

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21246004

研究課題名（和文）InN および関連混晶によるヘテロ・ナノ構造・物性の制御とバンドエンジニアリング

研究課題名（英文）Controlling of hetero-, nano-structures and their properties and band engineering using InN and related alloys

研究代表者

名西 愷之（NANISHI YASUSHI）

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・教授

研究者番号：40268157

研究成果の概要（和文）：

DERI 法（Droplet Elimination by Radical beam Irradiation）を用いた高品質厚膜 InN 結晶成長技術を基盤として、InN 系材料をベースとした電子・光デバイス実現へ向けた InN および InGaN 混晶材料の結晶成長高品質化技術、厚膜化技術、ラジカルモニタリングによる組成制御技術、Mg ドーピングによる p 型伝導制御技術、InGaN 系ヘテロ・ナノ構造作製技術、デバイス作製基盤要素技術の開発を実施した。

研究成果の概要（英文）：

Using novel growth method of high-quality InN called DERI (Droplet Elimination by Radical beam Irradiation), we have developed thick and high-quality crystal growth of InN and InGaN, precise control of InGaN composition using radical monitoring, p-type conductivity by Mg doping, fabrication of hetero-, and nano-structures based on InGaN/InGaN, and basic process for InN-based optoelectronic devices.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2010 年度	17,900,000	5,370,000	23,270,000
2011 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2012 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
総計	35,100,000	10,530,000	45,630,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 応用物性・結晶工学

キーワード：ヘテロ構造、InN、MBE

### 1. 研究開始当初の背景

InN のバンドギャップエネルギーは 30 年間にわたって 1.9 eV と信じられてきたが、本研究代表者らが中心となって約 0.65 eV であることを明らかにしてきた。これに引き続き、InN 結晶成長のさらなる高品質化、極性制御、全組成領域 InGaN 混晶成長と組成制御、InN/InGaN 量子井戸構造の作製と量子サイズ効果の観測などパイオニア的成果を挙げた。これらの成果に基づく形で、科学研究

費基盤研究 A 「InN および関連混晶の高度化 RF-MBE 成長技術の開発と電子・光物性制御の研究」(H18～20) および特定領域研究計画研究「RF-MBE 法による InN および関連混晶の成長と量子ナノ構造の形成」(H18～22) において、さらなる InN 系材料の結晶高品質化を目指した研究活動を推進してきた。ここでは転位低減、残留キャリア低減、表面電荷層の除去、p 型ドーピング、界面制御を致命的なボトルネックの技術としてとらえて研究を

進めた。

特に、InN のデバイス応用を目指した研究には、残留キャリア濃度、貫通転位密度の低減に有効な高品質厚膜 InN 結晶を再現性よく得ることが重要である。しかしながら、従来の方法では InN 結晶の厚膜化を安定して実現することは不可能であった。その最大の要因は、成長中の V/III 比 (ストイキオメトリー) の精密制御が非常に困難なことにある。成長中にわずかでもストイキオメトリーが N リッチ側にずれると、表面のモフォロジーが荒れ、良好な厚膜結晶が得られない。一方、表面モフォロジーを良好に保つため In リッチ側にストイキオメトリーをずらすと、厚膜成長中に徐々に In ドロップレットが表面に形成されてしまう。熱分解しやすい InN 上の In ドロップレットは、GaAs や GaN の場合のように熱処理により取り去ることも不可能である。従ってその後の成長が困難となってしまう。またラジカルビームを成長中安定化することも難しく、ラジカルビームモニタリングも現状では不可能でフィードバックもできない。このように、InN 結晶成長においては、原料供給時の厳密な V/III 比制御が非常に難しく、再現性よく高品質厚膜結晶が得られなかったため、デバイス開発に必要な品質の結晶を得ることが不可能であった。

この InN に特有な技術的課題に対し、我々は In リッチ条件下での InN 成長中に形成された In ドロップレットに対して、In 供給停止後単純に窒素ラジカルを照射し続けることにより、表面の In ドロップレットを縮小・除去させながら、表面の平坦な InN を引き続き成長し続けることのできる画期的かつ独創的な結晶成長技術を見出した。例えば、キャリア濃度  $10^{18}/\text{cm}^3$  以下、移動度  $2000\text{cm}^2/\text{Vs}$  の結晶が単純な方法で再現性よく得られるに至っている。これにより InN 結晶厚膜成長の最も困難な課題を解決できる見通しが明確となったことから、この技術を活用して高品質 InN 結晶厚膜基板を再現性よく作製し、InN 及びその混晶のヘテロ構造、超格子構造を用いた新しいデバイスの可能性について検討を進める道が拓けるに至った。

一方、本研究代表者らによる InN の真のバンドギャップエネルギー解明が火付け役となり、InN のバンド構造を理論的、実験的に確かめる研究も活発に行われてきている。InN は他の半導体材料と比較して非常に特異なバンド構造を有しており、電荷中性準位が伝導帯内に行けるため、欠陥がドナーとして働き、高い残留キャリアや表面電荷蓄積層の問題が生じている。一方で非常に大きなバンド不連続を持ったヘテロ構造、様々なタイプの超格子構造を実現することも可能であり、InN とその混晶の特異なバンド構造がおりなすバンドエンジニアリングを行うことによ

り、新しい光・電子物性を引き出すことも可能となった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、本研究代表者グループが独自に開発した DERI 法 (droplet elimination by radical beam irradiation) による高品質厚膜 InN 結晶成長技術を基盤として、InN および関連混晶材料を環境・エネルギー・情報など 21 世紀の課題を解決する新規電子デバイス、光デバイスとして応用するため、本材料に特有な致命的な課題を解決しながら、ヘテロ・ナノ構造の作製およびその物性制御、InN の特異なバンド構造を活かした新しいバンドエンジニアリングの構築に取り組むことにある。

## 3. 研究の方法

本研究に関わる結晶成長に関しては、RF プラズマを用いた分子線エピタキシー法

(Molecular Beam Epitaxy) を用いて行った。結晶の評価手法としては、X 線回折、走査電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、透過電子顕微鏡、フォトルミネッセンス、カソードルミネッセンス、ホール効果測定装置、ECV 評価装置など各種評価方法を用いた。実験の詳細については、「4. 研究成果」にてあわせて述べる。

## 4. 研究成果

以下、本検討課題によって得られた主な成果についてまとめる。

(1) 多層接合太陽電池など InGaN 系光電子デバイスの実現には、各組成領域において、十分な膜厚を有した InGaN 厚膜の成長技術が必要不可欠である。しかしながら、InN と GaN の間には格子定数や他の物性定数に大きな違いがあるため、非混和性が大きく、容易に相分離が起こり、均一組成で厚膜の InGaN 成長は、MOCVD 法などを用いた従来の成長手法では困難であった。本検討において、我々は DERI 法による InGaN 成長を活用することで、これらの課題を解決し、太陽電池構造に利用可能な  $1\cdot\text{m}$  以上の均一組成厚膜 InGaN の成長に成功した。具体的には、図 1 に示すようにメタルリッチ条件下での InGaN 成長を行うことで相分離のない高品質な InGaN を成長させ、またそのときに析出した In ドロップレットをその後の Ga と N\* 照射により、再び InGaN 層に取り込む。このプロセスを繰り返すことで、厚膜 InGaN 成長を実施した。

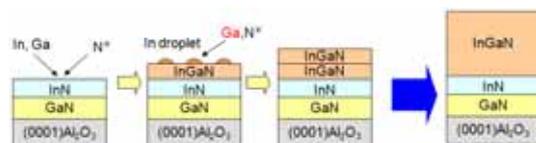


図 1 厚膜 InGaN 成長プロセス

図2には繰り返し回数50回で作製した1.1・mのIn組成20%InGaNのXRDと断面SEM像を示す。相分離のない非常に均一な組成が実現されていることがわかる。また組成の制御もIn組成20%から70%まで可能であり、繰り返し回数を増やして膜厚を増加させても組成揺らぎがなく、さらなる厚膜成長も可能であることが示された。

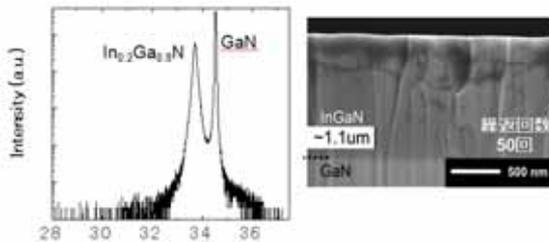


図2 厚膜InGaNのXRDとSEM像

(2) InGaN系光デバイス実現において、各InGaN組成におけるpn接合の実現も大変困難な課題であることは明白であり、これを解決するにはまず全組成領域にわたるInGaNのp型伝導制御が必要である。既に我々はこれまで実現が困難であったInNのp型伝導制御に対し、Mgドーピングを用いたドーピング条件、構造の最適化を行うとともに、ECV、サーモパワー、SPring8を用いたXPS評価などを駆使して、p型伝導を確認した。さらには、電解液を用いた評価によりInNにおけるpn接合特性も観測してきた。本検討においては、これまでのInN p型伝導実現に関する実績をベースに、InGaNのMgドーピングによるp型ドーピングと伝導性の評価を行った。特にここでは、DERI法InGaN成長で培った最適成長条件を活用し、再現性よくInGaN成長を行い、Mgドーピング条件の最適化を進めることができた。In組成が約10、20、30%の低In組成InGaNおよび約70、80、90%の高In組成InGaNに対してMg濃度を変えて、Mgドーピングを行い、ホール効果、ECV、サーモパワーを用いてp型伝導評価を行った。その結果、低In組成InGaNにおいてはすべての試料において、p型伝導を示す結果が得られた。一方、高In組成InGaNにおいては、ホール効果測定においてはn型を示したが、これは高In組成InGaNに特有の表面電荷の影響を受け、バルク内部の正確な伝導性評価が得られていないためである。そして、図3に示すように、ECVとサーモパワー評価においては、適切なMgドーピング濃度において、p型伝導が得られていることがわかった。このことはInGaN結晶のさらなる高品質化と最適なMgドーピングにより高In組成InGaNのp型伝導が実現可能であることを示す重要な成果である。

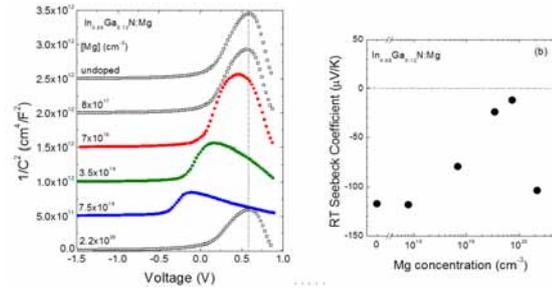


図3 MgドーピングIn<sub>0.88</sub>Ga<sub>0.12</sub>NのECVとサーモパワー結果

(3) InNに特有な表面電荷蓄積層の問題を解決する手段として、無極性面InNの利用に注目し、各面方位並びにMgをドープした高品質InN結晶について、ケルビン力顕微鏡(KFM)並びにX線光電子分光法(XPS)を用いた詳細な表面状態評価を行った。KFMによる評価から、InN結晶表面の表面電位は、面方位や残留キャリア濃度にはほとんど依存せず、真空準位から4.9eVという位置にピンニングされることを見出した。すなわち、表面のポテンシャルは、主として最表面のダングリングボンドや酸化物等に起因する表面欠陥に支配されており、デバイス実現のためには、表面制御が主要基盤技術となることを検証した。

(4) 電子デバイス応用に向けたプロセス技術開発として、オーミック電極金属としてAlを用いてInNに対する接触抵抗を調べたところ、接触抵抗のInNの電子濃度に対する依存性が非常に小さいという、InNに特有の特性が観測された。次に、電極金属としてAl、Ti、Niを用いて特性の比較を行ったところ、GaNに対してはショットキー金属であるNiも含めて、いずれの電極金属に対してもオーミック特性が得られることを明らかにした。さらに、オーミック電極として一般的なTi/Al/Ti/Au電極構造を用いることで、ノンアロイの状態で $5.5 \times 10^{-8} [\Omega \text{cm}^2]$ というこれまで報告されてきたInNに対する接触抵抗と比較して最小の値を得ることに成功した。続いて、電子デバイス応用に必須となるショットキー特性を実現することを目的としてさらなる検討を行った。InN上に薄膜AlNを成長した構造を作製し、電気的特性を調べたところ、意図したショットキー特性は得られなかったものの、前記構造においては、ショットキー特性を得るために有利となる表面電荷の蓄積の低減を示唆する有意義な結果が得られた。

(5) ゲート構造を持つ電子デバイス実現に向けて、N極性InN及びIn極性InNに対してMIS構造を作製し評価を行った。オーミック電極およびゲート電極にはそれぞれ

Ti/Al/Ti/Au、Ni/Au を堆積し、絶縁膜には SiO<sub>2</sub> を用いた。I-V 特性を評価した結果、順方向電流は N 極性 InN を用いた構造では In 極性 InN を用いた構造に比べて小さく、N 極性 InN の方がより大きな SiO<sub>2</sub> の障壁効果が得られた。

(6) デバイスプロセス基盤技術開発として、InN デバイス構造への KOH ウェットエッチングを検討した。GaN テンプレート上に DERI 法で成長した In 極性 InN に対して、KOH 水溶液：10 mol/l、溶液温度：70 ± 2 °C によるエッチングを行った。選択的に InN のみがエッチングされ、マスクを用いた異方性エッチングも可能であることを確認した。これらの結果から、InN 系デバイスの素子分離などのプロセスに KOH ウェットエッチングが有用であることを示した。デバイス応用基盤技術開発として、In 極性 InN 及び N 極性 InN のドライエッチングを行い、各エッチング条件における InN に対するドライエッチングコンディションの把握を行った。N 極性 InN と In 極性 InN ではエッチングレートが異なり、すべての条件において N 極性 InN よりも In 極性 InN が高いエッチングレートを有していることが確認された。エッチングレートは、In 極性 InN では 15.8 nm/min、N 極性 InN では 11.1 nm/min であった。この結果は InN に対するドライエッチングは極性による依存性を有していることを指示している。

(7) InGaN 系多接合太陽電池や量子井戸を利用した光デバイスの実現には、組成の異なる InGaN を多層に堆積する成長技術が必要不可欠である。これを応用して pn 接合やトンネル接合を実現するには、組成や膜厚の制御性、界面の平坦性、急峻性など様々な要求が求められる。このような構造を実現するには、従来技術にはない革新的なアプローチが必要である。我々はこれまでに、DERI 法を応用することで、InN の厚膜化、InGaN の厚膜化、InN/InGaN 多接合成長などを実現し、DERI 法の InGaN 系半導体成長に対する可能性を明確にしてきた。本検討においては、さらにその可能性を引き出すために、組成の異なる InGaN 層から成る In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N 多接合成長に取り組んだ。図 4 にその成長プロセスを示す。初めのメタルリッチ条件下での InGaN 成長において、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.7</sub>N 成長を行った後、続く DEP での Ga と N\* の供給において、N\* 供給量を増加させた。これによって、InGaN に取り込まれる In 量が増加し、In 組成を増加させた InGaN 成長（本検討では In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N）が可能となる。このプロセスを繰り返すことにより、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.7</sub>N/In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N の多接合構造作製が可能となる。さらにこの成長においては、常に表面が金属 In で覆われた状態で成長が

行われるため原子の表面マイグレーションが促進され、平坦な表面が維持され続けるという利点がある。このようにして作製した In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.7</sub>N/In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N 多接合構造の XRD と STEM 観察像を図 5 に示す。急峻かつ均一な周期構造を示すサテライトピークが XRD において観察されている。また、STEM 像においても、各層のコントラストが明瞭で、平坦かつ急峻な多接合構造が形成されている。またこの構造を PL で評価した結果、525 nm の緑色領域で強い発光が得られ、光学的特性からも高品質な In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.7</sub>N/In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N 多接合構造を得られていることがわかった。

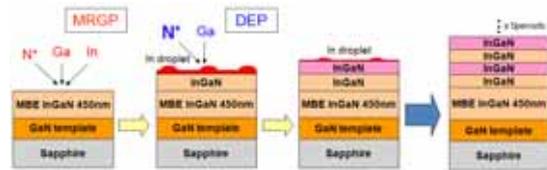


図 4 DERI 法を応用した In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N/In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N 多層構造成長プロセス

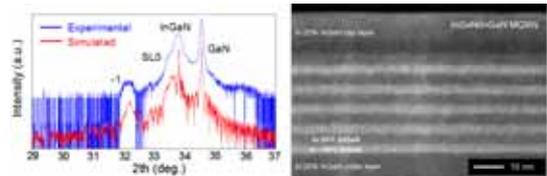


図 5 In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N の XRD、STEM 評価結果

(8) InGaN は青色・緑色 LED 用材料として、これまで活発に研究が進められている材料であるが、InN と GaN の間には大きな格子定数差や物性定数の違いがあり、非混和性が大きく、高品質結晶を得るのが難しい。特に、成長時の In、Ga 原子の取込や脱離などその成長素過程の理解も未だ進んでいない。我々は、これまでに DERI 法が InGaN 成長にも適用できることを明らかにし、In と Ga の取込に大きな違いがあることなど、成長過程の理解に重要な知見を見出ししてきた。本項目では、DERI 法 InGaN 成長中の RHEED 強度のその場観察から、InGaN の組成や成長温度の影響を検討した。まず、DERI 法による InGaN 成長の具体的プロセスを説明する。はじめに、III 族源 (In と Ga) が過剰な状態で InGaN 成長を行い (MRGP : Metal Rich Growth Process)、このとき、Ga が In よりも優先的に InGaN に取り込まれるため、余分な In が表面にドロップレットとしてはき出される。続けて、Ga と N ラジカル (N\*) を供給することで、In ドロップレットを除去し、InGaN 成長が可能である (DEP : Droplet Elimination Process)。この成長プロセス中の RHEED 強度変化をモニタリングすることで、成長過程のその場観察

を行った。

組成の異なる InGa<sub>N</sub> 成長時の RHEED 強度回復時間  $\tau$  の成長温度依存性を調べた。まず  $\tau$  が成長温度に依存しない低温領域において、 $\tau$  と InGa<sub>N</sub> 組成との相関を検討した。その結果、In 組成が増加するにつれて、 $\tau$  が減少して変化していることがわかった。このことから、 $\tau$  の変化による InGa<sub>N</sub> 組成判別が可能であることを明らかにした。この技術は、成長表面での実効的な V/III 比から InGa<sub>N</sub> 組成を得るため、より正確な組成制御が可能である。次に、 $\tau$  が成長温度で変化する高温領域においては、Ga リッチ InGa<sub>N</sub> では成長温度上昇により  $\tau$  は減少する傾向にあるが、一方 In リッチ側では  $\tau$  は増加する傾向が見られている。これらの  $\tau$  の変化については、Ga リッチ InGa<sub>N</sub> では In の脱離、In リッチ InGa<sub>N</sub> では In-N 結合からの N の脱離を反映しているものと考えられ、DERI 法 InGa<sub>N</sub> 結晶成長において、RHEED 強度変化モニタリングにより、InGa<sub>N</sub> 成長時における原子脱離過程の観察までも可能であることが明らかとなった。InGa<sub>N</sub> 成長に対する成長温度の影響は特に重要であり、様々な成長温度でいかに InGa<sub>N</sub> 組成を制御するか、その技術開発にブレイクスルーが期待できる重要な知見が得られた。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 44 件)

- ① 著者名: T. Yamaguchi, K. Wang, T. Araki, T. Honda, E. Yoon, Y. Nanishi、論文標題: Application of DERI Method to InN/InGa<sub>N</sub> MQW, Thick InGa<sub>N</sub> and InGa<sub>N</sub>/InGa<sub>N</sub> MQW Structure Growth、雑誌名: Proceedings of SPIE "Gallium Nitride Materials and Devices VIII"、査読: 有、8625 巻、2013、862502  
DOI: 10.1117/12.2007258
- ② 著者名: K. Wang, T. Araki, K. M. Yu, T. Katsuki, M. A. Mayer, E. Alarcon-Llado, J. W. Ager, III, W. Walukiewicz and Y. Nanishi、論文標題: P-type InGa<sub>N</sub> across the entire alloy composition range、雑誌名: Appl. Phys. Lett.、査読: 有、102 巻、2013、102111/1-4  
DOI: 10.1063/1.4795718
- ③ 著者名: T. Araki, S. Yamashita, T. Yamaguchi, E. Yoon, and Y. Nanishi、論文標題: Fabrication of Nano-structure of A-plane InN on Patterned A-plane GaN Template by ECR-MBE、雑誌名: physica status solidi (a)、査読: 有、209 巻、2012、447-450  
DOI: 10.1002/pssa.201100520
- ④ 著者名: T. Yamaguchi, H. Umeda, T. Araki, and Y. Nanishi、論文標題: Application of Droplet Elimination Process by Radical -Beam Irradiation to InGa<sub>N</sub> Growth and Fabrication of InN/InGa<sub>N</sub> Periodic Structure、雑誌名: Jpn. J. Appl. Phys.、査読: 有、50 巻、2011、04DH08/1-4  
DOI: 10.1143/JJAP.50.04DH08
- ⑤ 著者名: T. Yamaguchi, T. Araki and Y. Nanishi、論文標題: Growth and Fabrication of InN-based III-nitride Structure Using Droplet Elimination Process by Radical Beam Irradiation、雑誌名: Proceedings of SPIE photonic West 2011、査読: 有、7939 巻、2011、793904/1-4  
DOI: 10.1117/12.874840
- ⑥ 著者名: K. Wang, N. Miller, R. Iwamoto, T. Yamaguchi, M. A. Mayer, T. Araki, Y. Nanishi, K. M. Yu, E. E. Haller, W. Walukiewicz, J. W. Ager III、論文標題: Mg Doped InN and Confirmation of Free Holes in InN、雑誌名: Appl. Phys. Lett.、査読: 有、98 巻、2011、042104/1-3  
DOI: 10.1063/1.3543625
- ⑦ 著者名: K. Wang, T. Yamaguchi, T. Araki, E. Yoon, Y. Nanishi、論文標題: In situ Investigation of Growth Mechanism during Molecular Beam Epitaxy of In-Polar InN、雑誌名: Jpn. J. Appl. Phys.、査読: 有、50 巻、2011、01AE02/1-4  
DOI: 10.1143/JJAP.50.01AE02
- ⑧ 著者名: T. Yamaguchi and Y. Nanishi、論文標題: New MBE Growth Method for High Quality InN and Related Alloys Using in Situ Monitoring Technology、雑誌名: phys. stat. sol. (a)、査読: 有、207 巻、2010、19-23  
DOI: 10.1002/pssa.200982638
- ⑨ 著者名: K. Wang, T. Yamaguchi, A. Takeda, T. Kimura, K. Kawashima, T. Araki and Y. Nanishi、論文標題: Optical Polarization Anisotropy of Nonpolar InN Epilayers、雑誌名: phys. stat. sol. (a)、査読: 有、207 巻、2010、1356-1360  
DOI: 10.1002/pssa.200983657
- ⑩ 著者名: T. Yamaguchi and Y. Nanishi、論文標題: Indium Droplet Elimination by Radical Beam Irradiation for Reproducible and High-Quality Growth of InN by RF Molecular Beam Epitaxy、雑誌名: Applied Physics Express、査読: 有、2 巻、2009、051001/1-3  
DOI: 10.1143/APEX.2.051001

[学会発表] (計 112 件)

- ① 発表者名: Y. Nanishi, T. Yamaguchi, K. Wang, T. Araki and E. Yoon、発表標題: Recent Progress on InN and InGa<sub>N</sub>

Growth for Future Optoelectronic Devices、学会名等：Conference on LED and Its Industrial Application (LEDIA' 13)、発表年月日：2013年4月23日、発表場所：パシフィコ横浜（神奈川県）（招待講演）

- ② 発表者名：Y. Nanishi, T. Yamaguchi, K. Wang, T. Araki and E. Yoon、発表標題：Recent Development of Growth and Characterization of InN, In-rich InGaN and Those Nano-structures、学会名等：IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology、発表年月日：2012年10月31日、発表場所：西安(中国)（招待講演）
- ③ 発表者名：Y. Nanishi, T. Yamaguchi, K. Wang, T. Araki and E. Yoon、発表標題：Toward Longer Wavelength and Higher Speed -Challenge to Utilize Full Span of Nitride Semiconductors' Band gap-、学会名等：2012 Fall Meeting of the Korean Ceramic Society、発表年月日：2012年10月19日、発表場所：大田(韓国)（基調講演）
- ④ 発表者名：Y. Nanishi, T. Yamaguchi, K. Wang and T. Araki、発表標題：Recent Progress in Growth and Characterization of InN and Related Alloys and Those Nano-structures、学会名等：Workshop on Frontier Photonic and Electronic Materials and Devices 2011 German - Japanese - Spanish Joint Workshop、発表年月日：2011年3月17日、発表場所：グラナダ(スペイン)（招待講演）
- ⑤ 発表者名：T. Yamaguchi, Y. Nanishi、発表標題：Growth and Fabrication of InN-based III-nitride Structure Using Droplet Elimination Process by Radical Beam Irradiation、学会名等：SPIE Photonic West 2011、発表年月日：2011年1月24日、発表場所：サンフランシスコ(アメリカ)（招待講演）
- ⑥ 発表者名：Y. Nanishi, T. Yamaguchi, K. Wang, T. Araki, M. Kaneko, E. Yoon, N. Miller, J. W. Ager III, K. M. Yu, W. Walukiewicz、発表標題：Recent Progress in Growth and Characterization of InN and Related Alloys and Challenges for Device Applications、学会名等：The International Workshop on Nitride semiconductors (IWN2010)、発表年月日：2010年9月21日、発表場所：タンパ(アメリカ)（基調講演）

〔図書〕（計1件）

- ① 著者名：Y. Nanishi, T. Araki and T. Yamaguchi、出版社名：CRC、書名：Chapter: 1 - Molecular-beam epitaxy of InN in Indium Nitride and Related Alloys (Editors: T. D. Veal, C. F. McConville, and W. J. Schaff)、発行年：2009、1-50

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：窒化物半導体薄膜の製造方法

発明者：山口智広, 名西徳之

権利者：学校法人立命館

種類：特許

番号：特願 2009-119315

出願年月日：2009/05/15

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ritsumei.ac.jp/se/re/nanishi/lab/Nanishi-Lab.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

名西 徳之 (NANISHI YASUSHI)

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・教授

研究者番号：40268157

### (2) 研究分担者

荒木 努 (ARAKI TSUTOMU)

立命館大学・理工学・准教授

研究者番号：20312126

### (3) 連携研究者

山口 智広 (YAMAGUCHI TOMOHIRO)

立命館大学・総合科学技術研究機構・ポストドクトラルフェロー

研究者番号：50454517

金子 昌充 (KANEKO MASAMITSU)

立命館大学・総合理工学研究機構・ポストドクトラルフェロー

研究者番号：70374709

WANG KE (WANG KE)

立命館大学・総合科学技術研究機構・ポストドクトラルフェロー

研究者番号：60532223

城川 潤二郎 (KIKAWA JYUNJIROU)

立命館・総合理工学研究機構・教授

研究者番号：70469196