

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14483

研究課題名(和文) ナノコラムを基盤とした人工ナノ結晶の設計と新規光機能の創成

研究課題名(英文) Design of artificial nanocrystals based on nanocolumns and creation of new optical functionalities

研究代表者

大音 隆男 (OTO, TAKAO)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：20749931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、窒化物半導体InGaNが本来持たない光機能性をナノ構造の設計により発現することを試み、鏡映対称性を消失させたキラル構造を導入した。キラル構造は左右円偏光に対して屈折率が異なる光学活性を持つため、超小型円偏光光源の実現が期待される。青色LED基板に水素雰囲気異方性熱エッチング法を施してナノピラー構造を作製した。ナノ構造効果により膜状構造より高い発光強度が得られ、キラルパターンのみ偏光回転が生じたが、厳密結合波解析の計算結果と良い一致を示した。偏光回転の生じる波長は周期やピラー径により制御が可能であり、ナノ構造の最適化により可視光領域で大きな偏光回転を得ることができるとわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案したキラルナノ構造はナノピラー構造を複数配置するだけであるので、従来のナノ構造作製技術そのまま使用できるが、ナノ構造の設計により従来窒化物半導体を持たない光機能性を実証できたことは可視光デバイスとしての応用範囲の拡大に繋がり、学術的にも社会的にも大きな意義を持つ結果である。今後、光とナノ構造の相互作用という学理を明らかにし、高効率な可視単一円偏光素子が実現できれば、生体内イメージング、3Dディスプレイ光源、可視光通信など、医療・映像・通信分野への様々な応用分野の開拓に発展できると期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have realized optical functionality that InGaN does not have by designing a unit lattice structure, and we have introduced a chiral structure in which mirror symmetry is eliminated. The chiral structure has different refractive indices for left- and right-circularly polarized light. Therefore, the chiral structure is expected to realize an ultra-compact circularly polarized light source. Nanopillar structures were fabricated on blue LED substrates by hydrogen environment anisotropic thermal etching. The nanostructural effect produced higher emission intensity than a planar structure, and polarization rotation was observed only in the chiral pattern, which was in good agreement with the calculated results of rigorous coupling wave analysis. Because the wavelength at which polarization rotation occurs can be controlled by the period and diameter, it was found that large polarization rotation can be obtained in the visible light region by optimizing the nanostructure.

研究分野：半導体光デバイス、光物性工学

キーワード：InGaN ナノ構造 メタマテリアル キラル 円偏光 表面プラズモン

1. 研究開始当初の背景

窒化物半導体の InGaN は化学的安定性の高い直接遷移型の半導体で In 組成の変化により可視光全域で原理的に発光可能であるため、超スマート社会の実現に向けて超小型・高精細なマイクロ LED ディスプレイの研究開発が盛んに行われている。しかしながら、InGaN 系 LED の外部量子効率(EQE)は、In 組成の増大に伴う発光波長の長波化によって激減し、赤色領域では~5%程度である[1]。その主な原因として、格子不整合による転位密度の増加、量子閉じ込めシュタルク効果の増加、相分離の発生が挙げられる。これらの問題を改善するため、研究代表者はナノ構造を導入した研究を推進してきた。

ナノワイヤとは直径数十~百 nm、高さ 1 μm 程度の柱状ナノ結晶で、Ti マスク選択成長法[2, 3]などで作製される。ナノワイヤの作製方法として、選択成長(ボトムアップ)で作製する方法と選択エッチング(トップダウン)で作製する方法があるが、本研究では前者をナノコラム、後者をナノピラーと呼んで便宜上区別する。ナノワイヤ構造では歪緩和効果、低転位密度、光取り出し効率の向上といったナノ結晶/ナノ構造効果が得られ、発光効率の向上に寄与する。

ここで、ある直径のナノコラムを「原子」のように扱うことを考えた場合(以下、「メタ原子」と呼ぶ)、直径の異なるナノコラムはナノ結晶/ナノ構造効果が変わるため、異種原子のように扱えると考えられる。したがって、ナノコラムを複数集めてクラスターを形成することで「メタ分子」を作製でき、それを周期的に配列することでナノコラムメタマテリアル(人工ナノ結晶)の創成が達成される。このことにより、分子構造や周期性・対称性の変化により光機能性を自由度高くエンジニアリングでき、異なった光学特性を発現できる。

特に、ナノコラムクラスターにおいて、コラム径が異なるナノコラムを複数配置したり、ナノコラムを非対称性の高い位置に配置したりすることで、鏡映対称性を消失した「キラル構造」を作製できる。キラル構造では固有偏光が円偏光となり、左右円偏光に対する屈折率が異なるため、透過光の偏光面が回転する「旋光性」や左右円偏光の光吸収が異なる「円二色性」といった「光学活性」が発現する。これらの特性によりキラル構造は小型円偏光光源としての活用が期待でき、医療・映像・通信など幅広い分野での応用に繋がると予想される。実際に、GaAs 系卍型キラル構造で赤外領域の円偏光光源の実現に向けた研究が既に報告されている[4]。

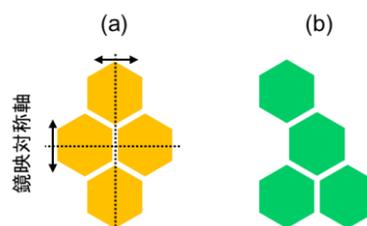


図 1: ナノピラー構造を用いた(a)アキラル構造と(b)キラル構造の一例(上から見た模式図)。(b)の点線は単位格子の鏡映対称軸を示しており、鏡映対称を持つ構造をアキラル構造という。

2. 研究の目的

本研究では、窒化物半導体が本来持たない光機能性を創成するために、InGaN 系ナノ構造を用いたフォトニック結晶の研究を応用・発展させ、ナノ構造を基盤とした人工ナノ結晶を提案した。ある直径の六角柱状のナノ構造を「原子」のように扱い、図 1のようにナノ構造を複数集めてクラスターを形成することで「メタ分子」を作製し、それを周期的に配列することで「人工ナノ結晶」が創成されるが、分子構造や周期性によりフォトニックバンド、偏光・透過特性などの光機能性を自由度高くエンジニアリングができる。特に、メタ分子によってクラスターの鏡映対称性を崩せば(図 1(b)の構造を参照)、キラル型結晶となり光学活性を得て、従来の InGaN ナノコラムアレイでは実現不可能な円偏光を有する発光デバイスへ応用展開できる。以上のように、メタ分子や周期構造の変化が光学特性に与える影響を系統的に調査し、ナノ構造効果で高い発光効率を得て、新機能を付加した可視光発光デバイスを創成することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 厳密結合波解析による人工ナノ結晶の設計と光機能性の探索

メタ原子(六角柱状ナノ構造)の大きさや配置を変更することでメタ分子を設計し、それを周期的に配列することで人工ナノ結晶を設計して、ナノ構造・ナノ結晶が光学特性に与える影響を理論的に調査した。ナノ構造の設計およびその光機能特性の理論的評価には RCWA (厳密結合波解析法)を用いて評価した。なお、RCWA シミュレーションには Rsoft 社の DiffractMOD を用いた。ここで、RCWA 法とは多層膜に対する転送行列法と同様の考え方で、回折格子を階段状に近似して周期構造の屈折率分布をフーリエ級数で表す。各層における周期構造中の電磁波の振舞いを平面波の重ね合わせの波動方程式で表現し、各層の境界条件から転送行列を求めることで入射光から透過・反射波を解析する手法である。偏光回転角はナノ構造側から波長を変化させながら左右円偏光を入射し、透過波の位相差から算出した。

(2) キラル型フォトニック結晶の作製方法

キラル型ナノ構造の系統的な作製には、GaNの水素雰囲気中での熱分解反応を用いた「水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法」[5, 6]を用いた。ICPエッチングに代表される従来のエッチング方法は塩素系の毒性ガスを用いる上に加工損傷があるため、環境負荷が高い。一方、HEATE法は環境にやさしく、SDGsの目標にも合致したエッチング方法である。5周期InGaN(2 nm)/GaN(8 nm)の量子井戸を有する青色LED基板にHEATEを施して、従来構造のアキラル型である六角形パターン[図1(a)]とキラル型のλパターン[図1(b)]のナノピラーアレイを周期900 nm、高さ260 nmで作製した。実際に作製した(a)六角形パターンと(b)λパターンのナノピラーアレイ構造の走査型電子顕微鏡(SEM)像の一例を図2に示す。均一性の高いナノピラー構造の作製に成功した。しかし、ナノピラーが独立せず結合し、長時間のエッチングにより加工損傷が大きくなったと考えられる。

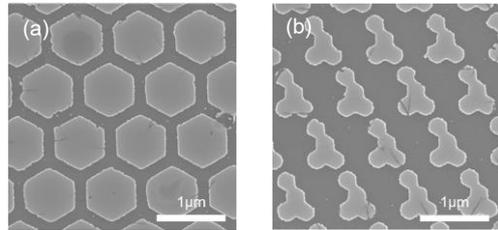


図2: HEATE法により作製したナノピラーのSEM像。(a)六角形パターンと(b)λパターン。

(3) InGaN系ナノピラーの旋光性評価のための共焦点光学測定系構築

3.2で作製したInGaN/GaNナノ構造の旋光性を評価するために、共焦点系の反射光学系を設計した。図3に作製した光学系を示す。ハロゲンランプからの光を偏光子によって直線偏光にした後、対物レンズ(5×, NA=0.13)で集光してナノピラーアレイに入射した。ナノピラーアレイで反射された光は同じ対物レンズを通してコリメートした。反射光に対して偏光子を4°ずつ回転させながら光強度の波長依存性を測定し、光強度が最大になる偏光面から偏光回転角度を実験的に評価した。

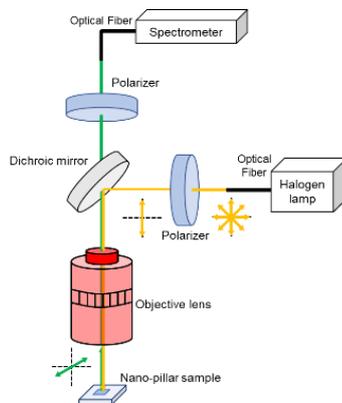


図3: InGaN/GaNナノピラーにおける旋光性評価のための共焦点光学測定系。

4. 研究成果

(1) 直径・周期による旋光性発現波長の制御

図4に単位格子内のピラーを同一のサイズで3つに分割した3つ組クラスタ(アキラル構造)と、そのピラー径を減少させて鏡映対称性を消失したキラル構造における偏光回転角の計算結果をそれぞれ示す。ここで、キラル構造は3つ組のピラー径を $D, 0.8D, 0.6D$ ($D=200$ nm)と変化させ、ピラー同士が $g=20$ nmの隙間を持つように配置した。計算領域は周期方向を三角格子、厚さ方向をGaNNanoピラーとGaNN膜の直後までとし、屈折率は2.4の一定値とした。アキラル構造では偏光回転が全く観測されなかったが、キラル構造においては最大20度程度の偏光回転が得られた。したがって、六角柱状のナノピラー構造だけを用いて、可視光領域で旋光性が発現できることを明らかにした。

次に、ピラー径の変化が旋光性に与える影響を調べるために、図4のキラル構造において D の値を50 nmずつ変化させて偏光回転角の計算を行った。計算結果を図5に示す。 D の値が増大するにしたがって、旋光性のピーク波長の長波化が観測された。同様に、周期やピラーの高さを変更することでも旋光性のピーク波長の長波化が達成された。したがって、ピラー径の変化によって旋光性が生じる波長と大きさを制御できることを明らかにした。

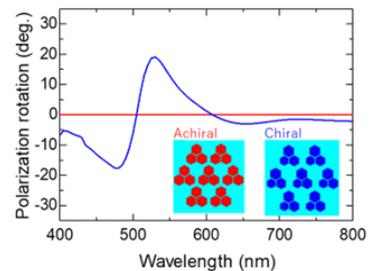


図4: アキラル構造とキラル構造の偏光回転角の計算結果。

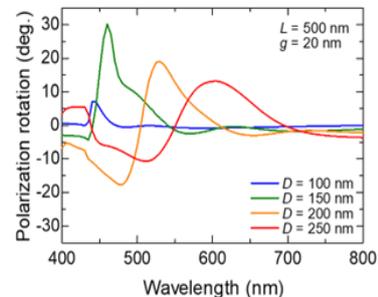


図5: 偏光回転角の直径依存性。

(2) InGaN/GaNキラル型ナノピラーの評価

HEATEで作製したナノピラー構造の室温PLスペクトルを図6に示す。なお、ナノ構造効果が働かないメサ構造のピーク強度を1として規格化した。作製したどのナノピラー構造においても、メサ構造より高いPL強度を有していたことから、ナノ構造効果を反映した高効率な円偏光光源の作製に繋がると期待される。

図7にアキラル型である六角形パターン[図1(a)]とキラル型のλパターン[図1(b)]のナノピラーアレイの偏光回転の測定結果を示す。アキラル型の六角形パターンでは偏光回転は全く観測されなかったが、キラル型のλパターンでは偏光回転が生じた。したがって、λパターンがキラル

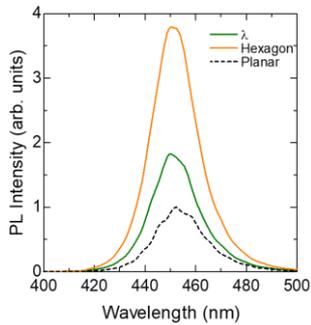


図 6: InGaN/GaN ナノピラーの PL スペクトル。

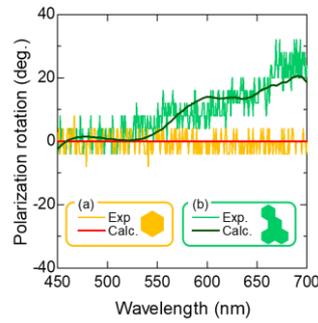


図 7: InGaN/GaN ナノピラーにおける旋光性評価. (a), (b)は図 2 のナノピラー構造と対応している。

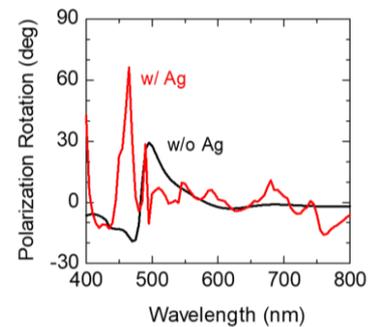


図 8: Ag ナノ構造によるキラル光学効果の増強。

構造として機能していることを実験的に示した。理論計算の結果と比較するために、RCWA 法で反射光の偏光回転角を計算したところ、長波長化に伴って回転角が増加していき、実験値と同様の傾向を示した。

(3) 表面プラズモンによる InGaN/GaN キラル型ナノピラーの旋光性増強

研究代表者は発光効率が低い緑～赤色領域において更なる発光効率向上を実現するために、金属/窒化物半導体を用いたハイブリッド周期構造「プラズモニック結晶」を規則配列 InGaN ナノコラムに導入することによって、赤色領域において発光強度増大および内部量子効率向上に成功した[7, 8]。また、SPP 共鳴波長をコラム径・周期によって制御する手法を確立し、プラズモニック結晶に SPP の定在波が生じる波長で発光増強が強く生じるというメカニズムを明らかにした。これらの研究を応用・発展させることで、光のキラル光学効果の増強に繋げることを目指した。図 8 は Ag ナノ構造を導入することで、実際にキラル光学効果が増大したことを示した結果である。さらに系統的に計算を進めることで、Ag/GaN ハイブリッドナノ構造の最適化を図り、単一円偏光が達成されるナノ構造の開拓を続けていきたいと考えている。

参考文献：

- [1] Y.-M. Huang *et al.*, *Photon. Res.* **10**, 1978-1985 (2022).
- [2] H. Sekiguchi, K. Kishino *et al.*, *Appl. Phys. Express* **1**, 124002 (2008).
- [3] K. Kishino, ..., A. Kikuchi, *J. Cryst. Growth* **311**, 2063 (2009).
- [4] K. Konishi, ..., M. Kuwata-Gonokami, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 057402 (2011).
- [5] R. Kita, ..., A. Kikuchi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **54**, 046501 (2015).
- [6] K. Ogawa, ..., A. Kikuchi, *Phys. Status Solidi* **214**, 1600613 (2017).
- [7] **T. Oto**, ..., K. Kishino, *Appl. Phys. Lett.* **111**, 133110 (2017).
- [8] **T. Oto**, ..., K. Kishino, *Appl. Phys. Express* **14**, 105002 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Saba Kiran, Kafar Anna, Kacperski Jacek, Gibasiewicz Krzysztof, Schiavon Dario, Oto Takao, Grzanka Szymon, Perlin Piotr	4. 巻 14
2. 論文標題 Monolithic 45 Degree Deflecting Mirror as a Key Element for Realization of 2D Arrays of Laser Diodes Based on AlInGaN Semiconductors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 352 ~ 352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi14020352	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 該当する
1. 著者名 Naoki Shimosako, Kazuya Kinjo, Yuta Inose, Toshihiro Nakaoka, Takao Oto, Katsumi Kishino	4. 巻 130
2. 論文標題 Energy diagram and parameters regarding localized states in InGaN/GaN nanocolumns	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 143106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0065656	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 Takao Oto, Masato Namazuta, Shotaro Hayakawa, Koichi Okamoto, Rie Togashi, and Katsumi Kishino	4. 巻 14
2. 論文標題 Comparison of surface plasmon polariton characteristics of Ag- and Au-based InGaN/GaN nanocolumn plasmonic crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 105002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac2632	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 Takao Oto, Masato Okamura, Yuzo Matsui, Kai Motoyama, Shunsuke Ishizawa, Rie Togashi, and Katsumi Kishino	4. 巻 60
2. 論文標題 Photonic band characterization in InGaN/GaN nanocolumn arrays with triangular and honeycomb lattices by angle-resolved micro-photoluminescence measurements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 60904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abfeaa	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26件(うち招待講演 6件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 S. Sato, T. Oto, S. Li, M. Deki, T. Nishimura, T. Ohshima, H. Watanabe, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, B. C. Gibson, A. D. Greentree
2. 発表標題 Lanthanoid Implanted GaN with Enhanced Photon Emission for Nanophotonic Applications
3. 学会等名 The 32nd Annual Meeting of MRS-J (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Oto, M. Namazuta, Y. Oyama, S. Hayakawa, K. Okamoto, R. Togashi, K. Kishino
2. 発表標題 Enhancement mechanism of light emission for InGaN/GaN nanocolumn arrays by Ag-based plasmonic crystals
3. 学会等名 IWN2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Saba, A. Kafar, J. Kacperski, T. Oto, K. Gibasiewicz, A. Bojarska, P. Perlin
2. 発表標題 Towards realization of 2D-array of horizontal-to-vertical surface emitting laser diode
3. 学会等名 IWN2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Oto, K. Okamoto, R. Togashi, K. Kishino
2. 発表標題 Emission enhancement for red-emitting InGaN by nanocrystalline effects and surface plasmon coupling
3. 学会等名 GSELOP2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Sato, T. Oto
2. 発表標題 Purcell Enhancement of Near Infrared Photoluminescence from Nd-doped GaN Photonic Crystal L3 Cavity
3. 学会等名 Defects in solids for quantum technologies (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大音隆男, 江目宏樹, 千葉貴之, 石沢峻介, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 過渡吸収測定による InGaN ナノコラムにおける歪緩和効果の検証
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮崎聡太郎, 浅井佑太, 松井祐三, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 InGaN ナノコラムにおけるコラム分割による高効率化
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清岡和史, 佐藤豪大, 秋元大輝, 柴田將史, 成田克, 大音隆男, 齊藤敦
2. 発表標題 超伝導バルク共振器アンテナにおける誘電体基板の厚さによる共振周波数の調整
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上潤, 伊藤慶信, 成田克, 大音隆男, 齊藤敦
2. 発表標題 常磁性・反磁性材料を用いた比透磁率と高周波損失の相関に関する研究
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山八起, 仲田優介, 齋藤雅史, 鈴木俊哉, 中島健介, 成田克, 大音隆男, 齊藤敦
2. 発表標題 Nb共振器型two-step MKIDsの作製と評価, 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾島洋平, 高橋惟吹, 成田克, 大音隆男, 齊藤敦
2. 発表標題 3D プリンターを用いた導波管フィルターの作製と評価
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第77回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大音隆男, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 ナノ周期構造を用いた窒化物半導体の発光増強技術
3. 学会等名 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大音隆男, 岡本晃一, 山田純平, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 赤色InGaN発光増強のためのプラズモニクナノ構造の最適化
3. 学会等名 Sophia Open Research Weeks 第3回半導体ナノフォトニクス研究会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白鳥遼磨, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 銀プラズモニク結晶を用いたハニカム格子InGaNナノコラムの赤色発光増強
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅井佑太, 相川健喜, 倉邊海史, 菊池昭彦, 大音隆男
2. 発表標題 InGaNナノピラーアレイへのキラル構造導入と旋光性評価
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 四方優, 龜山大輔, 大音隆男, 齊藤敦, 成田克
2. 発表標題 モノメチルシランによる金属触媒上3C-SiCワイヤ成長
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大音隆男, 岸野克巳
2. 発表標題 InGaN赤色ナノコラムLEDの高効率化に向けたナノ結晶・プラズモニク効果の探索
3. 学会等名 応用物理学会第157回結晶工学分科会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大音隆男, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 InGaNナノコラムにおけるナノ結晶効果と表面プラズモン結合を用いた赤色発光増強技術
3. 学会等名 ワイドギャップ半導体学会第4回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大音隆男, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 InGaNナノコラムプラズモニク結晶の構造設計と赤色発光の高効率化
3. 学会等名 Sophia Open Research Weeks 第2回半導体ナノフォトニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大音隆男, 菊地主馬, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 InGaNナノコラムプラズモニク結晶における発光増強ダイナミクス
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤真一郎, 大音隆男, 大島武
2. 発表標題 NdドーブGaNフォトリック結晶L3共振器の近赤外発光特性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤真一郎, 大島武, 大音隆男
2. 発表標題 イオン注入したNdとGaNフォトリック結晶共振器の光学カップリング
3. 学会等名 第22回イオンビームによる表面・界面の解析と改質
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎聡太郎, 浅井佑太, 松井祐三, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 ナノコラムのクラスタ配列化による発光増強と偏光制御
3. 学会等名 第 76 回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 四方優, 河村優樹, 門脇洸人, 大音隆男, 成田克
2. 発表標題 モノメチルシランを用いた3C-SiC 表面上へのSiCワイヤ成長
3. 学会等名 第 76 回応用物理学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎聡太郎, 浅井佑太, 松井祐三, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 InGaNナノコラムアレイにおいてコラムの分割が発光特性に与える影響
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川将太郎, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 Agプラズモニック結晶の導入が InGaN系ナノコラムアレイのバンド構造に与える影響
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大音隆男, 岸野克巳	4. 発行年 2021年
2. 出版社 サイエンス&テクノロジー	5. 総ページ数 10
3. 書名 マイクロLEDディスプレイ 市場と要素技術の開発動向 , 第2章第2節	

〔産業財産権〕

〔その他〕

大音研究室ホームページ
<http://oto-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/>

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
---------	---------