

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-522888

(P2005-522888A)

(43) 公表日 平成17年7月28日(2005.7.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
HO 1 S 5/343	HO 1 S 5/343 6 1 0	5 F O 4 1
HO 1 L 21/205	HO 1 L 21/205	5 F O 4 5
HO 1 L 33/00	HO 1 L 33/00 C	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁)

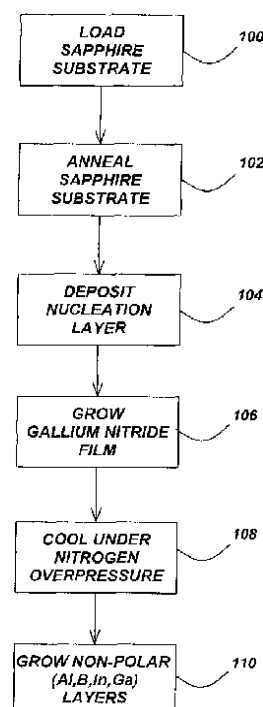
(21) 出願番号	特願2003-586401 (P2003-586401)	(71) 出願人	500025503
(86) (22) 出願日	平成15年4月15日 (2003.4.15)		ザ リージェント オブ ザ ユニバーシ
(85) 翻訳文提出日	平成16年10月13日 (2004.10.13)		ティ オブ カリフォルニア
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/011175		アメリカ合衆国 カリフォルニア 946
(87) 国際公開番号	W02003/089694		07-5200, オークランド, 11
(87) 国際公開日	平成15年10月30日 (2003.10.30)		11 フランクリンストリート, 12ティ
(31) 優先権主張番号	60/372, 909		-エイチ フロアー
(32) 優先日	平成14年4月15日 (2002.4.15)	(74) 代理人	100078282
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 山本 秀策
		(74) 代理人	100062409
			弁理士 安村 高明
		(74) 代理人	100113413
			弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非極性 (Al, B, In, Ga) N量子井戸、ならびにヘテロ構造材料およびデバイス

## (57) 【要約】

非極性 (Al, B, In, Ga) N量子井戸、ならびにヘテロ構造材料および窒化物半導体デバイスを形成するための方法。1つ以上の非極性 (1120) a平面 GaN層が、金属・有機化学気相成長MOCVDを使用して、r平面 (1102) サファイア基板上で成長される。これらの非極性 (1120) a平面 GaN層は、非極性 (Al, B, In, Ga) N量子井戸、ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを製造するためのテンプレートを備える。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

窒化物半導体デバイスを形成するための方法であって、以下：

(a) 1つ以上の非極性 a 平面 GaN 層を、r 平面基板上で成長させる工程；および

(b) 1つ以上の非極性 (Al, B, In, Ga) N 層を、該非極性 a 平面 GaN 層上で成長させる工程、  
を包含する、方法。

## 【請求項 2】

前記基板が、サファイア基板である、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記基板が、炭化ケイ素、窒化ガリウム、ケイ素、酸化亜鉛、窒化ホウ素、アルミン酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ゲルマニウム、窒化アルミニウム、および没食子酸リチウムからなる群より選択される、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記成長した非極性 (Al, B, In, Ga) N 層が、少なくとも 1 つの量子井戸を含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記量子井戸が、InGa N 量子井戸を含む、請求項 4 に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記量子井戸が、GaN でキャップされている、請求項 4 に記載の方法。

## 【請求項 7】

前記成長した非極性 (Al, B, In, Ga) N 層が、少なくとも 1 つのヘテロ構造を含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記ヘテロ構造が、(Al, Ga) N / Ga N 超格子を含む、請求項 7 に記載の方法。

## 【請求項 9】

前記成長させる工程 (a) が、以下：

(1) 前記基板をアニールする工程；

(2) 窒化物ベースの核生成層を、該基板上に堆積させる工程；

(3) 非極性の a 平面窒化ガリウムフィルムを、該核生成層上で成長させる工程；および

(4) 該非極性の a 平面窒化ガリウムフィルムを、窒素の過剰圧力下で冷却する工程、  
を包含する、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 10】

前記成長させる工程が、金属・有機化学気相成長 (MOCVD)、分子線エピタキシー (MBE)、液相エピタキシー (LPE)、水素化物蒸気相エピタキシー (HVPE)、昇華、およびプラズマ増強化学蒸着 (PECVD) からなる群より選択される方法によって実施される、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 11】

請求項 1 に記載の方法を使用して製造されたデバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

(関連出願の引用)

本願は、米国特許法第 119 条第 (e) 項のもとで、以下の同時係属中の、同一人に譲渡された米国仮特許出願番号 60 / 372, 909 (発明の名称「NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BASED THIN FILMS AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS」、2002 年 4 月 15 日出願、Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, Tal Margalith, James S. Speck, Shuji

10

20

30

40

50

Nakamura, および Umes h K. Mis h r a、代理人文書番号 3 0 7 9 4 . 9 5 - U S - P 1 ) の利益を主張する。この出願は、本明細書中に参考として援用される。

【 0 0 0 2 】

本願は、以下の同時係属中の、同一人に譲渡された米国特許出願に関する：

出願番号 - - / - - - , - - - 、発明の名称「NON - POLAR A - PLANE GALLIUM NITRIDE THIN FILMS GROWN BY METAL ORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION」、本願と同日に出願、Michael D. Craven および James S. Speck、代理人文書番号 3 0 7 9 4 . 1 0 0 - U S - P 1 ) ; ならびに

出願番号 - - / - - - , - - - 、発明の名称「DISLOCATION REDUCTION IN NON - POLAR GALLIUM NITRIDE THIN FILMS」、本願と同日に出願、Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, Tal Margalith, James S. Speck、Shuji Nakamura, および Umes h K. Mis h r a 代理人文書番号 3 0 7 9 4 . 1 0 2 - U S - P 1 ) ;

これらの出願の両方が、本明細書中に参考として援用される。

【 0 0 0 3 】

( 1 . 発明の分野 )

本発明は、半導体材料、方法、およびデバイスに関し、そしてより具体的には、非極性 ( Al , B , In , Ga ) N 量子井戸、ならびにヘテロ構造材料およびデバイスに関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 4 】

( 2 . 関連技術の説明 )

( 注 : 本願は、多数の異なる特許、腫瘍および / または刊行物を、1 つ以上の参照番号によって、本明細書全体に示されるように参照する。これらの異なる刊行物の、これらの参照番号に従った順序にしたリストは、以下の「参考文献」の表題の節に見出され得る。これらの刊行物の各々は、本明細書中に参考として援用される ) 。

【 0 0 0 5 】

現在の技術水準の ( Al , B , In , Ga ) N ヘテロ構造および量子井戸構造は、c 平面 ( 0 0 0 1 ) 層を使用する。III - N フィルムの全分極は、自発的な分極寄与および圧電分極寄与からなり、これらの両方は、ウルツ鉱窒化物結晶構造の単極 [ 0 0 0 1 ] 軸から生じる。表面および窒化物ヘテロ構造内の界面に存在する分極の不連続は、固定されたシート電荷に関連し、この電荷が次に、電場を生じる。これらの内部電場の整列は、c 平面 ( 0 0 0 1 ) 層の成長方向と一致するので、この電場は、デバイス構造のエネルギー帯に影響を与える。

【 0 0 0 6 】

量子井戸において、「傾いた」エネルギー帯は、電子およびホールの波動関数を空間的に分離させ、これは、放射遷移の振動子強度を減少させ、そして発光波長を赤色シフトさせる。これらの効果は、量子が閉じ込められたシュタルク効果 ( Q C S E ) の出現であり、そして、Ga N / ( Al , Ga ) N 量子井戸について徹底的に分析されている。参考文献 1 ~ 8 を参照のこと。さらに、大きい極性により誘導される電場は、ドーパントおよび不純物によって部分的に遮蔽され、従って、発光特徴は、正確に操作することが困難であり得る。

【 0 0 0 7 】

内部電場はまた、窒化物ベースのトランジスタヘテロ構造における大きい可動シート電荷密度の原因であり得る。これらの大きい 2 D 電子気体 ( 2 D E G ) は、デバイスのために魅力的であり、そして有用であるが、分極により誘導される電場、および 2 D E G 自体は、正確に制御することが困難である。

10

20

30

40

50

## 【0008】

非極性成長は、ウルツ鉱室化物半導体に存在する分極により誘導される強い電場を回避する、有望な手段である。分極により誘導される電場は、非極性の成長方向に沿った分極遷移の非存在に起因して、非極性の方向（すなわち、[0001]に対して垂直）でのウルツ鉱室化物半導体の成長に影響を与えない。

## 【0009】

最近、2つのグループが、非極性Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>N多重量子井戸(MQW)を、分子線エピタキシー(MBE)によって、非極性の成長方向に沿って分極により誘導される電場なしで成長させた。Waltereitらは、m平面Ga<sub>0.9</sub>N/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N MQWを、LiAlO<sub>2</sub>(100)基板上で成長させ、そしてNgは、a平面Ga<sub>0.9</sub>N/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N MQWを、r平面サファイア基板上で成長させた。参考文献9~10を参照のこと。

10

## 【0010】

これらの結果にもかかわらず、非極性のGa<sub>0.9</sub>N配向の成長は、再現可能な様式で達成することが困難なままである。

## 【発明の開示】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

(発明の要旨)

本発明は、非極性(A<sub>0.9</sub>B<sub>0.1</sub>In<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>)N量子井戸、ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを形成するための方法を記載する。第一に、非極性の

20

## 【0012】

## 【数1】

(11 $\bar{2}$ 0)

a平面Ga<sub>0.9</sub>N薄膜が、

## 【0013】

## 【数2】

(1 $\bar{1}$ 02)

30

r平面サファイア基板上に、金属・有機化学気相成長(MOCVD)を使用して成長される。これらの非極性

## 【0014】

## 【数3】

(11 $\bar{2}$ 0)

a平面Ga<sub>0.9</sub>N薄膜は、非極性(A<sub>0.9</sub>B<sub>0.1</sub>In<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>)N量子井戸ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを上に形成するためのテンプレートである。

## 【0015】

ここで、図面が参照される、図面において、類似の参照番号は、全体にわたって、対応する部品を表す。

40

## 【0016】

(発明の詳細な説明)

以下の好ましい実施形態の説明において、添付の図面に対して参照がなされる。この図面は、本明細書の一部を形成し、そしてこの図面において、例として、本発明が実施され得る特定の実施形態が説明され得る。本発明の範囲から逸脱することなく、他の実施形態が利用され得、そして構造的変化がなされ得ることが、理解されるべきである。

## 【0017】

(概説)

本発明の目的は、非極性

50

【 0 0 1 8 】

【 数 4 】

(11 $\bar{2}$ 0)

a 平面 GaN 薄膜をテンプレートとして使用して、非極性 (Al, B, In, Ga) N 量子井戸、ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを形成するための方法を提供することである。

【 0 0 1 9 】

デバイス品質の非極性の

【 0 0 2 0 】

10

【 数 5 】

(11 $\bar{2}$ 0)

a 平面 GaN 薄膜を、MOCVD を介して、

【 0 0 2 1 】

【 数 6 】

(1 $\bar{1}$ 02)

r 平面サファイア基板上に成長させるための方法は、同時係属中の、同一人に譲渡された、米国仮特許出願番号 60 / 372, 909 (発明の名称「NON - POLAR GALLIUM NITRIDE BASED THIN FILMS AND HETERO STRUCTURE MATERIALS」、2002 年 4 月 15 日出願、Michael D. Craven, Stacia Keller, Steven P. DenBaars, Tal Margalith, James S. Speck, Shuji Nakamura, および Umesh K. Mishra、代理人文書番号 30794.95 - US - P1)、および同時係属中の、同一人に譲渡された米国特許出願番号 - - / - - - , - - - 、発明の名称「NON - POLAR A - PLANE GALLIUM NITRIDE THIN FILMS GROWN BY METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION」、本願と同日に出願、Michael D. Craven および James S. Speck、代理人文書番号 30794.100 - US - P1) に記載されており、これらの出願の両方が、本明細書中に参考として援用される。

20

30

【 0 0 2 2 】

本発明は、(Al, B, In, Ga) N 量子井戸、およびヘテロ構造材料の、引き続く

【 0 0 2 3 】

【 数 7 】

(11 $\bar{2}$ 0)

a 平面 GaN 層上への成長に焦点を当てる。これらの構造のルミネッセンス特徴は、分極によって誘導される電場がこれらの電子帯構造に影響を与えず、その結果、分極のない構造が得られることを示す。非極性 (Al, B, In, Ga) N 量子井戸およびヘテロ構造の開発は、分極によって誘導される電場によって影響を受けない、高性能の (Al, B, In, Ga) N ベースのデバイスの実現のために重要である。

40

【 0 0 2 4 】

非極性

【 0 0 2 5 】

【 数 8 】

(11 $\bar{2}$ 0)

a 平面 GaN 層上に堆積される潜在的なデバイス層としては、レーザーダイオード (LD

50

）、発光ダイオード（ＬＥＤ）、共振空洞ＬＥＤ（ＲＣ－ＬＥＤ）、垂直空洞表面発行レーザー（ＶＣＳＥＬ）、高電子移動度トランジスタ（ＨＥＭＴ）、ヘテロ結合双極トランジスタ（ＨＢＴ）、ヘテロ結合電場効果トランジスタ（ＨＦＥＴ）ならびにＵＶ光検出器および近ＵＶ光検出器が挙げられる。

【００２６】

（プロセス工程）

図１は、本発明の好ましい実施形態に従って、非極性（Ａｌ，Ｂ，Ｉｎ，Ｇａ）Ｎ量子井戸ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを形成するための方法の工程を示すフローチャートである。この方法の工程は、「テンプレート」

【００２７】

【数９】

(11 $\bar{2}$ 0)

10

a平面ＧａＮ層の成長、引き続く、量子井戸およびヘテロ構造のための異なる合金組成を有する層の成長を包含する。

【００２８】

ブロック１００は、サファイア基板を、垂直な、間隔の狭い、回転ディスクのＭＯＣＶＤ反応器への装填を示す。この工程について、 $+/-2^\circ$ 以内のサファイアr平面

【００２９】

【数１０】

(1 $\bar{1}$ 02)

20

で結晶学的に配向した表面を有する、準備前のサファイア基板が、市場の販売者から入手され得る。エキソサイチュ（ex-situ）ではない調製は、サファイア基板をＭＯＣＶＤ反応器に装填する前に実施される必要があるが、サファイア基板のエキソサイチュクリーニングは、予防上の手段として使用され得る。

【００３０】

ブロック１０２は、サファイア基板をインサイチュで高温（ $>1000^\circ\text{C}$ ）でアニールすることを表し、これは、原子規模で、基板表面の質を改善する。アニール後、基板の温度は、引き続く低温核生成層堆積のために低下される。

30

【００３１】

ブロック１０４は、薄い、低温の、低圧の窒化物ベースの核生成層を、緩衝層として、サファイア基板上に堆積させることを表す。このような層は、通常、c平面（０００１）窒化物半導体のヘテロエピタキシャル成長において使用される。好ましい実施形態において、この核生成層は、 $1\sim100$ ナノメートル（nm）のＧａＮからなるが、これに限定されず、そして約 $400\sim900$  および $1\text{ atm}$ で堆積される。

【００３２】

核生成層を堆積させた後に、反応温度は高温に上昇され、そしてブロック１０６は、エピタキシャル

【００３３】

【数１１】

(11 $\bar{2}$ 0)

40

a平面ＧａＮ層を、約 $1.5\mu\text{m}$ の厚さで成長させることを表す。この高温成長条件としては、約 $1100^\circ\text{C}$ の成長温度、約 $0.2\text{ atm}$ 以下の成長圧力、１分間あたり $30\mu\text{mol}$ のＧａフロー、および１分間あたり $40,000\mu\text{mol}$ のＮフローが挙げられるが、これらに限定されず、これによって、約 $1300$ の $V/III$ 比を与える。好ましい実施形態において、第 $III$ 族の供給源および第 $V$ 族の供給源として使用される前駆体は、それぞれ、トリメチルガリウムおよびアンモニアであるが、代替の前駆体が同様に使用され得る。さらに、成長条件は、本発明の範囲から逸脱せずに、異なる成長速度（例えば、

50

1 秒間あたり 5 と 9 との間)を生じるために変動され得る。

【 0 0 3 4 】

高温成長工程の完了の際に、ブロック 1 0 8 は、エピタキシャル

【 0 0 3 5 】

【 数 1 2 】

(11 $\bar{2}$ 0)

a 平面 G a N 層の、窒素過剰圧力下での冷却を表す。

【 0 0 3 6 】

最後に、ブロック 1 1 0 は、異なる合金組成、および従って、異なる電気的特性を有する、非極性

【 0 0 3 7 】

【 数 1 3 】

(11 $\bar{2}$ 0)

a 平面 G a N 層上に成長された非極性 ( A l , B , I n , G a ) N 層を示す。これらの非極性 ( A l , B , I n , G a ) N 層は、量子井戸およびヘテロ構造を製造するために使用される。

【 0 0 3 8 】

量子井戸は、異なる帯域幅の交互の層を使用し、その結果、「井戸」が、この構造のエネルギー帯プロファイルにおいて形成される。構造における層の正確な数は、所望の量子井戸の数に依存する。励起の際に、電子およびホールが、それぞれ伝導帯および価電子帯の井戸内に蓄積する。バンドからバンドへの再結合が、井戸層において起こる。なぜなら、状態密度が、これらの位置において最高であるからである。従って、量子井戸は、所望の発光特徴および利用可能なエピタキシャル性超能力に従って、操作され得る。

【 0 0 3 9 】

非極性

【 0 0 4 0 】

【 数 1 4 】

(11 $\bar{2}$ 0)

a 平面 G a N 層上で首尾よく成長した層の見かけの厚さおよび組成としては、以下：

8 nm の S i ドープした I n <sub>0.03</sub> G a N 障壁

1.5 nm、2.5 nm または 5 nm の I n <sub>0.1</sub> G a N 井戸

が挙げられるが、これらに限定されない。

【 0 0 4 1 】

さらに、上記ブロックは、必要に応じて繰り返され得る。1つの実施形態において、ブロック 1 1 0 は、G a N でキャップされて ( I n , G a ) N 層の一体性を維持する M Q W 構造を形成するために、5 回繰り返された。この例において、M Q W 構造を含む層は、825 の温度および大気圧で、M O C V D を介して成長された。

【 0 0 4 2 】

この構造のルミネッセンス特徴は、分極により誘導される電場が帯域プロファイルに影響を与えず、そして量子井戸が分極なしであるとみなされ得ることを示す。例えば、図 2 は、室温で測定される場合に 1.5 nm、2.5 nm および 5.0 nm の見かけの井戸幅を有する、5 周期の a 平面 I n <sub>0.1</sub> G a N / I n <sub>0.03</sub> G a N M Q W 構造の光ルミネッセンス ( P L ) スペクトルを示す。ピーク P L 発光の波長および強度は、井戸の深さの増加とともに増加する。

【 0 0 4 3 】

さらに、図 3 は、種々のポンプ電力について測定された、5.0 nm の見かけの井戸幅を有する、a 平面 I n <sub>0.03</sub> G a <sub>0.97</sub> N / I n <sub>0.1</sub> G a <sub>0.9</sub> N M Q W 構造の

PLスペクトルを示す。PL強度は、予測どおりに、ポンプ電力とともに増加するが、一方でピークの発光波長は、ポンプの電力に依存しない。このことは、帯域プロファイルが、分極によって誘導される電場によって影響を受けないことを示す。

【0044】

(In, Ga)N量子井戸に加えて、(Al, Ga)N/GaN超格子を含むヘテロ構造もまた、非極性

【0045】

【数15】

(11 $\bar{2}$ 0)

10

a平面GaN層上で成長され得る。例えば、ヘテロ構造は、代表的に、2つの層(最も通常には、GaN上の(AlGa)N)からなり、トランジスタ作動のために必要な電子チャネルを生じる。超格子層の厚さおよび組成としては、以下:

9nmのAl<sub>0.4</sub>GaN障壁

11nmのGaN井戸

が挙げられるが、これらに限定されない。

【0046】

1つの実施例においてブロック110は、11nmのGaN井戸層で終結する10周期のAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N/GaN超格子を形成するために、10回繰り返された。この超格子は、下にあるテンプレート層について使用された条件(約1100°Cの成長温度、約0.1atm以下の成長圧力、38μmol/分のAlフロー、20μmol/分のGaフロー、および40,000μmol/分のNフロー)と類似の条件で、MOCVDを介して成長された。Alフローが簡単に遮断され、GaN井戸層を形成する。首尾よい成長条件は、上に提供される値によって厳密に規定されない。(In, Ga)N量子井戸と同様に、上記超格子のルミネッセンス特徴は、分極場が構造に影響を与えないことを示す。

20

【0047】

図4(a)は、10周期のAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N/GaN超格子の2θ-ω線回折走査を示し、これは、明らかに規定されたサテライトピークを明らかにする。一方で、図4(b)は、図4(a)において特徴付けられた超格子のPLスペクトルを示す。分極によって誘導される電場の非存在は、超格子の3.45eV(約360nm)の帯域境界発光によって証拠付けられた。帯域境界発光は、c平面の超格子に存在するわずかな赤色シフトを経験しなかった。

30

【0048】

(参考文献)

以下の参考文献が、本明細書中に参考として援用される:

【0049】



## 【表 1】

1. T. Takeuchi, S. Sota, M. Katsuragawa, M. Komori, H. Takeuchi, H. Amano, and I. Akasaki, Japanese Journal of Applied Physics, Part 2 (Letters) 36, L382-5 (1997).
2. P. Lefebvre, A. Morel, M. Gallart, T. Taliercio, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, B. Damilano, N. Grandjean, and J. Massies, Applied Physics Letters 78, 1252-4 (2001).
3. N. Grandjean, B. Damilano, S. Dalmaso, M. Leroux, M. Laugt, and J. Massies, J. Appl. Phys. 86 (1999) 3714. 10
4. M. Leroux, N. Grandjean, J. Massies, B. Gil, P. Lefebvre, and P. Bigenwald, Phys. Rev. B 60 (1999) 1496.
5. R. Langer, J. Simon, V. Ortiz, N. T. Pelekanos, A. Barski, R. Andre, and M. Godlewski, Appl. Phys. Lett. 74 (1999) 3827.
6. P. Lefebvre, J. Allegre, B. Gil, H. Mathieu, N. Grandjean, M. Leroux, J. Massies, and P. Bigenwald, Phys. Rev. B 59 (1999) 15363.
7. I. Jin Seo, H. Kollmer, J. Off, A. Sohmer, F. Scholz, and A. Hangleiter, Phys. Rev. B 57 (1998) R9435. 20
8. P. Seoung-Hwan and C. Shun-Lien, Appl. Phys. Lett. 76 (2000) 1981.
9. P. Waltereit, O. Brandt, A. Trampert, H. T. Grahn, J. Menniger, M. Ramsteiner, M. Reiche, and K. H. Ploog, Nature 406 (2000) 865.
10. H. M. Ng, Appl. Phys. Lett. 80 (2002) 4369.
11. M. D. Craven, S. H. Lim, F. Wu, J. S. Speck, and S. P. DenBaars, Appl. Phys. Lett. 81 (2002) 469.
12. O. Brandt, P. Waltereit, and K. H. Ploog, J. Phys. D, Appl. Phys. (UK) 35 (2002) 577. 30
13. M. Leszczynski, H. Teisseyre, T. Suski, I. Grzegory, M. Bockowski, J. Jun, S. Porowski, K. Pakula, J. M. Baranowski, C. T. Foxon, and T. S. Cheng, Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 73.
14. A. F. Wright, J. Appl. Phys. 82 (1997) 2833.
15. I. H. Tan, G. L. Snider, L. D. Chang, and E. L. Hu, J. Appl. Phys. 68 (1990) 4071. 40
16. E. Yablonovitch and E.O. Kane, Journal of Lightwave Technology LT-4(5), 504-6 (1986).

## ( 結 論 )

これは、発明の好ましい実施形態の説明を結論付ける。以下は、本発明を達成するための、いくつかの代替の実施形態を記載する。

## 【 0 0 5 0 】

例えば、非極性 ( A l , I n , G a ) N 量子井戸およびヘテロ構造の設計および M O C V D 成長条件のバリエーションが、代替の実施形態において使用され得る。さらに、層の特定の厚さおよび組成が、成長される量子井戸の数に加えて、量子井戸の構造設計に固有 50

の変数であり、そして本発明の代替の実施形態において使用され得る。

【0051】

さらに、特定のMOCVD成長条件は、量子井戸構造の層の寸法および組成を決定する。この点に関して、MOCVD成長条件は、反応器に依存性であり、そして特定の反応器設計の間で変動し得る。このプロセスの多くのバリエーションが、産業および学問において現在使用される種々の反応器の設計を用いて、可能である。

【0052】

成長温度、成長圧力、V/I I I比、前駆体フロー、および原料のような条件におけるバリエーションが、本発明の範囲から逸脱することなく可能である。界面の質の制御は、このプロセスの別の重要な局面であり、そして特定の反応器設計のフロー切り替え能力に直接関連する。成長条件の連続した最適化が、上記一体化された量子井戸層のより正確な組成および厚さの制御を生じる。

10

【0053】

さらに、MOCVD以外の多数の異なる成長方法が、本発明において使用され得る。例えば、成長方法はまた、分子線エピタキシー(MBE)、液相エピタキシー(LPE)、水素化物蒸気相エピタキシー(HVPE)、昇華、およびプラズマ増強化学蒸着(PECVD)であり得る。

【0054】

さらに、非極性のa平面GaN薄膜が、本明細書中に記載されるが、同じ技術が、非極性のm平面GaN薄膜に対して適用可能である。さらに、非極性のInN薄膜、AlN薄膜、およびAlInGaN薄膜が、GaN薄膜の代わりに作製され得る。

20

【0055】

最後に、サファイア基板以外の基板が、非極性GaN成長のために使用され得る。これらの基板としては、炭化ケイ素、窒化ガリウム、ケイ素、酸化亜鉛、窒化ホウ素、アルミニウム酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ゲルマニウム、窒化アルミニウム、および没食子酸リチウムが挙げられる。

【0056】

要約すると、本発明は、非極性(Al, B, In, Ga)N量子井戸ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを形成するための方法を記載する。第一に、非極性

【0057】

30

【数16】

(11 $\bar{2}$ 0)

a平面GaN薄膜層が、

【0058】

【数17】

(11 $\bar{1}$ 02)

r平面サファイア基板上に、MOCVDを使用して成長される。これらの非極性

【0059】

40

【数18】

(11 $\bar{2}$ 0)

a平面GaN層は、非極性(Al, B, In, Ga)N量子井戸ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを製造するためのテンプレートを含む。

【0060】

本発明の1つ以上の実施形態の上記説明は、例示および説明の目的で提供された。排他的であることも、本発明を開示された正確な形態に限定することも、意図されない。多くの改変およびバリエーションが、上記教示を考慮して、可能である。本発明の範囲は、この詳細な説明によって限定されるのではなく、本明細書に添付された特許請求の範囲によ

50

って限定されることが、意図される。

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図1】図1は、本発明の好ましい実施形態に従って、非極性（Al, B, In, Ga）N量子井戸ならびにヘテロ構造材料およびデバイスを形成するための方法の工程を示す、フローチャートである。

【図2】図2は、室温で測定される場合に1.5 nm、2.5 nmおよび5.0 nmの見かけの井戸幅を有する、5周期のa平面In<sub>0.1</sub>GaN/In<sub>0.03</sub>GaN MQW構造の光ルミネッセンス（PL）スペクトルを示す。

【図3】図3は、種々のポンプ電力について測定された、5.0 nmの見かけの井戸幅を有する、a平面In<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N/In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N MQW構造のPLスペクトルを示す。

【図4】図4（a）は、10周期のAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N/GaN超格子の2×線回折走査を示し、これは、明らかに規定されたサテライトピークを明らかにする。図4（b）は、図4（a）において特徴付けられた超格子のPLスペクトルを示す。

【図1】

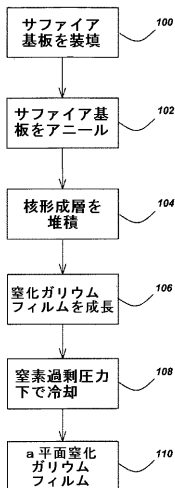


FIG. 1

【図2】

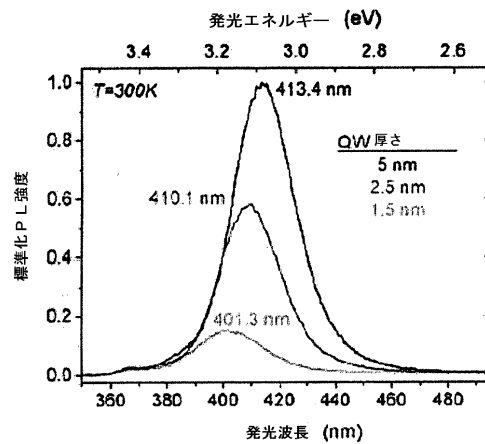


FIG. 2

【図 3】

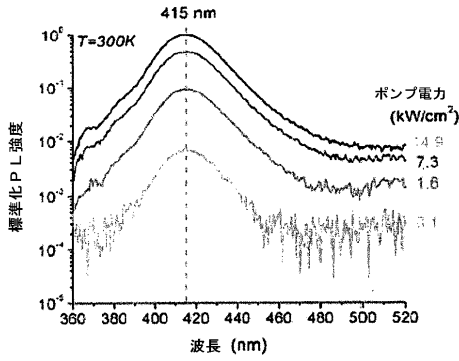


FIG. 3

【図 4】

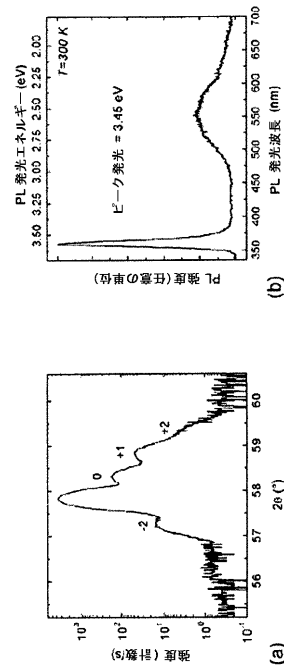


FIG. 4

## 【手続補正書】

【提出日】平成17年2月1日(2005.2.1)

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

窒化物半導体デバイスを形成するための方法であって、以下：

(a) 1つ以上の非極性 a 平面 GaN 層を、r 平面基板上で成長させる工程；および

(b) 1つ以上の非極性 (Al, B, In, Ga) N 層を、該非極性 a 平面 GaN 層上で成長させる工程、  
を包含する、方法。

【請求項 2】

前記基板が、サファイア基板である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記基板が、炭化ケイ素、窒化ガリウム、ケイ素、酸化亜鉛、窒化ホウ素、アルミン酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ゲルマニウム、窒化アルミニウム、および没食子酸リチウムからなる群より選択される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記成長した非極性 (Al, B, In, Ga) N 層が、少なくとも 1 つの量子井戸を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記量子井戸が、InGaIn 量子井戸を含む、請求項 4 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記量子井戸が、GaNでキャップされている、請求項 4 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記成長した非極性 (Al, B, In, Ga)N 層が、少なくとも 1 つのヘテロ構造を含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記ヘテロ構造が、(Al, Ga)N / GaN 超格子を含む、請求項 7 に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記成長させる工程 (a) が、以下：

(1) 前記基板をアニールする工程；

(2) 窒化物ベースの核生成層を、該基板上に堆積させる工程；

(3) 非極性の a 平面窒化ガリウムフィルムを、該核生成層上で成長させる工程；および

(4) 該非極性の a 平面窒化ガリウムフィルムを、窒素の過剰圧力下で冷却する工程、を包含する、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 10】**

前記成長させる工程が、金属・有機化学気相成長 (MOCVD)、分子線エピタキシー (MBE)、液相エピタキシー (LPE)、水素化物蒸気相エピタキシー (HVPE)、昇華、およびプラズマ増強化学蒸着 (PECVD) からなる群より選択される方法によって実施される、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 11】**

請求項 1 ~ 10 に記載の方法を使用して製造されたデバイス。

**【請求項 12】**

窒化物半導体デバイスであって、以下：

(a) 1 つ以上の非極性 a 平面 GaN 層を、r 平面基板上で成長させる工程；および

(b) 1 つ以上の非極性 (Al, B, In, Ga)N 層を、該非極性 a 平面 GaN 層上で成長させる工程、を包含するプロセスを用いて製造される、デバイス。

**【請求項 13】**

前記基板が、サファイア基板である、請求項 12 に記載のデバイス。

**【請求項 14】**

前記基板が、炭化ケイ素、窒化ガリウム、ケイ素、酸化亜鉛、窒化ホウ素、アルミン酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ゲルマニウム、窒化アルミニウム、および没食子酸リチウムからなる群より選択される、請求項 12 に記載のデバイス。

**【請求項 15】**

前記成長した非極性 (Al, B, In, Ga)N 層が、少なくとも 1 つの量子井戸を含む、請求項 12 に記載のデバイス。

**【請求項 16】**

前記量子井戸が、InGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub> 量子井戸を含む、請求項 15 に記載のデバイス。

**【請求項 17】**

前記量子井戸が、GaNでキャップされている、請求項 15 に記載のデバイス。

**【請求項 18】**

前記成長した非極性 (Al, B, In, Ga)N 層が、少なくとも 1 つのヘテロ構造を含む、請求項 12 に記載のデバイス。

**【請求項 19】**

前記ヘテロ構造が、(Al, Ga)N / GaN 超格子を含む、請求項 18 に記載のデバイス。

**【請求項 20】**

前記成長させる工程 (a) が、以下：

(1) 前記基板をアニールする工程；

( 2 ) 窒化物ベースの核生成層を、該基板上に堆積させる工程；

( 3 ) 非極性の a 平面窒化ガリウムフィルムを、該核生成層上で成長させる工程；および

( 4 ) 該非極性の a 平面窒化ガリウムフィルムを、窒素の過剰圧力下で冷却する工程、を包含する、請求項 1 2 に記載のデバイス。

【請求項 2 1】

前記成長させる工程が、金属・有機化学気相成長 ( M O C V D )、分子線エピタキシー ( M B E )、液相エピタキシー ( L P E )、水素化物蒸気相エピタキシー ( H V P E )、昇華、およびプラズマ増強化学蒸着 ( P E C V D ) からなる群より選択される方法によって実施される、請求項 1 2 に記載のデバイス。

【請求項 2 2】

窒化物半導体デバイスであって、以下」：

( a ) r 平面基板上で成長した 1 つ以上の非極性 a 平面 G a N 層；および

( b ) 該非極性 a 平面 G a N 層上で成長した 1 つ以上の非極性 ( A l , B , I n , G a ) N 層、を含む、デバイス。

【請求項 2 3】

前記基板が、サファイア基板である、請求項 2 2 に記載のデバイス。

【請求項 2 4】

前記基板が、炭化ケイ素、窒化ガリウム、ケイ素、酸化亜鉛、窒化ホウ素、アルミン酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ゲルマニウム、窒化アルミニウム、および没食子酸リチウムからなる群より選択される、請求項 2 2 に記載のデバイス。

【請求項 2 5】

前記成長した非極性 ( A l , B , I n , G a ) N 層が、少なくとも 1 つの量子井戸を含む、請求項 2 2 に記載のデバイス。

【請求項 2 6】

前記量子井戸が、 I n G a N 量子井戸を含む、請求項 2 5 に記載のデバイス。

【請求項 2 7】

前記量子井戸が、 G a N でキャップされている、請求項 2 5 に記載のデバイス。

【請求項 2 8】

前記成長した非極性 ( A l , B , I n , G a ) N 層が、少なくとも 1 つのヘテロ構造を含む、請求項 2 2 に記載のデバイス。

【請求項 2 9】

前記ヘテロ構造が、 ( A l , G a ) N / G a N 超格子を含む、請求項 2 8 に記載のデバイス。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/US 03/11175

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 C30B25/02 H01L21/00 H01L21/20 H01L33/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 C30B H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) PAJ, EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SASAKI T ET AL: "SUBSTRATE-ORIENTATION DEPENDENCE OF GAN SINGLE-CRYSTAL FILMS GROWN BY METALORGANIC VAPOR-PHASE EPITAXY" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, vol. 61, no. 7, 1 April 1987 (1987-04-01), pages 2533-2540, XP000820119 ISSN: 0021-8979 cited in the application the whole document --- -/--	1
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *G* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
18 August 2003		26/08/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer
		Cook, S

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US 03/11175

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SUN ET AL: "Comparison of the physical properties of GaN thin films deposited on (0001) and (01-12) sapphire substrates" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 63, no. 7, 1993, pages 973-975, XP002251480 NEW YORK US cited in the application the whole document	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 07, 3 July 2002 (2002-07-03) & JP 2002 076521 A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP), 15 March 2002 (2002-03-15) abstract	1-11
T	CRAVEN ET AL: "Structural characterization of nonpolar (11-20) a-plane GaN thin films grown on (1-102) r-plane sapphire" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 81, no. 3, 15 July 2002 (2002-07-15), pages 469-471, XP002250684 NEW YORK US cited in the application the whole document	1
A	EP 0 942 459 A (NICHIA KAGAKU KOGYO KK) 15 September 1999 (1999-09-15) claims 1,48-50,59; figures 3,5A; example 4	1
A	US 2001/029086 A1 (IMAFUJI OSAMU ET AL) 11 October 2001 (2001-10-11) paragraph '0182!	1
A	GRZEGORY I ET AL: "Seeded growth of GaN at high N2 pressure on (0001) polar surfaces of GaN single crystalline substrates" MATERIALS SCIENCE IN SEMICONDUCTOR PROCESSING, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., BARKING, UK, vol. 4, no. 6, December 2001 (2001-12), pages 535-541, XP004345737 ISSN: 1369-8001	
A	MILLS A: "Wide-bandgap emitters continue to improve" III VS REVIEW, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, OXFORD, GB, vol. 13, no. 3, May 2000 (2000-05), pages 23-24,26,28-30, XP004200697 ISSN: 0961-1290	



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US 03/11175

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2002076521	A	15-03-2002	NONE	
EP 0942459	A	15-09-1999	EP 0942459 A1	15-09-1999
			US 6153010 A	28-11-2000
			CA 2258080 A1	22-10-1998
			JP 11191657 A	13-07-1999
			WO 9847170 A1	22-10-1998
			KR 2000016589 A	25-03-2000
			TW 406445 B	21-09-2000
			US 2003037722 A1	27-02-2003
			US 2002046693 A1	25-04-2002
			JP 11191637 A	13-07-1999
			JP 2003101159 A	04-04-2003
			JP 11191659 A	13-07-1999
			JP 11219910 A	10-08-1999
US 2001029086	A1	11-10-2001	JP 2001345266 A	14-12-2001

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,M W,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 クレイブン, マイケル ディー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, ディアーハースト ドライブ 68  
1 / 2

(72)発明者 ケラー, スタシア

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, サンタ マーガリート ウェイ 6  
174

(72)発明者 デンバーズ, スティーブン ピー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, キング ダニエル レーン 287

(72)発明者 マーガリス, タル

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93105, サンタ バーバラ, モンテレー パイン ス  
トリート 3710, アpartment ビー - 206

(72)発明者 スペック, ジェームス エス.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, ウェスト キャンパス レーン 9  
47

(72)発明者 中村 修二

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93110, サンタ バーバラ, ピエジャ ドライブ 4  
517

(72)発明者 ミシュラ, ウメッシュ ケー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93108, サンタ バーバラ, シカモア キャニオン  
ロード 1435

F ターム(参考) 5F041 CA40 CA65

5F045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC12 AF04 AF09 AF13 CA02 CA07

CA09 DA53 DA55 EB13 EE12 EJ01

5F173 AG11 AG20 AH22 AH44 AH49 AH50 AP05 AR81