

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 3 月 31 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360009

研究課題名（和文） Si 基板上半極性 GaN の高品質化に関する研究

研究課題名（英文） Growth of high quality GaN on an Si substrate

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

研究成果の概要（和文）：

Si 基板上への GaN ヘテロエピタキシにおける成長層の高品質化のため AlInN 緩衝層と In 添加 AlN 成長核形成層の効果を検討した。断面 TEM 像の観察から GaN 成長層の貫通転位密度の低減が図られることを明らかにした。さらに炭素ドープ半極性面 AlGaIn の遠赤外吸収スペクトルに Al-C ボンドによる局在振動モードを見だし、p 型伝導の起源が窒素サイトを置換した炭素によるものであることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The role of an AlInN buffer layer and an AlN nucleation layer incorporated with small amount of In has been investigated. The threading dislocation density in the grown layer was much reduced by these two layers. The FTIR spectra in a carbon doped (1-101)AlGaIn layer showed a local vibration mode which is attributed to Al-C bond. This shows that the p-type conduction is organized by the carbon sitting on an N site.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2011年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：半導体工学

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：窒化物半導体、有機金属気相成長、格子欠陥、不純物ドーピング、シリコン基板、透過電子顕微鏡観察、遠赤外吸収スペクトル、シリコンホトニクス

1. 研究開始当初の背景

GaN に代表される III 族窒化物半導体は、交通信号機などの表示デバイスや白色 LED として実用化され、省エネルギーへの貢献が期待されるとともにブルーレイ情報記録装置

など情報機器の高度化に貢献している。さらに高効率電力用電子デバイスへの応用研究も進められている。一方、Si 集積回路技術は 10 ナノメートル台へと微細化が進み、次世代技術のため「More Moore」あるいは「More

than Moore」を目指す研究開発が内外で進められているが、その革新的技術の一つとして、シリコン集積回路技術に光技術を融合する「シリコンフォトニクス」に大きな期待が寄せられている。シリコン基板上に発光デバイス（半導体レーザー等）を直接作り付ける技術の研究は 30 年以上の歴史があるにもかかわらず、よい結果が得られていない。これは、光半導体とシリコンとは結晶構造、格子定数、熱膨張係数が異なるため、良質なエピタキシャル成長が出来ないことに原因があった。

Si 基板上に得られる GaN 結晶の転位密度はサファイア基板上に比べて低減されるものの、実デバイスへの適用とその高度化には不十分で、さらなる低減が必要である。我々は、加工 Si 基板上にマイクロクリスタルを形成し、それを核として窒化物結晶を成長させることにより、転位密度の低い結晶を得ることに成功しているが、実デバイスへの適用には更なる転位密度の低減が必要で、緩衝層の最適化が必須の課題である。

GaN 系短波長光電子デバイスのもう一つの課題は、低抵抗な p 形結晶が得られないことである。C 面上に作製した窒化物半導体では高濃度の Mg ドーピングで自己補償効果が顕著に現れ、紫外線領域でのレーザーの高性能化の支障となっている。特に AlGaIn への p 形ドーピング特性の改善は火急の課題である。窒化物結晶へのドーピングでは、従来の III-V 族化合物半導体や Si 等と異なり、不純物原子が成長中に特定のサイトに固定される傾向があり、不純物ドーピングは成長時の表面形態に大きく左右されると推察される。我々は、(1-101)ファセット上で炭素(C)が窒素(N)サイトに固定され p 形伝導を示しやすいこと、自己補償効果も弱いことを見出してきた。この結果に立てば、AlGaIn でも低抵抗な p 形伝導が得られる可能性がある。このためには半極性面窒化物への不純物ドーピング特性の詳細な検討が必要である。

2. 研究の目的

本研究は、Si 基板上に高品質な半極性面 GaN を自然形成原理によって成長させ、Si 基板上で光デバイスを作製する手法の開拓を目的としている。Si 基板上への GaN 成長は典型的なヘテロエピタキシであり緩衝層の最適化が鍵である。大きな格子定数差を有する系における擬似整合成長 (Commensurate like growth) を実現することにより、ミスフィット転位が貫通転位に成長する効果を最小限に抑える手法を確立するとともに、得られる結晶での p 形不純物の高活性化を達成し、Si 基板上で動作するマイクロ光デバイスの高度化に資することを内容とする。

3. 研究の方法

Si 基板上への光デバイスの直接作製には、簡易なプロセスにより、欠陥が少なく伝導性制御が可能な半導体薄膜を作製する必要がある。従来の Si 基板上への窒化物結晶成長では、格子不整合 (大きな格子定数差並びに熱膨張係数差) による障害を回避するために緩衝層として多層膜の形成が採用されてきた。この手法は、ウェハ全面に様な膜を形成するという従来方式のモノリシック集積回路作製には適しているが、複雑なプロセスが必要であり、シリコンフォトニクスのように個別デバイスを限られた場所に作製するための手法とは相容れない側面がある。本研究では、基板上の限られた領域で高品質な結晶を簡易なプロセスで得ることを目的として、転位密度低減を実現するため緩衝層の最適化を図ること、さらに、ファセット面上でのデバイス作製を念頭に、半極性面での不純物ドーピング特性を明らかにすることを内容とし、以下の研究を実施した。

(1) AlInN 緩衝層の最適化

Si 基板上への窒化物結晶育成における最大の課題は、格子不整合への対応に加えて、約 1,000°C の高温プロセス下における GaN 成長層と Si との化学反応によるメルトバックエッチングの回避である。この対策として、従来技術では、Si 基板上に様な窒化物薄膜を得ることが前提条件であるため、AlN/GaN 多層膜が緩衝層として用いられてきた。我々は、選択成長法による部分的な成長を想定し、単一緩衝層による高品質結晶育成を目指している。このため、Ga を含まない AlInN 混晶による緩衝層を重点的に検討することとした。AlN の最適形成温度は 1200°C と高く、従来の緩衝層形成温度が Si 下地表面の損傷につながっていた。InN の最適形成温度は 700°C 程度と低いことから、AlInN 混晶とすることにより、緩衝層の形成温度を低くすることが出来ると予想された。さらに、In の混入により格子定数差が是正され、ミスフィット転位の導入が抑制される可能性もある。本研究では、まず、In 組成の異なる AlInN 緩衝層を用いて GaN 成長を試み成長層の転位密度を考察した。

Si 表面への窒化物結晶成長では、エピタキシャル成長を確保するために、AlN マイクロクリスタルをその成長核として活用している。19% 程度にも上る大きな格子定数差があるために、窒化物結晶には高密度のミスフィット転位が導入される。その状況は AlN マイクロクリスタルの形成条件によって左右されると予想される。そこで、本研究では AlN 核形成層にも In を導入することによって、界面エネルギーを制御し、もって、ミスフィ

ット転位の導入過程を制御する可能性を検討した。ミスフィット転位は AlN の格子定数に換算して 5.3 個ごとに現れることが分かっていた。In を加えることによってミスフィット転位を周期的に配列させることが出来れば、界面の歪みエネルギーを最小化することが出来ると期待されるからである。

このため、AlInN 緩衝層ならびに In を添加した AlN 成長核形成層の成長条件を変化させ、その上に作製した GaN 層の表面モフォロジーと光学的特性を評価するとともに、貫通転位密度の変化ならびに AlN/Si 界面の格子整合を高分解 TEM 像を観察することにより評価した。

(2) (1-101)半極性 GaN の積層欠陥評価

我々は Si 基板上への異方性選択エッチングにより(111)ファセット面を形成し、その上に六方晶窒化物結晶を成長させる手法を提案してきたが、この手法の特長は、基板上で任意の傾斜角を有する窒化物結晶が形成できることにあり、今日ではサファイア基板にも拡張され、世界的にも認められた手法として各国で採用されている。しかし、この方法の最大の課題は、隣り合う結晶が合体する場所に積層欠陥が導入されることである。このことはマイクロメートルサイズのデバイス作製には大きな支障とならないが、ミリメートルオーダーのデバイスではその性能を損なう大きな要因となる。そこで、本研究では(001)傾斜基板上に作製した(1-101)GaN におけるストライプの合体と積層欠陥の生成状況を高分解 TEM 像により観察・評価した。

(3) (1-101)ファセット面への不純物ドーピング特性評価

本研究開始までに、我々は、Si 基板上に成長した(1-101)GaN 結晶では、その転位密度がサファイア上の(0001) GaN に比べ 1-2 桁程度低いこと、SIMS 分析では、水素 (H)、珪素(Si)、炭素(C)が 1 桁程度高濃度にドーピングされることを明らかにしていた。さらに、高濃度の炭素ドーピングにより、(0001)面上では不可能であった p 形伝導が達成されることを見いだしていた。一方、立方晶 GaN や六方晶 AlN への炭素ドーピング実験では p 型伝導が得られるという報告があり、窒化物結晶への不純物ドーピング特性は十分理解されているとは言いがたい状況であった。そこで、本研究では、Al-C 結合の可能性を探るため、顕微 FTIR 法により炭素の局在振動モードを評価することとした。そのため、p 形伝導を示す(1-101)GaN の SIMS 分析により Al 濃度を推定するとともに、その試料の FTIR 反射スペクトルを評価した。さらに、AlGaIn 混晶薄膜として、高濃度の Al を含む(1-101)面試料の FTIR 反射スペクトルを評価

した。ともに、窒素サイトを置換した炭素と Al との結合による局在振動モードを評価した。

4. 研究成果

(1) AlInN 緩衝層の効果

Si(111)面上への窒化物エピタキシには AlN 結晶核形成層が必須であることから、まず薄い AlN 層を高温形成した後に AlInN 緩衝層を成長させ、その上に GaN を成長させた。AlInN 緩衝層の厚さを 16~70nm の範囲で変化させた試料と AlInN 緩衝層成長温度を 970~1200°C と変化させた試料を用意し、その表面モフォロジー、PL スペクトル、ならびに断面 TEM 像を評価した。その結果、AlInN 層が薄いほど、また成長温度が低く、In 濃度が高いほど、表面モフォロジーの改善、PL 特性における青色領域並びに黄色領域に見られる欠陥によるとされる発光帯の強度の減衰、断面 TEM 像に見られる貫通転位の低減、とすべての評価軸で特性が改善されることが分かった。特に、貫通転位密度に関しては、AlN/Si 界面で発生したミスフィット転位が起源となると推定されているが、その多くは、AlInN 緩衝層の形成過程で Si 基板上での成長初期における、ファセット成長モード(成長核ファセット面上への 3D 成長モード)により緩衝層内で(0001)軸と垂直な方向に曲げられ、結果として GaN 成長層では貫通転位密度が一桁以上減少することが確認された。その結果、貫通転位密度が上記 AlInN 緩衝層の作製条件によって大きく左右されると理解された。

次に、緩衝層内の格子整合を高分解 TEM 観察により詳細に評価した。基板との界面近傍で発生した転位は緩衝層内で横方向に曲がるが、緩衝層内では積層欠陥が複雑に生起し、その結果として歪みが開放され、成長層の高品質化に寄与していることが示唆された。

(2) AlN 成長核形成層への In 添加効果

Si 基板上への GaN 成長では 1200°C 程度の高温で形成される AlN ナノ結晶を成長核としてエピタキシャル成長が得られる。当初、この成長温度を低温化させることを目的として In 添加を試みた。In を導入しながら成長温度を 970~1200°C の範囲で変化させて AlN 核形成層を作製し、その上に AlInN 緩衝層と GaN 成長層を成長させた。AlN 核形成層の In 濃度は測定が不能のため分からないが、厚膜成長時における成長条件から 1% 以下であると推定された。これら試料の表面モフォロジーには大きな変化が認められなかったが、室温 PL スペクトルでは黄色帯の発光強度が In 無添加試料に比べて一桁減少し、

断面 TEM 像に見られる貫通転位密度も一桁減少した。この傾向は核形成層堆積温度が低いほど顕著であり、In 添加が成長層の品質改善に大きく貢献することが明らかになった。

次に、これら試料の AlN/Si 界面付近の格子像を評価した。In 無添加試料では、AlN と Si の格子定数差 19%から推定される格子不整合によるミスフィット転位が AlN の約5格子毎に導入されるものの、その周期は不規則であった。一方、In を添加した試料では、ミスフィット転位が4格子あるいは7格子毎と、狭い範囲ながら周期的に導入されていることが明らかになった。このことは、GaAs/MnAs 界面で発見されたと同様に、極めて大きな格子不整合系における疑似格子整合が達成されたと言える。In 濃度は1%以下であり、格子定数を変化させるには至らないため、この改善は、Si 表面で AlN 核形成時の界面エネルギー変化を In 添加がもたらしたためと思われる。その詳細は今後の研究課題である。

(3) (1-101)GaN における積層欠陥の振る舞い

本研究では、傾斜(001)Si 基板にストライプ状の(111)ファセット面を作製し、その上に AlN 緩衝層を介して(1-101)GaN を成長している。この試料では隣り合う GaN ストライプが合体し、最終的に(1-101)GaN 平坦面が得られる。しかし、合体部分の格子関係や積層欠陥の導入過程はよく分かっていない。本研究では、断面 TEM 像を観察し、合体部分の様子を詳しく評価した。

まず、ストライプ結晶の合体部分の格子像を評価した。その結果、2 ミクロン周期のストライプ構造で2 ミクロン離れた箇所を起点として成長させた GaN 結晶同士が1 分子層の精度で結晶軸を一致させ、正確に合体して単結晶を形成することが明らかになった。このことは Si 結晶の完全性によるものと思われるが、Si 基板上への GaN 選択成長法の優位性を証明するものである。

次に、合体部分での積層欠陥の振る舞いを評価した。合体初期には、下地直上にある SiO₂ マスク膜の影響もあり、多くの積層欠陥が導入されていた。欠陥は、単層(I₁)型、複層(I₂)型に加え、多層(E)型が近接して発生していた。しかし、(1-101)面への成長につれて、多層型は複層型に変異し、複層型も隣接する積層欠陥と相互作用しながら単層型へと変異することを見いだした。これらの結果は、半極性面成長では、成長と共に最も安定な単層型積層欠陥に変異できることを示すものであり、成長条件を制御することによって、積層欠陥密度を低減出来ることを示唆している。

(4) 炭素ドーブ(1-101)GaN の FTIR スペクトル

炭素を意図的にドーブした(1-101)GaN 半極性面 GaN は p 型伝導を示す。我々は、本研究を開始するまでに、炭素ドーブ p-GaN を用いて LED を作製した。その発光スペクトルを評価したところ、Mg ドーブ p-GaN を用いた LED と遜色ない特性が得られることが明らかになった。その炭素ドーブ p-GaN 試料の SIMS 分析を行ったところ、高濃度の Al が意図せずドーブされていることが分かった。その濃度は1%を超えることはなく、試料毎に異なる上に、成長層内で一定ではなかったことから、AlN 核形成層の成長のために導入した Al 化学種が成長炉内に残存したためと推察された。

炭素ドーピングによる p 形伝導の起源を探るため、この試料の FTIR スペクトルを測定したところ、一般的に知られている GaN の A₁(LO)フォノンの他に、890cm⁻¹に AlN の A₁(LO)モードと思われる信号が見られ、さらにその高エネルギー側 945cm⁻¹に新たな局在振動モード(LVM)が発見された。AlGa_{0.99}N 混晶によるとと思われる信号は 800cm⁻¹近傍に見られたことから、この新しい局在振動は炭素が関与した局在モードと推察した。この仮定に立ち、この信号強度と SIMS 分析による炭素濃度との関係を調べたところ、良い相関が得られた。炭素をドーブした AlN は p 型伝導を示すという報告に照らすと、ここで得られた結果は、炭素が窒素サイトを置換し、Al との複合欠陥を形成し、これが p 型伝導に寄与していると解釈できる。

単純調和振動モデルを用いて、AlN 中の Al-C ボンドによる局在振動モードのエネルギーを評価すると上記実験結果より小さめの値 928cm⁻¹が得られた。モデルの改良が必要とも思われるが、この試料には高濃度の水素、酸素、シリコンなどが混入していることから、試料内では単純な Al-C ボンドではなく、他の原子あるいは欠陥が関与した複合欠陥となっている可能性もあり、今後の検討課題である。

(5) 炭素ドーブ(1-101)AlGa_{0.99}N の FTIR スペクトル

窒化物結晶内での炭素の状態をさらに評価するため、(1-101)半極性 AlGa_{0.99}N 結晶への炭素ドーピングを行った。試料には(111)Si 面に選択成長法によって作製した(1-101)ファセット面を用いた。Al 組成は 0~0.18 である。試料の低温 PL/CL スペクトルには p 型伝導を示す半極性面試料に特有の浅いアクセプタ準位を介するバンド端発光が認められた。この試料の FTIR スペクトルを評価したところ、890cm⁻¹に AlN の A₁(LO)モードに加えて、950cm⁻¹に局在振動モードが見い

だされ、その強度には炭素ドーピング濃度と強い相関が見られた。このことから、AlGaIn混晶でも炭素が Al-C 複合欠陥を形成していることが示唆された。

同様の実験を炭素ドープ(0001)極性面試料について検証した。SIMS 分析によれば炭素濃度は 19 乗台と十分高いにもかかわらず、p 形伝導は確認されず、FTIR スペクトルにも Al-C ボンドによると思われる特徴的な局在振動モードを見いだすことは出来なかった。以上のことから GaN における p 形伝導は N 終端半極性面試料についてのみ可能であることを示唆された。

この結果は成長時の原子配列がドーピング特性を決定していることを強く示唆しているが、詳細は今後の研究課題である。

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 13 件)

- ① 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. SPIE, 査読無 8625 (2013), 86250K(6pp), DOI: 10.1117/12.2002738
- ② T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, H.Amano, and N.Sawaki," Strain relaxation in thick (1-1-0) InGaIn grown on GaN/Si substrate," physica status solidi B, 査読有 249 (2012) 468-471, DOI: 10.1002/pssb.201100445
- ③ N.Sawaki, K.Hagiwara, N.Koide, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "A local vibration mode in a carbon doped (1-101)AlGaIn," Proc. SPIE, 査読無 8262 (2012), 82620D(7pp), DOI: 10.1117/12.905529
- ④ N.Sawaki, K.Hagiwara, T.Hikosaka, and Y.Honda, " Impurity incorporation in semipolar (1-101)GaN grown on Si substrate," Semiconductor Science & Technology, 査読有 27 (2012) 024006(5pp), DOI: 10.1088/0268-1242/27/2/024006
- ⑤ T.Murase, T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, H.Amano, and N.Sawaki, "Drastic reduction of dislocation density in semipolar (11-22)GaN stripe crystal on silicon substrate by dual selective metal-organic vapor phase epitaxy," Jpn. J. Appl. Phys. 査読有 50 (2011) 01AD04(3pp), DOI: 10.1143/JJAP.50.01AD04
- ⑥ I.W.Feng, X.K.Cao, J.Li, J.Y.Lin,

H.X.Jiang, N.Sawaki, Y.Honda, T.Tanikawa, and J.M.Zavada, "Photonic properties of erbium doped InGaIn alloys grown on Si (001) substrates," Appl. Phys. Lett. 査読有 98 (2011) 081102(3pp); DOI: 10.1063/1.3556678.

⑦ N.Sawaki and Y.Honda, " Nitride LEDs on Si substrate," Science China Technological Sciences, 査読有 54 (2011) 38-41, DOI:10.1007/s11431-010-4182-2.

⑧ Z.H.Wu, T.Tanikawa, T.Murase, Y.Y.Fang, C.Q.Chen, Y.Honda, M.Yamaguchi, H.Amano, and N.Sawaki, "Partial strain relaxation by stacking fault generation in InGaIn multiple quantum wells grown on (1-101) semi-polar GaIn," Appl. Phys. Lett. 査読有 98 (2011) 051902(3pp), DOI: 10.1063/1.3549561.

⑨ T.Tanikawa, N.Suzuki, Y.Honda, M.Yamaguchi, and N.Sawaki, "HVPE growth of a-plane GaIn on a GaIn template (110)Si substrate," physica status solidi C, 査読有 7 (2010) 1760-1763, DOI: 10.1002/pssc.200983563.

[学会発表] (計 24 件)

- ① N.Sawaki, S.Ito, T.Nakagita, H.Iwata, T.Tanikawa, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Defect generation and annihilation in GaIn grown on patterned silicon substrate," SPIE Photonics West 2013, Feb. 4 (2013), San Francisco (USA).
- ② K.Hagiwara, N.Sawaki, K.Yamashita, T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "FTIR analyses of carbon doped (1-101)GaIn grown on a patterned Si substrate," ISPlasma 2013, Jan.31 (2013), Nagoya.
- ③ T.Nakagita, S.Ito, H.Iwata, N.Sawaki, T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Defect structure in a (1-101)GaIn grown on a patterned (001)Si substrate," ISPlasma 2013, Jan. 31 (2013), Nagoya.
- ④ S.Ito, T.Nakagita, H.Iwata, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "TEM analyses of GaIn grown with AlInN intermediate layer on Si substrate," ISPlasma 2013, Jan.31 (2013), Nagoya.
- ⑤ S.Kawakita, H.Iwata, T.Nakagita, S.Ito, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "TEM analyses of GaIn grown on (111)Si substrate via an AlInN intermediate layer," International Workshop on Nitride

Semiconductors 2012, Oct. 18 (2012)、Sapporo.

⑥ S.Kawakita, H.Iwata, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "HRTEM analyses of GaN/AlInN/(111)Si grown by MOVPE," ISPlasam 2012, March 7 (2012), Kasugai.

⑦ K.Hagiwara, N.Sawaki, N.Koide, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Carbon related local vibration mode in a (1-101)AlGa_{0.9}N grown on a (111)Si substrate," ISPlasma 2012, March 6 (2012), Kasugai.

⑧ N.Sawaki, K.Hagiwara, N.Koide, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "A local vibration mode in a carbon doped (1-101)AlGa_{0.9}N," SPIE Photonics West 2012, Jan. 23 (2012), San Francisco (USA).

⑨ T.Tanikawa, Y.Honda, M.Yamaguchi, H.Amano, and N.Sawaki, "Strain relaxation in thick (1-101) InGa_{0.9}N grown on GaN/Si substrate," 9th Intern. Conf. on Nitride Semiconductors (ICNS-9), July 13 (2011), Glasgow (UK).

⑩ K.Hagiwara, R.Katayama, M.Amano, N.Sawaki, N.Koide, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "Local vibration modes in a carbon doped (1-101)AlGa_{0.9}N grown on a (111)Si substrate," Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS-2011), May 25 (2011), Toba.

⑪ S.Kawakita, H.Iwata, D.Kato, T.Tachibana, Y.Tani, T.Nakajima, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano, "High-quality GaN grown on (111)Si using an AlInN intermediate layer," Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors (APWS-2011), May 23 (2011), Toba.

⑫ N.Sawaki, "Growth and properties of semipolar GaN on patterned Si substrate," DPG Spring Meetings, Deutsche Physikalische Gesellschaft, March 17 (2011), Dresden (Germany).

⑬ K.Hagiwara, M.Amano, R.Katayama, N.Sawaki, Y.Honda, T.Hikosaka, T.Tanikawa, N.Koide, M.Yamaguchi, and H.Amano, "FTIR spectra and LVMS in a carbon doped (1-101)Ga_{0.9}N grown on a (001)Si substrate by MOVPE," ISPlasma 2011, March 7 (2011), Nagoya.

⑭ S.Kawakita, H.Iwata, N.Sawaki, M.Irie, Y.Honda, M.Yamaguchi, and H.Amano "TEM analyses of high-quality GaN grown on (111)Si using an AlInN intermediate layer," ISPlasma 2011, March

7 (2011), Nagoya.

⑮ 澤木宣彦, "加工シリコン基板上への窒化物半導体選択へテロエピタキシ," 結晶成長学会バルク結晶分科会研究会、6月18日 (2010), 仙台。

[図書] (計 1 件)

① J.Li, J.Y.Lin, H.X.Jiang, and N.Sawaki, CRC Press (Taylor & Francis Group) "III-V compound semiconductors: Integration with silicon based microelectronics," 2011, 593pp (Chapter 3, pp.99-136).

[その他]

ホームページ等

<http://so-ken.aitech.ac.jp/so-ken/index.html>

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

岩田 博之 (IWATA HIROYUKI)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20261034

本田 善央 (HONDA YOSHIO)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60362274