

田中メタマテリアル研究室

主任研究員 田中 拓男 (D.Eng.)



(0) 研究分野 s

分科会:工学

キーワード:メタマテリアル、ナノフォトニクス、プラズモニクス、光計測、光学デバイス

(1) 研究背景と研究目標

これまで、物質の電磁気学的な特性は、物質固有のものであり、物質が決まれば自動的に決まってしまうものとされてきました。当研究室では、この物質固有と考えられてきた誘電率や透磁率をナノ構造体を用いることで人工的に制御し、全く新しい光機能性材料とフォトニクスにおけるブレークスルー技術の創出を目指します。これは光周波数の磁場に直接応答する物質や、屈折率がゼロ、負、もしくは何百万といった巨大屈折率物質など、「あり得ない」物質を人工的に作り出すことを意味しており、我々はこれらを総称して「メタマテリアル」と呼んでいます。我々は、この人工物質を用いて、自在に光を制御する新しいフォトニクス技術へ展開してゆきます。

(2) 2023年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

タウタンパク質は中枢神経細胞に豊富に存在して、微小管を安定化させるタンパク質で、脳の神経ネットワーク機能に重要な役割を果たすタンパク質の1つです。タウタンパク質の特性は未だ解明されていない事が多く、以下のような項目が解明すべき課題として挙げられます。

- 1) 血中タウタンパク質濃度の測定ならびに解析手段の確立
- 2) タウタンパク質分子の修飾化学種とコンフォメーション
- 3) タウタンパク質の凝集とアミロイド形成、ならびにその分子周辺環境(水)との関係
- 4) タウタンパク質の凝集とアミロイド形成プロセスの液液相分離の動力学からの解析

我々は、メタマテリアルという人工構造物質を用いて、これらの要求課題に対応できるフォトニクス技術の確立を目指した研究を行っています。1), 2)の課題に対しては、生理環境で少量の分子を高感度に解析するために、高い透過性と光子エネルギーを持つ近赤外(700~1700 nm)を光源に用いた分光測定技術の利用を検討しています。また、3)の課題では、タンパク質に帰属できるアミドと水分子を分離して解析するために、1800~2500 nmの波長帯での分光測定が必要です。さらに、4)については、 μs オーダーの時間分解能で反応の動力学を解析するために、分子種を同定でき、かつ高い時間分解能を望める中赤外域での分光測定が有効です。

当研究室ではこれまで、中赤外域で動作するメタマテリアル吸収体とFTIR法を用いて固体、液体、さらには気体分子を高感度に検出できる分光デバイスを開発してきました。これらの研究で得た知識と経験をタウタンパク質の検出・解析技術に応用するために、新たに近赤外全域で動作できるメタマテリアルデバイスの開発とそれに対応する時間分解分光光学系を考案しました。設計・試作したメタマテリアルは、楕円形状の金属パッチが2つ「ハ」の字に配置された構造を単位素子として、これが周期的に配列されたものです(図1)。この構造では、楕円構造の短軸、長軸の長さならびにハの字の配置角度(図1の θ)を調整することで、700~3000 nmの波長帯で線幅と増強度を制御可能であることを数値シミュレーションによって明らかにしました。また設計したデバイスを実際に試作し、その応答スペクトルを測定したところ、計算結果と良く一致することを確認しました。今後、このデバイスを用いて実際のタウタンパク質の特性評価実験を行う予定です。

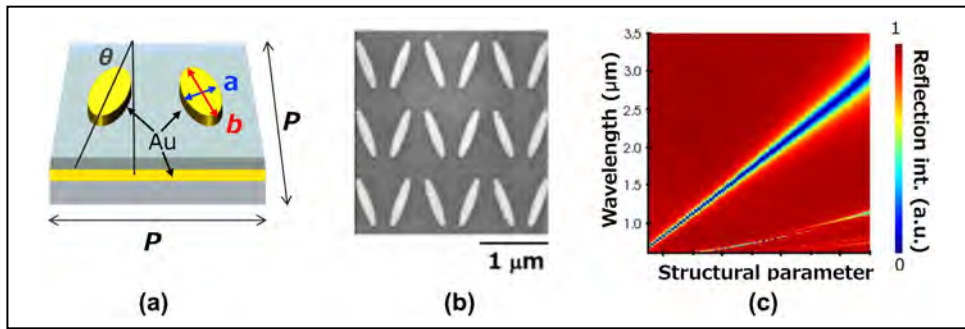


図1 開発した近赤外全域で共鳴波長を制御できるメタ材料デバイス. (a) 金属楕円-誘電体層-金属層から構成される. 楕円の短軸, 長軸, 配置する角度を調節して共鳴波長を制御できる. (b) 作製したメタ材料デバイスの走査型電子顕微鏡像. (c) 構造パラメータを走査したときの共鳴波長(青ライン)の関係. ここでは, 波長 $0.7\sim 3.0\ \mu\text{m}$ の範囲で共鳴波長を調整できることを示している.

3) 研究室メンバー

(2023年度)

(主任研究員)

田中 拓男

(客員研究員)

矢野 隆章、加藤 遼、座古 保、
武安 伸幸、富田 峻介、
神谷 典穂、Che-Chin Chen、
Renilkumar Mudachathi

(基礎科学特別研究員)

竹内 嵩

(訪問研究員)

竹内 祐貴、川崎 大輝

(RSR)

小高 敏斉

(研修生)

阿部 浩幸、伊藤 昂、伊藤 健太郎、
大谷 明日香、中山 涼介

(アシスタント)

Yi-Jung Liang

(4) 發表論文等

1. "Intelligent Phase Contrast Meta-Microscope System," 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, *Nano Letters* **23**, 11630-11637 (DOI: 10.1021/acs.nanolett.3c03484) (2023).
2. "Meta-Lens Particle Image Velocimetry," 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, *Advanced Materials* **36**, 2310134 (DOI: 10.1002/adma.202310134) (2023).
3. "Varifocal Metalenses: Harnessing Polarization-Dependent Superposition for Continuous Focal Length Control," Po-Sheng Huang, Cheng Hung Chu, Shih-Hsiu Huang, Hsiu-Ping Su, Takuo Tanaka, and Pin Chieh Wu, *Nano Letters* **23**, 10432-10440 (DOI: 10.1021/acs.nanolett.3c03056) (2023).
4. "Label-free visualization of photosynthetic microbial biofilms using mid-infrared photothermal and autofluorescence imaging," Ryo Kato, Kaisei Maeda, Taka-aki Yano, Kan Tanaka, and Takuo Tanaka, *Analyst* **148**, 6241-6247 (DOI: 10.1039/d3an01453c) (2023).
5. "High-Resolution Metalens Imaging with Sequential Artificial Intelligence Models," Wei-Lun Hsu, Chen-Fu Huang, Chih-Chun Tan, Noreena Yi-Chin Liu, Cheng Hung Chu, Po-Sheng Huang, Pin Chieh Wu, Shang Jyh Yiin, Takuo Tanaka, Chun-Jen Weng, and Chih-Ming Wang, *Nano Letters* **23**, 11614-11620 (DOI: 10.1021/acs.nanolett.3c03416) (2023).
6. "Dynamic measurement of angular Goos-H nchen shift at surface plasmon resonance in liquid," Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, Maria Herminia Balgos, and Takuo Tanaka, *Applied Optics* **62**, 8426-8433 (DOI: 10.1364/AO.501856) (2023).
7. "Manipulation on radiation angles via spatially organized multipoles with vertical split-ring resonators," Hao-Yuan Tsai, Che-Chin Chen, Chun-Yen Chen, Yi-Jie Lin, Wei-Chun Chen, Hung-Pin Chen, Yu-Wei Lin, Takuo Tanaka, and Ta-Jen Yen, *Nanophotonics* **12**, 3921-3930 (DOI: 10.1515/nanoph-2023-0386) (2023).
8. "Megahertz repetition rate-based lock-in detection scheme for rapid data acquisition in terahertz time domain spectroscopy," Maria Herminia Marallag Balgos, Norihiko Hayazawa, Masahiko Tani, and Takuo Tanaka, *Review of Scientific Instruments* **94**, 043002 (DOI: 10.1063/5.0138938) (2023).
9. "Metalenses for revolutionary imaging," Mu Ku Chen and Takuo Tanaka, *Photonics Insights* **2**, p.C01 (DOI: 10.3788/pi.2023.C01) (2023).
10. "Single-cell infrared vibrational analysis by optical trapping mid-infrared photothermal microscopy," Ryo Kato, Taka-aki Yano, and Takuo Tanaka, *Analyst* **148**, 1285-1290 (DOI: 10.1039/D2AN01917E) (2023).
11. "Probing Strain and Doping along a Graphene Wrinkle Using Tip-Enhanced Raman Spectroscopy," Maria Vanessa Balois-Oguchi, Norihiko Hayazawa, Satoshi Yasuda, Katsuyoshi Ikeda, Tien Quang Nguyen, Mary Clare Escalero, and Takuo Tanaka, *Journal Physical Chemistry C* **127**, 5982-5990 (DOI: 10.1021/acs.jpcc.2c08529) (2023).
12. "Underwater Binocular Meta-lens," Xiaoyuan Liu, Mu Ku Chen, Cheng Hung Chu, Jingcheng Zhang, Borui Leng, Takeshi Yamaguchi, Takuo Tanaka, and Din Ping Tsai, *ACS Photonics* **10**, 2382-2389 (DOI: 10.1021/acsphotonics.2c01667) (2023).



Laboratory Homepage

<https://www.riken.jp/research/labs/chief/metamaterials/index.html>

<https://metamaterials.riken.jp/top-ja/>