

SICORP 日本-ドイツ

「オプティクス・フォトニクス」領域 第2期 事後評価報告書

1 共同研究課題名

「小型全有機近赤外発光・分光センサシステムの開発」

2 日本ー相手国研究代表者名（研究機関名・職名は研究期間終了時点）：

日本側研究代表者

城戸 淳二(山形大学 有機材料システムフロンティアセンター・教授)

ドイツ側研究代表者

カール レオ(ドレスデン工科大学 ドレスデン応用物理・フォトニック材料総合センター・教授)

3 研究概要及び達成目標

本プロジェクトの開発目標は、従来の近赤外分光装置を大幅に小型・軽量化し、検出波長域の拡大と革新的な応用展開を可能とする、小型全有機近赤外発光・分光センサシステムの実現をゴールとし、具体的には、以下3つの主要な科学的成果の創出を行った。

- 有機近赤外発光光源の実現(日本)
- 小型近赤外分光センサーの実現(ドイツ)
- それらを集積した測定システムの実現(双方)

具体的には、日本側では、実用的な効率と極めて長い寿命を両立させた近赤外有機 EL デバイスを初めて実現した。ドイツ側では、1つの基板上の複数のピクセルがそれぞれ異なる波長の近赤外光に反応するよう設計された独自構造の有機近赤外分光センサーの材料及びデバイス開発を行った。最終的に、双方の技術を組み合わせた、世界初の小型全有機近赤外発光・分光センサシステムを実現した。

4 事後評価結果

4.1 研究成果の評価について

4.1.1 研究成果と達成状況

近赤外分光分析は、品質管理、特定の物質の同定などに非常に重要である。しかし、一般的な近赤外分光装置は、装置が大型で高価であり、光源や受光器の種類によっては、検出可能な波長域が狭いなどの課題があった。一方、有機系のデバイスは、長波長化が可能、また低コストであり、従来の近赤外分光装置に比べて大幅な小型・軽量化が期待できる。

本プロジェクトでは、光源として、近赤外有機 EL の性能を実用化可能なレベルまでに向上させ、近赤外分光センサー用光源としての適用可能性を実証した。具体的には、日本側では、近赤外有機 EL の実用化目安となる大幅な高効率化(最大外部量子効率：10%以上)と長寿命化(10万時間相当以上)を達成した。またドイツ側は、有機材料を光電変換層に用い、近赤外における波長選択性を組み込んだ有機近赤外分光センサーを開発、日本側で開発した近赤外有機 EL と統

合し、技術デモを実現した。これらの成果により、小型全有機赤外発光・分光センサシステムの開発に成功した。

今回、ドレスデン工科大学とゼノリクス社（ドイツ側チーム）は、有機近赤外分光センサーの基盤技術を開発した。これは、ドイツ側チームが開発した独自技術を元としている。有機材料を活性層に用い、シリコン系よりも長波長の近赤外域（～1700 nm）まで検出可能である。また InGaAs 系の光検出器に比べて低コストで、薄型化できる。従来の近赤外分光装置を大幅に小型・軽量化できる可能性を有した材料・デバイス技術である。今回の国際共同研究では、日本側チームが開発する近赤外有機 EL 光源と組み合わせることを前提に、用いる材料やデバイスの高性能化に取り組んだ。近赤外センサーの光学膜厚調整により、光共振長を制御し、狭い波長域でそれぞれ異なる波長で光電変換特性のピークを有する近赤外光センサーを 1 チップ上に複数形成した。具体的には、680 nm-1100 nm、または、880 nm-1300 nm の近赤外域において、1 チップ上に 16 ピクセルのそれぞれ測定波長域の異なる、有機近赤外光センサーを作りこんだ（各ピクセルの感度特性の半値幅～約 20 nm）。

一方、日本側チームは、近赤外分光センサー用光源の抜本的な変更に取り組んだ。近赤外分光センサー用光源として多く用いられているハロゲンランプ光源に比べて、有機 EL 光源は、効率、寿命、低発熱、電流値で光量が正確に制御されること、スイッチオンしてすぐの光量安定性など、ほとんど全ての要求項目で、ハロゲンランプに対する優位性がある。サイズ面でも小型・軽量でフレキシブルな形状への展開可能性を有している。唯一の課題が、発光波長の長波長化と長寿命化である。近赤外分光分析で求められる波長領域（700 nm～1300 nm、もしくは～1700 nm）において、実用レベルの効率と寿命を併せ持った近赤外有機 EL デバイスはこれまで実現されておらず、その課題解決に向けた開発を今回行った。本プロジェクトでは、光源として用いる近赤外有機 EL デバイスの厚みはわずか 2 mm 程度、消費電力は 0.05 W～0.5 W 程度と従来のハロゲンランプの 1/10 以下である。光源の寿命もハロゲンランプと比べて十分に長い。従来品と比べ、近赤外光源と受光部の両方が大幅に小型化し、これまでにない近赤外発光・分光センサシステムの実現を可能とした。

このように、本プロジェクトでは、近赤外有機 EL 素子における最高性能を実現している。測定領域が 1.3 μm までの長波長化という極めてチャレンジングな目標を含め、分光センサシステムの開発まで全ての目標を達成したことは高く評価される。

4.1.2 国際共同研究による相乗効果

本国際共同研究では、日本側チームが開発した近赤外有機 EL 発光光源と、ドイツ側チームが開発した有機近赤外分光センサーを持ち寄り、統合させることで、これまでにない「小型全有機近赤外発光・分光センサシステム」を実現した。

ドイツのザクセン州と山形大学とは、10 年間にわたる協力関係ができており、今回の国際共同研究では、その関係を活用し、さらに強化することができた。

特に、日本側は、有機 EL 光源の技術で強みがあり、その駆動回路についても日本側が担当した。ドイツ側は、有機近赤外センサーの技術で強みがあり、光学部品を使わず 1 チップ上に異なる波長域での検出感度を有した複数ピクセル（例：～16 ピクセル）の分光センサーを集積させた独自技術を有する。これらの技術を、日本側は、山形大学と伊藤電子工業（株）、ドイツ側は、ドレスデン工科大学とゼノリクス社、ファンディング機関として日独それぞれ JST と BMBF、コーディネート機関としてザクセン州有機エレクトロニクス協議会（OES）が参加し、本国際共同研究を効率的に進めることができた。

ドイツ側とは、年 4 回～5 回のジョイントミーティングを実施した。3 年間の開催実績は合計 14 回である。最終目標とする技術デモ実現に向けて、定例のジョイントミーティングに加えて、個別のテクニカルミーティングをドイツ側と行い、目標仕様や搭載技術の詳細決定を進めた。それらの目標仕様や、山形大学で試作した近赤外有機 EL デバイスの基本特性を参考に、伊藤電子工業（株）において、近赤外有機 EL パネルの駆動回路設計と回路試作を行い、完成したデモキットをドイツに送付したり、ドイツからの研究者来訪時に共同実験を行うなどの方法で、日本側が作製した近赤外有機 EL デバイスとドイツ側が作製した有機近赤外分光センサーとを組み合わせた実験を進めた。

このような、密接なジョイントミーティング及び共同実験等のコラボレーションにより、技術的な要求仕様を相互に明確化・高度化し、相乗的に学術及び技術開発内容を高めることができた。その結果、ドイツで行われた国際展示会での近赤外有機 EL パネルの初めての駆動デモ展示や、日独協働による近赤外センシングの技術デモ実現に結び付いた。

今回の共同プロジェクトを通じて、山形（日本）及びザクセン（ドイツ）両地域の大学と企業が、国際共同研究を行うことで、1 国ではできない大きな相乗効果が得られた。これは、従来から続けてきた両大学の協力関係の賜物である。

4.1.3 研究成果が与える社会へのインパクト、我が国の科学技術協力強化への貢献

本国際共同研究の成果は、日独それぞれで製品化あるいは実用化を目指し開発を継続していく。ドイツ側は、従来よりも小型化したプロトタイプを試作中であり、日本側では、初めて実用的な効率と、極めて長い駆動寿命が同時に得られることを見出し、また、材料分析あるいは成分を測定するための、近赤外分光センサー用光源としても使用可能であることを示すことができた。これらの成果をもとに、近赤外有機 EL デバイスとして世界初の駆動デモを国際展示会において行い、技術の発信を行うことで、メディア等にも取り上げられ、今後の実用化に向けて大きく前進した。

近赤外光の応用としては、生体センサーの他、近赤外分光分析装置、プラスチックの材質判別、穀物中の水分分析、アルコールセンサー、糖度センサーなど、多数の用途がある。特に、日本国内においては、今回の研究成果をきっかけに、近赤外光を用いたプラスチック材質判別装置の開発を行っている国内メーカーとの情報交換関係を構築することができた。プラスチックリサイクルの

高速自動判別のために、近赤外発光光源を使用したセンサーの検討も進められている。

このように、日本の強みである EL 素子を使った小型分光システムの開発に成功したことは大きな成果である。特に、生体センサー、プラスチックの材料判別機、糖度センサー等多くの産業分野で製品化が大いに期待できる。

4.2 相手国研究機関との協力状況について

ドイツ・ザクセン州と山形大学とは、地域対地域でのクラスター連携を目指して、毎年1回の日独ジョイントワークショップを行うなど、協働関係の継続・維持に努めてきた。その関係は12年間にわたる。今回、両国の研究機関のトップ同士だけでなく、産産学学の研究者レベルでの交流が実現できたことから、さらなる人的交流や、国際学术交流・共同開発などに発展することが可能なレベルに連携が強化された。今後もジョイントワークショップや学術連携、企業の巻き込みなど、継続したアクティビティを行っていく計画がある。

具体的な連携関係を継続、発展させる取り組みの一つとして、日独ジョイントワークショップの継続的開催が予定されている。両国の産・官・学メンバーから、基調講演、学術発表、企業からの発表、会場によってはポスターセッション、試作品展示、交流会など、充実した内容のワークショップがこれまで開催できており、今後も継続して実施できるよう計画する。

上記のように、両者の関係は極めて良好で、継続的な連携関係が進展することを期待したい。すでに具体的な計画が幾つか進んでいるが、特に産業界との連携が進展することを期待する。

4.3 その他

日本の強みである EL 素子による近赤外発光素子を開発し、ドイツ側の強みである有機分光センサーと組み合わせることで、小型・低消費電力の分光システムの開発に成功している。

本研究に関連の深い有機 EL 光源基盤技術や有機エレクトロニクス応用技術の受賞として、第73回日本化学会賞、第62回藤原賞、2022年度高分子科学功績賞、nano tech 大賞 2024 米国化学会賞の受賞など、学会の評価は極めて高い。

小型全有機近赤外分光システムの技術成熟度は高く、有機 EL 材料の課題である発光効率、寿命について極めて優れた結果が得られている。今後は、多くの産業分野で社会実装・製品化が大いに期待できる。