

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの中盤技術
2017年度採択研究代表者

2019年度 実績報告書

石田 康博

理化学研究所創発物性科学研究センター
チームリーダー

殆どが水よりなる動的フォトニック結晶の開発と応用

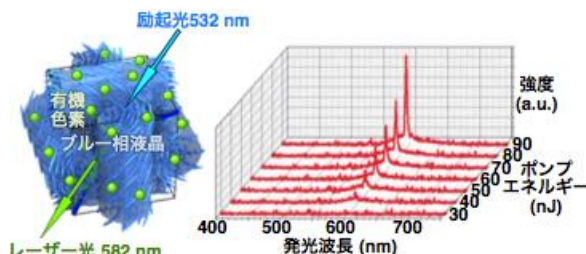
§ 1. 研究成果の概要

光の波長の周期を持つ構造体「フォトニック結晶」は、光の性質を操る究極のツールである。「結晶」の名の通り、通常は固体で作られる。我々は最近、99%の水に 1%の酸化チタンナノシートを加えた流体が高性能のフォトニック結晶となることを見出しており、これは、従来の常識を覆す「大面積配向性・刺激応答性・生体適合性のフォトニック結晶」へ発展しうる。この発見を起点に本研究では、前例なきフォトニック結晶の基礎学理を探索、および、高品質・高感度のイメージングやセンシングなどの応用展開を図る。2019年度は、基礎学理を深化するとともに、応用展開の一部を開始した。

課題① 動的フォトニック結晶の機構理解: 動的散乱測定により、本フォトニック結晶の動的性質を調べたところ、構成要素である酸化チタンナノシートはその面外方向に数 kHz 程度の周波数にて振動しており、現在測定されている反射スペクトルは、ゆらぎ構造が時間平均化されたものである、という描像が明らかとなった。

課題② 動的フォトニック結晶の機能向上に向けた高品位・大型ナノシートの創製: 酸化チタンナノシートの前駆体として、従来の層状チタン酸化物 ($K_{0.8}Ti_{1.73}Li_{0.27}O_4$) ではなく ($K_{0.8}Ti_{1.6}Zn_{0.4}O_4$) を用いたところ、 $(Ti_{0.8}Zn_{0.03}O_2)^{0.74}$ の組成に基づく、極めて大きな形式電荷密度を持つナノシートを得た。そのコロイド分散液を脱塩することで、鮮やかな構造色を呈すフォトニック結晶へと変換した。

課題③ 動的フォトニック結晶のバイオイメージングへの応用: 今回のフォトニック結晶 (>99%が水中) でのレーザー発振の予備検討として、類似の流動性を持ちながら、疎水性有機色素と容易に相溶できるフォトニック結晶である、ブルー相液晶によるレーザー発振を試みた。その結果、数十 nJ という低パルスエネルギーにおいて発光が狭線化し、この流動的フォトニック結晶がレーザー発振を起こすことを実証した。



課題④ 動的フォトニック結晶のウェアラブルセンサーへの応用: 本フォトニック結晶に基づき、グルコースセンシング機能を持つヒドロゲル薄膜を昨年度開発した。これを皮膚貼付デバイスとして応用するためには、グルコース濃度に応じた構造色変化の根源であるヒドロゲル薄膜の面外方向の膨潤/収縮を保証しつつ、皮膚との接合を阻害する面内方向の膨潤/収縮を抑制しなければならない。そこで、このヒドロゲルの膨潤挙動を調べたところ、酸化チタンナノシートがヒドロゲル組織と強く相互作用する結果、面外方向における膨潤は面内方向のそれに比べて 30 倍にまで抑制された。そのためこのヒドロゲル薄膜は、皮膚と接合したまま、面外方向に膨潤/収縮可能であった。

【代表的な原著論文】

1. Koki Sano et al., “Internal Structure and Mechanical Property of an Anisotropic Hydrogel with Electrostatic Repulsion between Nanosheets”, *Polymer*, vol. 117, No. 38, pp. 43-48, 2018
2. Hyeon-Joon Choi et al., “Development of a Liquid Crystal Laser Using a Simple Cubic Liquid Crystalline Blue Phase Platform”, *RSC Advances*, vol. 9, No. 56, pp.32922-32927, 2019

§ 2. 研究実施体制

(1) 石田グループ

- ① 研究代表者: 石田 康博
(理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー)
- ② 研究項目
 - ・光学分散関係の精査
 - ・ナノシートの横幅制御
 - ・センシング機構の確立

(2) 佐々木グループ

- ① 主たる共同研究者: 佐々木 高義
(物質・材料研究機構国際ナノアーキテクニクス研究拠点 フェロー)
- ② 研究項目
 - ・ナノシートの物性制御
 - ・ナノシートの横幅制御
 - ・ナノシートの形状制御

(3) 荒岡グループ

- ① 主たる共同研究者: 荒岡 史人
(理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー)
- ② 研究項目
 - ・光学分散関係の精査
 - ・センシング機構の確立