

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4486506号
(P4486506)

(45) 発行日 平成22年6月23日(2010.6.23)

(24) 登録日 平成22年4月2日(2010.4.2)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 L 21/205 (2006.01) HO 1 L 21/205
 HO 1 L 21/02 (2006.01) HO 1 L 21/02 B

請求項の数 23 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2004-564676 (P2004-564676)	(73) 特許権者	592130699
(86) (22) 出願日	平成15年7月15日(2003.7.15)		ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシ ティ オブ カリフォルニア
(65) 公表番号	特表2006-510227 (P2006-510227A)		The Regents of The University of Calif ornia
(43) 公表日	平成18年3月23日(2006.3.23)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 607 オークランド フランクリン ス トリート 1111 トゥエルフス フロ ア
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/021918	(73) 特許権者	503360115
(87) 国際公開番号	W02004/061909		独立行政法人科学技術振興機構
(87) 国際公開日	平成16年7月22日(2004.7.22)		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
審査請求日	平成18年4月20日(2006.4.20)	(74) 代理人	100089635
(31) 優先権主張番号	60/433,843		弁理士 清水 守
(32) 優先日	平成14年12月16日(2002.12.16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	60/433,844		
(32) 優先日	平成14年12月16日(2002.12.16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ハイドライド気相成長方法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

平坦な無極性窒化ガリウム(GaN)膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する方法であって、

(a) 基板に堆積されているマスクをパターニングする工程、および

(b) ハイドライド気相成長法を使用して前記基板から前記平坦な無極性GaN膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する工程を含み、前記パターニングされたマスクによって覆われていない前記基板の部分上のみ前記平坦な無極性GaN膜は核を形成し、前記平坦な無極性GaN膜は、前記パターニングされたマスクの開口部を通して垂直に成長し、次に前記平坦な無極性GaN膜は、前記パターニングされたマスク上および前記基板の表面上にわたって横方向に広がることにより、平坦な無極性GaN面である上面となることを特徴とする方法。

【請求項2】

前記エピタキシャル横方向オーバーグロースは、ほぼ大気圧(760 Torr)またはそれ以下の成長圧力を利用し、少量の水素を含むキャリアガスを利用することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記成長圧力が300 Torr未満であることを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記成長圧力が5から100 Torrの範囲であることを特徴とする請求項3に記載の

方法。

【請求項 5】

前記キャリアガスが主に水素であることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 6】

前記キャリアガスが、水素と、窒素、アルゴンまたはヘリウムとの混合物を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 7】

前記エピタキシャル横方向オーバーグロースは前記平坦な無極性 GaN 膜中の貫通転位密度を低減させることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記基板はサファイアを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記パターンニングされたマスクは金属材料から成ることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記パターンニングされたマスクは誘電材料から成ることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記パターンニングされたマスクは、該マスクの下にある前記基板にアクセスできるようなアパーチャまたはストライプを含む二酸化ケイ素 (SiO₂) マスクであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記パターンニング工程は、
前記基板に二酸化ケイ素 (SiO₂) 膜を堆積する工程、
前記二酸化ケイ素膜上にフォトレジスト層をパターンニングする工程、
パターンニングされた前記フォトレジスト層によって露出している二酸化ケイ素膜のすべての部分をエッチングして取り除く工程、
前記フォトレジスト層の残渣部分を除去する工程、および
前記基板を洗浄する工程
を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記基板は、GaN、窒化アルミニウム (AlN)、窒化アルミニウムガリウム (AlGaIn) または他の薄膜のテンプレート層で覆われることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

前記基板は自立 a 面 GaN、a 面窒化アルミニウム (AlN) または a 面窒化アルミニウムガリウム (AlGaIn) のウェハであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

前記基板は、低温または成長温度で堆積された核形成層で覆われることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 16】

請求項 1 に記載の方法を使用して製造される自立 a 面 GaN 膜または基板。

【請求項 17】

請求項 1 に記載の方法を使用して製造される素子。

【請求項 18】

前記素子はレーザーダイオード、発光ダイオードまたはトランジスタであることを特徴とする請求項 17 に記載の素子。

【請求項 19】

基板から成長させる平坦な無極性窒化ガリウム (GaN) 膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースであって、

10

20

30

40

50

(a) 基板に堆積されている誘電性マスクをパターニングする工程、および
 (b) ハイドライド気相成長法を使用して前記基板から前記平坦な無極性 G a N 膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する工程を含み、前記パターニングされた誘電性マスクによって露出している前記基板の部分上でのみ前記平坦な無極性 G a N 膜は核を形成し、前記平坦な無極性 G a N 膜は、前記パターニングされた誘電性マスクの開口部を通して垂直に成長し、次に前記 G a N 膜は、前記パターニングされた誘電性マスク上および前記基板の表面上にわたって横方向に広がることにより、平坦な無極性 G a N 面である上面となる工程を含むプロセスを使用して得られることを特徴とするエピタキシャル横方向オーバーグロース。

10

【請求項 2 0】

前記平坦な無極性 G a N 膜は、鋭い垂直の側壁を作り出すために、前記パターニングされたマスク上および前記基板の表面上にわたって横方向に広がることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記平坦な無極性 G a N 膜は、鋭い垂直の側壁を作り出すために、前記パターニングされた誘電性マスク上および前記基板の表面上にわたって横方向に広がることを特徴とする請求項 1 9 に記載のエピタキシャル横方向オーバーグロース。

【請求項 2 2】

前記平坦な無極性 G a N は、自立無極性 G a N 基板を形成するのに十分な厚さに成長されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 2 3】

前記平坦な無極性 G a N 膜は、自立無極性 G a N 基板を形成するのに十分な厚さであることを特徴とする請求項 1 9 に記載のエピタキシャル横方向オーバーグロース。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願の相互参照

本出願は、本発明の譲受人に譲渡された以下の同時係属の米国特許仮出願の優先権を主張する。

30

【0 0 0 2】

ベンジャミン・A・ハスケル (Benjamin A. Haskell)、マイケル・D・クレイブン (Michael D. Craven)、ポール・T・フィニ (Paul T. Fini)、スティーブン・P・デンバース (Steven P. DenBaars)、ジェームス・S・スペック (James S. Speck)、中村修二 (Shuji Nakamura) による第 6 0 / 4 3 3 , 8 4 3 号、2 0 0 2 年 1 2 月 1 6 日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長 (G R O W T H O F R E D U C E D D I S L O C A T I O N D E N S I T Y N O N - P O L A R G A L L I U M N I T R I D E B Y H Y D R I D E V A P O R P H A S E E P I T A X Y)」、代理人識別番号 3 0 7 9 4 . 9 3 - U S - P 1 ;

40

および

【0 0 0 3】

ベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正 (Shigemasa Matsuda)、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による第 6 0 / 4 3 3 , 8 4 4 号、2 0 0 2 年 1 2 月 1 6 日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性 a 面窒化ガリウムの成長技術 (T E C H N I Q U E F O R T H E G R O W T H O F P L A N A R , N O N - P O L A R A - P L A N E G A L L I U M N I T R I D E B Y H Y D R I D E V A P O R P H A S E E P I T A X Y)」、代理人識別番号 3 0 7 9 4 . 9 4 - U S - P 1。

50

【 0 0 0 4 】

両出願とも参照として本明細書中に組込まれる。

【 0 0 0 5 】

本出願は、本出願と同日出願され本発明の譲受人に譲渡された同時係属の、ベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による国際出願第PCT/US03/-----号、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性a面窒化ガリウムの成長(GROWTH OF PLANAR, A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.94-WO-U1に関し、この出願は本発明の譲受人に譲渡された同時係属の米国特許仮出願、ベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による第60/433,844号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性a面窒化ガリウムの成長技術(TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.94-US-P1;およびベンジャミン・A・ハスケル、マイケル・D・クレイブン、ポール・T・フィニ、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による第60/433,843号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長(GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.93-US-P1;の優先権を主張し、上記出願は参照として本明細書中に組込まれる。

10

20

【 0 0 0 6 】

1. 本発明の技術分野

本発明は半導体材料、方法および素子に関し、より具体的にはハイドライド気相成長法(HVPE)による転位密度の低い無極性窒化ガリウム(GaN)の成長に関する。

【背景技術】

30

【 0 0 0 7 】

2. 関連技術の説明

(注:本出願は多くの異なる特許、出願明細書および/または刊行物を参照しており、これらは、1から順に付けた参考文献番号を用いて本明細書に記載する。これらの参考文献番号順に並べた種々の刊行物のリストを「参考文献」とタイトルをつけたセクションに示す。これらの刊行物は、それぞれ参照として本明細書中に組込まれる。)

【 0 0 0 8 】

窒化ガリウム(GaN)、ならびにアルミニウムおよびインジウムが組込まれている窒化ガリウムの三元および四元化合物(AlGaN, InGaN, AlInGaN)の有用性は、可視および紫外オプトエレクトロニクス素子および高性能電子素子の製造の分野で定評がある(参考文献1~3参照)。このような素子は、典型的には、分子線エピタキシー(MBE)、有機金属化学気相成長(MOCVD)またはハイドライド気相成長(HVPE)が含まれる成長技術によって、基板に対し層ごとに配向するようエピタキシャル成長させる。

40

【 0 0 0 9 】

GaNおよびその合金は六方晶系ウルツ鉱型結晶構造の時最も安定している。この構造の結晶は、120°回転対称の二つ(または三つ)の等価な基底面軸(a軸)によって示され、この軸はすべて、主軸のc軸に垂直である。図1は一般的な六方晶系ウルツ鉱型結晶構造100の概略図であり、重要な面102, 104, 106, 108のほか、軸110, 112, 114, 116を図中に示す。

50

【 0 0 1 0 】

ウルツ鉱型結晶構造 1 0 0 にガリウム原子および窒素原子が配置されることによって、c 軸に垂直などの原子の面も一種類の原子のみを含むことになる。c 軸に沿う平面毎に各原子が配置されるので、その結果、各平面は一種類の原子、G a または N のみを含むことになる。電気的中性を維持するために、G a N 結晶は、窒素原子のみを含む一つの c 面 (N 面)、およびガリウム原子のみを含む一つの c 面 (G a 面) で終端する。その結果、G a N 結晶は c 軸に沿って分極されている。これらの結晶の自発分極はバルク性質であり、結晶の構造および組成に依存する。

【 0 0 1 1 】

平坦な G a 側 c 面の成長は比較的容易であるため、ほぼすべての G a N 系素子は、極軸である c 軸と平行に成長する。この成長方向の弊害は、結晶が自発分極するために、各材料層の中で電子および正孔が層の対向面に分離してしまうことである。さらに、隣接する層の界面における歪みによって圧電分極が生じるため、量子ヘテロ構造内にさらに電荷分離が発生する。このような分極効果は、発光オプトエレクトロニクス素子の動作に必要な電子および正孔の相互作用の可能性を低下させる。c 軸配向の素子に特徴的な分極効果を除くことができれば、G a N 発光素子の効率が向上すると考えられる。

【 0 0 1 2 】

G a N のオプトエレクトロニクス素子中の圧電分極効果を除くことのできる方策の一つとして、結晶の無極性平面上に素子を成長させることが考えられる (参考文献 4 ~ 6 参照)。このような平面は、G a および N の原子を同数含み、電気的に中性である。さらに、順次形成される無極性層は相互に等価であるので、バルク結晶が成長方向に沿って分極することはない。G a N の対称性が等価である無極性平面の一例を挙げると、{ 1 1 - 2 0 } 平面群があり、a 面と総称されている。高電子移動度トランジスタのような電子素子上、または可視および紫外のレーザーダイオードおよび発光ダイオードのようなオプトエレクトロニクス素子上の a 面基板上で成長させることにより、c 面 G a N 上に同様に成長させた素子と比較して、素子性能を著しく向上させることができた。

【 0 0 1 3 】

G a N のバルク結晶は、結晶を単に切断するだけでは、素子をその上に再成長させるための面を出すことができないので、利用不可能である。すべての G a N 膜は、最初にヘテロエピタキシャル成長、つまり G a N と適切に格子整合できるような異質基板上に成長させる。近年、多くの研究グループによって、H V P E を利用して十分に厚い (> 2 0 0 μ m) c 面 G a N 膜をヘテロエピタキシャル成長により堆積させ、異質基板を不要にすることができるようになり、これによって M B E および M O C V D によるホモエピタキシャル素子の再成長に使用することのできる自立 G a N 基板を得ることができるようになった (参考文献 7 ~ 8 参照)。

【 0 0 1 4 】

H V P E には、M O C V D より 1 から 2 オーダー、および M B E より 3 オーダー程度、成長速度が大きいという長所があり、このため、基板作製に大変好ましい技術となる利点を得られる。

【 0 0 1 5 】

H V P E による平坦な a 面 G a N の成長について最近実例が報告されている。たとえば、本出願と同日出願され本発明の譲受人に譲渡された同時係属の、ベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による国際出願第 P C T / U S 0 3 / - - - - 号、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性 a 面窒化ガリウムの成長 (G R O W T H O F P L A N A R , N O N - P O L A R A - P L A N E G A L L I U M N I T R I D E B Y H Y D R I D E V A P O R P H A S E E P I T A X Y)」、代理人識別番号 3 0 7 9 4 . 9 4 - W O - U 1 に記載されており、この出願は本発明の譲受人に譲渡された同時係属の米国特許仮出願、ベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・

10

20

30

40

50

P. デンバース、ジェームス・S. スペック、中村修二による第60/433, 844号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性a面窒化ガリウムの成長技術 (TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.94-US-P1; およびベンジャミン・A. ハスケル、マイケル・D. クレイブun、ポール・T. フィニ、スティーブun・P. デンバース、ジェームス・S. スペック、中村修二による第60/433, 843号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長 (GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.93-US-P1; の優先権を主張し、上記出願は参照として本明細書中に組込まれる (参考文献9~10参照)。

10

【0016】

本研究は無極性Ga₂N素子の成長を実現する技術を示しているが、a-GaN膜を直接成長させると比較的高い密度の欠陥が現れるので、完全な基板の上にホモエピタキシャル成長させることによって得られるであろうものと比較すると、連続的に成長させた素子の効率が低下してしまう。素子性能を改善するためにGa₂N膜中の転位密度を低下させる取り組みがますます増えている。

20

【0017】

拡張型の欠陥として重大なのは、主に貫通転位と積層欠陥の二種類である。極性c面Ga₂N膜中の転位密度および積層欠陥密度の低減を達成する主要な手段は、エピタキシャル横方向オーバーグロース (LEO、ELOまたはELOG)、選択成長エピタキシーおよびPENDEO (登録商標) エピタキシーが含まれる種々の横方向オーバーグロース技術を使用することである。これらのプロセスの最も重要な特質は、垂直成長より横方向成長を優先することによって、膜表面に垂直な方向に転位が広がらないように転位を阻害または阻止することである。このような転位低減技術が、HVPEおよびMOCVDによるc面Ga₂N成長のために広く開発されている (参考文献11~18参照)。

30

【0018】

最近になって、Ga₂N横方向成長技術のa面膜への適用が実証された。クレイブun (Craven) らが、誘電性マスクを使用し、薄いa面Ga₂Nテンプレート層の上でMOCVDによってLEOを実施することに成功した (参考文献19参照)。

【0019】

しかしながら、a面Ga₂NのHVPEに基づくLEOはこれまで達成されていない。このため、高品質で、欠陥密度が低く、無極性のa面{11-20} Ga₂N膜の成長方法が当該技術分野において求められている。より具体的には、横方向オーバーグロースを使用し、そのようなGa₂N膜をHVPEによって成長させる方法が当該技術分野において求められている。本発明はこの要求を満たすものである。

【発明の開示】

40

【課題を解決するための手段】

【0020】

本発明は、平坦な無極性a面Ga₂N膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する方法を開示し、本方法は、(a) 基板に堆積されているマスクをパターニングする工程、および(b) ハイドライド気相成長法を使用して基板からGa₂N膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する工程を含み、パターニングされたマスクによって覆われていない基板の部分上にはのみGa₂N膜は核を形成し、Ga₂N膜は、パターニングされたマスクの開口部を通して垂直に成長し、次にGa₂N膜は、パターニングされたマスク上および基板の表面上にわたって横方向に広がる。エピタキシャル横方向オーバーグロースはGa₂N膜中の貫通転位密度を低減させる。

50

【 0 0 2 1 】

以下、図面を参照する。類似部分には一貫して同じ参照番号を付与する。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 2 】

好ましい実施形態について添付の図面を参照して以下記載するが、図面は本記載の一部をなし、本発明を実施することのできる特定の実施形態を例示するために示されている。なお、本発明の範囲を逸脱することなく、例示以外の実施形態を使用することができ、構造を変化させることができることは明らかである。

【 0 0 2 3 】

概要

本発明は、LEOを使用するHVPE成長の無極性a面GaN膜の貫通転位密度を低減させるものである。低い成長圧力を用い、少量の水素を含むキャリアガスを利用することによって、異種基板から直接無極性GaN膜を横方向成長させることができる。種々の手段の一手段によってパターンマスクを基板上に付着させる。次に、基板をHVPEリアクタに載置し、基板材料が露出している領域からのみa-GaN膜を成長させ、マスク上および基板表面上にわたって横方向に広げる。

【 0 0 2 4 】

均一の基板上に直接成長した無極性GaN膜と比較すると、本発明は欠陥を大幅に低減することができ、膜質を改善することができる。このように欠陥密度の低い無極性GaN膜が得られるので、本技術によってテンプレート膜を成長させ、テンプレート膜上に電子素子、オプトエレクトロニクス素子および電気機械素子を順次成長させると、素子を改善することができる。さらに、本明細書に記載の横方向オーバーグロース膜は、剥離して自立基板を形成することのできる厚い無極性GaN膜中の転位密度を低減させる優れた手段となりうる。

【 0 0 2 5 】

転位を低減させる本発明の好ましい実施形態は、以下のものを含む。

【 0 0 2 6 】

1. 下にあるサファイア基板にアクセスできるようなアパーチャまたはストライプを内部に含む酸化ケイ素(SiO_2)マスクとともに、r面サファイア(Al_2O_3)基板のようなパターンニング基板を使用する。

【 0 0 2 7 】

2. サファイア基板上に平坦な無極性GaN膜を得る条件に従い無極性GaN膜を成長させる。

【 0 0 2 8 】

プロセス工程

図2は本発明の好ましい実施形態による平坦な無極性a面GaN膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する方法を示すフローチャートである。これらの工程は、基板上に堆積されているマスクをパターンニングする工程(下記のブロック200~208)、およびハイドライド気相成長法を使用し基板からGaN膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する(下記のブロック210~224)工程を含み、パターンニングされたマスクによって覆われていない基板部分上でのみGaN膜は核を形成し、GaN膜は、パターンニングされたマスクの開口部を通して垂直に成長し、次にGaN膜は、パターンニングされたマスク上および基板の表面上にわたって横方向に広がる。

【 0 0 2 9 】

ブロック200は、研磨した $430\mu\text{m}$ 厚のr面(1-102)サファイア基板に 1300 厚の SiO_2 膜を堆積する工程を表す。この SiO_2 膜は誘電性マスクの土台を提供するためのものである。好ましい実施形態では、パターンニングされたマスクは誘電体であり、基板はr面サファイア基板であるが、他の材料を使用してもよく、たとえばパターンマスクに金属材料を、または基板に炭化ケイ素(SiC)を使用してもよい。

【 0 0 3 0 】

10

20

30

40

50

ブロック202は、 SiO_2 膜上にフォトレジスト層を堆積し、従来のフォトリソグラフィ処理工程を使用して、堆積したフォトレジスト層をパターニングする工程を表す。一実施形態では、パターンは $5\ \mu\text{m}$ 幅の開口によって隔てられている $35\ \mu\text{m}$ 幅のストライプを備える。

【0031】

ブロック204は、緩衝化フッ化水素(HF)酸に2分間基板を浸漬することにより、パターニングされたフォトレジスト層によって露出している SiO_2 膜の部分すべてをエッチングして取り除く工程を表す。

【0032】

ブロック206は、アセトンを使用し、フォトレジスト層の残渣部分を除去する工程を表す。

【0033】

ブロック208は、アセトン、イソプロピルアルコールおよび脱イオン水を使用して、基板を洗浄する工程を表す。

【0034】

乾燥後、基板は、 $5\ \mu\text{m}$ 幅の開口部によって隔てられている $35\ \mu\text{m}$ 幅のストライプを有するようパターニングされた SiO_2 膜を備えるパターンマスクによって覆われている。

【0035】

次に続くブロックは、HVPEを使用して基板からGaN膜のエピタキシャル横方向オーバーグロースを実施する工程を表す。ここでGaN膜は、パターンマスクによって露出している基板の部分上でのみ核を形成し、GaN膜は、パターンマスクの開口部を通過して垂直に成長し、次にGaN膜は、パターンマスク上、および基板表面上にわたって横方向に広がり、結果として隣接するGaNストライプと接合する。エピタキシャル横方向オーバーグロースは、ほぼ大気圧(760 Torr)である低成長圧力を用い、少量の水素を含むキャリアガスを利用する。

【0036】

これらの工程、およびその成長パラメータの詳細は、本出願と同日出願され本発明の譲受人に譲渡された同時係属のベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による国際出願第PCT/US03/-----号、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性a面窒化ガリウムの成長(GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.94-WO-U1の明細書に示されており、この出願は本発明の譲受人に譲渡された同時係属の米国特許仮出願、ベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による第60/433,844号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性a面窒化ガリウムの成長技術(TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.94-US-P1;およびベンジャミン・A・ハスケル、マイケル・D・クレイブン、ポール・T・フィニ、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による第60/433,843号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長(GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.93-US-P1;の優先権を主張し、上記出願は参照として本明細書中に組込まれる。さらに参考文献9~10を参照すること。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

ブロック 2 1 0 は、リアクタに基板を載置する工程を表す。

【 0 0 3 8 】

ブロック 2 1 2 は、リアクタを排気し、代わりに精製窒素 (N_2) ガスをリアクタに注入して、内部の酸素濃度を低下させる工程を表す。この工程を何回も繰り返し、リアクタ内の残留酸素濃度を低下させる。

【 0 0 3 9 】

ブロック 2 1 4 は、システム内の全チャンネルに H_2 および N_2 の混合物を流すとともに、ほぼ 1 0 4 0 の成長温度にリアクタを加熱する工程を表す。

【 0 0 4 0 】

ブロック 2 1 6 は、リアクタが成長温度に達した後サファイア基板を窒化する工程を表す。窒化工程は、リアクタ中のガス流に無水アンモニア (NH_3) を加え、サファイア基板の表面を窒化することを含む。

【 0 0 4 1 】

ブロック 2 1 8 は、リアクタの圧力を所望の堆積圧力にまで減圧する工程を表す。好ましい実施形態では、所望の堆積圧力は大気圧 (7 6 0 T o r r) 未満であり、一般に 3 0 0 T o r r 未満である。より具体的には、所望の堆積圧力は 5 ~ 1 0 0 T o r r の範囲に限定してもよく、7 6 T o r r に設定してもよい。

【 0 0 4 2 】

ブロック 2 2 0 は、低温パuffaまたは核形成層を全く使用せずに、サファイア基板上で直接 a 面 Ga N 膜の成長を開始させるために、ガリウム (Ga) ソースへ塩化水素 (HCl) ガスを流し始める工程を表す。従来の金属ソースHVPEには、7 0 0 を超える温度でHClガスを金属Gaと反応させ塩化ガリウム (GaCl) を形成させるなど (しかしこれに限定されない) ハロゲン化合物の装置内反応が含まれる。

【 0 0 4 3 】

ブロック 2 2 2 は、リアクタ中のガス流の一つ以上に少なくとも少量の水素 (H_2) を含むキャリアガスによって基板にGaClを移送する工程を表す。一実施形態では、キャリアガスの大部分を水素が占めるようにすることもできる一方、他の実施形態では、キャリアガスは水素と窒素、アルゴン、ヘリウムまたは他の不活性ガスの混合物を含む。基板への移送中、基板上、または排気流中のいずれかで、GaClが NH_3 と反応し、Ga N 膜を形成する。基板において反応が生じることで基板上でGa N 膜が生成され、これによって結晶成長が起きる可能性がある。このプロセスの典型的なV / III 比は、1 ~ 5 0 である。なお、Gaソースの下流に補足のHClを注入するため、またはHClとGaソースとの反応が不完全であるため、 NH_3 / HCl比をV / III 比に等しくする必要はない。

【 0 0 4 4 】

ブロック 2 2 4 は、所望の成長時間が経過した後、HClガス流を中断し、リアクタの温度を室温にまで低下させ、リアクタ圧力を大気圧に戻す工程を表す。この冷却段階中の系の圧力は、大気圧であっても、それより低下させておいてもよい。この中断工程はさらに、リアクタの温度の低下中にGa N 膜の分解を防ぐようにガス流に NH_3 を含ませることを含む。

【 0 0 4 5 】

好ましくは、上記プロセスの工程によって、平坦な無極性 a 面窒化ガリウム (Ga N) 膜を基板からエピタキシャル横方向オーバーグロースさせる。さらに、上記プロセスの工程は自立 a 面 Ga N 膜または基板を製造するために使用される。この方法を使用し製造される素子には、レーザーダイオード、発光ダイオードおよびトランジスタが含まれる。

【 0 0 4 6 】

実験結果

本発明者らによる実験では、種々の誘電性マスクパターンを利用し、8 ~ 1 2 5 μm 厚の完全に接合している無極性 Ga N 膜を作製した。オーバーグロース領域のナノメーター

10

20

30

40

50

スケールのピット密度は $3 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 未満であった。これに対し、直接成長させた a 面 GaN 膜では $\sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ であった。オーバーグロース部分の陰極線ルミネセンス (CL) は、ウィング部分と比較すると、光度が 4 倍増加していることがわかった。X 線ロッキングカーブをみると、測定感度の範囲内では、膜にはウィングの傾斜はないことがわかった。非 LEO の a 面 GaN の基底面積層欠陥密度および貫通転位密度は、それぞれ 10^5 cm^{-1} 、 10^9 cm^{-2} を示す一方、LEO 材料には、実質上拡張型欠陥がなかった。ウィング領域の基底面積層欠陥および貫通転位密度は、それぞれサンプリング限界の約 $\sim 5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ および $3 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以下であった。

【0047】

図 3 は、上記記載のプロセスを使用して成長させた a 面 GaN ストライプの断面の走査型電子顕微鏡 (SEM) 像である。このストライプは、 SiO_2 マスク中の $5 \mu\text{m}$ 幅のウィンドウを通して成長し、 SiO マスクの上を約 $30 \mu\text{m}$ 幅まで横方向に広がった。この成長が十分な時間続けば、このストライプは隣接するストライプと接合し連続的な a 面 GaN 面を形成することになる。接合した膜は、マスクによって転位が阻止されるので、または成長が垂直方向から横方向に転換することによって転位が曲がるので、オーバーグロース領域の転位密度および積層欠陥密度が低くなる (なお端が欠けているストライプは人為的な切断によるものである)。

【0048】

プラズマ増強化学蒸着によって堆積した約 ~ 1300 厚の SiO_2 層に対して従来のフォトリソグラフィ処理およびウェットエッチングを利用し、LEO プロセス用のマスクを作製した。種々のマスク設計が開発され、たとえば複数の環状アパーチャ、 $[0001]_{\text{GaN}}$ 方向に配向した平行ストライプ、 $[1-100]_{\text{GaN}}$ 方向に配向した平行ストライプ、 $[1-102]_{\text{GaN}}$ 方向に配向した平行ストライプ、「荷馬車の車輪」パターンのような非平行ストライプの配列がある。LEO 成長プロセスは、従来の 3 ゾーン式水平フロー式 HVPE システムによって実施した (参考文献 9 参照)。垂直方向の典型的な成長速度は、約 ~ 1040 の基板温度で 1 時間あたり 16 から $50 \mu\text{m}$ であった。種々のマスク形状から接合膜が得られ、特に、 $[1-100]$ 配向のストライプの周期的な配列からなるマスクを使用すると、 50mm 直径の複数の a 面 GaN ウェハを完全に接合させることができた。

【0049】

図 4 (a) は、以下に説明する試料に使用された $[1-100]$ ストライプ形状の概略図である。成長を中断した時点で、 (0001) Ga 面のウィングの進み具合は $(000-1)$ N 面のウィングよりおよそ 6 倍速いことがわかった。この比率は、HVPE 成長の $(000-1)$ ウィングの相対成長速度が GaN の MOCVD 成長よりもある程度速いことを示しており、N 面成長に対する Ga 面成長の比率は約 ~ 10 である (参考文献 19 参照)。 $\{0001\}$ 面間の横方向成長速度の差が大きいことから得られた利点の一つに、ウィンドウ領域の N 面側に向かって接合面がずれ、不完全な接合面によって中断されることのない広いウィング領域を得られたことが挙げられる。

【0050】

図 4 (b) は、 $[1-100]$ 配向のストライプが形成されている $20 \mu\text{m}$ 厚の接合 LEO 膜の Nomarski (商標) (ノマルスキ) 型光学顕微鏡によるコントラスト像を示す。画像の上部に「鱗」状の特徴がかすかに見られることから、膜表面に焦点が合っていることが分かるが、 SiO_2 からの屈折率コントラストにより焦点から外れているマスクパターンを観察することができる。

【0051】

原子間力顕微鏡 (AFM) を利用して a 面 LEO 膜のウィンドウおよびウィングの領域の表面形態を比較した。図 4 (c) は、二つのストライプが接合している $10 \times 10 \mu\text{m}$ の AFM トポグラフを示す。ウィンドウ領域は、窪みのある物質の暗いバンドのようになっており、ウィンドウの左におよそ $1 \mu\text{m}$ の接合面があった。画像の左側にはっきりと現れている Ga 面ウィングは、 $3 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 未満の平均ピット密度を示し、ウィンドウ領

10

20

30

40

50

域の約 $\sim 10^9$ cm と比較すると、良質な表面特性を有していた。2乗平均平方根 (RMS) 粗さは、ウィンドウ領域では 1.3 nm であったのに対し、ウィング領域では 0.9 nm 未満であった。

【0052】

図5(a)および(b)は、 $[1-100]_{\text{GaN}}$ -配向 SiO_2 ストライプの周期的配列がパターンニングされたLEOウェハの断面のSEM画像である。図5(a)の傾斜した断面は、横方向成長の間および接合の直前に $[1-100]$ 配向のストライプに対して広がる鋭い垂直の $\{0001\}$ 側壁を図示する。図5(b)は、接合している四つのGaNストライプの断面図を示す。帯電効果によって生じる膜-テンプレートの界面のコントラスト差によってのみ、ウィンドウおよびウィング領域を区別することができる。図5(c)は、接合膜の平面のSEM画像であり、こちらもGaN $[1-100]$ 配向 SiO_2 ストライプのマスクと共に示されている。表面は、弱い不規則なリッジが少しみられるほかは、平坦で、ほとんど特徴がなかった。図5(d)の対応するCL画像では、これらのリッジが散乱のために暗線としてはっきりと示されていた。図5(e)は、365 nmのGaNバンド端で画像化された図5(c)の表面のCL画像であり、より高い光度を有することを示す淡い灰色が見られた。CL画像中のウィンドウ領域は暗い垂直のバンドとしてはっきりと示されている。接合面がウィンドウに接近しているため、 $[1-100]$ ストライプを使用すると比較的欠陥のない大きな領域が得られ、素子を作製するのに十分な表面積を得ることができる。 $\langle 0001 \rangle$ 方向に沿って配向されている狭く暗いストライプは、表面の特徴に相当するものではなかったと考えられる。このルミネセンスの減少の原因は現在研究中であるが、予備的に透過型電子顕微鏡法(TEM)を行ったところ、プリズムの $\{1-100\}$ 面の上にある積層欠陥のクラスターがこれらの暗線の主な原因であると思われる。

【0053】

a面LEO膜の構造的性質をX線回折(XRD)およびTEMによって調べた。LEOストライプ方向に垂直にとった $11-20$ GaN反射のX線ロックアップカーブは単一ピークであり、測定可能な範囲の傾斜は接合膜中にないことが示された。r面サファイア上に直接成長した平坦なa面GaN膜と比較すると、LEO膜ではオン軸反射およびオフ軸反射が両方とも狭くなることが観察された(参考文献19参照)。 $11-20$ 反射および $10-10$ 反射に対する典型的な半値全幅(FWHM)は、それぞれ750および1250 arc secであった。

【0054】

図6(a)、(b)および(c)は、 $1-100$ および $01-10$ のgベクトルで画像化したLEO膜の平面および断面のTEM画像をそれぞれ示す。AFMおよびCLからの観察と合致して、ウィンドウ領域は高い貫通転位(約 $\sim 9 \times 10^9$ cm $^{-2}$)および基底面積層欠陥(約 $\sim 4 \times 10^5$ cm $^{-1}$)密度を示した。対照的に、Ga面ウィング領域は、実質的に転位、積層欠陥のどちらも存在せず、それぞれ画像のサンプリング限界である約 5×10^6 cm $^{-2}$ および約 3×10^3 cm $^{-1}$ 以下の密度を示した。またN面ウィング領域は、基底面積層欠陥およびショックレーの部分転位による欠陥が広がっているままで止まっていたが、貫通転位がなかった。

【0055】

上記の結果から、HVPEとともにLEOを実施することによってa面GaNの形態的欠陥および構造的欠陥の実質的な低減を容易に達成することができると実証された。オーバークロスGaNの貫通転位密度が低減されるとともに、表面の形態およびルミネセンスも非LEOの平坦なa面GaNに比べ著しく改善される。HVPEによって達成することのできる成長速度と同等の高い成長速度をLEOに組み込めば、高品質の無極性窒化ガリウム基板を製造する際都合がよい。

【0056】

参考文献

以下の参考文献を参照として本明細書中に組み込む。

10

20

30

40

50

- 【非特許文献1】T. Nishida and N. Kobayashi, Phys. Stat. Sol. (a), 188(1), 113(2001).
- 【非特許文献2】S. Nakamura, G. Fasol, and S. J. Pearton, The Blue Laser Diode. New York: Springer, 2000.
- 【非特許文献3】L. F. Eastman and U. K. Mishra, IEEE Spectrum, 39(5), 28(2002).
- 【非特許文献4】P. Waltereit, O. Brandt, A. Trampert, H. T. Grahn, J. Menniger, M. Ramsteiner, M. Reiche, and K. H. Ploog, Nature (London), 406, 865(2000). 10
- 【非特許文献5】M. D. Craven, P. Waltereit, F. Wu, J. S. Speck, and S. P. DenBaars, Jpn. J. Appl. Phys., 42(3A) L235(2003).
- 【非特許文献6】H. M. Ng, Appl. Phys. Lett., 80(23) 4369(2002).
- 【非特許文献7】K. Motoki, T. Okahisa, N. Matsumoto, M. Matsushima, H. Kimura, H. Kasai, K. Takemoto, K. Uematsu, T. Hirano, M. Nakayama, S. Nakahata, M. Ueno, D. Hara, Y. Kumagai, A. Koukitsu, and H. Seki, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, 40(2B), L140(2001). 20
- 【非特許文献8】T. Paskova, P. P. Paskov, V. Darakchieva, S. Tungasmita, J. Birch, and B. Monemar, Phys. Stat. Sol. (a) 183(1) 197(2001).
- 【非特許文献9】B. A. Haskell, F. Wu, M. D. Craven, S. Matsuda, P. T. Fini, S. P. DenBaars, J. S. Speck, and S. Nakamura, Submitted for Publication
- 【非特許文献10】F. Wu, M. D. Craven, S. H. Lim, and J. S. Speck, submitted for publication. 30
- 【非特許文献11】T. S. Zheleva, N. Ok-Hyun, M. D. Bremser, and R. F. Davis, Appl. Phys. Lett. 71(17), 2472(1997).
- 【非特許文献12】N. Ok-Hyun, M. D. Bremser, T. S. Zheleva, and R. F. Davis, Appl. Phys. Lett. 71(18) 2638(1997).
- 【非特許文献13】H. Marchand, J. P. Ibbetson, P. T. Fini, P. Kozodoy, S. Keller, S. DenBaars, J. S. Speck, and U. K. Mishra, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 3, 3(1998). 40
- 【非特許文献14】H. Marchand, X. H. Wu, J. P. Ibbetson, P. T. Fini, P. Kozodoy, S. Keller, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and U. K. Mishra, Appl. Phys. Lett. 73(6) 747(1998).
- 【非特許文献15】A. Sakai, H. Sunakawa, A. Kimura, and A. Usui, Appl. Phys. Lett., 76(4) 442(2000).
- 【非特許文献16】O. Parillaud, V. Wagner, H. Bu(ウムラウト付き)hlman, and M. Ilegems, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res., 3, 40(1998).
- 【非特許文献17】G. Nataf, B. Beaumont, A. Bouille, S. 50

H a f f o u z , M . V a i l l e , a n d P . G i b a r t , J . C r y s t . G r o w t h , 1 9 2 , 7 3 (1 9 9 8) .

【非特許文献18】H . T s u c h i y a , K . S u n a b a , T . S u e m a s u , a n d F . H a s e g a w a , J . C r y s t . G r o w t h , 1 8 9 / 9 0 , 3 9 5 (1 9 9 8) .

【非特許文献19】M . D . C r a v e n , S . H . L i m , F . W u , J . S . S p e c k , a n d S . P . D e n B a a r s , A p p l . P h y s . L e t t . , 8 1 (7) 1 2 0 2 (2 0 0 2) .

【0057】

結論

本発明の好ましい実施形態の説明をまとめる。以下、本発明を実施するためのいくつかの代替実施形態について記載する。

【0058】

好ましい実施形態では、a面GaNをパターニングされたサファイア基板から直接成長させる直接ワンステップ式横方向オーバーグロースプロセスについて記載している。本発明を実施するとき、基板材料としてa面炭化ケイ素が挙げられるが、これに限定されるものではない、他の好適な基板材料を使用してもよい。

【0059】

また、横方向成長プロセス用の基板は、GaN、AlN、AlGaNまたはそれ以外の薄膜の「テンプレート」層で覆われている適切な基板からなってもよい。本発明を実施する際の実施可能な技術として、このようなテンプレートを使用し、順次再成長させることを確立した。

【0060】

種々の成長技術によって低温で、または成長温度もしくはそれ以上の温度で堆積した核形成層を利用し、本技術を使用するHVPEによって順次横方向オーバーグロースさせてもよい。

【0061】

好ましい実施形態では、主に水素を含むキャリアガスを利用する。少量の水素が成長表面上に存在しなければならないが、その他のガスがキャリアガス流中に存在してもよく、たとえば窒素、アルゴンまたはヘリウムを含む（しかしこれに限定されるものではない）。

【0062】

さらに、本発明を実施する際、種々のマスク材料、マスク堆積技術およびパターニング方法を本発明の結果を著しく変化させることなく使用することができる。実際、二酸化ケイ素および窒化シリコンのような誘電材料、およびチタンのような金属材料はいずれも、本発明を実施する際のマスクとして利用することができる。

【0063】

別の代替法は、反応性イオンエッチングなどによって基板上にパターンマスクを堆積する代わりに、基板材料にパターンをエッチングすることである。このような方法では、トレンチの底から成長するGaNがトレンチの上端部に達する前に、未エッチングの平坦域から横方向に成長する膜が接合するように、基板のトレンチの深さおよび幅のほか、系の圧力、特にアンモニア分圧を選択する必要がある。カンチレバーエピタキシーとして公知であるこの技術は、極性c面GaN成長に対して実証されている技術であって、本発明に適合するものと考えられる。

【0064】

本明細書中に記載のマスクパターンの形状は、横方向に成長している膜の挙動に大きく影響を及ぼす。種々のサイズ、形および間隔のアーチャを使用し、さらに基板に対し種々の配向をもつストライプを含むマスクが使用された。それぞれの形の開口部からの成長挙動は異なるが、マスク形状は基本的に本発明の実施に変化をもたらさないことが示された。したがって、GaN核形成が優先される領域およびGaN核形成が阻まれている領域

10

20

30

40

50

をそれぞれいくつか含むマスクであれば、形状に関わらず使用可能である。

【0065】

次に示す文献において議論されているように、リアクタ形状および設計は本発明の実施に影響を及ぼすものと考えられる。本出願と同日出願され本発明の譲受人に譲渡された同時係属のベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による国際出願第PCT/US03/-----号、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性a面窒化ガリウムの成長(GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.94-WO-U1、この出願は本発明の譲受人に譲渡された同時係属の米国特許仮出願、ベンジャミン・A・ハスケル、ポール・T・フィニ、松田成正、マイケル・D・クレイブン、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による第60/433,844号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性a面窒化ガリウムの成長技術(TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR, NON-POLAR A-PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.94-US-P1;およびベンジャミン・A・ハスケル、マイケル・D・クレイブン、ポール・T・フィニ、スティーブン・P・デンバース、ジェームス・S・スペック、中村修二による第60/433,843号、2002年12月16日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長(GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON-POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人識別番号30794.93-US-P1;の優先権を主張し、上記出願は参照として本明細書中に組込まれる。しかし、無極性GaNの横方向オーバーグロースを成功させるために必要な成長パラメータが、リアクタによって変わることもあることを指摘しておかなければならない。このような変更は、基本的に本発明の一般的な実施を変えるものではない。

【0066】

さらに、一般に、膜が接合するポイントまで横方向成長プロセスを継続することが望ましいが、接合は本発明の要件ではない。実際、接合しない横方向オーバーグロースの無極性GaNストライプまたはピラーがより望まれる用途が多くあるものと予想される。したがって、本発明は接合および未接合の横方向オーバーグロースの無極性GaN膜の両方に当てはまる。

【0067】

最後に、本明細書に記載のプロセスを拡張し、複数のウェハを成長させることもできる。特に、多数のウェハ上に膜を同時に成長させるときに本発明を実施することができる。

【0068】

要約すれば、本発明は、HVPEによって成長させた無極性GaNの欠陥低減について記載するものであり、これによって、膜品質が著しく改善され、無極性素子を順次作製するための改良されたGaN基板層を作製することができる。

【0069】

以上、本発明の一つ以上の実施形態を例示および説明のために示した。開示の形態そのものによって本発明を包括または限定することを意図するものではない。上記の教示に鑑みて、多くの変更および変形が可能である。本発明の範囲は、この詳細な記載によってではなく、添付の請求項によって限定されるものである。

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】一般的な六方晶系ウルツ鉱結晶構造の概略図であり、図中、重要な平面およびその軸を特定して示す。

10

20

30

40

50

【図2】本発明の好ましい実施形態による平坦な無極性a面窒化ガリウム(GaN)膜のエピタキシャル横方向オーバークロスを実施する方法を示すフローチャートである。

【図3】a面GaNストライプの断面の走査型電子顕微鏡(SEM)像である。

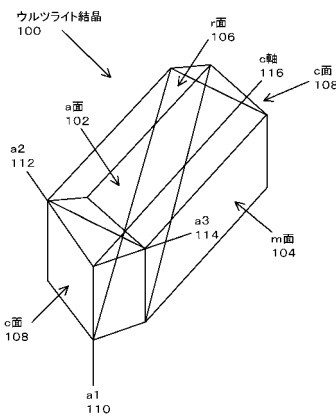
【図4】本発明にかかるストライプの形状を示す図であり、図4(a)は[1-100]ストライプの形状の概略図、図4(b)は、[1-100]配向のストライプを伴って形成されている20μm厚の接合LEO膜の光学顕微鏡によるコントラスト像であり、図4(c)は、接合された二つのストライプの原子間力顕微鏡の10×10μmトポグラフである。

【図5】本発明にかかるLEOウェハ、接合膜及びLEO膜に関する画像であり、図5(a)は、[1-100]_{GaN}配向のSiO₂ストライプの周期的配列がパターンニングされているLEOウェハの断面のSEM画像であり、図5(b)は、[1-100]_{GaN}配向のSiO₂ストライプの周期的配列がパターンニングされているLEOウェハの断面のSEM画像であり、図5(c)は、接合膜の平面のSEM画像であり、図5(d)は、接合膜の陰極線ルミネセンス(CL)画像である。

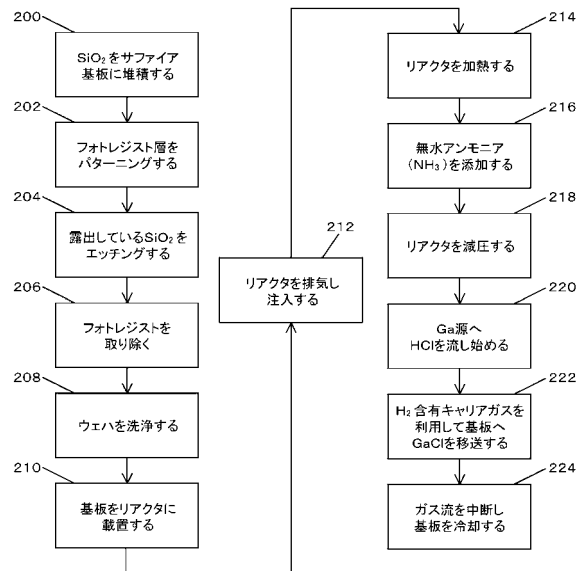
【図6】本発明のTEM画像であり、図6(a)は、1-100のgベクトルで画像化したLEO膜の平面のTEM画像、図6(b)は、01-10のgベクトルで画像化したLEO膜の平面のTEM画像、図6(c)は、01-10のgベクトルで画像化したLEO膜の断面のTEM画像を示す。

10

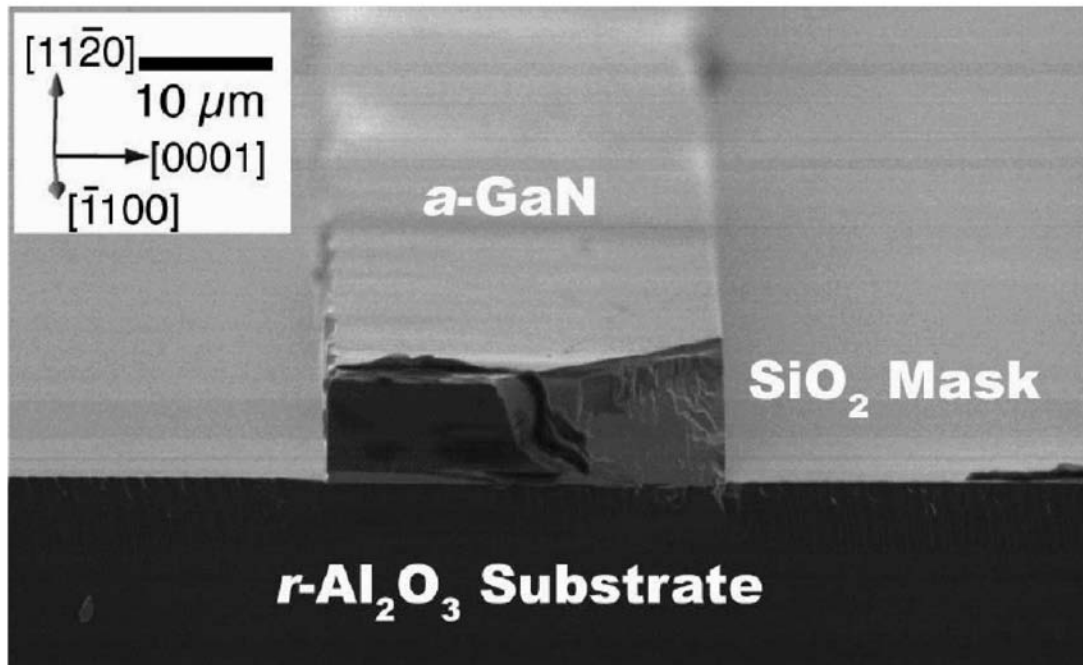
【図1】



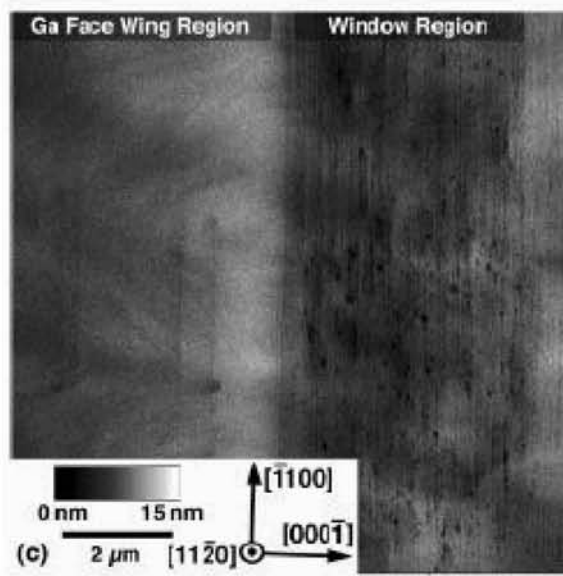
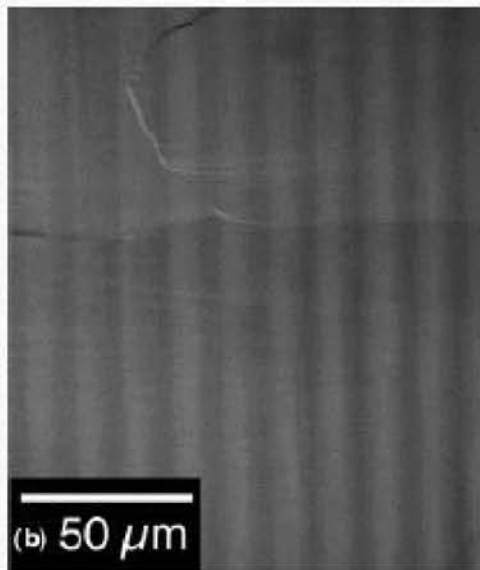
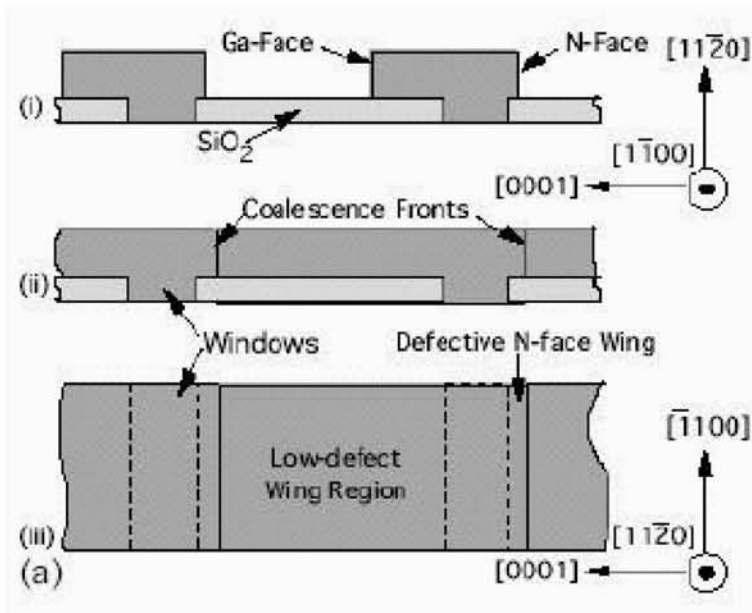
【図2】



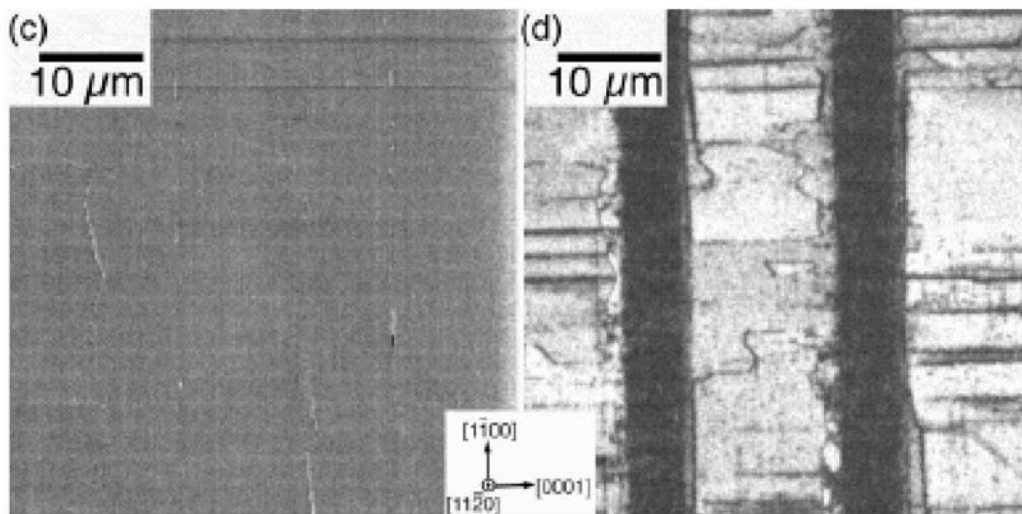
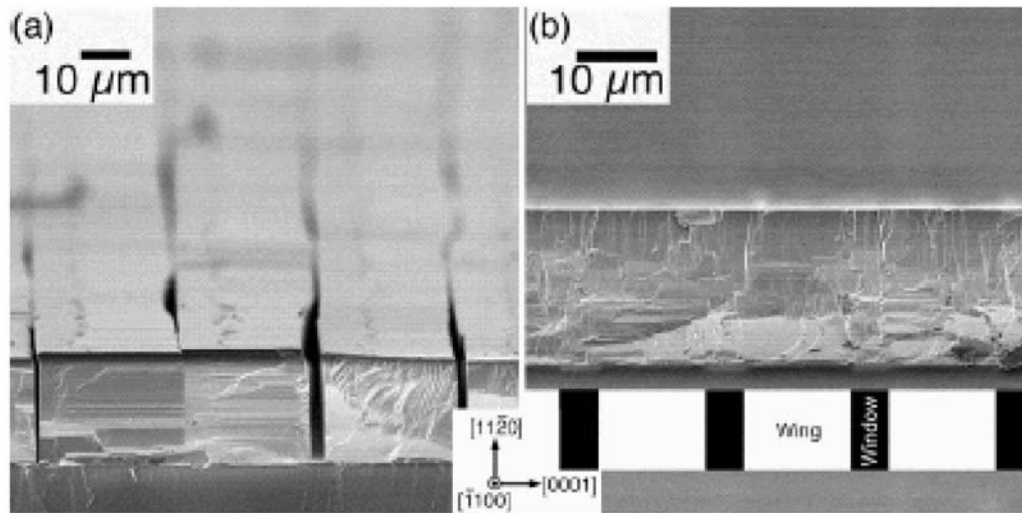
【 図 3 】



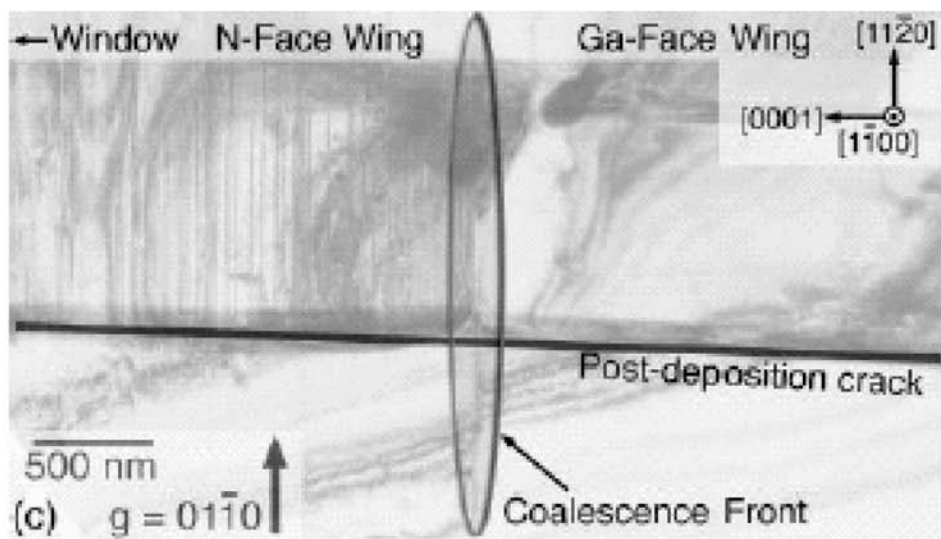
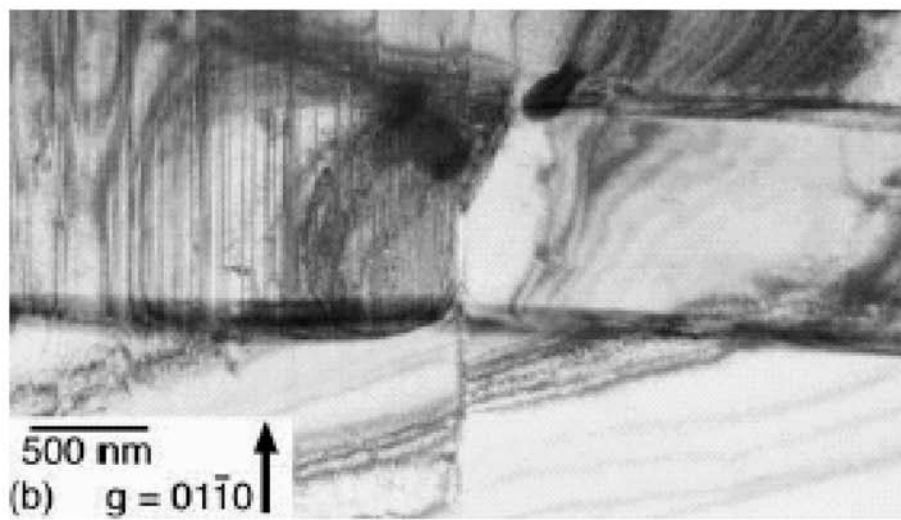
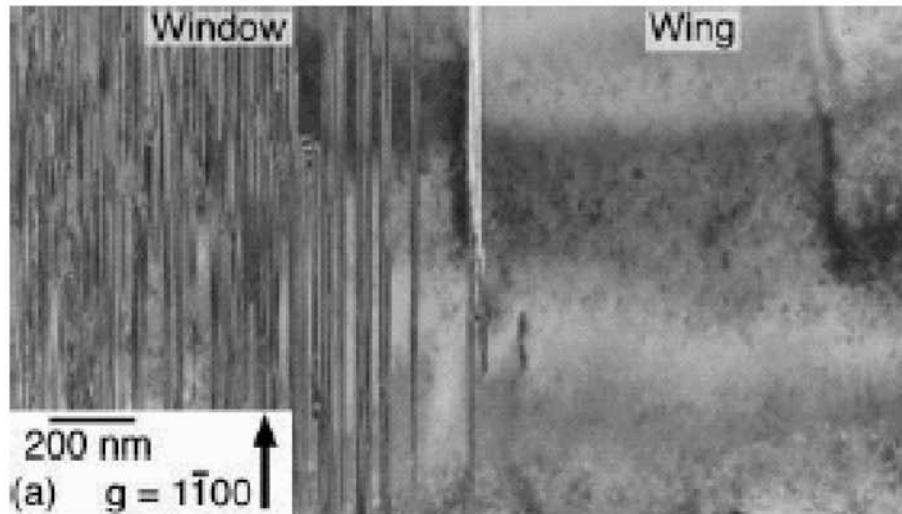
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ベンジャミン・エー・ハスケル
米国、カリフォルニア州 93117、ゴレタ、207、クローバー ウォーク 724
- (72)発明者 マイケル・ディー・クレイブン
米国、カリフォルニア州 95130、サン ノゼ、メイフィールド アベニュー 1903
- (72)発明者 ボール・ティエ・フィニ
米国、カリフォルニア州 93101、サンタ バーバラ、ウエスト メイソン ストリート 218
- (72)発明者 スティーブ・ピー・デンバース
米国、カリフォルニア州 93117、ゴレタ、キング ダニエル レーン 287
- (72)発明者 ジェームス・エス・スベック
米国、カリフォルニア州 93117、ゴレタ、ウエスト キャンパス レーン 947
- (72)発明者 中村 修二
米国、カリフォルニア州 93110、サンタ バーバラ、ピエハ ドライブ 4517

審査官 今井 淳一

- (56)参考文献 特開2001-345281(JP,A)
特開2000-277437(JP,A)
特開2000-223418(JP,A)
M.D.Craven et al., Structural characterization of nonpolar (11-20)a-plane GaN thin films grown on (1-102)r-plane sapphire, Applied Physics Letters, 米国, American institute of Physics, 2002年 7月15日, Vol.81/No.3, pp.469-471

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/205
H01L 21/02