

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02197

研究課題名(和文) A novel design of integrated optical circuits and nanolaser devices using 2D and quantum dot perovskites

研究課題名(英文) A novel design of integrated optical circuits and nanolaser devices using 2D and quantum dot perovskites

研究代表者

何 亜倫 (Ho, Ya-Lun)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・特任助教

研究者番号：20815386

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：ペロブスカイトは、小型レーザーなどの光集積デバイスにおいて有望な材料です。既存のペロブスカイトレーザーは、CVDや溶液成長などの方法で成長されますが、基板上での正確なパターン化ができず、実用的な応用が制限されています。本研究では、ペロブスカイト量子ドットを基にしたレーザーアレイを実現するための自己修復リソグラフィパターンニング技術を開発しました。この技術は標準の半導体プロセスと互換性があり、ペロブスカイトを用いた高品質で大面積かつ高結晶性、サイズ制御が正確なレーザーの実現が可能です。本研究は、ペロブスカイトを基盤としたナノフォトニクスへの進歩に新たな可能性をもたらすものです。

研究成果の学術的意義や社会的意義

The work presents a general technique for realizing nano/microstructures based on perovskite quantum dots. It combines the benefits of crystallization and top-down fabrication, and shows the potential to open up new opportunities for the development of integrated perovskite devices in the industry.

研究成果の概要(英文)：Perovskites are highly promising for advanced photonic devices, such as small lasers, which play a crucial role in photonic integrated circuits. To date, existing perovskite lasers are typically grown as individual single crystals using methods like CVD or solution growth. However, these individual lasers cannot be precisely patterned or aligned on a substrate, limiting their practical applications. In this project, we have successfully developed a novel self-healing lithographic patterning technique for realizing laser arrays based on perovskite quantum dots. This technique is compatible with standard semiconductor processes and offers significant advantages. It greatly improves the cavity quality of lithographic laser arrays, allowing for the fabrication of high-quality, large-area, high-crystallinity, and precisely size-controlled laser and photonic components using perovskites. Our work opens up new possibilities for the advancement of perovskite-based photonic devices.

研究分野：ナノフォトニクス

キーワード：ナノレーザー ペロブスカイト 量子ドット ナノ結晶 ナノフォトニクス プラズモニクス ナノ加工 光デバイス

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、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

ハロゲン化鉛ペロブスカイトは、溶液プロセスで 25%以上の太陽電池の変換効率を達成するなど、その優れた光起電力性能で大きな注目を集めている。この材料は、高い光吸収係数、長いキャリア寿命、長い拡散長などの優れた物理的特性を有しており、光起電力アプリケーションに最適である。さらに、ハロゲン化鉛ペロブスカイトは、構造工学と組成の調整により、紫外から近赤外まで色を調整できる優れた蛍光収率を示す。このような汎用性の高さから、ハロゲン化鉛ペロブスカイトは、発光素子や小型レーザーなどの光エレクトロニクスやフォトニック応用に有望な材料と位置づけられています。

これまで様々なハロゲン化鉛ペロブスカイトレーザーが実証されており、その多くは、CVD 法や溶液成長法を用いて、ナノワイヤー、ナノキューブ、マイクロプレートなどの単結晶ナノ・マイクロ構造キャビティを個別に成長させて作製されていた。しかし、これらの個々のナノ・マイクロ構造体は、基板上の所望の位置に成長させたり、正確に配列させたりすることができないため、チップ上の他の光・電気デバイスとの統合が著しく制限される。

トップダウンリソグラフィは、スケールダウン可能な集積型光電子デバイスを製造するための標準的に再現性の高い技術であり、大面積の薄膜に精密なパターンを形成することができる。しかし、従来のリソグラフィの溶媒は、ハロゲン化鉛ペロブスカイトを著しく劣化させるため、ペロブスカイト型デバイスのパターンニングに大きな制約を与えていた。また、ナノ・マイクロスケールのレーザーは、散乱損失が少なく、表面粗さが小さく、内部欠陥の少ない高品質なキャビティが必要であるため、通常のリソグラフィパターンニング技術で小型レーザーを作製することは困難であった。近年、直交溶媒を用いた電子ビームリソグラフィによる受光素子のパターンニングが期待されているが、ペロブスカイト薄膜はリソグラフィによるパターンニングの過程で劣化するため、ナノ・マイクロサイズの高品質な光キャビティの実現は困難である。これまでのところ、ハロゲン化鉛ペロブスカイトを用いたレーザーアレイは、複雑な多段階パターンニング技術によってのみ実証されており、標準的なリソグラフィ工程でペロブスカイトを劣化させる攻撃的な溶媒を使用することができない。このような背景から、ペロブスカイトレーザーをチップ上の他の光学部品や電気部品と統合し、実用的な産業応用を実現するためには、標準的なリソグラフィ工程でペロブスカイト小型レーザーを製造することが強く望まれている。

### 2. 研究の目的

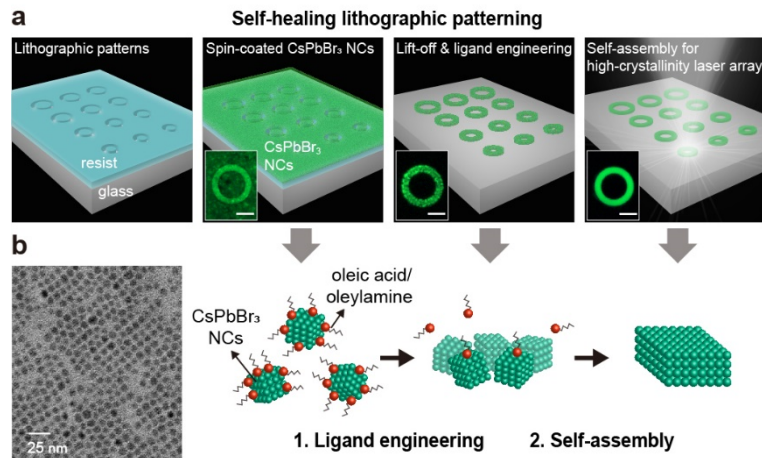
この研究プロジェクトは、溶液処理されたペロブスカイトナノ結晶 (NC)、特にコロイド量子ドット (QD) を利用した新しい設計とトップダウン製造方法を開発することにより、集積型小型レーザーとナノフォトニックデバイスを進歩させることを目的とする。特に、ペロブスカイト型コロイド量子ドットに特化した自己修復型リソグラフィパターンニング技術の開発に注力しており、その結果、優れた材料特性を維持しながら、標準的な半導体プロセスとの互換性を確保する製造方法の考案に成功した。これによって、溶液処理されたペロブスカイト NC を用いた集積型ナノフォトニクスの限界に挑戦し、この分野での将来の進歩のための重要な可能性を開くことを目的としています。

### 3. 研究の方法

## ペロブスカイトナノ結晶の自己修復型リソグラフィパターンニング

本プロジェクトで用いるコロイド状ペロブスカイト NC は、優れた光学特性を有し、高い発光量子収率 (PLQY)、狭い発光線幅、高い環境安定性、スピコート処理による様々な基板への適合性などを示す。

提案する自己修復型リソグラフィパターンニングプロセスは、ペロブスカイト CsPbBr<sub>3</sub> NC のリガンド工学と自己組織化の 2 つの重要なステップから構成されている。イオン性ペロブスカイトにダメージを与えるリソグラフィ溶媒の課題に対処するため、中程度の極性を

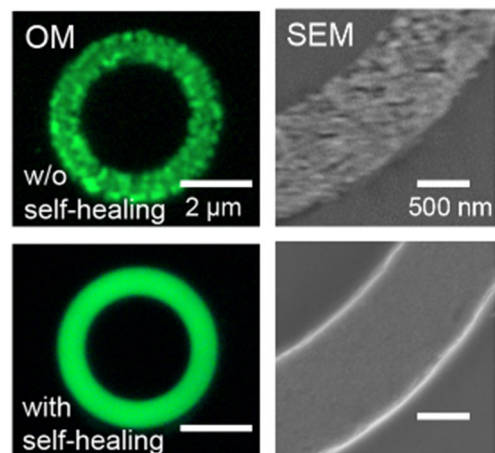


持つ溶媒が選択される。CsPbBr<sub>3</sub> NC の表面リガンドは、酢酸エチルを用いたリガンドエンジニアリングプロセスによって除去され、市販のレジストもリフトオフされる。このリガンドエンジニアリングプロセスにより、イオンエッチングが不要になる。

リガンドエンジニアリング/リフトオフ工程後、メタノール蒸気を用いたポストリソグラフィ自己組織化工程により、CsPbBr<sub>3</sub> NC のリソグラフィパターンを自己修復し、優れた結晶性を持つ高品質のキャビティを得ることができる。メタノール蒸気は NC の表面に吸着し、表面エネルギーを低下させ、残留する配位子を解離させる。これにより再結晶化が促進され、ペロブスカイト型リソグラフィパターンで一般的に見られる内部欠陥、表面損傷、エッジ障害が大幅に改善され、その結果、シングルモードレーザーアレイの実現に成功した。

## ペロブスカイトナノ結晶リソグラフィキャビティのモルフォロジー

走査型電子顕微鏡 (SEM)、レーザー共焦点顕微鏡、 $\mu$ -PL などの様々な手法を用いて、自己修復型リソグラフィレーザーアレイのモルフォロジーと光学特性を調べた。自己修復処理を行わない場合、CsPbBr<sub>3</sub> マイクロリング共振器には表面荒れや内部欠陥などの欠陥が観察された。しかし、セルフヒーリング処理後は、これらの欠陥が除去され、高品質かつ低粗度のマイクロリング空洞が得られた。光学特性に関しては、セルフヒーリングを行っていないマイクロリング空洞には内部欠陥があり、残留リガンドの存在に起因すると思われる比較的不均一な発光強度を示していた。これらの欠陥は、光の伝搬を妨げ、散乱損失を引き起こす可を有する。一方、セルフヒーリングしたマイクロリング空洞は、発光強度が均一であり、光学性能が向上していることが明らかになった。

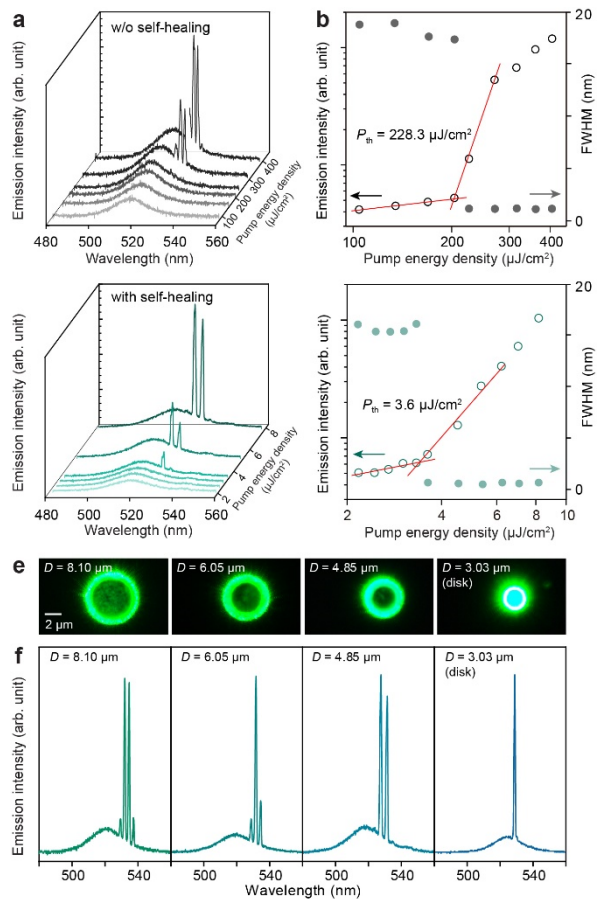


これらの欠陥は、光の伝搬を妨げ、散乱損失を引き起こす可を有する。一方、セルフヒーリングしたマイクロリング空洞は、発光強度が均一であり、光学性能が向上していることが明らかになった。

### 4. 研究成果

- **高結晶オンチップ集積ペロブスカイトナノ結晶レーザーアレイの実現**

リソグラフィーマイクロリングレーザーの光学特性を、セルフヒーリング処理を施したものと施さないものを比較して調べた。セルフヒーリング処理を行わない場合、低いポンプエネルギー密度では 515 nm を中心とした PL 発光が観測された。エネルギー密度が増加すると、528 nm 付近でマルチモードレーシングが発生し、PL ブロードピークの長波長側にレーシングピークが出現した。発光強度はポンプエネルギー密度 228.3  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  で非線形に増加し、レーシングの閾値領域が示された。自己修復型マイクロリングキャビティでは、521 nm のブロードな PL ピークから 530 nm 付近の鋭いレーシングピークへの同様の遷移が観察され、発光強度対ポンプエネルギー密度のプロットに対応する非線形領域が存在した。光学顕微鏡の画像では、マイクロリングレーザーが発振閾値の下と上に描かれており、自己修復型マイクロリングレーザーの閾値の低さと共振器サイズの小ささが顕著である。

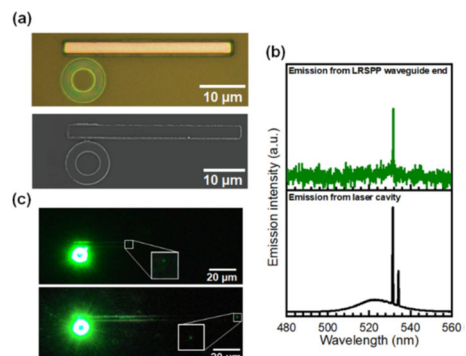


高品質で形状制御可能な自己修復型レーザー共振器は、共振器の寸法を調整することで発振モードの変調を可能にした。共振器サイズを小さくすることで、共振器損傷閾値に達する前にシングルモードレーシングを実現し、自由なスペクトル領域が発光帯域を超えることが明らかになった。共振器サイズを小さくすると、モードの数が減り、直径 3.03  $\mu\text{m}$  の自己修復型マイクロディスクレーザーのシングルモードレーシングが生じた。この自己修復型マイクロリングレーザーは、高分解能分光器で測定した半値全幅 (FWHM) の最小値が 0.24 nm であり、約 2200 の Q ファクターに相当した。

Reference: *Adv. Funct. Mater.* 31, 2006283 (2021).

● エッチングフリープロセスによるペロブスカイト ナノ結晶レーザーとプラズモン導波路の集積化

ペロブスカイト NC の自己修復リソグラフィパターンニング技術の経験に基づき、2022 年に、オンチップフォトニック・プラズモンハイブリッドシステムとして、ペロブスカイト NC レーザーと長距離表面プラズモンポラリトン (LRSP) 導波路を統合することに初めて成功した。本研究では、ペロブスカイトの材料劣化やレーザー共振器の粗さ増加を防ぐため、ランダムな位置の結晶を合成するのではなく、エッチング不要のパターニング加工でレーザー共振器と導波路の整列を実現した。LRSP プラズモン導波路



の粗さ増加を防ぐため、ランダムな位置の結晶を合成するのではなく、エッチング不要のパターニング加工でレーザー共振器と導波路の整列を実現した。LRSP プラズモン導波路

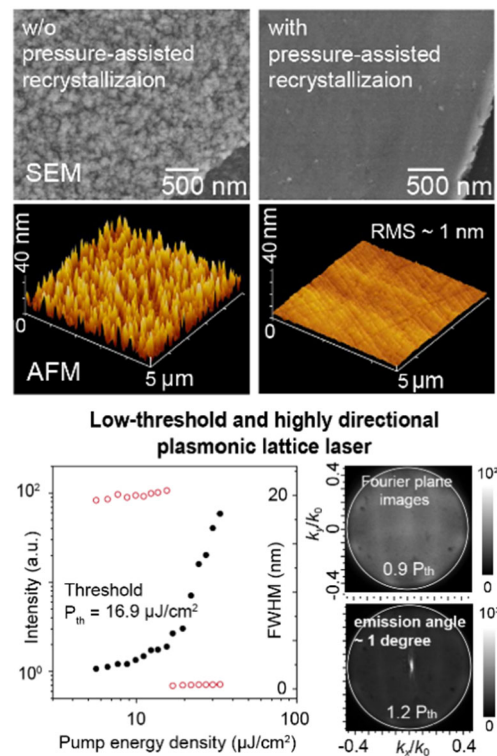
に結合したペロブスカイト NC レーザーは、低閾値発振と 100  $\mu\text{m}$  以上の伝搬長を示し、可視領域で小さなモードサイズを有する。

Reference: **Nanoscale** 14, 10075-10081 (2022).

● ペロブスカイトナノ結晶膜を用いた指向性プラズモン面発光レーザー

2022 年、圧力アシスト再結晶プロセスを用いて低粗度かつ超小型の CsPbBr<sub>3</sub> NC 薄膜を実現し、この QD 薄膜と Ag ナノ粒子アレイを結合させて低閾値プラズモン格子レーザーを実証した。圧力アシスト再結晶プロセスにより、NC 薄膜の表面粗さは著しく低下した (RMS は 1.3 nm)。NC 薄膜の厚さを制御することで、強いパーセル増強効果を持つゼロオーダーのレーズングモードが実現された。低散乱損失と利得媒質と Ag ナノ粒子との良好な相互作用により、サブ波長モードで高指向性 ( $\sim 1^\circ$ ) シングルモードレーズングを行うプラズモン格子レーザーの中で最も低い値である 16.9  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  の低発光閾値を達成した。

Reference: **Small** 18, 2204070 (2022).

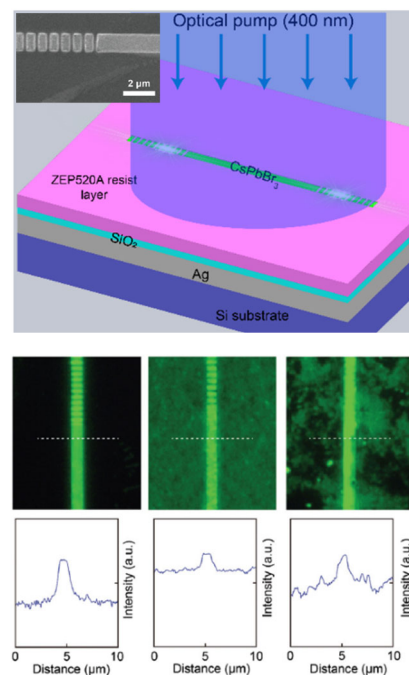


● ペロブスカイトナノ結晶プラズモン分散ブラッグ反射器導波路型ナノレーザー

2023 年、我々は電子ビームリソグラフィを用いたリソグラフィ・イン・モールド・パターニング法を用いてペロブスカイト型プラズモニック・ナノレーザーを作製できることを実証した。このナノレーザーは、CsPbBr<sub>3</sub> ペロブスカイト NC を利得材料として用い、プラズモニック分布ブラッグ反射器 (DBR) グレーティング構造を組み込んで、光フィードバックを実現する。その結果、室温で 42.5  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  という極めて低い発光閾値と、0.6 nm という狭い線幅 (FWHM) を達成した。リソグラフィ技術を用いたナノレーザーの作製により、チップ上に高密度に集積することが可能となりました。これにより、オンチップ集積プラズモニック/フォトニクスアプリケーションへの応用が期待される。

Reference:

**Appl. Phys. Lett.**, 122, 071104 (2023), **Nanoscale** 13, 15830-15836 (2021).



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Xing Di, Lin Cheng Chieh, Ho Ya Lun, Kamal A. Syazwan A., Wang I Ta, Chen Chia Chun, Wen Cheng Yen, Chen Chun Wei, Delaunay Jean Jacques	4. 巻 31
2. 論文標題 Self Healing Lithographic Patterning of Perovskite Nanocrystals for Large Area Single Mode Laser Array	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2006283 ~ 2006283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202006283	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 該当する

1. 著者名 Ahmad Kamal Ahmad Syazwan, Lin Cheng-Chieh, Xing Di, Lee Yang-Chun, Wang Zhiyu, Chen Mu-Hsin, Ho Ya-Lun, Chen Chun-Wei, Delaunay Jean-Jacques	4. 巻 13
2. 論文標題 Lithographic in-mold patterning for CsPbBr3 nanocrystals distributed Bragg reflector single-mode laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 15830 ~ 15836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1nr04543a	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 該当する

1. 著者名 Xing Di, Lin Cheng Chieh, Won Phillip, Xiang Rong, Chen Tzu Pei, Kamal A. Syazwan A., Lee Yang Chun, Ho Ya Lun, Maruyama Shigeo, Ko Seung Hwan, Chen Chun Wei, Delaunay Jean Jacques	4. 巻 31
2. 論文標題 Metallic Nanowire Coupled CsPbBr3 Quantum Dots Plasmonic Nanolaser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2102375 ~ 2102375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202102375	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 該当する

1. 著者名 Ahmad Kamal Ahmad Syazwan, Lin Cheng-Chieh, Wang Zhiyu, Xing Di, Lee Yang-Chun, Chen Mu-Hsin, Ho Ya-Lun, Chen Chun-Wei, Delaunay Jean-Jacques	4. 巻 122
2. 論文標題 CsPbBr3 nanocrystals plasmonic distributed Bragg reflector waveguide laser	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 071104 ~ 071104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0128232	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 該当する

1. 著者名 Xing Di, Lin Cheng Chieh, Ho Ya Lun, Lee Yang Chun, Chen Mu Hsin, Lin Bo Wei, Chen Chun Wei, Delaunay Jean Jacques	4. 巻 18
2. 論文標題 Ligand Engineering and Recrystallization of Perovskite Quantum Dot Thin Film for Low Threshold Plasmonic Lattice Laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2204070 ~ 2204070
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202204070	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 該当する

1. 著者名 Wang Zhiyu, Lin Cheng Chieh, Ho Ya Lun, Xiang Rong, Maruyama Shigeo, Chen Chun Wei, Delaunay Jean Jacques	4. 巻 9
2. 論文標題 Self Patterned CsPbBr3 Nanocrystal Based Plasmonic Hot Carrier Photodetector at Telecommunications Wavelengths	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2101474 ~ 2101474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202101474	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 該当する

1. 著者名 Lin Hsin-Chang, Lee Yang-Chun, Lin Cheng-Chieh, Ho Ya-Lun, Xing Di, Chen Mu-Hsin, Lin Bo-Wei, Chen Li-Yin, Chen Chun-Wei, Delaunay Jean-Jacques	4. 巻 14
2. 論文標題 Integration of on-chip perovskite nanocrystal laser and long-range surface plasmon polariton waveguide with etching-free process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 10075 ~ 10081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2NR01611G	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 該当する

1. 著者名 Wang Zhiyu, Ho Ya Lun, Cao Tun, Yatsui Takashi, Delaunay Jean Jacques	4. 巻 31
2. 論文標題 High Q and Tailorable Fano Resonances in a One Dimensional Metal Optical Tamm State Structure: From a Narrowband Perfect Absorber to a Narrowband Perfect Reflector	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2102183 ~ 2102183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202102183	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 該当する

1. 著者名 Deng Chih-Zong, Ho Ya-Lun, Yamahara Hiroyasu, Tabata Hitoshi, Delaunay Jean-Jacques	4. 巻 16
2. 論文標題 Near-Zero-Index Slabs on Bloch Surface Wave Platform for Long-Range Directional Couplers and Optical Logic Gates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 2224 ~ 2232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.1c08318	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 Lin Bo-Wei, Tai Yi-Hsin, Lee Yang-Chun, Xing Di, Lin Hsin-Chang, Yamahara Hiroyasu, Ho Ya-Lun, Tabata Hitoshi, Daiguji Hirofumi, Delaunay Jean-Jacques	4. 巻 120
2. 論文標題 Aluminum-black silicon plasmonic nano-eggs structure for deep-UV surface-enhanced resonance Raman spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 051102 ~ 051102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0084907	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 Chen Mu Hsin, Xing Di, Su Vin Cent, Lee Yang Chun, Ho Ya Lun, Delaunay Jean Jacques	4. 巻 11
2. 論文標題 GaN Ultraviolet Laser based on Bound States in the Continuum (BIC)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2201906 ~ 2201906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202201906	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 該当する

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Xing Di, Lin Cheng Chieh, Ho Ya Lun, Kamal A. Syazwan A., Wang I Ta, Chen Chia Chun, Wen Cheng Yen, Chen Chun Wei, Delaunay Jean Jacques
2. 発表標題 Ligand Engineering and Self-Assemble Recrystallization of Perovskite Nanocrystals for High-Quality Patterning and Single-Mode Lasing
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年



1. 發表者名 Ya-Lun Ho
2. 發表標題 Self-Healing and In-Mold Patterning for Perovskite Nanocrystal Lasers
3. 学会等名 IEDMS 2021, International Electron Devices & Materials Symposium, 2021 (招待講演) (國際学会)
4. 發表年 2021年

1. 發表者名 Xing Di, Lin Cheng Chieh, Won Phillip, Xiang Rong, Chen Tzu Pei, Kamal A. Syazwan A., Lee Yang Chun, Ho Ya Lun, Maruyama Shigeo, Ko Seung Hwan, Chen Chun Wei, Delaunay Jean Jacques
2. 發表標題 Plasmonic Nanolaser by Silver Nanowire Embedded in CsPbBr <sub>3</sub> Quantum Dots
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia (國際学会)
4. 發表年 2021年

1. 發表者名 Ya-Lun Ho
2. 發表標題 Integrated on-chip nanolasers based on solution-processed perovskite quantum dots
3. 学会等名 IEEE NEMS 2022, International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (招待講演) (國際学会)
4. 發表年 2022年

1. 發表者名 Chen Mu Hsin, Xing Di, Lin Cheng Chieh, Ho Ya Lun, Lee Yang Chun, Lin Bo Wei, Chen Chun Wei, Delaunay Jean Jacques
2. 發表標題 Low threshold plasmonic lattice laser based on CsPbBr <sub>3</sub> quantum dots with directional emission
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia (國際学会)
4. 發表年 2022年

1. 発表者名 Lee Yang-Chun、Lin Hsin-Chang、Lin Cheng-Chieh、Ho Ya-Lun、Xing Di、Chen Mu-Hsin、Lin Bo-Wei、Chen Li-Yin、Chen Chun-Wei、Delaunay Jean-Jacques
2. 発表標題 On-Chip Perovskite Nanocrystal Laser Integrated with Long-Range Surface Plasmon Polariton Waveguide by Etching-Free Lithographic Patterning
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lin Bo-Wei、Tai Yi-Hsin、Lee Yang-Chun、Xing Di、Lin Hsin-Chang、Yamahara Hiroyasu、Ho Ya-Lun、Tabata Hitoshi、Daiguji Hirofumi、Delaunay Jean-Jacques
2. 発表標題 Facile fabrication of Aluminum-black silicon nano-eggs structure over large area for deep-UV surface-enhanced resonance Raman spectroscopy
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Personal Website (Ya-Lun HO) <a href="https://sites.google.com/site/utyalunho/research">https://sites.google.com/site/utyalunho/research</a> Google Scholar (Ya-Lun HO) <a href="https://scholar.google.com/citations?user=4r-hkooAAAAJ&amp;hl=en">https://scholar.google.com/citations?user=4r-hkooAAAAJ&amp;hl=en</a> Researchmap (Ya-Lun HO) <a href="https://researchmap.jp/yulunho">https://researchmap.jp/yulunho</a> ORCID (Ya-Lun HO) <a href="https://orcid.org/0000-0001-8274-5978">https://orcid.org/0000-0001-8274-5978</a> Scopus (Ya-Lun HO) <a href="https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55601449300">https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55601449300</a>
---

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
研究分担者	八井 崇  (Yatsui Takashi)  (80505248)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授    (13904)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	項 栄  (Xiang Rong)  (20740096)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・外国人客員研究員    (12601)	

	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
研究協力者	陳 俊維  (Chen Chun-Wei)	国立台湾大学・Professor	
連携研究者	小西 邦昭  (Konishi Kuniaki)  (60543072)	東京大学・大学院理学系研究科・准教授    (12601)	
連携研究者	ドロネー ジャン・ジャック  (Delaunay Jean-jacques)  (80376516)	東京大学・大学院工学系研究科・准教授    (12601)	

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			
台湾	National Taiwan University	Academia Sinica	National Taiwan Normal University	他3機関