

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
平成 28 年度採択研究代表者

2018 年度 実績報告書

金光 義彦

京都大学化学研究所
教授

ハロゲン化金属ペロブスカイトを中盤としたフレキシブルフォトニクス技術の開発

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、結晶成長が容易でしかも非常に高品質な単結晶・薄膜・ナノ粒子が作製できる新しい半導体材料であるハロゲン化金属ペロブスカイトに注目し、それを基盤としたフレキシブルフォトリソ技術の開発を目指す。溶液法による非常に高い発光効率の半導体材料の作製を新しい切り口としてアプローチする。安価で大量生産可能、さらに加工性や光機能に優れた高品質半導体は、「死の谷」を一気に超えるポテンシャルを有しており、ペロブスカイト単一物質による新しいデバイス研究に取り組む。半導体材料としての基礎物性を明らかにし、発光・受光素子、レーザー光源・光変調素子などのデバイス材料としての新機能・高性能を引き出す。本年度では、フォトリソデバイス材料としてのペロブスカイト半導体の光物性・光機能の本質を理解し、溶液塗布で作製可能という大きなアドバンテージを活かしたデバイスの作製とその評価に取り組んだ。

これまでに開発してきた時間分解レーザー分光システムおよび単一顕微分光システムの拡張・改良を進め、単結晶およびナノ粒子の光物性・光機能の研究を進めた。単結晶で初めて見出したフォトリフラクティブ現象のメカニズム解明を行い、光スイッチへの応用を提案した。また、このような光学素子材料としてのハロゲン化金属ペロブスカイトの有用性を評価するために、光学ゲインスペクトルや非線形光学係数の計測を行った。新しい光冷凍機の原理となる輻射冷却能力の評価・解析を進め、薄膜および単結晶の光冷却の最適励起条件を決定した。プリンタブル材料としてのナノ粒子の品質向上・発光効率向上のために表面修飾を行い発光の安定性を図った。特に、ナノ粒子を発光デバイスや受光デバイスに活用した場合にそれらの特性を支配するトリオン(荷電励起子)の生成過程とその生成抑制手法の開発に取り組んだ。また、これまで研究してきた不純物置換によるキャリアドーピングをより安定的に行うため、A サイトおよびハロゲンの異なる単結晶試料の作製ならびにその電氣的・光学的性質を研究し、不純物イオンの導入の容易さやドーピングレベルの評価を行った。さらに、走査型プローブ顕微鏡(SPM)を用いた局所電場印加によるイオン移動について研究し、SPM チップを用いたナノ加工技術を開発した。電気制御による光変調を目指し、単結晶ならびに薄膜試料において電場印加による光学特性の変化を研究した。実用上重要となる非鉛スズペロブスカイト薄膜の作製方法の開発とその特性評価を行った。

【代表的な原著論文】

N. Yarita, T. Aharen, H. Tahara, M. Saruyama, T. Kawawaki, R. Sato, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, “Observation of positive and negative trions in organic-inorganic hybrid perovskite nanocrystals”, *Phys. Rev. Mater.* vol.2, 116003, 2018.

M. Nagai, T. Tomioka, M. Ashida, M. Hoyano, R. Akashi, Y. Yamada, T. Aharen, and Y. Kanemitsu, “Longitudinal optical phonons modified by organic molecular cation motions in organic-inorganic hybrid perovskites”, *Phys. Rev. Lett.* vol.121, 145506, 2018.

T. Yamada, T. Aharen, and Y. Kanemitsu, “Up-converted photoluminescence from

CH₃NH₃PbI₃ perovskite semiconductors: Implications for laser cooling”, Phys. Rev. Mater. vol. 3, 024601, 2019.

§ 2. 研究実施体制

(1)「金光」グループ

- ① 研究代表者:金光 義彦 (京都大学化学研究所 教授)
- ② 研究項目

- 1. 高品質単結晶・薄膜・ナノ構造の作製と基礎光学・電気特性の解明
- 2. 光物性・光機能を基盤としたフォトニックデバイスの開発と特性評価
- 3. 実用化のための技術開発

(2)「山田」グループ

- ① 主たる共同研究者:山田 泰裕 (千葉大学大学院理学研究院 准教授)
- ② 研究項目

- 1. 高品質単結晶・薄膜・ナノ構造の作製と基礎光学・電気特性の解明
- 2. 光物性・光機能を基盤としたフォトニックデバイスの開発と特性評価
- 3. 実用化のための技術開発