

田中拓男

理化学研究所開拓研究本部
主任研究員

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

本研究では、光波と共鳴相互作用する金属ナノ共振器を用いて、赤外光を完全に吸収するメタマテリアル赤外吸収体を作り、これを用いて赤外分光法における余計な背景光を抑制して、zeptoモルレベルの極微量分子からのスペクトル信号を高い感度で分光検出できる手法を開発する。そしてこの技術を、1cm角程度のセンサーチップで、極微量の分子を高速かつ高感度に検出・同定できるデバイスに応用する。

これを実現するには、光をナノメートルスケールの局所空間に閉じ込めて完全に吸収する構造を高密度に集積化したデバイスの開発と、光電場が集中しているいわゆるホットスポット部に検体となる分子を正確に導入する技術が必要である。そこで、2枚の金属フィンがナノメートルオーダーのギャップを隔てて基板表面に垂直に集積化された、垂直配向 MIM 構造を考案し(図(a))、この構造の最適化とその作製技術を開発するとともに、実際に分子の検出実験を通してその有効性を確認する。

今年度は、有限要素法(FEM)を用いた電磁界シミュレーション環境を既存の計算機クラスター上に構築して、垂直配向させた MIM 構造のアスペクト比、ギャップ幅、配列周期、配列構造(正方配列、千鳥配列など)などのパラメータを変化させながら、その電磁気学的特性を検証した。またこれと同時に、次年度以降の本格的なメタマテリアルの構造設計に必要な計算環境の設計を行った。

また、メタマテリアルの加工実験では、電子ビーム描画装置とドライエッチング装置を用いた独自の加工プロセスを開発して、垂直配向 MIM 共振器が高密度に集積されたメタマテリアルを試作した。その結果、図(b)のように目的とする垂直配向 MIM 構造が試作できることを実証した。また、第四四半期に高速電子ビーム描画装置を導入して、その立ち上げを行った。

さらに、これとは独立に、有機溶媒中で金属表面にフェムト秒レーザーを照射すると金属炭化物の生成と同時に 3 次元レリーフ構造が形成されることを見だし、これを用いた 3 次元メタマテリアル

ル赤外吸収体の試作実験も行った。

メタマテリアル赤外吸収体の特性評価では既設のフーリエ変換型赤外分光器に入射角可変アタッチメントを導入して、試作した3次元メタマテリアルの光学特性の評価を開始した。また試作したメタマテリアルを用いてブタンや二酸化炭素などが検出できることを確認した。

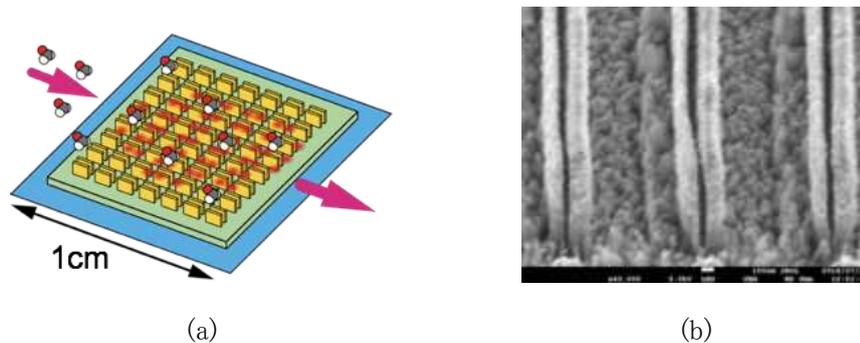


図 垂直配向 MIM メタマテリアルを用いた赤外分光分子検出デバイス.

【代表的な原著論文】

1. Dongshi Zhang, Bikas Ranjan, Takuo Tanaka, and Koji Sugioka, "Carbonized Hybrid Micro/Nanostructured Metasurfaces Produced by Femtosecond Laser Ablation in Organic Solvents for Biomimetic Antireflective Surfaces," ACS Applied Nano Materials vol. 3, no. 2, pp. 1855-1871, 2020

§ 2. 研究実施体制

(1) 田中グループ

- ① 研究代表者: 田中 拓男 (理化学研究所開拓研究本部 主任研究員)
- 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