

NEWS RELEASE

報道関係者 各位

2026年3月16日
国立大学法人東京農工大学

精密構造が切り拓く次世代光検出技術

— エピタキシャルコロイド量子ドット超格子による高性能光検出器の実証 —

東京農工大学大学院工学研究科化学物理工学専攻博士課程のダダン・スヘンダー (Dadan Suhendar)、同大学工学部化学物理工学科青木悠登 (研究当時)、西山智彩、ならびに同大学大学院工学研究院先端電気電子部門のサトリア・ズルカルナエン・ビスリ准教授 (Satria Zulkarnaen Bisri)、および同大学客員研究員であり国立研究開発法人理化学研究所創発物性科学研究センターおよびインドネシア国立研究イノベーション庁 (BRIN) の博士研究員リッキー・ドウィ・セプティアント博士 (Ricky Dwi Septianto) は、エピタキシャル接合量子ドット超格子を用いて、従来より高性能な光検出器デバイスを実際に動作させることに成功しました。本研究は、微小な半導体粒子を規則正しく並べた材料であるエピタキシャル接合量子ドット超格子に基づく高性能光検出器デバイスの明確な基盤を構築するものであり、次世代高性能光検出器の設計に向けて重要な方向性を示す成果です。

本研究成果は、**Advanced Optical Materials** 誌への掲載に先立ち、3月3日にオンライン掲載されました。

論文タイトル : High-Performance Photodetectors of Quasi-2-Dimensional Epitaxially-Connected Quantum Dot Superlattices

URL : <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adom.202503565>

背景 : ナノテクノロジーにおける最大の課題の一つは、量子ドットと呼ばれる数ナノメートル (1 ナノメートルは 10 億分の 1 メートル) サイズの微小な半導体粒子を一つ一つ丁寧に組み立て、その特殊な「量子」特性を維持しながら、整然とした構造を形成する方法を見出すことです。科学者たちは、これらの粒子が自然に集合する過程を制御することで、量子ドットからなる大規模かつ結晶のようなネットワークを構築できると期待しています。これが実現すれば、太陽電池パネルや光センサーなどの次世代電子・光デバイスが大幅に向上する可能性があります。

現在、コロイド量子ドットから作られた材料では電気が流れにくいという大きな問題があります。これは粒子が完全には整列しておらず、エネルギー準位が不均一であるためです。こうした不完全さが電荷の移動を遅らせ、量子ドットデバイスの性能を制限しています。最近、微小な硫化鉛 (PbS) 量子ドットを用いて、高度に組織化されたシート状の構造体を構築する上で大きな進展がありました (2023 年に Nature Communications 誌に掲載[※])。この新構造では粒子がより整然と接合されています。この配列改善により、電気は材料内を約 100 万倍も容易に流れるようになりました。実際、電荷の流れは金属に近い挙動を示します。

しかし、コロイド量子ドットを材料として利用する上で長年の懸念があります。量子ドットの価

値は、内部の電子挙動を厳密に制御する「量子閉じ込め」特性にあります。一部の科学者は、金属のように電子が自由に行き来しすぎると、この特殊な量子挙動が弱まる可能性を懸念しています。現時点では、この新たな高秩序構造が光検出器などのデバイスの実性能にどう影響するかは完全には解明されていません。こうした特殊な接合構造を持つ整然とした量子ドット構造を用いた光センサーの構築と試験は、本研究が初の試みです。

研究体制：本研究は、東京農工大学大学院工学研究院先端電気電子部門のサトリア・ズルカルナエン・ビスリ准教授が主導しました。実験は、同大学大学院工学研究科化学物理工学専攻博士課程のダダン・スヘンダー、同大学工学部化学物理工学科青木悠登（研究当時）、西山智彩らと、同大学客員研究員であり国立研究開発法人理化学研究所創発物性科学研究センターおよびインドネシア国立研究イノベーション庁（BRIN）の博士研究員リッキー・ドウィ・セプティアント博士によって実施されました。本研究は、池谷科学技術振興財団、熱・電気エネルギー技術財団、一般財団法人テレコム先端技術研究支援センター（SCAT）、および 2024 年度理化学研究所奨励研究費の支援を受けました。

研究成果：本論文では、単層の準二次元エピタキシャル接合 PbS 量子ドット超格子（QDSL）のみを活性材料として用いた高性能光検出器デバイスを実証しました。準二次元エピタキシャル接合量子ドットとは、ナノメートルサイズの半導体粒子（量子ドット）がほぼ平面状に並び、隣り合う粒子の決まった面どうしが結晶として直接つながった構造を持つ材料です。このようなつながり方により、量子ドットそれぞれの性質を保ちながら、粒子間で電子が移動しやすくなることが期待されています。量子ドット研究における長年の課題は、強い量子閉じ込め効果（光吸収を向上させる）と効率的な電荷輸送（電気信号の容易な流れを可能にする）という二つの重要な特性のバランスを取ることです。従来の量子ドット薄膜では、量子ドットは絶縁性分子で分離されており、閉じ込め効果は維持されますが電荷移動が遅くなります。導電性を高めるため量子ドットの結合を強くすると、量子閉じ込め効果が弱まる懸念があります。

本研究結果は、両方の特性を同時に達成できることを示しています。エピタキシャル接続された超格子構造では、量子ドットが高度に秩序立った配列で直接接続されているため、電荷が材料内をはるかに自由に移動できます。同時に、優れた光吸収を担う本質的な量子閉じ込め効果はほぼ完全に維持されています。この電荷輸送の改善により、今回作成した光検出器は極めて高い応答度（光に対する反応の強さ）と検出度（微弱な光信号を検出する能力）を発揮します。その性能は、従来報告されていた光伝導型量子ドット検出器を凌駕し、導電性向上のために量子ドットとグラフェンのような二次元材料を組み合わせた先進的なハイブリッド光検出器にも匹敵します。

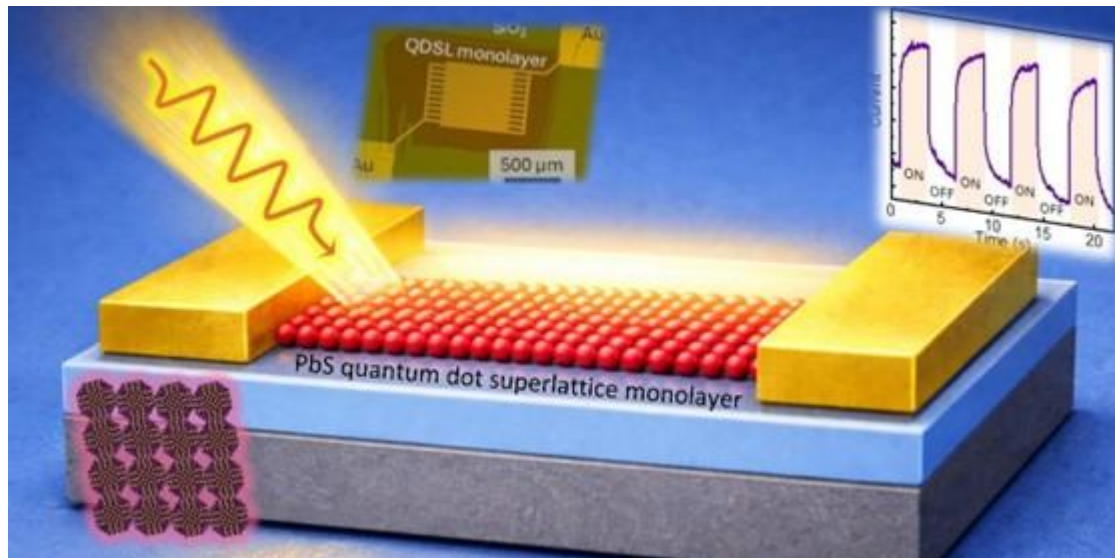
さらに、デバイスが異なる波長の光にどのように応答するかを詳細に分析した結果、電子的な「ミニバンド」の形成が示唆されました。これらのミニバンドは、多数の量子ドットが強く結合し、それらの電子状態がわずかに重なり合うことで生じます。この構造により電荷増倍（単一光子が複数の電荷キャリアを生成する現象）が可能となり、検出器の効率がさらに向上する可能性があります。これらの結果から、本研究は精密に設計された量子ドット超格子が強力な光吸収と効率的な電荷輸送を両立できることを実証しました。この成果は、イメージング、センシング、光通信、新興量子技術に用いられる次世代光検出器に新たな可能性を開くものです。

今後の展開：近い将来、我々は本 PbS エピタキシャル接合量子ドット超格子を利用した様々なデバイス構造をさらに設計し、より優れたデバイス性能、より精密なスペクトル調整、より高速な応答を実現するとともに、それらを普遍的な実用的応用へと展開します。一方、環境負荷の低い化合物を含む様々なコロイド量子ドット化合物の高秩序超格子の開発は、これら人工的に創出された材料システムの豊かな創発特性を解明する次なるフロンティアとなると考えられます。

※参考プレスリリース

「高移動度の半導体コロイド量子ドット超格子を実現—エピタキシャル接合により、高性能化に成功—」（2023 年 5 月 25 日リリース）

https://www.tuat.ac.jp/outline/disclosure/pressrelease/2023/20230525_01.html



PbS エピタキシャル接続量子ドット超格子光検出器の回路図と写真。超格子は単一モノレイヤーのみを含むが、可視光および赤外スペクトル領域において高い感度と検出効率が実証されました。

◆研究に関する問い合わせ◆

東京農工大学大学院工学研究院

先端電気電子部門 准教授

Satria Zulkarnaen Bisri (サトリア ズルカルナエン ビスリ)

E-mail : satria-bisri@go.tuat.ac.jp