

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4288743号  
(P4288743)

(45) 発行日 平成21年7月1日(2009.7.1)

(24) 登録日 平成21年4月10日(2009.4.10)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 L 21/205	(2006.01)
HO 1 L 31/04	(2006.01)
HO 1 L 31/0264	(2006.01)
HO 1 L 33/00	(2006.01)
HO 1 S 3/16	(2006.01)
HO 1 L	21/205
HO 1 L	31/04
HO 1 L	31/08
HO 1 L	33/00
HO 1 S	3/16

請求項の数 13 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願平11-80288
(22) 出願日	平成11年3月24日(1999.3.24)
(65) 公開番号	特開2000-277437(P2000-277437A)
(43) 公開日	平成12年10月6日(2000.10.6)
審査請求日	平成18年3月24日(2006.3.24)

(73) 特許権者	000226057 日亜化学工業株式会社 徳島県阿南市上中町岡491番地1OO
(72) 発明者	長濱 慎一 徳島県阿南市上中町岡491番地1OO 日亜化学工業株式会社内
(72) 発明者	小崎 徳也 徳島県阿南市上中町岡491番地1OO 日亜化学工業株式会社内

審査官 大塚 敏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化物半導体の成長方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板上に成長された窒化物半導体上に、露出された凹凸を形成する工程と、

前記露出された凹凸を有する面上に、前記凹凸の凸部上面及び凹部側面からの横方向の成長を利用して第1の窒化物半導体を成長させる工程と、

その後、少なくとも前記異種基板を除去することにより、窒化物半導体基板とする工程と、

前記窒化物半導体基板の異種基板を除去した面とは反対の面上に、第2の窒化物半導体を成長させる工程と

を有することを特徴とする窒化物半導体の成長方法。

## 【請求項 2】

前記窒化物半導体基板は、反りを有することを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体の成長方法。

## 【請求項 3】

前記第1の窒化物半導体は、10 μm / 時間以下0.5 μm / 時間以上の成長速度で成長させ、前記第2の窒化物半導体は、500 μm / 時間以下10 μm / 時間以上の成長速度で成長させることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体の成長方法。

## 【請求項 4】

前記第1の窒化物半導体は有機金属化学気相成長法により成長させ、前記第2の窒化物

半導体はハイドライド気相成長法により成長させることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

**【請求項 5】**

前記凹凸の凹部底部からの縦方向成長に比べ前記凹部側面からの横方向の成長を促進させて、前記第 1 の窒化物半導体を成長させることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

**【請求項 6】**

前記凹部内部で前記凹部側面からの成長を接合させて前記凹部底部からの成長を遮り、前記第 1 の窒化物半導体を成長させることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

10

**【請求項 7】**

p 型不純物及び / 又は n 型不純物をドープすることにより横方向の成長を促進させて、前記第 1 の窒化物半導体を成長させることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

**【請求項 8】**

前記第 1 及び第 2 の窒化物半導体はアンドープの GaN からなることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

**【請求項 9】**

前記凹凸が、前記窒化物半導体基板の M 軸方向、 < 1 - 1 0 0 >、 < 1 0 - 1 0 > 及び < 0 1 - 1 0 > のいずれかの M 軸方向に対して平行方向となるように形成されたストライプ形状であることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

20

**【請求項 10】**

前記第 1 の窒化物半導体を成長させた後、該第 1 の窒化物半導体上に、第 3 の窒化物半導体を成長させる工程を有し、前記窒化物半導体基板が、少なくとも第 3 の窒化物半導体からなることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

**【請求項 11】**

前記異種基板を除去する工程において、異種基板から第 3 の窒化物半導体の一部までを除去することを特徴とする請求項 1 ~ 10 に記載の窒化物半導体の成長方法。

**【請求項 12】**

前記窒化物半導体基板が、その表面の転位密度が  $10^{10}$  個 /  $\text{cm}^2$  以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

30

**【請求項 13】**

前記窒化物半導体基板が、 $50 \sim 1000 \mu\text{m}$  の膜厚を有することを特徴とする請求項 1 ~ 12 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【発明の属する技術分野】**

本発明は窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、  $0 \leq X, Y \leq 1$ ) の成長方法に係り、特に転位の少ない窒化物半導体の成長方法に関する。また、本発明は、前記窒化物半導体よりなる基板を用い発光ダイオード、レーザダイオード等の発光素子、あるいは太陽電池、光センサー等の受光素子に使用される窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、  $0 \leq X, Y \leq 1$ ) よりなる窒化物半導体素子に関する。

40

**【0002】**

**【従来の技術】**

近年、窒化物半導体からなる青色、青緑色の発光ダイオード (LED)、レーザダイオード (LD) が実用化されたり実用可能になっている。

**【0003】**

例えば、本発明者等は、Appl. Physics Letters. Vol. 73, Number 6 (1998) pp. 832-834 に、サファイア上に、有機金属化学気相成長法 (MOCVD) により  $2 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させた GaN 層上に、 $0.1 \mu\text{m}$  の膜厚の  $\text{SiO}_2$  よりなる保護膜を部分的に形成し、

50

その後、保護膜を有する面上に再度 GaN を MOCVD により 20 μm の膜厚で成長 (ELOG 成長) させ、続いて、ハイドライド気相成長法 (HYPE) により 200 μm の膜厚の GaN を成長させ、その後サファイア基板を研磨により除去して、ほぼ 150 μm の膜厚の GaN の基板を得て、この GaN 基板上にデバイス構造を形成し、GaN 基板の M 面 [ 六方晶系の側面 ; 例えば {1 - 1 0 0} 等 ] で劈開して共振面を形成してなる窒化物半導体素子を報告している。

そして、報告されたレーザ素子は、劈開により形成された共振面からのレーザ光のファーフィールドパターンが良好で、また出力 5 mW となるように動作電流を調整し 50 の条件下でほぼ 180 時間の連続発振が可能となる。

#### 【0004】

10

#### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記 Appl. Phys. Lett. に報告されている窒化物半導体素子は、レーザ素子の実用化の可能性を有しているものの、実用化のためには寿命特性が十分満足できるものではない。上記報告されているレーザ素子は、高温でかなりの長時間、連続発振できるが、連続発振が 180 時間を過ぎると、動作電流が急激に増加することから、素子の劣化がかなり進行していると推測できる。

#### 【0005】

本発明者等は、寿命特性のさらなる向上のために種々検討した結果、デバイス構造を成長させる窒化物半導体基板の表面に、表面透過型電子顕微鏡 (表面 TEM) 観察によると、ほぼ均一に  $1 \times 10^7$  個 / cm<sup>2</sup> 程度の転位が確認され、この転位により寿命特性が低下するのではないかと考えた。上記転位密度は、従来のサファイア基板上に GaN を成長させていく場合に比べれば、かなり低減されているが、実用化に際しての素子の信頼性を十分にするには、寿命特性をさらに向上させる必要がある。

20

#### 【0006】

窒化物半導体基板の表面にほぼ均一に転位が見られる原因として、劈開の際の物理的強度を向上させ欠けや割れを防止するため、HYPE で膜厚 200 μm の厚さに窒化物半導体を成長させる過程で、保護膜の形成されていない部分 (窓部) 上部に見られる転位が、窒化物半導体の成長と共に均一に広がっているためと推測できる。

#### 【0007】

30

ちなみに、保護膜を形成後、MOCVD で 20 μm の膜厚で窒化物半導体を成長させた時点では、窓部上部にはほぼ  $1 \times 10^9$  個 / cm<sup>2</sup> 程度の転位が見られるが、一方、保護膜上部にはほとんど転位が見られない。仮に、この転位のない保護膜上部にデバイス構造、特にリッジ形状のストライプを形成すると、寿命特性が向上する。しかし、20 μm の膜厚の窒化物半導体からサファイアを除去して、劈開により共振面を形成するには、20 μm の膜厚の窒化物半導体基板では物理的強度が十分でなく、欠けや割れが生じ歩留まりが低下する。さらに、デバイス構造を形成する際にも窒化物半導体基板の物理的強度が必要である。

このように、サファイアを除去して窒化物半導体のみの基板上に、デバイス構造を形成することは、鏡面状の共振面を得ることができる劈開という簡易な方法を可能にするものの、劈開時及びデバイス工程時の物理的強度が十分となる程度の膜厚に成長させなければならず、このため、ELOG 成長で得られた転位のほとんどない部分が窒化物半導体基板表面から失われてしまう。

40

以上のように、レーザ素子の寿命特性の向上には、デバイス構造を形成するための窒化物半導体基板の転位密度をより一層低下させることが望まれる。

#### 【0008】

そこで、本発明の目的は、窒化物半導体を基板とした場合、デバイス構造を形成しても、劈開により共振面を形成しても、基板に欠けやクラックの発生が生じず、更に、寿命特性を良好にでき、実用化に際しての素子の信頼性が向上するような転位の低減される窒化物半導体基板の得られる窒化物半導体の成長方法を提供することである。

更に、本発明の目的は、本発明の窒化物半導体の成長方法により得られる窒化物半導体

50

を基板とし、寿命特性など素子特性の良好な窒化物半導体素子を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

即ち、本発明は、下記(1)～(13)の構成により、本発明の目的を達成することができる。

(1) 窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板上に成長された窒化物半導体上に、露出された凹凸を形成する工程と、前記露出された凹凸を有する面上に、前記凹凸の凸部上面及び凹部側面からの横方向の成長を利用して第1の窒化物半導体を成長させる工程と、その後、少なくとも前記異種基板を除去することにより、窒化物半導体基板とする工程と、前記窒化物半導体基板の異種基板を除去した面とは反対の面上に、第2の窒化物半導体を成長させる工程とを有することを特徴とする窒化物半導体の成長方法。10

(2) 前記窒化物半導体基板は、反りを有することを特徴とする(1)に記載の窒化物半導体の成長方法。

(3) 前記第1の窒化物半導体は、 $10 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $0.5 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以上の成長速度で成長させ、前記第2の窒化物半導体は、 $500 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $10 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以上の成長速度で成長させることを特徴とする(1)又は(2)に記載の窒化物半導体の成長方法。

(4) 前記第1の窒化物半導体は有機金属化学気相成長法により成長させ、前記第2の窒化物半導体はハイドライド気相成長法により成長させることを特徴とする(1)～(3)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。20

(5) 前記凹凸の凹部底部からの縦方向成長に比べ前記凹部側面からの横方向の成長を促進させて、前記第1の窒化物半導体を成長させることを特徴とする(1)～(4)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

(6) 前記凹部内部で前記凹部側面からの成長を接合させて前記凹部底部からの成長を遮り、前記第1の窒化物半導体を成長させることを特徴とする(1)～(5)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

(7) p型不純物及び/又はn型不純物をドープすることにより横方向の成長を促進させて、前記第1の窒化物半導体を成長させることを特徴とする(1)～(6)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

(8) 前記第1及び第2の窒化物半導体はアンドープのGaNからなることを特徴とする(1)～(6)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。30

(9) 前記凹凸が、前記窒化物半導体基板のM軸方向、 $<1-100>$ 、 $<10-10>$ 及び $<01-10>$ のいずれかのM軸方向に対して平行方向となるように形成されたストライプ形状であることを特徴とする(1)～(8)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

(10) 前記第1の窒化物半導体を成長させた後、該第1の窒化物半導体上に、第3の窒化物半導体を成長させる工程を有し、前記窒化物半導体基板が、少なくとも第3の窒化物半導体からなることを特徴とする(1)～(9)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

(11) 前記異種基板を除去する工程において、異種基板から第3の窒化物半導体の一部までを除去することを特徴とする(10)に記載の窒化物半導体の成長方法。40

(12) 前記窒化物半導体基板が、その表面の転位密度が $10^{10}$ 個/ $\text{cm}^2$ 以下であることを特徴とする(1)～(11)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

(13) 前記窒化物半導体基板が、 $50 \sim 1000 \mu\text{m}$ の膜厚を有することを特徴とする請求項(1)～(12)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

また、本発明は、下記(14)～(16)の構成とすることができます。

(14) 前記(1)～(13)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法により得られた転位の低減された窒化物半導体を基板として、この窒化物半導体基板上に、少なくともn型窒化物半導体、活性層、及びp型窒化物半導体を有するデバイス構造が形成されてなることを特徴とする窒化物半導体素子。50

(15) 前記窒化物半導体素子が、ストライプ形状の保護膜又はストライプ形状の凹凸の、ストライプ方向に平行に形成されたリッジ形状のストライプを有することを特徴する(14)に記載の窒化物半導体素子。

(16) 前記窒化物半導体素子のリッジ形状のストライプが、ストライプ形状の保護膜の上部、又はストライプ形状の凹凸の凹部上部に形成されていることを特徴とする(14)又は(15)に記載の窒化物半導体素子。

#### 【0010】

つまり、本発明の成長方法は、デバイス構造を形成可能な程度の厚膜の窒化物半導体基板上に、上記の如く、第5の工程においてELOG成長させることにより、表面の転位を低減し、特に表面にほとんど転位の見られない部分を有する第4の窒化物半導体を成長させることにより、劈開しても欠けや割れが発生し難く、且つ転位のほとんどない部分を有しているので素子の劣化を防止でき寿命特性を向上できる良好な基板を提供することができる。10

上記基板は、デバイス構造を形成するための基板であり、本発明においては、第5の工程における窒化物半導体基板と転位の低減された第4の窒化物半導体とからなるものが、デバイス構造を形成するための基板となる。以下単に本発明の基板とする場合がある。

#### 【0011】

従来、前記課題で示したように、転位を低減する試みは、デバイス構造を形成するための基板として、窒化物半導体を厚膜に成長させる工程の前段階で転位の伝播を抑制したり止めたりする試みが種々行われている。20

#### 【0012】

これに対して、本発明は、デバイス構造を形成可能な程度に厚膜に成長された窒化物半導体基板上に、従来の知見から考えると一見製造工程を複雑化、長時間化しているように思われるようなELOG成長を行うことにより、前記課題を解決することができる。

窒化物半導体基板上にELOG成長をすることで得られる第4の窒化物半導体は、転位密度が低減され、さらには転位がほとんどない部分を有している。この窒化物半導体基板と第4の窒化物半導体とからなる本発明の基板は、厚膜の窒化物半導体基板により物理的強度が得られ、さらに本発明の基板の第4の窒化物半導体上にデバイス構造を形成すると、寿命特性の向上が可能となる。

本発明の方法は、前記したように一見製造工程を煩雑にしてしているように思われるが、本発明の基板を用いることで寿命特性の向上が可能となると共に、割れや欠けが防止され歩留まりの向上が可能となり、製造工程を総合的に考慮した場合、製造効率の向上につながる。30

#### 【0013】

本発明の課題は、上記Appl.Phys.Lett.での報告のように、転位の低減された厚膜の窒化物半導体を基板とし、この上にデバイス構造を形成してなるレーザ素子が、かなりの長時間の連続発振を達成できたことによって、実用化の達成や信頼性の向上のために解決しなければならない問題点として新たに見出されたものである。

このことから、たとえ、窒化物半導体基板上にデバイス構造を形成してなる窒化物半導体素子であっても、得られた素子が長時間の連続発振をすることができないような素子からは、基板の転位が寿命特性へどのように影響するかといったような本発明の課題を新たに見出すことは困難である。40

#### 【0014】

また更に、本発明において、第5の工程における窒化物半導体の横方向の成長を利用して転位の低減される方法(以下、第5の工程のELOG成長と言う場合がある。)が、窒化物半導体基板上に第2の保護膜を部分的に形成し、その後、第2の保護膜の形成面上に第4の窒化物半導体を成長させてなると、転位の進行を防止するのに好ましい。

また更に、本発明において、第2の保護膜が、窒化物半導体基板のM軸方向、<1-100>、<10-10>及び<01-10>のいずれかのM軸方向に対して平行方向に形成されたストライプ形状であると、窒化物半導体の横方向の成長を促進でき転位の伝播を50

抑制するのに好ましい。更に第2の保護膜が、後述のストライプ形状の第1の保護膜又はストライプ形状の第1の凹凸と平行に形成されると、第4の窒化物半導体の横方向の成長がより良好となり、第4の窒化物半導体上を良好に得ることができ、転位の低減でも好ましい。

#### 【0015】

また更に、本発明において、第5の工程のELOG成長が、窒化物半導体基板の表面に第2の凹凸を形成するのみで、その第2の凹凸を有する面上に第4の窒化物半導体を成長させると、転位の伝播を抑制する点で好ましい。この場合は、上記のような第2の保護膜を用いない。

また更に、本発明において、第2の凹凸が、窒化物半導体基板のM軸方向、<1-100>、<10-10>及び<01-10>のいずれかのM軸方向に対して平行方向に形成されたストライプ形状であると、窒化物半導体の横方向の成長を促進でき転位の伝播を抑制するのに好ましい。

#### 【0016】

また更に、本発明において、第5の工程で用いられる窒化物半導体基板が、その表面の転位密度が $10^{10}$ 個/cm<sup>2</sup>以下のものであると、窒化物半導体基板上にELOG成長させて得られる第4の窒化物半導体の表面に現れる転位を低減するのに好ましい。

また更に、本発明において、前記窒化物半導体基板が、50μm~1000μmの膜厚を有すると、デバイス工程や劈開工程での物理的強度が良好となり、窒化物半導体基板の欠けや割れ等が防止され、素子を量産する場合の歩留まりの向上の点で好ましい。

#### 【0017】

更に本発明において、窒化物半導体基板が、上記第1の工程～第3の工程から得られる少なくとも第3の窒化物半導体からなるものであると、第3の窒化物半導体の表面には既に転位がある程度低減されているので、この第3の窒化物半導体の上にELOG成長させて得られる第4の窒化物半導体の表面には更に転位が低減され好ましい。また、第3の窒化物半導体を成長させる際に、成長速度の速い方法により成長させると、第3の窒化物半導体を厚膜に成長させても異常成長の発生が起こりにくい。

ここで、第5の工程における、第4の窒化物半導体は、第3の窒化物半導体の異種基板を除去した面とは反対の面上に成長させる。

#### 【0018】

更に、本発明において、窒化物半導体基板が、前記第3の工程後に、第4の工程を経て得られる第3の窒化物半導体とその上に成長された第2の窒化物半導体とからなるものであると、反りが軽減され、第5の工程のELOG成長を行うのに好ましい。つまり、異種基板を除去すると、第3の窒化物半導体の成長面と除去面との面状態が異なるため、第3の窒化物半導体に反りが発生する傾向が見られる場合があるが、第3の窒化物半導体の成長面（異種基板の除去面とは反対の面）に第2の窒化物半導体を成長させると、第3の窒化物半導体の反りが軽減される。また異種基板を除去後に第2の窒化物半導体を成長させることで、窒化物半導体基板の物理的強度を補強することができる。

#### 【0019】

更に本発明において、第1の工程でのELOG成長が、異種基板上に成長された窒化物半導体上に、第1の保護膜を部分的に形成して第1の窒化物半導体を成長させる工程、又は異種基板上に成長された窒化物半導体上に、第1の凹凸を形成して第1の窒化物半導体を成長させる工程、であると窒化物半導体基板の転位が低減でき、転位の少ない第4の窒化物半導体を成長させるのに好ましい。

更に本発明において、第1の工程で形成される第1の保護膜又は第1の凹凸が、前記窒化物半導体基板の<1-100>、<10-10>及び<01-10>のいずれかのM軸方向に対して平行方向となるように形成されたストライプ形状であり、且つ、第5の工程で形成される第2の保護膜又は第2の凹凸と平行となるように形成されていると、窒化物半導体の横方向の成長がより促進され窒化物半導体基板の転位を低減するのに好ましいと共に、第5の工程で窒化物半導体基板上に成長される第4の窒化物半導体の横方向の成長

10

20

30

40

50

がより良好となり、転位の低減の点で好ましい。

#### 【0020】

ここで、第2の保護膜などを形成する際には、既に第1の保護膜などは除去されているが、窒化物半導体基板の異種基板を除去した面には、転位分布がストライプ状に観測され、このストライプ状の転位分布に沿って第1の保護等を形成する。このように形成することにより、第2の保護膜と第1の保護膜、あるいは第2の保護膜と第1の凹凸、第2の凹凸と第1の保護膜、第2の凹凸と第1の凹凸等がそれぞれ窒化物半導体のM軸方向に平行となる。

またオリエンテーションフラット面（オリフラ面）が窒化物半導体のM軸方向に垂直となるようにし、このオリフラ面を基準にすることで、第5の工程と第1の工程で用いられる保護膜や凹凸が平行方向のストライプ形状として形成可能である。10

#### 【0021】

また、本発明において、上記本発明の窒化物半導体の成長方法により得られる転位の低減された窒化物半導体（窒化物半導体基板と第4の窒化物半導体とからなる）を基板として、この基板上に、少なくともn型窒化物半導体、活性層、及びp型窒化物半導体を有するデバイス構造が形成されてなると、寿命特性などの素子特性が良好な窒化物半導体素子を提供することができる。

また更に、本発明において、窒化物半導体素子が、ストライプ形状の第2の保護膜又はストライプ形状の第2の凹凸の、ストライプ方向に平行に形成されたリッジ形状のストライプを有すると、窒化物半導体基板のM軸方向に垂直な面での劈開により良好な鏡面状の共振面が得られファーフィールドパターンが良好となり好ましい。20

また更に、本発明において、窒化物半導体素子のリッジ形状のストライプが、第2の保護膜の上部、又は第2の凹凸の凹部上部に形成されていると、これらの部分には第4の窒化物半導体の表面での転位が最も少なくなる傾向があるため、素子の劣化が防止され、寿命特性の向上の点で好ましい。

#### 【0022】

本発明において、後述の説明の中のアンドープとは、意図的に不純物をドープしないで形成した層を示し、隣接する層からの不純物の拡散、原料又は装置からのコンタミネーションにより不純物が混入した層であっても、意図的に不純物をドープしていない場合はアンドープ層とする。30

#### 【0023】

##### 【発明の実施の形態】

以下に図1～5を用いて本発明を詳細に説明する。

まず図1(a)～(d)は、本発明の窒化物半導体の成長方法により得られるデバイス構造を形成するための基板の模式的断面図を示している。この図1を用いて、本発明の第5の工程を有する窒化物半導体の成長方法を説明する。

#### 【0024】

本発明の窒化物半導体の成長方法は、第5の工程により、窒化物半導体基板1上に、窒化物半導体の横方向の成長を利用して転位の低減される方法（第5の工程のELOG成長）により、転位の低減された第4の窒化物半導体2を得ることができる。40

第5の工程において、第4の窒化物半導体2を成長させる第5の工程のELOG成長としては、窒化物半導体の横方向の成長を利用して転位を低減させる方法であれば特に限定されず、成長のいずれかの段階で、窒化物半導体の縦方向の成長速度に対して、窒化物半導体の横方向の成長速度が促進され、転位の伝播が抑制されるような方法が挙げられる。

転位がどのように伝播するかは定かではないが、転位は窒化物半導体の成長の方向に沿って伝播する傾向があり、窒化物半導体の横方向の成長が促進されると横方向に伝播し、一旦横方向に伝播した転位は再び縦方向に伝播しにくくなる傾向があると思われる。その結果、転位の低減された第4の窒化物半導体2を成長させることができると推測される。

#### 【0025】

第5の工程のELOG成長としては、従来公知の厚膜の窒化物半導体基板を成長させる50

前工程で行われる E L O G 成長などを用いてもよく、また本出願人が出願した例えは特願平10-77245、同10-275826、同10-119377、同10-132831、同11-37827、同11-37826、同10-146431各号の明細書等に記載されている E L O G 成長などを用いることができる。但し、これらの E L O G 成長は、異種基板上で行われているのに対し、本発明の第5の工程の E L O G 成長は、厚膜の窒化物半導体基板上で行われる点が異なっているが、ほぼ同様に行うことができる。

#### 【0026】

本発明の第5の工程の E L O G 成長の好ましい具体例としては、窒化物半導体基板上に窒化物半導体が成長しにくいか、又は成長しない材料からなる第2の保護膜11を用いる方法、又は、窒化物半導体基板に第2の凹凸13を形成して行う方法などがあげられる。このように第2の保護膜11や第2の凹凸13を形成し、この形成面に第4の窒化物半導体2を成長させると、第4の窒化物半導体2の成長過程のいずれかの段階で、窒化物半導体の縦方向の成長に対して、窒化物半導体の横方向の成長が促進され、転位が窒化物半導体の横方向の成長と共に横方向へ進行し、再び縦方向に進行しにくくなり、その結果、転位の低減された第4の窒化物半導体2を得ることができると考えられる。

#### 【0027】

このようにして得られた第4の窒化物半導体2表面の平均の転位密度は、窒化物半導体基板表面の平均の転位密度に対して、ほぼ1/100以下程度に減少し、好ましい条件では、第4の窒化物半導体2の表面にはほとんど転位が見られなくなる。

また、第4の窒化物半導体2表面の転位の分布は、第2の保護膜11上部又は第2の凹凸13の凹部上部が、他の部分（窓部上部又は凸部上部）に比べ極めて転位が少なくなり、表面TEMやカソードルミネッセンス（CL）などの観察によるとほとんど転位が見られなくなる。

このように第4の窒化物半導体2の平均の転位密度が減少すれば、第4の窒化物半導体2上に形成させる素子の寿命特性の向上が可能となり、更に、ほとんど転位のない部分に、素子のリッジ形状のストライプを形成すると、素子の寿命特性の飛躍的な向上が可能となる。

第4の窒化物半導体2の表面の転位密度は、第5の工程で行われる E L O G 成長の種類にもよるが、平均の転位密度としては  $1 \times 10^5$  個 /  $\text{cm}^3$  以下、好ましい条件では  $1 \times 10^4$  個 /  $\text{cm}^3$  以下、より好ましい条件では  $1 \times 10^3$  個 /  $\text{cm}^3$  以下となる。また、第2の保護膜11上部の転位密度、及び第2の凹凸13の凹部上部の転位は、ほとんど見られなくなる傾向がある。また窓部上部、及び第2の凹凸13の凸部上部の転位密度は、 $1 \times 10^7$  個 /  $\text{cm}^3$  以下、好ましい条件では  $1 \times 10^6$  個 /  $\text{cm}^3$  以下、より好ましい条件では  $1 \times 10^5$  個 /  $\text{cm}^3$  以下となる。

本発明において、転位密度の測定は、表面TEM又はCL等により観察する。

#### 【0028】

以下に E L O G 成長が第2の保護膜11を用いて行われる場合と、第2の凹凸13を形成して行われる場合の一実施の形態により得られる窒化物半導体基板1と第4の窒化物半導体2とからなるデバイス構造を形成する基板の模式的断面図である図1（a）～（d）を用いてさらに詳細に説明する。図1（a）～（c）は第2の保護膜11を用いて行う形態であり、図1（d）は第2の凹凸13を形成して行う形態である。また、第2の保護膜11を用いる形態で、凹凸を形成しこの凹部底部及び/又は凸部上部に保護膜を形成する場合があるが、このような形態も第2の保護膜を形成して行う場合として以下に説明する。

まず図1（a）は、窒化物半導体基板1上に第2の保護膜11を形成し、この形成面上に第4の窒化物半導体2を成長させてなる模式的断面図である。

図1（b）は、窒化物半導体基板1に凹凸を形成し、この凹部底部及び凸部上部に第2の保護膜11を形成し、この形成面上に第4の窒化物半導体2を成長させてなる模式的断面図である。

図1（c）は、窒化物半導体基板1に凹凸を形成し、この凸部上部にのみ第2の保護膜

10

20

30

40

50

11を形成し、この形成面上に第4の窒化物半導体2を成長させてなる模式的断面図である。

図1(d)は、窒化物半導体基板1に第2の凹凸13を形成し、この形成面上に第4の窒化物半導体2を成長させてなる模式的断面図である。図1(d)では、保護膜を用いずに進行う形態である。

#### 【0029】

上記ELOG成長により得られる第4の窒化物半導体2としては、特に限定されないが、好ましくはGaNからなる窒化物半導体である。第4の窒化物半導体2は、アンドープでも不純物をドープされてもよい。アンドープであると結晶性の点で好ましく、またELOG成長の際にp型不純物(Be、Zn、Mn、Cr及びMg)、及びn型不純物(Si、Ge及びSn)のいずれか1種以上、好ましくはp型不純物の少なくとも1種以上、より好ましくはp型不純物の少なくとも1種以上とn型不純物の少なくとも1種以上、最も好ましくはMgとSiとをドープすると、窒化物半導体の横方向の成長が促進され、転位の低減及び空隙発生の防止の点で好ましい。不純物のドープ量としては、好ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、更に好ましくは $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。不純物の濃度が上記範囲であると窒化物半導体の横方向の成長を縦方向の成長に比べ良好に促進でき、結晶欠陥の伝播の抑制及び空隙の発生の防止の点で好ましい。p型不純物とn型不純物とをドープする場合は、両者の濃度の和が上記範囲のドープ量となるように適宜調整してドープされる。この場合p型不純物とn型不純物の濃度の比は、用いる不純物の種類により、空隙や転位を良好に防止できるように適宜調整される。10

また、第4の窒化物半導体2にn電極を形成する場合には、n型不純物をドープする、n型不純物をp型不純物より多めにドープする等、n型不純物とp型不純物のドープ量を調整する。

#### 【0030】

第4の窒化物半導体2の膜厚としては、特に限定されないが、好ましくは $5 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$ であり、より好ましくは $10 \mu\text{m} \sim 35 \mu\text{m}$ である。第4の窒化物半導体2の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体基板1に形成された第2の保護膜11や第2の凹凸13を良好に覆うことができ、窒化物半導体基板1の表面の転位密度より第4の窒化物半導体2の表面の転位密度が少なくなり、更に第4の窒化物半導体2の表面の転位分布で、特に第2の保護膜11上部及び第2の凹凸13の凹部上部にはほとんど転位が見られなくなる。30

#### 【0031】

図1(a)～(c)の第2の保護膜11の材料としては、第2の保護膜11表面に窒化物半導体が成長しないか、又は成長しにくい性質を有する材料が好ましく、例えば酸化ケイ素(SiO<sub>x</sub>)、窒化ケイ素(Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>)、酸化チタン(TiO<sub>x</sub>)、酸化ジルコニウム(ZrO<sub>x</sub>)等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜の他、1200以上の融点を有する金属等を用いることができる。これらの保護膜材料は、窒化物半導体の成長温度600～1100の温度にも耐え、その表面に窒化物半導体が成長しないか、成長しにくい性質を有している。保護膜材料を窒化物半導体表面に形成するには、例えば蒸着、スパッタ、CVD等の気相製膜技術を用いることができる。40

#### 【0032】

まず、図1(a)の場合の第2の保護膜11の形成方法や形状等について説明する。

第2の保護膜11を窒化物半導体基板1上に部分的(選択的)に形成するには、フォトリソグラフィー技術を用いて、所定の形状を有するフォトマスクを作製し、そのフォトマスクを介して、前記材料を気相製膜することにより、所定の形状を有する第2の保護膜11を形成できる。第2の保護膜11の形状は特に問うものではなく、例えばドット、ストライプ、碁盤目状の形状のいずれかの形状、好ましくはストライプの形状が挙げられる。第2の保護膜11がストライプ形状であると、転位の低減された第4の窒化物半導体2を良好に形成することができ好ましい。50

## 【0033】

また、第2の保護膜11は、第2の保護膜11が形成されていない部分（窓部）の表面積より大きくなるように、第2の保護膜11の表面積を調整して形成されることが好ましい。第2の保護膜11の表面積及び窓部の表面積の調整は、保護膜の形状によっても異なるが、例えば保護膜がストライプ状の形状の場合、保護膜のストライプの幅と窓部の幅を調整することにより行うことができる。

## 【0034】

第2の保護膜11の大きさは、特に限定されないが、例えばストライプで形成した場合、好ましいストライプ幅は0.5～100μm、より好ましくは1μm～50μm、更に好ましくは2～25μmである。

10

また、ストライプピッチ（第2の保護膜11が形成されていない窓部の幅）は、ストライプ幅よりも狭くすることが望ましく、例えば具体的には5μm以下、好ましくは0.1～3μm、より好ましくは0.8～2μmである。

## 【0035】

上記のように、第2の保護膜11の表面積を大きくすると、転位の伝播が、第2の保護膜11により抑制され、更に窓部から伝播している転位の伝播が横方向に進行して再び縦方向に伝播しにくくなる傾向があり、第2の保護膜11上部の第4の窒化物半導体2の表面領域（表面から表面付近）の転位のほとんど見られない部分を広範囲で得ることができ好ましい。更に第4の窒化物半導体2の表面が鏡面状となる傾向があり好ましい。

## 【0036】

また、第2の保護膜11の膜厚は、特に限定されないが、薄い方がより短時間で表面が鏡面状の転位の少ない第4の窒化物半導体2が得られる傾向があり好ましく、具体的には保護膜の材質にも左右されるが例えば0.01～5μmであり、好ましくは0.02～3μmであり、より好ましくは0.05～2μmである。この範囲であると転位の縦方向の伝播を良好に防止でき転位を低減できると共に、第4の窒化物半導体2の表面を鏡面状にするのに好ましい。また、保護膜の膜厚は、保護膜の材質にもよるが、膜厚を薄くしてもピンホール等の膜質むらが生じなければ、薄ければ薄いほど、短時間で第4の窒化物半導体2が保護膜を覆うことができ鏡面状の第4の窒化物半導体2を得るには好ましい。

20

## 【0037】

次に、図(b)に示すように、第5の工程において、窒化物半導体基板1に凹凸を形成し、この凹部底部と凸部上部に第2の保護膜11を形成する場合について説明する。

30

## 【0038】

窒化物半導体基板1に凹凸の形状を設ける方法としては、窒化物半導体基板1を一部分取り除くことができる方法であればいずれの方法でもよく、例えばエッティング、ダイシング等が挙げられ、好ましくはエッティングである。

エッティングにより、窒化物半導体基板1に部分的（選択的）に凹凸を形成する場合は、フォトリソグラフィー技術における種々の形状のマスクパターンを用いて、ストライプ状、碁盤目状等のフォトマスクを作製し、レジストパターンを窒化物半導体基板1に形成してエッティングすることにより形成できる。

また、ダイシングで行う場合は、例えば、ストライプ状や碁盤目状に形成できる。

40

## 【0039】

また、窒化物半導体基板1に、凹凸の形状をエッティングにて行う場合のエッティング方法としては、ウエットエッティング、ドライエッティング等の方法があり、平滑な面を形成するには、好ましくはドライエッティングを用いる。ドライエッティングには、例えば反応性イオンエッティング（RIE）、反応性イオンビームエッティング（RIBE）、電子サイクロトロンエッティング（ECR）、イオンビームエッティング等の装置があり、いずれもエッティングガスを適宜選択することにより、窒化物半導体をエッティングしてできる。例えば、本出願人が先に出願した特開平8-17803号公報記載の窒化物半導体の具体的なエッティング手段を用いることができる。

## 【0040】

50

また、エッティングによって凹凸を形成する場合、エッティング面が、図1(b)に示すように窒化物半導体基板1に対して凹部側面がほぼ垂直となる形状、又は順メサ形状や逆メサ形状でもよく、あるいは窒化物半導体基板1の凹部側面が階段状になるように形成された形状でもよい。図1(b)のように凹凸の凸部上部と凹部底部に第2の保護膜11を形成する場合、凹部側面が順メサ形状であると、凹部底部を良好に第2の保護膜11で覆い易くなり、さらに凹部側面の保護膜材料を良好に除去し易くなり好ましい。

図1(b)の場合、ELOG成長の最初から、窒化物半導体の成長が実質的に全て横方向の成長から始まるように、凹部底部と凸部上部に第2の保護膜11を形成し、凹部側面のみから第4の窒化物半導体2を成長させるものである。このような成長方向の調整による転位の低減は、転位が一旦横方向に伝播すると再び縦方向に伝播しにくくなる傾向があるからである。10

#### 【0041】

また、図1(b)の場合の凹凸の形状、つまり凹部の深さや幅等について以下に示す。

凹部の深さは、特に限定されないが、500オングストローム以上、好ましくは0.5~5μm程度である。凹部の深さが上記範囲であると、ELOG成長が安定し、第4の窒化物半導体2の表面が鏡面状になり易い。

凹凸をストライプ状の形状とする場合、ストライプの形状として、例えば凸部上部の幅は凹凸を形成しない場合の第2の保護膜の幅と同様であり、凹部開口部(窓部)の幅は、特に限定されないが、2~5μmである。20

#### 【0042】

第2の保護膜11を凹部底部と凸部上部に形成する方法としては、凹凸を形成する方法がエッティングである場合とダイシングである場合とで、多少異なる。

まずエッティングで凹凸を形成する場合、窒化物半導体基板1上に保護膜材料を形成後、その上にレジスト膜を形成しパターンを転写し露光、現像して部分的に第2の保護膜11を形成した後、窒化物半導体基板1をエッティングすることで凹凸の形状を形成する。続いて凹凸を形成した窒化物半導体基板1上、つまり第2の保護膜11上及び凹部底部等に更に保護膜材料を形成し、CF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>ガスによるドライエッティングにより、窒化物半導体基板1の凹部側面の保護膜をエッティングして除去し凹部側面を露出させ、図1(b)に示すように第2の保護膜11を凹部底部と凸部上部に形成する。このように形成すると、例えば図1(b)では、第2の保護膜11は一層として図示されているが、凸部上部の第2の保護膜11上に更に保護膜が形成され2層の保護膜が積層されたような状態になっている。30

ここで凹部底部に第2の保護膜11を形成する前に、凸部上部の第2の保護膜11を取り除いてから、凸部上部と凹部底部とに同時に保護膜材料を形成してもよい。

#### 【0043】

次に、ダイシングで凹凸を形成する場合、窒化物半導体基板1を上面からダイシング・ソーで窒化物半導体基板1に凹凸を形成し、その後、その上に保護膜を形成し、CF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>ガスによるドライエッティングにより凹部側面が露出されるように保護膜をエッティングにより除去することで所望の形状及び位置に第2の保護膜11を形成する。40

#### 【0044】

凹凸の凸部上部と凹部底部に形成される第2の保護膜11の膜厚は、特に限定されないが、凹部側面にも同時に形成されるので、ドライエッティングにより凹部側面の保護膜材料を除去して側面を露出することのできる膜厚であり、且つ凹部底面を被覆できる膜厚にすることが好ましい。また、第2の保護膜11の膜厚は、第4の窒化物半導体2が横方向に成長し易いように調整されていることが好ましく、場合によっては凹部底部と凸部上部の第2の保護膜11の膜厚が異なってもよい。

#### 【0045】

図1(b)の場合のELOG成長による第4の窒化物半導体2の様子を説明する。まず、第2の保護膜11の形成されていない露出されている凹部側面から第4の窒化物半導体2が横方向の成長により成長を開始する。そして隣接している凹部側面から成長した第450

の窒化物半導体 2 が凹部底部の第 2 の保護膜 1 1 を覆うように接合しながら成長を続け、第 2 の保護膜 1 1 とほぼ同じ高さに成長すると、第 2 の保護膜 1 1 上に横方向に成長して、第 2 の保護膜 1 1 を覆い、図 1 ( b ) に示すような第 4 の窒化物半導体 2 を成長させることができる。この E L O G 成長の過程で、転位は窒化物半導体の横方向の成長と共に横方向に伝播するので、縦方向に伝播する転位が激減し、第 4 の窒化物半導体 2 の表面付近には転位がほとんど見られなくなる。

#### 【 0 0 4 6 】

次に、図 1 ( c ) に示すように、窒化物半導体基板 1 に形成された凹凸の凸部上部のみに第 2 の保護膜 1 1 が形成される場合について説明する。

この場合、凹凸の形成の方法は上記の図 1 ( b ) の場合と同様に、ダイシング又はエッチングにより形成され、凹部側面の形状も上記と同様である。

#### 【 0 0 4 7 】

図 1 ( c ) に示すように、窒化物半導体基板 1 の凹部側面と凹部底部が成長可能な面として露出され、凸部上面には、第 2 の保護膜 1 1 が形成され凸部上部からの窒化物半導体の成長を抑制している。このような状態で第 4 の窒化物半導体 2 を成長させると、成長開始時には、凹部側面と凹部底部とから成長が始まると考えられる。しかし、成長するに従い、凹部側面から横方向に成長した窒化物半導体により凹部底部から縦方向に成長を始めた窒化物半導体の成長が遮られる。その結果、第 2 の保護膜 1 1 上に横方向に成長し第 2 の保護膜 1 1 を覆うのは、凹部側面から横方向に成長を開始した窒化物半導体であり、図 1 ( c ) に示すように、厚膜の第 4 の窒化物半導体 2 が得られる。得られる第 4 の窒化物半導体 2 は、上記と同様に転位の伝播が良好に抑制される。

#### 【 0 0 4 8 】

図 1 ( c ) に示す凹部底部に第 2 の保護膜 1 1 を形成しない場合の凹凸の形状のサイズは、窒化物半導体基板 1 の凹部側面での窒化物半導体の成長が、凹部底部での成長に対して優先されるように調整して形成されている。

具体的な図 1 ( c ) の凹凸の形状としては、好ましくは凹部側面の窒化物半導体基板 1 の側面の長さ [ 図 1 ( c ) の d ] と、凹部の開口部の幅 [ 図 1 ( c ) の w ] を調整して形成されてなるもの、より好ましくは、凹凸の形状が、露出された窒化物半導体基板 1 の凹部側面の長さ ( d ) と凹部の開口部の幅 ( w ) との関係、 $w / d$  が、 $0 < w / d \leq 5$  、更に好ましくは $0 < w / d \leq 3$  、最も好ましくは $0 < w / d \leq 1$  を示すように調整して形成されると、成長速度を良好にコントロールでき窒化物半導体基板 1 の凹部側面からの成長をより促進でき、凹部底部からの窒化物半導体の成長を中断し易くなり、転位の少ない第 4 の窒化物半導体 2 が得られ易くなる。

#### 【 0 0 4 9 】

また、形成された凹凸の凸部上部に形成される第 2 の保護膜 1 1 の形成面の形状は、特に限定されないが、例えば、上記 $w / d$  の関係に加えて更に、凹凸を形成された窒化物半導体基板 1 を上から見た形状がランダムな窪み、ストライプ状、碁盤面状、ドット状等に形成してもよく、好ましくはストライプ形状である。 例えば凹凸をストライプ状の形状とする場合、ストライプの形状として、例えば凸部上部のストライプ幅を $1.0 \sim 2.0 \mu m$  、ストライプ間隔 ( 凹部の開口部 ) を $2 \sim 5 \mu m$  としてもよい。

#### 【 0 0 5 0 】

次に、図 1 ( d ) に示すように、第 2 の凹凸 1 3 を形成するのみで第 2 の保護膜 1 1 を形成しない場合について説明する。

図 1 ( d ) の第 2 の凹凸 1 3 の形成の方法としては、上記の図 1 ( b ) 、 ( c ) の凹凸を形成する場合と同様に、ドライエッチングやダイシングなどで形成され、また、凹部側面の形状も上記と同様である。

但し、図 1 ( d ) の場合は保護膜を形成していない点で上記と異なり、その点について以下に示す。

まず、エッチングにより第 2 の凹凸 1 3 を形成する場合、フォトリソグラフィー技術における種々の形状のマスクパターンを用いて、ストライプ状、碁盤目状等のフォトマスク

10

20

30

40

50

を作製し、レジストパターンを第4の窒化物半導体2に形成してエッティングすることにより形成できる。そして、エッティングして凹凸を形成後に、凸部上部のフォトマスクが除去され、第2の凹凸13のみを窒化物半導体基板1に形成することができる。

また、ダイシングで行う場合は、エッティングの場合のようにフォトマスクを用いないので、上記図1(b)等と同様に凹凸を形成することができる。

#### 【0051】

第2の凹凸13の形状は、特に限定されず、上記図1(b)や(c)と同様に、ランダムな窪み、ストライプ形状、碁盤目状、ドット状等の形状が挙げられ、窒化物半導体の横方向の成長を促進させ転位を低減させるのにストライプ形状であることが好ましい。

第2の凹凸13の形状のサイズ、つまり凹部側面の長さや、凸部上部の幅と凹部底部の幅などは、特に限定されないが、少なくとも凹部内での縦方向の成長が抑制され、凹部開口部から厚膜に成長する第4の窒化物半導体2が凹部側面から横方向に成長したものとなるように調整されていることが好ましい。

第2の凹凸13の形状をストライプ状とする場合、ストライプの形状として、例えばストライプ幅(凸部上部の幅)を3~20μm、ストライプ間隔(凹部底部の幅)を3~20μmのものを形成することができる。

凹部開口部から成長する第4の窒化物半導体2の部分を多くするには、凹部底部の幅を広くし、凸部上部の幅を狭くすることで可能となり、このようにすると転位の低減された部分を多くすることができます。凹部底部の幅を広くした場合には、凹部の深さを深めにすることが、凹部底部から成長する可能性のある縦方向の成長を防止するのに好ましい。

#### 【0052】

図1(d)の場合、第4の窒化物半導体2は、第2の凹凸13の凸部上部及び凹部底部から成長を始めるが、凹部底部からの縦方向からの縦方向の成長に比べ、凹部側面からの横方向の成長が促進されるので、凹部内部で側面から成長したものが接合し、底部からの成長を抑制する。その結果、凹部開口部上部には転位がほとんど見られなくなる。一方、凸部上部から成長する第4の窒化物半導体2は、縦方向の成長と、凹部開口部に向う横方向の成長をする傾向がある。この縦方向の成長では転位の伝播は抑制されにくいが、凹部開口部に向う成長では転位が横方向に伝播するので転位の伝播を抑制される傾向がある。その結果、凸部上部の第4の窒化物半導体2も転位が低減される。

また図1(d)の場合、凹部上部にはほとんど転位が見られないが、凸部上部には条件(例えば窒化物半導体基板1の転位密度や反応条件等の成長の条件)によってはやや多めに転位が見られるので、凹部開口部の上部にリッジ形状のストライプを形成することが寿命特性の点で好ましい。あるいは、図1(d)でのELOG成長を第4の窒化物半導体2上に再び行い、その場合、窒化物半導体基板1上に形成された凹部上部には凸部が来るよう~~に~~第4の窒化物半導体2上に凹凸を形成することが転位の低減の点で好ましい。

#### 【0053】

また、図1(a)、(b)、(c)のELOG成長の場合も、第4の窒化物半導体2上に再びELOG成長させてよい。再びELOG成長する場合、新たな保護膜の形成位置としては、第4の窒化物半導体2の表面に転位が現れている場合には、その部分、例えば、第2の保護膜11の形成されていない窓部上部の表面等、に形成すると転位の低減の点で好ましい。

このようなELOG成長の繰り返しは、2回以上行ってよい。転位は、ELOG成長を繰り返して行うことにより、より転位の伝播を抑制できる傾向がある。

#### 【0054】

第5の工程において、第4の窒化物半導体2を成長させる方法としては、特に限定されないが、MOVPE(有機金属気相成長法)、HVP(ハイドライド気相成長法)、MBE(分子線エピタキシー法)、MOCVD(有機金属化学気相成長法)等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。好ましい成長方法としては、膜厚が50μm以下ではMOCVD法を用いると成長速度をコントロールしやすい。また膜厚が50μm以下ではHVPでは成長速度が速くてコントロールが難しい。

10

20

30

40

50

## 【0055】

上記第5の工程で得られる窒化物半導体基板1と第4の窒化物半導体2からなるデバイス構造を形成するための基板は、転位が少なく、特に第2の保護膜11上部及び第2の凹凸13の凹部上部にはほとんど見られなくなり、素子の寿命特性を向上できる。更に、窒化物半導体のM軸方向に対して垂直に劈開すると良好な劈開面が得られると共に、劈開の際に基板の欠けや割れが発生しにくく歩留まりの向上も可能となる。

## 【0056】

また更に、図1(a)、(b)、(c)及び(d)における第2の保護膜11及び第2の凹凸13は、その形状がストライプ形状であって、このストライプが窒化物半導体基板1のM軸方向、<1-100>、<10-10>及び<01-10>のいずれかのM軸方向に対して平行方向に形成されると、窒化物半導体の横方向の成長を促進でき転位の伝播を抑制するのに好ましい。

10

また、第2の保護膜11上部、及び第2の凹凸13の凹部上部の第4の窒化物半導体表面には、上記したようにほとんど転位が見られなくなることから、これらの転位のほとんど見られない部分に、リッジ形状のストライプを形成すると寿命特性を向上させるのに好ましい。また、このようにリッジ形状のストライプが形成されると、共振面を劈開により形成する際にも、窒化物半導体基板1のM軸方向に垂直に劈開することができ、良好な鏡面状の共振面が得られ易くなり好ましい。

## 【0057】

次に、第5の工程のELOG成長により第4の窒化物半導体2を成長させるための窒化物半導体基板1について説明する。

20

本発明において、窒化物半導体基板1としては、特に限定されないが、第4の窒化物半導体2を形成後、この形成面にデバイス構造を形成する際、及び劈開により共振面を形成する際等に、物理的強度があり欠けや割れ等の発生しにくい程度の膜厚を有し、第5の工程で得られる第4の窒化物半導体2の転位を低減し易いものが好ましい。

具体的に、好ましい窒化物半導体基板1として、第4の窒化物半導体を成長させる面上の転位密度が $10^{10} / \text{cm}^3$ 以下、より好ましくは $10^9 / \text{cm}^3$ 以下であるものが挙げられる。転位密度が上記範囲であると、窒化物半導体基板上にELOG成長により成長させる第4の窒化物半導体2の転位を低減させるのに好ましい。また、転位が少ないと、物理的強度も向上し、欠けや割れなどの防止の点でも好ましい。

30

また窒化物半導体基板1として、好ましくは膜厚が $50 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ であり、より好ましくは $80 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ である。このような膜厚であると、窒化物半導体基板1の物理的強度が向上し、歩留まり等の点で好ましい。

また、窒化物半導体基板1を構成する組成としては、特に限定されないが、GaNとなる窒化物半導体が挙げられる。窒化物半導体基板1は、アンドープでも、不純物がドープされていてもよい。窒化物半導体基板1にn電極を形成する場合には、窒化物半導体基板1にn型不純物をドープしてオーミック接触を有するようとする。また、窒化物半導体基板1の結晶性の点からはアンドープであることが好ましい。

## 【0058】

本発明において、窒化物半導体基板1の形成方法としては、特に限定されないが、窒化物半導体の横方向の成長を利用し転位の低減される方法を含む方法が好ましい。例えば具体的な方法としては、好ましくは第2～第3の工程により得られる少なくとも第3の窒化物半導体を有する基板を得る方法が挙げられ、より好ましくは第2～第4の工程により得られる少なくとも第3の窒化物半導体及び第2の窒化物半導体を有する基板を得る方法が挙げられる。異種基板を除去する際に、バッファ層から第1の窒化物半導体は除去されても、残っていてもよいが、好ましくは反りや劈開性の点から除去されていることが好ましい。

40

## 【0059】

本発明の窒化物半導体基板1が、第3の窒化物半導体であると転位の低減された結晶性の良好な窒化物半導体基板1となるので、第4の窒化物半導体2の転位の低減及び結晶性

50

の向上の点で好ましい。また、窒化物半導体基板1が第3及び第2の窒化物半導体であると、第3の窒化物半導体の除去面と成長面との面状態が異なるため反りが生じる傾向があるが、第3の窒化物半導体上に第2の窒化物半導体を成長させることにより反りを軽減させることができ、第5の工程でのELOG成長を良好に行う点で好ましい。

また、第4の工程後に、第3の窒化物半導体の除去面側から研磨して、窒化物半導体基板1を第2の窒化物半導体のみとしてもよく、第2の窒化物半導体のみからなると、第3と第2の窒化物半導体との境目に生じている可能性のある酸化膜等による素子特性へ及ぼす可能性のある悪影響の原因を除去できるので、素子特性の向上の点で好ましい。

#### 【0060】

以下に図2～図5を用いて、第1の工程から順に説明する。 10

第1の工程は、図2に示すように、窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板21上に成長速度を10μm／時間以下0.5μm／時間以上で、窒化物半導体の横方向の成長を利用し転位の低減される方法（第1の工程のELOG成長）により第1の窒化物半導体22を成長させる工程である。

上記第1の窒化物半導体22を成長させる成長速度は、上記のように10μm／時間以下0.5μm／時間以上、好ましくは7μm／時間以下1μm／時間以上、より好ましくは5μm／時間以下1.5μm／時間以上である。成長速度が上記範囲であると、第1の工程のELOG成長の際に、転位の伝播を良好に抑制でき、また第1の窒化物半導体22の膜厚を調整するのに好ましい。このような成長速度を有する具体的な成長方法として、例えばMOCVDが挙げられる。 20

#### 【0061】

第1の工程において、異種基板21としては、窒化物半導体と異なる材料よりなる基板であればどのようなものでも良く、例えば、C面、R面、又はA面を主面とするサファイア、スピネル（MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>）のような絶縁性基板、SiC（6H、4H、3Cを含む）、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、従来知られている窒化物半導体を成長させることができる基板材料を用いることができる。

また、前記異種基板21の主面をオフアングルさせた基板、さらに好ましくはステップ状にオフアングルさせた基板を用いることもできる。このように異種基板の主面がオフアングルされていると転位がより少なくなる。 30

#### 【0062】

第1の窒化物半導体22としては、特に限定されないが、GaNよりなる窒化物半導体が好ましい。また、第1の窒化物半導体22は、アンドープでも、不純物をドープされてもよい。第1の窒化物半導体22が、アンドープであると結晶性の点で好ましい。また、第1の工程でのELOG成長の際に、前記第5の工程のELOG成長の場合と同様に、p型不純物及び/またはn型不純物をドープすると、窒化物半導体の横方向の成長が促進され、転位の低減及び隣接の窒化物半導体同士の接合部分での空隙発生の防止の点で好ましい。

第1の窒化物半導体22の膜厚は、特に限定されず、少なくとも第2の保護膜11や第2の凹凸13を覆うことのできる膜厚以上であり、例えば具体的な膜厚としては、好ましくは1～50μm、より好ましくは2～40μm、さらに好ましくは7～20μmである。上記範囲の膜厚であると、第2の保護膜11等を良好に覆うことができ、転位の伝播の抑制の点で好ましい。 40

#### 【0063】

第1の工程において、第1の窒化物半導体22を成長させる第1の工程のELOG成長としては、特に限定されず、窒化物半導体の縦方向の成長速度に対して、窒化物半導体の横方向の成長速度が促進されるような方法であればよい。例えば従来公知のELOG成長や、既に本出願人が出願した明細書に記載の窒化物半導体の成長方法が挙げられる。本出願人が出願したものとしては、例えば特願平10-77245、同10-275826、同10-119377、同10-132831、同11-37827、同11-37826、同10-146431各号の明細書等に記載されているELOG成長などを用いるこ 50

とができる。

#### 【0064】

第1の工程において、ELOG成長の具体例の一実施の形態としては上記の各号明細書に記載されているが、例えば図2に示す、第1の保護膜12を用いる場合と、第1の凹凸14を形成する場合を挙げて第1の工程のELOG成長の一実施の形態を以下に説明する。

図2の(a)～(d)に、第1の工程における、異種基板21上に、第1の保護膜12又は第1の凹凸14を用いて行うELOG成長により得られる第1の窒化物半導体22等を示す一実施の形態である模式的断面図を示す。

まず、図2(a)は、異種基板21上に、薄膜の窒化物半導体25を成長させ、この表面上に第1の保護膜12を部分的に形成し、第1の保護膜12を形成した面上に第1の窒化物半導体22を成長させてなる模式的断面図である。図2(a)では、異種基板21上に薄膜の窒化物半導体25を成長させているが、薄膜の窒化物半導体25を省略してもよい。転位の低減のためには、薄膜の窒化物半導体25を形成することが好ましい。

図2(b)は、異種基板21上に、薄膜の窒化物半導体25を成長させ、この薄膜の窒化物半導体25に凹凸を形成し、凹部底部及び凸部上部に、第1の保護膜12を形成し、この第1の保護膜12を形成した面上に第1の窒化物半導体22を成長させてなる模式的断面図である。

図2(c)は、異種基板21上に、薄膜の窒化物半導体25を成長させ、この薄膜の窒化物半導体25に凹凸を形成し、凸部上部にのみ第1の保護膜12を形成し、この上から第1の窒化物半導体22を成長させてなる模式的断面図である。

図2(d)は、異種基板21上に、薄膜の窒化物半導体25を成長させ、この薄膜の窒化物半導体25に第1の凹凸14を形成し、この第1の凹凸14を形成した面上に第1の窒化物半導体22を成長させてなる模式的断面図である。

#### 【0065】

上記薄膜の窒化物半導体25としては、特に限定されないが、GaNよりなる窒化物半導体が挙げられる。また薄膜の窒化物半導体25は、アンドープでも、不純物をドープされていてもよいが、結晶性の点からアンドープが好ましい。

薄膜の窒化物半導体25は、高温、具体的には約900程度～1100、好ましくは1050で異種基板21上に成長される。薄膜の窒化物半導体25の膜厚は特に限定しないが、例えば100オングストローム以上、好ましくは1～10μm程度、より好ましくは1～5μmの膜厚で形成することが望ましい。薄膜の窒化物半導体25の膜厚は、第1の保護膜12や第1の凹凸14を形成するための下地層となるので、保護膜や凹凸の形成されたかにより適宜調整させるものであり、上記範囲の膜厚であると、調整がし易くなる。

#### 【0066】

また、第1の工程において、図2(a)には示されているが、異種基板21上に、薄膜の窒化物半導体25を成長させる前(薄膜の窒化物半導体25を成長させない場合は第1の保護膜12を形成させる前)に、低温成長バッファ層を成長させてもよい。バッファ層としては、AlN、GaN、AlGaN、InGaN等が用いられる。バッファ層は、900以下300以上の温度で、膜厚0.5μm～10オングストロームで成長される。このように異種基板21上にバッファ層を900以下の温度で形成すると、異種基板21に接して成長される窒化物半導体と異種基板21との格子定数不正を緩和し第1の窒化物半導体22の転位が少なくなる傾向にある。

#### 【0067】

第1の工程において、第1の保護膜12の形成方法、形状及びサイズ、また第1の凹凸14の形成方法、形状及びサイズの詳細は、上記第5の工程の窒化物半導体基板1に形成される第2の保護膜11や第2の凹凸13の形成方法、形状及びサイズなどと同様である。但し、第5の工程では窒化物半導体基板1上に第2の保護膜11又は第2の凹凸13を形成するのに対して、第1の工程では異種基板21上に成長された薄膜の窒化物半導体2

10

20

30

40

50

5上等に形成される点が相違する。

#### 【0068】

ここで、第1の工程のELOG成長により得られた窒化物半導体基板1上に、第5の工程のELOG成長が行われるが、第5の工程のELOG成長と第1の工程のELOG成長とは、同一でも異なっていてもよい。例えば、第1の工程のELOG成長が図2の(b)の方法であり、第5の工程のELOG成長が図1の(d)の方法である、または第1の工程では図2(a)の方法で、第5の工程が図1の(a)の方法である等の種々の組み合わせで行ってもよい。このような第5の工程と第1の工程でのELOG成長の選択は、転位の低減されやすいような条件や、量産する際に歩留まりの低下しにくい条件などを考慮して選択される。

10

また、第2の保護膜11又は第2の凹凸13と、第1の保護膜12又は第1の凹凸14との形状がストライプ形状である場合、第5の工程で形成されるストライプ形状の第2の保護膜11や第2の凹凸13と、第1の工程で形成されるストライプ形状の第1の保護膜12や第1の凹凸14とが、平行に形成され、且つそれらは窒化物半導体基板1のM軸方向に対して平行方向となるように形成されることが好ましい。

第5の工程と第1の工程での保護膜などが上記のように窒化物半導体基板1の3種あるM軸方向のうち、同一のM軸方向に対して平行方向に形成されると、第5の工程でELOG成長により成長される第4の窒化物半導体2の横方向の成長が良好に促進され、転位の低減及び空隙の発生の防止の点で好ましい。

#### 【0069】

20

窒化物半導体基板1を構成するGaN結晶は、点対称であるので、劈開が容易となる3種のM軸方向のいずれかの方向に平行となるように第5の工程でストライプ形状の保護膜などを形成しても、同様の結果が得られるのではないかと推測される。しかし、実際に見てみると、窒化物半導体基板1の3種あるM軸方向のうち、同一のM軸方向に平行となるように、第5の工程と第1の工程とで保護膜や凹凸などを形成すると、第5の工程のELOG成長が良好となり転位の低減された第4の窒化物半導体2の成長が良好となる傾向がある。

#### 【0070】

第2の保護膜又は第2の凹凸と、第1の保護膜又は第1の凹凸とが、窒化物半導体基板1の同一のM軸方向に対して平行方向となるようにする方法としては、窒化物半導体基板1の異種基板21等を除去した面には、CL等による転位分布の観察によると転位分布がストライプ状に観測され、このストライプ状の転位分布に沿って第1の保護等を形成したり、又はオリエンテーションフラット面(オリフラ面)が窒化物半導体のM軸方向に垂直となるようにし、このオリフラ面を基準にし、第5の工程と第1の工程で用いられる保護膜や凹凸を平行方向のストライプ形状として形成する。このように形成することにより、第2の保護膜と第1の保護膜、あるいは第2の保護膜と第1の凹凸、第2の凹凸と第1の保護膜、第2の凹凸と第1の凹凸等がそれぞれ窒化物半導体のM軸方向に平行となる。

30

#### 【0071】

また、前記したように、第1の工程で用いられる異種基板21としては、異種基板となる材料の主面をオフアングルさせた基板、さらにステップ状にオフアングルさせた基板を用いたほうが好ましい。オフアングルさせた基板を用いると、表面に3次元成長が見られず、ステップ成長があらわれ表面が平坦になり易い。更にステップ状にオフアングルされているサファイア基板のステップに沿う方向(段差方向)が、サファイアのA面に対して垂直に形成されていると、窒化物半導体のステップ面がレーザの共振器方向と一致し、レーザ光が表面粗さにより乱反射されることが少くなり好ましい。

40

#### 【0072】

更に好ましい異種基板としては、(0001)面[C面]を主面とするサファイア、(112-0)面[A面]を主面とするサファイア、又は(111)面を主面とするスピネルである。ここで異種基板が、(0001)面[C面]を主面とするサファイアであるとき、前記薄膜の窒化物半導体25等に形成される保護膜や凹凸のストライプ形状が、そのサファ

50

イアの(112-0)面[A面]に対して垂直なストライプ形状を有していること[窒化物半導体の(101-0)[M面]に平行方向にストライプを形成すること]が好ましく、また、オフアングルのオフ角(図8に示す)は好ましくは0.1°~0.5°、より好ましくは0.1°~0.2°である。

#### 【0073】

また(112-0)面[A面]を主面とするサファイアであるとき、前記保護膜や凹凸のストライプ形状はそのサファイアの(11-02)面[R面]に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましく、また(111)面を主面とするスピネルであるとき、前記凹凸のストライプ形状はそのスピネルの(110)面に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましい。

10

ここでは、保護膜や凹凸がストライプ形状の場合について記載したが、本発明においてサファイアのA面及びR面、スピネルの(110)面に窒化物半導体が横方向に成長し易いので、これらの面に第4の窒化物半導体の端面が形成されるように保護膜や凹凸の形成を考慮することが好ましい。

#### 【0074】

本発明において用いられる異種基板21について図を用いて更に詳細に説明する。図6はサファイアの結晶構造を示すユニットセル図である。

まず、C面を主面とするサファイアを用い、凹凸はサファイアA面に対して垂直なストライプ形状とする場合について説明する。例えば、図7は主面側のサファイア基板の平面図である。この図はサファイアC面を主面とし、オリエンテーションフラット(オリフラ)面をA面としている。この図に示すように保護膜や凹凸のストライプをA面に対して垂直方向で、互いに平行なストライプを形成する。図7に示すように、サファイアC面上に窒化物半導体を選択成長させた場合、窒化物半導体は面内ではA面に対して平行な方向で成長しやすく、垂直な方向では成長しにくい傾向にある。従ってA面に対して垂直な方向でストライプを設けると、ストライプとストライプの間の窒化物半導体がつながって成長しやすくなり、ELOG成長が容易に可能となると考えられるが詳細は定かではない。

20

#### 【0075】

次に、A面を主面とするサファイア基板を用いた場合、上記C面を主面とする場合と同様に、例えばオリフラ面をR面とすると、R面に対して垂直方向に、互いに平行なストライプを形成することにより、ストライプ幅方向に対して窒化物半導体が成長しやすい傾向にあるため、転位の少ない窒化物半導体層を成長させることができる。

30

#### 【0076】

また次に、スピネル(MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)に対しても、窒化物半導体の成長は異方性があり、窒化物半導体の成長面を(111)面とし、オリフラ面を(110)面とすると、窒化物半導体は(110)面に対して平行方向に成長しやすい傾向がある。従って、(110)面に対して垂直方向にストライプを形成すると窒化物半導体層と隣接する窒化物半導体同士が保護膜の上部でつながって、転位の少ない結晶を成長できる。なおスピネルは四方晶であるため特に図示していない。

#### 【0077】

次に、本発明の成長方法において、図3に示すように、第2の工程では、上記第1の工程のELOG成長により形成された第1の窒化物半導体22上に、成長速度を500μm/時間以下10μm/時間以上で、第3の窒化物半導体23を成長させる。

40

第2の工程で、第3の窒化物半導体23を成長させる成長速度は、上記のように500μm/時間以下10μm/時間以上、好ましくは100μm/時間以下50μm/時間以上である。第3の窒化物半導体23を成長させる速度が、上記範囲であると、第3の窒化物半導体23を上記の膜厚に成長させる際に、異常成長が防止でき、更に第3の窒化物半導体23の成長面がきれいとなり好ましい。例えば成長速度が上記範囲となる具体的な方法としては、例えばHYPE等が挙げられる。

#### 【0078】

第2の工程で成長される第3の窒化物半導体23としては、特に限定されないが、Ga

50

Nからなる窒化物半導体が結晶性の点などから好ましい。また、第3の窒化物半導体23は、アンドープでも不純物をドープされてもよいが、アンドープであると結晶性の点で好ましい。

#### 【0079】

第3の窒化物半導体23の膜厚は、前記第1の窒化物半導体22の膜厚より厚く成長される。第3の窒化物半導体23の膜厚としては、特に限定されないが、後述の第3の工程で少なくとも異種基板21を除去された後、第5の工程を行う際やデバイス構造を形成する際等の物理的強度に耐えられ、欠けや割れ等の生じにくい膜厚以上で、装置の大きさや操作がしやすい範囲の膜厚が望ましい。

例えば、第3の窒化物半導体23の具体的な膜厚としては、好ましくは $50\text{ }\mu\text{m} \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ 、より好ましくは $80\text{ }\mu\text{m} \sim 500\text{ }\mu\text{m}$ である。このような範囲の膜厚であると、第3の窒化物半導体23を窒化物半導体基板1とした場合に、操作性よく、また欠けや割れ等の発生が防止でき好ましい。

#### 【0080】

次に、図4に示すように、第3の工程では、第2の工程で第3の窒化物半導体23を成長後に、少なくとも異種基板21を除去して、少なくとも第3の窒化物半導体23を有する第5の工程で用いられる窒化物半導体基板1とする。第3の工程で除去される部分としては、少なくとも異種基板21が除去されればよく、図2のバッファ層、薄膜の窒化物半導体25、又は第1の保護膜13等を有していても、劈開により共振面を形成できる。好ましくは異種基板21～第1の窒化物半導体22までが除去されていると、第3の窒化物半導体23の反りの軽減の点で好ましく、更に保護膜上の空隙の発生の可能性のある第1の窒化物半導体22を除去すると劈開性がより良好となる。

また、第3の工程で除去される部分は、製造工程での操作性のし易さや、反り等を考慮して、第3の窒化物半導体の一部までを除去してもよい。

第3の窒化物半導体23から異種基板21等を除去する方法としては、例えば研磨等の方法が挙げられる。

また、第3の窒化物半導体23を第5の工程での窒化物半導体基板1とする場合、第3の窒化物半導体23の異種基板21等を除去した面とは反対の面上に第5の工程のELOG成長を行う。

#### 【0081】

次に、第4の工程を有する場合について説明する。

図5に示すように、上記第3の工程後に、第4の工程において、第3の窒化物半導体23の異種基板21等を除去した面とは反対の面上に、成長速度を $500\text{ }\mu\text{m}/\text{時間}$ 以下 $10\text{ }\mu\text{m}/\text{時間}$ 以上で、第2の窒化物半導体を成長させる。第4の工程を有する場合は、第5の工程での窒化物半導体基板1は、少なくとも第3の窒化物半導体と第2の窒化物半導体とからなり、好ましくは第3と第2の窒化物半導体のみからなる。

#### 【0082】

また、本発明の成長方法において、第4の工程を有する場合、第2の窒化物半導体24を成長後に第3の窒化物半導体を除去し、第5の工程で用いられる窒化物半導体基板1として、第2の窒化物半導体24のみからなるものを用いてよい。第4の工程後に、第3の窒化物半導体23を除去して、第2の窒化物半導体24のみにすると、第3と第2の窒化物半導体との境界部分が除去されるので、境界部分に生じると思われる酸化膜を除去でき素子特性（寿命特性等）の向上の点で好ましい。第2の窒化物半導体のみを第5の工程で用いる窒化物半導体基板1とする場合、第2の窒化物半導体の膜厚は、特に限定されないが、例えば $80 \sim 500\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚を有することが物理的強度の点で好ましい。

#### 【0083】

第2の窒化物半導体24としては、特に限定されないが、上記第3の窒化物半導体23と同様の窒化物半導体を挙げることができる。

第2の窒化物半導体の成長速度は、上記のように $500\text{ }\mu\text{m}/\text{時間}$ 以下 $10\text{ }\mu\text{m}/\text{時間}$ 以上であり、好ましくは上記第3の窒化物半導体23を成長させる場合と同様である。

10

20

30

40

50

このように異種基板 2 1 を除去した後で、第 3 の窒化物半導体 2 3 の成長面に第 2 の窒化物半導体 2 4を成長させると、第 3 の窒化物半導体 2 3 の反りが軽減され、第 5 の工程やデバイス工程等を良好に行える。また、第 2 の窒化物半導体 2 4を成長させるとより結晶性が向上し、第 2 の窒化物半導体 2 4上に上記第 5 の工程を行うと、第 4 の窒化物半導体 2の転位の低減及び結晶性の向上の点で好ましい。

#### 【0084】

第 2 の窒化物半導体 2 4の膜厚は、特に限定されず、第 2 の窒化物半導体 2 4の膜厚が厚いほど反りが軽減され結晶性の向上の点で好ましいが、あまり厚膜にすると操作性等が低下する場合や装置の大きさに限りがあるので、第 3 の窒化物半導体 2 3 と第 2 の窒化物半導体 2 4の膜厚の合計が 1000 μm 以下、好ましくは 800 μm 以下、好ましくは 400 μm 以下となることが好ましく、少なくとも第 3 と第 2 の窒化物半導体の膜厚が共に 80 μm 以上であることが好ましい。膜厚がこの範囲であると物理的強度及び操作性等の点で好ましい。この場合、第 3 の窒化物半導体 2 3 の膜厚は、上記の膜厚の範囲で且つ第 3 と第 2 の窒化物半導体の膜厚の合計が 1000 μm 以下となるように調整される。10

#### 【0085】

次に、上記本発明の窒化物半導体の成長方法により得られる本発明の基板上に、デバイス構造を形成してなる窒化物半導体素子について説明する。

本発明の窒化物半導体素子は、上記本発明の方法により得られる窒化物半導体の基板上（窒化物半導体基板 1 上に成長された第 4 の窒化物半導体 2上）に、少なくとも n 型窒化物半導体、活性層、及び p 型窒化物半導体を有するデバイス構造が形成されてなる素子が挙げられる。20

上記素子を構成する n 型窒化物半導体などは、特に限定されず、従来公知のデバイス構造を適宜用いることができる。デバイス構造の一実施の形態としては、後述の実施例に示されるものが挙げられる。しかし、本発明はこれに限定されない。また、電極や素子の形状なども特に限定されず、公知の種々のものを用いることができる。

つまり、前記本発明の窒化物半導体の成長方法により得られる基板が転位の低減された良好な基板であるので、デバイス構造の種類により差あるものの、寿命特性を良好にすることができるものである。また、基板は窒化物半導体からなるので窒化物半導体の M 軸方向に垂直な面で良好に劈開できる。

#### 【0086】

また本発明において、好ましい窒化物半導体素子としては、例えばレーザ素子において、発光領域がリッジ形状のストライプであるのもが寿命特性などの素子特性の点から挙げられる。

より好ましい素子としては、リッジ形状のストライプが、上記第 5 の工程で形成されるストライプ形状の第 2 の保護膜 1 1及び第 2 の凹凸 1 3のストライプ方向に平行に形成され、さらに好ましくはストライプ形状の第 2 の保護膜 1 1の保護膜上部及び第 2 の凹凸 1 3の凹部上部に形成されることが寿命特性を向上させる点で好ましい。

第 5 の工程の E L O G 成長の種類によって、第 4 の窒化物半導体 2表面の平均の転位密度に差はあるが、第 2 の保護膜 1 1上部及び第 2 の凹凸 1 3の凹部上部には転位がほとんど見られなくなることから、この部分に発光領域、例えば上記のようなリッジ形状のストライプを形成すると、レーザ素子などを作動中に転位の伝播を防止でき素子劣化を抑制し寿命特性の向上が可能となる。40

#### 【0087】

##### 【実施例】

以下に本発明の一実施の形態である実施例を示し、更に本発明を詳細に説明する。しかし本発明はこれに限定されない。

#### 【0088】

##### 【実施例 1】

以下に図 1 (a) に示される窒化物半導体基板 1 と第 4 の窒化物半導体 2からなる窒化物半導体の基板を製造させる工程を示す。（第 1 の工程から第 3 の工程は図 2 ~ 図 4 を参50

照 )

**【 0 0 8 9 】**

[窒化物半導体基板 1 の製造 ]

(第 1 の工程 )

異種基板 2 1 として、C 面を主面とし、オリフラ面を A 面とするサファイア基板 2 1 を用い、このサファイア基板 2 1 を M O C V D の反応容器内にセットし、温度を 5 1 0 にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアと T M G (トリメチルガリウム)とを用い、サファイア基板 2 1 上に G a N よりなるバッファ層を 2 0 0 オングストロームの膜厚で成長させる。

**【 0 0 9 0 】**

10

バッファ層成長後、T M G のみ止めて、温度を 1 0 5 0 まで上昇させ、1 0 5 0 になつたら、原料ガスに T M G 、アンモニア、シランガスを用い、アンドープ G a N よりなる薄膜の窒化物半導体 2 5 を 5  $\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

バッファ層と薄膜の窒化物半導体 2 5 とを積層したウェーハの、その薄膜の窒化物半導体 2 5 の上にストライプ状のフォトマスクを形成し、C V D 装置によりストライプ幅 1 8  $\mu\text{m}$  、窓部 2  $\mu\text{m}$  の S i O <sub>2</sub> よりなる第 1 の保護膜 1 2 を 0 . 5  $\mu\text{m}$  の膜厚で形成する。なお、第 1 の保護膜 1 2 のストライプ方向はサファイア A 面に対して垂直な方向、つまり図 7 に示すように、オリフラ面に対して垂直な方向でとする。このように形成すると、サファイアの A 面に垂直な方向が、窒化物半導体の M 軸方向に対して平行方向となる。

**【 0 0 9 1 】**

20

第 1 の保護膜 1 2 を形成後、ウェーハを M O C V D の反応容器に移し、1 0 5 0 にて、原料ガスに T M G 、アンモニア、シランガス、C p <sub>2</sub> M g (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、S i と M g の不純物を  $5 \times 1 0^{17} / \text{cm}^3$  ドープした G a N よりなる第 1 の窒化物半導体 2 2 を M O C V D 装置により 1 5  $\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。S i と M g の不純物は第 1 の窒化物半導体 2 2 の成長と同時にドープされる。但し、第 1 の窒化物半導体 2 2 の成長速度は、3  $\mu\text{m} / \text{時間}$  とした。

**【 0 0 9 2 】**

得られた第 1 の窒化物半導体 2 2 の表面を C L (カソードルミネッセンス)により観察すると、第 1 の保護膜 1 2 上部はほとんど結晶欠陥が見られず、窓部上部は  $8 \times 1 0^5$  個 /  $\text{cm}^2$  程度観測された。転位密度は、観測される部分によりやや差が生じる場合がある。

30

**【 0 0 9 3 】**

(第 2 の工程 )

次に、第 1 の窒化物半導体 2 2 上に、アンドープの G a N からなる第 3 の窒化物半導体 2 3 を H V P E 装置により 2 0 0  $\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。但し、第 3 の窒化物半導体 2 3 の成長速度は、5 0  $\mu\text{m} / \text{時間}$  とした。

**【 0 0 9 4 】**

(第 3 の工程 )

次に、第 3 の窒化物半導体 2 3 を成長後に、サファイア基板 2 1 から第 1 の窒化物半導体 2 2 までを研磨により除去して第 3 の窒化物半導体 2 4 のみの窒化物半導体基板 1 が得られる。

40

得られた第 3 の窒化物半導体 2 4 のサファイア基板などを除去した面には、ストライプ状に転位のほとんどない部分とやや転位の多い部分とが存在している。一方、第 3 の窒化物半導体 2 4 の成長面は、平均的に転位密度が  $1 \times 1 0^7$  個 /  $\text{cm}^2$  程度存在している。

**【 0 0 9 5 】**

[本発明の基板の製造 ]

(第 5 の工程 )

上記の第 3 の窒化物半導体 2 3 からなる窒化物半導体基板 1 上に、第 3 の窒化物半導体 2 3 の除去面のストライプ状の転位分布と平行となるような窒化物半導体の M 軸方向に対して平行方向に、第 2 の保護膜 1 1 を第 3 の窒化物半導体 2 3 の成長面(除去面とは反対

50

の面)に、上記第1の工程で形成した第1の保護膜12と同様に形成する。

第2の保護膜11を形成後、第4の窒化物半導体2をMOCVD装置で15μmの膜厚で成長させる。

第4の窒化物半導体2の表面の転位密度は、窓部上部の表面にはわずかな転位が見られるが、第2の保護膜11上部の第4の窒化物半導体2の表面にはほとんど転位が見られない。

#### 【0096】

##### [実施例2]

実施例1において、第2の工程で成長される第3の窒化物半導体23の膜厚を150μmとし、更に第3の工程後に下記第4の工程を追加する他は同様にしてデバイス構造を形成するための基板を製造する。 10

##### (第4の工程)

サファイア基板等を除去された第3の窒化物半導体23の成長面上に、アンドープのGaNからなる第2の窒化物半導体24を、HYPE装置により、200μmの膜厚で成長させる(図5)。

#### 【0097】

得られた第3の窒化物半導体23と第2の窒化物半導体24からなる窒化物半導体基板1上に第5の工程のELOG成長をさせる。第3の窒化物半導体23の成長面に第2の窒化物半導体24を成長させると反りが軽減され、第5の工程でのELOG成長が実施例1より良好となり、転位の良好に低減された第4の窒化物半導体2を得ることができる。 20

#### 【0098】

##### [実施例3]

以下に図1(b)に示される窒化物半導体基板1と第4の窒化物半導体2からなる窒化物半導体の基板を製造させる工程を示す。(第1の工程から第4の工程は図2~図5を参照)

#### 【0099】

##### (第1の工程)

異種基板21として、2インチ、C面を正面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板21をMOCVDの反応容器内にセットし、温度を510にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、サファイア基板21上にGaNよりなるバッファ層(図示されていない)を約200オングストロームの膜厚で成長させる。 30

#### 【0100】

バッファ層を成長後、TMGのみ止めて、温度を1050まで上昇させる。1050になったら、原料ガスにTMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなる薄膜の窒化物半導体25を2μmの膜厚で成長させる。

#### 【0101】

薄膜の窒化物半導体25を成長後、ストライプ状のフォトマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅15μm、ストライプ間隔(凹部の開口部)3μmのSiO<sub>2</sub>による第1の保護膜12を0.5μmの膜厚で形成し、続いて、RIE装置により薄膜の窒化物半導体25の途中までエッチングして凹凸を形成することにより薄膜の窒化物半導体25の凹部側面を露出させる。なお、ストライプ方向は、図7に示すように、オリフラ面に対して垂直な方向で形成する。このようにオリフラ面に垂直な方向で成長させると、オリフラ面に垂直な方向が窒化物半導体のM軸方向に対して平行方向となる。 40

#### 【0102】

薄膜の窒化物半導体25に、凹凸を形成した後、凹凸を形成した薄膜の窒化物半導体25の表面にスパッタ装置により保護膜材料を形成し、CF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>ガスにより、凹凸を形成したことにより形成された第1の窒化物半導体22の凹部側面の保護膜をエッチングにより除去して凹部側面を露出させ、凸部上部及び凹部底部に第1の保護膜12を形成する。

#### 【0103】

10

20

30

40

50

第1の保護膜12を形成後、MOCVDの反応容器内にセットし、温度を1050で、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 $Cp_2Mg$ を用い、成長と同時にSiとMgの不純物を $5 \times 10^{17} / cm^3$ ドープしたGaNよりなる第1の窒化物半導体22をMOCVD装置により $15 \mu m$ の膜厚で成長させる。但し、第1の窒化物半導体22の成長速度は、 $2 \mu m / 時間$ として行った。

#### 【0104】

得られた第1の窒化物半導体22の表面をCL(カソードルミネッセンス)により観察すると、転位は非常に低減されている。但し、第1の窒化物半導体22の表面には、第1の保護膜12のストライプ方向と平行に転位の分布がわずかに見られる。この転位の分布は、他のほとんど転位の見られない部分と相対的に比較した場合である。

10

#### 【0105】

##### (第2の工程)

次に、第1の窒化物半導体22上に、アンドープのGaNからなる第3の窒化物半導体23をHYPE装置により $100 \mu m$ の膜厚で成長させる。但し、第3の窒化物半導体23の成長速度は、 $50 \mu m / 時間$ とした。

#### 【0106】

##### (第3の工程)

次に、第3の窒化物半導体23を成長後に、サファイア基板21から第1の窒化物半導体22までを研磨により除去して第3の窒化物半導体23のみとする。第3の窒化物半導体23の除去面には、第1の窒化物半導体23の表面にわずかに分布していた転位分布とほぼ同様のものが見られる。

20

#### 【0107】

##### (第4の工程)

次に、第3の窒化物半導体23の成長面上に、アンドープのGaNからなる第2の窒化物半導体24を、HYPE装置により、 $250 \mu m$ の膜厚で成長させる。

得られた第3の窒化物半導体23と第2の窒化物半導体24からなる窒化物半導体基板[図2(b)]の表面には、わずかな転位がほぼ均一に見られる。

#### 【0108】

##### (第5の工程)

上記の第3の窒化物半導体23と第2の窒化物半導体24からなる窒化物半導体基板1上に、第3の窒化物半導体23の除去面のストライプ状の非常にわずかな転位分布と平行となるような窒化物半導体のM軸方向に対して平行方向に、第2の保護膜11を第2の窒化物半導体24の成長面に、上記第1の工程で形成したように、凹凸を形成後に第1の保護膜12を形成したのと同様に、凹部底部と凸部上部に第2の保護膜11を形成する。

30

第2の保護膜11を形成後、第4の窒化物半導体2をMOCVD装置で $15 \mu m$ の膜厚で成長させる。

第4の窒化物半導体2の表面の転位は、全体的にほとんど見られない。そして、窒化物半導体基板1と第4の窒化物半導体2からなる基板1[図1(b)]は、転位がほとんど見られず、欠けや割れが発生しにくい。

#### 【0109】

40

##### [実施例4]

以下に図1(c)の基板を製造する方法について記載する。

##### (第1の工程)

異種基板1として、2インチ、C面を正面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板1を反応容器内にセットし、温度を510にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、サファイア基板1上にGaNよりなるバッファ層(図示されていない)を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

#### 【0110】

バッファ層を成長後、TMGのみ止めて、温度を1050まで上昇させる。1050

50

になったら、原料ガスに T M G 、アンモニアを用い、アンドープの G a N よりなる薄膜の窒化物半導体 2 5 を  $2 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

#### 【 0 1 1 1 】

薄膜の窒化物半導体 2 5 を成長後、ストライプ状のフォトマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅  $1.5 \mu\text{m}$  、ストライプ間隔（凹部の開口部） $2 \mu\text{m}$  の S i O<sub>2</sub> よりなる第 1 の保護膜 1 1 を  $0.5 \mu\text{m}$  の膜厚で形成し、続いて、R I E 装置によりサファイア基板 1 が露出するまで薄膜の窒化物半導体 2 5 をエッチングして凹凸を形成することにより薄膜の窒化物半導体 2 5 の凹部側面を露出させることにより凸部上部のみに第 1 の保護膜 1 2 を形成する。凹部側面の幅 d はほぼ  $2 \mu\text{m}$  である。なお、ストライプ方向は、図 7 に示すように、オリフラ面に対して垂直な方向であり、窒化物半導体の M 軸方向に対して平行方向となる。10

#### 【 0 1 1 2 】

第 1 の保護膜 1 2 を形成後、反応容器内にセットし、温度を  $1050^\circ\text{C}$  で、原料ガスに T M G 、アンモニア、シランガス、C p<sub>2</sub>M g を用い、成長と同時に S i と M g の不純物を  $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  ドープした G a N よりなる第 1 の窒化物半導体 2 2 を、M O C V D 装置により、 $1.5 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。第 1 の窒化物半導体 2 2 の成長速度は、 $2 \mu\text{m} / \text{時間}$  である。

#### 【 0 1 1 3 】

##### ( 第 2 の工程 )

次に第 1 の窒化物半導体 2 2 上に、アンドープの G a N からなる第 3 の窒化物半導体 2 3 を、H V P E 装置により、 $1.50 \mu\text{m}$  の膜厚に成長させる。成長速度は、 $5.0 \mu\text{m} / \text{時間}$  である。20

#### 【 0 1 1 4 】

##### ( 第 3 の工程 )

第 3 の窒化物半導体 2 3 を成長後、サファイア基板から第 1 の窒化物半導体 2 2 までを除去し、第 3 の窒化物半導体 2 3 のみとする。第 3 の窒化物半導体 2 3 の除去面には、わずかな転位が第 1 の保護膜 1 2 と平行にストライプ状に分布している。

#### 【 0 1 1 5 】

##### ( 第 4 の工程 )

第 3 の窒化物半導体 2 3 の成長面上に、アンドープの G a N からなる第 2 の窒化物半導体 2 4 を、H V P E 装置により、 $2.00 \mu\text{m}$  の膜厚に成長させる。成長速度は、 $5.0 \mu\text{m} / \text{時間}$  である。30

以上の工程を経ることにより、第 3 の窒化物半導体 2 3 と第 2 の窒化物半導体 2 4 からなる窒化物半導体基板 1 [ 図 2 ( c ) ] を得ることができる。得られた窒化物半導体基板 1 の表面には  $1 \times 10^7 \text{ 個} / \text{cm}^2$  程度の転位が見られる。

#### 【 0 1 1 6 】

##### ( 第 5 の工程 )

次に、上記の第 3 の窒化物半導体 2 3 と第 2 の窒化物半導体 2 4 からなる窒化物半導体基板 1 の表面に、ストライプ状のフォトマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅  $1.5 \mu\text{m}$  、ストライプ間隔（凹部の開口部の幅 w ） $2 \mu\text{m}$  の S i O<sub>2</sub> よりなる第 2 の保護膜 1 1 を  $0.5 \mu\text{m}$  の膜厚で形成し、続いて、R I E 装置により凹部側面の幅 d がほぼ  $2 \mu\text{m}$  の深さにエッチングして凹凸を形成することにより、凸部上部にのみ第 2 の保護膜 1 1 を形成する。形成された第 2 の保護膜 1 1 のストライプ方向は、第 1 の保護膜 1 2 のストライプ方向と平行となるように、窒化物半導体基板 1 の 3 種ある M 軸方向のうち同一の M 軸方向に対して平行方向である。40

#### 【 0 1 1 7 】

上記のように凸部上部のみに第 2 の保護膜 1 1 を形成した後、第 4 の窒化物半導体 2 を、 $3.0 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

第 4 の窒化物半導体 2 の表面の転位は、窓部上部の表面にわずかにストライプ状に分布しているが、全体的に転位が非常に低減された窒化物半導体基板 1 と第 4 の窒化物半導体 50

2からなる基板〔図1(c)〕を得ることができる。

【0118】

[実施例5]

以下に、図1(d)に示される基板を製造する方法についての一実施の形態である。(第1の工程から第4の工程は図2(d)～図5を参照)

(第1の工程)

異種基板21として、2インチ、C面を主面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板21を反応容器内にセットし、温度を510にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、サファイア基板21上にGaNよりなるバッファ層(図示されていない)を約200オングストロームの膜厚で成長させる。 10

【0119】

バッファ層を成長後、TMGのみ止めて、温度を1050まで上昇させる。1050になったら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{18}$ /cm<sup>3</sup>ドープしたGaNよりなる薄膜の窒化物半導体層25を2μmの膜厚で成長させる。

【0120】

薄膜の窒化物半導体層25を成長後、ストライプ状のフォトマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅(凸部の上部になる部)5μm、ストライプ間隔(凹部底部となる部分)10μmにパターニングされたSiO<sub>2</sub>膜を形成し、続いて、RIE装置によりSiO<sub>2</sub>膜の形成されていない部分の薄膜の窒化物半導体層25を薄膜の窒化物半導体25が残る程度に途中までエッチングして凹凸を形成することにより、凹部側面に薄膜の窒化物半導体25を露出させる。凹凸を形成した後、凸部上部のSiO<sub>2</sub>を除去することにより第1の凹凸14を形成する。なお、第1の凹凸14のストライプ方向は、図7に示すように、オリフラ面に対して垂直な方向で形成する。 20

【0121】

次に、反応容器内にセットし、温度を1050で、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープのGaNよりなる第1の窒化物半導体層22を、MOCVD装置により、15μmの膜厚で成長させる。成長速度は、2μm/時間である。

【0122】

(第2の工程)

30

上記第1の窒化物半導体22上に、アンドープのGaNからなる第3の窒化物半導体23を、HYPE装置により、100μmの膜厚で成長させる。成長速度は、50μm/時間である。

【0123】

(第3の工程)

第3の窒化物半導体23を成長後に、サファイア基板1から第1の窒化物半導体までを除去して、単独の第3の窒化物半導体23とする。

【0124】

(第4の工程)

40

第3の工程で得られた第3の窒化物半導体23の成長面上に、アンドープのGaNからなる第2の窒化物半導体24を、HYPE装置により、200μmの膜厚で成長させる。成長速度は、50μm/時間である。

【0125】

上記の工程を経ることにより、第3の窒化物半導体23と第2の窒化物半導体24からなる窒化物半導体基板が得られる。得られた第2の窒化物半導体24表面には、 $5 \times 10^6$ 個/cm<sup>2</sup>程度の転位が見られた。また、第3の窒化物半導体23の除去面には転位の分布が、凹部開口部から成長した部分にはほとんど転位が見られないが、凸部上部から成長した部分には $1 \times 10^7$ 個/cm<sup>2</sup>程度の転位が第1の凹凸13のストライプ方向に平行に分布している。

【0126】

50

(第5の工程)

次に、図1(c)の基板を成長させる。

上記の第3の窒化物半導体23と第2の窒化物半導体24からなる窒化物半導体基板1上に、上記第1の工程で形成した第1の凹凸14と同様に、第2の凹凸13を形成する。但し、第2の凹凸13のストライプ方向は、第1の凹凸14のストライプ方向と平行となるように、上記第3の窒化物半導体23の除去面に分布しているストライプ状の転位と平行となるように形成することで、窒化物半導体のM軸方向に対して平行方向となる。この第2の凹凸13を有する上にアンドープのGaNからなる第4の窒化物半導体2を20μmの膜厚で成長させる。

得られた窒化物半導体基板1と第4の窒化物半導体2とからなる基板の表面は、凹部開口部から成長した部分には転位がほとんど見られず、凸部上部から成長した部分には転位がわずかに見られる程度である。また基板は欠け等の防止される程度の膜厚を有している。

【0127】

[実施例6]

実施例5において、第4の工程で第2の窒化物半導体24を300μmの膜厚で成長させ、その後第3の窒化物半導体23を研磨して除去し、ほぼ250μmの膜厚の第2の窒化物半導体24を第5の工程で用いられる窒化物半導体基板1とする他は同様にして本発明の基板を製造する。

得られた本発明の基板は、実施例5と同様に、転位が低減され、特に凹部上部の表面には、転位がほとんど見られない。

【0128】

以下に、上記本発明の窒化物半導体の成長方法により得られた本発明の基板を用いてなる、本発明の窒化物半導体素子の一実施の形態である窒化物半導体素子の実施例を示す。しかし本発明はこれに限定されない。

[実施例7]

実施例1により得られた第3の窒化物半導体23からなる窒化物半導体の基板上に第4の窒化物半導体2を成長させてなる基板上に、以下のデバイス構造を順に成長させる。

【0129】

(アンドープn型コンタクト層) [図9には図示されていない]

窒化物半導体の基板上に、1050として原料ガスにTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアガスを用いアンドープのAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn型コンタクト層を1μmの膜厚で成長させる。

(n型コンタクト層72)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアガスを用い、不純物ガスにシランガス(SiH<sub>4</sub>)を用い、Siを3×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn型コンタクト層72を3μmの膜厚で成長させる。

【0130】

(クラック防止層73)

次に、温度を800にして、原料ガスにTMG、TMI(トリメチルインジウム)及びアンモニアを用い、不純物ガスにシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたIn<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>Nよりなるクラック防止層73を0.15μmの膜厚で成長させる。

【0131】

(n型クラッド層74)

次に、温度を1050にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.14</sub>Ga<sub>0.86</sub>NよりなるA層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGaNよりなるB層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ160回繰り返してA層とB層の積層し、総膜厚8000オングストロ

10

20

30

40

50

ームの多層膜(超格子構造)よりなるn型クラッド層74を成長させる。

【0132】

(n型ガイド層75)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるn型ガイド層75を0.075μmの膜厚で成長させる。

【0133】

(活性層76)

次に、温度を800にして、原料ガスにTMI、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、シランガスを止め、アンドープのIn<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>Nよりなる井戸層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を3回繰り返し、最後に障壁層を積層した総膜厚550オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層76を成長させる。

【0134】

(p型電子閉じ込め層77)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>Nよりなるp型電子閉じ込め層77を100オングストロームの膜厚で成長させる。

【0135】

(p型ガイド層78)

次に、温度を1050にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるp型ガイド層78を0.075μmの膜厚で成長させる。

このp型ガイド層78は、アンドープとして成長させるが、p型電子閉じ込め層77からのMgの拡散により、Mg濃度が $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ となりp型を示す。

【0136】

(p型クラッド層79)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>NよりなるA層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるB層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ100回繰り返してA層とB層の積層し、総膜厚5000オングストロームの多層膜(超格子構造)よりなるp型クラッド層79を成長させる。

【0137】

(p型コンタクト層80)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるp型コンタクト層80を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0138】

反応終了後、反応容器内において、ウエハを窒素雰囲気中、700でアニーリングを行い、p型層を更に低抵抗化する。

アニーリング後、ウエハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面にSiO<sub>2</sub>よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッティング)を用いSiCl<sub>4</sub>ガスによりエッティングし、図10に示すように、n電極を形成すべきn側コンタクト層2の表面を露出させる。

次に図10(a)に示すように、最上層のp側コンタクト層80のほぼ全面に、PVD装置により、Si酸化物(主として、SiO<sub>2</sub>)よりなる第2の保護膜61を0.5μmの膜厚で形成した後、第2の保護膜61の上に所定の形状のマスクをかけ、フォトレジストよりなる第3の保護膜63を、ストライプ幅1.8μm、厚さ1μmで形成する。

次に、図10(b)に示すように第3の保護膜63形成後、RIE(反応性イオンエッ

10

20

30

40

50

チング) 装置により、 $\text{CF}_4$ ガスを用い、第3の保護膜63をマスクとして、前記第2の保護膜をエッティングして、ストライプ状とする。その後エッティング液で処理してフォトレジストのみを除去することにより、図10(c)に示すようにp側コンタクト層80の上にストライプ幅1.8μmの第2の保護膜61が形成できる。

#### 【0139】

さらに、図10(d)に示すように、ストライプ状の第2の保護膜61形成後、再度RIEにより $\text{SiCl}_4$ ガスを用いて、p側コンタクト層10、およびp側クラッド層89をエッティングして、ストライプ幅1.8μmのリッジ形状のストライプを形成する。但し、リッジ形状のストライプは、図9に示すように、ELOG成長を行う際に形成した第2の保護膜11の上部で且つ第2の保護膜11の中心部分を避けるように形成される。

10

リッジストライプ形成後、ウェーハをPVD装置に移送し、図10(e)に示すように、 $Zr$ 酸化物(主として $ZrO_2$ )よりなる第1の保護膜62を、第2の保護膜61の上と、エッティングにより露出されたp側クラッド層79の上に0.5μmの膜厚で連続して形成する。このように $Zr$ 酸化物を形成すると、p-n面の絶縁をとるためと、横モードの安定を図ることができ好ましい。

次に、ウェーハをフッ酸に浸漬し、図10(f)に示すように、第2の保護膜61をリフトオフ法により除去する。

#### 【0140】

次に図10(g)に示すように、p側コンタクト層80の上の第2の保護膜61が除去されて露出したそのp側コンタクト層の表面にNi/Auよりなるp電極20を形成する。但し p電極20は100μmのストライプ幅として、この図に示すように、第1の保護膜62の上に渡って形成する。

20

第1の保護膜62形成後、図9に示されるように露出させたn側コンタクト層72の表面にはTi/Alよりなるn電極21をストライプと平行な方向で形成する。

#### 【0141】

以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハを、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバー状に劈開し、劈開面(11-00面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)に共振器を作製する。共振器面に $\text{SiO}_2$ と $\text{TiO}_2$ よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断して図9に示すようなレーザ素子とする。

30

得られたレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みた。

その結果、室温においてしきい値2.5kA/cm<sup>2</sup>、しきい値電圧5Vで、発振波長400nmの連続発振が確認され、室温で1万時間以上の寿命を示す。更に、デバイス構造の形成時や共振面を劈開により形成する際等に欠けや割れが防止され、良好な共振面が得られ更に歩留まりが向上する。

#### 【0142】

#### [実施例8]

実施例7において、窒化物半導体の基板として、実施例2～実施例6の基板をそれぞれ用いる他は同様にして、レーザ素子を作製した。得られた5種のレーザ素子は、実施例7とほぼ同様に、デバイス構造を形成するための基板の表面には転位が非常に低減され、更には転位のほとんど見られない部分を有しているので、寿命特性が良好であり、デバイス構造の形成時や共振面を劈開により形成する時等に欠けや割れが防止され良好な結果を得ることができる。

40

#### 【0143】

#### 【発明の効果】

本発明は、窒化物半導体を基板としてデバイス構造を形成したり、劈開により共振面を形成しても、基板に欠けやクラックの発生が生じず、更に窒化物半導体の基板の表面部分の転位を低減し、特に成長面の表面にほとんど転位のない部分を有しており、寿命特性等の素子特性を良好にすことができ、実用化に際しての信頼性の向上が達成できるよう

50

窒化物半導体からなる基板の得られる窒化物半導体の成長方法を提供することができる。

更に、本発明は、本発明の窒化物半導体の成長方法により得られる窒化物半導体を基板とし、寿命特性など素子特性の良好な窒化物半導体素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は、本発明のデバイス構造を形成するための窒化物半導体の基板の一実施の形態である基板の模式的断面図である。

【図 2】 図 2 は、本発明の第 5 の工程での窒化物半導体基板となる窒化物半導体を成長させる工程の一実施の形態であるウエハの模式的断面図である。

【図 3】 図 3 は、本発明の第 5 の工程での窒化物半導体基板となる窒化物半導体を成長させる工程の一実施の形態であるウエハの模式的断面図である。 10

【図 4】 図 4 は、本発明の第 5 の工程での窒化物半導体基板となる窒化物半導体を成長させる工程の一実施の形態であるウエハの模式的断面図である。

【図 5】 図 5 は、本発明の第 5 の工程での窒化物半導体基板となる窒化物半導体を成長させる工程の一実施の形態であるウエハの模式的断面図である。

【図 6】 図 6 は、サファイアの面方位を示すユニットセル図である。

【図 7】 図 7 は、保護膜のストライプ方向を説明するための基板正面側の平面図である。 。

【図 8】 図 8 は、オフアングルした異種基板の部分的な形状を示す模式的断面図である。 。

【図 9】 図 9 は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体レーザ素子を示す模式的断面図である。 20

【図 10】 図 10 は、リッジ形状のストライプを形成する一実施の形態である方法の各工程におけるウエハの部分的な構造を示す模式的断面図である。

【符号の説明】

1 . . . 窒化物半導体基板

2 . . . 第 4 の窒化物半導体

1 1 . . . 第 2 の保護膜

1 2 . . . 第 1 の保護膜

1 3 . . . 第 2 の凹凸

1 4 . . . 第 1 の凹凸

2 1 . . . 異種基板

2 2 . . . 第 1 の窒化物半導体

2 3 . . . 第 3 の窒化物半導体

2 4 . . . 第 2 の窒化物半導体

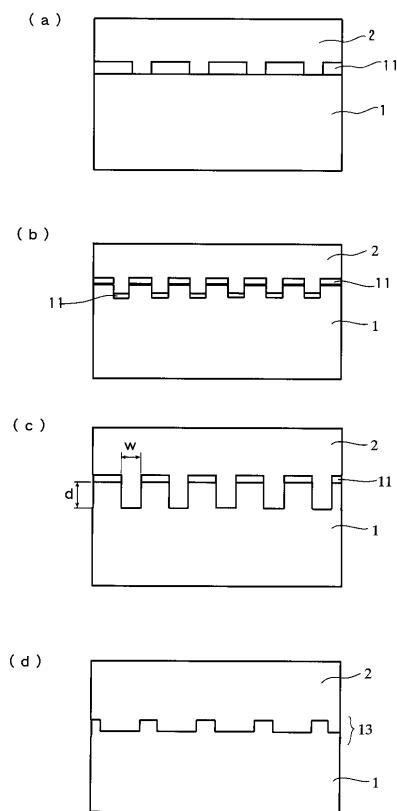
2 5 . . . 薄膜の窒化物半導体

10

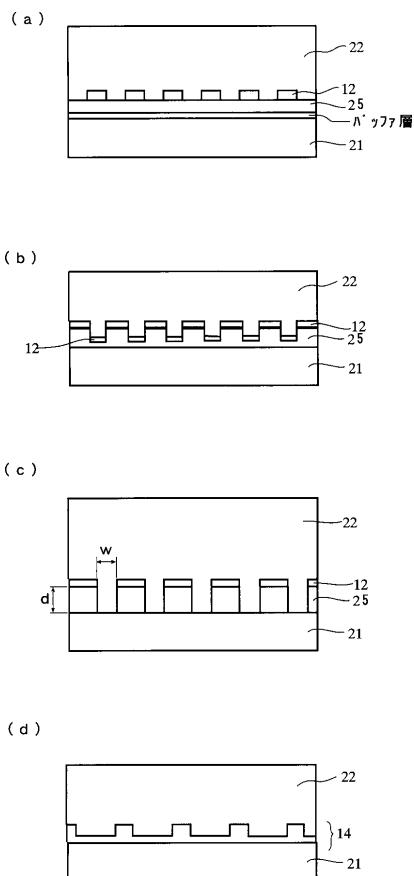
20

30

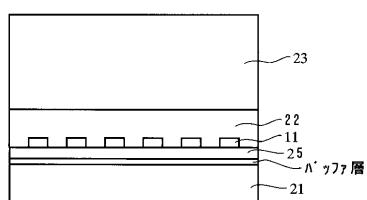
【図1】



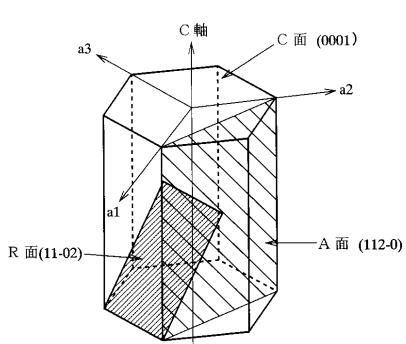
【図2】



【図3】



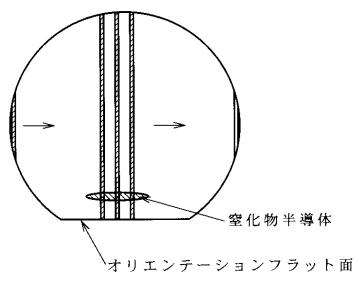
【図6】



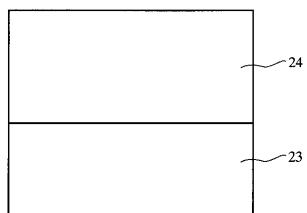
【図4】



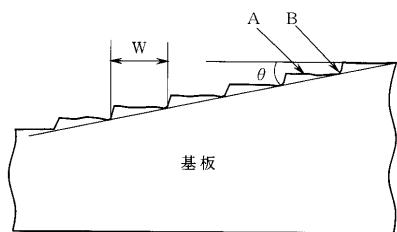
【図7】



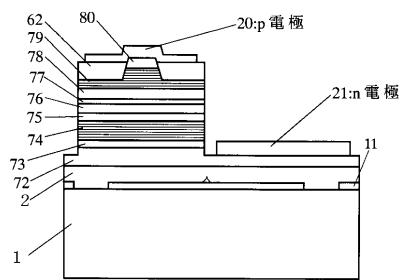
【図5】



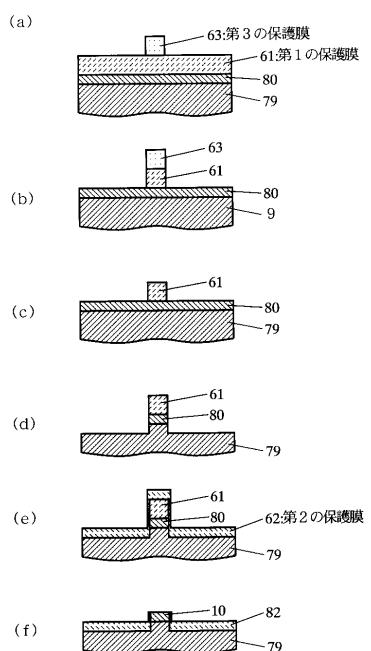
【図8】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第98/047170(WO,A1)

特開平10-173288(JP,A)

特開平10-144960(JP,A)

特開平11-31864(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205

H01L 31/0264

H01L 31/04

H01L 33/00

H01S 3/16