

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和4年 5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：特別推進研究

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05700

研究課題名(和文) 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
新ナノ光源創成研究課題名(英文) Solid-state Quantum Electrodynamics in Quantum Dot-Nanocavity
Multiply-Coupled Quantum Systems and Its Application to Novel
Light Sources

研究代表者

荒川 泰彦 (ARAKAWA Yasuhiko)

東京大学・ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構・特任教授

研究者番号：30134638

交付決定額(研究期間全体)(直接経費)：399,500,000円

研究成果の概要(和文)：

本研究は、半導体量子ドットとフォトニックナノ構造を組み合わせた固体物理系において光と物質の量子相互作用の物理を探求し、新しいナノ量子光源を創出することを目的として遂行した。その結果、世界最高の性能指数を示す量子ドット共振器量子電気力学系を構築するとともに、室温を大きく超える動作温度を有する量子ドット単一光子源や超微小体積のナノワイヤ量子ドットレーザの実現、さらにはトポロジカルナノレーザの開拓など、学術と応用の両面で重要な成果を数多く挙げた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光と物質の相互作用の物理は、あらゆる光デバイスの基礎をなすものである。本研究では、固体量子系である半導体量子ドットを用いて同物理を探求することにより、多様な素励起が関わる興味深い相互作用の物理を明らかにするのみならず、レーザや量子光源などの光デバイスに新たな知見をもたらした。これらの成果は、光通信や光量子情報処理の分野に大きな進展をもたらすことが期待されており、学術と工学的応用の双方からきわめて意義深い。

研究成果の概要(英文)：

We investigated light-matter interactions between semiconductor quantum dots and photons confined in optical nanostructures and their applications to novel quantum light sources. We realized a number of quantum photonic devices attractive from the viewpoint of fundamental science and applications, including a quantum-dot cavity quantum electrodynamics system exhibiting the world's highest figure of merit in strong coupling regime, a quantum-dot single photon source operating at far above room temperature, a nanowire quantum dot laser with ultra-small device volume and topological nanolasers.

研究分野：

量子ドットをはじめとする半導体量子ナノ構造の物理とその量子光エレクトロニクス応用

キーワード：

量子ドット

量子ナノ構造

フォトニック結晶

光と物質の相互作用の物理

共振器量子電気力学

量子ドットレーザ

単一光子源

1. 研究開始当初の背景

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、レーザ性能の追求を図るうえで、特に重要な学問領域である。CQED は、原子/イオンとバルク光学部品からなる光共振器の系での研究が先行してきた。一方、申請者による先駆的業績(C. Weisbuch, Y. Arakawa et al., Phys. Rev. Lett. 69, 3314 (1992))を契機とする固体 CQED は、人工原子としての半導体量子ドット(Y. Arakawa and H. Sakaki, Appl. Phys. Lett. 40, 939 (1982))と半導体チップに形成された光ナノ共振器を舞台とした CQED 現象の基礎と応用の研究を切り拓いた。しかし、複数光子との相互作用など、その極限的物理の観測には至っておらず、十分に確立されたとは言いがたい状況にあった。一方、有限少数個の量子ドットとナノ共振器の結合系に対する関心も高まりつつあった。このような系では、個々の相互作用が複雑に入り組んだ新たな物理現象の発現が予想されるとともに、特異な光子状態の生成や有限少数個量子ドットレーザなど、新たな光源技術への展開が期待できる。しかし、有限少数個量子ドットとナノ共振器から構成される多重量子結合系を扱った CQED に関する研究はほとんど進展していなかった。

2. 研究の目的

本研究では、申請者がこれまで培ってきた高品質単一量子ドット-2次元フォトニック結晶ナノ共振器結合系の研究成果を更に発展させ、固体CQEDの未踏領域を開拓することを目指した。さらに、有限少数個量子ドットレーザを中心に新規光源・量子情報素子への展開に向けた基盤研究を推進することも目的とした。研究対象とした物理系のイメージを図1に示す。単一量子ドット-ナノ共振器系については、その高品質化を目指すとともに、そこでのCQEDの探求を試みた。これにより究極的量子光源の実現を図った。また、有限少数個の量子ドットとナノ共振器から構成される高度に制御された多重量子結合系を実現し、そこで現れる物理を明らかにするとともに、有限少数個量子ドットレーザなどの新規ナノ光源の可能性を示すことを目指した。さらに、3次元フォトニック結晶ナノ共振器を用いた量子ドットCQEDの研究も推進することとし、0次元電子と0次元光子の究極的相互作用を世界に先駆けて実現することも目的とした。

本研究では、上述の研究目標を達成するため、「量子ドット・ナノ共振器形成基盤技術開発」、「固体量子電気力学探究」、「極限量子ドット光源開発」の3つの内容について、重層的な研究の推進を図った(図2)。

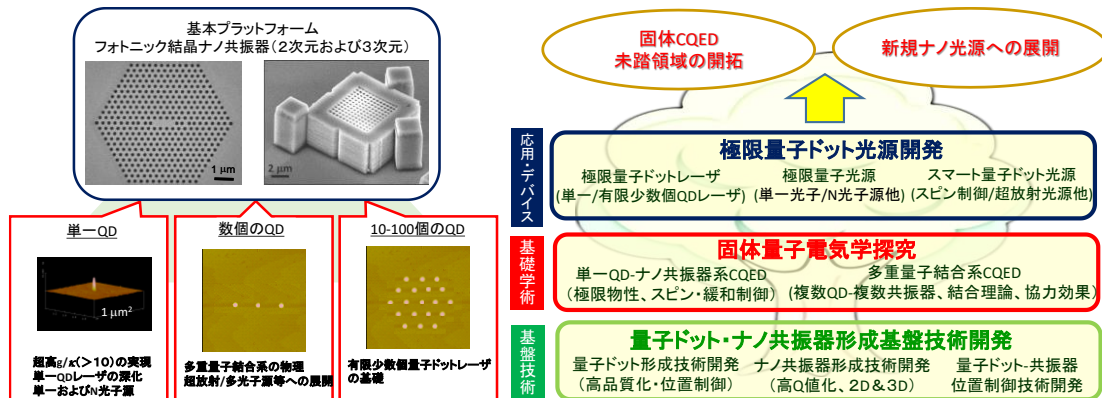


図1：量子ドット・ナノ共振器系と期待される成果

図2：本研究での具体的取組

3. 研究の方法

[① 研究方法]

本研究プロジェクトは、図2に示した3つの研究領域から構成されている。個々の研究領域の進展とその間の有機的結合を推進することで、基盤技術からデバイス物理までの発展的研究展開を図った。

I. 量子ドット・ナノ共振器形成基盤技術開発は、本研究計画の根幹をなすものである。分子線エピタキシー装置を用いた高品質半導体量子ドットの形成技術の洗練に終始一貫して取り組んだ。具体的には、低温結晶成長やポストアニーリング等を用いて量子ドットの形状および荷電状態制御を行い、大きな振動子強度と高い光学品質の両立を目指した。もう一つの研究の柱となる高 Q 値フォトニック結晶ナノ共振器の形成技術の開発にも長期的な視点から取り組んだ。半導体微細加工技術の追求を行うとともに、材料吸収による Q 値劣化の克服も目指した結晶成長

およびポストプロセスの改善も進めた。また共振器設計の視点からも、ナノ加工技術の精度を考慮した高 Q 値共振器設計を進めた。同時に、3次元フォトニック結晶についても、高 Q 値ナノ共振器や円偏光共振器の実現に向けた作製技術の開発を進めた。

II. 固体量子電気力学探究では、高度な量子ドット・ナノ共振器で発現する CQED 現象を実験・理論の両面から追求した。光学実験には自作の低温顕微分光システム用い、対象となる物理現象に応じてシステムをカスタマイズすることで、固体 CQED の根幹に関わる幾つかの実験に取り組んだ。理論面においても、多彩な励起状態を取り込んだ量子ドット・ナノ共振器系の理論を用い、新規量子光発生スキームの検討などを行った。さらには、スピン状態およびナノ共振器の偏光状態制御によるスピン自由度を活用した CQED 効果の探究も進めた。

III. 極限量子ドット光源開発においては、有限少数個量子ドットレーザに関して、基礎学理構築から応用を見据えた幅広い研究を展開した。有限少数個量子ドットレーザにおいては、共振器内量子ドット数が 2~100 程度の系に着目し、そのレーザ特性を顕微分光法により明らかにすることを目指した。理論面からも、量子マスター方程式などを用い、数値計算を援用しつつレーザの出力・安定性・変調特性などを議論した。同時に、多重量子結合 CQED 系特有の創発的現象を探り、その特性を活かした新ナノ光源に関する研究も理論・実験両面から推進した。また、これら量子光源の室温動作を目指し、窒化物半導体量子ドットの利用についても検討を行った。

【 ② 研究を遂行する上で生じた問題点及びその解決方法 】

結晶成長装置の不具合

〔問題点〕 2017、2019 年に、本研究に用いる量子ドット構造を形成する結晶成長装置（分子線エピタキシー装置）の材料枯渇や一部の不具合が生じ、当装置のメンテナンスが必要となった。

〔解決方法〕 故障要因となっていた部品を素早く特定し、綿密なメンテナンススケジュールを計画・実行することで、可能な限り迅速に装置を復旧させた。

博士研究員の登用について

〔問題点〕 研究を加速するために、研究初年度に博士研究員数名の登用を試みたが、良い人材からの応募がなく、平成 27 年度内の雇用を断念せざるを得なかった。

〔解決方法〕 研究グループにおける大学院生らの協力を得て研究遂行は滞り無く進めることができた。また、その後特任助教等を雇用し、大学院生をさらに配置し、研究を加速させた。

【 ③ 当初に予定していた研究経費の使用計画を変更して行った研究計画・研究方法 】

上記②でも述べたように、高品質低密度量子ドットを形成するための結晶成長装置に予測できない不具合が複数回発生した。特に 2019 年の故障に関しては、予算計画を一部変更し当該結晶成長装置の修理に充てる必要が発生した。また、当初の研究構想を超える発見（2018 年）やコロナ禍（2020 年上半以降）へ対応する目的で予算計画の一部を柔軟に変更し研究の加速や継続を図った。これらの予算計画変更起因した研究計画の大きな変更は生じなかった。

【 ④ 研究進捗評価で受けた指摘事項に対する対応状況 】

本研究プロジェクトは順調に進展していたため、評価コメントにおいては特段の指摘はなかったものの成果周知のための情報発信や一層の研究進展に向けた期待が述べられていた。以下では、情報発信に対する我々の対応を記述する。

研究成果の発信

研究成果は、国際論文誌・国際学会等で積極的に発表した。特別推進研究に対する謝辞を記載して発表した国際論文誌の件数は 70 件にもものぼる。また、国際会議においても、プレナリーおよびキーノート講演（33 件）、招待講演（93 件）を含む多くの講演を行うことにより、研究成果および関連分野の積極的な発信に努めた。また、国内外の論文誌や専門誌に多数のレビュー論文（11 件）を発表し、まとまった形で成果を宣伝することができた。

4. 研究成果

【 ① 本研究課題による研究成果 】

I. 量子ドット・ナノ共振器形成基盤技術開発

高品質低密度量子ドットの成長技術を発展させ、結晶成長の観点から荷電状態制御を達成することに成功した。また、ナノワイヤ量子ドットや InGaN 系量子ドットなどの高品質結晶成長に

も成功した。さらには、共振器との結合状態評価に有用な共振器内量子ドットのナノ精度位置読み出し技術を開発した (図 3 (a))。

また、加工条件や光学設計の最適化を通じて、極小モード体積 2 次元フォトニック結晶ナノ共振器の高 Q 値化を実現し、同共振器を用いた量子ドットとの強結合を実現した。量子ドットを含むナノ共振器として世界最高の Q 値 16 万を実現するとともに (図 3 (b))、量子ドット CQED 系として世界最高の性能指 $g/\kappa = 6.4$ を達成した (図 3 (c))。

3 次元フォトニック結晶ナノ共振器においても、新規プレート積層手法を見出し、60 層を超える積層を実現することで、高 Q 値化ならびにナノレーザと 3 次元光導波路の同時集積技術の世界に先駆けて構築することに成功した (図 3 (d))。

一方、量子ドットの空間的なランダム分布を克服し高品質多重量子結合系を実現する手法として微小フォトニック構造の転写技術の開発も進め、量子ドット-ナノ共振器系と細線光導波路との光結合や同系における強結合現象の観測に成功した (図 3 (e))。

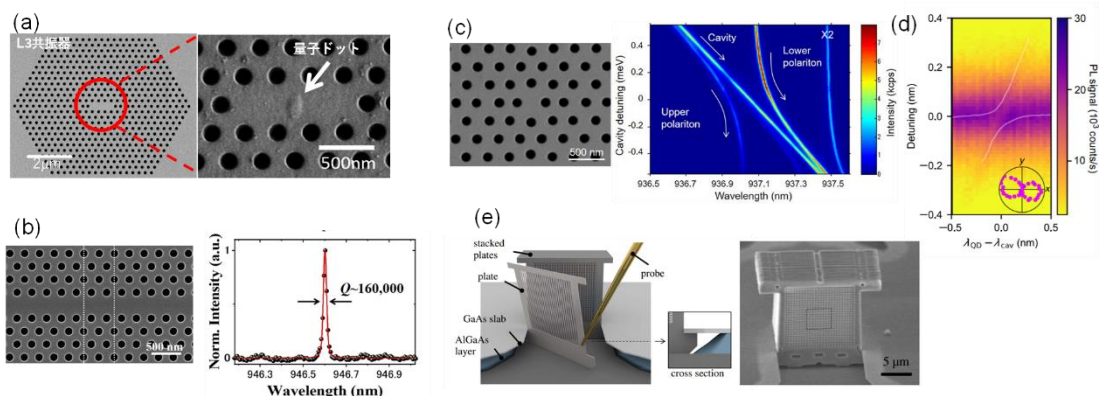


図 3 (a)量子ドット位置読み取り技術、(b)高Q値ナノ共振器の実現、(c)高性能指数を示す量子ドットナノ共振器強結合系、(d)三次元フォトニック結晶におけるナノレーザと導波路の同時集積、(e)導波路結合系で観測した強結合状態

II. 固体量子電気力学探究

単一・複数量子ドット-ナノ共振器結合系における極限物性および CQED 効果の発現について多様な観点から理論検討を行った。例えば、複数量子ドット-複数共振器結合系において、決定論的に量子もつれ状態 (NOON 状態) を生成する手法を理論提案 (図 4 (a)) するとともに、励起子分子共鳴を用いることで、高純度な単一光子発生が可能であることを理論的に指摘した。加えて、量子ドット-共振器系の発光における周波数フィルタ効果やその量子相関への影響について理論的に明らかにした。また、励起子-励起分子間の光学遷移における幾何学位相を制御することで真空ラビ振動を超高速に制御できることを示した (図 4 (b))。

また、縮退共振器モードを活用した量子ドットスピン-軌道角運動量変換を検討し、量子ドットから光の角運動量状態の直接生成や光軌道角運動量状態励起により共振器内部に円偏光特異点を実現可能であることを見出した (図 4 (c))。さらには、微小共振器内部でのスピン軌道相互作用に着目するにより、量子ドットへのスピン注入で発振方向を制御可能な光微小共振器を設計した (図 4 (d))。

実験的には、量子ドット-ナノ共振器強結合系における真空ラビ振動を詳細に解析し、位相緩和やキャリア注入時間といった重要パラメータを推定することに成功した (図 4 (e))。また、フォトニック結晶の CQED 効果を活用した量子ドット動的核スピン偏極の制御や、カイラル 3 次元フォトニック結晶におけるスピン偏極共振器モードを観測するとともに、同系における量子ドットの自然放出を調べることで、円偏極した真空場の存在を示すことに成功した。

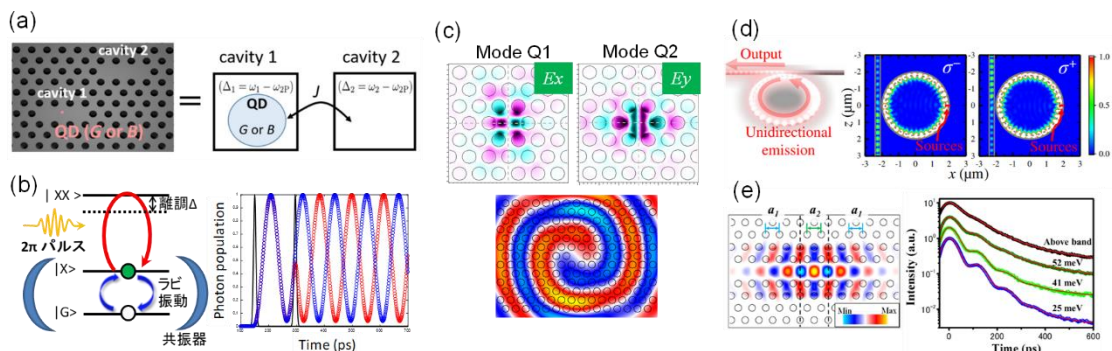


図 4 (a)NOON 状態生成スキーム、(b)幾何学位相を用いた真空ラビ振動の制御、(c)量子ドット-ナノ共振器系からの光角運動量状態生成、(d)スピン依存一方向出射レーザー、(e)真空ラビ振動の時間領域測定

III. 極限量子ドット光源開発

有限少数個量子ドットレーザに関しては、フォトニック結晶ナノ共振器系およびナノワイヤ量子ドット系の双方を用いて探求を行った。前者に関しては、世界で初めて無閾値量子ドットレーザ発振を実現することに成功した (図5 (a))。また、ナノワイヤ量子ドットにおいてもレーザ発振を実現した。これは世界最小の量子ドットレーザと位置付けることができる (図5 (b))。

また、量子ドットナノ共振器結合系と光導波路との結合系も実験的に探求した。その結果、量子ドットを用いて発生させた単一光子やレーザ光をシリコンなどで形成された導波路へ高効率に結合することに成功した (図5 (c))。

また、ナノワイヤ量子ドット・自己形成量子ドット双方においてプラズモニック効果を活用したレーザ発振も実現するとともに (図5 (d))、プラズモニック共振器における広帯域な発光寿命短縮効果や単一プラズモン生成の観測にも成功した。

一方、窒化物を活用することで、ナノワイヤ量子ドットから世界最高動作温度である350K(77°C)での単一光子発生を達成するとともに (図5 (e))、窒化物微小共振器作製技術も洗練することにより、室温での強結合状態の観測に至っている。また、界面ゆらぎ量子ドットからの高純度単一光子発生に成功した。

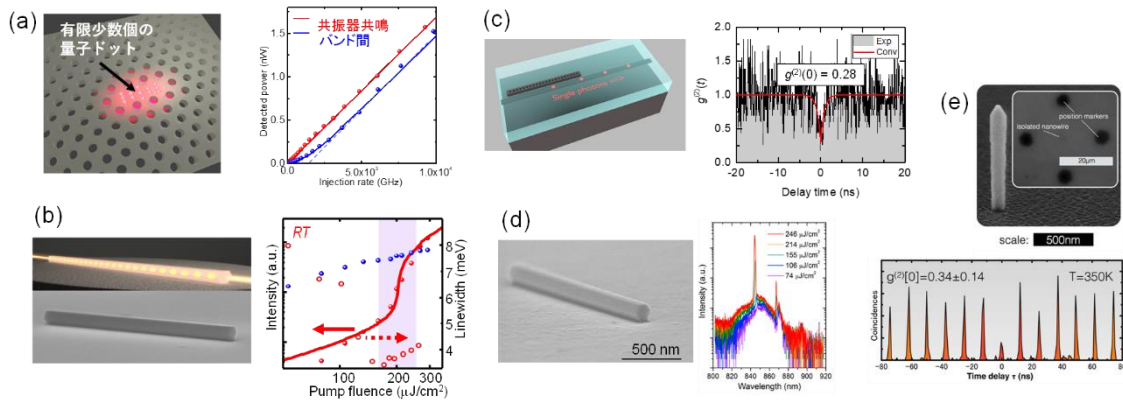


図5 (a)無閾値量子ドットレーザ、(b)ナノワイヤ量子ドットレーザ、(c)導波路結合型量子ドット単一光子源、(d)プラズモニックナノワイヤ量子ドットレーザ、(e)350Kで動作するGaIn量子ドット単一光子源

【 ② 当初に予見していなかった新たな展開等によって得られた研究成果 】

研究プロジェクト中盤から光バンドのトポロジーに着目した光学設計を徐々に取り込んで研究を推進した。これは当初予見していなかった研究の方向性であるものの、トポロジーを考慮することでナノ共振器等の設計に新たなパラダイムが導入され、本プロジェクトに新たな展開とより一層の成果がもたらされた。

まず、トポロジカルな概念に基づいたナノ共振器の設計を行った (図6 (a))。同共振器を量子ドットと結合させその振る舞いを調べるとともに、レーザ発振を得ることにも成功している。これは世界初のトポロジカルナノ共振器レーザであると位置づけられる。さらには、高次トポロジカルフォトニック結晶に着目した研究も進め、トポロジカルコーナー状態による光ナノ共振器の設計を見出すとともに、量子ドットとの結合を実験的に観測することに成功した (図6 (b))。また、トポロジカルな概念を用いた低群速度光導波路の設計を見出し、量子ドットとの光学的な結合を観測することにも成功している (図6 (c))。同系は、QED効果による発光促進と急峻導波路曲げに対してロバストな光伝搬特性を同時に達成しており、今後ロバストな量子ドット単一光子源としての応用が期待される。一方、結合共振器系で発現するトポロジカル境界状態を活用した高出力レーザの可能性について理論的な検討も行った (図6 (d))。

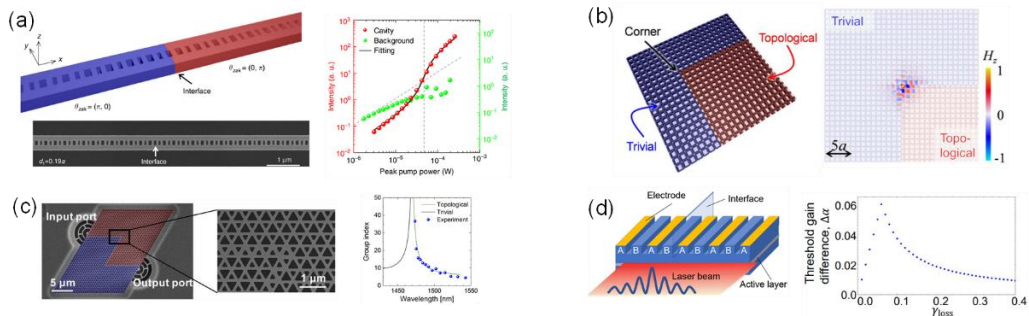


図6 (a)トポロジカルナノ共振器量子ドットレーザ、(b)トポロジカルコーナー状態と量子ドットの結合系、(c)トポロジカルスローライト導波路、(d)トポロジカル高出力レーザの理論検討

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計86件: 謝辞に本研究が記載の論文のみをカウント)

1. WB. Lin, Y. Ota, Y. Arakawa, S. Iwamoto, “Microcavity-based generation of full Poincare beams with arbitrary skyrmion numbers”, *Phys. Rev. Res.*, 査読有, 3, 023055 (2021), DOI: 10.1103/PhysRevResearch.3.023055
2. S. Xia, T. Aoki, K. Gao, M. Arita, Y. Arakawa, and M. J. Holmes, “Enhanced Single-Photon Emission from GaN Quantum Dots in Bullseye Structures”, *ACS Photonics*, 査読有, 8, 1656 (2021), DOI: 10.1021/acsp Photonics.1c00032
3. S. Iwamoto, Y. Ota, and Y. Arakawa (Invited), “Recent progress in topological waveguides and nanocavities in a semiconductor photonic crystal platform”, *Opt. Mater. Express*, 査読有, 11, 319 (2021), DOI: 10.1364/OME.415128
4. F. P. García de Arquer, D. V. Talapin, V. I. Klimov, Y. Arakawa, M. Bayer, and E. H. Sargent, “Semiconductor quantum dots: Technological progress and future challenges”, *Science*, 査読有, 373, 6555, eaaz8541 (2021), DOI: 10.1126/science.aaz8541
5. K. Kuruma, Y. Ota, M. Kakuda, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Strong Coupling Between a Single Quantum Dot and an L4/3 Photonic Crystal Nanocavity”, *Appl. Phys. Express*, 査読有, 13, 82009 (2020), DOI: 10.35848/1882-0786/aba7a8
6. Y. Arakawa and M. Holmes, “Progress in quantum-dot single photon sources for quantum information technologies: a broad spectrum overview”, *Appl. Phys. Rev.*, 査読有, 7, 021309 (2020), DOI: 10.1063/5.0010193
7. K. Kuruma, Y. Ota, M. Kakuda, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Surface-passivated high-Q GaAs photonic crystal nanocavity with quantum dots”, *APL Photonics*, 査読有, 5, 046106 (2020), DOI: 10.1063/1.5144959
8. Y. Ota, K. Takaka, T. Ozawa, A. Amo, Z. Jia, B. Kante, M. Notomi, Y. Arakawa, and S. Iwamoto, “Active topological photonics”, *Nanophotonics*, 査読有, 9, 547 (2019), DOI: 10.1515/nanoph-2019-0376
9. W. Lin, Y. Ota, S. Iwamoto, Y. Arakawa, “Spin-dependent directional emission from a quantum dot ensemble embedded in an asymmetric waveguide”, *Opt. Lett.*, 査読有, 44, 3749 (2019), DOI: 10.1364/OL.44.003749
10. Y. Ota, F. Liu, R. Katsumi, K. Watanabe, K. Wakabayashi, Y. Arakawa, and S. Iwamoto, “Photonic crystal nanocavity based on a topological corner state”, *Optica*, 査読有, 6, 786 (2019), DOI: 10.1364/OPTICA.6.000786
11. T. Tajiri, S. Takahashi, Y. Ota, K. Watanabe, S. Iwamoto, Y. Arakawa, “Three-dimensional photonic crystal simultaneously integrating a nanocavity laser and waveguides”, *Optica*, 査読有, 63, 296 (2019), DOI: 10.1364/OPTICA.6.000296
12. A. Osada, Y. Ota, R. Katsumi, M. Kakuda, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Strongly Coupled Single-Quantum-Dot-Cavity System Integrated on a CMOS-Processed Silicon Photonic Chip”, *Phys. Rev. Appl.*, 査読有, 11, 024071 (2019), DOI: 10.1103/PhysRevApplied.11.024071
13. Y. Ota, R. Katsumi, K. Watanabe, S. Iwamoto and Y. Arakawa, “Topological photonic crystal nanocavity laser”, *Commun. Phys.*, 査読有, 1, 86 (2018), DOI: 10.1038/s42005-018-0083-7
14. C. F. Fong, Y. Ota, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Scheme for media conversion between electronic spin and photonic orbital angular momentum based on photonic nanocavity”, *Opt. Express*, 査読有, 26, 21219 (2018), DOI: 10.1364/OE.26.021219
15. Y. Ota (Invited), K. Watanabe, M. Kakuda, S. Iwamoto and Y. Arakawa, “Advanced Photonic Crystal Nanocavity Quantum Dot Lasers”, *IEICE Trans. Electron*, 査読有, E101-C, 553 (2018), DOI: 10.1587/transele.E101.C.553
16. K. Kuruma, Y. Ota, M. Kakuda, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Time-resolved vacuum Rabi oscillations in a quantum-dot-nanocavity system”, *Phys. Rev. B*, 査読有, 97, 235448 (2018), DOI: 10.1103/PhysRevB.97.235448
17. R. Katsumi, Y. Ota, M. Kakuda, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Transfer-printed single-photon sources coupled to wire waveguides”, *Optica*, 査読有, 5, 691 (2018), DOI:10.1364/OPTICA.5.000691
18. H. Endo, C. Hotta, A. Shimizu, “From Linear to Nonlinear Responses of Thermal Pure Quantum States”, *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, 121, 220601 (2018), DOI: 10.1103/PhysRevLett.121.220601
19. Y. Ota, D. Takamiya, R. Ohta, H. Takagi, N. Kumagai, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Large vacuum Rabi splitting between a single quantum dot and an H0 photonic crystal nanocavity”, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, 112, 093101 (2018), DOI: 10.1063/1.5016615
20. S. Takahashi, Y. Ota, T. Tajiri, J. Tatebayashi, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Circularly polarized vacuum field in three-dimensional chiral photonic crystals probed by quantum dot emission”, *Phys.Rev.B*, 査読有, 96, 195404 (2017), DOI: 10.1103/PhysRevB.96.195404
21. Y. Ota, M. Kakuda, K. Watanabe, S. Iwamoto and Y. Arakawa, “Thresholdless quantum dot nanolaser”, *Opt. Express*, 査読有, 25, 17, 19981 (2017), DOI: 10.1364/OE.25.019981
22. K. Kamide, Y. Ota, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Method for generating a photonic NOON state with quantum dots in coupled nanocavities”, *Phys. Rev. A*, 査読有, 96, 013853 (2017), DOI:

10.1103/PhysRevA.96.013853

23. CF. Fong, Y. Ota, S. Iwamoto, Y. Arakawa, “Manipulation of dynamic nuclear spin polarization in single quantum dots by photonic environment engineering”, Phys. Rev. B, 査読有, 95, 245423 (2017), DOI: 10.1103/PhysRevB.95.245423
24. M. Arita, F. Le Roux, M. J. Holmes, S. Kako, and Y. Arakawa, “Ultraclean single photon emission from a GaN quantum dot”, Nano Lett., 査読有, 17, 2902 (2017), DOI: 10.1021/acs.nanolett.7b00109
25. K. Kuruma, Y. Ota, M. Kakuda, D. Takamiya, S. Iwamoto and Y. Arakawa, “Position dependent optical coupling between single quantum dots and photonic crystal nanocavities”, Appl. Phys. Lett., 査読有, 109, 071110 (2016), DOI: 10.1063/1.4961389
26. K. Fujikura and A. Shimizu, “Universal Property of Quantum Measurements of Equilibrium Fluctuations and Violation of Fluctuation-Dissipation Theorem”, Phys. Rev. Lett., 査読有, 117, 010402 (2016), DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.010402
27. S. Iwamoto, S. Takahashi, T. Tajiri, and Y. Arakawa, “Semiconductor Three-Dimensional Photonic Crystals with Novel Layer-by-Layer Structures”, Photonics, 査読有, 3, 34, (2016), DOI: 10.3390/photonics3020034
28. M. Holmes, S. Kako, K. Choi, M. Arita and Y. Arakawa, “Single Photons from a Hot Solid-State Emitter at 350 K”, ACS Photonics, 査読有, 3, 543 (2016), DOI: 10.1021/acsphotonics.6b00112
29. J. Ho, J. Tatebayashi, S. Sergent, C. F. Fong, Y. Ota, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “A Nanowire-Based Plasmonic Quantum Dot Laser”, Nano Lett., 査読有, 16, 2845 (2016), DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b00706
30. K. Kamide, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Eigenvalue decomposition method for photon statistics of frequency-filtered fields and its application to quantum dot emitters”, Phys. Rev. A, 査読有, 92, 033833 (2015), DOI: 10.1103/PhysRevA.92.033833
31. T. Tajiri, S. Takahashi, Y. Ota, J. Tatebayashi, S. Iwamoto, and Y. Arakawa, “Demonstration of a three-dimensional photonic crystal nanocavity in $\langle 110 \rangle$-layered diamond structure”, Appl. Phys. Lett., 査読有, 107, 071102 (2015), DOI: 10.1063/1.4928666

[学会発表] (計 4 4 5 件)

1. Y. Arakawa (Invited), “Advances in Quantum Dot Single Photon Sources”, 2020 Virtual MRS Spring Meeting & Exhibit S.EL06.05.03 (2020).
2. Y. Arakawa (Special Lecture), “The Fundamentals of Quantum Dots for Advanced Photonics”, Compound Semiconductor Week 2019 (CSW) May 19-23, 2019, Kasugano International Forum, Nara, Japan (2019).
3. Y. Arakawa (Keynote), “Advances in quantum-dot light sources”, Physics and Simulation of Optoelectronic Devices, SPIE Photonics West, California, USA. (2018).
4. Y. Arakawa (Plenary), “Excitonic and Polaritonic in Quantum Dot with Photonic Nanostructures”, Excitonic and Polaritonic International Conference, Singapore (2018).
5. S. Iwamoto (Invited), Y. Ota, K. Kuruma, T. Tajiri, S. Takahashi, R. Katsumi, M. Kakuda, K. Watanabe and Y. Arakawa, “Tailored Disorders in Photonic Crystals for Laser and Cavity QED Applications”, The 2018 Materials Research Society (MRS) Fall Meeting, EP07.10.01, Boston, USA, (2018).
6. Y. Arakawa (Plenary), “Advances in quantum dot for advanced photonics”, The 48th Winter Colloquium on the Physics of Quantum Electronics (PQE), Utah, USA (2018).
7. Y. Arakawa (Plenary), “Single photon emission at room temperature from III-Nitride nanowire quantum dots”, The 15th International Conference on Advanced Materials 2017(IUMRS-ICAM), Kyoto, Japan(2017).
8. S. Iwamoto (Invited), Y. Ota, S. Takahashi, K. Kurum, and Y. Arakawa, “Quantum dot cavity quantum electrodynamics with photonic crystals”, SPIE Photonic West 2016, San Francisco, California, USA (2016).
9. Y. Ota (Invited), K. Kuruma, M. Kakuda, S. Iwamoto and Y. Arakawa, “Cavity quantum electrodynamics using semiconductor quantum dots embedded in photonic crystal nanocavities”, The CEMS International Symposium on Dynamics in Artificial Quantum Systems, Tokyo, Japan (2016).
10. Y. Arakawa (Plenary), “Quantum dots for nanophotonic devices ~ From science to practical implementation ~”, International Conference on Applied Optics and Photonics, Hannover, Germany (2016).

[図書] (計 2 件)

1. 荒川泰彦 (監修)、岩本敏、金光義彦、高原淳一、立間徹 (編集)、”光と物質の量子相互作用ハンドブック”, エヌ・ティイー・エス, 2022 年秋出版予定
2. Y. Arakawa, T. Nakamura, and J. Kwoen, "Quantum dot lasers for silicon photonics" Future Directions in Silicon Photonics, Semiconductors and Semimetals, Elsevier 101, 2019, 91 138 (2019).

[その他]

ホームページ : <http://qdot.iis.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：岩本 敏

ローマ字氏名：IWAMOTO Satoshi

所属研究機関名：東京大学

部局名：先端科学技術研究センター

職名：教授

研究者番号（8桁）：40359667

研究分担者氏名：清水 明

ローマ字氏名：SHIMIZU Akira

所属研究機関名：東京大学

部局名：総合文化研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：10242033

研究分担者氏名：太田 泰友

ローマ字氏名：OTA Yasutomo

所属研究機関名：東京大学

部局名：ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構

職名：特任准教授

研究者番号（8桁）：90624528

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：越野 和樹

ローマ字氏名：KOSHINO Kazuki

研究協力者氏名：上出 健仁

ローマ字氏名：KAMIDE Kenji

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その