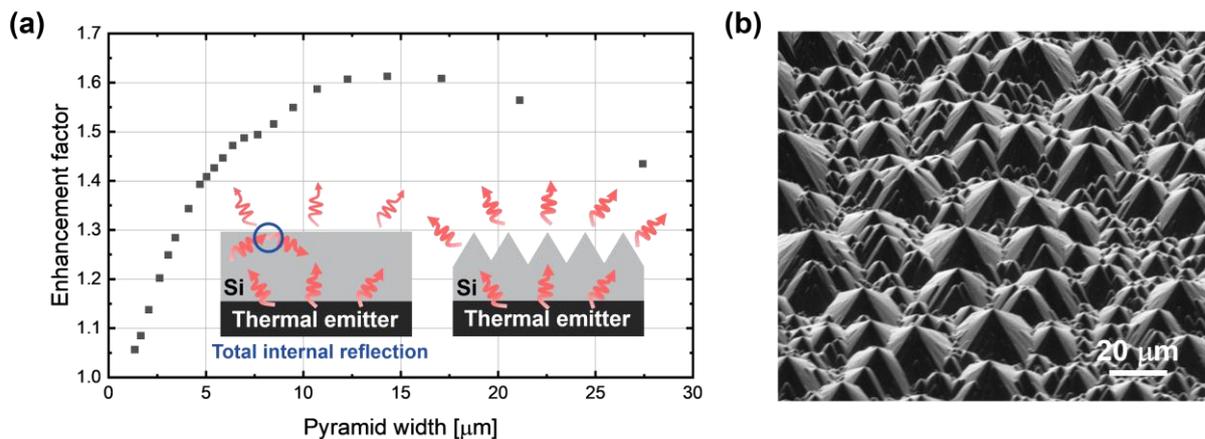


Fig. 1. (a) Enhancement factor of Si pyramids plotted against Si pyramid width. The enhancement factor is the radiation intensity of the Si pyramid normalized by that of planar Si. (b) SEM image of Si pyramids.

参考文献:[1] T. Li et al., *Science* **364**, 760 (2019); [2] S. Ishii et al., *Materials Today* **75**, 20 (2024); [3] Yu, Z., et al., *Nat Commun.* **4**, 1730 (2013); [4] B. L. Sopori et al., *Solar Cells* **8**, 249 (1983).

プラズモニック共振器からの角度選択性熱放射

Angular selective thermal radiation from plasmonic resonator

東北大院工¹ ○清水信¹, Rihav Benlyas¹, Liu Zhen¹, 湯上浩雄²

Tohoku Univ.¹, [○]Makoto Shimizu¹, Daisuke Matsuura¹, Toshinori Kado¹, Hiroo Yugami¹

E-mail: makoto.shimizu.a3@tohoku.ac.jp

【はじめに】細構造を表面に形成することで物体の表面フォノンや表面プラズモンとの結合により狭い波長域において指向的な熱放射を可能とする放射体がこれまでも実現されている^[1]。しかし、指向的な輻射熱輸送を実現するためには、幅広い波長域での熱放射と指向的な熱放射を両立させる必要がある。この特性は、高分子薄膜の分子振動モードを利用したものや^[2]、複数種類の誘電体薄膜を積層することで実現できることが報告されている^[3]。しかし、これらは物質固有の特性を利用しているため、放射波長域のさらなる広帯域化や波長域の任意制御は難しい。本研究では共振器の共振モードと誘電体薄膜における Leaky モードを結合させることでプラズモニック共振器における角度選択性熱放射を実現した。

【実験】金属—誘電体—金属（MDM）構造を持つプラズモニック共振器に対して、Rigorous Coupled-Wave Analysis 法を用いた光学シミュレーションにより吸収率の角度依存性を解析した。尚、キルヒホッフの法則から吸収率は放射率と等しいと考えられる。また、シミュレーションモデルと同様の構造を作製し、熱放射の角度特性を評価した。

【結果と考察】誘電体の膜厚を波長に比べて十分薄くすることで Leaky モードが生じ、共振器の共振波長に対応したピークが面水平方向と近い高角度において高い放射率を有することが明らかとなった。その値は一般の金属表面において見られる高角度での放射率上昇よりも大きくなっており（Fig. 1）、プラズモニック共振器の効果であると言える。また、この放射特性は実験的にもシミュレーション結果とよく一致することを実証した^[4]。

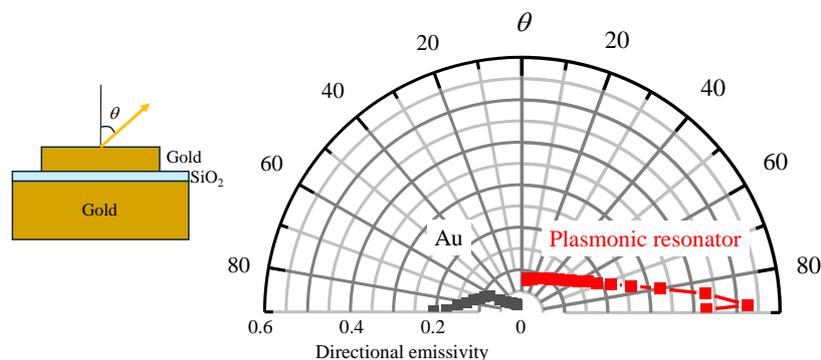


Fig.1 Schematic image of a directive multiband thermal emitter based on MDM metamaterial structure (Left) and simulation result of spectral absorptance vs incident angles (Right).

参考文献

[1] J.J. Greffet et al., Nature, 416 (2002) 61. [2] S. Tsuda et al., Opt. Express, 26, 6899 (2018). [3] A.J. Xu et al., Science, 372, 393 (2021). [4] R. Benlyas et al., Opt. Express, 30, 9380 (2022).

シリコンメタサーフェスの Fabry-Pérot BIC を利用した 近赤外狭帯域光電流増強

Photocurrent Enhancement via Fabry-Pérot BICs in Silicon Metasurface on Mirror for NIR Photodetection

神戸大工¹, °森朝 啓介¹, 長谷部 宏明¹, 杉本 泰¹, 藤井 稔¹

Kobe Univ.¹, °Keisuke Moriasa¹, Hiroaki Hasebe¹, Hiroshi Sugimoto¹, Minoru Fujii¹

E-mail: fujii@eedept.kobe-u.ac.jp

波長1400 nm以上の近赤外光はアイセーフ領域と呼ばれ、網膜に対する最大許容露光量が他の波長域に比べて大きいため車載用LiDARの動作波長として採用されている。そのためこの波長域までシリコンベースの受光素子の感度帯を拡張する研究が広く行われている[1]。そのなかで我々のグループはバンドギャップ内の欠陥準位を介した微弱な光吸収を光学共鳴により増強する機構に着目した。特に、非常に薄いシリコンのナノディスクの六方格子アレイ構造のトロイダル双極子共鳴が消光係数の小さい波長領域において光吸収を大きく増強することを見出し、1.5 μm 帯における光電流増強を報告した[2]。

以前に報告した構造は、光吸収率の理論値が最大で 50% であった。本研究では光吸収率の理論値が最大 100% の構造を提案する(図 1)。シリコン薄膜上に形成したナノディスクアレイ下部にシリカスペーサ(厚さ $\sim 1 \mu\text{m}$)を介して金属ミラーを配置している。適切なスペーサ膜厚において、ナノディスクに誘起されるトロイダル双極子と逆位相の鏡像双極子が干渉することにより遠方場への輻射が完全に抑制される Fabry-Pérot bound states in the continuum (FP-BICs)が発現する。図 2(a)に吸収スペクトルのスペーサ膜厚(S)依存性を示す。1460 nm 付近のピークはトロイダル双極子共鳴に由来している。この吸収はスペーサ膜厚が 800 nm の場合に FP-BIC となり消失する。一方、スペーサ膜厚が 940 nm, 540 nm では臨界結合条件を満たすことにより、吸収率は 99%以上に達している[3]。図 2(b)にスペーサ膜厚が 940 nm の場合の電場分布を示す。光電場はシリコン層に局在化しており、光電流の増強が期待できる。本発表では光吸収増強のメカニズム及び光電流の増強効果について理論と実験の両面から議論する。[1] Casalino, M., et al., Laser & Photonics

Reviews, Vol. 10, Issue. 6, 895–921, 2016. [2] Hasebe, H., et al., ACS Photonics, Vol. 9, Issue. 10, 3302–3309, 2022. [3] Moriasa, K., et al., Journal of Applied Physics, Vol. 133, Issue. 17, 173102, 2023.

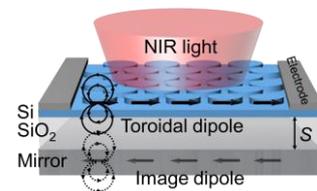


Fig 1. Schematic of Si metasurface on mirror structure. The interference between a Toroidal dipole and its mirror image leads to the formation of FP-BIC.

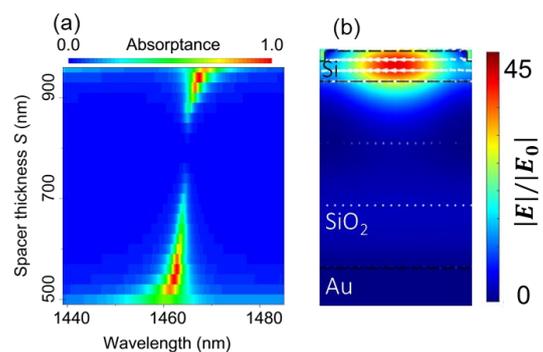


Fig 2. (a) Calculated absorptance spectra of the structure in Figure 1 as a function of spacer thickness (S). (b) Electric field distribution at 1467.4 nm (S = 940 nm)

カゴメ格子らせん積層型高次ワイルフォニック結晶の設計

Design of a Higher-order Weyl Phononic Crystal based on a Spiral Stacked Kagome Lattice

岡山大院自然¹, [○](D) 秦 佑介¹, 鶴田 健二¹

Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama Univ.¹,

[○]Yusuke Hata¹, Kenji Tsuruta¹

E-mail: tsuruta@okayama-u.ac.jp

トポロジカルフォニック結晶は、曲げや欠陥に対してロバストな境界状態を作り出せるため、弾性波を高効率に伝播させる導波路等の設計に有用であると注目されている [1]。特に近年になって提唱された高次トポロジカル絶縁体は、さらに低次元の境界にロバストな状態が発現するので、弾性波系に模擬することで3次元空間に集積させることが可能となる。我々はこれまでにカゴメ格子を垂直方向に積層させることで、層間を伝搬するヒンジモードを有する3次元フォニック結晶の設計・作製を報告してきた [2]。今回、カゴメ格子をらせん状に積層させることでヒンジモードを有する高次ワイルフォニック結晶の設計について報告する。高次ワイル半金属は一对のワイル点を結ぶようにヒンジアーク状態が存在するため [3][4]、特定の波数の弾性波のみを伝播させることができる導波路を設計することができる。

本研究で設計する単位格子の模式図を Fig. 1(b) に示す。六角形の副格子は幅 $w_1 \cdot w_2$ のボンドで面内方向に接続されている。さらに、 $+z$ 方向には自身を 120° 回転させた先の副格子と、 $-z$ 方向には -120° 回転させた先の副格子とそれぞれらせん状に結合している。らせん状のボンドが加わることで k_z によって実効的な w_1 の値を変化させることができる。我々はこの単位格子をタイトバインディング法でモデル化し、数値解析でエネルギーバンド図を求めた (Fig. 1(c))。トポロジーに寄与する2つのモードの周波数が k_z に対してそれぞれ振動しており、赤破線で示した波数においてワイル点が発生している。この単位格子を 6×6 のスーパーセルに拡張してエネルギーバンド図を求めると (Fig. 1(d))、 k_z によってヒンジモードの有無が変化していることがわかる。講演では Fig. 1(b) のような構造について弾性波系での詳細を報告する。

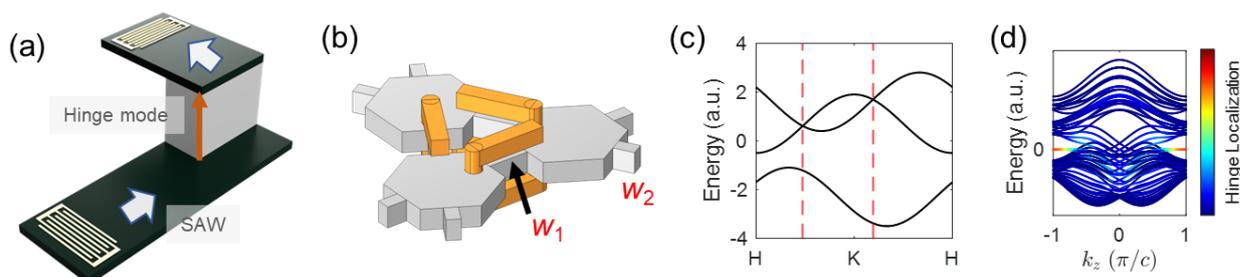


Fig. 1 (a) A schematic of elastic device with waveguide perpendicular to substrate. (b) A unit cell of phononic crystal. Gray and orange region indicate 2-dimensional Kagome phononic crystal and additional spiral bonds, respectively. (c) Energy band diagram of unit cell constructed by tight-binding model. Red dashed lines represent wavenumber where Weyl points appear. (d) Energy band diagram of 6×6 supercell constructed by tight-binding model. Colorbar indicates how much each eigenstate is localized at the hinges.

謝辞：本研究の一部は科学研究費補助金（課題番号 JP21H05020）の支援のもとで実施された。

参考文献：[1] B. Xie *et al.*, *Nature Rev. Phys.* **3**, 520 (2021). [2] Y. Hata *et al.*, 2023 *IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, Montreal, QC, Canada, 2023, pp. 1-3. [3] Q. Wei *et al.*, *Nat. Mater.* **20**, 812-817 (2021). [4] L. Luo *et al.*, *Nat. Mater.* **20**, 794-799 (2021).

金属ナノ構造装荷による軌道角運動量光導波路の形成

OAM optical waveguides created by loading metal nanostructures

¹東工大理, ²NTT NPC, ³NTT 物性基礎研 [○]来馬 龍治^{1,3}, 滝口 雅人^{2,3}, Heidt Peter³, 森竹 勇斗¹,
納富 雅也^{1,2,3}

¹Tokyo Tech, ²NTT NPC, ³NTT BRL, [○]Ryuji Kuruma¹, Masato Takiguchi^{2,3}, Peter Heidt³, Yuto Moritake¹
and Masaya Notomi^{1,2,3}

E-mail: kuruma.r.ab@m.titech.ac.jp

螺旋状の波面を有する光渦は、軌道角運動量(OAM)を持ち光軸付近には位相の特異点を持ち、光渦の光学特性を用いて、近年ナノ物質の回転制御、大容量情報通信などへの応用研究が進んでいる。従来の光渦発生法は、ホログラム、螺旋位相板などサイズの大きい素子が必要であった。最近、チップデバイスへの応用のため、メタサーフェス^[1]やリング共振器^[2]を用いた数 $10\mu\text{m}$ サイズのデバイスが実現されているが、サブミクロンサイズのデバイスは未だ実現されていない。我々は前回、GaN 多角形中空ナノワイヤ構造^[3]に金属ナノピラーを近接させて、鏡映対称性を壊す複素変調を加えることで、OAM を持つモードを生成できることを示した^[4]が、今回この原理を導波路に適用し、集積光技術で作製可能な矩形導波路構造で解析を行った。その結果、矩形導波路構造でも OAM を持つモードを形成できることがわかったので報告する。

本研究では有限要素法の導波モード計算を用いて、1 辺がサブミクロンサイズの正方形 Si 導波路に金属(Au,Ti,Cr)ワイヤを近接させ、OAM を持つモードを探索した。(fig.1(a))その結果、正方形の鏡映対称性を壊す場所にワイヤを配置したときに大きな OAM を持つモードを発見した。さらに、1つの金属ワイヤの位置と大きさを製作可能な条件のもとで金属ワイヤの大きさと位置、波長(1250~1550nm)を最適化した結果、Si 導波路と Cr ワイヤの系で fig.1(b)のような OAM モードの生成に成功した。(波長:1460nm,有効屈折率:2.71-5.40 $\times 10^{-2}$ i,伝播損失:-1.01 $\times 10^3$ [dB/mm])続いて、導波路の形状を矩形にし、矩形の横幅も最適化した結果、fig.2 のような OAM が大きく、伝播損失の小さい解が得られた。(波長:1330nm,有効屈折率:3.14-2.76 $\times 10^{-4}$ i,伝播損失:-5.67[dB/mm])さらに、各モードの縦波成分(Ez)と横波成分(Ex,Ey)を比較すると、横波成分の OAM スペクトルのピーク次数と縦波のピーク次数が絶対値 1 だけ異なることもわかってきた。

この構造は、サブ波長径のナノワイヤ内の導波モードそのものが軌道角運動量を持つようになるため、従来の OAM デバイスよりサイズが小型化でき、異なる応用も期待できる。講演では、具体的な構造と最適化手法、OAM を持った各モードの特徴を紹介するとともに、OAM 発生の物理機構についても触れる。本研究は、科学研究費補助金 (20H05641,24K01377,JP24H02232) の援助の下に行われた。

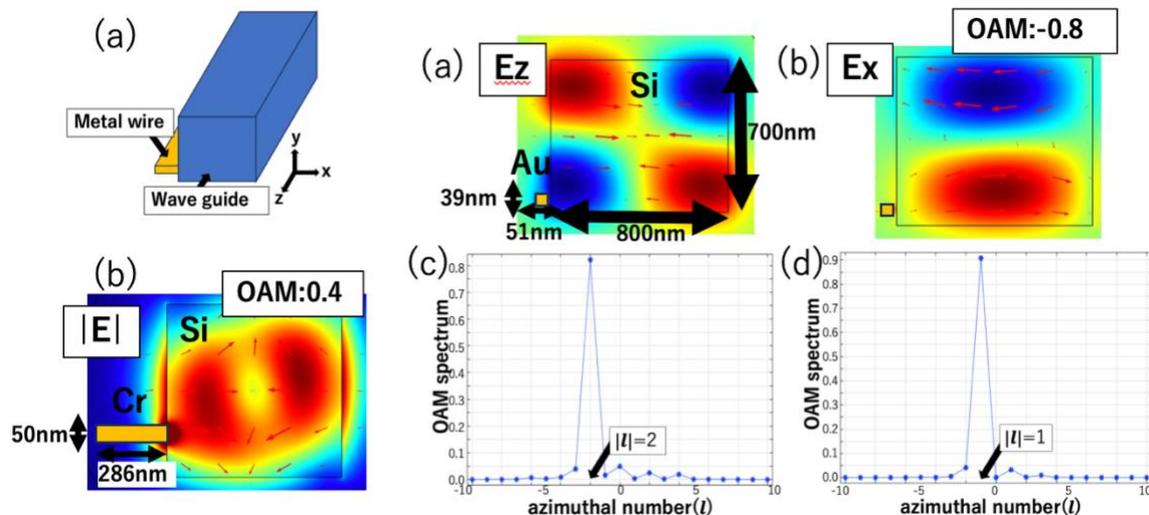


fig.1(a) Simple figure

(b) Electric field(|E|)

fig.2 (a) Electric field(Ez)

(b) Electric field(Ex)

(c) OAM spectrum(Ez) (d) OAM spectrum(Ex)

[1] Yu, N *et al.*, *Science* **334**, 333-337 (2011). [2] Cai, X *et al.*, *Science* **338**, 363-366 (2012). [3] Takiguchi, *ACS Photonics* 2024, 11, 2, 789-794. [4] Kuruma, R., *応物春* 23a-11E-1~9 (2024)

イットリウム鉄ガーネットを母材とした H1 型フォトニック結晶ナノ共振器の作製

Fabrication of H1-type photonic crystal nanocavities based on yttrium iron garnet

慶應理工¹, 東大先端研² ◯(M2) 谷口公太¹, 北井達也¹, 山家 健¹, 高 思源¹, 岩本 敏², 太田 泰友¹

Keio Univ., Japan¹, RCAST, the Univ. of Tokyo, Japan²,

◯Kota Taniguchi¹, Tatsuya Kitai¹, Takeru Yambe¹, Gao Siyuan¹, Satoshi Iwamoto², Yasutomo Ota¹

E-mail: kota-t10@keio.jp

はじめに イットリウム鉄ガーネット(YIG)系単結晶は、室温・光通信波長帯における最も優れた透明磁気光学材料の一つである^[1]。YIG を母材とした C_{6v} 対称性を有する H1 型フォトニック結晶ナノ共振器 (PCNs) を形成し、その二重縮退モードを活用することで極小光サーキュレータ^[2]などの非相反ナノ光素子が実現できると期待される。しかし、YIG は難加工性であり PCN などの高度な微小光構造^[3]の作製は極めて難しいことが知られている。前回我々は、 SiO_2 上に準備した単結晶 YIG 薄膜に対して微細加工を行い、L5 型 YIG-PCN 構造の作製に成功し報告した^[4]。今回、同技術を発展させ、空孔半径変調を導入した H1 型 PCNs の作製に成功したので報告する。

結果 本研究で検討したデバイス構造を図 1(a)に示す。本構造は点欠陥を有する三角格子円孔フォトニック結晶を基礎とした H1 型 PCNs である。 C_{6v} 対称性を保持しながら欠陥部分に近接した空孔の半径と位置の最適化を行った。3次元有限差分時間領域法を用いた数値解析の結果、屈折率 $n_{\text{Bi:YIG}}=2.37$, 格子定数 $a=598$ nm, 空孔半径 $r_0=0.29a$, スラブ厚 $t=300$ nm, $s_1=0.21a$, $r_1=0.23a$, $s_2=0.05a$, のとき、波長 1550 nm の双極子モードで $Q=2.3 \times 10^4$, モード体積 $V=0.87(\lambda/n)^3$ が得られた。次に、当研

究室が独自に開発した SiO_2 上に形成した単結晶 YIG 薄膜に対して電子線リソグラフィとドライエッチングを行い、設計した共振器構造の作製を行った。その後、フッ酸を用いたウェットエッチングによって SiO_2 層を除去し、エアブリッジ型 PCN を作製した。作製した共振器の走査電子顕微鏡像を図 1(b)に示す。三角格子円孔フォトニック結晶 (格子定数 590 nm、円孔直径 282 nm) を基礎とした H1 型共振器が形成できている。また、空孔半径の変調も確認できる。同構造は光通信波長帯において高 Q 値光共振を示すと期待される。その他の実験結果の詳細や光学評価の結果については当日報告する。

参考文献 [1] K. Srinivasan et al., Opt. Mater. Express, 12, 697 (2022). [2] Z. Wang et al., Opt. Lett, 30, 15 (2005). [3] D. O. Ignatyeva et al., Nat. Commun., 11, 5487 (2020). [4] 谷口公太, 太田泰友他, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会 24p-11F-12 (2024). **謝辞** 実験に協力、助言頂いた石田悟己氏、大槻秀夫氏、松清秀次氏に感謝する。本研究の一部は JST FOREST (JPMJFR213F), JST CREST (JPMJCR19T1)、科研費(22H00298, 22H01994, 22K18989)、日本板硝子財団、池谷科学技術振興財団の支援の下遂行された。

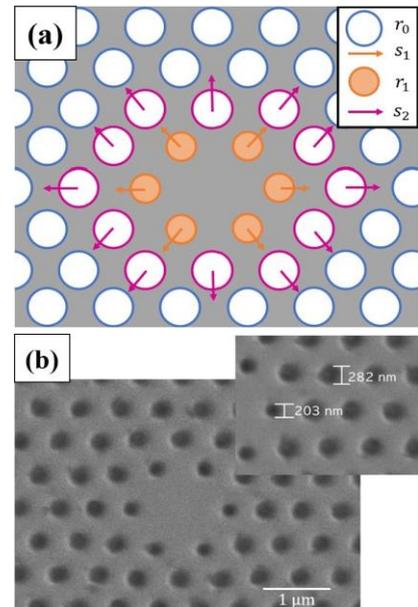


Fig.1 (a) Cavity design and parameters. The arrows indicate the directions of the shifts. (b) Scanning electron microscope image of the YIG based H1-type PCNs.

イットリウム鉄ガーネットに基づく 磁気光学マイクロディスク共振器の作製と評価

Fabrication and characterization of magneto-optical microdisk resonators
based on yttrium iron garnet

慶應理工¹, 東大先端研² ◯山家 健¹, 北井 達也¹, 谷口 公太¹, 高 思源¹,
今村 陸¹, 熊崎 基¹, 藤井 瞬¹, 田邊 孝純¹, 岩本 敏², 太田 泰友¹

Keio Univ., Japan¹, RCAST, the Univ. of Tokyo, Japan²,

◯Takeru Yambe¹, Tatsuya Kitai¹, Kota Taniguchi¹, Siyuan Gao¹, Riku Imamura¹, Hajime Kumazaki¹,
Shun Fujii¹, Takasumi Tanabe¹, Satoshi Iwamoto², Yasutomo Ota¹

E-mail: yantake-pen2@keio.jp, ota@appi.keio.ac.jp

はじめに イットリウム鉄ガーネット(YIG)系単結晶は室温・通信波長帯において高い透明性と比較的大きな磁気光学(MO)効果を示す稀有な光学材料^[1]である。これまで YIG を用いた微小球光共振器^[2]や Fabry-Pérot 型光共振器^[3]が作製され MO 効果増大が報告されてきた。しかし、前者は mm スケールでサイズが大きいという課題がある。後者は屈折率差が小さい GGG 基板上で作製されている上高 Q 値化には至っていない。今回我々は、SiO₂ 上に YIG 単結晶薄膜を形成し、これを微細加工することで高 Q 値 YIG マイクロディスク光共振器の作製に成功したので報告する。

実験結果 YIG マイクロディスク共振器の作製プロセスを図 1(a)に示す。まず熱酸化膜付きシリコン基板と YIG 単結晶基板を常温プラズマ親水化接合によって融着した。その後複数の研磨盤を用いた機械研磨と化学機械研磨によって YIG 層を 300 nm 程度まで薄膜化した。次に電子線リソグラフィとドライエッチング^[4]によって YIG を加工した。さらに HF 処理を行いエッジ部分を中空化した YIG マイクロディスク共振器を作製した。加工後の SEM 像を図 1(b)に示す。ディスクの直径は約 104 μm、側壁角度はおおよそ 70°だった。作製素子に対し Dimpled tapered fiber を用いた透過率測定により光学評価を行ったところ図 1(c)に示す光共振ピークを観測した。得られた波形から Q 値は 2.1×10^4 と見積もられた。その他詳細は当日報告する。

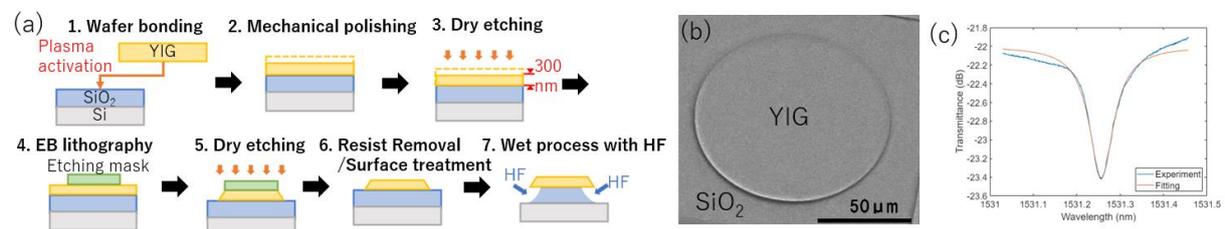


Fig.1 (a) Fabrication process of a YIG microdisk resonator. (b) SEM image of a fabricated YIG microdisk. (c) Measured cavity resonance peak exhibiting $Q \approx 2.1 \times 10^4$.

参考文献 [1] K. Srinivasan *et al.*, Opt. Mater. Express, **12**, 697 (2022). [2] X. Zhang *et al.*, Phys. Rev. Lett., **117**, 123605 (2016). [3] H. Qin *et al.*, Nat. Commun., **12**, 2293 (2021). [4] 北井他, 応用物理学会秋, [22a-A401-1] **謝辞** 実験に協力、助言頂いた石田悟己氏、大槻秀夫氏、松清秀次氏に感謝する。本研究の一部は JST FOREST (JPMJFR213F), JST CREST (JPMJCR19T1)、科研費(22H00298, 22H01994, 22K18989)、日本板硝子財団、池谷科学技術振興財団の支援の下遂行された。

Optical Rectenna Based on a Hollow Resonator for Mid-Infrared Energy Harvesting

東北大院工, °Liu Zhen、岡祐志、清水信、湯上浩雄

Tohoku Univ., °Zhen Liu, Yuji Oka, Makoto Shimizu, Hiroo Yugami

E-mail: liu.zhen.a3@tohoku.ac.jp

Rectenna devices, short for rectifying antennas, incorporate an antenna-coupled rectifying diode that absorbs incident light and directly converts it into direct current (DC) by rectifying electromagnetic waves at optical frequencies. Their broad wavelength adaptability makes them promise for efficient energy conversion in solar energy, waste-heat utilization, and industry thermal radiation. Recently, optical rectennas have been extensively studied to achieve effective photoelectric conversion for solar and thermal radiation to design the practical devices. The metal-insulator-metal (MIM) diode which based on the quantum tunneling transport mechanism of electron is a strong candidate to realize such high frequency rectification.

Several strategies are studied to harvest the light energy using the designed optical antenna coupled with MIM diodes. For instance, a bow-tie antenna was proposed to form the plasmonic nanogap which coupled with the MIM diode for middle infrared radiation rectification [1]. A stripe antenna coupled with the longitudinal optical phonon mode was studied to overcome the challenge that precise alignment during the fabrication which enable to form a highly reliable tunnel layer [2]. However, these designs require the unique intrinsic properties of materials or fabrication technique. resulting in limitation of operation wavelength. Our group reported an optical rectenna device design based on a hollow resonator which coupled with a layered MIM tunnel diode [3]. This device demonstrated the controllability of photoelectric conversion within the visible optical range. Due to the flexible adaptability of the hollow resonator to various wavelengths, it provides a strategy for energy harvesting for middle infrared (MIR) radiation from low-temperature thermal sources.

In this study, an optical rectenna with a depth of several micrometers hollow resonators was studied. The heavily doped silicon with high reflectivity in MIR was used for forming deep depth easily and couple with MIM diodes to enable energy harvesting in infrared thermal radiation. The microscopy images of the proposed optical rectenna and SEM images of hollow resonator are shown in Fig. 1(a) and (b). The continuous wave quantum cascade laser (QCL) with wavelength $6.13 \mu\text{m}$ was used to evaluate the power generation property. The short-circuit current and open-circuit voltage were measured using a source measuring unit, and the results of the fabricated rectenna with slit hollow resonators are shown in Fig. 1(c). A clear power generation characteristic with a short-circuit current of $I_{sc}=4.8 \text{ A/m}^2$ and an open-circuit voltage of $V_{oc}=3.7 \mu\text{V}$ was observed under $6.13 \mu\text{m}$ light illumination, which demonstrated the effectiveness of the hollow resonators to realize the energy harvesting from MIR light.

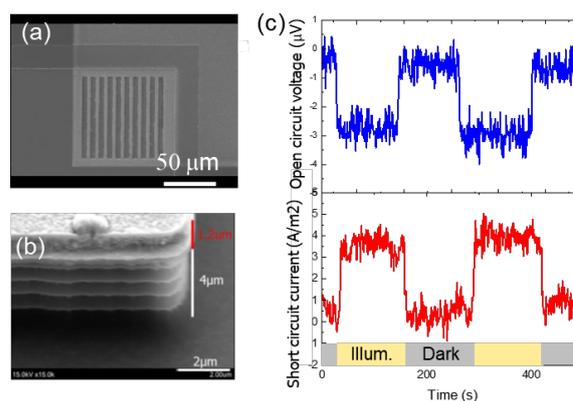


Fig. 1. (a),(b) The structural features of proposed optical rectenna. (b) Power generation test with QCL at $6.13 \mu\text{m}$.

References [1] F. Yasilkoy et al., *Microelectron. Eng.*, 98 (2012). [2] P. S. Davids et al., *Science.*, 367 (2020). [3] D. Matsuura et al., *Appl. Phys. Express*, 15 (2022).

光ヘテロダイン光熱変位法によるマイクロピラーとホールの熱物性評価

Evaluation of Thermophysical Properties of Micro Pillars and Holes

by Laser Heterodyne Photothermal Displacement Method

宮崎大工¹, 物材機構², [○]岩切 孝洋¹, 原田 知季¹, 石井 智², 碓 哲雄¹, 福山 敦彦¹Univ. of Miyazaki¹, NIMS², Takahiro Iwakiri^{○1}, Tomoki Harada¹, Satoshi Ishii²,Tetsuo Ikari¹, Atsuhiko Fukuyama¹

E-mail: hk19006@student.miyazaki-u.ac.jp

1. はじめに

光熱変換効率の高い微細構造を作製することは、太陽熱蒸留や光学的 PCR 検査に大きく貢献する。光熱変換による温度上昇はその物質の光吸収率と熱伝導率に依存する。これまでの研究では微細構造を用いて光を最大限吸収することが注目されていたが、光熱変換効率を高めるには、小さい熱伝導率を実現することも重要である。本研究では、光吸収率と熱伝導率を同時に制御しうる微細構造を作製し^[1]、光ヘテロダイン光熱変位(LH-PD)法^[2]を用いてその構造が光熱変換に与える影響を明らかにする。

2. 試料詳細と実験方法

本研究では、Si 基板上にマイクロメートルオーダーの穴(hole array: 以下、hole)や柱(pillar array: 以下、pillar)を持つ微細構造を、周期や高さを変化させて作製した。その形状を図1の挿入図に示す。今回は、周期が 1.0 μm 、高さが 3.6 μm の試料の熱物性を評価した。

LH-PD 法は、励起光照射によって生じたキャリアの非発光再結合による試料表面の熱膨張変位をヘテロダイン干渉計で測定する手法である。本手法では励起光と検出光の照射位置を個別に設定できるため、熱物性の面内変化を評価できる。更に LH-PD 法では熱膨張変位の時間変化を測定可能であり、信号発生に含まれる光吸収係数や熱拡散率を調べることができる。励起光を pillar や hole の中心に、検出光は

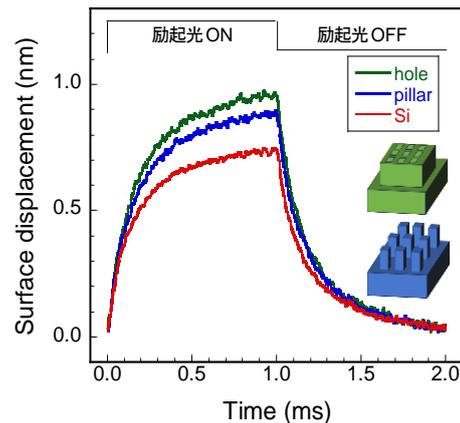


Fig. 1 Time variation of the surface displacement for hole, pillar and Si.

それらが形成された領域のすぐ外側にある Si 基板に照射した。測定は室温で行った。

3. 実験結果と考察

Fig.1 に hole と pillar と Si 基板の変位量の時間変化を示す。Si 基板より pillar や hole の方が、変位量の最大値が大きいことから hole や pillar により光を熱に変換する効率が高いことがわかる。また、hole よりも pillar の方が変位量の最大値は小さくなった。これは hole より pillar の方が実効的熱伝導率が小さいため、下部の Si 基板が加熱されにくくなったと考えられる。さらに、pillar や hole の高さを変化させた実験では、高さが約 24 倍になると、変位量の最大値が約 1.15 倍大きくなる結果となった。これは、高さが高いほど pillar や hole での光熱変換効率が高くなったと考えられ、今後定量的な議論を行う。

[1] S. Ishii *et al.*, *Applied Materials Today*, **32**, 101824 (2023).[2] T. Harada *et al.*, *J. Appl. Phys.* **131**,195701 (2022).

銀ナノ粒子電極を装着した熱電変換素子の特性評価

Performance of Thermoelectric Device loaded with Ag Nanoparticle Electrode

東京農工大, °(M2)爲廣英純, 久保若奈

Tokyo Univ. of Agri. Technol. (TUAT), (M2)°Hidezumi Tamehiro, Wakana Kubo

E-mail: w-kubo@cc.tuat.ac.jp

熱電変換は熱電素子上の温度勾配を起電力に変換するゼーベック効果に基づく。そのため、素子上の温度勾配が消失する均一な熱輻射環境下では発電しない。これに対し我々は、熱輻射を吸収するメタマテリアル (Metamaterial Absorber: MA)を用いて、従来の熱電変換素子が発電できない均一な熱輻射環境においても熱電発電するメタマテリアル熱電変換を提案, 実現した^[1-3]。これまで我々はメタマテリアル熱電変換の原理検証のために、形状とサイズを統一したメタマテリアル構造を用いてきたが、本素子を実用化するにあたってはより単純なメタマテリアル構造の起用が望ましい。そこで本研究はアニール法によって形成した銀ナノ粒子 (Ag NP)を起用する着想に至った。アニール法で作製したAg NPsは可視光領域でプラズモン吸収を持つ。今回は、Ag NPsのプラズモン共鳴波長と一致する638 nmのレーザー光を照射した際の熱電特性を評価することで、熱電特性に対するAg NPsの効果を議論することにした。

銅電極上にフッ化カルシウム (CaF₂)とAg薄膜をそれぞれ10 nm成膜した。ホットプレートにより400 °C, 5分間加熱し, Ag NPs電極を作製した。作製したAg NPs電極をビスマスアンチモンテルル (Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te₃)熱電変換素子の片側に装着した (Fig.1(a))。作製したAg NP電極の吸収ピークは波長666 nmで, 吸収率は73.7%であった (Fig.1(b))。また他端には銅基板上にCaF₂を10 nmのみ成膜した比較電極を作製し, 装着した。なお波長666 nmにおける比較電極の吸収率は19%であった。波長638 nm, 強度0.12 W/mm²の単色光を電極に照射した際に得た出力電圧を Fig.1 (c)に示す。Ag NPs電極, または比較電極に光照射した際の出力電圧はそれぞれ37.5 uVと21.7 uVで, Ag NPs電極は比較電極より1.7倍高い出力電圧を示した。この結果は, Ag NPsのプラズモン励起により生じたプラズモン局所熱が熱電変換素子一端に伝搬し, 熱電変換特性が向上したことを示す。単色光照射下におけるAg NPsプラズモン励起によって熱電特性の向上が可能であることを確認した。

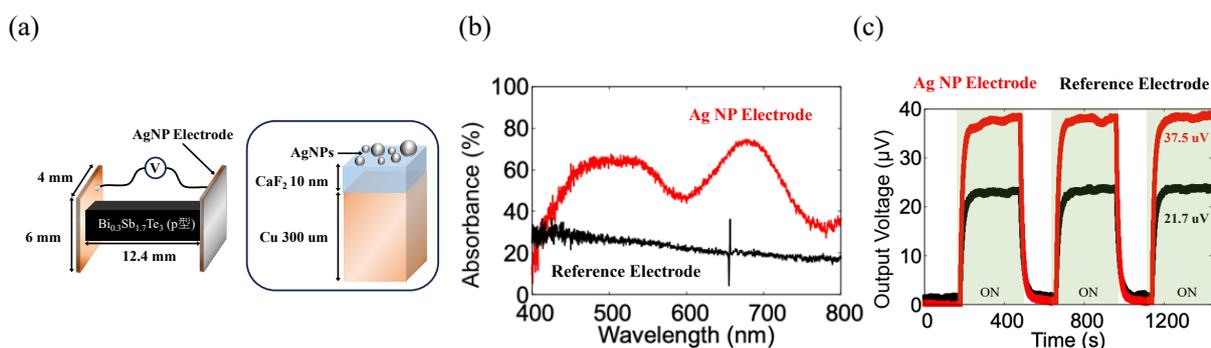


Fig. 1 (a) Schematic of thermoelectric device loaded with the Ag NPs electrode and an enlarged cross-sectional image of the Ag NP electrode. (b) Measured absorption spectra of the Ag NPs (red) and control (black) electrodes. (c) Time dependence of the output voltages generated on the thermoelectric device with/without Ag NP electrode.

[1] S. Katsumata, T. Tanaka, and W. Kubo, Optics Express, 29, 16396 (2021).

[2] N. Kawamura, T. Tanaka, and W. Kubo, ACS Photonics, 11, 1331 (2024).

[3] R. Nakayama, S. Saito, T. Tanaka, and W. Kubo, Nanophotonics, 13, 1361 (2024).

謝辞 Bi_{0.3}Sb_{1.7}Te₃素子をご提供いただきました(株)豊島製作所に感謝申し上げます。

磁気光学薄膜上における BIC モードスローライト導波路の検討 II

Investigation of BIC slow light waveguides on a magneto-optical thin film II

慶應理工¹, 東工大², 東大先端研³

°(M2)谷村優太¹, 石井佑樹¹, 上村高広², 岩本敏³, 太田泰友¹

¹Keio Univ., ²Tokyo Tech., ³RCAST, the Univ. of Tokyo,

°Y. Tanimura¹, Y. Ishii¹, T. Uemura², S. Iwamoto³, and Y. Ota¹

E-mail: y.t.tanimura@keio.jp, ota@appi.keio.ac.jp

はじめに イットリウム鉄ガーネット(YIG)系単結晶は、光通信波長帯における優れた透明磁気光学材料である。しかし、その高品質な微細加工は難しくナノフォトニクスへの応用はこれまで限定的であった。近年、同じく難加工性材料であるニオブ酸リチウムの薄膜上に電子線レジストによる細線構造を装荷し、BIC(Bound states In the Continuum)状態を活用した低損失な TM モード光導波路が報告された[1]。しかし、同構造を基礎としたより高度な光学構造は検討されてこなかった。前回我々は、YIG 薄膜上に形成した BIC モード導波路に周期円孔に基づく 1 次元フォトニック結晶を導入した構造を検討し、スローライト状態形成に必要なバンドギャップ ($\Delta f = 0.88$ THz) が得られることを見出した[2]。一方、ギャップ近傍の伝搬損失は8 dB/cm程度と大きかった。今回、より低損失な BIC スローライト導波路構造を電磁界計算により見出したので報告する。

結果 検討構造を Fig. 1(a)に示す。SiO₂上に設置された YIG 薄膜 (膜厚300 nm) の上に余弦波変調された電子線レジストが装荷されている。余弦波変調の格子定数を $a = 0.45$ μm 、振幅を Δw とし、レジスト幅 $w = 1.62$ μm の導波路構造に対して X 点における固有周波数解析を行った。 $\Delta w/w$ と伝搬損失及びバンドギャップの

大きさ Δf の関係をそれぞれ計算によって求めた (Fig. 1(b), (c))。 $\Delta w/w = 0.45$ において小さな伝搬損失 0.45 dB/cm と大きなバンドギャップ $\Delta f = 2.2$ THz が得られた。このとき、TE-TM 変換の抑制と強い空間光閉じ込めが見られ (Fig. 1(d))、BIC 状態の形成が確認できる。スローライト帯域や群速度と導波損失の関係など、計算結果の詳細については当日報告する。

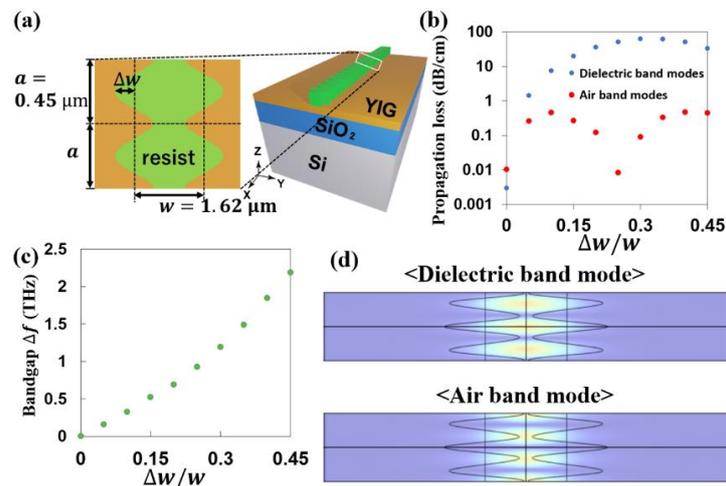


Figure.1 (a) Schematic of the investigated BIC slow light waveguide. (b) Computed propagation losses and (c) bandgaps as a function of $\Delta w/w$. (d) Field profiles of the guided modes designed with $\Delta w/w = 0.45$.

参考文献 [1] Z. Yu *et al.*, *Optica* **6**, 1342 (2019). [2] 谷村他, 応物秋季講演会, 23p-A309-8 (2023).

謝辞 ご助言頂いた東北大小澤知己教授に感謝する。本研究は JST 創発的研究支援事業 JPMJFR213F により遂行された。