

平成22年4月22日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)
研究期間：2008～2009
課題番号：20860057
研究課題名(和文) 高品質非極性面窒化ガリウム上窒化ガリウムインジウムの結晶評価
研究課題名(英文) Evaluation of crystalline quality of GaInN grown on high-quality nonpolar or semipolar GaN
研究代表者
岡田 成仁 (OKADA NARIHITO)
山口大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：70510684

研究成果の概要(和文)：研究の目的の1つである高品質な非極性面 GaN 結晶を作製するための新規技術を確認することができた。それは半導体の商用化に必要な不可欠である「安い、大きい、高品質」を可能にする技術である。具体的には GaN を成長させるために必要なサファイアにストライプ構造を作製し、形成されたサファイアの側壁から非極性面 GaN を成長させる方法である。最終的にこの方法によって作製した非極性面 GaN 上に GaInN 成長させ評価し、優れた GaInN 結晶を得るための条件を見出すことができた。

研究成果の概要(英文)：We established novel growth technique to fabricate high-quality nonpolar or semipolar GaN. The technique led GaN with “low-cost, large, and high-quality” which are essential for the commercialization. Specifically, GaN is grown from sapphire sidewall in stripe-patterned sapphire substrate. Finally, GaInN was grown on high-quality nonpolar or semipolar GaN and evaluated. As a result, we found the condition to obtain high-quality GaInN.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：0489 ナノテク・材料(共通基礎研究)

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：サファイア加工基板、GaN、GaInN、非極性面

1. 研究開始当初の背景

III 族窒化物半導体は直接遷移型バンド構造を有しており、混晶組成制御によりバンドギャップエネルギーを約 0.6 から 6eV まで変化させることが可能なため赤外から深紫外線領域までの発光・受光素子として期待されている。III 族窒化物半導体は、他の半導体

材料では実現できなかった青色発光ダイオード(Light emitting diode: LED)を実現し、日本が世界に先駆けて窒化物半導体分野をリードし続けてきた。そして、青色から近紫外線、さらに緑色 LED の実用化につながった。しかしながら、未だ緑色 LED は発光効率が青色 LED などと比較すると低く更なる

改善が求められている。例えば、光の3原色である青、緑、赤色のLEDを用いてフルカラーディスプレイを作製する場合には緑色LEDの効率が低いことでフルカラーディスプレイの効率低下を招いてしまう。このようなことから緑色LEDの効率を赤色、青色LEDまで引き上げようという試みが世界中の研究機関で行われている。

ここで、緑色LEDの効率が低い原因について述べる。緑色LEDの発光効率が低いことの原因は主に「結晶品質が劣っていること」と「ピエゾ分極」の2点が挙げられる。特に、ピエゾ分極はIII族窒化物半導体特有の物理現象であり、発光過程における電子正孔対の波動関数の分離により再結合確率が低下し、発光効率の低下を招く。このピエゾ分極の影響は現在商品化にいたっているc面を成長方向とした窒化物半導体結晶中に発生するものである。III族窒化物半導体においてピエゾ分極の大きさは面方位によって異なることが報告されており、ピエゾ分極の影響がゼロとなる面方位は(11-20)面と(1-100)面となり「非極性面」と呼ばれている。この非極性面を用いて緑色LEDの高効率化を図る手法が多く研究機関によって行われている。一方、「結晶品質が劣っていること」の大きな要因はc面を成長方向とした場合、Ga₂N₃上にGaInNを成長させた場合にGaInNがGa₂N₃から受ける応力によって結晶が崩れてしまうからである。このような現象が問題視されている中で、「高品質非極性面Ga₂N₃上GaInNの結晶成長」についてはその議論があまりされておらず今後、緑色LEDの実用化に向けた学術的な検討の中で最も重要な項目の一つであると考えられる。しかしながら、非極性面の結晶は多数の転位が存在する。c面サファイア上と非極性面上のGa₂N₃の転位密度はそれぞれ $10^8/cm^2$ 台と $10^{10}/cm^2$ 台でありその差は2桁以上である。非極性面を用いてデバイスを作製するためにはさらなる結晶品質の改善が必要である。

2. 研究の目的

本研究課題は「III族窒化物半導体を用いた高効率緑色発光ダイオードの開発」を最終目標とする。その中で発光層として重要な役割を果たすGaInN層に着目する。活性層となるGaInNはGa₂N₃との格子不整合が存在するため、下地層にGa₂N₃を用いた場合欠陥が導入されやすい。そこでGa₂N₃に変えてGaInNを下地層にすることに着目し、「高品質非極性面Ga₂N₃上GaInNの結晶成長と評価」を具体的な研究目的とする。

質非極性面Ga₂N₃上GaInNの結晶成長と評価」を具体的な研究目的とする。

3. 研究の方法

本研究方法は「高品質非極性面Ga₂N₃上GaInNの結晶成長」のための準備として高品質非極性面Ga₂N₃結晶が必要であるためその作製方法がキーポイントとなる。例えばr面サファイア基板上的(11-22)Ga₂N₃の成長方法について説明する。本実験で用いたr面サファイア加工基板と、その上に成長するGa₂N₃の概略図を図3.1に示す。サファイアの軸方位は図3.1のように、c軸、m軸が基板の法線方向に対して傾いているような形となっている。加工基板の溝の左側側壁はc面になっており、そこからc面Ga₂N₃が成長する。c面サファイア基板上にc面Ga₂N₃が成長すると、サファイアとGa₂N₃のa軸およびm軸は30°ずれるため、Ga₂N₃の軸方位は図3.1のようにc軸、a軸が基板の法線方向に対して傾いた形となる。したがってGa₂N₃の表面に出る面は、r面すなわち(10-12)面が30°回転した面である半極性(11-22)面となる。同様に、m-Ga₂N₃はa-PSS、a-Ga₂N₃はm-PSS、(10-11)Ga₂N₃はn-PSSを用いることによって作製できる。

最終的に4つの非極性面Ga₂N₃を成長させ、その上にGaInNを成長させその結晶評価を行う。

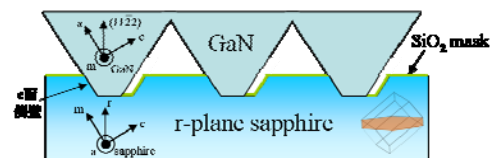


図3.1 r面サファイア加工基板と側壁から成長するGa₂N₃

4. 研究成果

本研究の目的は「高品質非極性面 GaN 上 GaInN の結晶成長と評価」であり、高品質な非極性面 GaN の作製が最も重要なテーマに位置付けられることを本提案書において述べた。そんな中、本提案書の技術思想とは異なる高品質な非極性面 GaN の作製方法を開発できた。それは「サファイア加工基板からの非極性面 GaN の成長方法」である。サファイア加工基板を用いることによって様々な面方位の GaN、例えば m-GaN、a-GaN、(11-22)GaN、(10-11)GaN を作製することが可能となった。さらにこの技術は選択横方向成長技術を有することによりどの面方位の GaN も比較的高品質な膜が得られる。本研究課題の第一の目的は a-GaN のみの高品質な膜の作製であったが、m-GaN、a-GaN、(11-22)GaN、(10-11)GaN の 4 種類の GaN を高品質に作製することができた。図 3.2 に r-PSS 上の半極性 (11-22) 面 GaN を成長させたサンプルの走査型電子顕微鏡 (SEM) による断面像を示す。完全に埋め込まれた半極性 (11-22) 面 GaN が得られていることが確認できる。この技術を確認したことによって、最終目的であった「高品質非極性面 GaN 上 GaInN の結晶成長と評価」を非常に有利に進めることができ、4 種類の GaN 上の GaInN を評価した。その結果、m-GaN、a-GaN の上に GaInN を成長させると GaInN は欠陥を多く含み劣悪な表面平坦性の結晶となるが、(11-22)GaN、(10-11)GaN 上の GaInN は平坦性に非常に優れことが明らかとなった。図 3.3 に (11-22)GaN 上に成長させた GaInN の断面 SEM 像を示す。また、比較のため通常の c 面 GaN と (11-22) 面 GaN に GaInN を成長させたときの表面 SEM 像を図 3.4 に示す。(11-22) 面 GaN 上の GaInN は表面平坦性が c 面 GaN の GaInN に比べ格段に優れていることが分かる。これら結果は GaN 及び GaInN において(11-22)、(10-11)面が非常に安定であることからヘテロエピタキシャル成長においても表面の平坦性が良いという結果を示している。

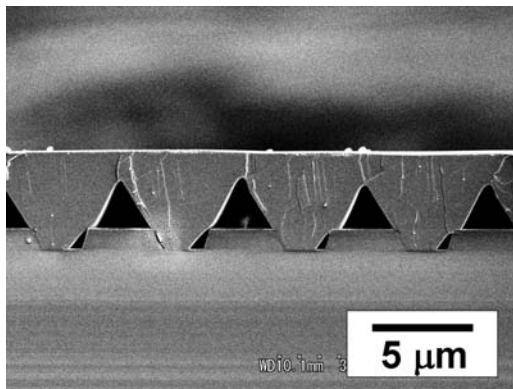
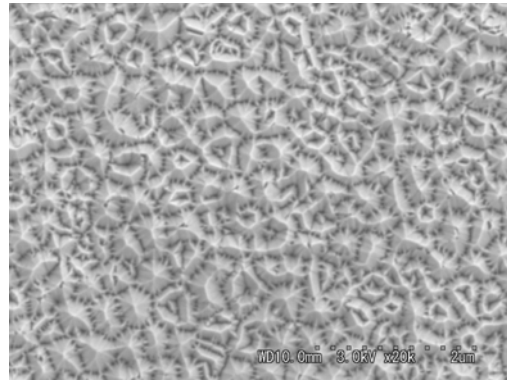


図 3.2 r 面サファイア加工基板上に成長させ



た(11-22)GaN の断面像

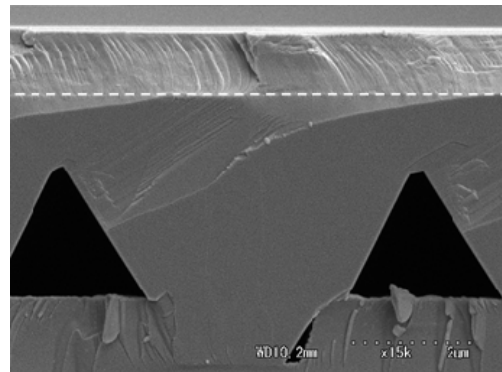
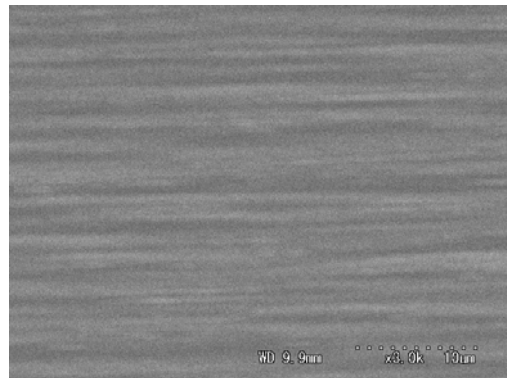


図 3.3 (11-22)GaN 上の GaInN の断面像

(a) c 面 GaN 上



(b) (11-22)面 GaN 上

図 3.4 GaInN の表面 SEM 像

本研究課題の「高品質非極性面 GaN 上 GaInN の結晶成長と評価」を新規的な手法である「サファイア加工基板からの非極性面 GaN の成長方法」を用いて作製した。その結果、これまで GaInN は表面平坦性の劣悪なものしか得ることができなかったが、(11-22)、(10-11)面が GaInN の成長に有望な面方位であるという重要な知見を得ることができた。

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 5 件)

- ① Akihiro Kurisu, Kazuma Murakami, Yuki Abe, Narihito Okada, and Kazuyuki Tadatomo “Characterization of semipolar (112̄) GaN on c-plane sapphire sidewall of patterned r-plane sapphire substrate without SiO₂ mask” *physica status solidi*, (in press)
 - ② Yuji Kawashima, Kazuma Murakami, Yuki Abe, Narihito Okada, and Kazuyuki Tadatomo, “Growth mechanism of nonpolar m-plane GaN on maskless patterned a-plane sapphire substrate” *physica status solidi*, (in press)
 - ③ N. Okada, H. Kurisu, and K. Tadatomo, “Growth of Semipolar (112̄) GaN Layer by Controlling Anisotropic Growth Rates in r-Plane Patterned Sapphire Substrate” *Appl. Phys. Express*, 2, 091001, 2009
 - ④ N. Okada, Y. Kawashima, and K. Tadatomo, “Growth of m-GaN layers by epitaxial lateral overgrowth from sapphire sidewalls” *physica status solidi*(a), 206 No. 6, pp.1164-1167, 2009
 - ⑤ N. Okada, Y. Kawashima, and K. Tadatomo, “Direct Growth of m-plane GaN with Epitaxial Lateral Overgrowth from c-plane Sidewall of Sapphire” *Appl. Phys. Express*, 1, 111101, 2008
- [学会発表] (計 15 件)
- ① 岡田成仁, 大下弘康, 栗栖彰宏, 川嶋佑治, 只友一行: 「窒化処理を行ったサファイア加工基板上 GaN の側壁選択成長」平成 22 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会, 18a-TC-11 (2010.3.18) 東海大学, 神奈川県
 - ② 大下弘康, 阿部結樹, 村上一馬, 岡田成仁, 只友一行: 「マスクレス m 面サファイア加工基板上の非極性 GaN の成長」平成 22 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会, 18a-TC-10 (2010.3.18) 東海大学, 神奈川県
 - ③ 高見成希, 栗栖彰宏, 村上一馬, 岡田成仁, 只友一行: 「n 面サファイア加工基板上 c 面側壁からの半極性{10-11}面 GaN 選択横方向成長」平成 22 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会, 18a-TC-9 (2010.3.18) 東海大学, 神奈川県
 - ④ 栗栖彰宏, 村上一馬, 阿部結樹, 品川拓, 岡田成仁, 只友一行: 「テラス幅の広い r 面サファイア加工基板を用いた (11-22) GaN の成長」平成 22 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会, 18a-TC-8 (2010.3.18) 東海大学, 神奈川県
 - ⑤ 大下弘康, 川嶋佑治, 村上一馬, 李伯成, 岡田成仁, 只友一行: 「a 面サファイア加工基板上に成長する m 面 GaN の成長条件依存性」平成 21 年第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, B-10 (2009.11.21-22) 山口大学, 山口県
 - ⑥ 高見成希, 栗栖彰宏, 村上一馬, 李伯成, 松本大志, 岡田成仁, 只友一行: 「r 面サファイア加工基板上 c 面側壁からの半極性(11-22)GaN 選択横方向成長」平成 21 年第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, B-08 (2009.11.21-22) 山口大学, 山口県
 - ⑦ 岡田成仁, 大下弘康, 栗栖彰宏, 川嶋佑治, 只友一行: 「様々なマスクレス加工基板上の非極性面 GaN の成長機構」第 39 回結晶成長国内会議 (NCCG-39), 14pA05 (2009.11.14)名古屋大学, 愛知県
 - ⑧ A. Kurisu, K. Murakami, Y. Abe, N. Okada, K. Tadatomo, “Epitaxial lateral overgrowth of semipolar (11-22) GaN from c-plane sapphire sidewall of patterned r-plane sapphire substrate without SiO₂ mask” The 8th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-8), Z5, 2009.10.21, ICC, Jeju, Korea
 - ⑨ Yuji Kawashima, Kazuma Murakami, BoCheng Li, Hiroyuki Matsumoto, Narihito Okada, and Kazuyuki Tadatomo, “Growth mechanism of nonpolar m-GaN on patterned a-plane sapphire substrate” The 8th International Conference on Nitride Semiconductor (ICNS 8), I13, 2009.10.22, ICC, Jeju, Korea
 - ⑩ 川嶋佑治, 村上一馬, 阿部結樹, 栗栖彰宏, 岡田成仁, 只友一行: 「マスクレスサファイア加工基板上の非極性 GaN の成長メカニズム」平成 21 年秋季第 70 回応用物理学会学術講演会, 10p-X-2 (2009.9.10) 富山大学, 富山県
 - ⑪ 栗栖彰宏, 村上一馬, 阿部結樹, 松本大志, 品川拓, 岡田成仁, 只友一行: 「半極性 (11-22) GaN 成長における r 面サファイア加工基板のオフ角の最適化」第 70 回応用物理学会学術講演会, 10p-X-1 (2009.9.10) 富山大学, 富山県
 - ⑫ 栗栖彰宏, 南 雅博, 河野創一郎, 石田文男, 光井靖智, 村上一馬, 李 伯成, 松本大志, 岡田成仁, 只友一行: 「r 面サファイア加工基板上 c 面側壁からの半極性 (11-22)GaN 選択横方向成長と LED への応用」平成 21 年春季第 56 回応用物理学関係連合講演会, 1p-ZJ-13 (2009.4.1) 筑波大学, 茨城県
 - ⑬ 川嶋佑治, 村上一馬, 李伯成, 河野創一郎, 石田文男, 岡田成仁, 只友一行: 「a 面サファイア加工基板上に成長する m 面 GaN の成長配向依存性」平成 21 年春季第 56 回応

用物理学関係連合講演会, 30p-ZJ-21
(2009.3.30) 筑波大学, 茨城県

- ⑭ N. Okada, Y. Kawashima, and K. Tadatomo,
“Direct growth of m-plane GaN on
grooved-patterned a-plane sapphire substrate
with SiO₂ mask” International Workshop on
Nitride Semiconductors 2008 (IWN2008),
Th1-E4, 2008.10.9
- ⑮ 川嶋佑治, 村上一馬, 松本大志, 李伯成,
河野創一郎, 光井靖智, 石田文男, 岡田
成仁, 只友一行: 「側壁選択横方向成長
を用いた a 面サファイア加工基板上の m
面 GaN 成長」平成 20 年秋季第 69 回応用
物理学関係連合講演会, 3P-CA-6 (2008.9.)
中部大学, 愛知県

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: 半導体基板及びその製造方法
発明者: 只友一行、岡田成仁
権利者: 国立大学法人山口大学
種類: 特許
番号: PCT/JP/2010/023846
出願年月日: 20.08.2009
国内外の別: 国外

名称: 半導体基板及びその製造方法
発明者: 只友一行、岡田成仁
権利者: 国立大学法人山口大学
種類: 特許
番号: 特願 2010-037025
出願年月日: 平成 22.2.23
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://device.eee.yamaguchi-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 成仁 (OKADA NARIHITO)

山口大学 ・ 大学院理工学研究科 ・ 助教

研究者番号: 7 0 5 1 0 6 8 4

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし