

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：55503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04585

研究課題名（和文）窒化物半導体を用いた励起子効果発光デバイスの実現可能性の検討

研究課題名（英文）Examination of the possibility of realizing light-emitting devices based on excitonic effect using nitride semiconductors.

研究代表者

室谷 英彰（Murotani, Hideaki）

徳山工業高等専門学校・情報電子工学科・教授

研究者番号：20612906

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）：本研究では、窒化物半導体量子井戸構造において励起子効果を利用した発光デバイスの実現可能性を検討するために、励起子光物性評価を行った。AlGa_N系量子井戸構造において内部量子効率の温度および励起パワー密度依存性を測定した。得られた内部量子効率の励起密度依存性は励起子の再結合過程に基づいた速度方程式モデルによって説明できることが分かった。このことは、AlGa_N系量子井戸構造において発光機構に励起子の光学遷移過程が関与していることを示している。さらに、AlGa_N系量子井戸構造において、室温において励起子の光学遷移過程が関与した誘導放出が発現することを示し、光励起によるレーザー発振を観測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体においてキャリア（電子と正孔）が励起されると、電子と正孔はクーロン相互作用によって互いに束縛された励起子状態となる。励起子の発光過程や励起子多体効果に基づく光学遷移過程は、高い遷移確率を有していることや、光学利得の生成が期待できるため、この過程を利用することで発光デバイスの性能向上が見込まれる。室温においても励起子が安定に存在し得る半導体材料として、窒化物系半導体があげられる。窒化物半導体は赤外線領域から深紫外線領域で発光可能な材料であり、窒化物半導体によって励起子効果を利用した発光デバイスを実現することで、発光デバイスの性能を著しく向上させることができると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, in order to examine the possibility of realizing light-emitting devices based on the excitonic effect in nitride semiconductor quantum well (QWs), excitonic optical properties were evaluated. We have evaluated the temperature and excitation power density dependence of the internal quantum efficiency (IQE) in AlGa_N-based QWs. It was found that the obtained excitation density dependence of the IQE can be described by a rate equation model based on the exciton recombination process. This indicates that the optical transition process of excitons is involved in the luminescence mechanism in AlGa_N-based quantum well structures. Furthermore, it was shown that stimulated emission involving the optical transition process of excitons occurs in AlGa_N-based QWs even at room temperature, and optically pumped lasing due excitonic optical gain formation process was observed at room temperature.

研究分野：半導体工学

キーワード：窒化物半導体 励起子 誘導放出 レーザー発振 内部量子効率

1. 研究開始当初の背景

半導体においてキャリア(電子と正孔)が励起されると、電子と正孔はクーロン相互作用によって互いに束縛された励起子状態となる。励起子として束縛し合っている電子と正孔が再結合する際には、電子と正孔とのエネルギー差が光として変換放出される光学遷移過程が生じる。さらに、高密度にキャリアを励起し、励起子密度が高くなると、励起子間の相互作用が無視できなくなり、励起子分子の形成や励起子-励起子散乱等の複数の励起子が関与した励起子多体効果が顕著となる。このような励起子の光学遷移過程や励起子多体効果に基づく光学遷移過程は、既存の発光デバイスの発光機構とは異なっており、高い遷移確率を有していることや、誘導放出現象による光増幅機能(光学利得)が期待できるため、この過程を利用することでデバイス性能の向上が見込まれている。励起子効果に基づく発光遷移過程を利用した発光デバイスの実現のためには、励起子が室温において安定に存在することが前提条件となる。励起子の安定性は、励起子が電子と正孔に解離するために必要となるエネルギーである励起子結合エネルギーによって評価できる。室温においても励起子が安定に存在し得るような大きな励起子結合エネルギーを有する材料として、窒化物系半導体が挙げられる。窒化物系半導体のなかでも、AlGa_NやInGa_Nなどの混晶半導体は、混晶組成比を変化させることで赤外線領域から深紫外領域で発光可能な材料であり、青色や近紫外線領域で動作する発光デバイスの材料として利用されている。一方で、混晶半導体は構成元素の結晶内での分布の空間的不均一によってバンドギャップエネルギーの空間的不均一が生じるために、観測される発光スペクトルはブロードな形状となり、種々の発光遷移過程を分離して観測することが困難となる。さらに、結晶成長のために高い技術を必要とし、結晶欠陥の低減が容易ではない。そのため、励起子系光物性に関しては未解明な部分が多い状況であった。

研究代表者はこれまでに、AlGa_N[1,2]およびInGa_N[3,4]において、室温の発光機構に励起子が関与している可能性を示した。また、AlGa_Nにおいて励起子多体効果に基づく発光遷移過程の観測に成功した。さらに、最近、励起子が関与したと思われる誘導放出を観測した。これらのことは、窒化物系半導体が励起子効果および励起子多体効果に対して高い潜在能力を有していることを示しており、励起子の発光遷移過程や励起子多体効果に基づく発光遷移過程を動作原理として利用することで、既存の発光デバイスの性能の枠組みを大きく超える超高性能発光デバイスの実現が期待できると考えた。

2. 研究の目的

前述の研究開始当初の研究背景を踏まえて、本研究では窒化物半導体において室温の発光機構への励起子の光学遷移過程の関与を検証すること、励起子が関与した誘導放出の発現を検証し、その機構を解明すること、励起子の光学遷移過程および励起子が関与した誘導放出過程の発光デバイスの動作原理への応用可能性を検証することを目的とした。特に、励起子が関与した誘導放出を観測し、光学利得生成機構を解明することを目指した。

3. 研究の方法

前述の目的を達成するために、本研究では主にAlGa_N系量子井戸構造を対象として、フォトルミネッセンス(PL)分光測定、時間分解PL分光測定、光励起誘導放出測定等の実験的手法による光物性評価を行った。研究対象の試料は、UV-AおよびUV-C領域で発光するAlGa_N系量子井戸構造とした。光励起誘導放出測定の対象としたUV-C領域で発光する量子井戸試料には、誘導放出しきい値の低減化のために量子井戸層の上下に光閉じ込め層が成長されたものを用いた。

PL測定には、可視光領域から深紫外線領域まで波長可変な色素レーザーを励起光源として用いた。これにより、量子井戸発光層を選択的に励起し、障壁層の影響を除外した状態での評価を可能とした。時間分解PL分光測定は、チタンサファイアレーザーの第3高調波を励起光源とし、シンクロスキャンストリークカメラを用いて行った。光励起誘導放出測定には、PL測定と同様に波長可変な色素レーザーを励起光源として用いた。

4. 研究成果

(1)内部量子効率の評価と励起子速度方程式モデルによる解析

室温の発光機構に対する励起子の光学遷移過程の関与を検証するために、UV-A領域で発光するAl_{0.18}Ga_{0.82}N/Al_{0.32}Ga_{0.68}N 3重量子井戸構造において、内部量子効率の温度および励起パワー密度依存性の評価を行った。得られた内部量子効率の励起パワー密度依存性を研究代表者らが提案した励起子の輻射・非輻射再結合過程に基づく速度方程式モデル[3,4]を用いて解析した[5,6]。このモデルでは、発光機構として自由キャリアの再結合過程ではなく、励起子の輻射・非輻射再結合過程を仮定し、励起子の捕獲による非輻射再結合中心の充填を考慮している。図1は内部量子効率の積部発光強度依存性と励起子速度方程式モデルによるフィッティング解析の結果を示している。10 Kから室温までの温度領域において測定し

た内部量子効率の励起パワー密度依存性の弱励起領域を励起子速度方程式モデルによって再現することができた。このことは、室温の発光再結合過程が励起子の輻射再結合によるものであることを示唆している。測定した内部量子効率は強励起領域で低下しており、励起子速度方程式モデルとは一致していない。強励起領域における内部量子効率が低下する現象は効率ドループ現象として知られており、窒化物半導体においては一般的に観測される現象であるが、その機構については明確な結論に至っていないのが現状である。励起子速度方程式モデルでは効率ドループ現象を考慮していないため、強励起領域における内部量子効率の挙動を再現することはできない。しかしながら、この現象は励起子の光学遷移過程を有効に利用できる励起キャリア密度領域よりも強励起領域で発現するため、発光機構への励起子の光学遷移過程の関与を検証するという本研究の目的の範疇から外れることから、本研究ではこの現象の影響は取り扱わないこととした。

次に、AlGaIn 系量子井戸構造に励起子速度方程式モデルを用いることの妥当性を検討するために時間分解発光分光測定によって発光ダイナミクスの温度および励起エネルギー密度依存性を評価した。輻射および非輻射再結合寿命の温度依存性を導出した。図 2 は輻射および非輻射再結合寿命の温度依存性から導出した励起子の輻射再結合速度に対する励起子が非輻射再結合中心に捕獲される速度の比を示している。図 2 の は励起子速度方程式モデルから導出した励起子の輻射再結合速度に対する励起子が非輻射再結合中心に捕獲される速度の比を示している。輻射および非輻射再結合寿命の解析から得られた結果と励起子速度方程式モデルによる解析から得られた結果が一致していることが分かる。2 種類の独立した実験から得られた結果が定量的に一致していることから、これらの結果は励起子速度方程式モデルの妥当性を示し結果であり、AlGaIn 系量子井戸構造の発光機構に励起子の光学遷移過程が関与していることを示すものであると考えられる。

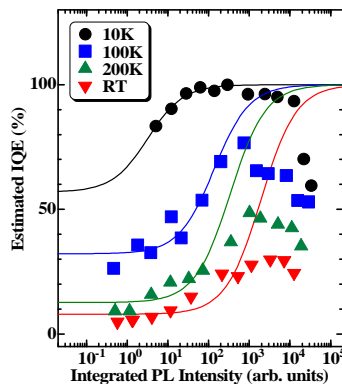


図 1. 10, 100, 200 K および室温における内部量子効率の積分発光強度依存性と励起子速度方程式モデルを用いたフィッティング解析の結果

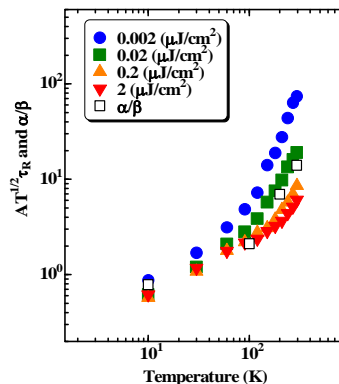


図 2. 励起子速度方程式モデルおよび輻射・非輻射再結合寿命の解析から得られた励起子の輻射再結合速度に対する励起子が非輻射再結合中心に捕獲される速度の比

(2) 励起子系誘導放出の観測

励起子の光学遷移過程が関与した誘導放出過程の発現を検証するために、UV-C 領域で発光する AlGaIn/AlGaIn 3 重量子井戸構造において、光励起誘導放出測定を行った。その結果、励起子の電子-正孔プラズマ状態へ転移するモット転移密度よりも低い励起キャリア密度において誘導放出を観測することに成功した[6,7]。さらに、誘導放出特性の温度依存性を評価した結果、温度上昇に伴い、特定の温度領域(200 ~ 250 K)で誘導放出のしきい励起パワー密度が急激に増大し、誘導放出スペクトルの急激なピークシフトとブロードニングが観測された。図 3 は 200 K および 250 K におけるしきい励起パワー密度付近の PL スペクトルの励起パワー密度依存性を示している。200 K においては線幅の細い誘導放出スペクトルが観測されているのに対し、250 K では比較的ブロードな誘導放出スペクトルが観測されている。これは、200 K と 250 K とでは光学利得スペクトルの形状が異なることを示しており、温度上昇に伴い、光学利得生成機構が励起子の関与したものから電子-正孔プラズマの再結合によるものへと変化している可能性が示唆される。そこで、さらなる低しきい値化と室温での励起子が関与した光学利得生成機構による誘導放出の実現のために、量子井戸活性層および光閉じ込め層の構造を最適化した試料を準備し、光励起誘導放出特性の温度依存性を評価した。その結果、図 4 に示すように 550 K においても誘導放出を明瞭に観測することができた。図 5 はしきい励起パワー密度の温度依存性を示している。量子井戸発光層と光閉じ込め層を最適化した試料 (UV-C2, UV-C3) においては、温度上昇に伴ってしきい励起パワー密度が 500 K 以上で急激に増大している。同じ温度領域において誘導放出スペクトルのピークシフトとブロードニングも観測されていることから、構造を最適化した試料においては 450 K から 500 K の間で光学利得生成機構が励起子の関与したものから電子-正孔プラズマの再結合によるものへと変化していることが示唆される。これは、室温において励起子

の光学遷移過程が関与した光学利得生成機構による誘導放出が実現されていることを示している。また、450 K においても励起子の光学遷移過程が関与した光学利得生成機構が機能していることから、この機構は非常に高い熱的安定性を有していると考えられる。そこで、しきい励起パワー密度の温度依存性から光学利得生成機構の安定性の指標である特性温度を導出した。特性温度は構造最適化した試料において 310~325 K 程度であり、UV-A 領域で動作する AlGaIn 系レーザーダイオードにおいて報告されている値よりも 2 倍以上高いことが分かった。このことは、AlGaIn 系量子井戸構造において励起子が関与した光学利得生成機構が非常に高い熱的安定性を有していることを示している。

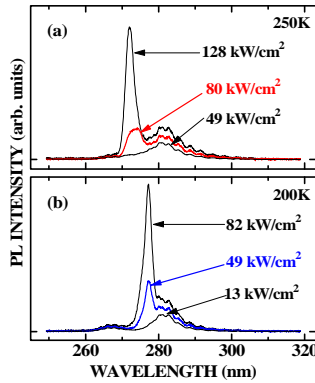


図 3. 200 K および 250 K におけるしきい励起パワー密度付近での PL スペクトルの励起パワー密度依存性。

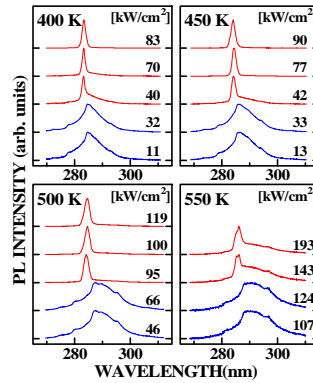


図 4. 構造最適化した試料の 400, 450, 500, 550 K における PL スペクトルの励起パワー密度依存性。

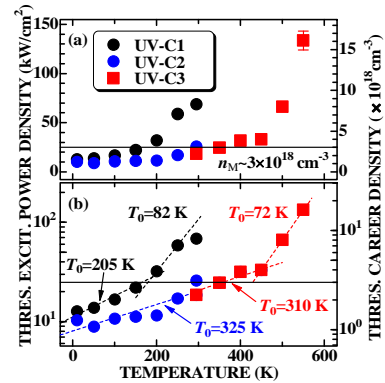


図 5. しきい励起パワー密度の温度依存性。(a)線形プロットおよび(b)片対数プロットで示している。

(3) 励起子が関与した光学利得生成機構によるレーザー発振の観測

室温において励起子が関与した光学利得生成機構による誘導放出が観測されたことから、量子井戸発光層および光閉じ込め層を最適化した試料を用いて室温において光励起レーザー発振測定を行った。図 6 示すように励起パワー密度の増大に伴い、自然放出光のピークよりも短波長側に明瞭な微細構造を有する誘導放出光が観測された[6]。この微細構造の波長間隔は 0.54 nm と見積もられ、屈折率を 2.5 とした場合に共振器長(27 μm)から見積られる縦モードの波長間隔(0.58 nm)とほぼ一致する。このことから、微細構造はファブリ・ペロー共振器の縦モードを反映したものであり、観測した誘導放出光はレーザー発振によるものと考えられる。したがって、この結果は室温において励起子の光学遷移過程が関与した光学利得生成機構によるレーザー発振が実現できたことを示しており、AlGaIn 系量子井戸構造においては初めての観測であると考えられる。

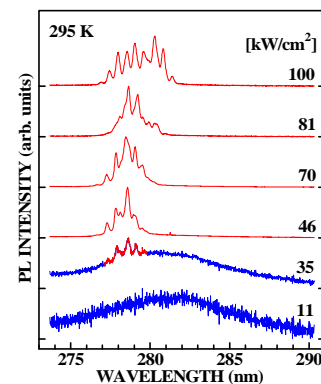


図 6. 室温における光励起レーザー発振の観測

[1] H. Murotani, *et al.*, J. Appl. Phys. **123**, 207705 (2018).
 [2] H. Murotani, *et al.*, Phys. Status Solidi B **255**, 1700374 (2018).
 [3] H. Murotani, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, 011003 (2019).
 [4] H. Murotani, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SCCB02 (2019).
 [5] H. Murotani, *et al.*, J. Appl. Phys. **128**, 105704 (2020).
 [6] Y. Yamada, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, 120503 (2021).
 [7] H. Murotani, *et al.*, **117**, 162106 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 Murotani Hideaki, Nakatsuru Keigo, Kurai Satoshi, Okada Narihito, Yano Yoshiki, Koseki Shuichi, Piao Guanxi, Yamada Yoichi	4. 巻 62
2. 論文標題 Effects of GaN cap layer thickness on photoexcited carrier density in green luminescent InGaN multiple quantum wells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 031001 ~ 031001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acc4fd	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 Hideaki Murotani, Yoichi Yamada, Hideki Hirayama	4. 巻 2022
2. 論文標題 Excitonic optical properties of deep-UV luminescent AlGaN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JSAP Review	6. 最初と最後の頁 220405 ~ 220405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/jsaprev.220405	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 室谷 英彰、山田 陽一、平山 秀樹	4. 巻 91
2. 論文標題 深紫外発光AlGaNの励起子光物性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 416 ~ 420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.91.7_416	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 Murotani Hideaki, Fujii Atsushi, Oshimura Ryota, Kusaba Takafumi, Uesugi Kenjiro, Miyake Hideto, Yamada Yoichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Extremely high internal quantum efficiency of AlGaN-based quantum wells on face-to-face annealed sputter-deposited AlN templates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 122004 ~ 122004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac3802	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 Yamada Yoichi, Murotani Hideaki, Maeda Noritoshi, Khan M. Ajmal, Jo Masafumi, Hirayama Hideki	4. 巻 60
2. 論文標題 Evaluation of internal quantum efficiency and stimulated emission characteristics in AlGaIn-based multiple quantum wells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 120503 ~ 120503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac3025	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 Murotani Hideaki, Tanabe Ryohei, Hisanaga Keisuke, Hamada Akira, Beppu Kanta, Maeda Noritoshi, Khan M. Ajmal, Jo Masafumi, Hirayama Hideki, Yamada Yoichi	4. 巻 117
2. 論文標題 High internal quantum efficiency and optically pumped stimulated emission in AlGaIn-based UV-C multiple quantum wells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 162106 ~ 162106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0027697	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 Murotani Hideaki, Miyoshi Hiroyuki, Takeda Ryohei, Nakao Hiroki, Ajmal Khan M., Maeda Noritoshi, Jo Masafumi, Hirayama Hideki, Yamada Yoichi	4. 巻 128
2. 論文標題 Correlation between excitons recombination dynamics and internal quantum efficiency of AlGaIn-based UV-A multiple quantum wells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 105704 ~ 105704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0015554	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 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 姫野邦夫, 稲井滉介, 谷海智, 林拓誠, 室谷英彰, 倉井聡, 岡田成仁, 上杉謙次郎, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題 230 nm発光AlGaIn量子井構造における偏光特性の温度依存性
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 H. Murotani, K. Nakatsuru, S. Kurai, N. Okada, Y. Yano, S. Koseki, G. Piao, Y. Yamada
2. 発表標題 Effects of GaN-cap layer thickness on luminescence properties of green luminescent InGaN-based Multiple Quantum Wells
3. 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Murotani, A. Hamada, T. Fukuda, S. Kurai, N. Okada, N. Maeda, M. Ajmal Khan, M. Jo, H. Hirayama, Y. Yamada
2. 発表標題 High Temperature Stimulated Emission From AlGaIn UV-C Multiple Quantum Wells
3. 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 姫野邦夫, 谷海智, 林拓誠, 室谷英彰, 倉井聡, 岡田成仁, 前田哲利, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 230 nm発光帯AlGaIn系量子井戸構造の内部量子効率
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 姫野邦夫, 中生拓希, 大河原颯, 室谷英彰, 倉井聡, 岡田成仁, M. Ajmal Khan, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn量子井戸構造における光励起誘導放出の励起波長依存性
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 大河原颯, 姫野邦夫, 中生拓希, 室谷英彰, 倉井聡, 岡田成仁, M. Ajmal Khan, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn量子井戸構造における深紫外誘導放出特性の励起波長依存性
3. 学会等名 2022年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 服部竜吾, 中津留圭吾, 姫野邦夫, 室谷英彰, 倉井聡, 岡田成仁, 矢野良樹, 小関修一, 朴冠錫, 山田陽一
2. 発表標題 緑色InGaIn 量子井戸構造における内部量子効率の励起波長依存性
3. 学会等名 2022年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Murotani, Y. Yamada
2. 発表標題 High internal quantum efficiency of AlGaIn UV-C MQWs on Face-to-Face Annealed Sputter-Deposited AlN templates
3. 学会等名 The 5th International Workshop on Ultraviolet Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱田晟, 福田拓矢, 倉井聡, 岡田成仁, 室谷英彰, 前田哲利, M. Ajmal Khan, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn系UV-C多重量子井戸構造の高温誘導放出特性
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 中津留圭悟, 倉井聡, 岡田成仁, 室谷英彰, 矢野良樹, 小関修一, 朴冠錫, 山田陽一
2. 発表標題 InGaN系量子井戸構造における発光波長の励起波長依存性
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 中津留圭悟, 南里翼, 倉井聡, 岡田成仁, 只友一行, 室谷英彰, 矢野良樹, 小関修一, 松本功, 山田陽一
2. 発表標題 緑色InGaN系量子井戸構造における内部量子効率の励起波長依存性
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中生拓希, 姫野邦夫, 武田亮平, 倉井聡, 岡田成仁, 室谷英彰, M. Ajmal Khan, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 深紫外発光AlGaIn量子井戸構造における強励起側の発光効率曲線解析
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 姫野邦夫, 中生拓希, 武田椋平, 倉井聡, 岡田成仁, 室谷英彰, M. Ajmal Khan, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 励起子レート方程式モデルを用いたUV-B帯AlGaIn量子井戸構造の発光ダイナミクス
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 押村遼太, 稲井滉介, 草場崇史, 藤井厚志, 倉井聡, 岡田成仁, 室谷英彰, 上杉謙次郎, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題 異なるAlNテンプレート上AlGaIn量子井戸構造の内部量子効率
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牛見友祐, 永安悠人, 久保僚太郎, 室谷英彰
2. 発表標題 AlGaIn系量子井戸構造における励起子の安定性解析
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保僚太郎, 永安悠人, 牛見友祐, 室谷英彰, 山田陽一
2. 発表標題 InGaIn系量子井戸構造における励起子レート方程式モデルによる内部量子効率の解析
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Murotani, H. Miyoshi, R. Takeda, H. Nakao, M. Ajmal Khan, N. Maeda, M. Jo, H. Hirayama, Y. Yamada
2. 発表標題 Exciton recombination dynamics and internal quantum efficiency of AlGaIn-based UV-A multiple quantum wells
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	A. Hamada, R. Tanabe, K. Hisanaga, K. Beppu, H. Murotani, N. Maeda, M. Ajmal Khan, M. Jo, H. Hirayama, Y. Yamada
2. 発表標題	Excitonic stimulated emission from AlGaIn-based multiple quantum wells
3. 学会等名	The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	H. Murotani, H. Hirayama, Y. Yamada
2. 発表標題	Optically-pumped excitonic lasing in AlGaIn-based UV-C MQWs
3. 学会等名	Virtual Workshop on Materials Science and Advanced Electronics by Singularity (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	濱田晟, 福田拓矢, 倉井聡, 室谷英彰, 前田哲利, M. Ajmal Khan, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題	AlGaIn系UV-C多重量子井戸構造における誘導放出のしきい励起パワー密度の温度依存性
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	藤井厚志, 押村遼太, 草場崇史, 倉井聡, 室谷英彰, 上杉謙次郎, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題	Face-to-faceアニール処理されたスパッタ成膜AlNテンプレート上AlGaIn系多重量子井戸構造の内部量子効率
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 室谷英彰, 田邊凌平, 久永桂典, 濱田晟, 別府寛太, 前田哲利, M. Ajmal Khan, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn系UV-C多重量子井戸構造の内部量子効率と励起子系誘導放出特性
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「窒化物半導体光・電デバイス、材料、関連技術、及び一般」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 室谷英彰, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn量子井戸構造における励起子の発光・非発光ダイナミクスと深紫外誘導放出
3. 学会等名 応用物理学会応用電子物性分科会研究例会「紫外材料・デバイス開発の最前線～物性の理解とデバイス開発～」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 室谷英彰, 三好博之, 武田椋平, 中尾拓希, 倉井聡, M. Ajmal Khan, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn系UV-A多重量子井戸構造における内部量子効率と励起子の輻射再結合ダイナミクスの励起強度依存性
3. 学会等名 第81応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田邊凌平, 濱田昂, 別府寛太, 倉井聡, 室谷英彰, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn系UV-C多重量子井戸構造における室温誘導放出と縦共振器モードの観測
3. 学会等名 第81応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡村悠司, 室谷英彰
2. 発表標題 InGa _N 系量子井戸構造における励起子レート方程式モデルによる内部量子効率の励起密度依存性の解析
3. 学会等名 2020年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中津留圭悟, 橋口勇樹, 室谷英彰, 倉井聡, 岡田成仁, 只友一行, 矢野良樹, 小関修一, 松本功, 山田陽一
2. 発表標題 緑色InGa _N 量子井戸構造における発光効率曲線解析と輻射・非輻射再結合ダイナミクスの相関
3. 学会等名 2020年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中生拓希, 三好博之, 武田椋平, 室谷英彰, 倉井聡, M. Ajmal Khan, 前田哲利, 定昌史, 平山秀樹, 山田陽一
2. 発表標題 UV-A帯AlGa _N 量子井戸構造における内部量子効率と輻射・非輻射再結合寿命ダイナミクス
3. 学会等名 2020年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押村遼太, 藤井厚志, 中谷文哉, 倉井聡, 室谷英彰, 上杉謙次郎, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題 高温アニールした微傾斜サファイア基板上スパッタ成膜AlNテンプレートに成長されたAlGa _N 多重量子井戸の内部量子効率評価
3. 学会等名 2020年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演
4. 発表年 2020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
---------	---------