

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

2020 年度 年次報告書

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

§ 1. 研究成果の概要

2020年度は、1)垂直配向3次元 MIM(v-MIM)メタマテリアル吸収体の構造設計、2)v-MIM 構造の加工技術の開発、3)FTIR を用いたメタマテリアル吸収体の特性評価、4) 新型コロナウイルス感染症対応のための液体試料用流路デバイスの試作の4項目について研究を行った。

有限要素法を用いたメタマテリアル吸収体の構造最適化では、これまでの基板表面に垂直に2枚の金属平板を平行に向かい合わせただけの構造では、光電場が局在するホットスポット部がギャップ部の奥深くに形成されて、分子をホットスポット部の効率良く導入できないという課題が明らかになった。そこで、ホットスポット部を構造上端の開口付近に配置するために、v-MIM 構造の下端を金属で塞いだ構造を新たに考案した。金属表面には必ず定在波の節が位置するので、これによりホットスポット部の位置を構造パラメータによって制御可能になった。

下端を金属で塞いだ v-MIM 構造を作製するために、加工プロセス改良した新しい手法を開発した。以前の加工法では、v-MIM を構成する2枚の金属ナノフィンをつづつ金属薄膜の形成と RIE エッチングを繰り返しながら作製していたが、新たに開発した加工法では、2枚の金属ナノフィンを一度に加工することで、下端を金属で塞いだ v-MIM 構造を実現するとともに、加工プロセスの簡略化と加工時間の短縮も同時に実現することができた。また、v-MIM 構造のテンプレートとなるレジスト構造をジグザク構造にすることで、それに沿った形状に v-MIM 構造を變形させることにも成功し、2021～2022 年度に予定している流体の渦の制御による試料分子のホットスポットへの導入にも対応できる構造を加工できるメドがたった。

試作した v-MIM 構造を FTIR の試料室に設置してブタンガスの検出実験を行ったところ、大幅な背景光の抑制と分子スペクトルの増強に成功した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 田中グループ

- ① 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)
- ② 研究項目
 - ・電磁気学シミュレーションを活用したメタマテリアル吸収体の構造設計
 - ・垂直配向3次元 MIM 構造を有するメタマテリアル吸収体の加工
 - ・FTIR を用いたメタマテリアル吸収体の特性評価
 - ・新型コロナウイルス感染症のための液体試料に対応できる流路型分光デバイスの作製(コロナ追加支援での実施内容・成果)

【代表的な原著論文情報】

- 1) "Refractive index of nanoconfined water reveals its anomalous physical properties," *Nanoscale Horiz.* **5**, pp. 1016-1024 (2020).

- 2) "Multiscale hierarchical micro/nanostructures created by femtosecond laser ablation in liquids for polarization-dependent broadband antireflection," *Nanomaterials* **10**, 1573 (2020).
- 3) "Super-chiral vibrational spectroscopy with metasurfaces for high-sensitive identification of alanine enantiomers," *Applied Physics Letters* **117**, 101103 (2020).
- 4) "Realization of Negative Permeability in Vertical Double Split-Ring Resonators with Normal Incidence," *ACS Photonics* **7**, 12, pp. 3298-3304 (2020).
- 5) "Angular Goos-Hänchen shift sensor using gold film enhanced by surface plasmon resonance," *The Journal of Physical Chemistry Part A* **125**, 1, pp. 451-458 (2021).