

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：14303

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06085

研究課題名（和文）半導体三次元カイラルフォトンニック結晶共振器による円偏光を介した単一スピン制御

研究課題名（英文）Control of a single spin state by a circularly polarized photon in a semiconductor-based three-dimensional chiral photonic crystal cavity

研究代表者

高橋 駿 (Takahashi, Shun)

京都工芸繊維大学・電気電子工学系・助教

研究者番号：60731768

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,100,000円

研究成果の概要（和文）：円偏光を効率的に制御できる半導体三次元カイラルフォトンニック結晶について、数値計算によって高性能な円偏光共振器を設計し、マイクロマニピュレーション法を含む半導体ナノ加工技術を駆使することで、三次元カイラルウッドパイル構造を作製した。量子ドットを含んだこの試料について、低温顕微フオトルミネッセンス測定を行い、円偏光共振器モードを観測するとともに、円偏光光子と量子ドット励起子との弱結合状態を表すパーセル効果の手掛かりとなる結果を得た。正確な単一性の確認は今後の課題であるものの、円偏光光子を介して単一スピンを制御できたことを示唆する結果と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般にスピンの制御は外部磁場を必要とするが、本研究では、左回り円偏光と右回り円偏光が、上向き電子スピンと下向き電子スピンにそれぞれ一対一に対応することを利用して、ナノスケールで作製した三次元らせん構造に円偏光を閉じ込めることで、構造内部のスピンを効率的に制御することに成功した。実用に不向きな外部磁場の代わりに、幾何学的なカイラリティによってスピンを制御できるため、スピンや偏光の高効率な初期化や高感度センサなど、フォトンクスおよびスピントロニクスへの応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Cavities for circularly polarized light with a high quality was designed by numerical calculations for semiconductor-based three-dimensional chiral photonic crystals which are able to control circularly polarized light. Based on this design, a three-dimensional chiral woodpile structure was fabricated by semiconductor nano-fabrication methods including a micro-manipulation technique. For this sample containing quantum dots, micro-photoluminescence measurements at low temperature revealed a cavity mode for circularly polarized light and indicated the Purcell effect between a circularly polarized photon and an exciton in a quantum dot. Though additional accurate measurements are required for the single photon detection, this result suggests the control of a single spin through a circularly polarized photon in the cavity.

研究分野：電子デバイス・電子機器

キーワード：フォトンニック結晶

1. 研究開始当初の背景

光子は周囲の電氣的・磁氣的な環境との相互作用が小さいため、偏光状態などを利用した通信の量子ビットとして期待されている。また、固体中の電子・正孔のスピンの角運動量は演算用の量子ビットに適している。これらふたつの物理量を接続するのが光子-スピン間の角運動量転写であり、左回り円偏光と右回り円偏光が、上向き電子スピンと下向き電子スピンのそれぞれ一対一で対応する。既に、重ね合わせ状態の角運動量転写が単一レベルで報告されており[1]、光子-スピン結合は量子中継器として大規模な量子情報ネットワークへの貢献が期待されている。

これらの応用および高効率化に向けて、円偏光電磁場と物質のスピンの強い相互作用が重要であるが、未だ実現されていない。これは、円偏光電磁場をスピン近傍に空間的にもエネルギー的にも局在させる円偏光共振器の作製が困難なためである。円偏光における電場及び磁場は光の伝播とともにらせん軌跡を描くため、円偏光と相互作用する幾何学的な構造として、波長周期のらせん状に屈折率が変調されたカイラルフォトリソニック結晶 (Photonic Crystal: PC) が挙げられる。実際、三次元らせん PC 構造では、らせんの巻き方と同じカイラリティの円偏光のみが反射される、円偏光ブラッグ反射が起こる。したがって、これを鏡として利用することで片方の円偏光のみを閉じ込める共振器が実現可能であり、円偏光共振器と励起子との弱結合領域ではスピン依存発光レートで、強結合領域ではスピン依存エネルギー分裂で、スピンを制御できる。

最近では、液晶[2]やメタマテリアル[3]などを材料として、可視光または近赤外光の波長程度の周期をもつ三次元カイラル構造が実現されるようになった。しかし、これらの材料ではスピン二準位系をもつ発光体を導入することは困難であり、特にその個数を単一にまで制限することや、内部の不純物を低減して光子との相互作用時間よりも長いスピンコヒーレンス時間を確保することが課題であった。本研究代表者らは、これらの課題を克服可能な半導体での三次元カイラル構造の作製を試み、近年確立されたマイクロマニピュレーション法[4]によって、GaAs で三次元カイラル PC を実現してきた[5]。この PC 構造内に発光体として InAs 自己形成量子ドットを導入することにも成功しており、カイラルフォトリソニック結晶による円偏光共振器を実現することで単一レベルでのスピン制御が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、三次元カイラル PC 共振器を利用して、カイラル構造による円偏光制御と円偏光による固体中のスピン制御を融合することにより、円偏光を介して幾何学的な構造カイラリティの左巻き右巻きによって単一スピンの上向き下向きを制御することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 数値計算による高 Q 値円偏光共振器の設計

まず、カイラル PC 共振器に強く円偏光を閉じ込めるために、有限差分時間領域法 (FDTD 法) によって、高 Q 値円偏光共振器の設計を行った。カイラル PC では円偏光ブラッグ反射によって、片方の円偏光をもつ光が存在しない円偏光フォトリソニックバンドギャップ (Photonic Band Gap: PBG) がらせん軸方向に現れる。このカイラル PC の周期的な配列を人為的に乱し、欠陥を導入することで、円偏光 PBG 内に共振器モードが形成される。本研究では、カイラル PC として、積層型のカイラルウッドパイル構造を採用し、中央に平板を挟んだ面欠陥型共振器構造を検討した。面欠陥周囲のらせん周期の微調整や、面欠陥サイズによるモード体積の調整などによって、高 Q 値円偏光共振器を設計した。

(2) 円偏光共振器の作製

円偏光偏極光子と結合する単一スピンの準備として、高品質な低密度 InAs 量子ドットの結晶成長を依頼した。ドット密度は、カイラル PC の面内サイズ $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ の面積に数個存在する程度とした。この基板を用いて、電子線リソグラフィ技術及びドライ・ウェットエッチング技術によって、 $150\ \text{nm}$ 幅のロッドが $444\ \text{nm}$ の周期で並んだ $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ サイズの薄い (厚さ $190\ \text{nm}$) 層を作製し、マイクロマニピュレーション法によって 1 層ずつ適切な順序で積層することで、カイラル PC 共振器を作製した。

ただし、本研究期間の途中で、走査型電子線顕微鏡 (Scanning Electron Microscope: SEM) を用いたマイクロマニピュレーション法では、円偏光共振器の再現性が著しく低下することが判明した。これは、電子線によって層内の量子ドットの発光強度が減少することが原因と考え、光学顕微鏡を用いたマイクロマニピュレーション法の開発を行った。

(3) 光学測定

作製した円偏光共振器に対して、量子ドットにおける非発光過程を抑制するために、液体ヘリウム温度での低温顕微フォトルミネッセンス (Photo Luminescence: PL) 測定を行った。低温での温度変化に対して、量子ドットを構成する InAs 格子は敏感に膨張・収縮するために、量子ドットのエネルギー準位は大きく変化する。これを利用して、量子ドット発光波長を円偏光共振器

モードに合致させ、パーセル効果によって発光強度や発光寿命が左右円偏光で異なることを観測した。すなわち、量子ドット内の特定のスピンを選択的に発光に寄与させ、もう一方のスピンを残すことによって、スピン制御を行った。

4. 研究成果

(1) 数値計算による高 Q 値円偏光共振器の設計

積層型のカイラルウッドパイル構造の中央に平板を挟んだ面欠陥型共振器構造について、FDTD法による数値計算を行い、円偏光 PBG 内に共振器モードが形成されることを見出した。構造パラメータを調整することで、円偏光共振器 Q 値が 700 から 25,000 まで増大させることに成功し、本研究の目的とする円偏光光子と励起子の結合の実現に向けて、十分大きな Q 値を得ることができた。この成果に関して、蘭国の研究者と国際共同研究を行った。

一方、これらの数値計算の途中で、光のスピン制御につながるトポロジカル現象の存在が、当初の予想に反して明らかになった。スピン制御を目的とした本研究の遂行上、この現象の本質を見極めることが不可欠であることから、国内の研究者と共同研究を行い、トポロジカルエッジ状態の理論的な追及を追加で実施した。

対象とした構造は、図 1 (上) に示した、共振器構造を含む前のカイラルフォトニック結晶である。この構造について、平面波展開法でフォトニックバンド図を計算した結果の一部が図 1 (左下) である。ブリルアンゾーンの対称点である K 点において、矢印で示した点縮退が確認された。さらに、実空間局在基底を用いた手法で、各 k_z におけるセクションチャーン数を計算したところ、ゼロでない値を得たことから、この点縮退が光ワイル点であることを示した。このワイル点の縮退を解くと、ワイル点のトポロジカルチャージに由来するトポロジカルエッジ状態が現れる。実際、図 1 (右下) のように、 k_z を変えることで縮退を解くと、空気との境界面に局在したトポロジカルエッジ状態 (表面状態) が現れることを数値的に確認した。特に、このトポロジカルエッジ状態は、構造のカイラリティに依存した円偏光に偏極していることも判明し、本研究で目的としているスピン制御に利用できることがわかった。

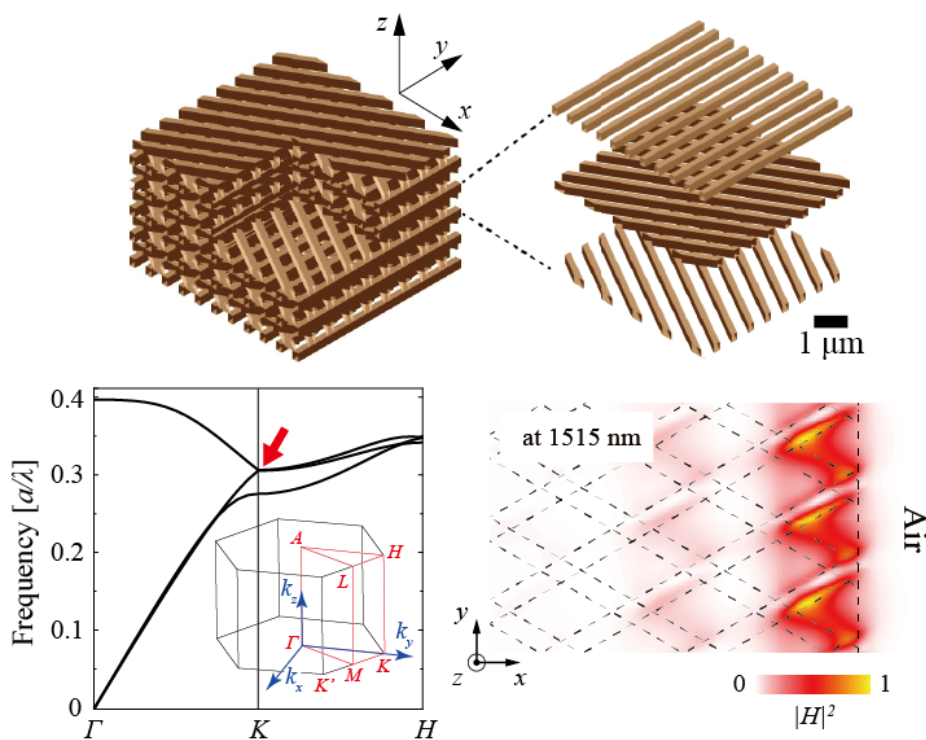


図 1 (上) 対象としたカイラルウッドパイル構造の模式図。(左下) 数値計算で得られたフォトニックバンド構造の一部。矢印が光ワイル点を指す。(右下) ワイル点の縮退を解くことで得られたトポロジカルエッジ状態。

(2) カイラルフォトニック結晶円偏光共振器の作製

(1) で設計した面欠陥構造を有するカイラル PC について、電子線リソグラフィ技術及びドライ・ウェットエッチング技術によって、150 nm 幅のロッドが 444 nm の周期で並んだ $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ サイズの薄い (厚さ 190 nm) 層を作製し、マイクロマニピュレーション法によって 1 層ずつ適切な順序で積層することで、カイラル PC 共振器を作製した。図 2 にその模式図と SEM 像を示す。作製した構造のカイラリティは左巻きで、面欠陥部分には InAs 自己形成量子ドットが高密度で埋め込まれている。

本研究期間の途中で、SEM を用いたマイクロマニピュレーション法では、円偏光共振器の再現性が著しく低下することが判明したため、SEM を用いたマイクロマニピュレーション法から、光

学顕微鏡を用いたマイクロマニピュレーション法に変更した。図 2 は光学顕微鏡観察下で作製した試料であり、積層誤差は、SEM 使用時と同程度の 40 nm 以下に抑えることに成功した。

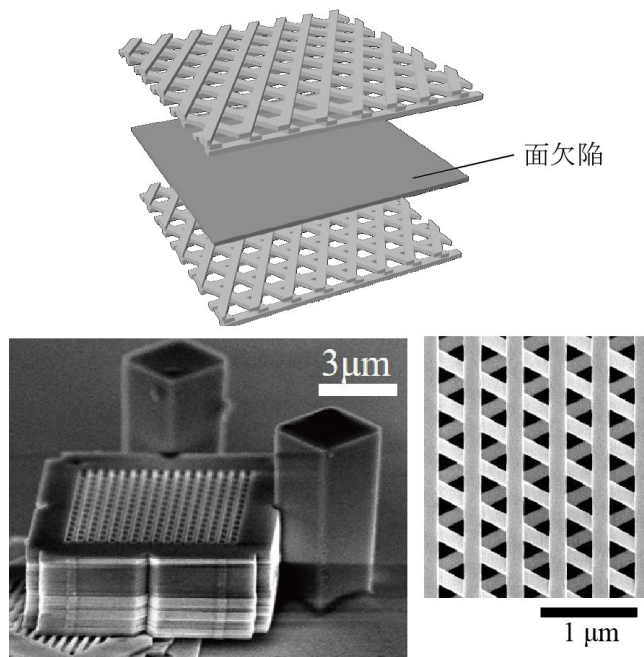


図 2 (上) カイラル PC 円偏光共振器の模式図。(左下) 作製したカイラル PC 円偏光共振器の SEM 像鳥瞰図。(右下) 同試料の拡大上面図。

(3) 円偏光共振器モードの観測と弱結合状態の測定

(2)の構造内の量子ドットを光励起し、発光する近赤外光について偏光を調べながら分光し、その円偏光の純度として、円偏光度(Degree Of Polarization: DOP)を調べた。ここで、右回りの円偏光(Right-handed Circular Polarization: RCP)と左回りの円偏光(Left-handed Circular Polarization: LCP)に対する発光強度をそれぞれ I_{LCP} 、 I_{RCP} として $DOP = (I_{LCP} - I_{RCP}) / (I_{LCP} + I_{RCP})$ である。図 3 (左) に得られた DOP のスペクトルを示す。

まず、波長 1130 nm より長波長側で全体的に DOP が負を示した。この波長範囲は、カイラル PC における LCP バンドギャップの数値計算と一致しており、バンドギャップの影響により LCP に接続する真空場の状態密度が抑制されたためと考えられる。次に、この円偏光 PBG 中の 1160 nm で DOP が逆転して、RCP に偏極した発光を示すピークが存在している。これが面欠陥構造を導入したことによる円偏光共振器モードと考えられる。そこで、測定温度を 10 - 80 K で変化させ、DOP スペクトルの温度依存性を示したのが図 3 (右) である。円偏光共振器モードの波長は、0.05 nm/K の温度依存性を示し、これは量子ドット発光波長の温度依存性 (0.12 nm/K) よりも小さかった。また、励起位置依存性も調べたところ、構造の中心から離れるほど、この DOP ピークの大きさが減少した。以上の実験結果から、この DOP ピークは円偏光共振器モードと結論づけられた。

特に、円偏光共振器ピークの温度変化では、70 - 80 K においてピーク強度の著しい増加が観測された。これは、特定の発光強度の高い量子ドットの発光波長が、温度変化によって円偏光共振器モードの波長と一致したことで起こったパーセル効果を示唆する結果であり、単一スピンの結合と考えられる。

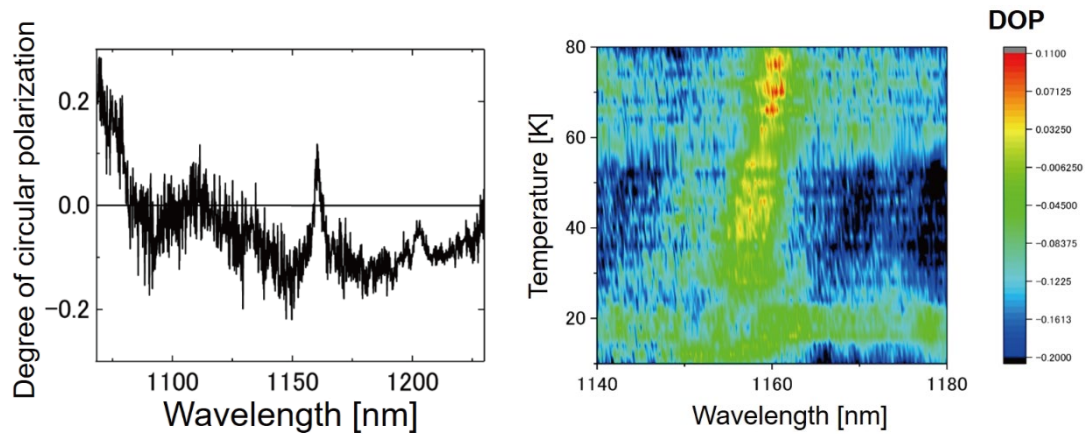


図3 (左) 測定した円偏光 PL 強度から得られた DOP の波長依存性。波長 1160 nm 付近のピークが円偏光共振器モード。(右) DOP の測定温度依存性。

また、ウッドパイル構造における共振器について時間分解 PL 測定を行ったところ、図4のように共振器内の量子ドットの発光寿命が、ナノ構造のない部分での量子ドットの発光寿命よりも 1.9 倍程度速いことを観測した。この寿命の変化はパーセル効果に起因するものであり、単一の量子ドットとの結合を示唆する結果である。ただし、単一性の確認には、2 次光子相関関数 $g^{(2)}(\tau)$ の測定が必要であり、今後の課題である。この成果について、研究を実施した学生が国内学会で発表し、奨励賞を受賞した。

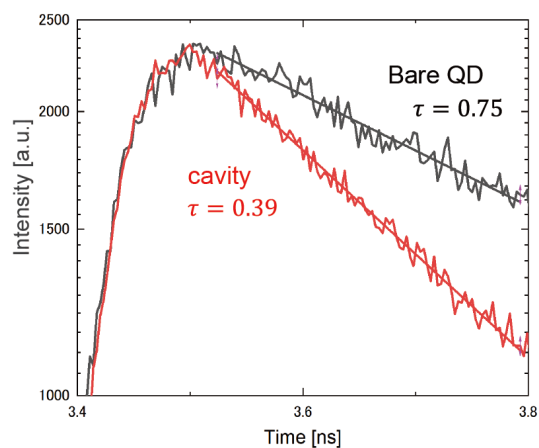


図4 共振器モードの波長における PL 強度の時間減衰。量子ドットの発光減衰と比較すると、発光寿命が 1.9 倍程度速くなっており、パーセル効果を示している。

このように弱結合領域ながら、量子ドット内の励起子と円偏光共振器における円偏光偏極光子の結合を実現し、当初の目的であった、円偏光を介して幾何学的な構造カイラリティによって単一スピンを制御できたことを示唆する結果を得られた。本研究期間中に研究代表者が研究機関を異動し、助教ながら独立した研究室の運営を始めたことで、新たな実験システム構築の必要が発生し、当初に予定していた磁場印加装置などの購入を見送った。今後は、外部磁場印加によるスピンのエネルギー分裂を利用した実験によって、円偏光共振器を用いたスピン制御を正確に測定するほか、強結合領域の実現などが課題である。

<引用文献>

[1] K. D. Greve et al., Nature **491**, 421 (2012), W. B. Gao et al., Nature **491**, 426 (2012).
 [2] H. Coles and S. Morris, Nat. Photon. **4**, 676 (2010).
 [3] J. K. Gansel et al., Science **325**, 1513 (2009).
 [4] A. Tandaechanurat et al., Nat. Photon. **5**, 91 (2010).
 [5] S. Takahashi et al., Optics Express **21**, 29905 (2013).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tajiri T., Takahashi S., Ota Y., Watanabe K., Iwamoto S., Arakawa Y.	4. 巻 6
2. 論文標題 Three-dimensional photonic crystal simultaneously integrating a nanocavity laser and waveguides	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 296 ~ 296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.6.000296	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takahashi Shun, Oono Shuhei, Iwamoto Satoshi, Hatsugai Yasuhiro, Arakawa Yasuhiko	4. 巻 87
2. 論文標題 Circularly Polarized Topological Edge States Derived from Optical Weyl Points in Semiconductor-Based Chiral Woodpile Photonic Crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 123401 ~ 123401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.123401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shun Takahashi, Yasutomo Ota, Takeyoshi Tajiri, Jun Tatebayashi, Satoshi Iwamoto, Yasuhiko Arakawa	4. 巻 118
2. 論文標題 Circularly Polarized Light Emission by Semiconductor-Based Three-Dimensional Chiral Photonic Crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報	6. 最初と最後の頁 7 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takahashi S., Ota Y., Tajiri T., Tatebayashi J., Iwamoto S., Arakawa Y.	4. 巻 96
2. 論文標題 Circularly polarized vacuum field in three-dimensional chiral photonic crystals probed by quantum dot emission	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevb.96.195404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi S., Tajiri T., Watanabe K., Ota Y., Iwamoto S., Arakawa Y.	4. 巻 54
2. 論文標題 High-Q nanocavities in semiconductor-based three-dimensional photonic crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electronics Letters	6. 最初と最後の頁 305 ~ 307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/el.2017.4542	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishimura Takumi, Yamashita Kenichi, Takahashi Shun, Yamao Takeshi, Hotta Shu, Yanagi Hisao, Nakayama Masaaki	4. 巻 43
2. 論文標題 Quantitative evaluation of light-matter interaction parameters in organic single-crystal microcavities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1047 ~ 1047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.43.001047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Higase Youtaro, Morita Shinya, Fujii Toshiyuki, Takahashi Shun, Yamashita Kenichi, Sasaki Fumio	4. 巻 43
2. 論文標題 High-gain and wide-band optical amplifications induced by a coupled excited state of organic dye molecules co-doped in polymer waveguide	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1714 ~ 1714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.43.001714	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 Shun Takahashi, Yasutomo Ota, Takeyoshi Tajiri, Jun Tatebayashi, Satoshi Iwamoto, Yasuhiko Arakawa
2. 発表標題 Circularly polarized light emission by semiconductor-based three-dimensional chiral photonic crystals
3. 学会等名 レーザ・量子エレクトロニクス研究会 (LQE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuzo Kinuta, Takeshi Ishida, Shun Takahashi, Kenichi Yamashita, Jun Tatebayashi, Satoshi Iwamoto, and Yasuhiko Arakawa
2. 発表標題 Circularly Polarized Light Emission from a Chiral Photonic Crystal Fabricated by a Micro-Manipulation Method using an Optical Microscope
3. 学会等名 第37回 電子材料シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukiya Arimitsu, Takeshi Ishida, Shun Takahashi, Kenichi Yamashita, Katsuyuki Watanabe, Satoshi Iwamoto, and Yasuhiko Arakawa
2. 発表標題 Three-Dimensional Photonic Crystal Containing Quantum Dots Fabricated by a Micro-Manipulation Method Using an Optical Microscope
3. 学会等名 第37回 電子材料シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shun Takahashi
2. 発表標題 Circularly polarized topological edge states in a 3D chiral photonic crystal
3. 学会等名 The 4th nano-optics and photonics young researchers meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Tajiri, W. L. Vos, S. Takahashi, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Reflectivity of Finite 3D GaAs Photonic Band Gap Crystals
3. 学会等名 2018 Material Research Society (MRS) Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Takahashi, W. L. Vos, T. Tajiri, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2 . 発表標題 Optical properties of direct versus inverse 3D chiral photonic crystals
3 . 学会等名 2018 Material Research Society (MRS) Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Ishida, S. Takahashi, T. Tajiri, K. Watanabe, Y. Ota, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2 . 発表標題 Three-dimensional photonic crystal nanocavity fabricated by a micro-manipulation technique under optical microscope observation
3 . 学会等名 International Conference on Nanophotonics and Nano-optoelectronics (ICNN) 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Shun Takahashi, Shuhei Oono, Satoshi Iwamoto, Yasuhiro Hatsugai, and Yasuhiko Arakawa
2 . 発表標題 Optical Weyl Points below the Light Line in Semiconductor Chiral Woodpile Photonic Crystals
3 . 学会等名 CLEO:2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Takeyoshi Tajiri, Shun Takahashi, Yasutomo Ota, Katsuyuki Watanabe, Satoshi Iwamoto, and Yasuhiko Arakawa
2 . 発表標題 Guiding of laser light from a nanocavity in a three-dimensional photonic crystal
3 . 学会等名 CLEO:2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Oono, S. Takahashi, S. Iwamoto, Y. Hatsugai, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Photonic band of rotationally-stacked woodpile structure and deformation
3. 学会等名 「トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応の物理とその普遍性：固体物理を越えて分野横断へ」科研費基盤研究S (17H06138) 第1回 スタートアップ研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shun Takahashi, Shuhei Oono, Satoshi Iwamoto, Yasuhiro Hatsugai, and Yasuhiko Arakawa
2. 発表標題 Optical Weyl Points below the Light Line in Semiconductor Chiral Woodpile Photonic Crystals
3. 学会等名 「トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応の物理とその普遍性：固体物理を越えて分野横断へ」科研費基盤研究S (17H06138) 第1回 スタートアップ研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Oono, S. Takahashi, S. Iwamoto, Y. Hatsugai, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Topological edge modes of light in all dielectric chiral woodpile structures stacked with $\pi/4$ in-plane rotation
3. 学会等名 PLMCN18 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Tajiri, S. Takahashi, Y. Ota, K. Watanabe, S. Iwamoto, Y. Arakawa
2. 発表標題 Fabrication and optical characterization of a three-dimensional photonic crystal integrating a nanocavity laser and photonic waveguides
3. 学会等名 ICO-24 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shun Takahashi, Shuhei Oono, Satoshi Iwamoto, Yasuhiro Hatsugai, and Yasuhiko Arakawa
2. 発表標題 Topological Edge States by Resolving Weyl Points in Semiconductor Chiral Woodpile Photonic Crystals
3. 学会等名 ICO-24 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Arakawa, S. Iwamoto, Y. Ota, S. Takahashi, and K. Kruma
2. 発表標題 Recent progress in light-matter interaction in quantum dots with with photonic crystal
3. 学会等名 iNOW2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuji Sakai, Haruki Kiyama, Akira Oiwa, Andreas Wieck, Arne Ludwig, Shun Takahashi, Yasutomo Ota, Satoshi Iwamoto and Yasuhiko Arakawa
2. 発表標題 Anti-dot Lattice Transport in Air-Hole-Type Photonic Crystal Structures
3. 学会等名 Spin Conversion Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野修平, 高橋駿, 岩本敏, 初貝安弘, 荒川泰彦
2. 発表標題 ウッドパイル型カイラルフォトリック結晶における構造変形とバルク・エッジ対応
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 酒井裕司, 木山治樹, 大岩顕, 高橋駿, 太田泰友, 岩本敏, 荒川泰彦
2. 発表標題 フォトニック結晶構造中のアンチドット格子系伝導
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Tajiri, S. Takahashi, Y. Ota, K. Watanabe, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Nanocavity Laser and Photonic Waveguides Integrated in Three-Dimensional Photonic Crystals
3. 学会等名 International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Takahashi, T. Tajiri, Y. Ota, J. Tatebayashi, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Circularly Polarized Spontaneous Emission from Quantum Dots in Three-Dimensional Semiconductor Chiral Photonic Crystals
3. 学会等名 International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 駿, 田尻 武義, 太田 泰友, 館林 潤, 岩本 敏, 荒川 泰彦
2. 発表標題 半導体カイラルフォトニック結晶による円偏光真空場制御～スピン 光子ハイブリッド量子系～
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩本敏, 太田泰友、高橋駿、田尻武義、車一宏、荒川泰彦
2. 発表標題 量子ドット-フォトニック結晶結合系における発光制御
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Takahashi, Y. Ota, T. Tajiri, J. Tatebayashi, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Circularly Polarized Spontaneous Emission in Semiconductor-Based Three-Dimensional Chiral Photonic Crystals
3. 学会等名 The 36th Electric Materials Symposium
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩本敏、太田泰友、高橋駿、田尻武義、荒川泰彦
2. 発表標題 フォトニック結晶による発光制御と最近の進展
3. 学会等名 The 36th Electric Materials Symposium (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 駿, 太田 泰友, 田尻 武義, 館林 潤, 岩本 敏, 荒川 泰彦
2. 発表標題 半導体三次元カイラルフォトニック結晶による円偏光発光制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会 (LQE)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Takahashi, S. Oono, S. Iwamoto, Y. Hatsugai, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Optical Weyl points and topological edge states in semiconductor chiral photonic crystals
3. 学会等名 International workshop "Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts" (BEC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Takahashi
2. 発表標題 Circularly polarized light emission and topological edge states in 3D chiral photonic crystals
3. 学会等名 Nano-photonics Special Lecture & Young Researchers' Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石田丈, 高橋駿, 田尻武義, 渡邊克之, 太田泰友, 岩本敏, 荒川泰彦
2. 発表標題 光学顕微鏡マイクロマニピュレーションにより作製した三次元フォトニック結晶ナノ共振器の光学特性評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩本敏, 車一宏, 酒井裕司, 木山治樹, 大岩顕, 高橋駿, 太田泰友, Julian Ritzmann, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, 荒川泰彦
2. 発表標題 ポアンカレインターフェースの実現に向けたフォトニックナノ構造技術の開発
3. 学会等名 「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」年度末シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 駿、大野 修平、岩本 敏、初貝 安弘、荒川 泰彦
2. 発表標題 半導体カイラルフォトンニック結晶におけるワイル点とトポロジカルエッジ状態
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田尻 武義、高橋 駿、太田 泰友、渡邊 克之、岩本 敏、荒川 泰彦
2. 発表標題 ナノ共振器レーザと導波路を集積した三次元フォトンニック結晶光回路
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石田 文、高橋 駿、田尻 武義、太田 泰友、館林 潤、岩本 敏、荒川 泰彦
2. 発表標題 光学顕微鏡マイクロマニピュレータによる三次元フォトンニック結晶の作製
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野修平、高橋駿、岩本敏、初貝安弘、荒川泰彦
2. 発表標題 全誘電体ウッドパイル型カイラルフォトンニック結晶におけるトポロジカルエッジモード
3. 学会等名 日本物理学会第72回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Takahashi, Y. Ota, T. Tajiri, J. Tatebayashi, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Three-dimensional chiral photonic crystals towards circularly polarized lasers
3. 学会等名 The 2nd Nano-optics and photonics young researchers meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Tajiri, S. Takahashi, Y. Ota, K. Watanabe, S. Iwamoto, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Guiding of laser light from a nanocavity in a three-dimensional photonic crystal
3. 学会等名 CLEO:2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Takahashi, S. Oono, S. Iwamoto, Y. Hatsugai, and Y. Arakawa
2. 発表標題 Optical Weyl Points below the Light Line in Semiconductor Chiral Woodpile Photonic Crystals
3. 学会等名 CLEO:2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オランダ	University of Twente			