

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

📅 Sat. Sep 23, 2023 1:15 PM - 4:00 PM JST | Sat. Sep 23, 2023 4:15 AM - 7:00 AM UTC | 🏠 A309 (KJ Hall)

[23p-A309-1~10] CS.4 Code-sharing Session of 3.10 & 3.11

Tomohiro Amemiya(Tokyo Tech), Yuto Moritake(Tokyo Inst. Tech.)

1:15 PM - 1:30 PM JST | 4:15 AM - 4:30 AM UTC

[23p-A309-1] Radiation cooling packaging materials using metamaterial technology

○Tomohiro Amemiya¹, Sho Okada¹, Nobuhiko Nishiyama¹, Kensuke Otsuka², Tatsuhiko Urakami²
(1.Tokyo Tech, 2.MITSUI CHEMICALS)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[23p-A309-2] Construction of sub-cooling of vapor compression refrigeration cycle by using radiative sky cooling materials

○Ryosuke Osugi^{1,2}, Tsutomu Wakabayashi¹, Tomoya Kosaka², Masayuki Sugimoto¹, Masahiro Suemitsu^{1,2} (1.Osaka Gas, 2.SPACECOOL)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[23p-A309-3] Metamaterial Cooling inside Sealed Container

○Naoya Kawamura¹, Wakana Kubo¹ (1.Tokyo Univ. of Agri. and Tech.)

◆ English Presentation

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[23p-A309-4] Design of Optical Cavities to Enhance Photon Transport Efficiency in Thermophotovoltaic Systems

○Haolin Wang¹, Makoto Shimizu¹, Hiroo Yugami¹ (1.Tohoku Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[23p-A309-5] Investigation of a diamond chiral photonic waveguide

○Kosuke Takada¹, Ryota Katsumi¹, Takashi Yatsui¹ (1.TUT)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[23p-A309-6] Design of Hybrid Si-Bi:YIG Metasurfaces Exhibiting Giant Faraday Rotation

○Siyuan Gao^{1,2}, Yasutomo Ota³, Tianji Liu⁴, Feng Tian¹, Iwamoto Satoshi^{1,2} (1.RCAST, Univ. Tokyo, 2.IIS, Univ. Tokyo, 3.Keio Univ., 4.CIOMP, CAS)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[23p-A309-7] Control of reflectance by utilizing quadrupole resonances and photothermal effect in ellipsoidal silicon metasurface

○Seiya Shinkai¹, Junichi Takahara^{1,2} (1.Grad. School of Eng., Osaka Univ, 2.Photonics Ctr., Osaka Univ)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[23p-A309-8] Investigation of slow light waveguides based on bound states in the continuum on a magneto-optical thin film.

○(M1)Yuta Tanimura¹, Yuta Narazaki¹, Tatsuya Kitai¹, Siyuan Gao², Satoshi Iwamoto², Yasutomo Ota¹
(1.Keio Univ., 2.Rcast the Univ. of Tokyo)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[23p-A309-9] Photothermal Effect of Spherical Silicon Nanoparticles with Mie resonance

○Kana Kondo¹, Hiroshi Sugimoto¹, Minoru Fujii¹ (1.Kobe Univ.)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[23p-A309-10] Proposal and Analysis of Surface-Normal Polarization-Independent Plasmonic Modulator

○Seidai Karakida¹, Hiroki Miyano¹, Koto Ariu¹, Yoshiaki Nakano¹, Takuo Tanemura¹ (1.The Univ. of Tokyo)

メタマテリアル技術を用いた放射冷却パッケージ材

Radiation cooling packaging materials using metamaterial technology

雨宮 智宏^{1*}, 岡田 祥¹, 西山 伸彦¹, 大塚 健祐², 浦上 達宣²

¹T. Amemiya^{1*}, S. Okada¹, N. Nishiyama¹, K. Otsuka², T. Urakami²

東京工業大学 工学院電気電子系¹

三井化学株式会社 ICT ソリューション研究センター²

¹Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology, ²MITSUI CHEMICALS, INC.

*E-mail: amemiya.t.ab@m.titech.ac.jp

1. はじめに

放射冷却メタマテリアルは、電磁波放射を大気による吸収の影響が小さい波長帯(大気の窓: $8\text{ }\mu\text{m}$ - $13\text{ }\mu\text{m}$)に集約することで、対象物がもつ熱を効率よく放出させ表面温度を下げる効果を与える。現在までに、屋外耐候性をもつ放射冷却シートや放射冷却ソーラパネルなどが実現されている[1, 2]。そのような中、当研究グループでは、透明樹脂ワニスに上記技術を適用することで、放射冷却パッケージ材を開発したので、その報告を行う。

2. 放射冷却パッケージ材の解析・特性評価

放射冷却現象を促進するためには、対象物の放射面での分光特性を制御することが重要となる。このとき放射面を覆うパッケージ材の条件としては、「大気の窓でのみ放射率が極めて高く、その他の波長領域で反射率が高い」という性質を有することが理想的である。

以上の点から、本研究で提案するパッケージ材の構成を Fig. 1 に示す。まず、マトリクスには、可視域で透明であり、大気の窓付近の赤外帯域で大きな吸収を示す高分子材料を用いた。またゲスト材料として、同じく可視域で透明であり、大気の窓付近で強い共振が起きるように形状を制御した TiO_2 ナノ粒子を導入した。

Fig. 2 に、電磁界解析により求めたパッケージ材の透過特性の波長依存性を示す。粒子径 ϕ が $2.5\text{ }\mu\text{m}$ のとき、 35 THz 近傍で強い共振が生じ、吸収率(すなわち放射率)が増大した。 ϕ が増加するにつれて、共振波長が低周波側へシフトしていき、 ϕ が $3.1\text{ }\mu\text{m}$ より大きくなると TiO_2 の材料特性から共振時の吸収率に大きな変化は見られなくなった。以上の結果より、大気の窓付近で強い共振が起きよう、 TiO_2 ナノ粒子のサイズは $2.5 < \phi < 3.1$ の範囲が適当であることが分かった。

分散粒径が上記範囲に重なっている大粒径 TiO_2 (一次粒子径 $1\text{ }\mu\text{m}$) を用いて高分子材料との複合材料を作り、それを対象物(KBr 基板)に塗布することで、対象物表面の温度変化を測定した。実験ではソーラシミュレータにより、一定間隔(3 min)で照射と非照射を繰り返し、表面温度の時間変化を赤外線サーモグラフィにより観測した。Fig. 3 に結果を示す。これにより、照射時・非照射時ともに、パッケージ材の放射冷却効果が得られていることが明らかとなった。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費(22H01520), JST CREST

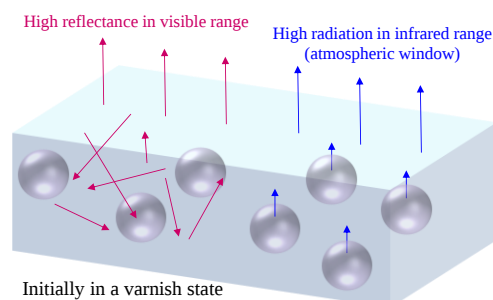


Fig. 1. Schematic image of the packaging materials that promote radiation cooling.

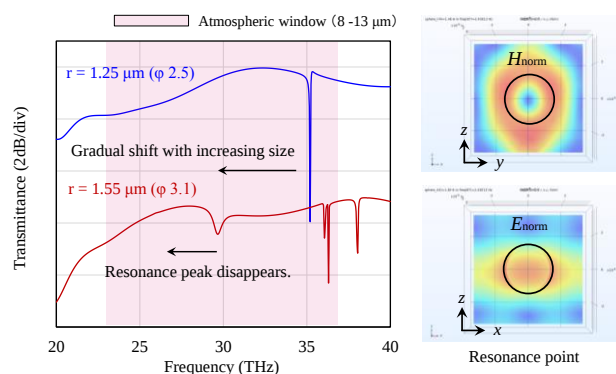


Fig. 2. Calculated wavelength dependence of transmission characteristics of packaging materials.

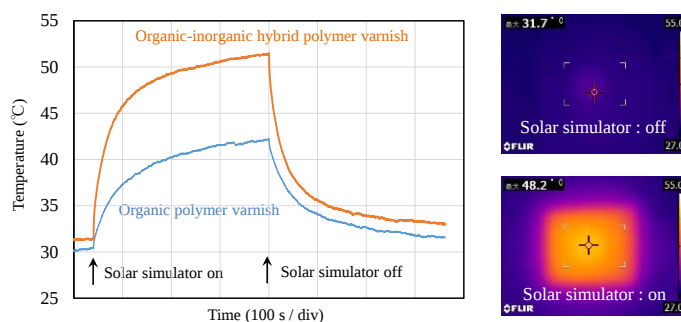


Fig. 3. Measured time variation of surface temperature of KBr substrate coated with packaging materials.

(JPMJCR18T4), JST ASTEP (JPMJTR22RG)の援助により行われた。

参考文献

- [1] Y. Zhai et al. "Scalable-manufactured randomized glass-polymer hybrid metamaterial for daytime radiative cooling." *Science* **355**, 1062-1066 (2017).
- [2] T. Li et al. "A radiative cooling structural material." *Science* **364**, 760-763 (2019).

放射冷却素材を用いて過冷却度を増大させた蒸気圧縮冷凍サイクルの構築 Construction of sub-cooling of vapor compression refrigeration cycle by using radiative sky cooling materials

○大杉亮輔^{1,2†}, 若林努¹, 甲坂朋也², 杉本雅行¹, 末光真大^{1,2‡}
大阪ガス¹, SPACECOOL²

Osaka Gas, SPACECOOL, ○R. Osugi^{1,2†}, T. Wakabayashi¹, T. Kosaka², M. Sugimoto¹, M. Suemitsu^{1,2‡}
E-mail: [†]r-oosugi@osakagas.co.jp, [‡]m-suemitsu@osakagas.co.jp

【序】放射冷却現象によって直射日光下においても夜間同様、周囲より受動的に温度低下する素材(放射冷却素材)は、脱炭素社会実現の一助として期待されており、近年研究が盛んに行われている^[1-4]。我々はこれまで放射冷却素材を実現^[2]するとともに、放射冷却パネルを用いた蒸気圧縮冷凍サイクルの冷媒過冷却度の向上による冷却効率(COP_c)の改善について理論検討を行ってきた^[4]。蒸気圧縮冷凍サイクルの圧力-比エンタルピー線図を Fig.1 に示す。本サイクルでは冷媒を蒸発器で蒸発(4→1)させた際の蒸発潜熱を冷却に利用しており、Fig.1 赤点線のように凝縮後の冷媒温度を飽和液温度(3)より更に低温(3')に冷却する(過冷却度を増大させる)ことで COP_c を向上させられる。前回の検討では、全波長における大気および素材の熱輻射を考慮した熱収支計算を行い、パネル温度(T_{sc})について実測との整合をとり、併せて COP_c の計算を行った。今回は実際に放射冷却パネルを構築しその中に熱媒体として水を流し、熱媒体を放射冷却により冷却する実証試験を実施したので報告する。

【設計・作製】パネルの外観を Fig.2A)に示す。流体の流れる管路が蛇腹状に並列された塩化ビニル製樹脂シート(INTEX 製 Krystal Clear Pool Basics™)を用意し、日射反射率 95%、赤外放射率 95%の粘着剤付の放射冷却素材(SPACECOOL 製フィルム SCF-A25M-ONS)を貼り合わせた。管路の幅は 20mm、管路壁面間の距離は 5mm であり、水が熱交換する有効面積が 88%であるパネルを用いた。裏面に地面や空気からの入熱を抑制する目的で厚さ 40mm の断熱材(スタイロフォーム)を設置し実験を行った。温水器によって温められた水を電動ポンプにて一定流量で流す系を構築した。パネル通過前後の水の温度およびパネル中央の水温を、K 熱電対を用いて測定した。

【実証試験】試験時の外部条件は、外気温 28.2℃、日射強度 0.8 kW/m²、パネル上の空気の風速が 1 m/s であった。1.44m² のパネルに対し、2.0L/min の流量で水を流したところ、44.0℃の水が 42.6℃まで冷却されパネル中央裏面の温度は 41.5℃となった。パネルの表面温度の分布を Fig.2B) に示す。試験と同条件で計算を実施すると、温水から放出される熱エネルギーが 0.31 kW/m² となり、出口温度が 42.5℃と 1.5℃低下することがわかり、おおむね実験と一致することが分かった。パネル面積と水温の関係に関して、実験と理論の比較とあわせ、放射冷却性能と温度の関係など詳細は当日報告する。

【文献】[1] A.P. Raman, *et.al.*, *Nature* **515**, 540 (2014). [2] 末光 *et al.*, 秋応物, 21a-E208-11 (2019). [3] E A. Goldstein, *et.al.*, 17th IRACC, 2293 (2018). [4] 大杉 *et al.*, 春応物, 16a-E502-3(2023).

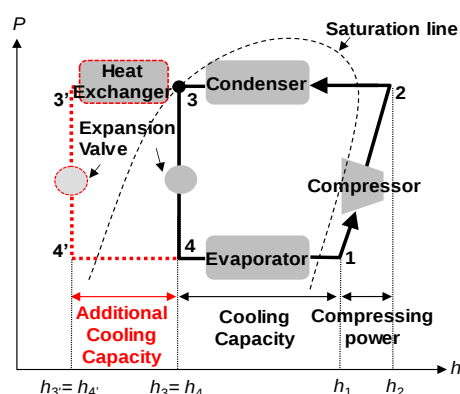


Fig. 1 Pressure-enthalpy chart of a vapor compression refrigeration cycle.

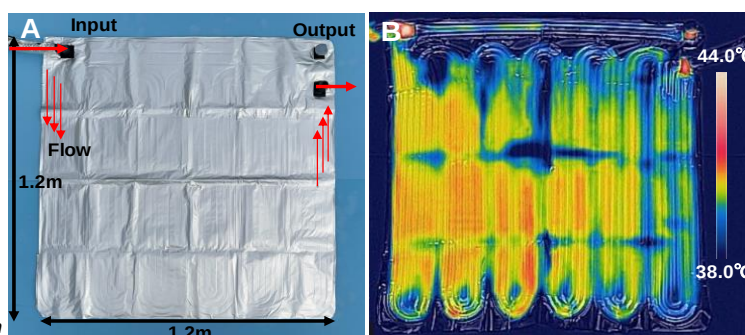


Fig. 2 A) A passive radiative cooling panel, B) thermographic image of the panel.

熱輻射吸収メタマテリアルによる密閉空間内の冷却

Metamaterial Cooling inside Sealed Container

東京農工大, [○](M)川村直矢, 久保若奈Tokyo Univ. of Agri. Technol. (TUAT), [○]Naoya Kawamura, Wakana Kubo,

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

放射冷却は熱放射を通じて高温の物体の温度を低下させる現象である。例えば、屋根や車の温度上昇を抑制できる技術であることから、社会に普及すれば電力消費量の抑制につながると言える。一方、熱を放出する高温の物体と熱を受け取る低温の物体の間に吸収体が存在すると、熱エネルギーの移動が妨げられるため放射冷却は生じない。従って、放射冷却では密閉された空間の温度を低下させることはできない。それに対し我々は、メタマテリアル熱電変換の技術を利用することで、密閉された空間を冷却する技術の着想に至った。

熱輻射吸収メタマテリアル (Metamaterial Absorber: MA)を熱電変換素子の片側の電極上に装着すると、MA は周囲が放出する熱輻射を吸収し、MA 構造内で局所的な熱に変換する。その局所的な熱は銅電極を介して熱電変換素子に伝導伝搬し、電気エネルギーとして回路に接続された抵抗で消費される [1, 2]。従って、密閉された空間内にメタマテリアル熱電変換素子を設置すれば、メタマテリアルは空間内の熱エネルギーを回収し、その熱は熱電変換によって電圧に変換する。回路が密閉空間外に延びていれば、熱エネルギーは回路を伝搬し、空間外へ排出されると推測した。本研究ではこの冷却機構が実現可能であるか実験的に検証した。

n 型熱電変換素子の片面に MA 構造を形成した銅電極 (MA 電極)を、もう片面には MA を形成していない比較電極を装着し、MA 素子とした (Fig. 1(a)). 比較のため、熱電変換素子の両端に比較電極を装着した比較素子も準備した。素子を断熱容器内に設置し、容器内の温度及び出力電圧を測定した。容器内の初期温度を 47.0 °CとしMA 素子と比較素子の温度低下の様子を確認した結果を Fig. 1(b)に示す。

32.5 °Cに到達するまでの平均時間を算出したところ、MA 素子は 4047 秒、比較素子では 4940 秒であった。また、容器内温度が 32.5 °Cに到達するまでの平均熱電出力電圧を調べたところ、MA 素子出力電圧は 12.5 μ V、比較素子は-2.91 μ Vであることを確認した (Fig. 1(c)). MA 素子で 4 回、比較素子で 3 回繰り返し測定したが MA 素子を設置した容器内の温度低下は顕著であった。これらの結果から、MA の熱輻射吸収と熱電変換により、容器内の熱エネルギーが電圧に変換され、外部に延びる回路を伝って熱エネルギーが容器外に放出されたため、メタマテリアル熱電変換によって密閉容器内の冷却が実現したと結論した。

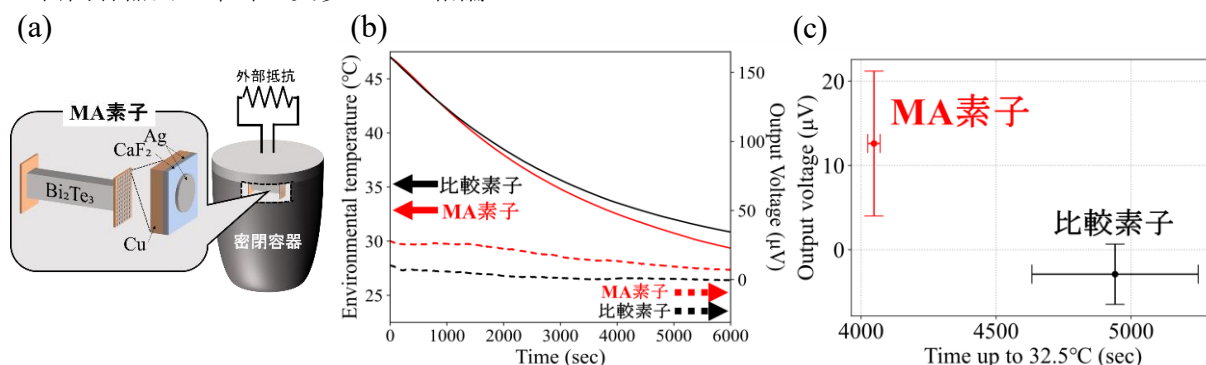


Fig. 1 (a) Schematic of experimental system. (b) Time dependence of temperatures inside the container with thermoelectric devices loaded w/wo MA and their output voltages. (c) Comparison of the time up to 32.5°C and output voltage generated on the devices w/wo MA.

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

[2] T. Asakura, T. Tanaka*, W. Kubo*, *arXiv: Physics*, 2204. 13235 (2022).

謝辞 Bi_{0.3}Te₃+Ru 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。

Design of Optical Cavities to Enhance Photon Transport Efficiency in Thermophotovoltaic Systems

Tohoku Univ.¹, [○]Haolin Wang¹, Makoto Shimizu¹, Hiroo Yugami¹

E-mail: wang.haolin.p2@dc.tohoku.ac.jp

【Introduction】 A thermophotovoltaic (TPV) system is a kind of power-generating system that converts thermal energy into electrical energy via photons. The efficient conversion of heat to photons enables the possibility of achieving an efficiency of over 50%. A typical TPV system comprises a heat source, an emitter, and TPV cells. In practical applications, multiple TPV cells are often arrayed together due to the limitations of a single cell's output voltage and power. However, it's difficult to position the PV cell array too close to the emitter because of configuration constraints and the high temperature of PV cells. In addition, at current, TPV cells are expensive. To reduce costs, it is better to find ways to reduce the cell area. Also, the photon recycling can be achieved by high-reflectance cells proposed recently ^[1] and well confined cavity. Therefore, the design of an optical cavity that enables efficient photon transport from the emitter to the cells, ensuring effective photon recycling in the TPV system, is of crucial importance.

【Method】 The analysis commenced by constructing a model comprising an emitter, an optical cavity, and PV cells. Ray-trace simulations were conducted (TracePro, Lambda Research Corporation). The model incorporated several assumptions: a blackbody emitter, ideal PV cells with a reflectance of zero for in-band and different values for out-of-band to evaluate the different levels of photon recycling, and a constant reflectance for the optical cavity wall. The evaluation focused on four factors: optical efficiency (the ratio of energy absorbed by the PV cells to the energy emitted from the emitter), loss rate (the ratio of energy neither absorbed by the PV cells nor reflected back to the emitter to the energy emitted from the emitter), area ratio (the ratio of the cell area to the emitter area), and system efficiency (the ratio of the maximum output power generated by the PV cells, based on the detailed balance model ^[2], to the net input power).

【Results & Discussion】 In the ideal case with a cavity wall reflectance of 1, three different optical cavity shapes were tested (Fig.(a)). It was found that the optical efficiencies of these shapes were nearly identical, suggesting minimal influence of shape. For area ratios below one, the optical efficiency was proportional to the area ratio, while for ratios above one, the efficiency remained close to one. To explore a more realistic case with non-unit cavity reflectance, various parameters were adjusted. Increasing the cavity reflectance resulted in higher optical efficiency and reduced loss rate. Consequently, a cavity wall reflectance of 0.95 was selected since it should be high and attainable. The optical efficiency and loss rate of the hexagon and cylinder emitter are almost the same, and the cylinder emitter is preferred because it is easier to manufacture (Fig.(b)). The length of the PV cell array was set to a sufficiently long value (normalized length of 20) to ensure that it no longer impacted the optical efficiency and loss rate. Among the tested cavity shapes, the hexagon cavity exhibited the highest optical efficiency and the lowest loss rate, making it the preferred choice.

The system efficiency was assessed for various area ratios and cell out-of-band reflectance (R_{cell}). In the ideal case ($R_{\text{cavity wall}}=1$), the system efficiency remained constant regardless of area ratio, indicating that the cell area could be reduced without compromising system efficiency. However, in the practical scenario ($R_{\text{cavity wall}}=0.95$), a decrease in the area ratio corresponded to a decrease in efficiency. An optimal area ratio of 1 was identified, emphasizing that reducing cell area to save costs would inevitably result in a reduction in system efficiency.

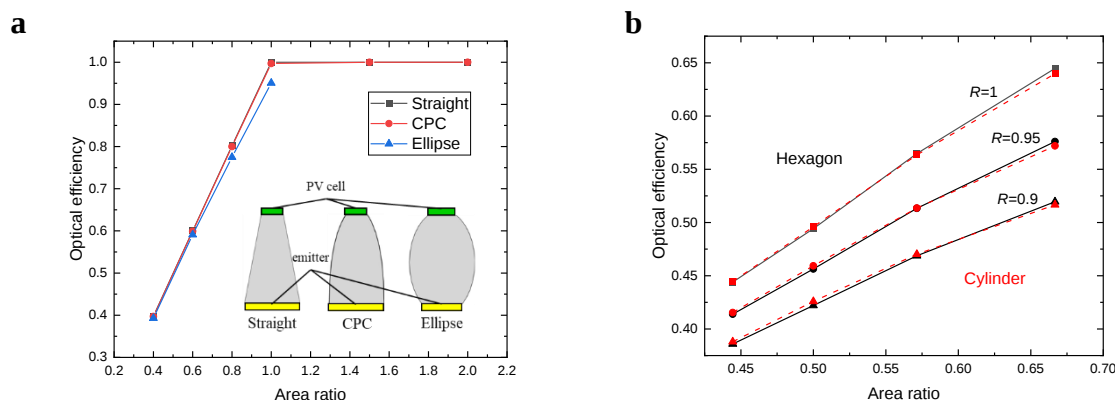


Figure The optical efficiency obtained from ray-trace simulation under varying area ratios for (a) three different optical cavity shapes and (b) different cavity wall reflectance, along with two types of emitter shape.

[1] D. Fan, T. Burger et al., Nature, vol. 586, no. 7828, pp. 237–241, 2020. [2] W. Shockley and H. J. Queisser, Journal of Applied Physics, vol. 32, no. 3, pp. 510–519, 1961.

ダイヤモンドカイラル光導波路構造の検討

Investigation of a diamond chiral photonic waveguide

¹豊橋技科大, [○]高田晃佑¹, 勝見亮太¹, 八井 崇¹

¹TUT, [○]K. Takada¹, R. Katsumi¹, and T. Yatsui¹

E-mail: takada.kosuke.wu@tut.jp

はじめに 単結晶ダイヤモンド中における単一の窒素－空孔 (NV) センタは、量子情報処理や量子センシングといった幅広い量子分野で研究開発が進められている。とりわけ微小領域における高感度な磁場測定に用いられ¹、生化学²や物性物理³などの分野で応用が展開されている。その測定原理は、磁場に応じて変動する NV センタのスピン状態を発光量の大小 (コントラスト) として読み出すものであるが、同物理量は NV センタの特性により決まるため制御が困難であり、計測感度を大きく律速している。そこで我々は、NV センタの状態遷移における円偏光選択則⁴に着目し、放出されるフォトンの円偏光状態に応じて光伝搬方向を制御可能なカイラル導波路⁵を基調とした、コントラストの飛躍的向上が可能なデバイス構造を提案・設計したので報告する。

実験 図 1a のように x 方向に対して非対称な位置に NV センタを配置したカイラル導波路構造を検討した。同構造において、 $\pm z$ 方向への伝搬光強度を $I_{\pm}$ としたとき、NV センタのスピン状態 $|\pm 1\rangle$ に対応した円偏光発光が片側方向へ選択的に結合する ($I_{+} \neq I_{-}$)。一方、スピン状態 $|0\rangle$ に対応した直線偏光発光の場合、両側へ等方的に結合する ($I_{+} = I_{-}$)。よって光出力を $I_{out} = |I_{+} - I_{-}|$ とすれば、直線偏光発光のみ $I_{out} = 0$ となるため、スピン状態間での発光コントラストを 1 にすることが可能になる。計測感度の最適化にあたっては、コントラストに合わせてフォトン利用効率も重要となるため、円偏光発光に対する I_{out} を最大化する必要がある。円偏光発光が最も選択的に結合しつつ導波路が基本モードのみを有するという前提の下、断面における幅 w_{rect} と高さ h_{rect} を変化させながら電磁界解析を実行した。NV センタからの発光量を 1 とした際に図 1b のような I_{out} の分布が得られ、 $w_{rect} = 200$ nm、 $h_{rect} = 120$ nm のときに I_{out} が最大値 19% となった。また同寸法のデバイス内における片側への光伝搬も図 1c のように確認した。その他詳細は当日報告する。

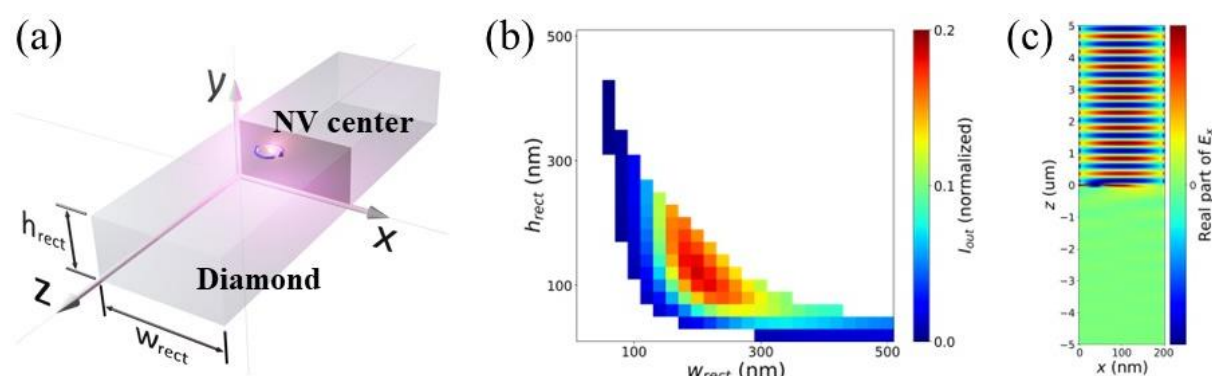


Fig. 1. (a) Geometry of a diamond chiral waveguide. (b) I_{out} vs. w_{rect} and h_{rect} derived from FDTD calculations. (c) Light propagation on the $y = h_{rect}/2$ plane of the optimized chiral waveguide.

参考文献 ¹J. M. Taylor, *et al.*, Nat. Phys. **4**, 810-816 (2008). ²L. T. Hall, *et al.*, PNAS **107**, 44, 18777-18782 (2010). ³E. Lee-Wong, *et al.*, Nano Lett. **20**, 5, 3284-3290 (2020). ⁴J. R. Maze, *et al.*, New J. Phys. **13**, 025025 (2011). ⁵I. Söllner, *et al.*, Nat. Nanotech. **10**, 775-778 (2015).

謝辞 科研費(21K20428、22H01525、22K14289)、東電記念財団、村田学術振興財団、松尾学術振興財団

巨大なファラデー回転を示すハイブリッド Si-Bi:YIG メタサーフェスの設計

Design of Hybrid Si-Bi:YIG Metasurfaces Exhibiting Giant Faraday Rotation

東大先端研¹, 東大生研², 慶應大学³, 中科院長春光機所⁴, °高 思源^{1,2}, 太田泰友³, 刘 天際⁴,
田 豊¹, 岩本 敏^{1,2}; RCAST¹, IIS², Univ. Tokyo, Keio Univ.³, CIOMP, CAS⁴, °S. Gao^{1,2}, Y.
Ota³, T. Liu⁴, F. Tian¹, and S. Iwamoto^{1,2}

Email: gaosy@iis.u-tokyo.ac.jp, ota@appi.keio.ac.jp

The utilization of magneto-optical (MO) effects offers a promising approach for creating nonreciprocal optical instruments, such as Faraday isolators and circulators. Despite this, the MO effect in most bulk materials is low especially within the optical range, posing significant challenges to the miniaturization of MO devices. Recently, all-dielectric MO metasurfaces (MS) that increase Faraday rotation angle (θ_F) while maintaining high light transmission (T) in an electromagnetically induced transparency (EIT) scenario were numerically demonstrated [1][2]. However, precise nanopatterning on garnet material is rather challenging, in which the fabrication defects severely impact its optical performance [3]. A hybrid MO MS without nanopattern in MO layer was demonstrated [4], while the θ_F is insufficient for optical isolators (which necessitate $\theta_F \sim 45^\circ$). In this study, we present a design of hybrid MS composed of Si and bismuth substitute iron garnet (Bi:YIG) that immensely enhanced θ_F at telecom wavelengths with submicron Bi:YIG thin film.

The all-dielectric MS is composed of square arrays of air holes perforated in 140 nm-thick Si slab on bismuth substituted YIG (Bi:YIG) thin film embedded in SiO₂ (Fig.1(a)). By deviating b from a (Fig.1(b)), the high- Q guided mode resonance (GMR) was excited with vertical incidence and largely enhanced θ_F . The high T was realized by spectrally and spatially overlapping the GMR with the low- Q dipole modes via tuning h_{YIG} . As a result, $\theta_F = 45^\circ$ and $T = 65\%$ were numerically demonstrated with a 513-nm-thick Bi:YIG film, which is 800 times larger than that of plain Bi:YIG film with the same thickness. This photonic structure largely streamlined the fabrication process, which could be realized on the MO thin film on insulator (MOOI) substrate [5]. This design provided a viable route to numerous applications, such as ultrathin Faraday rotators, high-sensitivity magnetic field sensors and free-space modulators.

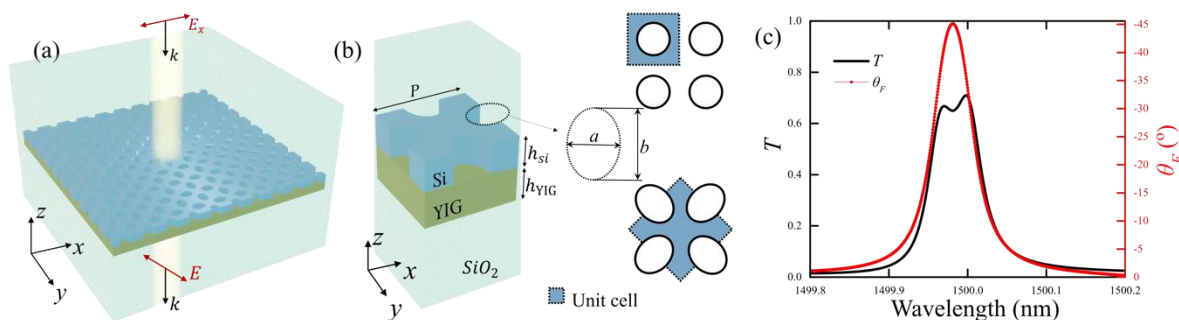


Figure 1. (a) Illustration of Si-Bi:YIG metasurface and (b) the unitcell of the simulation model; (c) Numerically simulated T and θ_F with EIT condition of a TE-like GMR overlapped with the ED-like modes ($P = 880$ nm, $a = 325$ nm, $b = 340$ nm, $h_{si} = 140$ nm, $h_{YIG} = 513$ nm).

References: [1]. A. Christofi, et al., Opt. Lett. **43**, 1838 (2018); [2]. T. Kiel, et al., Opt. Lett. **46**, 1720 (2021); [3] S. Gao, et al., Opt. Express **31**, 13672 (2023); [4] S. Xia, et al., ACS Photonics **9**, 1240 (2022); [5] Siyuan Gao, et al., 18p-P03-2, JSAP 2021 Spring meeting.

Acknowledgements: This work was supported by KAKENHI (17H06138, 19K05300, 22H00298, 22H01994, 22K18989), JST CREST(JPMJCR19T1), JST FOREST Program (JPMJFR213F), Nippon Sheet Glass Foundation.

楕円型シリコンメタサーフェスにおける四重極子を用いた熱光学効果による

反射スペクトル制御

Control of reflectance by utilizing quadrupole resonances and photothermal effect in ellipsoidal silicon metasurface

阪大院工¹, 阪大フォトニクスセ² ○(M1)新開 誠也¹, 高原 淳一^{1,2}Grad. School of Eng., Osaka Univ.¹, Photonics Ctr., Osaka Univ.²°Seiya Shinkai¹, Junichi Takahara^{1,2}E-mail: shinkai@ap.eng.osaka-u.ac.jp

高屈折率誘電体を用いたミートロニクスでは、Mie共振を利用した物理現象や応用が研究されている[1]。我々は誘電体メタサーフェスの完全吸収体(Perfect Absorber: PA)による熱光学効果を用いた低消費電力で動作する光スイッチの研究を進めてきた[2]。電気四重極子(Electric Quadrupole: EQ)と磁気四重極子(Magnetic Quadrupole: MQ)による縮退臨界結合(Degenerate Critical Coupling: DCC)[3]を利用した PA は Q 値が高く、長波長側に双極子共振モードによる高反射率ピークができるため高効率の光スイッチングに適している[4]。

本研究では、EQ と MQ の DCC に基づく PA の作製を行い、温度上昇によるメタサーフェスの反射率スペクトルの変化を実証したので報告する。

Quartz 基板の上に Si 円柱ナノ構造を周期的に配列したメタサーフェス (Fig. 1) に波長 400~700nm の光を垂直入射した場合の吸収率スペクトルを Fig. 2(a) に示す。シミュレーション結果は楕円型メタ原子の実験結果とのフィッティングを行っている。Fig. 2(b) と(c)に波長 450nm の光が入射した時の電磁場分布を示す。

Fig. 3 に示すように、ヒーターにより温度上昇したメタサーフェスの反射率スペクトルが赤方偏移することを観測した。これは温度により Si の屈折率が変化したことが原因だと考えられる。今後、CW レーザー光 (波長 450nm) を照射して、熱光学効果を利用した双極子共振の反射率の変調を行う予定である。

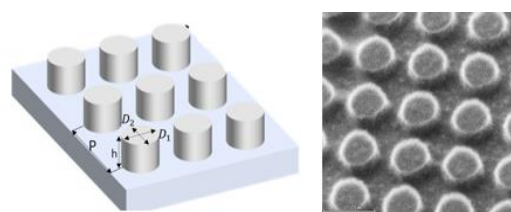


Fig. 1 Schematic and SIM image of ellipsoidal silicon metasurface ($h = 100\text{nm}$, $D_1 = 189\text{nm}$, $D_2 = 220\text{nm}$ and $P = 265\text{nm}$).

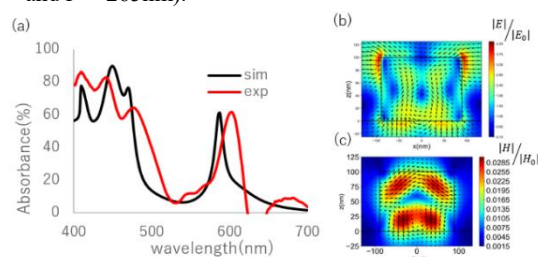


Fig. 2 (a) Absorption spectra of experiment and simulation. (b) Electric and (c) magnetic field distribution at 450nm.

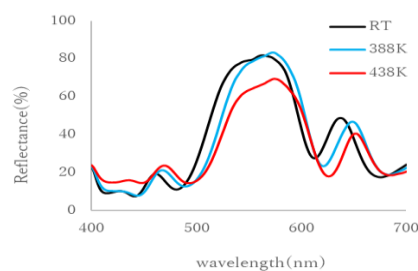


Fig. 3 Reflectance spectra at $T = 300\text{K}$, 388K and 438K .

参考文献

- [1] L. Tianji, *et al.*, Nanophotonics, **9**, 5, 1115 (2020).
- [2] K. Nishida *et al.*, Nanophotonics, **12**, 1, 139 (2023).
- [3] X. Ming, *et al.*, Opt. Express, **25**, 20, 24658 (2017).
- [4] R. Xu, *et al.*, Opt. Lett., **46**, 15, 3596 (2021).

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

Investigation of slow light waveguides based on bound states in the continuum on a magneto-optical thin film

慶應理工¹, 東大先端研²

○(M1) 谷村優太¹, 檜崎雄大¹, 北井達也¹, 高思源², 岩本敏², 太田泰友¹

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

○Y. Tanimura¹, Y. Narazaki¹, T. Kitai¹, S. Gao², S. Iwamoto², 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)やニオブ酸リチウム(LN)などの光学材料は、高機能光デバイスの作製に重要であることが知られている。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、LN 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)状態を活用することで低損失な TM モード光導波路が実現できることが報告された[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。本研究では、YIG 薄膜上に形成した BIC モード導波路と 1 次元フォトニック結晶を組み合わせた BIC スローライト導波路の検討を進めている。今回、スローライト状態[2]形成に必要なバンドギャップを示す BIC 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）の上に周期的な空孔を含んだ電子線レジストが装荷されている。空孔の格子定数を $a = 0.45 \mu\text{m}$ 、半径を r とし、レジスト幅 $w = 1.62 \mu\text{m}$ 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。 r/a 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))。 $r/a = 0.35$ において小さな伝搬損失 8.43 dB/cm と大きなバンドギャップ $\Delta f = 0.877 \text{ THz}$ 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。

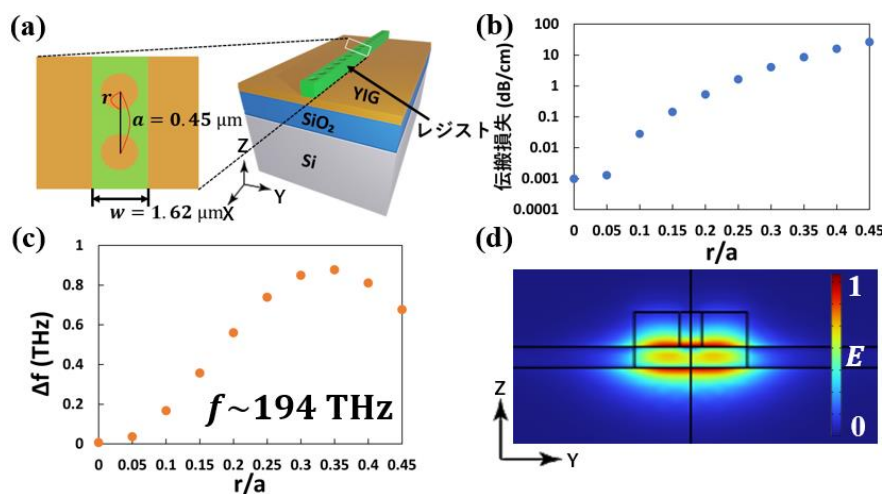


Figure.1 (a) Schematic of the investigated BIC slow light waveguide. (b) Computed propagation losses as a function of r/a . (c) Computed bandgaps as a function of r/a . (d) Field profile of the BIC mode designed with $r/a = 0.35$.

参考文献 [1] Z. Yu *et al.*, Optica **6**, 1342 (2019). [2] T. Baba, Nat. Photonics **2**, 465 (2008).

謝辞 本研究は JST 創発的研究支援事業 JPMJFR213F により遂行された。

Mie 共鳴を示す球状シリコンナノ粒子の光熱効果

Photothermal Effect of Spherical Silicon Nanoparticles with Mie resonance

神戸大院工¹, °(B4)近藤 香奈¹, 杉本 泰¹, 藤井 稔¹

Kobe Univ¹, °Kana Kondo¹, Hiroshi Sugimoto¹, Minoru Fujii¹

E-mail: sugimoto@cedept.kobe-u.ac.jp

ナノ粒子の光学的な共鳴を利用した高効率な光吸収と局所的な温度上昇は、エネルギー変換や光熱触媒、光温熱療法への応用が期待されている。これまでに、表面プラズモン共鳴 (LSPR) を示す金ナノ粒子やナノロッドを用いた光加熱を利用した研究が多数報告されているが、500K 以上の温度で形状が変化し、共鳴特性が大きく変化することが報告されている[1]。当グループでは、高効率な光加熱が可能な材料として、可視～近赤外領域で Mie 共鳴を示す 100-300nm の結晶シリコンナノ粒子に着目した[2]。シリコンは融点が高く (1414°C)、ラマン散乱ピークから温度を正確に測定することができる。また、高 Q 値の高次共鳴モードを持つため、金ナノ粒子よりも光加熱の効率が 4 倍程度高いことが計算で示されている[3]。本研究では、単一シリコンナノ粒子についてラマン散乱スペクトル測定を行い、上昇温度を決定する。粒径依存性を詳細に調べ、各共鳴モードによる光熱効果を定量的に明らかにする。

図 1 は、粒径の異なるシリコンナノ粒子の暗視野散乱スペクトルである。Mie 理論による計算結果と比較することで、粒径と共鳴モード(電気 (ED)・磁気双極子(MD)、電気(EQ)・磁気四重極子(MQ))を決定した。各粒子について励起波長 633 nm でラマン散乱スペクトルを測定した (図 2)。633 nm に Mie 共鳴を持たない 188 nm の粒子 (赤線) は黄線のバルクシリコン結晶とほぼ同じピーク波数をもつ。一方で、633 nm に MQ モードを有する 225 nm の粒子 (青線) では、ラマンピークが 5.9 cm^{-1} 低周波数シフトしており、これは 272K の温度上昇に相当する。以上の結果は、シリコンナノ粒子の Mie 共鳴により、粒子内部に電場が局在し、高効率に温度が上昇していることを示唆している。講演では、広範囲なサイズの粒子で共鳴波長と温度上昇の関係に関する結果を報告する。また、異なる熱伝導性をもつ溶媒や基板における局所温度上昇の結果を既存の金ナノ粒子の結果と定量的に比較する。

[1] K. Setoura, *et al.*, J. Phys. Chem. C, 116, 15458–15466, (2012).

[2] H. Sugimoto, *et al.*, *Adv. Opt. Mater.*, 8, 2000033, (2020).

[3] P. George, *et al.*, *Nano Lett.* 17, 2945–2952, (2017)

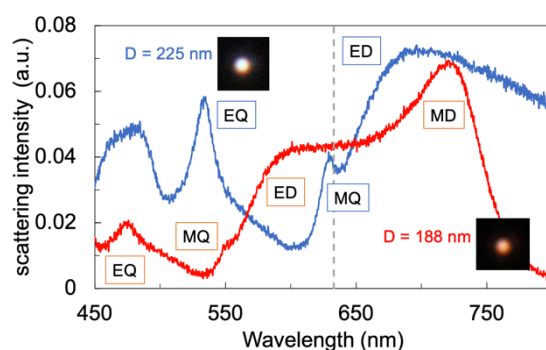


Figure 1. Measured scattering spectra of silicon nanoparticles with diameters of 188 nm (red) and 225 nm (blue). The excitation wavelength of Raman measurement is shown as a gray dashed line.

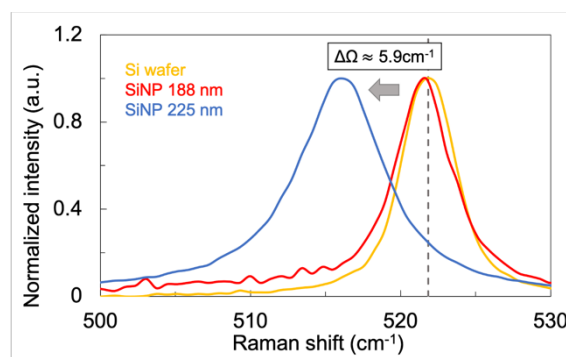


Figure 2 Raman spectra of a silicon wafer (yellow) and silicon nanoparticles with diameters of 188nm (red) and 225nm (blue).

垂直入射型偏波無依存プラズモニック光変調器の提案と解析

Proposal and Analysis of Surface-Normal Polarization-Independent Plasmonic Modulator

°(B)唐木田晴大¹, 宮野広基¹, (M1)蟻生高人¹, 中野義昭¹, 種村拓夫¹ (¹東大院・工)

Seidai Karakida¹, Hiroki Miyano¹, Koto Ariu¹, Yoshiaki Nakano¹, Takuo Tanemura¹

(¹The Univ. of Tokyo)

E-mail: karakida-seidai285@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

二次元アレイ化が可能な垂直入射型の高速光変調器は、超並列光通信、光演算、イメージング等への応用が期待される[1]。これまで、一次元プラズモニック格子型共振器に電気光学ポリマー (electro-optic polymer: EO-polymer) を埋め込んだ構造が各種提案・実証されている[1-5]。しかしこれらは、偏波依存性を持つため用途が限定されていた。これに対して著者らは、二次元の二量化プラズモニック格子を用いた偏波無依存型光変調器を考案した[6]。今回、詳細な数値解析によりその有効性を実証したので報告する。

2. 提案構造

Fig. 1 に提案構造を示す[6]。EO ポリマーを上下の金 (Au) 膜で挟み込んだ metal-insulator-metal (MIM) 構造から成る。下部 Au 膜には、Fig. 2(a) のように楕円状の正方格子孔を形成する。孔の形状を円形から楕円形に変化させることで、意図的に対称性を乱した二量化格子となり、共振器の Q 値を精密に制御することが出来る[6,7]。共振波長において垂直入射光が MIM 構造内に閉じ込められ、Au 層によって吸収されるため、反射率スペクトルにディップが生じる。上下 Au 層に電圧を印加して EO ポリマーの屈折率を変化させることで、共振波長がシフトして反射率が変調される。先行研究[1-5]と異なり、 x - y 方向に対して対称なので、入射光の偏波に依存しない変調が得られる。

3. 数値解析結果

三次元有限差分時間領域法 (3D FDTD) により反射特性を計算した。周期 $P = 950$ nm、EO ポリマー厚 $h = 550$ nm、下部 Au 厚 $d_1 = 50$ nm、上部 Au 厚 $d_2 = 200$ nm、格子孔長径 $a = 665$ nm、格子孔短径 $b = 332.5$ nm、EO ポリマー屈折率 $n_{EO} = 1.65$ として、波長 1549 nm、 x 偏波の光を入射したときの電界分布を Fig. 2(b) に示す。共振モードが励起され、EO ポリマー内に強く光が閉じこもる様子が分かる。さらに、 ± 0.01 の範囲で n_{EO} を変化させたときの反射率スペクトルのシフトを Fig. 3 に示す。高い Q 値 (~ 100) の共振が得られ、光電界と変調電界の重なりが大きいと、効果的に変調が得られる。 y 偏波光に対しても同じ特性を示すため、偏波無依存垂直入射型の高速光変調器として広範な分野への応用が期待される。

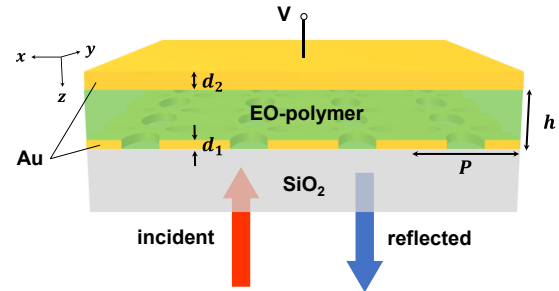


Fig. 1. Schematic of proposed modulator.

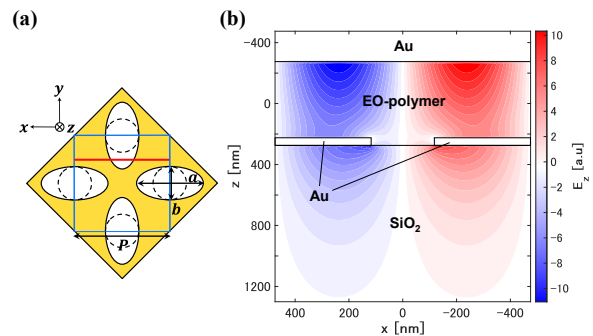


Fig. 2. (a) Unit cell (blue line). (b) Z-component of the electric field at the resonance wavelength (red line in (a)).

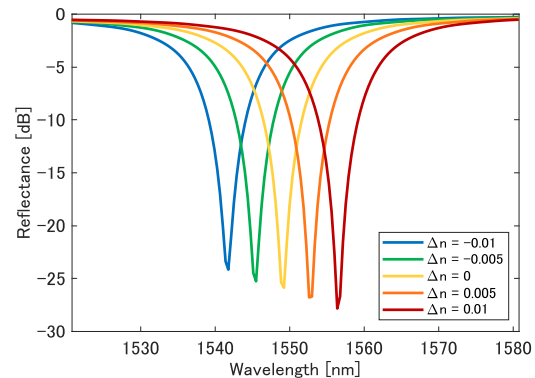


Fig. 3. Reflection spectrum shift when the refractive index of the EO polymer is modulated by Δn .

謝辞: 本研究は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究 (03601) の助成により実施された。

参考文献

- [1] I. C. Banea-Chelmus *et al.*, *Nat. Commun.*, **12**, 5982 (2021).
- [2] J. Zhang *et al.*, *Opt. Express*, **25**, 30304 (2017).
- [3] J. Zhang *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **113**, 231102 (2018).
- [4] H. Miyano *et al.*, *OECC/PSC*, TuD3-2 (2022).
- [5] K. Ariu *et al.*, *JSAP*, 22p-A101-7 (2022).
- [6] 宮野広基, 東京大学修士論文 (2023).
- [7] A. C. Overvig *et al.*, *Nanophotonics*, **7**(6), 1157 (2018).