

## 【特別推進研究】

## 理工系(工学)



### 研究課題名 量子ドット-ナノ共振器多重量子結合系における固体量子電気力学探究と新ナノ光源創成

東京大学・生産技術研究所・教授 **あらかわ やすひこ**  
**荒川 泰彦**

研究課題番号: 15H05700 研究者番号: 30134638

研究分野: 量子ナノデバイス工学

キーワード: 量子ドット、フォトニック結晶、共振器量子電気力学、半導体レーザー

### 【研究の背景・目的】

光と物質の相互作用の探究は、学術的重要性にとどまらず、それを基礎とする光デバイスに革新をもたらす源泉である。なかでも、光共振器中の光子と物質の量子力学的相互作用を扱う共振器量子電気力学(Cavity Quantum Electrodynamics, CQED)は、量子光学の深化、レーザー性能の追求を図る上で特に重要な学術領域である。

本研究では、半導体チップ上に形成された量子ドットとフォトニック結晶ナノ共振器を舞台として固体CQEDを探求し、その未踏領域の開拓を目指す。特に、有限少数個の量子ドットとナノ共振器との結合系に対して新たな制御技術を創出することにより、複数の量子が関わりあう多重量子結合系CQEDを追求する。さらにその学術の深化を基礎として、有限少数個量子ドットレーザーを中心とする革新的ナノ光源創成のための基盤科学技術の構築を図る。

### 【研究の方法】

これまで培ってきた量子ドット形成技術およびフォトニック結晶ナノ共振器作製技術を基礎とし、それらを極限まで洗練することで、飛躍的に高品質な量子ドット-ナノ共振器結合系の実現を目指す。同時に、量子ドットの位置や個数の検出・制御およびナノ共振器の多重化に取り組むことで、高度に制御された多重量子結合系の作製技術構築を図る。

また、固体CQEDの探究を実験・理論の両面から進める。特に、極めて強い量子ドット-共振器光子結合に起因する単一光子レベル非線形光学現象およびそれに基づく多光子相関状態の形成や、多量子系における協同現象などに着目した研究を展開する。理論解析においても新たに統計力学的手法を取り入れつつ、多重量子系の新機能開拓を目指す。

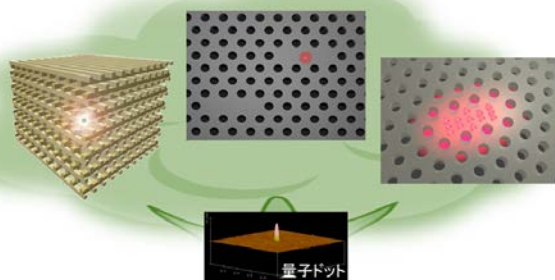


図1 実現を目指す量子ドットCQED系の概念図

一方、有限少数個量子ドットレーザーを中心とした極限的量子ドット光源の開発にも意欲的に取り組む。系の位相緩和などに着目し、その制御を行うことで、レーザー特性の向上を検討する。加えて、高集積性・スピン自由度を有しかつ高温・電流注入動作が可能といった量子ドット系の特徴を最大限活かすことで、高機能な量子ナノ光源の創出を図るとともに、多重量子系の創発的現象を活かした新ナノ光源創出にも挑戦する。

### 【期待される成果と意義】

本研究の推進により、極限的に高品質な系で発現する量子ドットCQEDの物理が明らかになるとともに、多重量子結合系での興味深い現象の観測が可能となり、固体CQED研究における新たなパラダイムをもたらすものと期待できる。これは量子ドット系にとどまらず、CQED全体の学理構築に資するものと考えられる。

また本研究で取り組む極限量子ドット光源開発は、将来の超低消費電力・超小型光源のための基盤技術構築へ貢献するものと考えられる。このような革新的ナノ光源技術は、CPS(Cyber Physical Systems)が浸透する将来の情報社会において、高感度センシング素子などIoT(Internet of Things)のベースとなる科学技術に大いに寄与することが期待される。

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- M. Nomura, N. Kumagai, S. Iwamoto, Y. Ota, and Y. Arakawa: Laser oscillation in a strongly coupled single quantum dot nanocavity system, *Nat. Phys.*, **6**, 279–283 (2010).
- Y. Arakawa, S. Iwamoto, M. Nomura, A. Tandrachanurat and Y. Ota: Cavity Quantum Electrodynamics and Lasing Oscillation in Single Quantum Dot-Photonic Crystal Nanocavity Coupled Systems, *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, **18**, 1818–1829 (2012).

### 【研究期間と研究経費】

平成27年度–31年度 399,500千円

### 【ホームページ等】

<http://www.qdot.iis.u-tokyo.ac.jp/arakawa@iis.u-tokyo.ac.jp>