

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 7 部門第 2 区分

【発行日】平成 18 年 5 月 18 日 (2006.5.18)

【公開番号】特開 2000-277437(P2000-277437A)

【公開日】平成 12 年 10 月 6 日 (2000.10.6)

【出願番号】特願 平 11-80288

【国際特許分類】

H 0 1 L 21/205 (2006.01)

H 0 1 L 33/00 (2006.01)

H 0 1 S 5/323 (2006.01)

H 0 1 L 31/04 (2006.01)

H 0 1 L 31/0264 (2006.01)

【F I】

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 33/00 C

H 0 1 S 5/323

H 0 1 L 31/04 E

H 0 1 L 31/08 P

【手続補正書】

【提出日】平成 18 年 3 月 24 日 (2006.3.24)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】窒化物半導体の成長方法

【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、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、

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、異種基板上に成長された窒化物半導体上に凹凸を形成し、その後、前記凹凸を有する面上に窒化物半導体を成長させてな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】前記凹凸が、窒化物半導体基板の M 軸方向、 $\langle 1 - 100 \rangle$ 、 $\langle 10 - 10 \rangle$ 及び $\langle 01 - 10 \rangle$ 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 3 に記載の窒化物半導体の成長方法。

【請求項 5】前記第 1 の窒化物半導体は、異種基板上に成長された窒化物半導体上に、保護膜を部分的に形成し、その後、前記保護膜を有する面上に窒化物半導体を成長させてな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 6】前記保護膜が、窒化物半導体基板の M 軸方向、 $\langle 1 - 100 \rangle$ 、 $\langle 10 - 10 \rangle$ 及び $\langle 01 - 10 \rangle$ 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 5 に記載の窒化物半導体の成長方法。

【請求項 7】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 2 の窒化物半導体は、 $500\text{ }\mu\text{m}$ / 時間以下 $10\text{ }\mu\text{m}$ / 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 ~ 7 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 ~ 8 のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

【請求項 10】 前記第 3 の窒化物半導体は、 $500\text{ }\mu\text{m}$ / 時間以下 $10\text{ }\mu\text{m}$ / 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 9 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 9 又は 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 / 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。

【請求項 13】 前記窒化物半導体基板が、 $50 \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ 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 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 < x$ 、 $0 < y$ 、 $x+y < 1$) 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 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 < x$ 、 $0 < y$ 、 $x+y < 1$) よりなる窒化物半導体素子に関する。

【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、Aplide Physics Letters. Vol.73, Number6 (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 $2\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で成長させた GaN 層上に、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚の SiO_2 よりなる保護膜を部分的に形成し、その後、保護膜を有する面上に再度 GaN を MOCVD により $20\text{ }\mu\text{m}$ 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 (HVPE) により $200\text{ }\mu\text{m}$ 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 $150\text{ }\mu\text{m}$ 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 {1-100} 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ス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 の条件下ではほぼ 180 時間の連続発振が可能となる。

【0004】

【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。

【 0 0 0 5 】

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 T E M ）観察によると、ほぼ均一に 1×10^7 個 / cm^2 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 G a N 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。

【 0 0 0 6 】

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、H V P E で膜厚 $200 \mu\text{m}$ 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。

【 0 0 0 7 】

ちなみに、保護膜を形成後、M O C V D で $20 \mu\text{m}$ 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 1×10^9 個 / cm^2 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、 $20 \mu\text{m}$ 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、 $20 \mu\text{m}$ 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、E L O G 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。

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。

【 0 0 0 8 】

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。

【 0 0 0 9 】

【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、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、

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。

（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、異種基板上に成長された窒化物半導体上に凹凸を形成し、その後、前記凹凸を有する面上に窒化物半導体を成長させてな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） 前記凹凸が、窒化物半導体基板の M 軸方向、 $\langle 1 - 100 \rangle$ 、 $\langle 10 - 10 \rangle$ 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(3)に記載の窒化物半導体の成長方法。

(5) 前記第1の窒化物半導体は、異種基板上に成長された窒化物半導体上に、保護膜を部分的に形成し、その後、前記保護膜を有する面上に窒化物半導体を成長させてな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。

(6) 前記保護膜が、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(5)に記載の窒化物半導体の成長方法。

(7) 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)~(7)のいずれかに記載の窒化物半導体の成長方法。

(9) 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)~(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3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(9)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(9)又は(10)に記載の窒化物半導体の成長方法。

(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/ 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る。

(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。

(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。

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。

【 0 0 1 2 】

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。

【 0 0 1 3 】

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。

【 0 0 1 4 】

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、 $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$ 、 $\langle 1 0 - 1 0 \rangle$ 及び $\langle 0 1 - 1 0 \rangle$ 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。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ていると、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。

【 0 0 1 5 】

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、 $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$ 、 $\langle 1 0 - 1 0 \rangle$ 及び $\langle 0 1 - 1 0 \rangle$ 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。

【 0 0 1 6 】

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/cm²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、50 μm ~ 1000 μm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。

【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ールドパターンが良好となり好ましい。

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ピング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ピングしていない場合はアンドープ層とする。

【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。

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前工程で行われるELOG成長などを用いてもよく、また本出願人が出願した例えば特願平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とができる。但し、これらのELOG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ELOG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ELOG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、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 1 1 上部又は第 2 の凹凸 1 3 の凹部上部が、その他の部分（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 ELOG 成長の種類にもよるが、平均の転位密度としては 1×10^5 個 / cm^3 以下、好ましい条件では 1×10^4 個 / cm^3 以下、より好ましい条件では 1×10^3 個 / cm^3 以下となる。また、第 2 の保護膜 1 1 上部の転位密度、及び第 2 の凹凸 1 3 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 1 3 の凸部上部の転位密度は、 1×10^7 個 / cm^3 以下、好ましい条件では 1×10^6 個 / cm^3 以下、より好ましい条件では 1×10^5 個 / 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 ELOG 成長が第 2 の保護膜 1 1 を用いて行われる場合と、第 2 の凹凸 1 3 を形成して行われる場合の、それぞれ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 1 1 を用いて行う形態であり、図 1 (d) は第 2 の凹凸 1 3 を形成して行う形態である。また、第 2 の保護膜 1 1 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 1 1 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 1 1 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 1 1 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 1 3 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ピングされてもよい。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 とをドーピングすると、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。不純物のドーピング量としては、好ましくは 1×10^{17} / $\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19}$ / cm^3 、より好ましくは 1×10^{17} / $\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19}$ / cm^3 、更に好ましくは 5×10^{17} / $\text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19}$ / 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

ドーピングする場合は、両者の濃度の和が上記範囲のドーピング量となるように適宜調整してドーピングされる。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。

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 型不純物をドーピングする、n 型不純物を p 型不純物より多めにドーピングする等、n 型不純物と p 型不純物のドーピング量を調整する。

【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。

【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_x)、窒化ケイ素 (Si_xN_y)、酸化チタン (TiO_x)、酸化ジルコニウム (ZrO_x) 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 $600 \sim 1100$ 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。

【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技術を用いて、所定の形状を有するフォトリソマスクを作製し、そのフォトリソマスクを介して、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。

【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 $0.5 \sim 100\ \mu\text{m}$ 、より好ましくは $1\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m}$ 、更に好ましくは $2 \sim 25\ \mu\text{m}$ である。

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 $5\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $0.1 \sim 3\ \mu\text{m}$ 、より好ましくは $0.8 \sim 2\ \mu\text{m}$ 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0.01~5 μm であり、好ましくは0.02~3 μm であり、より好ましくは0.05~2 μm 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。

【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。

【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、例えばエッチング、ダイシング等が挙げられ、好ましくはエッチングである。

エッチングにより、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に形成してエッチ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。

【0039】

また、窒化物半導体基板1に、凹凸の形状をエッチングにて行う場合のエッチング方法としては、ウェットエッチング、ドライエッチ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チングを用いる。ドライエッチングには、例えば反応性イオンエッチング(RIE)、反応性イオンビームエッチング(RIBE)、電子サイクロトロンエッチング(ECR)、イオンビームエッチング等の装置があり、いずれもエッチ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チングしてできる。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チング手段を用いることができる。

【0040】

また、エッチングによって凹凸を形成する場合、エッチング面が、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。

【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0.5~5 μm 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、 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ である。

【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チ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。

まずエッチ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をエッチ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_4 と O_2 ガスによるドライエッチングにより、窒化物半導体基板1の凹部側面の保護膜をエッチ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。

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_4 と O_2 ガスによるドライエッチングにより凹部側面が露出されるように保護膜をエッチ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。

【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、ドライエッチ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4の窒化物半導体2が凹部底部の第2の保護膜11を覆うように接合しながら成長を続け、第2の保護膜11とほぼ同じ高さに成長すると、第2の保護膜11上に横方向に成長して、第2の保護膜11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ELOG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。

【0046】

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11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。

【0047】

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11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11上に横方向に成長し第2

の保護膜 11 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 11 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ていると、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 11 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 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 、ストライプ間隔 (凹部の開口部) を $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 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 13 を形成するのみで第 2 の保護膜 11 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 13 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 13 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 に形成してエッチングすることにより形成できる。そして、エッチ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、エッチ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。

【 0 0 5 1 】

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 $3 \sim 20 \mu\text{m}$ 、ストライプ間隔 (凹部底部の幅) を $3 \sim 20 \mu\text{m}$ 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る。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、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成長させてもよい。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回以上行ってもよい。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)、HVPE(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易い。また膜厚が50μm以下ではHVPEでは成長速度が速くてコントロールが難しい。

【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、 $\langle 1-100 \rangle$ 、 $\langle 10-10 \rangle$ 及び $\langle 01-10 \rangle$ のいずれかのM軸方向に対して平行方向に形成されていると、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。

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ていると、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。

【 0 0 5 7 】

次に、第 5 の工程の E L O G 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。

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 $10^{10} / \text{cm}^2$ 以下、より好ましくは $10^9 / \text{cm}^2$ 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 E L O G 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。

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、G a N より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、不純物がドーピングされていてもよい。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 型不純物をドーピングしてオーミック接触を有するようにする。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。

【 0 0 5 8 】

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。

【 0 0 5 9 】

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 E L O G 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。

【 0 0 6 0 】

以下に図 2 ～ 図 5 を用いて、第 1 の工程から順に説明する。

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 2 1 上に成長速度を $10 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $0.5 \mu\text{m} / \text{時間}$ 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 E L O G 成長）により 第 1 の窒化物半導体 2 2 を成長させる工程である。

上記 第 1 の窒化物半導体 2 2 を成長させる成長速度は、上記のように $10 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $0.5 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以上、好ましくは $7 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $1 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以上、より好ましくは $5 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $1.5 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以上である。成長速度が上記範囲であると、第 1 の工程の E L O G 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 2 2

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。

【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(MgAl₂O₄)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。

【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、不純物をドーピングされてもよい。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型不純物をドーピングすると、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。

【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、不純物をドーピング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25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(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。

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ていると、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】

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、実際に行って見ると、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等を除いた面には、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。

【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なくなり好ましい。

【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 $0.1^{\circ} \sim 0.5^{\circ}$ 、より好ましくは $0.1^{\circ} \sim 0.2^{\circ}$ 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。

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

ライブ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。

【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。

【0076】

また次に、スピネル（ $MgAl_2O_4$ ）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 $500\mu m$ /時間以下 $10\mu m$ /時間以上で、第3の窒化物半導体23を成長させる。

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 $500\mu m$ /時間以下 $10\mu m$ /時間以上、好ましくは $100\mu m$ /時間以下 $50\mu m$ /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HVPE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、GaN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ピングされてもよいが、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易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 $50\mu m \sim 1000\mu m$ 、より好ましくは $80\mu m \sim 500\mu m$ 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が除去されていればよく、図2のバッファ層、薄膜の窒化

物半導体 2 5、又は第 1 の保護膜 1 3 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 2 1 ~ 第 1 の窒化物半導体 2 2 までが除去されていると、第 3 の窒化物半導体 2 3 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 2 2 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 2 3 から異種基板 2 1 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 2 3 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 2 3 の異種基板 2 1 等を除去した面とは反対の面上に第 5 の工程の E L O G 成長を行う。

【 0 0 8 1 】

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 2 3 の異種基板 2 1 等を除去した面とは反対の面上に、成長速度を $500 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $10 \mu\text{m} / \text{時間}$ 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。

【 0 0 8 2 】

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 2 4 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 2 4 のみからなるものを用いてもよい。第 4 の工程後に、第 3 の窒化物半導体 2 3 を除去して、第 2 の窒化物半導体 2 4 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さ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 $80 \sim 500 \mu\text{m}$ の膜厚を有することが物理的強度の点で好ましい。

【 0 0 8 3 】

第 2 の窒化物半導体 2 4 としては、特に限定されないが、上記第 3 の窒化物半導体 2 3 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 $500 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以下 $10 \mu\text{m} / \text{時間}$ 以上であり、好ましくは上記第 3 の窒化物半導体 2 3 を成長させる場合と同様である。

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。

【 0 0 8 4 】

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 $1000 \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $800 \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $400 \mu\text{m}$ 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 $80 \mu\text{m}$ 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 $1000 \mu\text{m}$ 以下となるように調整される。

【 0 0 8 5 】

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。

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。

【 0 0 8 6 】

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。

【 0 0 8 7 】

【 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。

【 0 0 8 8 】

[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 °C 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 】

バッファ層成長後、T M G のみ止めて、温度を 1 0 5 0 °C まで上昇させ、1 0 5 0 °C になったら、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 μ 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リソを形成し、C V D 装置によりストライプ幅 1 8 μ m 、窓部 2 μ m の S i O ₂ よりなる第 1 の保護膜 1 2を 0 . 5 μ 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。

【0091】

第1の保護膜12を形成後、ウェーハをMOCVDの反応容器に移し、1050℃にて、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガス、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、SiとMgの不純物を $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドーブしたGaNよりなる第1の窒化物半導体22をMOCVD装置により15μmの膜厚で成長させる。SiとMgの不純物は第1の窒化物半導体22の成長と同時にドーブされる。但し、第1の窒化物半導体22の成長速度は、3μm/時間とした。

【0092】

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、第1の保護膜12上部はほとんど結晶欠陥が見られず、窓部上部は 8×10^5 個/ 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。

【0093】

（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HVPE装置により200μm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、50μm/時間とした。

【0094】

（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24のみの窒化物半導体基板1が得られる。

得られた第3の窒化物半導体24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24の成長面は、平均的に転位密度が 1×10^7 個/ cm^2 程度存在している。

【0095】

[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23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3の窒化物半導体23の成長面（除去面とは反対の面）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。

（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、HVPE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 2 4 を成長させると反りが軽減され、第 5 の工程での E L O G 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。

【 0 0 9 8 】

[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)

【 0 0 9 9 】

(第 1 の工程)

異種基板 2 1 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 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 (図示されていない) を約 2 0 0 オングストロームの膜厚で成長させる。

【 0 1 0 0 】

バッファ層を成長後、T M G のみ止めて、温度を 1 0 5 0 まで上昇させる。1 0 5 0 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 μ m の膜厚で成長させる。

【 0 1 0 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リソマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅 1 5 μ m 、ストライプ間隔 (凹部の開口部) 3 μ m の S i O₂ よりなる第 1 の保護膜 1 2 を 0 . 5 μ m の膜厚で形成し、続いて、R I E 装置により薄膜の窒化物半導体 2 5 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 2 5 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。

【 0 1 0 2 】

薄膜の窒化物半導体 2 5 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 2 5 の表面にスパッタ装置により保護膜材料を形成し、C F₄ と O₂ 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 2 2 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 1 2 を形成する。

【 0 1 0 3 】

第 1 の保護膜 1 2 を形成後、M O C V D の反応容器内にセットし、温度を 1 0 5 0 で、原料ガスに T M G 、アンモニア、シランガス、C p₂ M g を用い、成長と同時に S i と M g の不純物を 5 \times 1 0¹⁷ / cm³ 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 μ m の膜厚で成長させる。但し、第 1 の窒化物半導体 2 2 の成長速度は、2 μ m / 時間として行った。

【 0 1 0 4 】

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、転位は非常に低減されている。但し、第 1 の窒化物半導体 2 2 の表面には、第 1 の保護膜 1 2 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を相対的に比較した場合である。

【 0 1 0 5 】

(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 0 0 μ 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 μ m / 時間とした。

【 0 1 0 6 】

(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 3 のみとする。第 3 の窒化物半導体 2 3 の除去面には、第 1 の窒化物半導体 2 3 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。

【 0 1 0 7 】

(第 4 の工程)

次に、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、 $250\text{ }\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

得られた第 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 [図 2 (b)] の表面には、わずかな転位がほぼ均一に見られる。

【 0 1 0 8 】

(第 5 の工程)

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 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 1 1 を 第 2 の窒化物半導体 2 4 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 1 2 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 1 1 を形成する。

第 2 の保護膜 1 1 を形成後、第 4 の窒化物半導体 2 を M O C V D 装置で $15\text{ }\mu\text{m}$ 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、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。

【 0 1 0 9 】

[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 面を主面とし、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°C 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 1 上に G a N よりなるバッファ層 (図示されていない) を約 $200\text{ }\text{\AA}$ の膜厚で成長させる。

【 0 1 1 0 】

バッファ層を成長後、T M G のみ止めて、温度を 1050°C まで上昇させる。 1050°C 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 $2\text{ }\mu\text{m}$ 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リソマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅 $15\text{ }\mu\text{m}$ 、ストライプ間隔 (凹部の開口部) $2\text{ }\mu\text{m}$ の S i O₂ よりなる 第 1 の保護膜 1 1 を $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 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 $2\text{ }\mu\text{m}$ 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。

【 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°C で、原料ガスに T M G、アンモニア、シランガス、C p₂ 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、 $15\text{ }\mu\text{m}$ 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、 $2\text{ }\mu\text{m} / \text{時間}$ 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、HVPE装置により、150 μmの膜厚に成長させる。成長速度は、50 μm/時間である。

【0114】

(第3の工程)

第3の窒化物半導体23を成長後、サファイア基板から第1の窒化物半導体22までを除去し、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、わずかな転位が第1の保護膜12と平行にストライプ状に分布している。

【0115】

(第4の工程)

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、HVPE装置により、200 μmの膜厚に成長させる。成長速度は、50 μm/時間である。

以上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 1×10^7 個/cm²程度の転位が見られる。

【0116】

(第5の工程)

次に、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の表面に、ストライプ状のフォトリソマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅15 μm、ストライプ間隔(凹部の開口部の幅w)2 μmのSiO₂よりなる第2の保護膜11を0.5 μmの膜厚で形成し、続いて、RIE装置により凹部側面の幅dがほぼ2 μm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11を形成する。形成された第2の保護膜11のストライプ方向は、第1の保護膜12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。

【0117】

上記のように凸部上部のみに第2の保護膜11を形成した後、第4の窒化物半導体2を、30 μm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。

【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 1×10^{18} /cm³ドープしたGaNよりなる薄膜の窒化物半導体層25を2 μm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リソマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅(凸部の上部になる部)5 μm、ストライプ間隔(凹部底部とな

る部分) $10\ \mu\text{m}$ にパターンニングされた SiO_2 膜を形成し、続いて、RIE装置により SiO_2 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_2 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。

【0121】

次に、反応容器内にセットし、温度を 1050°C 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、 $15\ \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。成長速度は、 $2\ \mu\text{m}/\text{時間}$ である。

【0122】

(第 2 の工程)

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、HVPE 装置により、 $100\ \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。成長速度は、 $50\ \mu\text{m}/\text{時間}$ 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)

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、HVPE 装置により、 $200\ \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。成長速度は、 $50\ \mu\text{m}/\text{時間}$ 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、 5×10^6 個/ cm^2 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 1×10^7 個/ cm^2 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】

(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 $20\ \mu\text{m}$ 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 $300\ \mu\text{m}$ 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 $250\ \mu\text{m}$ 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】

(アンドーブ 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 で原料ガスに 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ブの $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ よりなる n 型コンタクト層を 1 μm 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_4) を用い、Si を $3 \times 10^{18} / cm^3$ ドープした $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ よりなる n 型コンタクト層 72 を 3 μm 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 $5 \times 10^{18} / cm^3$ ドープした $In_{0.08}Ga_{0.92}N$ よりなるクラック防止層 73 を 0.15 μm 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、アンドーブの $Al_{0.14}Ga_{0.86}N$ 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 $5 \times 10^{18} / cm^3$ 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 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、アンドーブの GaN よりなる n 型ガイド層 75 を 0.075 μm 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 $5 \times 10^{18} / cm^3$ ドープした $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ 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、アンドーブの $In_{0.11}Ga_{0.89}N$ 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_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg を $1 \times 10^{19} / cm^3$ ドープした $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 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 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 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_2Mg 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_2Mg 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_2 よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッチング)を用い SiCl_4 ガスによりエッチングし、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_2)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(反応性イオンエッチング)装置により、 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の保護膜をエッチングして、ストライプ状とする。その後エッチ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 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をエッチングして、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。

リッジストライプ形成後、ウエハを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、エッチ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、ウエ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100 μ m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。

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SiO₂とTiO₂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。

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/cm²、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。

【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ることができ、実用化に際しての信頼性の向上が達成できるような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。

【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主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。

【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