

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：33903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656019

研究課題名(和文)電界効果形窒化物半導体太陽電池の高効率化

研究課題名(英文)A high efficiency III nitride solar cell with graded composition top layer

## 研究代表者

澤木 宣彦 (Sawaki, Nobuhiko)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：70023330

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：太陽電池の高効率化とプロセスコストの低減を両立させるため電界効果を取り入れた窒化物半導体単一pn接合セルを提案・検討した。p形トップ層の混晶組成を徐々に変化させることで光吸収の窓効果と内部電界の発生を促し、光励起キャリアにドリフト効果を付与することでセルの変換効率が60倍に増強できることが分かった。シミュレーションによりp形トップ層の最適厚さはキャリア拡散長の3分の1程度であった。(0001)面トップ層をp形とするためには、分極電界等による自己補償効果に対処するため、Ga空孔の低減が必須であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Numerical studies has been done to improve the III-nitride solar cell performances. It was shown that, by adopting a graded composition p-type top layer in a single p-n junction solar cell, the conversion efficiency is enhanced up to 60 times by the internal built-in electric field which enhances the drift motion of photo-excited carriers. Optimum p-type top layer was estimated to be one thirds of the carrier diffusion length. In order to overcome the polarization self-compensation effects in a real device, reduction of Ga vacancy is essential to realize the p-type conduction in the graded layer on (0001) surface.

研究分野：半導体工学

キーワード：窒化物半導体、太陽電池、ビルトイン電界効果、分極電界、格子空孔、黄色帯発光、インパクトイオン化、炭素ドーピング

### 1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーの利用に最も重要なデバイスの一つである太陽電池の技術開発課題の中で、セル作製コストの低減技術研究の歴史は長く、アモルファス太陽電池開発を起点として、薄膜シリコン太陽電池、有機太陽電池、CIGSなどが、また、変換効率向上には、タンデム型、集光型などの開発が進められた。さらに量子ナノ構造を用いる第3世代デバイスも提案されている。

太陽電池に利用できる波長域は材料のエネルギーバンドギャップによって制限され、単一のpn接合の効率は30%を超えることはできない(Shockley Queisser Limit)。そのため、第2世代の太陽電池ではエネルギーバンドギャップの異なる複数のデバイスを直列につなぐタンデム型が提案され、集光形を援用するGaAs系セルでは50%を超える効率が報告されている。新しい化合物半導体である窒化物半導体は混晶とすることによりそのエネルギーバンドギャップが0.7~6.2eVの範囲で可変で、全太陽光スペクトルをカバーできるため、多段接合型とすることにより60~70%の効率が得られるとする試算もあり、内外で多くの研究が進められているが、その実現には大きな壁がある。窒化物半導体セルの最も大きな困難は混晶組成により格子定数が変化するためヘテロ界面で結晶欠陥が誘起され、光励起キャリアの寿命が長くないことにある。さらに、タンデム型や超格子構造を使うデバイスでは、ヘテロ界面に発生する転位の完全制御には種々の制約がありプロセスコストの低減につながらない状況にある。

### 2. 研究の目的

本研究は、第3世代の太陽電池実現のため太陽光スペクトルの活用範囲拡大手法として提案されているタンデム型あるいは中間バンド挿入方式の作製プロセス上の難点を回避するため、単一接合で全スペクトルの連続的取り込みを狙うセルの開発を狙うものである。

タンデム型はバンドギャップの異なる複数のヘテロ接合構造の直列接続を基本とするが、高効率を狙う4~6接合構造では各々のpn接合に発生する光電流の連続性と光透過性を保障するオーム性接合形成の設計製作プロセスに大きな課題がある。一方、量子ドット挿入に代表される中間バンド挿入方式ではエネルギーバンドギャップ内に低い電子準位を挿入して低エネルギー(長波長)領域でのエネルギー収集を狙うものであるが、離散的な特性エネルギーを有する量子構造がキャリアトランスポートの障壁となり収集効率を下げるジレンマがある。

本研究では、プロセスコストが最も低廉な単一pn接合ダイオードの変換効率を向上させるため、p形トップ層を傾斜組成層(傾斜エネルギーバンドギャップ)とすることによ

って内部電界を誘起させ、よってトップ層で励起されたキャリアの対向電極への到達率(コレクタ効率)を向上させるとともに、ホットエレクトロンのインパクトイオン化によるキャリア増培効果によりエミッタ効率を向上させる手法の可能性を数値シミュレーションと試作デバイスにより評価することを内容としている。

### 3. 研究の方法

#### (1) 新材料の採用と電界効果の評価

第1世代太陽電池は光励起キャリアを拡散によってpn接合に到達させる構造であるため、各層におけるキャリアの拡散長すなわちキャリア寿命が長い必要がある。キャリア寿命の短い材料で電界によるドリフト効果を付与することによるpn接合への到達率(コレクタ効率)改善の可能性については1960年頃の論文(Proc.I.R.E 48 (1960)1246等)に記述が見られるがシリコンを主体とする当時の材料技術での実証は難しかった。1996年になって、NEDOプロジェクトでヘテロ接合による実証が試みられたがプロセス上の困難から顕著な改善は見られなかった。本研究では、この轍を踏まぬよう、連続的な組成変調が可能なAlInGaN混晶を用いてその可能性を検討する。

#### (2) インパクトイオン化率の評価

上記に記述した原理では、全スペクトル領域でのコレクタ効率の向上は期待できるが、デバイスの出力電圧は下部のn-AlInGaNのエネルギーバンドギャップで決定される1.5V以下にとどまる。可視光から紫外線領域の光エネルギーの大部分はp型層内でフォノン散乱によりエネルギーを失う(ストークスシフト)ため、デバイス効率としてShockley Queisser Limitを超えることは出来ない。本デバイスではホットエレクトロンのインパクトイオン化による電子増倍を促すことでこの限界を破る可能性を検討する。

Si系太陽電池に波長370nm以下の紫外線を照射すると、伝導帯には2.2eV以上の運動エネルギーをもつホットエレクトロンが生成される。このホットエレクトロンによるインパクトイオン化(電子増倍)は、1993年ドイツマックスプランク研究所で発見(Appl. Phys. Lett. 63 (1993)2405)され、多くの研究機関で実デバイスへの応用が検討された。最近では、フランスCNRSで波長250nmにおける内部量子効率360%を実証した(Proc. SPIE 7002 (2008) 700204)が、2011年現在、有意な高効率デバイスの報告は無かった。その主な原因は、最表面の高密度電子が電界を緩和しpn接合への流れを阻害するため、光強度が弱い場合にしか効果が得られないことによるとされた。本研究では、傾斜組成AlInGaNトップ層により、最表面に広いバンドギャップ層を設けて光進入長を長くするとともに強い

内部電界を付与することによってキャリアの効率的トランスポートを促し、上記の逆現象の防止を企てる。その実証のため、窓効果と pn 接合の逆バイアス下における光電流の変化を測定し、インパクトイオン化率（電流増倍率）を評価する。

### (3) p 形伝導性制御

窒化物半導体でここで提案するセルを実現するためには組成にかかわらず p 形伝導を確保することが必須である。AlInGaN の p 形伝導は現状では Mg ドーピングによるものだけが可能であるが、傾斜組成とする場合ピエゾ電界効果が顕著になりこの電荷が n 形ドーピングと同じ効果を呈することから p 形ドーピング効率の高効率化を図る必要がある。さらに本手法で採用する傾斜組成試料では結晶歪みに起因する結晶欠陥が p 形ドーピングを阻害（自己補償効果）する可能性もありその解明と制御が必須である。本研究では、ピエゾ電界と分極電界が p 形伝導におよぼす効果を検討するとともに、自己補償効果の原因とその制御手法を明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) モデルの提案

AlInGaN 混晶を傾斜組成トップ層とする pn 接合の構造評価をするためにまず、数値シミュレーションを行った。特性波長 880nm (Shockley Queisser Limit 30%の得られる最適波長)のバンドギャップの場合、直接遷移形窒化物試料では600nmの光は0.5 $\mu$ m程度しか進入できない。そのため、可視光線の大部分の領域で表面再結合の影響を受ける。これを防ぐため、傾斜組成トップ層のエネルギーギャップを、最表面で3.4eVと広くし、徐々に1.5eV程度までバンドギャップを狭くすることで、窓効果を同時に満たす構造を採用する。この手法で、350~800nmの広い範囲の光を効率的に電子に変換することが出来る（光取り込み効率の向上）。励起された電子のほとんどを、傾斜エネルギーバンドギャップによって誘起された内部電界によるドリフト効果で対向の n 型層に到達（全スペクトルでコレクタ効率を100%に向上）させることを目指す。

n 形基板上に p 形層を設ける場合、太陽電池の特性は主として p 形トップ層内に励起される少数キャリアである電子の振る舞いで決定される。特に、窒化物太陽電池では、その結晶品質が必ずしも十分でないためキャリアの拡散長が短く、トップ層で励起された電子が接合部分まで到達する前に再結合過程で死滅してしまうことが効率向上の障害になっている。

材料パラメータは現状では確立されていないため、文献値[Hsu, H., and Walukiewicz, W., J. Appl. Phys. 104, 024507 (2008)]を採用し、

InxGa1-xN 混晶を考察した。キャリアの表面再結合速度の測定例がないため、本シミュレーションでは、窓効果のためのワイドギャップ層を付加しない場合には、電子、正孔ともに10<sup>6</sup>cm/sを、ワイドギャップキャップ層を設ける場合には表面再結合が起こらない（速度がゼロ）であると仮定した。

具体的な構造として、シリコン基板上に In 組成 x=0.55 の n 形 InGaN を下部層とし、その上に傾斜組成 p 形 InGaN を設ける。組成 x=0.55 は Shockley-Queisser のモデルによる単一 pn 接合による太陽光セルで最も大きな効率が得られるバンドギャップの値に相当している。p 形トップ層の膜厚としては1ミクロンを基準とした。

### (2) ワイドギャップ窓層の働き（窓効果）

表面にワイドギャップ層を設けた場合の光励起キャリアの濃度分布を調べると、キャリアはそのほとんどが p 形トップ層内に分布し、下部の n 形層では3桁ほど小さいことが分かった。表面にワイドギャップ層を設けない場合には、キャリア密度は最表面側で急激に減少し、与えられた表面再結合速度では最大キャリア密度が一桁減少することが分かった。この結果、最表面に窓層と呼ばれているワイドギャップ層を設けることが化合物半導体太陽電池でも極めて有効であると結論された。

### (3) 光電流の内部電界効果

次に、光電流をシミュレーションした。In 組成としては n 形層との境界で x=0.55、1ミクロン離れた最表面では x=0.56 とした。この差異はエネルギーギャップの変化 25meV を生じさせ、バンドオフセット比が43%の場合、伝導帯に100V/cmの内部電界が得られる。In 組成の変化を0.55から0.45に変化させた場合には内部電界は1000V/cmに達した。

太陽光強度として AM1.5 を仮定した計算で、表面窓層を設けると電界ゼロで光電流は2.2倍に、電界100V/cmでは8倍以上に増加した。InGaN では光によるキャリア励起が最表面近傍に限定される上にキャリア寿命が短いために、接合に到達できるキャリアの割合が激減し、このことが光電流の減少に繋がっていることが明らかになった。

### (4) p 形トップ層の厚さ依存性

p 形トップ層の最適厚さの設計基準を検討した。p 形トップ層の厚さの関数として光電流の変化を電界を変えて計算したところ、電界が小さいとき、厚さの増加につれて光電流は増加し、最大値を経てやがて減少した。最初の増加は p 形層で十分なキャリア生成が行われるためには一定以上の厚さが必要であることを示し、後半の減少は厚さが厚くなると接合に到達するキャリアの割合が減ることを反映している。

印加電界をさらに増すと前半の増加傾向

がさらに強調され、後半の減少がなくなり高電界では電界によらない一定値になることが分かった。この飽和現象は、p形トップ層で励起された全てのキャリアが電界により加速され接合面に到達し、光電流として取り出されたこと（収集効率 100%）を意味している。p形層の厚さをキャリア拡散長の 1/3 程度にすれば最大の効率が得られることが分かった。1000V/cm の内部電界で光電流は電界ゼロの場合の 60 倍以上になり、電界効果によって短いキャリア寿命による障害をほぼ完全に回避できると結論できた。

#### (5) デバイスの試作・分極電界の効果

以上のシミュレーション結果を基に、HVPE 法によりテストデバイスを作製した。p-AlGaIn ならびに p-InGaIn をトップ層としてこれを傾斜組成とした。比較のため傾斜組成としないデバイスも用意した。後者では LED としても正常に動作し、所定の青色発光が見られたが、前者はリーク電流が大きく、pn 接合としては弱い整流作用が見られるにとどまった。この原因として、傾斜組成における分極電界の影響が考えられた。

窒化物半導体は六方晶系で大きな分極電界を内在している。さらに、傾斜組成あるいはヘテロ接合構造では格子定数の相違による格子歪みが発生しピエゾ電界が誘起される。文献に見られるパラメータを使って、(0001)面上の AlGaIn 混晶の自発分極ならびにピエゾ分極を Al 組成  $x$  の関数として見積もったところ、線形近似の範囲でそれぞれ、 $-0.037x$  と  $-0.026x$  で与えられた。この結果、200nm の膜厚で組成を 10% 変化させると、17 乗台のドナードーピングに相当する電荷が現れると予想された。実験結果はこの実効的な n 形ドーピングによって Mg による p 形ドーピングが補償された可能性を示している。

以上の考察によれば、本実験では(0001)面上にデバイスを作製したが、(000-1)面上または無極性面上にデバイスを作製すれば分極電荷の効果は是正される可能性がある。現状では(000-1)面上でのエピタキシャル成長は表面モフォロジーが悪く、当面は(0001)面上での p 形ドーピングの高効率化を検討しなければならない。

#### (6) p 形ドーピングの高効率化

本研究で試みるデバイスでは傾斜組成における効率的 p 形ドーピングが必須であることから、ドーピング効率を阻害している Mg あるいは C ドーピングにおける自己補償効果の起源を TEM、PL、ラマン散乱、FTIR 等により検討した。

TEM 観察によると、貫通転位、ヘテロ界面近傍のミスフィット転位は基板上の凹凸に敏感に依存すること、Si 基板上への成長では大きな格子定数差があるにもかかわらず緩衝層に In を導入することにより転位密度が大幅に減少すること、加工基板上での異なる

位置で核形成されたナノクリスタルが合体する時、高品位の Si 結晶性の助けを借りてほぼ完全な結晶の合体が図られることなどが明らかになり、AlInN バッファ層を用いた Si 基板上へのエピタキシャル成長では深い準位の発光強度を 2 桁以上抑制させることに成功した。この試料では、Ga 空孔と酸素の結合した複合欠陥による緑色と黄色の明瞭な発光ピークを決めることが出来た。また、430nm 付近に見られる炭素によるとされる青色帯は 400~700°C、10 分の熱処理によって発光強度がさらに強くなった。これは熱処理により C 周りの原子配置が変化したことを示唆した。

意図的に C ドープした(0001)GaIn の PL スペクトルでは、ドーピングが低い場合は強いバンド端発光が見られ、緑と黄色の明瞭なピークが見られたが、このピークはドーピング量の増加に伴ってブロードな 550nm 黄色帯に変化し、430nm の青色発光帯が増強され、バンド端発光は弱くなった。Mg ドープ試料でも同様の傾向が見られ、p 形ドーピングでは深い準位の形成が起こりこれが補償効果の原因になっていることが示唆された。他方 p 形ドーピング効率が一桁以上よい(1-101)GaIn では Mg、C ドーピングともに深い準位による発光は 1~2 桁弱いことが分かった。この結果、効率的な p 形ドーピングには Ga 空孔を低減する成長条件を確立することが必須であると結論された。

高濃度に C をドープした試料では  $A_1(\text{LO})$  フォノンによる共鳴ラマン散乱ピークが見いだされた。この結果、LO フォノンのエネルギーを  $737.5\text{cm}^{-1}$  と精度良く決定することが出来た。さらに、同試料の FTIR スペクトルには C ドープによる局在振動モードを  $777.5\text{cm}^{-1}$  に見いだした。還元質量近似による計算値との比較から C は N サイトにドープされアクセプタとして機能していることが初めて証明された。

#### (7) 光電流増培効果の検証

1 $\mu\text{m}$  程度の p 型トップ層内で傾斜組成原理によって得られる電界は最大でも  $2.5 \times 10^4$  V/cm 程度でやや低い。AlInGaIn 混晶に関するインパクトイオン化率の実験報告例は無いが、GaIn については GaAs と同等あるいはそれ以上の値が報告されている(Phys. Rev. B81 (2011) 125201)。従って、p 型トップ層の膜厚と組成変化率を最適化することによって十分なイオン化率が得られ可能性がある。

本研究では、試作した AlGaIn/GaIn pn 接合に逆バイアスを印加し光電流を測定する方法で電流増倍率を評価した。比較のため、Si ダイオード(拡散形)、AlGaAsP 系化合物半導体ダイオード(赤 LED)の電流増倍率も測定した。用いる試料によってバンドギャップが異なるため光応答の波長依存性があったが、バンド端発光近傍の波長を照射すると、光電流はいずれの場合もバイアス電圧の関

数として増加した。Si ダイオードでは 25V の電圧で 100~150 倍に、AlGaAs 系ダイオードでは 35V で 100~150 倍にそれぞれ増加した。一方 AlGaIn/GaN ダイオードでは、100V で 100 倍と同等の増倍率が得られたが閾値は急峻でなく緩やかに増加した。窒化物系で Si や GaAs 系と同程度の光電流増倍率が観測できたことは、本研究で目指すインパクトイオン化による効率向上の可能性を強く支持するものである。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

(1) S.Ito, H.Kobayashi, K.Araki, K.Suzuki, N.Sawaki, K.Yamashita, Y.Honda, and H.Amano, "Resonant Raman and FTIR spectra of carbon doped GaN," J. Crystal Growth 査読有 414 (2015) 56–61, DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2014.11.024.

(2) S.Ito, T.Nakakita, N.Sawaki, M.Irie, T.Hikosaka, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Nature of yellow luminescence band in GaN grown on Si substrate," Jpn. J. Appl. Phys. 査読有 53 (2014) 11RC02(5pp), DOI: 10.7567/JJAP.53.11RC02.

(3) J.Y.Kim, G.S.Lee, S.G.Jung, M.A.Park, M.J.Shin, S.N.Yi, M.Yang, H.S.Ahn, Y.M.Yu, S.W.Kim, H.S.Lee, H.S.Kang, H.S.Jeon, and N.Sawaki, "Growth of GaN on Metallic Compound Graphite Substrate Using Hydride Vapor Phase Epitaxy," Jpn. J. Appl. Phys. 査読有 52 (2013) 11NG03(4pp), DOI: 10.7567/JJAP.52.11NG03

(4) N.Sawaki, S.Ito, T.Nakagita, H.Iwata, T.Tanikawa, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Defect generation and annihilation in GaN grown on patterned silicon substrate," Proc. of SPIE 査読無 Vol.8625, (2013) 86250K(6pp) DOI: 10.1117/12.2002738.

[学会発表] (計 24 件)

(1) H.Kobayashi, T.Yagi, R.Tanabe, T.Kanematsu, H.Iwata, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, and H.Amano, "Effect of annealing on the defect related emission in GaN grown on Si substrate," 7th Asia-pacific Workshop on Widegap Semiconductors, May 17-20 (2015)TUA1-3, Seoul (韓国).

(2) H.Kobayashi, N.Sawaki, K.Yamashita,

T.Hikosaka, Y.Honda, and H.Amano, "Optical spectra and yellow luminescence in C doped GaN," ISPlasma2015, Nagoya, March 26-31 (2015) B2-O-04, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(3) T.Yagi, R.Tanabe, T.Kanematsu, H.Kobayashi, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, and H.Amano, "Improvement of crystalline quality of GaN on Si by an AlInN nucleation layer," ISPlasma2015, Nagoya, , March 26-31 (2015) B2-O-03, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(4) G.S.Lee, H.S.Jeon, C.M.Lee, C.B.Lee, S.N.Yi, M.Yang, H.S.Ahn, S.W.Kim, Y.M.Yu, and N.Sawaki, "Characteristics of High-Quality AlN Thick Film Grown on c-sapphire Substrates by HVPE Method," ISPlasma2015, Nagoya, March 26-31 (2015) B1-P-02, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(5) 小林宙主, 澤木宣彦, 山下康平, 彦坂年輝, 本田善央, 天野浩, 「炭素ドーブ半極性 (1-101)GaN の光学特性」電気電子情報関係学会東海支部連合大会, Sept.9 (2014), E4-1, 中京大学 (愛知県・名古屋市).

(6) S.Ito, K.Araki, K.Suzuki, N.Sawaki, K.Yamashita, Y.Honda, and H.Amano, "Resonant Raman and FTIR spectra of carbon doped GaN," ICMOVPE2014, July 13-18 (2014) Thu-Oral-2-2, Lousanne (スイス).

(7) K.Araki, K.Suzuki, N.Sawaki, K.Yamashita, Y.Honda, and H.Amano, "FTIR spectra in a heavily carbon doped (0001)GaN," ISPlasma 2014, Nagoya, March 2-6 (2014) 06aP29, 名城大学 (愛知県・名古屋市).

(8) S.Ito, T.Nakakita, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Nature of Yellow Luminescence Band in High Quality GaN," ISPlasma2014, Nagoya, March 2-6 (2014) 04aC02O, 名城大学 (愛知県・名古屋市).

(9) J.Y.Kim, M.A.Park, G.S.Lee, M.J.Shin, S.N.Yi, M.Yang, H.S.Ahn, Y.M.Yu, S.W.Kim, H.S.Kang, H.S.Jeon, and N.Sawaki, "AlGaIn Epitaxial Layers Grown by Hydride Vapor Phase Epitaxy," ISPlasma2014, Nagoya, March 2-6 (2014) 03pC08O, Meijo University 名城大学 (愛知県・名古屋市).

(10) N.Sawaki, "Epitaxial relationship and nano-structures at GaN/Si interface," EMN2013 Open-access 2013, Oct. 21-27 (2013) C08, Chengdu (中国).

(11) 伊藤翔悟, 中北太平, 澤木宣彦, 入江将嗣, 本田善央, 山口雅史, 天野浩, 「Si 基板上

GaN/AlInN エピタキシャル膜の PL スペクトル」 電気関係学会東海支部学術講演会, Sept.25 (2013)、B4-2, 静岡大学 (静岡県・浜松市).

(12) 中北太平, 伊藤翔悟, 岩田博之, 澤木宣彦, 本田善央, 山口雅史, 天野浩, 「半極性 (1-101)GaN における積層欠陥の振る舞い」電気関係学会東海支部学術講演会, Sept.25 (2013), B4-1, 静岡大学 (静岡県・浜松市).

(13) S.Ito, T.Nakagita, S.Kawakita, H.Iwata, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Growth of High Quality GaN on (111)Si using AlN:In Nucleation Layer," 6th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors, May 12-15 (2013) WA1-4, Taipei (台湾).

(14) T.Nakagita, S.Ito, H.Iwata, N.Sawaki, T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Coalescence and Generation of Stacking Faults in a (1-101)GaN Grown on a Patterned (001)Si Substrate," 6th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors, May 12-15 (2013) PM16, Taipei (台湾).

(15) T.Fujisawa and N.Sawaki, "A high efficiency InGaN solar cell with graded composition p-InGaN top layer," ISPlasama2013, Nagoya, Jan.28-Feb.1 (2013) P3087B, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(16) D.Gwon, M.Shin, M.Kim, G.Lee, H.Ahn, S.Yi, S.Yoon, C.Lee, D.Ha, and N.Sawaki, "Characteristic analysis of hybrid photovoltaic devices with different surface structures of GaN," ISPlasama2013, Nagoya, Jan.28-Feb.1 (2013) P3080B, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(17) S.Jung, G.Lee, S.Bae, H.Jeon, M.Shin, S.Yi, M.Yang, H.Ahn, Y.Yu, S.Kim, H.Kang and N.Sawaki, "Characterization of SAG-GaN LED grown by HVPE method," ISPlasama2013, Nagoya, Jan.28-Feb.1 (2013) P3086B, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(18) M.Park, S.Bae, G.Lee, S.Jung, J.Kim, M.Shin, S.Yi, M.Yang, H.Ahn, Y.Yu, S.Kim, H.Kang, and N.Sawaki, "Fabrication and characterization of single chip with multi-GaN LED," ISPlasama2013, Nagoya, Jan.28-Feb.1 (2013) P3089B, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(19) S.Ito, T.Nakagita, H.Iwata, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "TEM analyses of GaN grown with AlInN intermediate layer on Si substrate," ISPlasama2013, Nagoya,

Jan.28-Feb.1 (2013) P3056B, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(20) K.Hagiwara, N.Sawaki, K.Yamashita, T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "FTIR analyses of carbon doped (1-101)GaN grown on a patterned Si substrate," ISPlasama2013, Nagoya, Jan.28-Feb.1 (2013) P3072B, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(21) T.Nakagita, S.Ito, H.Iwata, N.Sawaki, T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Defect structure in a (1-101)GaN grown on a patterned (001)Si substrate," ISPlasama2013, Nagoya, Jan.28-Feb.1 (2013) P3073B, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市).

(22) N.Sawaki, S.Ito, T.Nakagita, H.Iwata, T.Tanikawa, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Defect generation and annihilation in GaN grown on patterned silicon substrate," SPIE Photonics West 2013, Feb. 4 (2013), San Francisco (USA).

(23) S.Kawakita, H.Iwata, T.Nakagita, S.Ito, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "TEM analyses of GaN grown on (111)Si substrate via an AlInN intermediate layer," IWN-2012, Sapporo, Oct.15-19 (2012) ThP-GR-24, 札幌コンベンションセンター (北海道・札幌市).

(24) 藤澤知樹, 澤木宣彦, 「傾斜組成トップ層による InGaN 太陽電池の高効率化」電気関係学会東海支部学術講演会, Sept.25 (2012), H5-5, 豊橋技術科学大学 (愛知県・豊橋市).

[その他]

ホームページ等

<http://repository.aitech.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

澤木 宣彦 (SAWAKI NOBUHIKO)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：70023330

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

本田 善央 (HONDA YOSHIO)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：60362274