

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18110

研究課題名(和文)窒化物半導体/金属を用いたハイブリッドナノ構造の光物性探索と光電子デバイス応用

研究課題名(英文) Investigation of optical characterizations in nitride semiconductor/metal hybrid nanostructures and their optoelectronic device applications

研究代表者

大音 隆男 (Oto, Takao)

山形大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：20749931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)： InGaN系ナノコラム構造を直径を変えながら作製し、電子顕微鏡による構造特性評価と顕微分光測定による光学特性評価を比較して、ナノ構造効果が光学特性に与える影響について系統的に議論した。ナノコラム構造における歪緩和効果や表面再結合を実験的・理論的に明らかにすることでInGaN系発光デバイスの設計指針を与え、本分野に大きな貢献を果たした。

また、ナノコラムアレイ構造にプラズモニック結晶を導入することで、橙～赤色領域において発光増強を達成し、表面プラズモンの定在波が発光増強の起源であることを明らかにした。高効率プラズモニックLEDに向けたデバイス構造を提案し、コラム側面での発光増強にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ構造で発現する構造的な効果を積極的に利用することで、光電子デバイスの高性能化・多機能化に繋げることができるが、本研究では特に重要と考えられ、100 nm以下の細線化に伴って顕著に発現する歪緩和効果と表面再結合に焦点を当てた。これらの系統的な評価により、ナノ構造を用いた発光デバイスの高性能化を得るための設計指針に大きく貢献を果たしたと考えている。

また、窒化物半導体において橙～赤色領域は発光効率が非常に低いが、ナノ構造効果と表面プラズモン効果を同時に導入して、発光効率の向上に関する基盤技術を開拓した。この技術を応用・発展すれば、光学応答の制御や更なる発光効率の向上が期待できる。

研究成果の概要(英文)： We fabricated InGaN based nanocolumn arrays with various column diameters and evaluate their structural and optical characterizations measured by electron microscopy and micro-spectroscopy measurements. By comparing the structural and optical characterizations, we systematically discussed the influence of the nanostructural effects on the optical characterizations. By investigating the strain relaxation and surface recombination in the InGaN nanocolumns both theoretically and experimentally, we made a significant contribution to the research field of semiconductor nanostructures.

Additionally, we achieved the light emission enhancement by introducing plasmonic crystals to the InGaN nanocolumn arrays. The mechanism of emission enhancement was originated from the standing wave of surface plasmon. The device-type InGaN based nanostructures was proposed toward high efficient plasmonic LEDs. We demonstrated the light emission enhancement at the lateral surface of the InGaN nanocolumns.

研究分野：ナノ構造物性

キーワード：プラズモニック結晶 ナノコラム 表面プラズモン 窒化物半導体 発光デバイス

1. 研究開始当初の背景

発光ダイオード(LED)を三原色集積型にすることで、マイクロLEDディスプレイや高機能性・高演色性の白色光源などフルカラー応用上でインパクト性の高い次世代発光デバイスを開拓できる。窒化物半導体のInGaNは、In組成の変化により可視光全域での発光が得られるが、長波長領域(橙～赤色)の発光効率は数%程度と低く、深刻な問題となっている。ここで、長波長化に伴う発光効率低下の原因として、転位密度の増大および格子不整合度増大に伴うピエゾ電界による輻射再結合確率の低下が提示され、解決が社会的に求められている。

“ナノコラム(ナノワイヤ)”と呼ばれるナノ構造はTiマスク選択成長法で作製されるが[1]、無転位の高品質結晶となり、自由端効果による歪緩和によってピエゾ電界が抑制されるため、高効率化の期待ができる。研究代表者はコラム径を変化したナノコラムアレイを系統的に作製し、構造特性と光学特性を対応させながらナノ構造効果の理解を深めると同時に、光電子デバイスにおけるナノコラムの優位性を実証してきた。さらに、半導体だけでなく、金属ナノ構造の研究も盛んに行われており、表面プラズモンと呼ばれる金属/誘電体界面の電子の疎密波を積極的に利用した発光デバイス応用が報告されている。具体的には、非輻射再結合が起こる前に表面プラズモンと結合させて光を効果的に取り出すことで発光強度を増強したり[2]、プラズモニックメタマテリアルとして新たな機能を付加したりする研究が行われている[3]。以上のように、ナノ構造効果と表面プラズモン効果は発光効率の改善や光機能性の向上に繋がると期待されるが、同時に導入したナノ構造の作製・評価を行った研究はなかった。

2. 研究の目的

今までの研究では、100 nm前後からコラム径を増加させて、厚膜InGaNナノコラムの構造特性・光学特性の検討を行ってきた。細線化することで歪が低減し、無転位の結晶が実現でき、デバイスの設計自由度を大幅に増加できるため、膜状構造では実現できないデバイスに展開できることを実証した[4]。また、コラム径が細かい領域では均一なInGaNナノコラムが成長するが、コラム径を増大すると自発的にcore-shell構造を形成することで光効率を律速している表面再結合が大幅に抑制されていることを示した[5]。これらの研究成果を発展させ、発光デバイスで一般的に用いられる量子構造を有するナノコラムの構造特性と光学特性を理解することは重要である。特に、ナノ構造効果で重要な特性が100 nm以下の細線化に伴って顕著に発現する歪緩和効果と表面再結合であり、これらの深い理解はナノ構造を用いた発光デバイスの高性能化を得るための設計指針を与えるものであり、本分野に大きく貢献できると考えられる。

さらに、今までの窒化物半導体ナノ構造の作製技術や特性評価を発展させ、図1のような金属ナノ構造を融合した金属/窒化物半導体のハイブリッド周期構造(プラズモニック結晶)を作製することで、ナノ構造効果と表面プラズモン結合を同時に導入することができ、高効率で新機能を付加した光電子デバイスが実現できると考えられる。InGaN系発光素子において特に発光効率が低い緑～赤色に着目し、プラズモニック結晶の発光増強メカニズムを明らかにして発光効率を増大する基盤技術を確立し、新機能を付加した高効率InGaN系光電子デバイスに繋げることを本研究の目的とした。

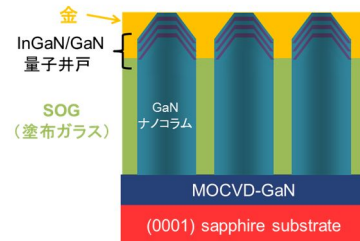


図1: 本研究で作製したプラズモニック結晶の概略図。

3. 研究の方法

研究代表者が今までに実施してきた窒化物半導体ナノ構造の研究を発展させ、量子構造を有する窒化物半導体ナノコラムをTiマスク選択成長法によって系統的に作製した。構造特性を走査型電子顕微鏡および透過型電子顕微鏡により観察し、光学特性を顕微鏡下でフォトルミネッセンス(PL)、時間分解PL、低温PLを駆使して詳細に評価した。構造特性と光学特性を一対一に対応させながら評価することで、歪緩和効果や表面再結合のコラム径依存性を調査した。

また、InGaN系可視光LEDで特に発光効率が低い赤色領域において、ナノ構造効果と表面プラズモン効果を同時に導入するプラズモニック結晶の作製を行った。具体的には、ナノコラムアレイ間を塗布ガラス(SOG)で埋め込み、バッファードフッ酸(BHF)を用いたウェットエッチングでコラムの頭出しを行った後、コラムが完全に埋まるまで真空蒸着法で金を蒸着した。金の蒸着前後で基板裏面側からPLおよび時間分解PLを行い、表面プラズモン結合による発光増強について検討した。さらに、表面プラズモンによる発光増強メカニズムを理論的に探究するために、FDTD(有限差分時間領域)法によって、発生する電界強度分布のシミュレーションおよび表面プラズモンのバンド構造計算を行った。

最終的には、電流注入も可能なプラズモニックナノ構造の実現を目指しているが、従来の膜状構造を用いたプラズモニックLEDでは電流注入に必要な厚いp型層により金属/誘電体界面を発光層付近に形成できず、効率よく表面プラズモン結合を達成するのが困難であった。そこで、ナノコラム側面のみ金属/誘電体界面を形成して、表面プラズモン結合を効率よく引き起こしながら電流注入できるInGaN系プラズモニックナノ構造の作製と構造・光学評価を行った。

4. 研究成果

(1) 窒化物半導体ナノコラムにおける表面再結合と歪緩和効果の系統的評価

系統的にコラム径を変化した GaN ナノコラム上に InGaN 単一量子構造を作製して、構造・光学特性の評価を行った。ナノコラム構造に量子構造を導入することによって、輻射再結合確率が增大するだけでなく、よりコラム径の細い領域までコアシェル構造が形成されて表面再結合が抑制できることを明らかにし、ナノ構造発光デバイスの高効率化の設計指針を示した[6]。また、初期成長においては島状成長によって GaN ナノコラムの頂上に InGaN 量子ドット構造が形成され、横・高さ方向ともに成長していくが、ある直径に達すると歪エネルギーの観点からそれ以上は横方向に成長することはできず、高さ方向のみに成長するという成長機構を明らかにした[6]。

さらに、ナノコラム側面での歪緩和効果を系統的に調査するために、GaN/AlGaIn 量子井戸を有した窒化物半導体ナノコラムアレイ構造を作製して光学評価を行った。

図 2 に示したように、コラム直径の減少に伴って量子井戸からの発光波長は短波長側にシフトし、その起源が歪緩和効果であることを理論計算から明らかにした[7]。

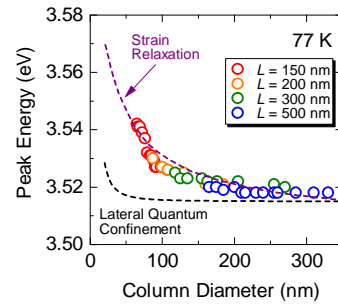


図 2: ピークエネルギーのコラム径依存性と歪緩和効果の理論計算。

(2) プラズモニック結晶導入による橙～赤色発光 InGaIn の発光増強メカニズムの評価[8]

発光効率が特に低い橙～赤色領域において発光増強を実現するために、プラズモニック結晶を規則配列 InGaIn/GaN ナノコラムに導入し、橙色で最大 5.2 倍、赤色で最大 3.8 倍の発光増強を達成した[8]。また、新たな発光ピークが出現するなど大きく PL スペクトルが変化することがわかった。図 3 に示したように、発光増強スペクトルは FDTD で計算した電界強度の波長依存性で概ね再現し、発光増強はプラズモニック結晶のバンド端近傍で顕著

に起こることを電磁界シミュレーションおよびプラズモニックバンド計算の結果と比較することにより実証した。すなわち、プラズモニック結晶における発光増強メカニズムは、表面プラズモンの定在波が形成されて共振効果が生じ、表面プラズモンの電界強度が強くなることに起因していることを明らかにした。光と結合しない表面プラズモンモードも観測されたことから、表面プラズモンモードを理解した構造設計が重要である。

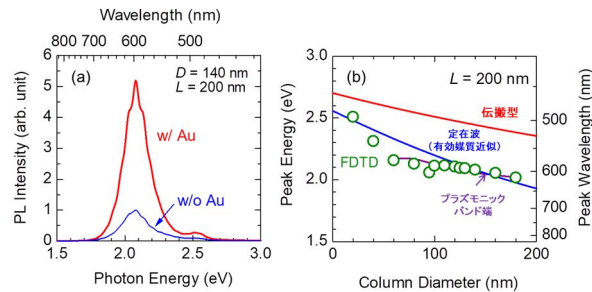


図 3: (a) プラズモニック結晶導入前後における InGaIn/GaN ナノコラムの PL スペクトル。(b) 発光増強波長（共鳴波長）のシミュレーション結果。

(3) 高効率プラズモニック LED の実現に向けたプラズモニックナノ構造の提案と試作

高効率プラズモニック LED の実現に向けて、コラム側面で表面プラズモン結合を引き起こして電流注入可能なプラズモニックナノ構造を作製して光学評価を行った。高効率な赤色 LED を目指したナノ構造においても、従来のナノコラムプラズモニック結晶[8]と同程度の大きさの電界強度が発生し、発光波長はコラム径・周期によって制御できることが電磁界シミュレーションの結果からわかった。また、従来の構造で観測できなかった強い電界が短波側に出現し、励起光と発光を共に増強できる可能性も見出した。

実際に、発光増強特性を調査するために、ナノコラムアレイ間を SOG で埋め込み、BHF を用いたエッチングを行った後、金をコラムが完全に埋まるまで蒸着した。その後、ナノコラムトップが露出するまで金のウェットエッチングを行った。不均一性は大きいもののナノコラム間に金ナノ構造を形成でき(図 4)、金ナノ構造導入前後の発光スペクトルを結晶上部から評価したところ、金ナノ構造導入によって最大 4 倍程度の発光増強を達成した[9]。

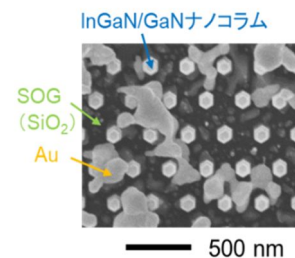


図 4: InGaIn/GaN ナノコラム側面に導入した金ナノ構造の SEM 像。

【参考文献】

- [1] H. Sekiguchi *et al.*, Appl. Phys. Express **1**, 124002 (2008).
- [2] K. Okamoto *et al.*, Nat. Mat. **3**, 601 (2004).
- [3] L. Menon *et al.*, Appl. Phys. Lett. **93**, 123117 (2008).
- [4] T. Oto *et al.*, AIP Adv. **6**, 115214 (2016).
- [5] T. Oto *et al.*, Appl. Phys. Express **10**, 045001 (2017).
- [6] T. Oto *et al.*, Phys. Status Solidi B **255**, 1700481 (2018).
- [7] T. Oto *et al.*, Appl. Phys. Express **12**, 125001 (2019).
- [8] T. Oto *et al.*, Appl. Phys. Lett. **111**, 133110 (2017).
- [9] M. Oigawa, T. Oto *et al.*, APWS2019, TuP-CH-9 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 0件）

1. 著者名 K. Kishino, N. Sakakibara, K. Narita, and T. Oto	4. 巻 13
2. 論文標題 Two-dimensional multicolor (RGBY) integrated nanocolumn micro-LEDs as a fundamental technology of micro-LED display	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 014003 ~ 014003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab5ad3	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 T. Oto, Y. Mizuno, K. Yamano, J. Yoshida, and K. Kishino	4. 巻 12
2. 論文標題 Column diameter dependence of the strain relaxation effect in GaN/AlGaN quantum wells on GaN nanocolumn arrays	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 125001 ~ 125001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab51e1	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 K. Kishino, K. Narita, A. Yanagihara, T. Oto, and R. Togashi	4. 巻 なし
2. 論文標題 Nanocolumns LEDs for Monolithic Micro-LED Display	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. IDW 2018	6. 最初と最後の頁 566-568
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 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 T. Oto, Y. Mizuno, J. Yoshida, A. Yanagihara, R. Miyagawa, K. Ema, and K. Kishino	4. 巻 255
2. 論文標題 Effects of Introduction of InGaN Quantum Structures on Structural and Optical Properties of InGaN Nanocolumns	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi B	6. 最初と最後の頁 1700481 (1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.201700481	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 T. Oto, K. Kikuchi, K. Okamoto, and K. Kishino	4. 巻 111
2. 論文標題 Enhancement of light emission and internal quantum efficiency in orange and red regions for regularly arrayed InGaN/GaN nanocolumns due to surface plasmon coupling	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 133110 ~ 133110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5005517	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 T. Oto, Y. Mizuno, J. Yoshida, A. Yanagihara, R. Miyagawa, K. Ema, and K. Kishino	4. 巻 未確定
2. 論文標題 Effects of Introduction of InGaN Quantum Structures on Structural and Optical Properties of InGaN Nanocolumns	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 physica status solidi (b)	6. 最初と最後の頁 1700481 ~ 1700481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.201700481	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29件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 大音隆男, 生江祐介, 鈴木翔馬, 相原碧人, 菊池昭彦
2. 発表標題 HEATE法で作製したInGaN/GaNナノピラーにおける内部量子効率・光取り出し効率のピラー径依存性
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Aihara, K. Kikuchi, K. Okamoto, R. Togashi, K. Kishino, and T. Oto
2. 発表標題 Red emission enhancement from InGaN using nanocolumn plasmonic crystals with honeycomb and kagome lattices
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Oigawa, K. Okamoto, R. Togashi, K. Kishino, and T. Oto
2. 発表標題 Surface Plasmon Coupling around Lateral Interface toward InGaN Nanocolumn Based Plasmonic LEDs with High Efficiencies
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takimoto, K. Narita, K. Yoshida, T. Oto, T. Yamaguchi, T. Honda, T. Onuma, R. Togashi, I. Nomura, and K. Kishino
2. 発表標題 Red Emitting InGaN-based Ordered Nanocolumns Exhibiting Photonic Crystal Effects at 671 nm
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸野克巳, 成田一貴, 柳原藍, 畠山大輝, 滝本啓司, 榊原直樹, 大音隆男, 野村一郎, 富樫理恵
2. 発表標題 可視域ナノコラム発光デバイスの研究動向 -マイクロLED への新展開
3. 学会等名 第38回電子材料シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相原碧人, 菊地主馬, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 ハニカム・カゴメ格子配列ナノコラムプラズモニック結晶を用いたInGaNからの赤色発光増強
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大井川道崇, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 高効率プラズモニクLEDに向けたナノコラム側面での表面プラズモン結合に関する検討
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相原碧人, 菊地主馬, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳, 大音隆男
2. 発表標題 ハニカム格子ナノコラムプラズモニク結晶を用いたInGaNからの赤色発光増強
3. 学会等名 第11回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 滝本啓司, 成田一貴, 吉田圭吾, 大音隆男, 山口智広, 本田徹, 尾沼猛儀, 富樫理恵, 野村一郎, 岸野克巳
2. 発表標題 規則配列InGaNナノコラムを用いた赤色域発光結晶
3. 学会等名 第11回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 滝本啓司, 成田一貴, 吉田圭吾, 大音隆男, 山口智広, 本田徹, 富樫理恵, 野村一郎, 岸野克巳
2. 発表標題 規則配列InGaNナノコラムを用いた赤色発光LED結晶
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊地主馬, 大音隆男, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 InGaN/GaN ナノコラムプラズモニック結晶における発光増強率の分散関係
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kishino, K. Narita, A. Yanagihara, T. Oto, and R. Togashi
2. 発表標題 Nanocolumn LEDs for Monolithic Micro-LED Display
3. 学会等名 The 25th International Display Workshops (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Oto, K. Kikuchi, K. Okamoto, R. Togashi, and K. Kishino
2. 発表標題 Coupling of Photonic and Plasmonic Band States in InGaN/GaN Nanocolumn Plasmonic Crystals
3. 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳沢優光, 猪瀬裕太, 江馬一弘, 中岡俊裕, 大音隆男, 岸野克巳
2. 発表標題 GaNナノコラムにおける励起子多体効果のコラム径依存性
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊地主馬, 大音隆男, 岡本晃一, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 InGaN/GaN ナノコラムプラズモニック結晶の発光増強メカニズム
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畠山大輝, 成田一貴, 大音隆男, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 規則配列 GaN ナノコラムの直径変化による光導波構造形成
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成田一貴, 大音隆男, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 高充填率・規則配列 InGaN ナノコラムの発光色変化メカニズム
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Oto, K. Kikuchi, K. Okamoto, and K. Kishino
2. 発表標題 Enhanced Orange and Red Emissions by InGaN/GaN Nanocolumn Plasmonic Crystals
3. 学会等名 34th International Conference on the Physics of Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kishino, J. Yoshida, Y. Matsui, and T. Oto
2 . 発表標題 Regularly arranged AlGaIn/InGaIn nanocolumns for visible-emitting devices
3 . 学会等名 Frontiers in Materials Processing Applications, Research and Technology (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Oto, Y. Mizuno, J. Yoshida, A. Yanagihara, R. Miyagawa, K. Ema, and K. Kishino
2 . 発表標題 Structural and optical properties in InGaIn/GaN single quantum wells on GaN nanocolumns
3 . 学会等名 12th International Conference on Nitride Semiconductors (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Oto, Y. Mizuno, A. Yanagihara, K. Ema, and K. Kishino
2 . 発表標題 Structural and optical properties in InGaIn/GaN nanocolumns fabricated by selective-area growth
3 . 学会等名 EMN Meeting on Epitaxy 2017 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Kikuchi, T. Oto, K. Okamoto, and K. Kishino
2 . 発表標題 Enhanced light emission intensity from regularly arrayed InGaIn/GaN nanocolumns due to surface plasmon coupling
3 . 学会等名 The 8th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Oto, T. Kano, R. Miyagawa, F. Tachibana, and K. Kishino
2. 発表標題 Optical properties in InGaN/AlGaIn quantum wells on GaN nanocolumns fabricated by selective area growth
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kishino, J. Yoshida, Y. Matsui, T. Oto, K. Kikuchi, and K. Motoyama
2. 発表標題 InGaN/(Al)GaIn-based nanocolumn (NC) arrays and their light-emitter applications
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Semiconductor Light Emitting Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大音隆男, 水野祐太郎, 柳原藍, 江馬一弘, 岸野克巳
2. 発表標題 選択成長GaInナノコラム上InGaInの構造・光学特性
3. 学会等名 第9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 2017年

1. 発表者名 大音隆男, 加納達也, 吉田純, 宮川倫, 江馬一弘, 岸野克巳
2. 発表標題 規則配列GaInナノコラム上InGaIn/AlGaIn量子井戸の光学特性
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 菊地主馬, 大音隆男, 岡本晃一, 岸野克巳
2. 発表標題 三角格子配列Au/InGaN/GaNナノコラムのプラズモニック特性
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 岸野克巳, 松井祐三, 大音隆男, 吉田純, 菊地主馬, 山野晃司
2. 発表標題 GaNナノコラム発光デバイス
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 大音隆男, 菊地主馬, 岡本晃一, 岸野克巳
2. 発表標題 規則配列InGaN/GaNナノコラムのフォトリックバンド構造に表面プラズモンが与える影響
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

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