

2023 年度年次報告書

独創的原理に基づく革新的光科学技術の創成

2019 年度採択研究代表者

田中 拓男

理化学研究所 光量子工学研究センター

チームリーダー

メタマテリアル吸収体を用いた背景光フリー超高感度赤外分光デバイス

研究成果の概要

2023 年度は、前年度に構築した垂直配向 Metal-insulator-metal 構造(v-MIM 構造)の作製手法のドライエッチングの実験パラメータをさらに最適化させることで、高い加工再現性を得る事に成功した。そしてその手法を用いて実際の分光デバイスの試作を行った。特性評価のために吸収波長を二酸化炭素の C=O 伸縮振動モードとブタンの CH₂の伸縮振動モードに併せた2種類の v-MIM 構造を設計・試作した。これまでの研究で、本デバイスの性能を最大化させるためには、デバイスの構造部近傍のみに試料ガスが局在する状態がベストで、デバイス上部にガスが滞留すると検出される信号を低下させてしまうことが明らかになったので、デバイス上部の空間を精密に制御できる専用のガスチャンバーを試作し、これを用いて特性評価実験を行った。v-MIM をセットしたガスチャンバーに CO₂ ガスもしくはブタンガスを導入したところ、それぞれの分子の吸収に伴う赤外吸収信号が、v-MIM の吸収バンドの中に現れることを確認した。また、可視光領域に共鳴吸収波長を設定した MIM 構造を自己組織的に形成させる事で、メタマテリアル構造によって色を制御したイムノクロマトデバイスの開発も並行して進めた。実験では、金属ナノパッチ構造と金ナノ粒子の表面をビオチン分子で修飾し、これら2つをストレプトアビジン分子で結合させることで、MIM 構造を自己組織的に形成させる実験を行った。ナノパッチ構造や金ナノ微粒子のサイズを変える事で、デバイスの色を緑から紫や、黄色から赤へ変化させることに成功した。さらに昨年度に引き続き、v-MIM を作製するために開発した高アスペクト比ナノ構造のエッチング技術を利用して各種メタサーフェスデバイスを試作し、生体細胞の位相コントラスト像を生成するメタレンズや水中に分散した微粒子の3次元的な運動を可視化するカメラなどを開発した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Cheng Hung Chu, Yu-Hsin Chia, Hung-Chuan Hsu, Sunil Vyas, Chen-Ming Tsai, Takeshi Yamaguchi, Takuo Tanaka, Huei-Wen Chen, Yuan Luo, Pan-Chyr Yang, and Din Ping Tsai, "Intelligent Phase Contrast Meta-Microscope System," *Nano Letters* **23**, 11630-11637 (2023).
- 2) Xiaoyuan Liu, Zhou Zhao, Shengming Xu, Jingcheng Zhang, Yin Zhou, Yulun He, Takeshi Yamaguchi, Hua Ouyang, Takuo Tanaka, Mu Ku Chen, Shengxian Shi, Fei Qi, and Din Ping Tsai, "Meta-Lens Particle Image Velocimetry," *Advanced Materials* **36**, 2310134 (2023).
- 3) Po-Sheng Huang, Cheng Hung Chu, Shih-Hsiu Huang, Hsiu-Ping Su, Takuo Tanaka, and Pin Chieh Wu, "Varifocal Metalenses: Harnessing Polarization-Dependent Superposition for Continuous Focal Length Control," *Nano Letters* **23**, 10432-10440 (2023).
- 4) Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, Maria Herminia Balgos, and Takuo Tanaka, "Dynamic measurement of angular Goos-Hänchen shift at surface plasmon resonance in liquid," *Applied Optics* **62**, 8426-8433 (2023).
- 5) Xiaoyuan Liu, Mu Ku Chen, Cheng Hung Chu, Jingcheng Zhang, Borui Leng, Takeshi Yamaguchi, Takuo Tanaka, and Din Ping Tsai, "Underwater Binocular Meta-lens," *ACS Photonics* **10**, 2382-2389 (2023).