

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

2022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

研究成果の概要

2022 年は前年度に考案した Si 基板表面の凹凸パターンを利用した v-MIM の加工プロセスの開発を継続して行った。新しく開発した加工プロセスでは、まず前年度に導入した ICP 反応性イオンエッチング法を用いてシリコン基板表面に高い再現性で垂直な側壁と高いアスペクト比を持つ凹凸構造を作製する。そして、その構造表面に金-SiO₂-金の多層膜を斜め蒸着法で形成した後、構造の頭頂部の多層膜を Ar ガスエッチングで除去し、最後に金薄膜間の SiO₂ 層を C₄F₈と SF₆ ガスを用いた反応性イオンエッチングで除去することで v-MIM メタマテリアル構造を得た。この手法では、i) Si 基板の表面に反応性イオンエッチングを用いて凹凸構造を形成するため、垂直な側壁を再現性良く形成できることに加え、その溝深さも高い精度で制御できる、ii) v-MIM 構造は、Si の凹凸溝の側壁に形成されるため物理的な強度が向上する、iii) 高温に晒されるプロセスでも物質の劣化や変形がないといったこれまで問題となっていた課題を解決することができた。試作した v-MIM メタマテリアル吸収体の特性評価実験では、2枚のサファイア基板を用いてセル高さ 1 mm の簡易ガスセルを作り、この中に試作した v-MIM 基板とブタンガスを導入してその赤外スペクトルを測定した。その結果、ブタン分子の C-H 伸縮振動スペクトルが、メタマテリアル吸収体の吸収バンドの中に上向きのピークとして観察できた。それ以外の成果としては、香港城市大学と共同で、開発した三次元加工技術の v-MIM の加工以外にも応用し、cm オーダーの開口径を持つメタレンズの試作に成功した。そして試作したメタレンズの結像能力が、既存のバルクレンズと比較して遜色ないことを実証した。またこのメタレンズをドローンに搭載して空撮やドローンの自動着陸制御に利用できることを確認できた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) "High-Sensitivity Hyperspectral Vibrational Imaging of Heart Tissues by Mid-Infrared Photothermal Microscopy," *Analytical Sciences* **38**, pp. 1497-1503, 2022.
- 2) "Meta-Lens in the Sky," *IEEE Access* **10**, pp. 46552-46557, 2022.
- 3) "Multi-modal vibrational analysis of blend polymers using mid-infrared photothermal and Raman microscopies," *Vibrational Spectroscopy* **118**, 203333, 2022.
- 4) "Nanostructure-enhanced infrared spectroscopy," *Nanophotonics* **11**, pp. 2541-2561, 2022.