

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00874

研究課題名(和文) ナノコラム結晶による三原色集積型発光デバイスの革新

研究課題名(英文) Innovation of Three Primary Colors Emitting Devices by Nanocolumn Crystals

研究代表者

岸野 克巳 (KISHINO, Katsumi)

上智大学・上智大学・教授

研究者番号：90134824

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,200,000円

研究成果の概要(和文)：ナノコラムは一次元ナノ結晶である。InGaN/GaN規則配列ナノコラムにおいて、コラム径による発光色制御メカニズムを用いて、超微細発光面を有するInGaN系LEDの二次元的に配列させ、微小領域内への赤、緑、青、黄色マイクロLEDのモノリシック集積化を達成した。さらに高い放射ビーム指向性を有するナノコラムLEDの多色集積化に成功し、ナノコラム周期を活用したAgプラズモニクス結晶を用いて、赤色域で数倍のフォトルミネッセンス発光増強を得て、赤色域InGaN系ナノコラムの高効率化へ道を拓いた。これら成果は映像パネルの微細化をもたらしてVR,ARなどの次世代ディスプレイの発展に寄与する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

VR、ARなど次世代ディスプレイは大きな社会変革をもたらすが、それに適合する映像パネルでは10 μ mサイズ以下のマイクロLEDを二次元配列技術の開拓が必要である。それに対する一つの解決法として、InGaN/GaNナノコラムによって発光面積5 \times 5 μ m²のLEDを周期10 μ mで二次元配列させ、集積型 μ LED画素ユニットで赤、緑、青、黄色発光を実証した。放射ビーム指向性の高いLEDの多色発光集積化を実現して新たな発光デバイス領域を拓き、さらにナノコラム周期効果を用いることで、プラズモニクス金属としてはAuではなくAgが赤色域発光増強に有効であることを示して、従来のプラズモニクス分野の常識を革新した。

研究成果の概要(英文)：Nanocolumns are one-dimensional nanocrystals; based on the emission color control mechanism by nanocolumn diameter in InGaN/GaN ordered nanocolumn arrays, we fabricated two dimensional arrangement of InGaN LEDs with ultra fine emission areas, in which the monolithic integration of red, green, blue and yellow emissions micro-LEDs into a micro region was achieved. Furthermore, we got the success of multicolor integrated nanocolumn LEDs with the high radiation directionality; using the Ag-based plasmonic crystals based on the periodicity of nanocolumn arrays, we got the severalfold photoluminescence enhancement ratio in the red emission range, which lead way toward the high efficiency of red InGaN nanocolumns. The research results effect a miniaturization of video panels, which will contribute to the development of the next generation display such as VR, AR and so on.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：三原色集積型光デバイス ナノコラム InGaN LED レーザ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マイクロLED(μ LED)ディスプレイが注目され、個別の三原色の μ LEDチップをピックアンドブレイス法で並べるハイブリッド実装が行われていた。しかしながら、薄膜LED結晶をチップ化すると発光効率が低下し、VR、ARなどに必要となる微細な映像パネルでは、 $10\mu\text{m}$ 程度の μ LEDを高精度で高密度に二次元配列するには生産技術的なハードルが高く、実装時間もかかり、三原色InGaN系 μ LEDのモノリシック集積化の実現が求められていた。一方、三原色集積化では青と緑域と同一材料のInGaN系で μ LEDを構成する必要があり、赤色域の高効率化が課題であった。

2. 研究の目的

InGaN/GaN ナノコラムでナノ結晶効果を発現させ、ナノコラムの規則配列化を行い、ナノコラム系にフォトニック結晶効果、表面プラズモン効果を加え、新たなナノコラムデバイスプラットフォームを構築し、青色、緑色から赤色域のナノコラムLED/レーザの結晶とデバイス物理を学術的に解明して、三原色集積型マイクロLED/レーザの革新技術を開拓する。

3. 研究の方法

研究代表者らが開拓したInGaN/GaN ナノコラムではコラム径によって発光色制御ができ、これを用いて三原色集積型 μ LED画素ユニットを実現し、ナノパターン成長によって三原色画素ユニットの高密度な二次元配列構造を作り、それぞれの μ LED画素の独立駆動を行って映像パネル作製法を提案する。さらに、ナノコラムフォトニック結晶効果を発現させることで、高いビーム指向性をもつ革新的な集積型LEDを達成して、新たなディスプレイ用映像エンジン基盤技術を開拓する。ナノコラムフォトニック結晶への光導波路構造の内在化法を見出して、ナノコラムレーザ基礎技術を検討する。ナノコラムではナノ結晶効果のために発光効率を高めやすい。これに加えてプラズモニクス結晶の導入を検討し、InGaN系材料の赤色域高効率化への道を探求する。

4. 研究成果

(1) 多色発光・InGaN/GaN ナノコラムマイクロ(μ)LEDの二次元配列モノリシック集積化

InGaN/GaN ナノコラムの発光色は、コラム径(D)の変化によって青から赤色域の可視全域で制御できる。図1(a)に示すように、この発光色制御法を基礎にして同一基板上で異なる発光色を変化させながら、超微細の発光領域($5 \times 5\mu\text{m}^2$)をもつナノコラム μ LED(図1(b)参照)を、周期 $10\mu\text{m}$ で高密度に二次元配列させた。結晶上にはp型、n型のマトリクス配線電極を作りつけて、各 μ LED画素の独立駆動を行わせ、図1(c)のように、一つの集積ユニット内で赤・緑・青・黄色(RGBY)発光 μ LEDのモノリシック集積化に成功した。結晶成長による μ LEDパネル構造の新

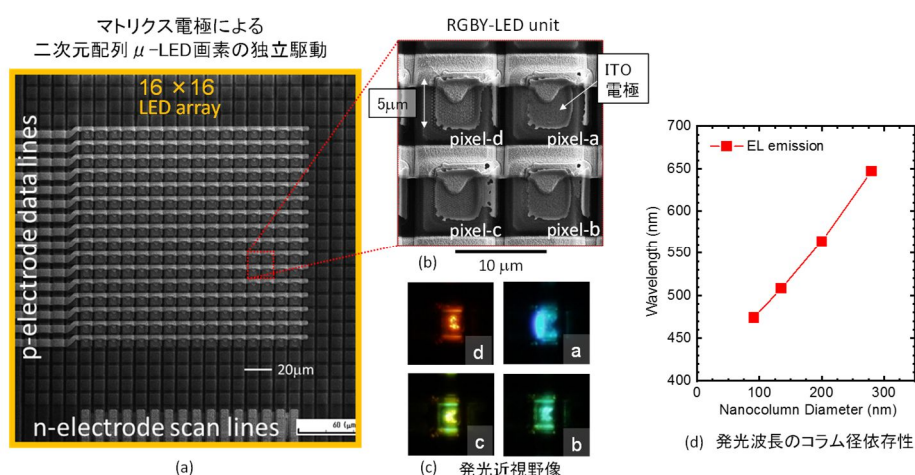


図1 多色発光ナノコラム μ LED画素の二次元配列・モノリシック集積化

たな実装法が示され、生産性の高いディスプレイ技術へ応用展開への一つの有力な手法が提案された¹。図1(d)に示すように、発光波長はコラム径によって単調に変化し、ナノパターン基板で発光色が制御され、一回の結晶成長で多色発光集積型 μ LEDデバイスが得られ、この手法は個別RGB μ LEDチップをピックアップ法で並べる実装法に比べて、映像パネルの高密度・高精度配列化がしやすい。しかし赤色LED画素の発光強度は緑～黄色域に比べて1/3～1/2程度と低く、また発光スペクトルにも複数ピークが見られ、発光色純度も高めてゆく必要があった。

(2) 発光色制御と発光スペクトル純度の向上

上記の集積型 μ LEDでは、LED実装に適した高充填率の規則配列ナノコラムを用いつつ、効率ドロープ抑制に向けた厚膜(バルク)InGaN発光層を内在化させた。本研究では、これに適合した新たな発光色(In組成)制御メカニズムの解明を進めた。バルクInGaN層では、格子歪を抑制するためInGaN/GaNナノコラム内でIn凝集が起こり、コアInGaN構造が形成される。発光色変化は、コアInGaNのIn組成がコラム径増加とともに増加して、発光波長が長波長シフトすることで起こると考えられる。この発光色制御メカニズムを解明するため、図2に示すように、InGaNの成長時間(層厚)を変えて発光波長のコラム周期依存性を系統的に調べた。成長時間15minの厚膜InGaNではPL波長はコラム周期(格子定数： L)とともに単調に増加したが、成長時間が短い場合には、大きなコラム周期の領域で波長変化は短波長側にキックバックした。この現象はコラムトップ形状の変化によるIn組成の空間分布の変化に基づくもので、それが発光スペクトルの多重ピークを引き起こしてスペクトル純度を低下させた。この課題解決の手法を探求し、下地n-GaNナノコラムトップを平坦トップ形状に制御すると、マルチピーク発光が抑制され、単峰性スペクトルに近づき、スペクトル純度が向上することが明らかになった²。

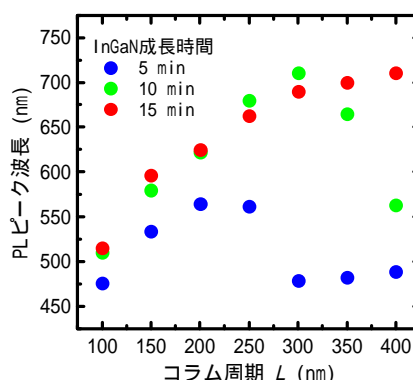


図2 InGaN成長時間5, 10, 15 minにおけるフォトルミネッセンス(PL)ピーク波長のコラム周期依存性

(3) 赤色発光ナノコラムLED

赤色ナノコラムLED結晶の構造制御と高品質化を進めた。図3のような構造のナノコラムLED(コラム周期 $L=350$ nm)を作製したところ、ピーク波長619nmの赤色発光を得た(図4(a))。スペクトル半値全幅は54nmと狭く、電流増加に対するブルーシフトも小さく、外部量子効率(EQE)の低下(効率ドロープ)も少ない(図4参照)。これに対してInGaN薄膜赤色LEDでは、同じ電流密度(~ 100 A/cm²)までの増加におけるブルーシフトは40nmであり、効率ドロープも50%と大きい³。ナノコラムLEDで良好な特性が得られる理由は明確になっていないので、今後明らかにしてゆく。

一方、基板裏面から光出力を測定して得たEQEは0.54%であった。FDTD解析による光取り出し効率は12%程度で、実装法で光取り出し効率は少なくとも60%以上

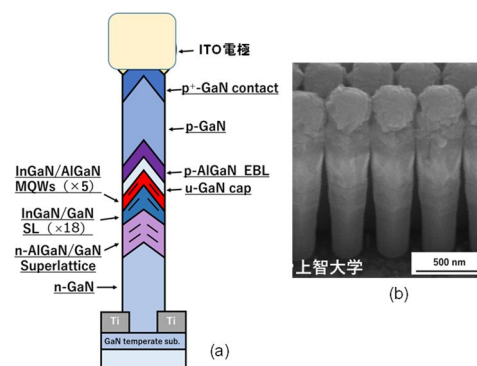


図3(a)赤色発光ナノコラムLED構造図と(b)成長LED結晶の鳥瞰SEM写真

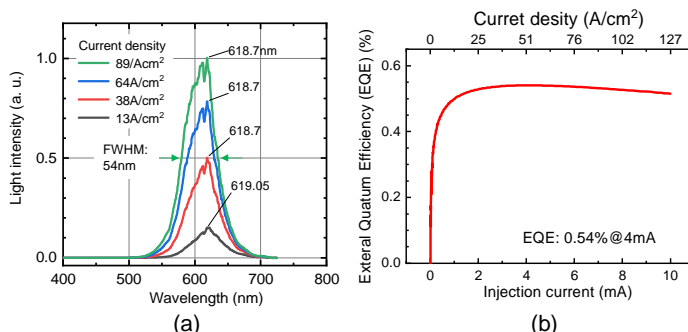


図4 スペクトルと外部微分量子効率の注入電流依存性

になるので、3%程度の赤色 EQE が示唆され、その時点としてはトップレベルの値が得られた。

(4) 赤色ナノコラムフォトニック結晶 LED

高い放射ビーム指向性を有する三原色 InGaN 系 LED は、フルカラーLED ディスプレイのキーテクノロジーとなりうる。規則配列ナノコラムではフォトニック結晶効果が発現され、フォトニックバンド端での光回折によって、放射角度の狭い放射ビーム特性が得られる。図 5(a)は赤色ナノコラム LED 構造で、InGaN/GaN ナノコラム ($D=260\text{nm}$) を三角格子配列 ($L=340\text{nm}$) させた。受光角の小さな 4 倍対物レンズで発光スペクトルを測定して指向性の高い放射ビームを優先的

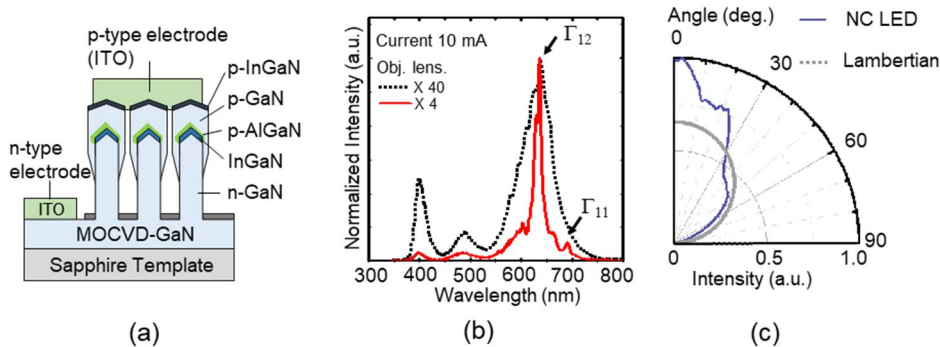


図 5 赤色発光ナノコラムフォトニック結晶 LED 構造と発光特性

に検出したところ、図 5(b)の実線(赤色)のように、鋭い発光スペクトルが得られた。半値全幅 (FWHM) は 15nm でピーク波長は 638nm であった。このピークはフォトニックバンド端 Γ_{12} に対応し、フォトニック結晶効果が発現されたことを示している。図 5(c)は放射ビーム強度の角度依存性で、放射角 $\pm 30^\circ$ が測定され、赤色域では初めて高い放射ビーム指向特性を有するナノコラム LED 動作が実証した⁴。

(5) 赤色 LED 高効率化のためのプラズモニック結晶の最適化

InGaN 系 LED では赤色域の発光効率 は 3%程度と低く、表面プラズモンによる効率増強効果の活用への期待が高い。この観点で見ると、膜状構造における表面プラズモンポラリトン(SPP)赤色発光増強では、プラズモニック金属として Au が最適であると考えられてきた。本研究のナノコラムプラズモニック結晶では、周期的な金属/誘電体界面を有するため、可視光域で光吸収が少ない Ag が Au よりも高い発光増強が見込めることが理論的に解明され(図 6 参照) その効果を実験的にも確認した⁵。一方、ナノコラム LED への展開では、ナノコラムの三角格子配列に比べてハニカム格子とすることで、コラム側面にプラズモニック金属を装着しやすくなる。ここではハニカム格子ナノコラムアレイに Au プラズモニック結晶を導入して、実験的に赤色域で最大 4.8 倍のフォトルミネッセンス発光増強を観測して、三角格子よりも高い発光増強率を得た(図 7)。さらにハニカム格子プラズモニック結晶で Ag と Au を比較したところ、前者の電場増強率が約 2.5 倍となり、赤色域でのさらなる高効率化への期待が高まった。

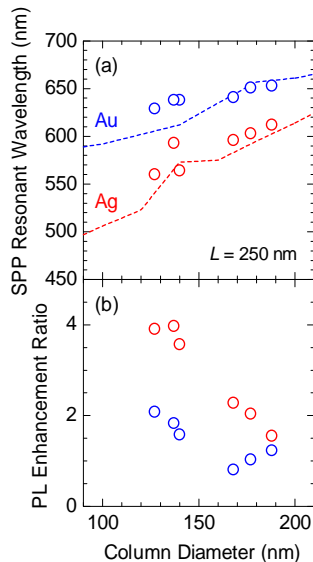


図 6(a) SPP 共鳴波長と (b) 発光増強率のコラム径依存性

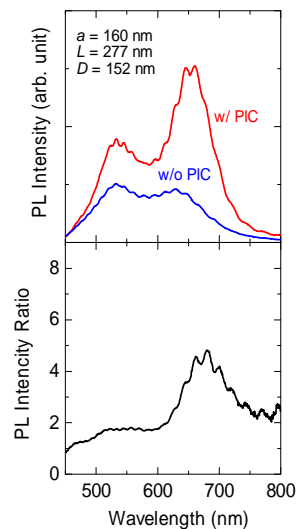


図 7(a)ハニカム格子ナノコラムの PL スペクトルと (b) 発光増強率

(5) 多色発光集積型・高指向性ナノコラム LED

同一基板上にさまざまなコラム径・周期(D , L)の規則配列ナノコラムからなるナノコラム LED 結晶を集積して、ナノコラムフォトニック結晶のフォトニックバンド端波長を調べて、図 8 のように D と L との関係でユニバーサル的に整理して、集積型ナノコラム LED 設計の資料を得た⁶。これを基礎にして図 9(a)のように多色発光集積型のフォトニック結晶ナノコラム LED を作製し、緑から橙色発光のフォトニック結晶ナノコラム LED の一体集積化に成功した⁶。コラム径と周期の変化によって、フォトニックバンド端波長を制御しつつ、同時に発光波長制御も行うが、両者は異なる機構によるため、これを整合させながら制御する必要がある。図 9(c)、(d)に示すように、受光角の小さなレンズ系で観測すると、半値幅の狭い鋭いスペクトルが得られ、フォトニック結晶効果が発現されたことが分かる。放射ビーム角 $\pm 30^\circ$ が得られた⁶。

この集積型 LED は Appl. Phys. Express に発表され⁶、2022 年 Spotlights 論文に選定されるとともに、掲載後 1 か月間のダウンロード数も 486 件にのぼり注目を集めている。

またナノコラムフォトニック結晶によれば、適切な光導波路を内在化させて構造の最適化を行うことで、 10° 以下の狭放射ビーム LED が得られ、コラム径を軸方向で変化させて光導波路を作り込む手法を提案しており⁷、ナノコラムレーザへの展開も期待される。

< 引用文献 >

K. Kishino et al., "Two-dimensional multicolor (RGBY) integrated nanocolumn micro-LEDs as a fundamental technology of micro-LED display", Applied Physics Express 13, 2020,014003 (5pp).

吉村、・・・、岸野、"下地コラムトップ角度による InGaN/GaN ナノコラムの発光スペクトル制御"、第 82 回応物秋季学術講演会、13A-N101-4、2021 年 9 月 10-13 日。

S. S. Pasayat et al., "Demonstration of ultra-small ($<10 \mu\text{m}$) 632 nm red InGaN micro-LEDs with useful on-wafer external quantum efficiency ($>0.2\%$) for mini-displays", Appl. Phys. Express 14, 2021, 011004 (4pp).

A. Yanagihara and K. Kishino, "Red-Emitting InGaN-Based Nanocolumn Light-Emitting Diodes with Highly Directional Beam Profiles", Phys. Status Solidi A 217, 2020, 1900771(6pp).

T. Oto, ..., K. Kishino, "Comparison of surface plasmon polariton characteristics of Ag- and Au-based InGaN/GaN nanocolumn plasmonic crystals", Appl. Phys. Express 14, 2021, 105002 (5pp).

A. Yanagihara and K. Kishino, "Monolithic integrated green-to-orange color InGaN-based nanocolumn photonic crystal LEDs with directional radiation beam profiles", Appl. Phys. Express 15, 2022, 022013 (5pp).

D. Hatakeyama, ..., K. Kishino, "Fabrication of nanocolumn photonic crystal (NC-PC) structure with enhanced optical confinement by controlling NC diameter", Nanowire Week 2019 (NWW2019), P3.17, Pisa, Italy, September 23-27, 2019.

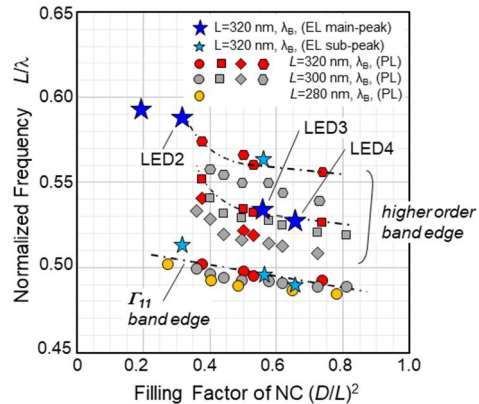


図 8 ナノコラムフォトニック結晶 LED のバンド端波長のコラム構造依存性

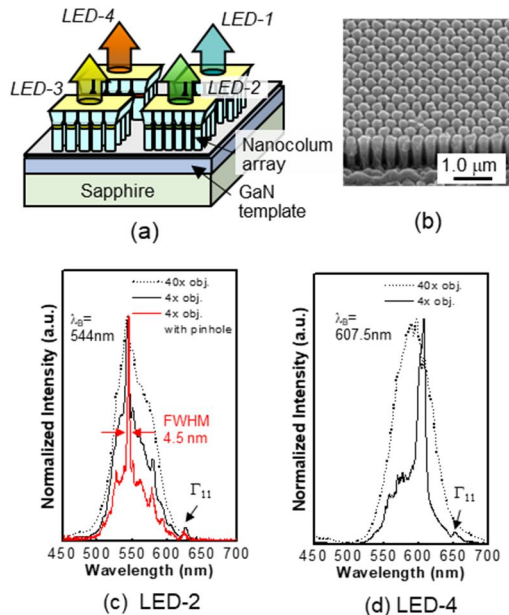


図 9 多色発光集積型・高指向性ナノコラム LED

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 2件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Liudi Mulyo Andreas, Rajpalke Mohana K., Vullum Per Erik, Weman Helge, Kishino Katsumi, Fimland Bjorn-Ove	4. 巻 10
2. 論文標題 The influence of AlN buffer layer on the growth of self-assembled GaN nanocolumns on graphene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 853(12pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-55424-z	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 Shimosako N., Inose Y., Kinjo K., Nakaoka T., Oto T., Kishino K., Ema K.	4. 巻 128
2. 論文標題 Carrier density dependence of localized carrier recombination dynamics in orange-emitting InGaN/GaN nanocolumns	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 133102(10pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0018363	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, N.Sakakibara, K. Narita1 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(5pp)
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 A. Yanagihara and K. Kishino	4. 巻 217
2. 論文標題 Red-Emitting InGaN-Based Nanocolumn Light-Emitting Diodes with Highly Directional Beam Profiles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Status Solidi A	6. 最初と最後の頁 1900771(6pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssa.201900771	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/AlGaIn 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 (4pp)
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 T. Yamaguchi, T. Sasaki, S. Fujikawa, M. Takahashi, T. Araki, T. Onuma, T. Honda and Y. Nanishi	4. 巻 9
2. 論文標題 In Situ Synchrotron X-ray Diffraction Reciprocal Space Mapping Measurements in the RF-MBE Growth of GaInN on GaN and InN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 631(8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst9120631	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 T. Oto, M. Okamura, Y. Matsui, K. Motoyama, S. Ishizawa, R. Togashi and K. Kishino	4. 巻 60
2. 論文標題 Photonic band characterization in InGaIn/GaN nanocolumn arrays with triangular and honeycomb lattices by angle-resolved micro-photoluminescence measurements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 060904 (5pp)
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 -

1. 著者名 A. Liudi Mulyo, A. Mukherjee, I. M. Hoias, L. Ahtapodov, T. A. Nilsen, H. Hem Toftevaag, P. E. Vullum, K. Kishino, H. Weman and B.-O. Fimland	4. 巻 4
2. 論文標題 Graphene-Based Transparent Conducting Substrates for GaN/AlGaIn Nanocolumn Flip-Chip Ultraviolet Light-Emitting Diodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Appl. Nano Mater.	6. 最初と最後の頁 9653-9664
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c02050	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 N. Shimosako, K. Kinjo, Y. Inose, T. Nakaoka, T. Oto, K. Kishino and K. Ema	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 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 143106 (8pp)
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 T. Oto, M. Namazuta, S. Hayakawa, K. Okamoto, R. Togashi, and K. 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 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 105002(5pp)
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 A. Yanagihara and K. Kishino	4. 巻 15
2. 論文標題 Monolithic integrated green-to-orange color InGaN-based nanocolumn photonic crystal LEDs with directional radiation beam profiles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 022013 (5pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac4674	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 -

〔学会発表〕 計54件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 T. Oto, A. Aihara, K. Okamoto, R. Togashi, K. Kishino
2. 発表標題 Mechanism of red emission enhancement in InGaN nanocolumn plasmonic crystals with honeycomb lattice
3. 学会等名 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology, (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Yamaguchi, T. Sasaki, T. Kiguchi, S. Ohno, H. Hirukawa, R. Yoshida, T. Onuma, T. Honda, M. Takahasi, T. Araki, Y. Nanishi
2. 発表標題 In situ XRD RSM measurements in MBE growth of GaInN film with low-temperature GaInN buffer layer
3. 学会等名 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-8) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akihiro Ueno, Gyo Imamura, Keigo Yoshida, Keiji Takimoto, Ichirou Nomura, Rie Togashi, Tomohiro Yamaguchi, Tohru Honda, Katsumi Kishino
2. 発表標題 Fabrication process of GaInN/GaN honeycomb array nanocolumn LEDs for integration of surface plasmonic resonance scheme
3. 学会等名 8th International Conference on Light-Emitting Devices and Their Industrial Applications (LEDIA 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大首 隆男, 鯨田 優人, 早川 将太郎, 岡本 晃一, 富樫 理恵, 岸野 克巳
2. 発表標題 ナノコラムプラズモニク結晶を用いたプラズモン共鳴波長制御と発光増強特性
3. 学会等名 第17回プラズモニクスシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大井川 道崇, 岡本 晃一, 富樫 理恵, 岸野 克巳, 大首 隆男
2. 発表標題 InGaN 系ナノコラム側面への金ナノ構造導入による発光増強
3. 学会等名 応用物理学東北支部第75回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 相原 碧人, 岡本 晃一, 富樫 理恵, 岸野 克巳, 大音 隆男
2. 発表標題 特異格子配列InGaNナノコラムプラズモニク結晶における赤色発光増強メカニズム
3. 学会等名 応用物理学東北支部第75回学術講演会
4. 発表年 2020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 ナノコラムプラズモニク結晶を用いた赤色発光増強技術
3. 学会等名 Sophia Open Research Weeks 半導体ナノフォトニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉村賢哉, 滝本啓司, 成田一貴, 富樫理恵, 野村一郎, 岸野克巳
2. 発表標題 低充填率と高充填率InGaN/GaN規則配列ナノコラムにおける発光色変化メカニズムの比較検討
3. 学会等名 第3回結晶工学×ISYSE合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大音 隆男, 鯉田 優人, 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ク結晶における発光増強特性～金と銀の比較～
3. 学会等名 第81回応用物理学学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田純平、本田達也、吉田圭吾、富樫理恵、野村一郎、山口智広、本田徹、岸野克巳
2. 発表標題 GaN系ナノコラムにおけるn-GaN平坦層がInGaN/AlGaN MQWs発光層に与える影響
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. 発表者名 G. Imamura, K. Yoshida, A. Ueno, R. Togashi, T. Yamaguchi, T. Honda and K. Kishino
2. 発表標題 InGaN/GaN Honeycomb Lattice Nanocolumn LEDs
3. 学会等名 2019 Materials Research Society (MRS) Fall Meeting & Exhibit (2019MRS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aoto Aihara, Kz. 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 (APWS 2019) (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 (APWS 2019) (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 (APWS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Hatakeyama, Y. Matsui, R. Togashi and K. Kishino
2 . 発表標題 Fabrication of nanocolumn photonic crystal (NC-PC) structure with enhanced optical confinement by controlling NC diameter
3 . 学会等名 Nanowire Week 2019 (NWW2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Kishino, K. Yamano, A. Yanagihara and R. Togashi
2 . 発表標題 Regularly Arranged GaN Nanocolumns and Related Emitting Devices
3 . 学会等名 PDI Topical Workshop on Epitaxial III-Nitride Semiconductor Nanowires (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Kishino, K. Narita, A. Yanagihara, D. Hatakeyama, K. Takimoto, N. Sakakibara, T. Oto and R. Togashi
2 . 発表標題 III-N Nanocolumn Visible LEDs
3 . 学会等名 13th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS 13) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Liudi Mulyo, M.K. Rajpalke, P. E. Vullum, H. Weman, K. Kishino and B-O. Fimland
2. 発表標題 The influence of AlN buffer layer on the growth of self-assembled GaN nanocolumns on graphene
3. 学会等名 Nanowire Week 2019 (NWW2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liudi Mulyo, M. Krishnappa Rajpalke, P. Erik Vullum, H. Weman, Katsumi Kishino and B.-O. Fimland
2. 発表標題 The Influence of AlN Buffer Layer on the Growth of Self-Assembled GaN Nanocolumns on Graphene
3. 学会等名 13th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS 13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liudi Mulyo, D.-C. Kim, I. Marie Høiaas, L. Ahtapodov, H. Weman, K. Kishino and B.-O. Fimland
2. 発表標題 Utilization of Graphene as Substrate and Bottom Electrode for High-Density and Vertically-Aligned GaN/AlGa _N Nanocolumns in Light-Emitting Diodes in the UV-A
3. 学会等名 The 10th annual workshop of Norwegian PhD Network on Nanotechnology for Microsystems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田圭吾、滝本啓司、富樫理恵、野村一郎、山口智広、尾沼猛儀、本田徹、岸野克巳
2. 発表標題 GaInN/GaN規則配列ナノコラム結晶における活性層の構造と光学特性の関係
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 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 酒井優, 江頭真由, 上石拳, 東海林篤, 光野徹也, 菊池昭彦, 岸野克巳
2. 発表標題 六角形状GaNマイクロディスクにおけるWGM発光の温度依存性
3. 学会等名 日本光学会ナノオプティクス研究グループ 第26回研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田圭吾, 今村暁, 滝本啓司, 富樫理恵, 山口智広, 尾沼猛儀, 本田徹, 岸野克巳
2. 発表標題 InGaN/GaNハニカム構造ナノコラム結晶の成長と評価
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議 (JCCG-48)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細谷優人, 山口智広, 尾沼猛儀, 本田徹
2. 発表標題 低温GaN層挿入によるSi基板上GaNナノコラム構造への影響
3. 学会等名 第2回結晶工学 × ISYSE合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kishino, K. Narita, A. Yanagihara, D. Hatakeyama, K. Takimoto, N. Sakakibara ¹ , T. Oto, I. Nomura and R. Togashi
2. 発表標題 Recent Activities on Visible Range Nanocolumn (NC) Emitting Devices - New development on micro LED-
3. 学会等名 39th Electronic Materials Symposium (EMS-39) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Yoshida, Y. Nakajima, H. Hirukawa, S. Ohno, T. Yamaguchi, T. Onuma, and T. Honda
2. 発表標題 Optical characteristics of high In composition GaInN MQWs grown by RF-MBE
3. 学会等名 The 39th Electronic Materials Symposium (EMS-39)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 十河康治、山野晃司、野村一郎、富樫理恵、岸野克巳
2. 発表標題 AlNバッファ層Si基板上のInGaN/GaNナノコラム成長
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 櫻井杏梨, 岩本亘平, 石川陽, 堀裕和, 小林潔, 岸野克巳, 酒井優
2. 発表標題 近接場分光によるInGaN量子井戸におけるキャリア輸送現象の解明
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 酒井 優, 江頭 真由, 上石 拳, 東海林 篤, 光野 徹也, 菊池 昭彦, 岸野 克巳
2. 発表標題 六角形状GaN マイクロディスクにおけるWGM 発光の共振特性
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・カゴメ格子配列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 吉田涼介, 中島裕亮, 比留川大輝, 大野 颯一郎, 山口智広, 尾沼猛儀, 本田徹
2. 発表標題 RF-MBE 成長した高In 組成GaInN MQWs の光学特性
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 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 日本結晶成長学会ナノ構造・エピタキシャル分科会「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 畠山大輝, 松井祐三, 富樫理恵, 岸野克巳
2. 発表標題 規則配列GaInナノコラムの光導波路形成”,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 日本結晶成長学会ナノ構造・エピタキシャル分科会「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 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ック結晶を用いたInGaInからの赤色発光増強
3. 学会等名 日本結晶成長学会ナノ構造・エピタキシャル分科会「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 K. Kishino
2. 発表標題 InGaIn-Based Nanocolumn Optical Devices
3. 学会等名 26th Microoptics Conference (MOC2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	T. Yamaguchi, K. Tahara, J. Yamada, T. Sasaki, H. Yokoyama, T. Onuma, T. Honda, Y. Nanishi, and K. Kishino
2. 発表標題	Impact of Ga _{1-x} In _x N underlayer for growth of Ga _{1-y} In _y N/Ga _{1-x} In _x N MQW structure
3. 学会等名	The 9th Advanced Functional Materials & Devices (AFMD) and The 4th Symposium for Collaborative Research on Energy Science and Technology (SCREST) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	岸野克巳
2. 発表標題	InGaN/GaN系ナノコラム発光デバイス
3. 学会等名	一般社団法人ワイドギャップ半導体学会設立記念シンポジウム (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ック結晶の構造設計と赤色発光の高効率化
3. 学会等名	第2回半導体ナノフォトニクス研究会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 53)高橋 昂司、滝本 啓司、野村 一郎、岸野 克巳
2. 発表標題 InGaN/GaN規則配列ナノコラムにおける 発光色制御メカニズムの解析
3. 学会等名 第2回半導体ナノフォトニクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 純平、本田 達也、水野 愛、富樫 理恵、野村 一郎、岸野 克巳
2. 発表標題 InGaN系ナノコラムの形状制御とその発光特性
3. 学会等名 第2回半導体ナノフォトニクス研究会
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 ナノコラムのクラスタ配列化による発光強度増大と偏光制御
3. 学会等名 応用物理学会東北支部第76回学術講演会
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

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 nGaN 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 田原開悟、山田純平、山口智広、名西やすし、尾沼猛儀、本田徹、岸野克巳
2. 発表標題 RF-MBE 法によるGaInN/GaInN 多重量子井戸成長と評価
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 上野 彰大、今村 暁、山田 純平、本田 達也、大音 隆男、山口 智広、富樫 理恵、野村 一郎、本田 徹、岸野克巳
2. 発表標題 ハニカム配列GaInN/GaN ナノコラムLED の製作プロセス
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 山田純平、本田達也、水野愛、富樫理恵、野村一郎、山口智広、本田徹、岸野克巳
2. 発表標題 (0001)および(10-11)面InGaN/GaNナノコラム上InGaN/AlGaN MQWsの発光特性
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 吉村賢哉、高橋昂司、 滝本啓司、本田達也、山田純平、富樫理恵、野村一郎、岸野克巳
2. 発表標題 下地コラムトップ角度による InGaN/GaN ナノコラムの発光スペクトル制御
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 高橋昂司、滝本啓司、吉村賢哉、山田純平、本田達也、富樫理恵、野村一郎、岸野克巳
2. 発表標題 高充填率 InGaN/GaN規則配列ナノコラムの発光色制御
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 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ッ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 山田順平、本田達也、水野愛、富樫理恵、野村一郎、山口智広、本田徹、岸野克巳
2. 発表標題 赤色発光MQW sを有する InGa N系ナノコラムにおける Al Ga N障壁層の Al 組成非依存性
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 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ック結晶の構造設計と赤色発光の効率化
3. 学会等名 第2回半導体ナノフォトニクス研究会
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 137
3. 書名 ナノコラム構造と表面プラズモン結合による赤色発光増強技術, マイクロLEDディスプレイ 市場と要素技術の開発動向	

〔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
研究分担者	野村 一郎 (Nomura Ichirou) (00266074)	上智大学・理工学部・教授 (32621)	
研究分担者	大音 隆男 (Oto Takao) (20749931)	山形大学・大学院理工学研究科・助教 (11501)	
研究分担者	富樫 理恵 (Togashi Rie) (50444112)	上智大学・理工学部・助教 (32621)	

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	山口 智広 (Yamaguchi Tomohiro) (50454517)	工学院大学・先進工学部・准教授 (32613)	

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			
ノルウェー	ノルウェー科学技術大学			