

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
2016年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

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、簡便な溶液法により高品質な結晶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ンクス技術の開発を目指す。ハロゲン化金属ペロブスカイトの半導体材料としての基礎光物性を明らかにし、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・性能を引き出す。これまで、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できた。試料作製法の開発・改良に加えて、時間分解レーザー分光システム、磁気光学分光システム、単一顕微分光システム、走査型プローブ顕微鏡、非線形分光法などの計測・評価系の開発・改良を進め、 ABX_3 型ペロブスカイト半導体の光物性・光機能の研究を進めた。A イオンとして $CH_3NH_3^+$ 、 $HC(NH_2)_2^+$ 、 Cs^+ 、B イオンとして Pb^{2+} 、 Sn^{2+} 、さらにハロゲンイオン、 $X = I, Br, Cl$ を持つ様々なペロブスカイトの単結晶、薄膜およびナノ粒子の作製とその高品質化を行い、基礎光電特性の解明を行った。なかでも、実用化に必要な非鉛スズペロブスカイトの均質な高品質薄膜の作製に成功し、その基礎特性解明に基づいて高効率太陽電池の開発に成功した。ペロブスカイトの熱特性は、デバイスの劣化や応用範囲を決める重要なものであり、熱・フォノン特性を詳しく研究し、光学定数の温度依存性の起源を明らかにした。他の無機半導体にはない大きな熱膨張係数が、ユニークな熱特性・熱光学特性を引き起こしていることを明らかにした。さらに、光照射下でのホール測定から、電子と正孔の精密な移動度を評価し、ペロブスカイトが II-VI 族化合物半導体に匹敵する高い移動度を持つことが分かった。

§ 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

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Impact of spin-orbit splitting on two-photon absorption spectra in a halide perovskite single crystal”, Phys. Rev. B 103, L041201, 2021.
- 2) “Observation of high carrier mobility in $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ single crystals by AC photo-Hall measurements”, Appl. Phys. Express 14, 041009, 2021.
- 3) “Effect of A-Site Cation on Photoluminescence Spectra of Single Lead Bromide Perovskite Nanocrystals”, Nano Lett., 20, 4022–4028, 2020.
- 4) “Large thermal expansion leads to negative thermo-optic coefficient of halide perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbCl}_3$ ”, Phys. Rev. Mater. 4, 074604, 2020.
- 5) “Sn(IV)-free tin perovskite films realized by in situ Sn(0) nanoparticle treatment of the precursor solution”, Nature Commun. 11, 3008, 2020.