

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だ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) 2022年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

金や銀といった貴金属のナノ粒子に光を照射すると、光と共鳴相互作用を起こして、光をその表面近傍に強く集積させることができるため、光触媒や太陽電池といった光エネルギーの変換技術や病変部の早期発見とその治療などの医学分野への応用が盛んに研究されています。この金属ナノ粒子の色(つまり応答する光の波長)はその大きさや材料のほかにも形状によっても制御することができます。この金属ナノ粒子の工業化のためにはその大量合成法の開発が急務であり、これまで様々な形状をもつ金属ナノ粒子の合成法が考案されてきました。しかし、特定の合成法から得られる金属ナノ粒子は一種類だけというように、ある色のナノ粒子と合成法は一対一に対応しており、一つの方法で様々な色のナノ粒子を作製することは困難でした。そこで、我々は光照射の時間を変化させることで金属ナノ粒子の色を変化させる手法を考案しました。この手法では、図1のように二つ以上の金属ナノ粒子の集合体に光照射を行うことで、ナノ粒子間で新たに金属が析出しナノ粒子を連結させます。また、この連結部の金属の厚みを光照射の時間で制御することでナノ粒子が発する色が徐々に変化するという仕組みになっています。この手法では、従来のナノ粒子の形状変化に必要であった人体に有毒な有機化合物といった添加物を用いる必要がなく、一般的な家庭などに普及しているレベルの強さほどの光で色を変化させることが可能です。また、制御される色の範囲は光触媒などでよく用いられる可視から医療応用に適した近赤外領域まで幅広く変化させることができます(図2)。我々が考案した普遍的な金属ナノ粒子の色を変化させる手法は、これまでの金属ナノ粒子合成の分野でボトルネックの一つであった「一つの合成法から得られる色は一種類」という問題を解決する革新的な技術になると期待しています。

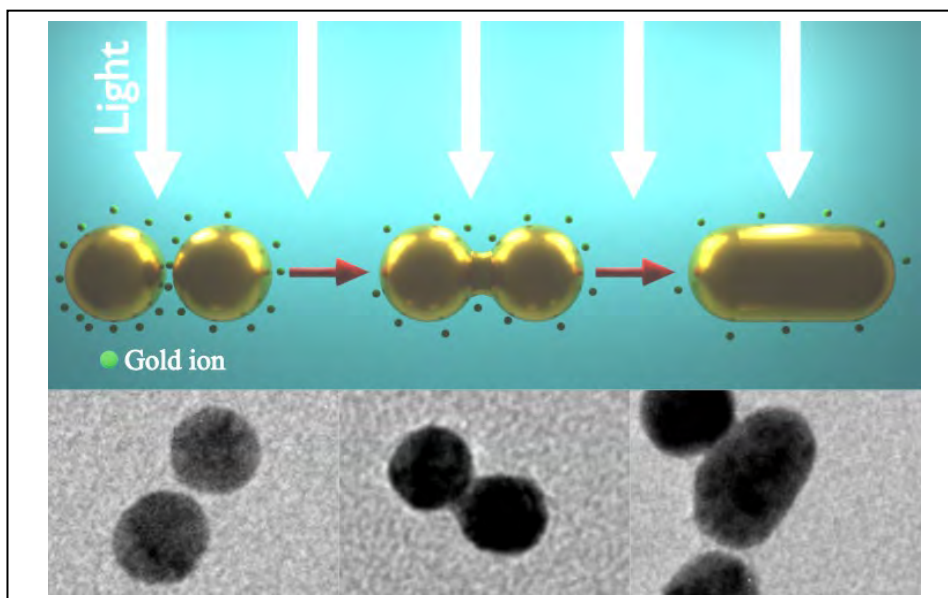


図1 考案した金属ナノ粒子の色を変化させる手法の概略図とその実際に繋がっている金属ナノ粒子の電子顕微鏡像. 光照射によりナノ粒子間で選択的に金属イオン還元を誘起し, 金属析出によってナノ粒子をつなぎ, その接合部の太さを光照射の時間で制御することで応答する光の波長を変化させる.

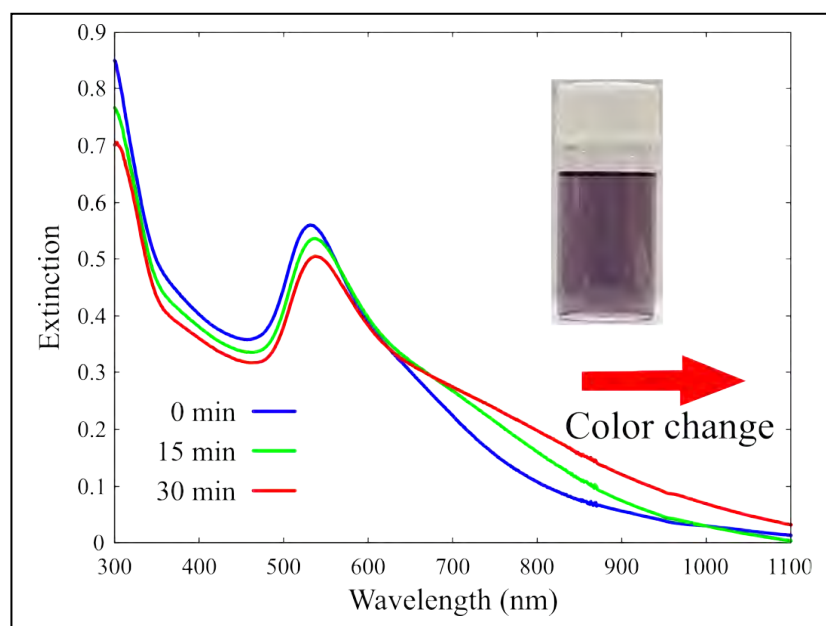


図2 合成した金ナノ粒子集合体の写真とその消光スペクトル. 光照射を継続するとスペクトルの形状が変化し, その共鳴波長が徐々に近赤外領域までシフトする.

3) 研究室メンバー

(2022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

(RSR)

小高 敏斉

(研修生)

阿部 浩幸、伊藤 昂、伊藤 健太郎、
上新 彩瑛、大谷 明日香、島川 雄丞、
祖川 隼輝、藤原 将行、藤田 優人、
Song Subin、竹内 祐貴

(アシスタント)

Yi-Jung Liang

(4) 発表論文等

1. "High-Sensitivity Hyperspectral Vibrational Imaging of Heart Tissues by Mid-Infrared Photothermal Microscopy," Ryo Kato, Takaaki Yano, Takeo Minamikawa, and Takuo Tanaka, *Analytical Sciences* **38**, 1497-1503 (DOI: 10.1007/s44211-022-00182-8) (2022).
2. "Meta-Lens in the Sky," Mu Ku Chen, Cheng Hung Chu, Xiaoyuan Liu, Jingcheng Zhang, Linshan Sun, Jin Yao, Yubin Fan, Yao Liang, Takeshi Yamaguchi, Takuo Tanaka, and Din Ping Tsai, *IEEE Access* **10**, 46552-46557 (DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3171351) (2022).
3. "Multi-modal vibrational analysis of blend polymers using mid-infrared photothermal and Raman microscopies," Ryo Kato, Taka-aki Yano, and Takuo Tanaka, *Vibrational Spectroscopy* **118**, 203333 (DOI: 10.1016/j.vibspec.2021.103333) (2022).
4. "Highly Stable Polymer Coating on Silver Nanoparticles for Efficient Plasmonic Enhancement of Fluorescence," Ryo Kato, Mitsuhiro Uesugi, Yoshie Komatsu, Fusatoshi Okamoto, Takuo Tanaka, Fumihisa Kitawaki, and Taka-aki Yano, *ACS Omega* **7**, 4286-4292 (DOI: 10.1021/acsomega.1c06010) (2022).
5. "Nanostructure-enhanced infrared spectroscopy," Takuo Tanaka, Taka-aki Yano, and Ryo Kato, *Nanophotonics* **11**, 2541-2561 (DOI: 10.1515/nanoph-2021-0661) (2022).

Supplementary



Laboratory Homepage

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

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