

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4947867号
(P4947867)

(45) 発行日 平成24年6月6日(2012.6.6)

(24) 登録日 平成24年3月16日(2012.3.16)

(51) Int.Cl. F I
 H O 1 L 21/205 (2006.01) H O 1 L 21/205
 H O 1 L 21/20 (2006.01) H O 1 L 21/20

請求項の数 42 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2001-530903 (P2001-530903)	(73) 特許権者	592054856
(86) (22) 出願日	平成12年10月11日 (2000.10.11)		クリー インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2003-511871 (P2003-511871A)		C R E E I N C .
(43) 公表日	平成15年3月25日 (2003.3.25)		アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
(86) 国際出願番号	PCT/US2000/028056		7703 ダラム シリコン ドライブ
(87) 国際公開番号	W02001/027980		4600
(87) 国際公開日	平成13年4月19日 (2001.4.19)	(74) 代理人	100140109
審査請求日	平成19年10月3日 (2007.10.3)		弁理士 小野 新次郎
(31) 優先権主張番号	60/159,299	(74) 代理人	100089705
(32) 優先日	平成11年10月14日 (1999.10.14)		弁理士 社本 一夫
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100076691
			弁理士 増井 忠式
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体構造及び該半導体構造を製造する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上で窒化ガリウム系半導体構造を製造する方法であって、

少なくとも1つのトレンチと該トレンチに隣接している少なくとも1つの凸部との両方を含む基板上マスクであって、基板の凸部上において少なくとも1つの開口部を有する基板上マスクを形成するマスク形成ステップと、

該基板上マスクの開口部内において、基板の凸部上に緩衝層を成長させる緩衝層成長ステップと、

窒化ガリウム、及び窒化ガリウムのIII族窒化物合金から成る群より選択されるエピタキシャル層を、緩衝層から上方に且つトレンチを横断して横方向に成長させるエピタキ

を含むことを特徴とする製造方法。

【請求項2】

請求項1記載の製造方法において、該方法はさらに、基板中に少なくとも1つのトレンチを形成し、それによって、該トレンチと該トレンチに直接に隣接する凸部との両方を画定するステップを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項3】

請求項1又は2記載の製造方法において、緩衝層成長ステップにおいて、緩衝層は基板上マスクに比べて厚くなるまで成長されることを特徴とする製造方法。

【請求項4】

10

20

請求項 1 又は 2 記載の製造方法において、トレンチに隣接している凸部は少なくとも 2 つであり、エピタキシャル層成長ステップは、エピタキシャル層がトレンチを覆って合体するまで、エピタキシャル層を成長させることを特徴とする製造方法。

【請求項 5】

請求項 1 又は 2 記載の製造方法において、マスク形成ステップは、マスクを形成するステップ及び次いで開口部を形成するステップを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項 6】

請求項 1 又は 2 記載の製造方法において、マスク形成ステップは、炭化珪素基板上にマスクを形成することを特徴とする製造方法。

【請求項 7】

請求項 2 記載の製造方法において、トレンチ形成ステップは、基板中にトレンチをエッチングするステップを特徴とする製造方法。

【請求項 8】

請求項 7 記載の製造方法において、エッチングするステップは、反応性イオンエッチングにより実行されることを特徴とする製造方法。

【請求項 9】

請求項 1 又は 2 記載の製造方法において、緩衝層形成ステップは、気相エピタキシーを用いて緩衝層を形成するステップを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項 10】

請求項 1 又は 2 記載の製造方法において、マスク形成ステップは、プラズマ増強化学気相成長、スパッタリング、反応性スパッタリング、電子ビーム蒸着及び熱酸化から成る群より選択される技術を用いて、マスクを形成することを特徴とする製造方法。

【請求項 11】

請求項 7 記載の製造方法において、

エッチングするステップは、炭化珪素基板中に複数の実質的に平行なトレンチをエッチングして、その間に該基板の各凸部を画定するステップを含み、

エピタキシャル層成長ステップは、窒化ガリウム、及び窒化ガリウムの III 族窒化物合金から成る群より選択されるエピタキシャル層を、緩衝層から垂直方向及び水平方向に成長させ、かつ複数のトレンチを横断させて延ばすステップを含んでいる

ことを特徴とする製造方法。

【請求項 12】

請求項 11 記載の製造方法において、エピタキシャル層として窒化ガリウム層が選択され、該窒化ガリウム層の垂直方向及び水平方向の成長速度が、マスク上で形成することができる多結晶質材料が窒化ガリウム層の水平方向成長を妨害しない充分な速度に維持されることを特徴とする製造方法。

【請求項 13】

請求項 12 記載の製造方法において、窒化ガリウム層の水平方向の成長速度は、垂直方向の成長速度に等しいか又はそれを超える速度に維持されることを特徴とする製造方法。

【請求項 14】

請求項 12 記載の製造方法において、窒化ガリウム層の水平方向の成長速度と垂直方向の成長速度との比を、1 : 1 ~ 4、2 : 1 に維持することを特徴とする製造方法。

【請求項 15】

請求項 12 記載の製造方法において、窒化ガリウム層の水平方向の成長速度が垂直方向の成長速度の 4、2 倍を超えるように維持することを特徴とする製造方法。

【請求項 16】

請求項 13 記載の製造方法において、水平方向の成長速度を、1 時間当たり約 2 ~ 8 ミクロンに維持することを特徴とする製造方法。

【請求項 17】

請求項 11 記載の製造方法において、該方法は、プラズマ増強化学気相成長、スパッタリング、反応性スパッタリング、電子ビーム蒸着及び熱酸化から成る群より選択される技術

10

20

30

40

50

を用いて、基板をマスキングするステップを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項 18】

請求項 11 記載の製造方法において、 $\langle 1100 \rangle$ 方向に SiC 基板の (0001) 表面をマスキングするステップを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項 19】

請求項 11 記載の製造方法において、緩衝層成長ステップは、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$) の層を成長させるステップを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項 20】

請求項 19 記載の製造方法において、緩衝層が基板に対して導電性界面を形成することを特徴とする製造方法。

10

【請求項 21】

請求項 19 記載の製造方法において、緩衝層成長ステップは、ソースガスとして、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、及びアンモニアを用いる気相エピタキシーによって、緩衝層を成長させることを特徴とする製造方法。

【請求項 22】

請求項 11 記載の製造方法において、緩衝層成長ステップは、緩衝層をマスクに比べて厚くなるまで成長させることを特徴とする製造方法。

【請求項 23】

請求項 11 記載の製造方法において、エピタキシャル層成長ステップは、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、及びアンモニアから成る群より選択される 1 種類以上のソースガスを用いる気相エピタキシーによって、エピタキシャル層を成長させることを特徴とする製造方法。

20

【請求項 24】

請求項 11 記載の製造方法において、該方法は、トレンチされた基板をマスキングしながら窓を形成するステップを含むことを特徴とする製造方法。

【請求項 25】

半導体構造であって、

上表面を有する基板であって、上表面に形成され、間にトレンチを確定する少なくとも 2 つの凸部を有している基板と、

該基板の上表面の直上にあり、少なくとも 2 つの窓を有するマスクであって、基板の凸部の上表面の少なくとも一部分を露出する窓を有するマスクと、

30

窒化ガリウム及び窒化ガリウムの III 族窒化物合金から成る群より選択され、マスクの窓から上方に且つマスクを横断して水平方向に延びて、窓の間において且つ該マスク上で核形成した多結晶質材料を覆って合体したオーバーグロースされたエピタキシャル層であって、マスクの窓から上方に、且つマスクを覆って水平方向に、マスクを横断して延びているエピタキシャル層と

を含んでいることを特徴とする半導体構造。

【請求項 26】

請求項 25 記載の半導体構造において、マスクが耐熱性金属を含むことを特徴とする半導体構造。

40

【請求項 27】

請求項 25 記載の半導体構造において、マスクが反射性であることを特徴とする半導体構造。

【請求項 28】

請求項 25 記載の半導体構造において、マスクがブラッグ反射器であることを特徴とする半導体構造。

【請求項 29】

請求項 25 記載の半導体構造において、マスクは、 Si_xN_y 、 SiO_2 、白金及びタングステンから成る群より選択されていることを特徴とする半導体構造。

【請求項 30】

50

請求項 2 5 記載の半導体構造において、基板は、炭化珪素、サファイア、珪素、ひ化ガリウム及び酸化亜鉛から成る群より選択されていることを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 1】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、基板が、炭化珪素であって、4 H、6 H、3 C 及び 1 5 R のポリタイプから成る群より選択されたポリタイプを有することを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 2】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、該半導体構造はさらに、基板とエピタキシャル層との間に緩衝層を含むことを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 3】

請求項 3 2 記載の半導体構造において、緩衝層は該基板に対して導電性界面を形成することを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 4】

請求項 3 2 記載の半導体構造において、基板がサファイアを含み、緩衝層が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$) から形成されることを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 5】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、該半導体構造は、マスク上に核形成された多結晶質材料を含むことを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 6】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、核形成された多結晶質材料はトレンチの中にあることを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 7】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、基板は、炭化珪素、サファイア、珪素、ひ化ガリウム及び酸化亜鉛から成る群より選択されていることを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 8】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、基板は、炭化珪素及びサファイアから成る群より選択され、半導体構造がさらに、基板とエピタキシャル層との間に緩衝層を含むことを特徴とする半導体構造。

【請求項 3 9】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、マスクは、 Si_xN_y を含むことを特徴とする半導体構造。

【請求項 4 0】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、エピタキシャル層の部分が、少なくとも 1 つのトレンチを覆って合体されていることを特徴とする半導体構造。

【請求項 4 1】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、マスクの窓において、基板上に緩衝層を含むことを特徴とする半導体構造。

【請求項 4 2】

請求項 2 5 記載の半導体構造において、該半導体構造は、複数のトレンチと、複数の凸部とを含み、該凸部の少なくとも 2 つが、その中に該窓を有することを特徴とする半導体構造。

【発明の詳細な説明】

【0001】

発明の分野

本発明は、電子デバイス構造及びその作製方法に関するものであり、詳しくは III 族窒化物半導体構造、及びペンドオエピタキシャルオーバーグロース及び横方向エピタキシャルオーバーグロース (pendeo- and lateral epitaxial overgrowth) によるその作製方法に関するものである。

【0002】

背景

10

20

30

40

50

窒化ガリウム (GaN) は、青色発光ダイオードにおける活性層として有用であることが広く知られているワイドバンドギャップ半導体材料である。また、GaNは、レーザーダイオード及び高速高出力トランジスタデバイスを含む他のマイクロ電子デバイスにおける使用に関しても研究されている。本明細書で用いる「窒化ガリウム」又は「GaN」とは、窒化ガリウム及びそのIII族窒化物合金、例えば窒化アルミニウムガリウム (AlGaN)、窒化インジウムガリウム (InGaN) 及び窒化アルミニウムインジウムガリウム (AlInGaN) を意味している。

【0003】

GaNの高品質バルク結晶は、工業用には現在市販されていない。而して、GaN結晶は、典型的には、非GaN下地基板上を覆うヘテロエピタキシャル層として作製される。残念なことに、GaNは、最も適する基板結晶に関してかなりの格子不整合を有する。例えば、GaNは、サファイアに関して15%の格子不整合を有し、炭化珪素に関して3.5%の格子不整合を有する。基板とエピタキシャル層との間の格子不整合によって、成長エピタキシャル層の中を伝搬し得る貫通転位が引き起こされる。窒化アルミニウム緩衝層を有する炭化珪素上で成長させるときでも、GaNエピタキシャル層は、 $10^8/\text{cm}^2$ 超と概算される転位密度を示す。前記欠陥密度によって、例えばレーザーダイオードのような高度に敏感な電子デバイスにおけるGaNの有用性が制限される。

【0004】

GaNの横方向エピタキシャルオーバーグロース (LEO) は、エピタキシャル成長GaN膜の転位密度を低減させる方法として最初に導入されたので、非常に興味深いテーマであった。本質的に、前記技術は、開口部のパターンを有するマスクでGaNの下地層をマスクする工程、及びGaNを前記マスク上へ且つ横方向に成長させる工程から成る。マスクを覆って横方向に成長したGaN層の部分は、GaN下地層に比べて、又はマスク開口部の上方にあるGaN層の部分に比べて、転位密度がはるかに低いことを見出した。本明細書で用いる「横方向」又は「水平」とは、基板の表面に対して一般的に平行な方向を意味しており、また「垂直」とは、基板の表面に対して一般的に平行な直角な方向を意味している。

【0005】

従来のLEO法の1つの欠点は、GaN下地層を成長させ、そのGaN層をマスクし、次に横方向の層を成長させるために、別個のプロセス工程が必要である点である。LEOの初期の態様では、望ましくない核形成が、低温において、GaN層の核形成中に、マスク上で起こると考えられるので、非GaN基板上にマスクを直接に配置しなかった。それにより、隣接横方向成長領域が合体するのが防止される (又は、合体が必要とされない場合、所望の距離で横方向に成長することが防止される)。マスクをGaN層上に直接配置するとき、マスク上での望ましくない核形成は典型的には問題ではない。その理由は、低温核形成が必要ではなく、且つGaNの成長温度が、非常に高く、典型的には1000℃を超えるからである。高温成長中、望ましくない核形成はマスク上では起こらない。その理由は、マスクに比べて窒化ガリウム表面上においては、ガリウム原子の粘着係数をはるかに高いからである。

【0006】

この欠点は、LEOのための「一段 (single step)」プロセスによって対処され、いくつかの成功が得られた。Shealyらは、下地 (underlying) SiC基板又は下地サファイア基板を窒化珪素でマスクするプロセスを開示した。前記プロセスは、基板とマスクとの間にGaNの中間層を成長させる必要がないので、「一段」と呼ばれる。Shealyは、窒化珪素マスク上での核形成を最少にすると、マスクを覆って横方向に成長したGaNの比較的欠陥のない層が成長することを見出した。しかしながら、ある種の環境下では、マスク上での核形成を最少にする必要がないようにすることが望ましいが、それでもなお、一段プロセスでGaNの比較的欠陥のない層を成長させることができる。

【0007】

本発明の目的及び概要

10

20

30

40

50

而して、マスク層上での核形成を最少にする必要がなく、一段プロセスで窒化ガリウムの比較的欠陥のない単結晶膜を作製する方法に関して当業においてニーズがある。

【0008】

更に、導電性基板と窒化ガリウムのエピタキシャル層との間の電氣的連絡を可能にする導電性緩衝層を提供するマスク層上での核形成を最少にする必要がない一段プロセスで窒化ガリウムの比較的欠陥のない単結晶膜を作製する方法に関して当業においてニーズがある。

【0009】

本発明の目的は、マスク層上での核形成を最少にする必要がなく、一段プロセスで窒化ガリウムの比較的欠陥のない単結晶膜を作製する方法を提供することにある。

10

【0010】

本発明の更なる目的は、導電性基板と窒化ガリウムのエピタキシャル層との間の電氣的連絡を可能にする導電性緩衝層を提供するマスク層上での核形成を最少にする必要がなく、一段プロセスで窒化ガリウムの比較的欠陥のない単結晶膜を作製する方法を提供することにある。

【0011】

上記及び他の目的は、基板上で窒化ガリウム系半導体構造を作製する方法によって達成される。前記方法は、直接に基板上において、その中に少なくとも1つの開口部を有するマスクを形成する工程、少なくとも1つの該開口部を通過させて緩衝層を成長させる工程、及び該緩衝層から上方に且つ該マスクを覆って横方向に窒化ガリウム層を成長させる工程を含む。マスクからの窒化ガリウムの成長中、窒化ガリウム層の垂直方向及び水平方向の成長速度は、該マスク上で核形成する多結晶質材料が窒化ガリウム層の横方向成長を妨害しない十分な速度に維持される。

20

【0012】

別の態様では、本発明の方法は、基板において隣接トレンチを画定する少なくとも1つの凸部 (raised portion) を形成する工程、及び基板上において、凸部の上表面を覆う少なくとも1つの開口部を有するマスクを形成する工程を含む。緩衝層は、凸部の上表面から成長させることができる。次に、窒化ガリウム層を、トレンチを覆うペンデオエピタキによって横方向に成長させる。

【0013】

別の態様では、本発明は、基板上に窒化ガリウム系半導体構造を提供する。前記構造は、基板と、該基板の上表面上に直接施用され、その中に少なくとも1つの窓を含むマスクとを含む。窒化ガリウムの成長層は、マスクの窓から上方へと且つマスクを覆うように横方向に延び、マスク上で多結晶質材料が核形成し成長した。

30

【0014】

別の態様では、基板は、隣接トレンチを画定する少なくとも1つの凸部を含む。マスク構造を基板上に形成し、マスクの窓は凸部の上表面の一部を晒す。窒化ガリウムのオーバーグローさせた層は、マスク窓から上方へ、トレンチを覆うように且つマスクを横断して延び、マスク上で多結晶質材料が核形成し成長した。

【0015】

以下、本発明の好ましい態様を示している添付の図面を参照することによって、本発明を更に完全に説明する。しかしながら、本発明は、多くの異なる形態で具体化することができ、本明細書で記載される態様に限定されると解釈すべきではない。むしろこれらの態様は、この開示が、綿密で完全であって、当業者に対して本発明の範囲を完全に伝達するように提供される。同じ番号は同じ要素を指している。更に、図に示してある様々な層及び領域は概略図である。当業者に理解されるように、本明細書では、基板又は他の層「上」に形成された層は、基板上若しくは他の層上若しくは介在層 (intervening layer) 上に直接形成された層、又は基板上若しくは他の層上に形成された層を意味することができる。本明細書では、基板若しくは他の層「上に直接」形成された層は、介在層を用いずに基板上に形成された層、又は基板上若しくは他の層上に形成された層を意味する。本発明は

40

50

、添付の図面に示されている相対的な大きさ及び間隔に限定されない。

【0016】

基本的なLEO法は、A. Usui, et al., "Thick GaN epitaxial growth with low dislocation density by hydride vapor phase epitaxy," Jpn. J. Appl Phys. Vol. 36, pp. L899-902 (1997) で説明されている。ペンデオエピタキシャル法を含む様々なLEO法は、1998年2月27日に出願された"Gallium Nitride Semiconductor Structures Including a Lateral Gallium Nitride Layer that Extends From an Underlying Gallium Nitride Layer"という名称の米国特許出願第09/032, 190号；1998年2月27日に出願された"Gallium Nitride Semiconductor Structures Including Laterally Offset Patterned Layers"という名称の米国特許出願第09/031, 843号；1998年11月24日に出願された"Pendeoepitaxial Methods of Fabricating Gallium Nitride Semiconductor Layers on Silicon Carbide Substrates by Lateral Growth from Side walls of Masked Posts, and Gallium Nitride Semiconductor Structures Fabricated Thereby"という名称の米国特許出願第09/198, 784号；及び1998年6月10日に出願された"Methods of Fabricating Gallium Nitride Semiconductor Layers by Lateral Growth from Sidewalls into Trenches, and Gallium Nitride Semiconductor Structures Fabricated Thereby,"という名称の米国特許出願第60/088, 761号で説明されており、前記特許出願のそれぞれの開示は参照として本明細書に取り入れられる。

10

【0017】

図1には、ストライプ14aと14bとを含むマスク層14が堆積している基板10が示してある。ストライプパターンは、どちらの側にも周期的に又は非周期的に続けることができるが、簡便のためにストライプ14a及び14bのみが図示してある。ストライプ14a, 14bは、幅(w)を有し、マスク開口部又は窓長(L)を有する窓6によって分離されていることを特徴とする。ストライプ14aのエッジと、ストライプ14bの対応するエッジとの間の距離は、マスクパターンの周期(p)として規定され、少なくともストライプ14a及びストライプ14bに関しては $p = w + L$ である。

20

【0018】

マスク層は、プラズマ増強化学気相成長(PECVD)、スパッタリング、電子ビーム蒸着、熱酸化又は他の蒸着法を用いて堆積させ、次に、標準的なフォトリソグラフィ法を用いてパターン形成することができる。PECVD法は、Chapter 6 of S.M. Sze, VLSI Technology, 2nd ed., McGraw-Hill 1988において詳細に説明されている。フォトリソグラフィ法は当業において公知である。

30

【0019】

図2に示してあるように、ストライプ14a及び14bは、好ましくは、(0001)平面において、 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ 結晶学的方向に沿って配向される。(本明細書で用いる結晶学的表記法(Crystallographic designation convention)は、当業において公知であり、更に説明する必要はない)マスク層14は、窒化珪素(Si_xN_y)又は二酸化珪素(SiO_2)又は任意の他の適当なマスク材料を含むことができる。作製される構造が、例えばLED又はレーザーダイオードのような光デバイスで用いることが意図される場合、マスク層14は、アンモニアガス及び水素ガス中で安定であって、約1200°Cを超える融点を有し、及び所望の波長を反射する反射性又は耐熱性の金属(reflective or refractory metal)を含むことができる。前記金属としては、例えばタングステン(W)及び白金(Pt)が挙げられる。別法として、マスク層は、 Si_xN_y と SiO_2 又は他の酸化物との交互層を含むことができるブラッグ反射器を含んでいても良いと考えられる。前記の設計は当業において公知である。

40

【0020】

基板は、炭化珪素、サファイア(Al_2O_3)、珪素、ZnO、又は任意の他の同様に適当な基板であっても良い。炭化珪素基板は、多くの理由から有利である。炭化珪素は、より近い格子と熱膨張率の組合わせをGaNに対して提供し、熱的及び化学的に安定であり、自然劈開面(natural cleave plane)及び高い熱伝導率を有し、及び380nm以下の可

50

視波長に対して透明である。また、炭化珪素は、導電性であって、縦型デバイス (vertical-geometry device) の作製が可能であるという卓越した利点を有する。炭化珪素基板は、4 H, 6 H, 3 C 又は 1 5 R のポリタイプを有することができる。しかしながら、好ましくは、基板は 6 H-S i C (軸上) である。

【0021】

基板 10 の作製は当業者には公知である。炭化珪素基板の作製は、例えば Palmour らに与えられた米国特許第 4, 865, 685 号、Davis らに与えられた再発行特許第 34, 861 号、Kong らに与えられた第 4, 912, 064 号、及び Palmour らに与えられた第 4, 946, 547 号で説明されており、前記特許のそれぞれの開示は参照として本明細書に取り入れられる。サファイア基板及び珪素基板の作製は、当業において公知であり、詳細に説明する必要はない。

10

【0022】

図 3 に関して、エピタキシャル層 20 は、最初に基板 10 の表面上に緩衝層 12 を成長させることによって作製することができる。エピタキシャル層 20 は、窒化ガリウム又はその III 族窒化物合金、例えば窒化アルミニウムガリウム (AlGa_N)、窒化インジウムガリウム (InGa_N)、又は窒化アルミニウムインジウムガリウム (AlInGa_N) を含むことができる。S i C 基板に関して、緩衝層は、好ましくは、Al_xGa_{1-x}N (式中、x は合金中に存在するアルミニウムのモル分率を表し、0 < x ≤ 1 である) から成る層 12 を含む。炭化珪素基板の場合、緩衝層 12 は、1997 年 10 月 7 日に出願された "Group III Nitride Photonic Devices On Silicon Carbide Substrates with Conductive Buffer Interlayer Structure" という名称の同時に継続し共通に譲渡された米国特許出願第 08/944, 547 号で説明されている構造を有することができる。前記出願の開示は参照として本明細書に取り入れられる。

20

【0023】

好ましくは、一番上の緩衝層は、Al を 9 モル% ~ 12 モル% 含み、厚さは約 1000 ~ 5000 Å である。緩衝層を堆積させる前に、米国特許出願第 08/944, 547 号で説明されているように、S i C 基板上にキャップされた GaN ドット (capped GaN dot) を形成することによって、緩衝層 12 を S i C に対して導電性にすることができる。

【0024】

サファイア基板又は珪素基板に関して、低温 GaN, AlN 又は AlGa_N 緩衝を成長させることができる。

30

図 3 に示してあるように、AlGa_N 緩衝層 12 は、気相エピタキシー (VPE) 法、例えばヒドリド気相エピタキシー (HVPE)、又は更に好ましくは有機金属気相エピタキシー (MOVPE) を用いてマスク開口部 6 から垂直に成長させることができる。好ましい態様では、緩衝層 12 は、マスク層 14 に比べて厚くなるまで成長させる。緩衝層 12 を所望の厚さまで成長させたら、次に、エピタキシャル層 20 を、VPE によって、好ましくは緩衝層を成長させたのと同じ運転又は工程で成長させる。

【0025】

図 3 A に示してあるように、エピタキシャル層 20 は、垂直方向に加えて横方向 (すなわち、基板の面に対して平行) に成長させる。横方向成長フロント 22 は、層 20 が成長するにつれて、マスクストライプ 14 の表面を横断する。

40

【0026】

再び図 3 を参照されたい。1 つの態様では、エピタキシャル層 20 は、成長フロント 22 が界面 24 で合体して窒化ガリウムの連続層 20 を形成するまで、横方向に成長する。しかしながら、成長フロントが隣接部分と合体しなかったとしても、GaN の横方向にオーバーグロースさせた部分においてデバイスを作製することができるので、成長フロントがすべての用途のために合体する必要はない。図 9 に示してあるように、層 20 の有用な部分は、隣接部分と合体させずに作製することができる。例えば、レーザーダイオードストライプは、合体しなかった層 20 の領域において作製することができる。LED を作製するためには、合体層が好ましい。例えば、幅 250 μm で長さ 275 μm の LED デバイスを

50

、本発明にしたがって成長させた窒化ガリウムの合体層上で作製することができる。

【0027】

緩衝層12及びオーバーグロス層20は、 H_2 希釈剤中、トリメチルガリウム（TMG）、トリメチルアルミニウム（TMA）及びアンモニア（ NH_3 ）前駆体を用いて成長させることができる。適当なMOVPE成長法は、T. Weeks et al., "GaN thin films deposited via organometallic vapor phase epitaxy on α (6H) -SiC (0001) using high-temperature monocrystalline AlN buffer layers," Appl. Phys. Lett., Vol. 67, No. 3, July 1995, pp. 401-403で詳細に説明されている。

【0028】

窒化ガリウムの層20が成長している間、多結晶質 $Al_xGa_{1-x}N$ 30の核形成及び成長が、マスクストライプ14の暴露された上表面で典型的に起こり始める。図4に示してあるように、マスク上における $Al_xGa_{1-x}N$ の成長速度が速すぎる場合、層20の横方向成長が妨害され、横方向にオーバーグロスされた材料の所望の幅を形成するのを層20が妨害し、且つ／又は層20が隣接領域と合体するのが妨害される。本質的には、マスク上多結晶質 $Al_xGa_{1-x}N$ 30は、垂直方向に成長し、単結晶層20の横方向成長をブロックする。

10

【0029】

本発明者は、層20の水平方向及び垂直方向の成長速度を制御することにより、多結晶質 $Al_xGa_{1-x}N$ 30によって横方向成長層20が妨害されるのを防止できることを発見した。層20の垂直方向の成長速度と比較して、構造の形状にしたがって所定の量だけ、層20の横方向成長速度を増大させることによって、マスク上の核形成にもかかわらず、所望の距離まで層20を成長させることができる。

20

【0030】

換言すれば、層20の横方向成長速度を、垂直方向の成長速度に比べて十分に速い速度に維持すると、層20が任意の多結晶質核形成を覆って成長し、且つマスク上で成長するので、マスク上核形成を制御する必要はなくなる。

【0031】

特定の例として、横方向成長速度の垂直方向成長速度に対する割合を少なくとも1:1に維持することによって、約10%のAl濃度を有する核形成層から30 μ の間隔を有するパターンにおいて、幅5 μ を有するストライプ上で横方向にオーバーグロスされるGaN層を成長させることができることを発見した。横方向／垂直方向の成長速度比を4:1に維持することにより、幅25 μ のストライプを有するマスクを覆ってGaN層を成長させることができる。図5に示してあるように、横方向成長速度を十分な量だけ垂直方向成長速度を超えさせると、層20の成長フロントは、ストライプ14a及び14b上で成長している多結晶質 $AlGa$ Nが層20をブロックするほど十分に大きく成長する前に、合体することができる。

30

【0032】

関連のある成長因子を制御する機構を詳細に説明する。オーバーグロスされる層20の横方向及び垂直方向の成長速度は、多くの因子によって制御される。1つの制御因子は、窓長（L）のストライプ間隔（p）に対する割合として本明細書で規定される、いわゆる「充填率（fill factor）」である。所定の窓長にとって、充填率が高い（すなわち、所定の間隔に関して窓長が長い）と、垂直方向の成長速度が遅くなる。逆に、所定の窓長にとって、充填率が低いと、垂直方向の成長速度が増大する。横方向及び垂直方向の成長速度を制御するための他の因子は、成長温度、ソースガス流量、ソースガス窒素／ガリウム比、及び成長圧力である。

40

【0033】

所望ならば、層20の横方向に成長する成長フロント22がマスクを覆って合体したら、成長条件を調整して、垂直方向の成長速度を増大させることができる。

【0034】

用いられる特定のエピタキシャル成長反応器の構造に依存するが、本明細書で説明する速

50

度に関する典型的な成長パラメーターを以下に要約する。

パラメーター	値
成長温度	1 0 6 0 ~ 1 1 2 0 °C
成長圧力	5 0 ~ 2 0 0 トル
N / G a 比	2 5 0 0
充填率	0 . 7 1 4 ~ 0 . 8 3 3
横方向成長速度 / 垂直方向成長速度	1 ~ 4 . 2

表 1 - 典型的な成長パラメーター

好ましくは、約 2 ~ 8 μ /時の横方向成長速度及び約 1 ~ 2 μ /時の垂直方向成長速度を選択すべきである。充填率 0 . 7 1 のためにストライプ幅 1 0 μ 、窓幅 2 5 μ 及び間隔 3 5 μ を有する S i _x N_y ストライプのパターン形成マスク上に、1 1 1 0 °C 及び 2 0 0 トルの MOVPE によって層 2 0 を成長させることにより、横方向成長速度 6 . 3 μ /時及び垂直方向成長速度 1 . 5 μ /時 (4 . 2 : 1 比) を達成することができる。層 2 0 が成長している間の N / G a 比は、好ましくは約 2 5 0 0 である。横方向成長速度の垂直方向成長速度に対する割合は 4 . 2 : 1 を超えることができる。

【0035】

緩衝層を成長させるために、1 5 . 5 slpm の H₂ 希釈剤中において、TMG を 3 4 . 8 μ モル/分、TMA を 6 . 5 μ モル/分、及びアンモニアを 1 0 slpm の流量で流すことができる。緩衝層が所望の厚さまで成長したら、GaN 層が所望の厚さに成長するまで、2 2 . 5 slpm の H₂ 希釈剤中において TMG を 3 0 9 μ モル/分及びアンモニアを 1 7 slpm の流量で流すことによって層 2 0 を成長させることができる。

【0036】

充填率 0 . 7 1 のためにストライプ幅 1 0 μ 、窓幅 2 5 μ 及び間隔 3 5 μ を有する S i _x N_y ストライプのパターン形成マスク上に、1 0 6 0 °C 及び 2 0 0 トルの MOVPE によって層 2 0 を成長させることにより、4 . 2 μ /時の横方向及び垂直方向の成長速度 (1 : 1 比) を達成することができる。層 2 0 の成長中における N / G a 比は、好ましくは約 2 5 0 0 である。4 . 2 : 1 を超える比を含む他の割合は、他の成長パラメーターを選択することによって達成することができる。

【0037】

ペンデオエピタキシャル成長を用いる本発明の態様は図 6 に示してある。この態様では、基板 1 0 をエッチングして、基板 1 0 上において隣接する凹領域又はトレンチ 1 8 を画定する少なくとも 1 つの凸部 1 5 を形成する。図 6 には、標準的なフォトリソグラフィ法及び反応性イオンエッチングを用いて一対の凸部 1 5 a, 1 5 b をパターン形成した態様が図示してある。好ましくは、凸部 1 5 の高さ (すなわち、トレンチ 1 8 の深さ) は少なくとも 1 μ である。次に、S i _x N_y, S i O₂ 又は任意の他の適当なマスクであっても良いマスク層 1 4 を、基板 1 0 の上表面上に堆積させる。凸部 1 5 a, 1 5 b の上表面上にはマスク開口部 1 6 を作った。

【0038】

この態様では、基板 1 0 は、炭化珪素、サファイア、珪素、ひ化ガリウム、窒化ガリウム又は他の III 族窒化物、例えば窒化アルミニウム又は窒化アルミニウムガリウムであっても良い。窒化アルミニウム基板の作製は、参照として本明細書に取り入れられる Hunter らに与えられた米国特許第 5, 8 5 8, 0 8 6 号及び第 5, 9 5 4, 8 7 4 号で説明されている。窒化ガリウム基板は、非 GaN 基板上で窒化ガリウムの厚いエピタキシャル層を成長させることによって作製した。窒化ガリウムを得る他の方法は、A. Usui, et al., "Thick GaN epitaxial growth with low dislocation density by hydride vapor phase epitaxy," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. L899-902 (1997) に要約されている。基板が III 族窒化物であるとき、ホモエピタキシャル成長を用いても良いことは当業者には理解される。

【0039】

図 6 に示してあるように、緩衝層が必要である場合は、AlGaN 緩衝層 1 2 を、MOV

10

20

30

40

50

PEを用いて、マスク開口部（又は窓）から垂直に成長させることができる。好ましい態様では、緩衝層12は、マスク層14に比べて厚くなるまで成長させる。緩衝層12が所望の厚さまで成長したら、次にペンドオエピタキシャル層26を成長させる。ペンドオエピタキシャル層26は、垂直方向に加えて、トレンチ18を覆って横方向に（すなわち、基板の表面に対して平行に）成長する。

【0040】

多結晶質GaN30の核形成及び成長はマスク層14上で起こることもできるが、トレンチ18内で起こるので、ペンドオエピタキシャル層26の横方向成長を妨害しない。

【0041】

図12は、本発明の態様にしたがって成長させたペンドオエピタキシャルGaN層の横断面SEMである。多結晶質AlGaN材料は、トレンチ内に存在しているのが明確に認められるが、GaN層の横方向成長を妨害していない。

10

【0042】

1 μ のトレンチの深さは例示であるということは容易に理解される。トレンチ18は、所望ならば又は必要ならば、マスク上における多結晶質成長の速度又は成長されるペンドオエピタキシャル層の幅にしたがって、1 μ 未満又はそれを超える深さで作製することができる。

【0043】

1つの態様では、ペンドオエピタキシャル層26は、対向している成長フロント22が界面24で合体して窒化ガリウムの連続層26を形成するまで、横方向に成長する。しかしながら、上記したように、成長フロント22が隣接部分と合体しなくても、GaNの横方向にオーバークロスさせた部分においてデバイスを作製することができるので、成長フロント22は、すべての用途のために合体する必要はない。

20

【0044】

図13は、本発明のこの態様にしたがって成長させた2つのペンドオエピタキシャルGaNストライプの平面SEM像である。

図6に示してある態様に関して、マスク層14を形成する別の方法は、図6A及び図6Bに示してある。上記したように、凸部15は、標準的なエッチング法を用いて形成することができる。典型的には、この方法は、エッチングマスク（etch mask）で基板の表面をパターン形成する工程、所望の深さまで基板をエッチングする工程、及びエッチングマスクを取り除く工程を含む。図6Aに示してあるように、エッチングマスクを除去した後、マスク層14を、PECVDによって、基板10の表面上に形成することができる。次に、窓16をマスク14の中に開けて、凸部15の上表面を暴露する。

30

【0045】

フォトリソグラフィ法の許容限界の故に、窓16をマスク14中に開けるときの、窓16のエッジを凸部15のエッジと整合させることは難しい。而して、凸部15の上表面上においてマスク14のいくらかのオーバーラップ17が存在する。

【0046】

マスク14を形成する単純化法が図6Bに示してある。この方法では、エッチングマスク19を、基板10の表面に対して施用し、基板10をエッチングしてトレンチ18を形成する。トレンチ18をエッチングした後、しかしエッチングマスク19を除去する前に、マスク14を堆積させる。この技術では、マスク14は、好ましくは約50~200Åの厚さの薄いマスク層を含む。マスク14は、Si_xN_y、SiO₂、又は任意の他の適当なマスク材料を含むことができる。次に、エッチングマスク19を除去し、凸部15の上表面を晒す。マスク14における窓16のエッジは、それによって、凸部15のエッジと自己整合される。而して、この技術によって、1つのマスキング工程のみが必要であり、フォトリソグラフィ法を用いて、マスク層14において窓16を開ける必要はない。

40

【0047】

図7は、マスク上における結晶核形成によるGaN層の横方向成長の妨害を示している横断面図SEM像である。

50

図8は、下地マスク上にある微結晶がエピタキシャル成長を妨害した2つのGa_{0.9}Nストライプに関する平面SEM像である。

【0048】

図9は、反射材マスク層を用いて、本発明の態様にしたがって成長させたGa_{0.9}Nストライプの横断面SEMである。

図10は、隣接領域がマスクを覆って合体するまで、本発明の態様にしたがって成長させたGa_{0.9}Nストライプの横断面SEMである。

【0049】

図11は、Si₃N₄マスクを覆う導電性緩衝層上に成長させたGa_{0.9}N層の横断面SEMである。

10

図14は、本発明にしたがって成長させたGa_{0.9}N層の横断面TEM（透過型電子顕微鏡）像である。観察された欠陥密度は、窓を覆う領域における約 $10^9/\text{cm}^2$ から、マスクストライプの上の領域における約 $10^6/\text{cm}^2$ まで概算で低下している。

【0050】

実施例1：

0.715の充填率のためにストライプ幅10 μ 、窓長25 μ 及び間隔35 μ を有するSi_xN_yストライプのパターン形成マスクを、6H-SiC基板に施用した。ストライプは、 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ 方向に対して平行に配列した。トータルで80分間、1020 $^{\circ}\text{C}$ 及び76トルで、15.5slpmのH₂希釈剤中において、TMGを34.8 μ モル/分、TMAを6.5 μ モル/分、及びアンモニアを10slpmで流すことによるMOVPEによって、厚さ0.5 μ のAl_{0.1}Ga_{0.9}N緩衝層を成長させた。緩衝層を成長させた後、Ga_{0.9}Nのエピタキシャル層を、45分間、1110 $^{\circ}\text{C}$ 及び200トルで、22.5slpmのH₂希釈剤中において、TMGを309 μ モル/分及びアンモニアを17slpmで流すことによるMOVPEによって成長させた。これらの条件下における横方向成長の垂直方向成長に対する割合は、約4.2：1であった。図15は、得られたGa_{0.9}N層の横断面のSEM像である。

20

【0051】

実施例2：

0.715の充填率のためにストライプ幅10 μ 、窓長25 μ 及び間隔35 μ を有するSi_xN_yストライプのパターン形成マスクを、6H-SiC基板に施用した。ストライプは、 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ 方向に対して平行に配列した。トータルで80分間、1050 $^{\circ}\text{C}$ 及び76トルで、15.5slpmのH₂希釈剤中において、TMGを34.8 μ モル/分、TMAを6.5 μ モル/分、及びアンモニアを10slpmで流すことによるMOVPEによって、厚さ0.5 μ のAl_{0.1}Ga_{0.9}N緩衝層を成長させた。緩衝層を成長させた後、Ga_{0.9}Nのエピタキシャル層を、1時間、1060 $^{\circ}\text{C}$ 及び200トルで、22.5slpmのH₂希釈剤中において、TMGを309 μ モル/分及びアンモニアを17slpmで流すことによるMOVPEによって成長させた。これらの条件下における横方向成長の垂直方向成長に対する割合は、約1：1であった。図16は、得られたGa_{0.9}N層の横断面のSEM像である。

30

【0052】

明細書及び図面において、限定としてではなく、例として含まれた本発明の好ましい及び例示的な態様について記載してきた。本発明の範囲は、添付の請求の範囲に記載してある。

40

【図面の簡単な説明】

【図1】 その上にマスクをパターン形成した基板の横断面図である。

【図2】 その上にマスクをパターン形成した基板の平面図である。

【図3】 導電性緩衝層上にLEOによってGa_{0.9}N層をエピタキシャル成長させた基板の横断面図である。

図3Aは、導電性緩衝層上にLEOによってGa_{0.9}N層をエピタキシャル成長させているが、合体していない基板の横断面図である。

【図4】 マスク上における過剰な核形成がGa_{0.9}N層の横方向成長を妨げた基板の横断面

50

図である。

【図 5】 本発明の面にしたがって G a N 層をエピタキシャル成長させた基板の横断面図である。

【図 6】 本発明の別の面にしたがって G a N 層をエピタキシャル成長させた基板の横断面図である。

図 6 A は、一対の凸部を形成し、マスク層を堆積させた基板の横断面図である。

図 6 B は、セルフアライメント法を用いて、一対の凸部を形成し、マスク層を堆積させた基板の横断面図である。

【図 7】 マスク上における結晶核形成による G a N 層の横方向成長の妨害を示している横断面図 S E M 像である。

10

【図 8】 下地マスク上にある微結晶がエピタキシャル成長を妨害した 2 つの G a N ストライプに関する平面 S E M 像である。

【図 9】 反射マスク層を用いて、本発明の態様にしたがって成長させた G a N ストライプの横断面 S E M である。

【図 10】 隣接領域が反射マスクを覆って合体するまで、本発明の態様にしたがって成長させた G a N ストライプの横断面 S E M である。

【図 11】 Si_3N_4 マスクを覆う導電性緩衝層上に成長させた G a N 層の横断面 S E M である。

【図 12】 本発明の第二の態様にしたがって成長させた G a N 層の横断面 S E M である。

20

【図 13】 本発明の第二の態様にしたがって成長させた 2 つの G a N ストライプの平面 S E M 像である。

【図 14】 本発明にしたがって成長させた G a N 層の横断面 T E M (透過型電子顕微鏡) 像である。

【図 15】 横方向の水平方向に対する成長速度の割合を 4 : 2 : 1 に保ちながら、本発明の態様にしたがって成長させた G a N ストライプの横断面 S E M である。

【図 16】 横方向の水平方向に対する成長速度の割合を 1 : 1 に保ちながら、本発明の態様にしたがって成長させた G a N ストライプの横断面 S E M である。

【図 1】

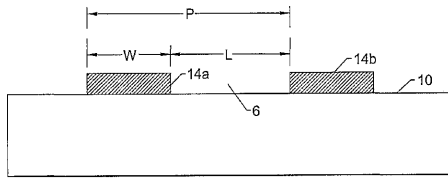


FIG. 1.

【図 2】

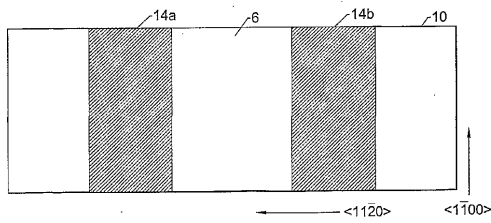


FIG. 2.

【図 3】

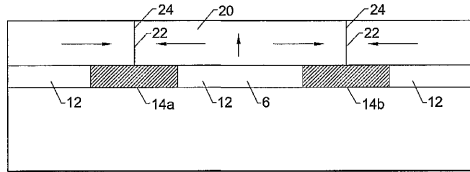


FIG. 3.

【図 3 A】

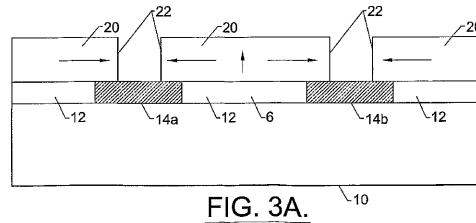


FIG. 3A.

【図 4】

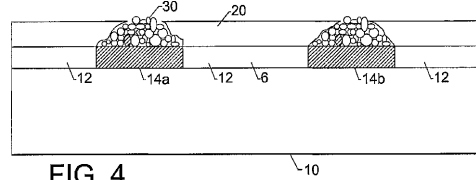


FIG. 4.

【図 5】

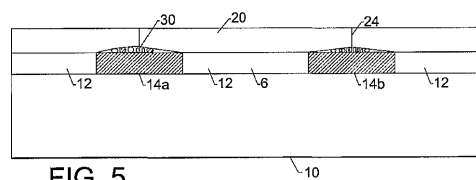


FIG. 5.

【図 6】

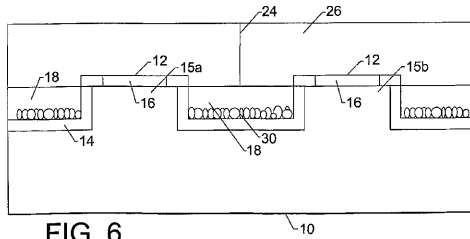


FIG. 6.

【図 6 A】

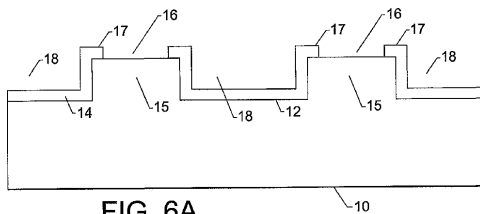


FIG. 6A.

【図 6 B】

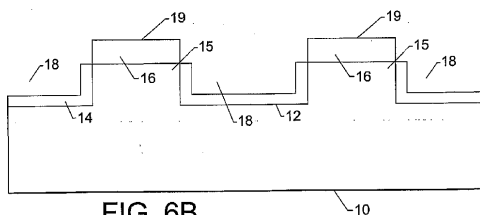


FIG. 6B.

【図 8】

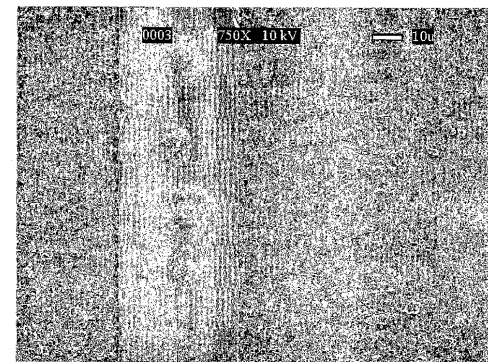
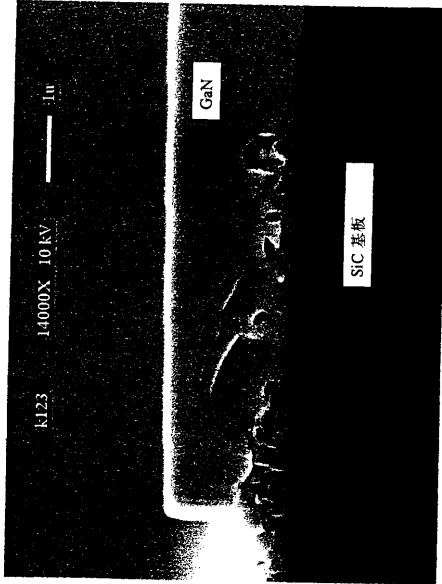
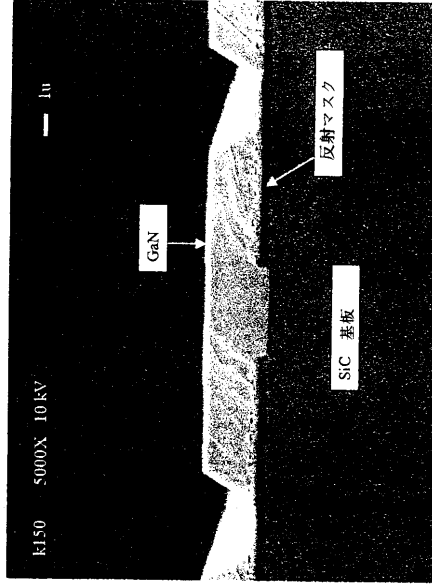


FIG. 8.

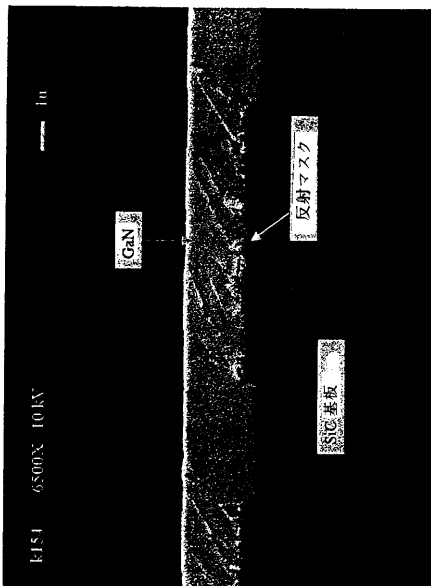
【図 7】



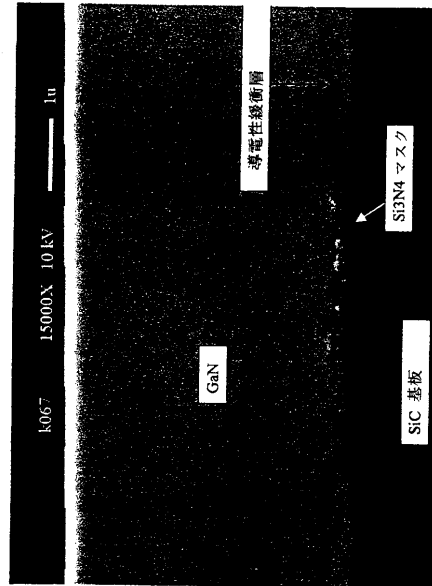
【図 9】



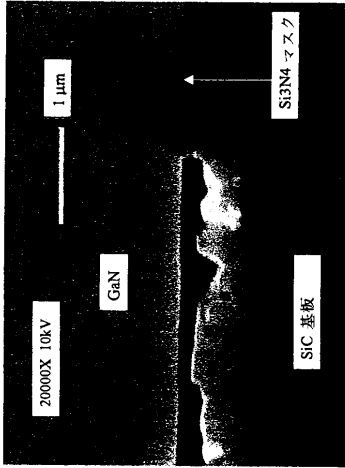
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【図 13】

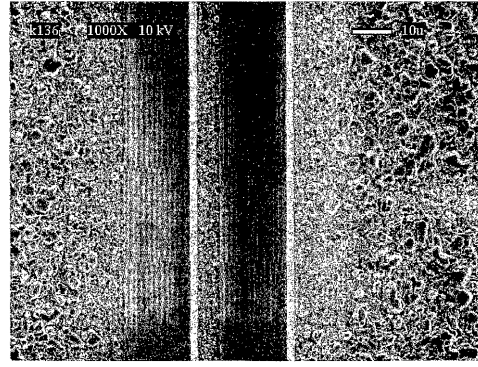
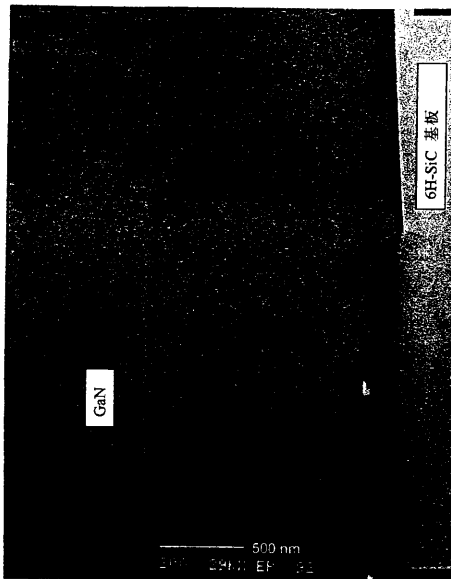
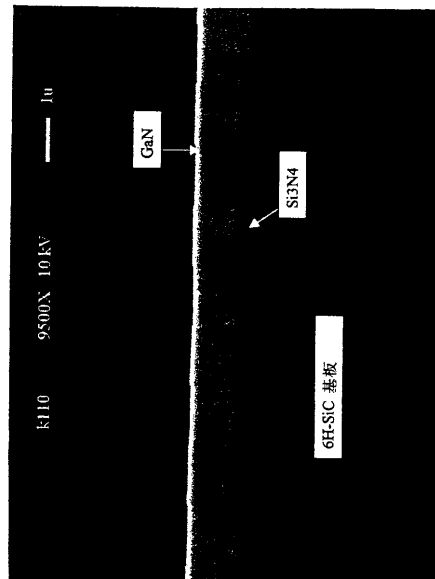


FIG. 13.

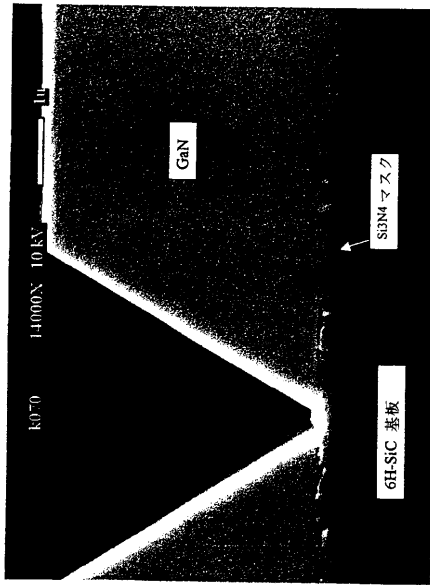
【図 14】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

- (74)代理人 100080137
弁理士 千葉 昭男
- (74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行
- (74)代理人 100094008
弁理士 沖本 一暁
- (72)発明者 コング, フアーシュアン
アメリカ合衆国ノース・カロライナ州27606, ローリ, ベックスヒル・ドライブ 10840
- (72)発明者 エドモンド, ジョン・アダム
アメリカ合衆国ノース・カロライナ州27511, ケアリー, ウェスト・ジュールズ・ヴァーン・ウェイ 206
- (72)発明者 ハバラーン, ケヴィン・ワード
アメリカ合衆国ノース・カロライナ州27511, ケアリー, ロングブリッジ・ドライブ 105
- (72)発明者 エマーソン, デーヴィッド・トッド
アメリカ合衆国ノース・カロライナ州27707, ダーラム, ウィンスロップ・コート 15

審査官 大塚 徹

- (56)参考文献 特開平11-261169 (JP, A)
特開平11-145515 (JP, A)
特開平11-251632 (JP, A)
特開平11-135832 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/205
C23C 16/00~16/56