

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月29日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03998

研究課題名(和文) Si基板上モノリシックAlGaIn深紫外センシングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of the monolithic AlGaIn deep ultraviolet sensing system on a Si substrate

研究代表者

岩田 直高 (IWATA, NAOTAKA)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40708939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：Si基板上の深紫外センシングシステム向けに、縦型AlGaInデバイスの実現を検討した。Si基板上のAlNバッファ層に導電性ビアホールを形成する研究では、(111)面からのオフ角度にビアホールの形状と密度、導電性が依存した。ビアホールに埋め込む結晶の検討では、ダイオードを作製した。深紫外光ダイオードで整流性と受光特性を得たが、順方向電流印可では整流特性が劣化した。デバイス技術では、HCl前処理と原子層堆積SiN膜による表面パッシベーション技術を開発した。MgドープGaInのアクセプタ活性化の検討では、マスクを設けた試料に対してArFエキシマレーザを照射したところ、開口領域の活性化を初めて実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Si上へのAlGaInの成長には、Siのメルトバック現象を防ぐAlNの形成が必要である。しかし、AlNは不純物準位が深いために導電性が得られず、縦に電流を流すデバイスの作製は困難であった。これを解決するSi上のAlNに導電性ビアホールを形成する技術を確立した。この技術による深紫外ダイオードで整流性と受光特性を得たが、順方向電流の印可では整流特性が劣化した。これら技術も確立されれば、安価なSi基板上での深紫外センシングシステムが可能となる。開発した表面パッシベーション技術と初めて実現したArFエキシマレーザ照射によるアクセプタ活性化技術は、特性の優れたデバイスを簡便に作製する重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：In order to realize the deep ultraviolet sensor system, technologies for AlGaIn vertical devices on Si substrates were investigated. Through study on formation of conductive via holes in the AlN buffer layer on the Si substrate, shape, density and conductivity of the via holes have been found to be depended on the off angle from the (111) plane. In the study of re-grown crystal embedded in the via hole, diodes fabricated were characterized. Although rectification and light receiving characteristics were obtained for the deep ultraviolet photodiode, rectification characteristics deteriorated when forward current was applied. In device technologies, surface passivation with the atomic layer deposited SiN film with HCl pretreatment has been developed. As for acceptor activation of Mg-doped GaIn, when the ArF excimer laser was irradiated to the sample provided with the mask, activation of the opening region has been realized for the first time.

研究分野：化合物半導体デバイスおよびこれの作製と使用に関連する技術

キーワード：窒化物半導体 結晶成長 結晶欠陥 深紫外 センサー ダイオード トランジスタ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

今までもSi LSIウエハ上に発光素子などを集積化する試みがなされてきた。その研究のほとんどはSi自身を発光させる、あるいは発光素子を貼り付けるなどの方法がとられ、発光波長も可視あるいは赤外領域に限られていた。我々は、有機金属気層成長(MOCVD)法を用いた独自の自然形成ピアホール結晶成長法を開発し、Si基板上に導電性AlN層の形成を実現した。それを用いてSi基板の紫外発光素子による発光<sup>1)</sup>、ならびにソーラーブラインド深紫外センサーによる深紫外光の検出<sup>2,3)</sup>の予備実験に成功した。Si上にAlGaIn系材料を結晶成長させる場合、GaとSiの共晶化を避け高品質のAlGaInを成長させるためには、バッファ層としてAlNを用いることが必要不可欠である。したがって、Si基板上に縦型AlGaInデバイスを作製するには縦方向に電流を流す必要があり、そのためにはバッファ層であるAlNの導電性が鍵となる。しかしながら、AlNはバンドギャップが大きくドナー準位が深いため、不純物を大量に添加しても $10^{15}\text{cm}^{-3}$ 程度の電子しか発生しない。このようなドーピングに頼った技術では、AlN層は高抵抗のままであり、電流を流すことはできない。これが、Si基板を用いた縦型デバイスの実現を阻んでいた。

ところで、深紫外発光素子による水処理を念頭に置いた場合、処理すべき水の中に存在するバクテリアや細菌をその現場で特定することは難しく、取水した後に検査機関に持ち帰って検査する必要があった。ウイルスや細菌はそれぞれ異なった光の吸収特性を示すことが分かっている。予備実験で成功した縦型深紫外センサーの感度波長を少しずつ変えたセンサーアレーを作製し、アレー各素子からの信号の差分処理などを行うことにより、今まではできなかった細菌やウイルスの種類がその場で特定できるようになる。その解析結果を基にして、殺菌に適した紫外線の波長と照射強度の制御を行うとともに、直ちにどのウイルスや細菌が実際に不活化されているかを再確認することにより、最適な水殺菌システムが構築できる。なお、深紫外センサーはソーラーブラインドであり、用いるAlGaInの組成を制御することにより観測できる波長を正確に制御することができる。さらに、センシングシステムは、深紫外の発光ダイオード(LED)とセンサーに加えて提案する縦型トランジスタも含めてモノリシック化することにより、水の処理やウイルスの検知ばかりでなく、高温下などの厳しい環境での高感度深紫外センシングも実現できる。

### 2. 研究の目的

Si基板のAlGaIn結晶成長において、Siのメルトバック現象を防ぎ良質なAlGaIn層を成長させるためには、Si上のバッファ層にAlNが必要不可欠である。しかしながら、AlNは不純物準位が深いため導電性が得られず、この層を通して電流を流す必要がある縦型デバイスをSi基板上に作製することは不可能であった。我々は予備実験で自然形成ピアホール結晶成長法を開発し、導電性AlN層の実現とこの技術を用いた深紫外のLEDとセンサーの予備実験に成功した<sup>1-3)</sup>。図1に自然形成ピアホールを有するAlN(v-AlN)層を有するウエハの模式図、および図2 (1)にv-AlN層表面(b)での顕微鏡写真、(2)にAlGaIn表面(d)での顕微鏡写真を示す。

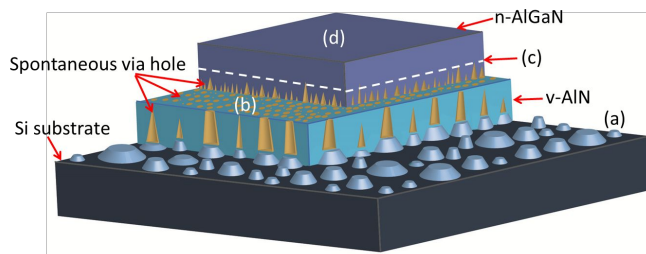
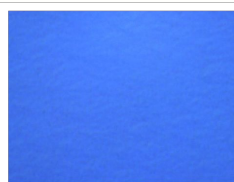


図1. 自然形成ピアホールを有するAlN(v-AlN)層を有するウエハの模式図  
n<sup>+</sup>-Si基板上にAl先出しを行い、次にNH<sub>3</sub>を導入、AlNを堆積する。ピアホールが形成され、その穴の数と大きさは成長条件で制御できる。この上にAlGaInを横方向成長モードで成長し、穴を埋めv-AlN層が形成される(b)。このピアホールはAlGaIn成長中に消滅し(c)、AlGaIn成長後には鏡面が得られる(d)。



(1) The surface of the v-AlN



(2) The surface of the n-AlGaIn

図2. (1) 図1のv-AlN表面(b)の顕微鏡写真  
多くのピアホールが認められる。  
(2) AlGaIn表面(d)での顕微鏡写真  
鏡面である。

これらの結果を踏まえ、本研究ではより導電性の高いAlN層の形成とその上に高品質のAlGaIn層をエピタキシャル成長させる条件を明らかにし、これを用いて従来不可能であったSi基板での高出力縦型深紫外LED、種々の異なった波長で働く高感度特性の縦型深紫外センサーアレーならびに縦型トランジスタを実現し、それをSi基板上でモノリシック化した深紫外センシングシステムの実現を目指す。

### 3. 研究の方法

予備実験で成功した自然形成ピアホール作製法によるSi基板の導電性AlN層の実現とそれを用いた縦型の深紫外LEDと深紫外センサーの原理実証試験の結果を踏まえ、AlN層のさらなる低抵抗化を進める。良好なデバイス特性を得るために必要不可欠な高品質AlGaIn層のMOCVD成長に向けては、3元組成の交互供給結晶成長法の研究を行う。これらの技術を用いて種々のAlGaInデバイス、すなわち高出力深紫外LED、種々の波長に感度を有する深紫外センサーならびに縦型

トランジスタの実現を図る。さらに、Si基板上でのAlGaInデバイスのモノリシック化を念頭に置き、選択成長を含めたエピタキシャル成長とデバイス作製の研究開発を推進する。

#### 4. 研究成果

(1) 結晶成長技術：Si基板上へのAlGaIn結晶成長において、Siのメルトバック現象を防ぎながら良質なAlGaIn層を成長させるためには、Si上のバッファ層にAlNの適用が必要不可欠である。しかしながら、AlNは不純物準位が深いため導電性が得られず、この層を通して電流を流す縦型デバイスをSi基板上に作製することは不可能であった。これを解決するため、Si基板上にトリメチルアルミニウム(TMA)を先出しし、窒化した後にAlNを形成することにより特定の結晶成長条件下でAlN層の中に微小ホール(自然形成ピアホール)が形成され、次にAlGaIn層を成長することによりその自然形成ピアホールが埋め込まれて、伝導性のあるAlNバッファ層が形成できることを我々は見出した。そして、その自然形成ピアホールの数(密度)と大きさは、先出しTMAの量や結晶成長条件で制御可能であろうと検討を継続していた。その後の本研究では、この自然形成ピアホール形成法の改善を目指して、Si(111)基板からのオフ角度と結晶性および伝導特性の関係を検討した。その結果、基板オフ角により自然形成ピアホールの形状や密度の制御とドーピングの研究を進め、それに伴ってAlNバッファ層の縦方向の導電性も変わることが分かった。図3にエピタキシャル層のSEM写真とその層構造を説明する模式図を示す

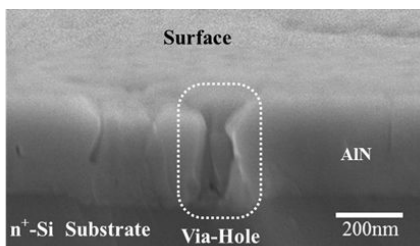


図3. AlNバッファ層に形成されたナノサイズのピアホール(走査型電子顕微鏡(SEM)写真)

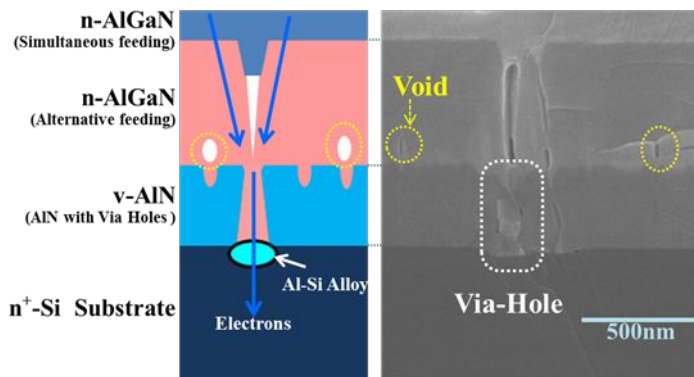


図4. エピタキシャル層のSEM写真とその層構造を説明する模式図  
ナノサイズのピアホールは、1100 °CのSi基板上で合金化したAl-Si(マスクのように働く)上に形成され、原料ガスの交互供給によるn型AlGaInで埋め込むことができる。その後の連続的な成長により、平坦な表面の形成が可能である。

自然形成ピアホールの密度は1%以下であるが、電流は埋め込まれたn型AlGaInを通してn<sup>+</sup>-Si(111)基板に流れている。すなわち、400 $\mu$ m角の電極を設けて縦方向の抵抗を測定したところ、従来のn型AlNバッファ層を用いた試料は7200 $\Omega$ を示したが、n型AlGaInを埋め込んだピアホールによる試料(AlNバッファ層と埋め込んだAlGaInにはSiを約 $3 \times 10^{17}$ cm<sup>-3</sup>ドーピング)の抵抗は6.4 $\Omega$ であり、1000倍の低抵抗化を実現した。加えて、AlGaInの結晶成長手法においても、(AlGa)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の高周波プラズマを用いた窒化で新たな知見を得た。

(2) Si基板上AlGaIn縦型デバイス技術：AlN層中に自然形成ピアホールが形成され、次にAlGaIn層を成長することによりその自然形成ピアホールが埋め込まれて、伝導性のあるAlNバッファ層が制御良く形成できることを確認したので、この技術を用いて縦型構造の紫外のLEDとセンサーを試作した。評価の結果、LEDは良好な電流-電圧特性と電流-光出力特性を350nmの発光で示した。一方センサーは、193nmにおいて150mA/Wの良好な感度特性を示した。また、縦型トランジスタの検討を進めるために、特に順方向の電流密度に注目したダイオードを試作検討した。評価の結果、先に検討した深紫外の光ダイオードと同じく整流性は認められたが、順方向に電流を流す測定の繰り返しにより、リーク電流の増加など整流特性の劣化が認められた。再成長界面の欠陥や埋め込み層の結晶性に起因する現象と推察した。なお、MOCVD装置の状態から、多くの実験は行えなかった。

(3) AlGaInデバイス作製プロセス技術：Si基板上の縦型AlGaInトランジスタの実現を目指し、作製プロセスとデバイス構造の検討を進めた。まず、横型の高電子移動度トランジスタ(HEMT)構造を用いて、素子表面を保護して素子特性を安定化させるパッシベーション技術を開発した。素子表面が保護されていない結晶表面の結合手は終端されておらず、表面準位を形成する。これによるキャリアの捕獲と放出が、素子特性のドリフト現象を引き起こす。我々は、AlGaIn/GaN HEMTの表面に対して、HClを等量の水で希釈した水溶液を用いて表面処理を施した後に窒素プラズマを用



いて原子層堆積法でSiN膜を形成することにより、 $6.7\Omega\cdot\text{mm}$ の低いオン抵抗と $800\text{mA}/\text{mm}$ の高いドレイン電流密度を得た。

一方、低抵抗p型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N層の実現を目指した高濃度Mg不純物のアクセプタ活性化の研究では、従来技術である熱処理炉によるアニールと同様に、ArFエキシマレーザー照射によりMgアクセプタの活性化処理が可能であることを初めて明らかにした。図5に、開発したArFエキシマレーザー照射によるMgアクセプタの活性化処理系を示す。この系は、レーザー照射しながら同時にGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N試料表面の損傷や発光が観測できることが特徴である。この系を用いて、Mgを $2.6 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ ドーピングした厚さ $1\mu\text{m}$ のGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N層を有するエピタキシャルウエハに対して、熱処理炉によるアニールとArFエキシマレーザー照射による処理を施して、ホール測定で伝導特性を比較した。その結果、レーザー照射により $3.3 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ の正孔濃度が初めて得られた。この正孔濃度は、熱処理炉アニールによる試料の値と等価である。加えて、レーザー照射試料の正孔移動度が、熱処理炉処理試料のそれより高いことから、結晶性の高さも推察された。

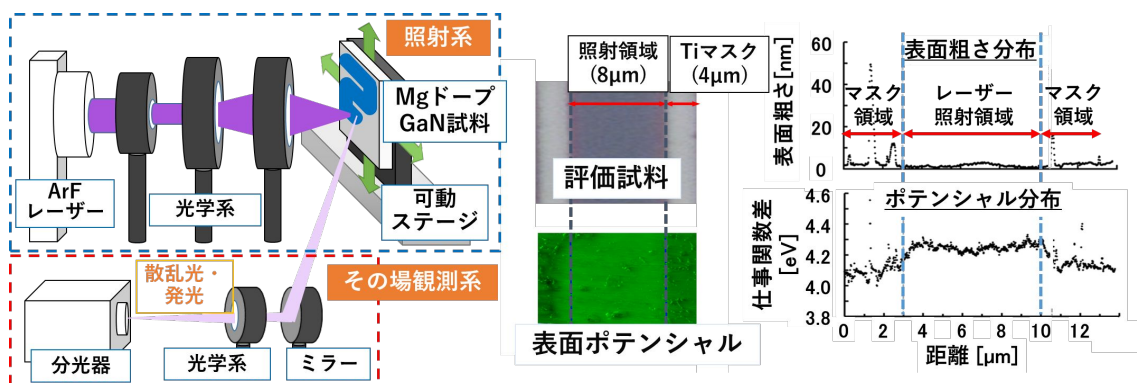


図5. ArFエキシマレーザー照射によるMgアクセプタの活性化処理系

図6. マスクを設けた試料とレーザー照射後の表面粗さと表面ポテンシャルの分布

研究遂行上、この特長の利用が縦型トランジスタを作製するためには不可欠であることから、レーザー照射によるアクセプタ活性化の詳細な研究を進めた。その結果、微細なマスクを設けたMgドーピングGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nに対して193nmのArFエキシマレーザーを掃引照射処理したところ、マスクを設けなかった領域が局所的に活性化することを見出した。図6に、ケルビンフォース顕微鏡観察による活性化された領域の表面ポテンシャル変化と原子間力顕微鏡観察によりその活性化された付近の表面に構造が無い様子を示す。この新規手法を用いれば、局所的な電流狭窄領域が必要な縦型のGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nトランジスタを簡便に実現することができる。

また、p型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N層に低接触抵抗のオーミック電極を形成する研究では、Au/Niを電子ビーム蒸着した後に610℃で2.5分間、窒素雰囲気での熱処理により、良好な表面状態と $3\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ の特性接触抵抗を示すオーミック電極を得た。なお、デバイスへの適用にはより低い接触抵抗の電極が要求されるが、SPring8での硬X線光電子分光評価で界面の結合状態の処理温度依存性を評価したところ、610℃以上ではNiの酸化が顕著であり、この機構の寄与が示唆された。このp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N層に低接触抵抗のオーミック電極を形成する技術と新たに開発したAlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nに対してGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nを選択的にドライエッチングする技術と併せて、p型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nゲートを有するAlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N/GaN HEMTを作製した。図7に、素子構造の模式図と開発した選択ドライエッチングでp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nゲートの形成に適用した様子を示す。試作したp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nゲートを有するAlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N/GaN HEMTは、電力制御用デバイスに求められる正のしきい値電圧： $1.2\text{V}$ のノーマリオフ動作が可能であるとともに、 $7.6\Omega\cdot\text{mm}$ のオン抵抗と $440\text{mA}/\text{mm}$ のドレイン電流密度、 $200\text{V}$ 以上の耐圧電圧を示した。

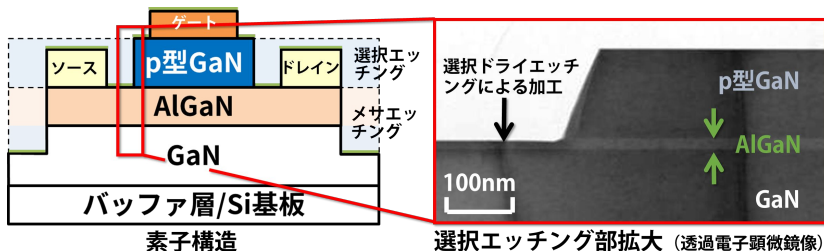


図7. p型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nゲートを用いたノーマリオフ動作HEMTの構造とゲート部分

#### < 引用文献 >

- 1) N. Kurose, K. Shibano, T. Araki, and Y. Aoyagi, "Development of substrate-removal-free vertical ultraviolet light-emitting diode (RefVLED)," AIP Advances 4, 027122 (2014). doi: 10.1063/1.4867090
- 2) Kota Ozeki, Noriko Kurose, Naotaka Iwata, Kentaro Shibano, Tsutomu Araki, Itaru Kamiya, and Yoshinobu Aoyagi, "Novel vertical AlGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N deep ultra violet photo-detector on n+Si

substrate using spontaneous via holes growth technique,” Extended Abstracts of the 2014 International Conference on Solid State Devices and Materials, C-7-4L, Tsukuba, Japan, p548-549 (2014).

- 3) N. Kurose, N. Iwata, I. Kamiya, and Y. Aoyagi, “Formation of conductive spontaneous via holes in AlN buffer layer on n+Si substrate by filling the vias with n-AlGaIn by metal organic chemical vapor deposition and application to vertical deep ultraviolet photo-sensor,” AIP Advances 4, 123007 (2014).  
doi: 10.1063/1.4905135

## 5. 主な発表論文等

### [雑誌論文](計2件)

Noriko Kurose, Kota Matsumoto, Fumihiko Yamada, Teuku Muhammad Roffi, Itaru Kamiya, Naotaka Iwata, and Yoshinobu Aoyagi, “Laser-induced local activation of Mg-doped GaN with a high lateral resolution for high power vertical devices,” AIP Advances, 査読有, **8**, 2018, 15329.

doi: 10.1063/1.5009970

Kazuya Sugimura, Masato Ohmori, Takeshi Noda, Tomoya Kojima, Sakunari Kado, Pavel Vitushinskiy, Naotaka Iwata, and Hiroyuki Sakaki, “InGaAs Triangular Barrier Photodiodes for High-Responsivity Detection of Near-Infrared Light,” Applied Physics Express, 査読有, **9**, 2016, 062101-1-4.

<http://doi.org/10.7567/APEX.9.062101>

### [学会発表](計15件)

Takaaki Kondo, Yoshihiko Akazawa, and Naotaka Iwata, “Effects of p-GaN gate structures and their fabrication process on performances of normally-off AlGaIn/GaN HEMTs,” 11th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma2019) (国際学会), 2019年3月17日~2019年3月21日、名古屋工業大学(愛知県名古屋市).

近藤孝明、赤澤良彦、岩田直高、“様々なp型GaNゲート構造をドライエッチングで形成したAlGaIn/GaN/GaN高電子移動度トランジスタの特性”、第66回応用物理学会春季学術講演会、2019年3月9日~2019年3月12日、東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区).

Noriko Kurose, Naotaka Iwata, and Itaru Kamiya, “Laser-induced local activation of Mg-doped GaN and AlGaIn for high power vertical devices,” SPIE Photonics West 2019 (招待講演)(国際学会), 2019年2月5日~2019年2月7日、The Moscone Center (San Francisco, California, USA).

Yoshihiko Akazawa, Takaaki Kondo, and Naotaka Iwata, “Effect of inductively coupled plasma reactive ion etching on performances of p-GaN gate AlGaIn/GaN HEMTs,” International Workshop on Nitride Semiconductors 2018 (国際学会), 2018年11月11日~2018年11月16日、石川県立音楽堂・ANAクラウンプラザホテル(石川県金沢市).

近藤孝明、赤澤良彦、岩田直高、“選択ドライエッチングがp型GaNゲートAlGaIn/GaN/GaN高電子移動度トランジスタの特性へ及ぼす影響”、第79回応用物理学会秋季学術講演会、2018年9月18日~2018年9月21日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市).

赤澤良彦、近藤孝明、吉川慎也、岩田直高、榊裕之、“p型GaNゲートを用いたノーマリオフ動作AlGaIn/GaN高電子移動度トランジスタ”、第65回春季応用物理学会学術講演会、2018年3月17日~2018年3月20日、早稲田大学西早稲田キャンパス(東京都新宿区).

松本滉太、黒瀬範子、山田郁彦、神谷格、青柳克信、岩田直高、“MgドーピングGaNへのレーザー照射による局所活性化と結晶性のその場観測”、IEEE Metro Area Workshop in Nagoya、2017年10月7日~2017年10月8日、中京大学八事キャンパス(愛知県名古屋市).

安野聡、小金澤智之、鈴木貴之、岩田直高、“放射光XRD・HAXPESによるAl/Ti/AlGaInの界面反応層の結晶構造及び化学結合状態評価”、第78回秋季応用物理学会学術講演会、2017年9月5日~2017年9月8日、福岡国際会議場・国際センター・福岡サンパレス(福岡県福岡市).

松本滉太、黒瀬範子、下野貴史、岩田直高、山田郁彦、神谷格、青柳克信、“MgドーピングGaNのレーザー誘起による活性化とその局所制御”、第78回秋季応用物理学会学術講演会、2017年9月5日~2017年9月8日、福岡国際会議場・国際センター・福岡サンパレス(福岡県福岡市).

鈴木貴之、土屋晃祐、大保崇博、赤澤良彦、下野貴史、松本滉太、江口卓也、岩田直高、“HCl表面処理とプラズマ励起原子層堆積 SiNx膜による AlGaIn/GaN HEMTの表面安定化”、第64回応用物理学会春季学術講演会、2017年03月14日~2017年03月17日、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市).

鈴木貴之、山田富明、河合亮輔、川口翔平、張東岩、岩田直高、“プラズマ励起原子層堆積プラズマ励起原子層堆積保護膜によるAlGaIn/GaN HEMTの表面安定化”、第77回応用物理学会秋季学術講演会、2016年09月13日~2016年09月16日、朱鷺メッセ(新潟県新潟市).

A. Buma, N. Masuda, T. Araki, Y. Nanishi, M. Oda, T. Hitora, "Study on Nitridation of  $\text{-(AlGa)}_2\text{O}_3$  Using Rf Plasma for AlGa<sub>N</sub> Growth," The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18) (国際学会), 2016年08月07日～2016年08月12日, Nagoya Congress Center (愛知県名古屋市).

Noriko Kurose, Kota Ozeki, Tsutomu Araki, Naotaka Iwata, Itaru Kamiya, and Yoshinobu Aoyagi, "Realization of Conductive AlN Epitaxial Layer on Si Substrate using Spontaneously Formed Nano-Size Via-Holes for Vertical AlGa<sub>N</sub> High Power FET," The 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) (国際学会), 2016年06月26日～2016年06月30日, Toyama International Conference Center (富山県富山市).

Takayuki Suzuki, Tomiaki Yamada, Ryosuke Kawai, Shohei Kawaguchi, Dongyan Zhang, and Naotaka Iwata, "SiN<sub>x</sub> Passivated GaN HEMT by Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition," The 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) (国際学会), 2016年06月26日～2016年06月30日, Toyama International Conference Center (富山県富山市).

Noriko Kurose and Yoshinobu Aoyagi, "A New Technique to Make an Insulating AlN Thin Film to be Conductive by Spontaneous Via Holes formed by MOCVD and its Application to realize Vertical UV LED on n<sup>+</sup>Si Substrate," AVS 62nd International Symposium & Exhibition (国際学会), 2015年10月18日～2015年10月23日, San Jose Convention Center, San Jose, California, USA.

[その他]

ホームページ等

<http://ttiweb.toyota-ti.ac.jp/public/labo.php>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：青柳 克信  
ローマ字氏名：(AOYAGI, yoshinobu)  
所属研究機関名：立命館大学  
部局名：総合科学研究機構  
職名：上席研究員  
研究者番号(8桁)：70087469

研究分担者氏名：荒木 努  
ローマ字氏名：(ARAKI, tsutomu)  
所属研究機関名：立命館大学  
部局名：理工学部  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：20312126

研究分担者氏名：神谷 格(平成27年度)  
ローマ字氏名：(KAMIYA, itaru)  
所属研究機関名：豊田工業大学  
部局名：大学院工学研究科  
職名：教授  
研究者番号(8桁)：10374018

研究分担者氏名：黒瀬 範子  
ローマ字氏名：(KUROSE, noriko)  
所属研究機関名：立命館大学  
部局名：総合科学研究機構  
職名：研究員  
研究者番号(8桁)：50520540

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：神谷 格(平成28年度～平成29年度)  
ローマ字氏名：(KAMIYA, itaru)

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、研究者個人に帰属されます。