

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04490

研究課題名（和文）顕微分光法による 窒化物量子井戸構造の転位近傍高エネルギー発光の起源と機能

研究課題名（英文）Study on the origin and function of high-energy emission around dislocations in III-nitride quantum well structures by nanoscopic spectroscopy

研究代表者

倉井 聡 (Kurai, Satoshi)

山口大学・大学院創成科学研究科・助教

研究者番号：80304492

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：InGa_NおよびAlGa_N量子井戸(QW)構造について顕微分光法による評価を行った。InGa_N QWの貫通転位近傍のポテンシャル障壁の形成機構について検討し、PLスペクトル中の複数の高エネルギー発光ピークの起源が量子井戸面内の不均一性に起因することを示した。ポテンシャル障壁高さとPL発光強度の正相関からポテンシャル障壁の効率改善への有用性を示した。さらに、下地層構造の違いによりポテンシャル障壁高さが変化することを見出し、格子歪との関連性について指摘した。また、AlGa_N QWにおいて、基板オフ角と発光効率の関係を調べ、欠陥領域とキャリア局在領域の重畳が効率を低下させることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、InGa_N QWにおいて貫通転位近傍に自己形成されるポテンシャル障壁の形成機構について考察し、量子井戸面内の不均一性の存在やVピット形成下地層(超格子層、MT-GaN層)の効果が示された。また、ポテンシャル障壁の高さと発光強度、IQEに正の相関が見られ、発光効率改善への有用性も明らかとなった。さらにAlGa_N QWにおいて貫通転位が密集した欠陥領域とキャリア局在領域が重畳したことがIQE低下の要因であることを示した。いずれも欠陥領域とキャリア局在領域の制御が発光効率の改善に重要であり、この機構・機能に関するいくつかの知見が得られ、さらなる構造の改善や活用が期待される。

研究成果の概要（英文）：InGa_N quantum well (QW) and AlGa_N QW structures were characterized using micro-spectroscopy. The origin of the multiple high-energy emission peaks observed in the photoluminescence (PL) spectra of InGa_N QWs is attributed to the in-plane inhomogeneity in the quantum well. In addition, a positive correlation between the potential barrier height and the PL emission intensity was found, indicating the usefulness of the potential barrier for the improvement of efficiency. Furthermore, we found the difference in potential barrier height due to different underlying layer structures and pointed out its relation between lattice strain. In AlGa_N QWs on off-cut substrates, the relationship between off-cut angle and luminescence efficiency was investigated in detail, and it was shown that the superposition of defect regions and carrier-localized regions decreases the efficiency.

研究分野：半導体工学

キーワード：窒化インジウムガリウム 窒化アルミニウムガリウム 量子井戸構造 転位 ポテンシャル障壁 空間分解分光 カソードルミネッセンスマッピング法 近接場光学顕微分光法

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。

1. 研究開始当初の背景

青色発光 InGaN 混晶半導体を用いた発光ダイオード(LED)の発光効率は、非発光再結合中心として働く欠陥を多量に内包しているにもかかわらず高い。これに対して緑色発光 InGaN における効率低下が課題であった。Hangleiterらは、InGaN 系量子井戸(QW)構造において、「貫通転位を起点としたV字型成長ピット(Vピット)面に形成されるQWの薄膜化によってバンドギャップエネルギーが局所的に増大し、非発光再結合中心によるキャリアの捕獲を抑制する」というポテンシャル障壁モデルを提案し、LEDの高効率化を説明している(A. Hangleiter *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 127402 (2005).)。Kanetaらは、In組成が異なる紫、青、緑色発光 InGaN QW において、紫、青色発光 QW では高エネルギー発光領域と貫通転位位置の相関が見られるのに対して、緑色発光 QW ではこの相関が弱いことを指摘している(A. Kaneta *et al.*, *Phys. Rev. B* **78**, 125317 (2008).)。このことは、緑色発光 LED の低発光効率問題(グリーンギャップ問題)の改善にポテンシャル障壁が有効に機能しない可能性を示唆していた。これに対して、申請者は緑色発光 QW の低温近接場光学顕微分光(SNOM-PL)測定において、貫通転位近傍にポテンシャル障壁の形成が認められることを示しており、複数の高エネルギー(HE)発光ピークが観測されることを見出していた。このようなポテンシャル障壁の形成機構、Vピットのサイズや障壁高さ等と発光効率の関係性は明確にされておらず、構造・効果の両面で継続的な研究が必要であると考えた。

また、AlGaIn 混晶半導体を用いた深紫外発光 LED の効率向上も課題であった。しかし、AlGaIn QW において貫通転位近傍の局所的な発光エネルギー分布に関する報告は少なく、AlGaIn QW についても局所発光分布を評価することが効率改善の一助となっていくと考えられた。

2. 研究の目的

InGaIn QW におけるポテンシャル障壁高さの定量評価を行い、ポテンシャル障壁形成機構および発光効率との関係を解明することにより、更なる高効率化のための最適構造の指針策定を行うことを目的とした。また、AlGaIn QW の局所発光特性の評価を通じて、高効率化に対する指針を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

SNOM-PL 装置および走査電子顕微鏡-カソードルミネッセンス(SEM-CL)装置を用いた顕微分光法により高空間分解能で発光分布を取得した。InGaIn QW は主に SNOM-PL 装置を用い、AlGaIn QW は深紫外域の励起・測定が可能である SEM-CL 装置を用いて評価した。量子井戸およびVピット形成層の構造が異なる青色 InGaIn QW に対して、低温 30 K にて高空間分解能(50~100 nm 程度、プローブ先端の開口径に依存)で SNOM-PL 測定を行い、貫通転位近傍の発光エネルギー分布に関するデータを収集した。Vピット形成層として中温成長された GaN(MT-GaN)層を用い、その厚さを変化させることによりVピット直径を制御した試料を準備した。Vピット直径が異なる試料およびQW数が異なる試料間の比較を行うことにより、面内および層間の不均一性や、斜面 QW の薄膜化に関する知見を通じて高エネルギー発光ピーク領域の形成機構を明らかにすることを試みた。さらに、領域平均 PL 強度の比較を行うことにより、構造の発光効率への寄与を評価した。

また、AlGaIn QW について SEM-CL 測定により局所発光分布特性を評価し、局所高エネルギー発光の評価を行った。

オフ角付き AlN テンプレート上に作製された AlGaIn QW について発光空間分布と発光効率との相関を評価した。内部量子効率(IQE)は温度-励起パワー密度依存 PL 測定を用いて評価した。

最後に、Ichikawaらにより AlN 薄膜および高 Al 組成 AlGaIn QW 構造に対する CL 強度像中の暗点強度プロファイル解析を通じた点欠陥の影響評価について報告されている(S. Ichikawa, *et al.* *Phys. Rev. Applied* **10**, 064027 (2018))。同様に AlGaIn QW 中の CL 像中に観察される暗点近傍の発光強度プロファイルを調べ、実効拡散長を求めることにより IQE に対する点欠陥の影響について評価した。

4. 研究成果

SNOM-PL 法を用いた InGaIn/GaN 多重量子井戸(MQW)構造の発光空間分布を評価において、貫通転位近傍の局所 PL スペクトルにおいて MQW の主発光よりも高エネルギー側に異なる 2 つ以上の発光ピーク(HE 発光)を観測していた。この起源として QW 面内の不均一性、QW 層間の不均一性が考えられた。そこで、InGaIn/GaN MQW 構造に対して加速電圧依存カソードルミネッセンス(CL)法を実施した。その結果、HE 発光の一部が下地の MT-GaN 層に由来することがわかった。しかしながら、MT-GaN 由来の発光を除外しても、複数の HE 発光が観測されることがわかった。

そこで、MT-GaN 上に成長した InGaIn/GaN 単一量子井戸(SQW)構造において、SNOM-PL 法による空間分解分光測定を行った。SQW 層を用いた試料においても複数の HE 発光が観測されたことから、HE 発光の起源が MQW 層間の不均一性に由来しておらず、QW 面内の局所的な不均一性によっていることが示唆された。この結果は QW 面内の緩やかな組成・膜厚揺らぎではなく、Vピットファセット構造由来の急峻な変化を反映していると考えられた。さらに、MT-GaN 厚さを制御することによりVピット直径を変化させた InGaIn/GaN SQW 構造に対して SNOM-PL 法による評価を行った。図 1 に 30 K に

ける SNOM-PL 評価結果の一例を示す。平均スペクトルにおいては GaN および InGaN/GaN SQW の発光ピーク(約 2.7 eV)が観測され、InGaN/GaN SQW の高エネルギー側に裾 (HE 発光) を引いたスペクトル形状であった(図 1(a))。GaN 発光強度分布(図 1(b))と HE 発光強度分布(図 1(c))の比較から GaN 暗点と HE 発光の位置に相関が見られること、暗点近傍の局所発光スペクトルに明瞭な HE 発光ピーク(図 1(d))が観察されたことから、MT-GaN 層厚が異なる試料セットにおいても貫通転位近傍にポテンシャル障壁が形成されたことを確認した。MT-GaN 厚さを増加すると貫通転位に起因した V ピット斜面の拡大に伴い V ピット径が増大することが InGaN/GaN MQW 構造の評価から分かっており、InGaN/GaN SQW 構造においても同様の V ピット径の増大が確認された。また、V ピット径の増大に伴いポテンシャル障壁高さに相当する MQW 層発光ピークと HE 発光ピークのエネルギー差が増大し、その後飽和傾向を示すことを確認した(図 2)。SQW の局所 PL がマルチピーク化した理由について、c 面と V ピット斜面である{10-11}ファセット間での原料拡散によるファセット端部での膜厚・組成の変動が考えられた。実際、PSS を用いて形成したラージピットの斜面内で発光波長のシフトおよびファセット境界が長波長化することが過去に報告されている。図 2 に示した V ピット径の増大に伴うポテンシャル障壁高さの増加の機構として、V ピット拡大に伴う{10-11}斜面長の増大によってファセット境界部から離れた領域における In 組成低下、あるいは薄膜化の進展が考えられた。

さらに、V ピット形成層の違いについて比較を行った。V ピット形成層を InGaN 超格子(SL)とした場合よりも MT-GaN とした場合の方が、同じ V ピット径でのポテンシャル障壁が高くなることがわかった。さらに InGaN/GaN MQW の場合よりも InGaN/GaN SQW の場合においてポテンシャル障壁が高くなった。この理由として InGaN/GaN 成長シーケンスにおける歪緩和がポテンシャル障壁高さを低下させたためと考えられた。これらの結果は、MT-GaN 下地層を用いることによりピット拡大層を薄くし V ピット径を小さくしても同等のポテンシャル障壁高さを得ることが可能であることを意味している。これにより、表面平坦性の低下を抑えつつ、ポテンシャル障壁の効果を利用することができるだろう。

層間不均一を除いたポテンシャル障壁の評価を目的としたため SQW の発光強度は低く、内部量子効率(IQE)との比較には至っていない。しかしながら、V ピット径と 40K における PL 発光強度に正相関がみられており(図 3)、発光効率に対するポテンシャル障壁の有用性が示唆された。

InGaN 超格子(SL)層をピット形成層として用いた場合に示されていた IQE 増大には SL 層による点欠陥の伝播抑制の影響が含まれる可能性がある。そこで、点欠陥の伝播抑制の影響を排除し、ポテンシャル障壁のみの IQE への影響を調べるため、InGaN 超格子(SL)/MT-GaN 複合層をピット形成層に用いた InGaN/GaN MQW 構造について評価を行った。具体的には SL 層の条件を固定し、ピット拡大に MT-GaN 層を用いた複合型のピット形成層を用いることで、ポテンシャル障壁による IQE 改善効果に絞った議論が可能と考えた。この場合も、MT-GaN 層厚を増加するとポテンシャル障壁高さが増加し、さ

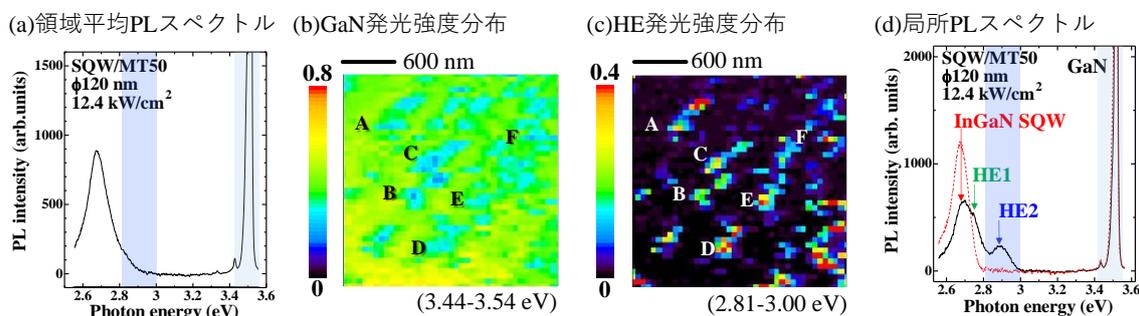


図 1. SNOM-PL 法により測定した InGaN/GaN SQW 構造の(a)領域平均 PL スペクトル、(b)GaN 発光強度分布、(c)HE 発光強度分布、(d)暗点近傍(黒)および暗点から離れた位置(赤)で取得した局所 PL スペクトル

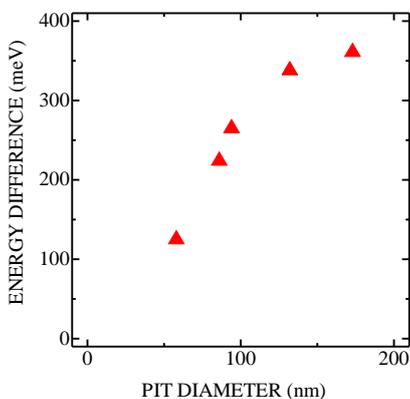


図 2. InGaN/GaN SQW 構造における SQW 発光ピーク-HE 発光ピーク間のエネルギー差のピット直径依存性

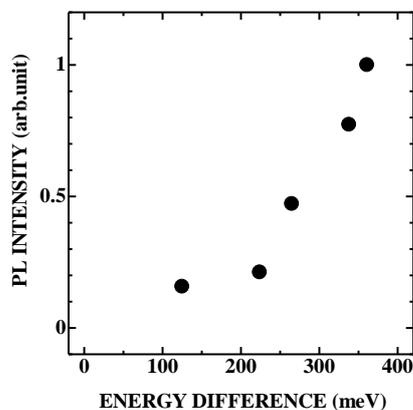


図 3. 励起パワー密度、開口径およびファイバーのスループットで規格化された積分 PL 強度の SQW 発光ピーク-HE 発光ピーク間のエネルギー差依存性

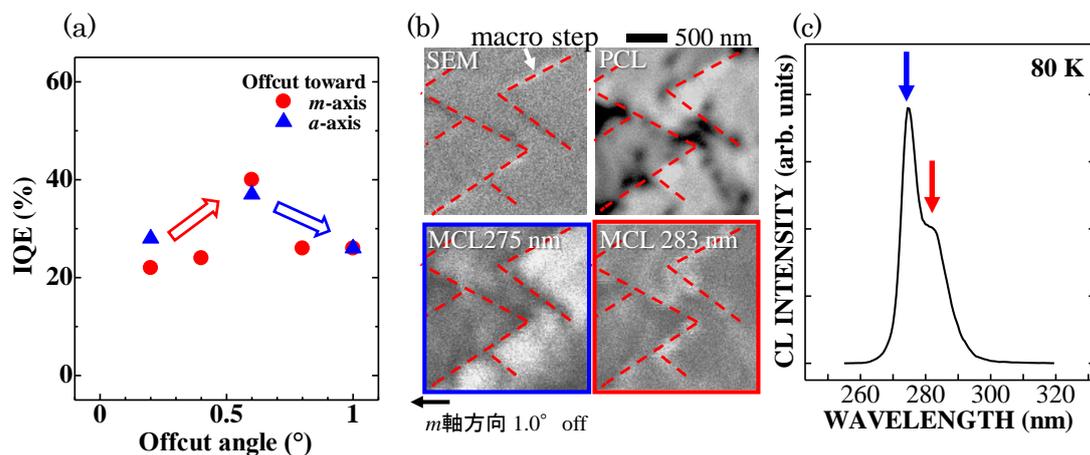


図 4. FFA Sp-AlN テンプレート上 AlGaIn MQW の(a)IQE のオフ角依存性、m 軸 1.0° オフ試料の(b)表面 SEM・CL 像および(c)領域平均発光スペクトル

らには IQE が増加する傾向が確認された。以上から V ピット形成によるポテンシャル障壁の IQE 向上に対する有用性が明確に示された。

次に、障壁層 Al 組成および井戸幅が異なる AlGaIn/AlGaIn MQW 構造における貫通転位近傍の局所高エネルギー発光と MQW 主発光のエネルギー差の起源について、膜厚、Al 組成、歪量の局所変化を考慮した量子井戸内の遷移エネルギー計算結果と実験結果を比較することにより考察した。その結果、局所的な膜厚変化によりエネルギー差の変化を上手く説明できることがわかった。しかしながら、この現象は異なる試料群においてもユニバーサルに観測される現象ではなかった。

派生課題として、オフ角およびオフ方向が異なるスパッタ AlN テンプレート上 AlGaIn MQW の表面構造と IQE の相関について表面形状・発光分布と関連付けて評価を行った。オフ方向はサファイア c 軸を m 軸方向にオフした試料および a 軸方向にオフした試料である。オフ角の増大とともに、IQE は一旦増大した後、減少した(図 4(a))。このような依存性は表面のマクロステップ構造に起因すると考えられた。すなわち、低オフ角で顕著に見られたらせん転位に起因するヒロックがオフ角増大とともに減少し、表面が平坦化したことにより最大の IQE が得られ、過度なオフ角によるステップバンチングの発現に伴い IQE が減少したと考えられた。図 4(b)に SEM-CL 測定により観察したマクロステップ(SEM)と発光空間分布(PCL, MCL)の関係を示す。マクロステップの位置は図 4(b)中で赤色の破線で示してある。発光強度分布像(PCL)を見るとマクロステップ部は主に暗領域であり貫通転位の集中が示唆された。図 4(c)に領域平均 CL スペクトルを示す。スペクトルに肩(赤、青矢印)が観測されており、これらの波長において分光 CL(MCL)像を取得した(図 4(b)下段)。MCL 像は相補的であり、マクロステップ部が長波長発光しており Ga リッチ局在領域の形成が認められた。これらはオフ方向が変わっても同様に観測された。以上から、欠陥領域と Ga リッチ局在領域の重畳により IQE が低下したと考えられ、成長時の欠陥構造制御が重要であることが示された。また、オフ方向が違う試料の比較を行った結果、a 軸オフ試料においても同様の IQE のオフ角依存性が確認された。加えて a 軸オフ試料において低オフ角側の IQE が若干高いこと、高オフ角側でのステップ部への転位集中が若干抑えられている傾向が観察された。

さらに、スパッタ AlN テンプレート上に成長した井戸数の異なる AlGaIn 多重量子井戸(MQW)構造の内部量子効率(IQE)を評価し、井戸数が IQE に与える影響を考察した。MQW 構造の井戸幅、障壁層幅はそれぞれ 2 nm、3 nm、MQW の層数は 3 層と 10 層とした。IQE は MQW 数が 10 層の試料において増加し、MQW 層が高品質化したことがわかった。また、貫通転位密度がスパッタ AlN テンプレートより一桁高い MOVPE-AlN テンプレート上 MQW においても MQW 数増大に伴う IQE の増加が見られ、IQE の増加率が高かった。同じテンプレートでは貫通転位密度は同程度であったことから、MQW 数増加に対する IQE 改善に点欠陥が影響していると考えた。そこで、MQW 数が異なるスパッタ AlN テンプレート上 AlGaIn MQW に対して、CL 強度分布像における暗点コントラストを解析することにより、実効拡散長と最大コントラストを評価したところ、MQW 数が 3 層の試料において実効拡散長が短いことが分かった。このことは MQW 数が 3 層の MQW において点欠陥濃度が高いことを示唆しており、MQW 数の増大によって MQW 上層の点欠陥が減少し IQE が増加したと考えられた。さらに、テンプレートの違いによる IQE 増大率の差は、貫通転位を介した点欠陥の拡散を示唆しており、貫通転位密度の低減が活性層中の点欠陥抑制にも同時に有効であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Kurai Satoshi, Gao Junji, Makio Ryoga, Hayashi Naoya, Yuasa Shota, Yamamoto Ryutaro, Okada Narihito, Tadatomo Kazuyuki, Yamada Yoichi	4. 巻 130
2. 論文標題 Study on higher-energy emission observed locally around V-pits on InGaN/GaN quantum wells grown on moderate-temperature GaN	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 053103-1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0056025	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 Satoshi Kurai, Ayumu Wakamatsu, Yoichi Yamada	4. 巻 58
2. 論文標題 Temperature-dependent cathodoluminescence mapping of InGaN epitaxial layers with different In compositions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCB13-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab0cfb	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18件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 藤井恵, 大西悠太, 稲井滉介, 押村遼太, 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 スパッタAIN テンプレート上AlGaIn 量子井戸構造の内部量子効率に対する点欠陥の影響
3. 学会等名 第14回 ナノ構造・エピタキシャル成長講演会,
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲井滉介, 押村遼太, 姫野邦夫, 藤井恵, 大西悠太, 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 高温アニール処理されたスパッタ成膜AINテンプレート上AlGaIn量子井戸構造における内部量子効率の量子井戸数依存性
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 大西悠太, 藤井恵, 押村遼太, 稲井滉介, 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 低転位AINテンプレート上に成長したAlGaIn量子井戸構造における貫通転位近傍の発光強度プロファイル
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 藤井恵, 大西悠太, 稲井滉介, 押村遼太, 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 スパッタAINテンプレート上AlGaIn量子井戸構造における貫通転位近傍のCL強度ラインプロファイル
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 倉井聡, 藤井恵, 大西悠太, 中谷文哉, 岡田成仁, 上杉謙次郎, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題 オフ角が異なるサファイア上AINテンプレートを用いたAlGaIn量子井戸のカソードルミネッセンス評価
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 湯浅翔太, 林直矢, 倉井聡, 岡田成仁, 只友一行, 山田陽一
2. 発表標題 InGaIn量子井戸構造におけるVピット形成層とポテンシャル障壁高さの関係
3. 学会等名 2021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 2021年

1. 発表者名 藤井恵, 大西悠太, 中谷文哉, 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 オフ角が異なるスパッタ成膜AlNテンプレート上に成長したAlGaIn量子井戸構造の空間分解分光
3. 学会等名 2021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 2021年

1. 発表者名 倉井聡, 平山舜, Li Jin, 中谷文哉, 岡田成仁, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題 組成が異なるAlGaIn混晶薄膜における暗点のCL強度プロファイル解析
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 S. Kurai, A. Fujii, R. Oshimura, Y. Akamatsu, F. Nakatani, K. Uesugi, H. Miyake, Y. Yamada
2. 発表標題 Off-cut angle dependence of internal quantum efficiency in AlGaIn multiple quantum wells on face-to-face annealed sputter-deposited AlN templates
3. 学会等名 The 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 湯浅翔太, 高俊吉, 槇尾凌我, 林直矢, 倉井聡, 岡田成仁, 只友一行, 山田陽一
2. 発表標題 中温成長GaIn層をピット形成層に用いたInGaIn単一量子井戸構造におけるポテンシャル障壁高さのピット形成層厚依存性
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 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AINテンプレートに成長されたAlGaIn多重量子井戸内部量子効率評価
3. 学会等名 2020年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉井聡, 高俊吉, 榎尾凌我, 林直矢, 湯浅翔太, 岡田成仁, 只友一行, 山田陽一
2. 発表標題 中温成長GaInピット形成層上のInGaIn単一量子井戸構造におけるポテンシャル障壁評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押村遼太, 赤松勇紀, 藤井厚志, 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 アニール処理されたスパッタAIN テンプレート上AlGaIn多重量子井戸における内部量子効率のc 面サファイア m 軸オフ角依存性
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 中谷文哉, Li Jin, 平山舜, 倉井聡, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題 AlGaIn系量子井戸構造における局所的高エネルギー発光の構造パラメータ依存性
3. 学会等名 2019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 2019年

1. 発表者名 林直矢、榎尾凌我、高俊吉、湯浅翔太、倉井聡、岡田成仁、只友一行、山田陽一
2. 発表標題 InGa _N 系多重量子井戸構造におけるVピット近傍ポテンシャル障壁高さの中温Ga _N 層厚依存性
3. 学会等名 2019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 2019年

1. 発表者名 Satoshi Kurai, Kohei Okawa, Ryoga Makio, Junji Gao, Genki Nobata, Naoya Hayashi, Kohei Sugimoto, Narihito Okada, Kazuyuki Tadamoto, Yoichi Yamada
2. 発表標題 Height of potential barrier formed around V-pits in InGa _N /Ga _N quantum wells on moderate-temperature Ga _N layer
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 榎尾凌我、高俊吉、林直矢、湯浅翔太、倉井聡、岡田成仁、只友一行、矢野良樹、田淵俊也、松本功、山田陽一
2. 発表標題 量子井戸構造の成長条件が異なる緑色発光InGa _N 量子井戸構造における近接場光学顕微分光測定
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 LI JIN, 中谷文哉, 平山舜, 倉井聡, 三宅秀人, 山田陽一
2. 発表標題 AlGa _N 多重量子井戸構造における転位近傍の局所的な高エネルギー発光の顕微分光評価
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

〔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
---------	---------