

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第4249184号  
(P4249184)

(45) 発行日 平成21年4月2日(2009.4.2)

(24) 登録日 平成21年1月23日(2009.1.23)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/20 (2006.01)

C 3 O B 29/38 (2006.01)

H O 1 L 21/20

C 3 O B 29/38 C

C 3 O B 29/38 D

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2005-513005 (P2005-513005)	(73) 特許権者	000004226
(86) (22) 出願日	平成16年8月11日 (2004. 8. 11)		日本電信電話株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2004/011539		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(87) 国際公開番号	W02005/015618	(74) 代理人	100077481
(87) 国際公開日	平成17年2月17日 (2005. 2. 17)		弁理士 谷 義一
審査請求日	平成16年12月13日 (2004. 12. 13)	(74) 代理人	100088915
(31) 優先権主張番号	特願2003-292350 (P2003-292350)		弁理士 阿部 和夫
(32) 優先日	平成15年8月12日 (2003. 8. 12)	(72) 発明者	熊倉 一英
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	廣木 正伸
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化物半導体成長用基板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、

前記サファイア基板上に別途に設けられた、N、OおよびAlを含む層と、

前記N、OおよびAlを含む層上に設けられた、最上層としてのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなるキャップ層と

を備え、

前記N、OおよびAlを含む層は、前記サファイア基板と第1の面で接し、前記第1の面におけるN、OおよびAlの組成比に対するNの割合が、前記キャップ層と接する第2の面における前記組成比に対するNの割合よりも小さく、かつ前記第1の面における前記組成比に対するOの割合が、前記第2の面における前記組成比に対するOの割合よりも大きくなるように形成されていることを特徴とする窒化物半導体成長用基板。

【請求項 2】

サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、

前記サファイア基板上に別途に設けたAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層と、

前記Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層上に設けた、AlON層及びAlN層のいずれか一方の層と、

前記AlON層及びAlN層の前記いずれか一方の層上に設けた、最上層としてのAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなるキャップ層と

を備えることを特徴とする窒化物半導体成長用基板。

【請求項 3】

サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、

前記サファイア基板上に別途に設けた  $Al_2O_3$  層と、

第 1 の層である  $AlON$  層と、第 2 の層である  $AlN$  層と

を備え、

前記第 1 の層と前記第 2 の層との順序で前記  $Al_2O_3$  層上に積層された構造を有し、

前記構造上に、最上層としての  $Al_2O_3$  からなるキャップ層を設けたことを特徴とする窒化物半導体成長用基板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、サファイア基板上に窒化物半導体を成長するための窒化物半導体成長用基板に関する。

【背景技術】

【0002】

窒化物半導体は、遠赤外から紫外領域のバンドギャップを有するため、その領域での発光・受光デバイスの材料として有望である。また、大きなバンドギャップを有し、絶縁破壊電界が大きく、飽和電子速度も高い。そのために窒化物半導体は、耐高温・高出力・高周波電子デバイス等の材料としても非常に有望である。さらに、これまで利用されてきた  $GaN$  系や  $InP$  系と比べ、砒素 ( $As$ ) や磷 ( $P$ ) を含まないことから、環境に無害な特長も持ち合わせており、将来の半導体デバイス材料として期待されている。

【0003】

このように優れた特性を有する窒化物半導体のエピタキシャル成長用基板としては、該窒化物半導体の格子定数や熱膨張係数と同じものがいままでなかった。そのため、基板としてサファイアや  $SiC$ 、 $Si$  が主に用いられている。

【0004】

$GaN$ 、 $AlN$ 、 $InN$  およびそれらの混晶をエピタキシャル成長するには、従来、サファイア基板が主として用いられてきた。しかし、サファイア基板と窒化物半導体との間には、11～23%の格子不整合や熱膨張係数差がある。従って、サファイア基板上に窒化物半導体を直接成長させると、3次元的な成長が起き、表面の原子レベルでの平坦性が悪くなる。そのため、形成された窒化物半導体に多くの結晶欠陥が入るという問題があった。

【0005】

サファイア基板上への窒化物半導体のエピタキシャル成長の場合、緩衝層（以下、バッファ層と称す）を用いた方法により、 $GaN$ の結晶性の改善を行ったという報告がなされている。以下にその技術の説明を行う。

【0006】

第 1 の方法は、低温  $AlN$  バッファ層を用いた  $GaN$  の成長方法である（下記非特許文献 1 参照）。有機金属気相成長装置などで、サファイア基板を表面清浄化のため、高温（1000～1100 程度）で熱処理した後、一度降温し、500 前後で低温  $AlN$  バッファ層を堆積し、再び昇温して 1000 前後で  $GaN$  を成長する方法である。この方法で堆積した  $AlN$  バッファ層は非晶質であり、堆積後の昇温過程で固相成長して、アイランド状（島状）の形状となる。当然のことながら、その昇温する際の装置内の雰囲気、昇温速度などによって、形成されるアイランド形状は異なる。高温での  $AlN$  バッファ層の成長初期には、このアイランドが核となり、 $AlN$  バッファ層が結晶成長する。その結晶成長の際に、お互いが融合し合うことで  $AlN$  バッファ層の平坦化が進む。平坦化がなされた  $AlN$  バッファ層上に  $GaN$  は 2 次元的に結晶成長する。

【0007】

第2の方法は、低温GaNバッファ層を用いたGaNの成長方法である（下記非特許文献2参照）。サファイア基板を高温（1000～1100 程度）で熱処理した後、一度降温し、500 程度で低温GaN層を堆積し、再び昇温して1000 程度でGaNを成長する方法である。GaNはAlNと比較し脱離が起こりやすいため、昇温過程での核形成は、AlNの場合と必ずしも同じではないが、その後の成長様式はほぼ同じである。

#### 【0008】

なお、GaN以外の窒化物半導体の結晶成長においても、上記と同様の方法が適用されている。例えば、 $Al_{1-x}Ga_xN$ （ $0 < x < 1$ ）、 $In_{1-x}Ga_xN$ （ $0 < x < 1$ ）結晶を作製する際には、サファイア基板上に低温GaNバッファ層を堆積し、GaNを成長させた後に、 $Al_{1-x}Ga_xN$ 、 $In_{1-x}Ga_xN$ を成長させる。特に、 $Al_{1-x}Ga_xN$ 結晶を作製する方法は、下記非特許文献3に記載されている。

#### 【0009】

上述のように、これらの成長方法はいずれも、バッファ層はGaN層との格子整合を目的としており、基板との格子整合は考慮されていなかった。

また、バッファ層を低温で堆積しても、低温バッファ層は非晶質であり、昇温時に固相成長する。そのため、バッファ層と基板との格子不整合は依然として存在しており、転移の発生を有効に抑制することは困難で、貫通転位が通常 $10^9 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 存在する。この転位は、作製したデバイスの特性を劣化させることが良く知られている。例えば、レーザーの短寿命化や、デバイスのリーク電流の増大・低耐圧化などである。また、転位の存在によって、不純物の拡散あるいは偏析が促進されることもある。したがって、窒化物半導体層中の転位密度を減少させることは、デバイス特性の向上や、転位の影響によりこれまで達成できなかったデバイスの実現、結晶構造作製の制御性を高める上で、非常に重要である。

#### 【0010】

従って、本発明は、高品質の窒化物半導体結晶層を得ることができる窒化物半導体成長用基板を提供することを目的とする。

#### 【0011】

【非特許文献1】H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki, and Y. Toyoda, "Metal organic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer," Appl. Phys. Lett., 48, 353 (1986)

【非特許文献2】S. Nakamura, "GaN growth using GaN Buffer layer," Jpn. J. Appl. Phys., 30, L1705 (1991)

【非特許文献3】C. Pernot, et al., "Low-intensity ultraviolet photodetectors based on AlGaIn," Jpn. J. Appl. Phys., 38, L487 (1999)

#### 【発明の開示】

#### 【0012】

本発明の一実施形態は、サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、サファイア基板に別途に設けられた、N、OおよびAlを含む層を備える。この層は、サファイア基板と第1の面で接する。また、上記層は、第1の面におけるN、OおよびAlの組成比に対するNの割合が、窒化物半導体層との接する第2の面における組成比に対するNの割合よりも小さく、かつ第1の面における組成比に対するOの割合が、第2の面における組成比に対するOの割合よりも大きくなるように形成されている。

#### 【0013】

他の実施形態は、サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、サファイア基板上に別途に設けた $Al_2O_3$ 層と、 $Al_2O_3$ 層上に設けた、AlON層とAlN層とのいずれか一方の層とを備える。

#### 【0014】

他の実施形態では、サファイア基板上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導

10

20

30

40

50

体成長用基板において、サファイア基板上に別途に設けた  $Al_2O_3$  層と、第 1 の層である  $AlON$  層と、第 2 の層である  $AlN$  層とを備え、第 1 の層と第 2 の層との順序で  $Al_2O_3$  層上に積層された構造を有する。

【0015】

ここで、窒化物半導体成長用基板の最上層として  $Al_2O_3$  からなるキャップ層を設けることができる。

【0016】

以上説明した本発明の一実施形態によれば、高品質の窒化物半導体結晶層を得ることができる窒化物半導体成長用基板を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0017】

以下、図面を用いて本発明の実施の形態について詳細に説明する。なお、以下で説明する図面で、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

実施の形態

【0018】

図 1 は、本発明の実施の形態の窒化物半導体成長用基板の断面模式図である。

【0019】

図 1 において、符号 1 はサファイア基板（サファイア単結晶基板）、符号 2 は  $Al_2O_3$  層（酸化アルミニウム層、すなわち、アルミナ層）、符号 3 は  $AlON$  層（酸窒化アルミニウム層）、符号 4 は  $AlN$  層（窒化アルミニウム層）、符号 5 は  $Al_2O_3$  からなるキャップ層（最上層）、符号 6 は窒化物半導体成長用基板である。

20

【0020】

本実施の形態は、サファイア基板 1 上に窒化物半導体層を成長させるための窒化物半導体成長用基板において、サファイア基板 1 上に別途設けた、 $Al_2O_3$  層 2 と、第 1 の層である  $AlON$  層 3 と、第 2 の層である  $AlN$  層 4 とを有し、 $AlON$  層 3 と  $AlN$  層 4 との順序で前記  $Al_2O_3$  層上に積層された構造を有する。なお、 $Al_2O_3$  層 2 上に設けた、窒化物半導体層に近い組成を有する第 1 の層である  $AlON$  層 3 と、第 2 の層である  $AlN$  層 4 とのいずれか一方の層とを有する構造でも本発明による効果が得られ有効である。また、窒化物半導体成長用基板 6 の最上層として  $Al_2O_3$  からなるキャップ層 5 が設けられている。

30

【0021】

なお、上述した  $Al_2O_3$  層 2 は、必ずしも結晶ではないが、該層のうち、結晶状態の部分については、サファイア基板 1 と格子整合していると考えられる。ここで用いる「格子整合する」とは、格子定数がほぼ等しいということを意味している。

【0022】

すなわち、直径 2 インチのサファイア基板 1 上に、ECR (Electron Cycotron Resonance) プラズマ成膜装置により  $Al$  と酸素を用い、室温、 $Ar$  プラズマ中で  $Al_2O_3$  層 2 を厚さ 5 nm 程度堆積した。その後、窒素を堆積ガス中に添加していき、 $AlON$  層 3 を厚さ 10 nm 程度堆積した。次に、当該窒化物半導体成長用基板 6 上に成長させる窒化物半導体層（例えば  $GaN$  層）と同種の  $AlN$  層 4 を、 $Al$  と窒素を用い、 $Ar$  プラズマ中で厚さ 10 nm 程度堆積した。最後に、ストイキオメトリの乱れからくる表面の不安定性を生じさせる不規則な自然酸化を防ぐために、 $Al$  と酸素を用い、 $Ar$  プラズマ中で  $Al_2O_3$  からなるキャップ層 5 を厚さ 5 nm 程度堆積した。このようにして窒化物半導体成長用基板 6 を作製した。

40

【0023】

なお、上述の本発明の実施の形態では、室温（例えば、20℃）で各層を形成しているが、この温度に限定されない。本発明の一実施形態では、本発明に係る窒化物半導体成長用基板を室温でも形成できることが重要であって、本発明の一実施形態に係る各層について、適切な窒素および酸素組成を形成できる温度であれば、室温（大気中の温度）よりも高温であっても、低温であっても良い。

50

## 【0024】

また、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層2、 $\text{AlON}$ 層3および $\text{AlN}$ 層4の膜厚は、膜を形成できる厚さが必要であり、各化合物のc軸の格子定数を考慮して最低でも1原子層は必要である。一方、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層2、 $\text{AlON}$ 層3、 $\text{AlN}$ 層4の各層は必ずしも結晶ではない（多結晶やアモルファスである）ため、膜厚が厚すぎるとサファイア（単結晶）基板の結晶軸を窒化物半導体へ引き継ぐこと（エピタキシャル成長）が困難となる。本発明ではこれらを考慮して、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層2、 $\text{AlON}$ 層3および $\text{AlN}$ 層4の膜厚は、1nmから200nm程度とすることが好ましく、より好ましくは、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層2については2nmから20nm、 $\text{AlON}$ 層3については2nmから70nm、 $\text{AlN}$ 層4については2nmから50nmである。

10

## 【0025】

さらに、本発明の実施の形態では、ECRプラズマ成膜装置により各層を成膜しているが、これに限定されず、例えば、酸素を導入したMOVPE装置等、適切に本発明の一実施形態に係る各層を成膜できる装置であればいずれのものも使用できる。

## 【0026】

次に、本発明の窒化物半導体成長用基板の有用性を実証した実験結果について説明する。

## 【0027】

図2は、本発明の窒化物半導体成長用基板上に $\text{GaN}$ 層を結晶成長させた構造の断面模式図である。

20

## 【0028】

図2において、7は $\text{GaN}$ 層、8は導電性測定用のSiドープn型 $\text{GaN}$ 層である。上記実施の形態に示した窒化物半導体成長用基板6上に、有機金属気相成長法により $\text{GaN}$ 層7を成長させた。この際の成長シーケンスは、窒化物半導体成長用基板6を成長炉に導入した後、アンモニア雰囲気下で成長温度（1000）まで昇温して、 $\text{GaN}$ 層7、8を成長させる簡便な方法である。原料には、トリメチルガリウム、アンモニアを用いた。Siドープn型 $\text{GaN}$ 層8のn型の不純物のドーピングには、シランを用い、Siドープn型 $\text{GaN}$ 層8を形成した。

## 【0029】

作製した $\text{GaN}$ 層7、8について、X線回折測定およびホール効果測定を行い、結晶性と電気的な特性の評価を行った。作製した $\text{GaN}$ 層7の結晶性の評価は、（10-10）からのX線非対称反射スペクトルの半値幅から結晶中の転位密度を見積もることによって行った。転位密度を見積もった結果、従来技術での転位密度は、 $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 程度であった。これに対し、上記実施の形態の窒化物半導体成長用基板6を用いて作製した $\text{GaN}$ 層7の場合は、 $9 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ となり、転移密度は大幅に減少していた。また、ホール効果測定の結果、従来技術でのキャリア濃度と移動度はそれぞれ、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で $340 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であった。これに対し、上記実施の形態の窒化物半導体成長用基板6を用いて作製した $\text{GaN}$ 層7におけるそれらは $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で $540 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ となり、大幅に特性が改善されていることが明らかとなった。

30

## 【0030】

このように本発明の各層を有する窒化物半導体成長用基板によれば、各層を、必ずしも結晶ではないがサファイア単結晶に格子整合させることを目的とした層から、成長させる窒化物半導体へ向かって窒素および酸素の組成（構成原子の比率）を変化させているため、各層における格子間隔あるいは原子間隔が変化し、窒化物半導体結晶への貫通転位は従来技術と比較して、大幅に減少する。従って、転位密度が $10^7 \text{ cm}^{-2}$ オーダーの結晶を容易に作製できる。つまり、本発明では、基板表面全体で均一に転位密度を減少することが可能であるため、窒化物半導体層の結晶性の向上を図ることができ、産業上非常に有効である。また、転位密度の減少にともない、結晶性の向上も見込まれるため、デバイス特性の向上や新デバイスの実現など多岐にわたり波及効果が期待される。

40

## 【0031】

50

なお、本発明の窒化物半導体成長用基板は、 $GaN$ 以外の窒化物半導体、 $Al_{1-x}Ga_xN$  ( $0 < x < 1$ )、 $In_{1-x}Ga_xN$  ( $0 < x < 1$ )、 $AlN$ 、 $InN$ 等の結晶成長用にも適用することが可能である。また、適用可能な窒化物半導体層は、不純物のドーピングの有無、不純物ドーピングされた半導体のキャリアの極性、混晶の組成比には依存しない。

#### 【0032】

上記実施の形態における窒化物半導体成長用基板6の各構成要素等の物質の一般的な格子定数は以下のような値が知られている。

サファイア、 $Al_2O_3$  :  $a = 4.758$  、  $c = 12.991$

$AlN$  :  $a = 3.112$  、  $c = 4.982$

$GaN$  :  $a = 3.189$  、  $c = 5.185$

10

#### 【0033】

すなわち、上記実施の形態の窒化物半導体成長用基板6における各層について、サファイア基板1から、酸化物、酸窒化物、窒化物というように、酸素と窒素との組成（構成原子の比率）を変化させるため、各層における格子間隔あるいは原子間隔が変化する。

#### 【0034】

上記のように本発明は、高品質な結晶性を有する窒化物半導体を容易に結晶成長させることを可能にする窒化物半導体成長用基板6である。このために本発明は、サファイア基板1上に形成されるバッファ層において、サファイア基板1と接する面から窒化物半導体層に接する面に向かって、バッファ層の組成を変化させることを特徴とする。このようにバッファ層の組成（構成原子の比率）を変化させることによって、バッファ層の格子間隔あるいは原子間隔が変化する。

20

#### 【0035】

具体的には、サファイア基板1、 $Al_2O_3$ 層2、 $AlON$ 層3、 $AlN$ 層4の積層構造である。本発明の一実施形態では、上記バッファ層において、サファイア基板1と接する層を、本発明の一実施形態では必ずしも結晶ではないが、結晶状態では通常、サファイア基板と格子整合する $Al_2O_3$ 層2とすることで、サファイア基板とバッファ層との格子不整合を、 $Al_2O_3$ 層2は必ずしも結晶ではないが軽減することができる。また、上記バッファ層において、 $Al_2O_3$ 層2に、必ずしも結晶ではない層である、 $AlON$ 層3および $AlN$ 層4を積層し、該 $AlN$ 層4に窒化物半導体層を形成することで、バッファ層と窒化物半導体層との格子不整合を、 $AlN$ 層4は必ずしも結晶ではないが軽減することができる。なお、 $AlON$ 層3と $AlN$ 層4に関しては、その順番で積層するのが最良の形態であるが、図3や図4に示すように、 $AlON$ 層3または $AlN$ 層4のいずれか一方を用いた構造でも類似の効果を得ることができる。

30

#### 【0036】

このように、本発明の一実施形態において重要なことは、サファイア基板と窒化物半導体との間に形成されるバッファ層について、窒化物半導体と接する面の格子不整合を軽減することのみならず、サファイア基板と接する面の格子不整合を軽減するように構成されたバッファ層をサファイア基板に別途に設けることである。そのために、本発明の一実施形態では、バッファ層において、該バッファ層のサファイア基板と接する面から窒化物半導体と接する面に向かって、窒素と酸素との組成を変化させることが本質である。つまり、バッファ層に含まれる酸素および窒素の組成に対して、バッファ層のサファイア基板と接する面近傍では、バッファ層は酸素リッチな組成であり、バッファ層の窒化物半導体と接する面近傍では、バッファ層は窒素リッチな組成であり、サファイア基板近傍から窒化物半導体基板近傍に向かって窒素の組成が増加するようなバッファ層をサファイア基板に別途に設けることを本質としている。

40

#### 【0037】

本発明の一実施形態では、バッファ層は、単結晶や多結晶であっても良いし、中間層であっても良い。本明細書において、「中間層」とは、単結晶、多結晶およびアモルファスが混在する層のことを指す。

#### 【0038】

50

このために、図 1 に示すように本発明の一実施形態では、バッファ層を  $Al_2O_3$  層 2、 $AlON$  層 3、 $AlN$  層 4 を順次積層した構成とし、サファイア基板 1 から  $GaN$  層 7 (図 1 には不図示) に向かって窒素を傾斜的に増加させている。また、図 3 や図 4 に示すように、バッファ層を  $Al_2O_3$  層と、 $AlON$  層 3 か  $AlN$  層 4 かのいずれか一方とを積層した構成とし、サファイア基板 1 から  $GaN$  層 7 (図 3 および図 4 には不図示) に向かって窒素の組成をステップ状で増加させるようにしても良い。

【0039】

以下で、本発明の一実施形態に係る  $Al_2O_3$  キャップ層について詳細に説明する。

【0040】

窒化物半導体成長用基板 6 の最上層として  $Al_2O_3$  からなるキャップ層 5 を設ける場合、このキャップ層 5 は空気にさらされる等の外部環境に対する安定性を保つためのものである。上記従来技術のバッファ層を用いる構造とは、キャップ層 5 の有無の点でも異なる。キャップ層 5 が存在するということは、窒化物半導体成長用基板 6 をチャンバー外の空気雰囲気中に取り出すことを可能にし、該基板 6 の取り扱いを容易にする。なお、この最終層の  $Al_2O_3$  キャップ層 5 は、窒化物半導体の結晶成長時には、アンモニア等の窒素を含む物質雰囲気が用いられるため、その下の層を構成する  $AlN$  層 4 を構成する物質  $AlN$  に変化すると考えられる(しかしながら、図 2、図 3、図 4 および後述の図 6 では  $Al_2O_3$  キャップ層 5 と図示)。つまり、キャップ層 5 は、安定性をもたらすキャップの役目と、窒化物半導体成長時の表面との 2 役を果たす。

【0041】

ところで、従来の窒化物半導体の成長方法は、上述のようにバッファ層の成長が 2 段階であって、昇・降温プロセスがあるため、成長プロセスが複雑であり、サファイア基板上に窒化物半導体を形成するプロセスに要する時間(本明細書では、「成長時間」とも呼ぶ)が長くなるという問題を持つ。

【0042】

図 5 は、サファイア基板上に窒化物半導体を形成するプロセスに要する時間と成長炉の温度との関係を説明するための図である。図 5 において、符号 51 は、温度 A (1000 ~ 1100) まで昇温してサファイア基板を洗浄し、温度 B (400 ~ 600) まで降温してサファイア基板上にバッファ層を堆積する従来の第 1 プロセスにおける成長炉の温度の経時変化を示す。符号 52 は、温度 B (400 ~ 600) まで昇温してサファイア基板上にバッファ層を堆積する従来の第 2 プロセスにおける成長炉の温度の経時変化を示す。符号 53 は、温度 C (1000) まで昇温して窒化物半導体成長用基板に窒化物半導体を成長する第 3 プロセスにおける本発明の一実施形態に係る成長炉の温度の経時変化を示す。

【0043】

従来では、サファイア基板上に窒化物半導体を成長する際に、第 1 プロセスまたは第 2 プロセスを行い、サファイア基板上にバッファ層を形成し、第 3 プロセスを行うことで該バッファ層上に窒化物半導体を成長させる。このとき、符号 51 または符号 52 に示される通り、窒化物半導体を成長させる以前に、成長炉内を高温とするため、装置の劣化は促進されてしまう。この装置の劣化の度合いは、使用温度や使用時間に対して指数関数的に効いてくると考えられる。

【0044】

一方、本発明の一実施形態では、室温で窒化物半導体成長用基板を作製することができるので、符号 51 や符号 52 のような温度変化を成長炉は経験しない。よって、符号 53 に示される通り、従来必要だった、バッファ層を形成するための昇・降温プロセスを必要とせず、窒化物半導体の成長温度 (1000) まで昇温することにより容易に窒化物半導体層の結晶成長が可能である。また、従来に比べて、成長炉内を高温で維持する時間を短縮することができるので、成長炉内の基板加熱機構の長寿命化等を実現することができる。

【0045】

特に、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  キャップ層を最上層として有する窒化物半導体成長用基板を用いる場合にあっては、該基板を大気中に曝すことが可能となるので、該基板の作製と、該基板への窒化物半導体の成長とを別個に行うことが可能となる。従って、窒化物半導体を成長する際に、別個に用意された $\text{Al}_2\text{O}_3$  キャップ層を有する窒化物半導体成長用基板を用いることで、サファイア基板上にバッファ層を形成する時間を省略することができる。すなわち、第3プロセスから始めることができるので、成長時間を短縮することができ、生産性の向上にも繋がる。従って、従来問題であった、成長シーケンスの簡便化や成長時間の大幅な短縮を容易に可能にできる。

#### 【0046】

次に、本発明の窒化物半導体成長用基板の応用例について説明する。

10

#### 【0047】

図6は、本発明の窒化物半導体成長用基板上に結晶成長させた $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) /  $\text{GaN}$  ヘテロ接合バイポーラトランジスタ構造の断面模式図である。

#### 【0048】

図6において、符号9は $\text{GaN}$  バッファ層、符号10は $n^+$ 型 $\text{GaN}$  サブコレクタ層、符号11は $n^-$ 型 $\text{GaN}$  コレクタ層、符号12は $p$ 型 $\text{GaN}$  ベース層、符号13は $n^-$ 型 $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  エミッタ層 ( $0 < x < 1$ )、符号14は $n^+$ 型 $\text{GaN}$  コンタクト層、符号15はコレクタ電極、符号16はベース電極、符号17はエミッタ電極である。

#### 【0049】

上記実施の形態に示した窒化物半導体成長用基板6上に、有機金属気相成長法により $\text{GaN}$  バッファ層9 (厚さ $1\mu\text{m}$ )、 $n^+$ 型 $\text{GaN}$  サブコレクタ層10 (厚さ $1\mu\text{m}$ )、 $n^-$ 型 $\text{GaN}$  コレクタ層11 (厚さ $0.5\mu\text{m}$ )、 $p$ 型 $\text{GaN}$  ベース層12 (厚さ $0.08\mu\text{m}$ )、 $n^-$ 型 $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  エミッタ層13 ( $0 < x < 1$ ) (厚さ $0.05\mu\text{m}$ )、 $n^+$ 型 $\text{GaN}$  コンタクト層14 (厚さ $0.1\mu\text{m}$ ) を成長させた。この際の成長シーケンスは、窒化物半導体成長用基板6を成長炉に導入した後、アンモニア雰囲気下で成長温度 ( $1000^\circ\text{C}$ ) まで昇温して、原料ガスを供給し成長させた。原料には、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、アンモニアを用いている。 $n$ 型の不純物のドーピングにはシランを用いた。 $p$ 型の不純物のドーピングには $\text{Mg}$ を用いた。エッチングによりメサ構造を作製し、露出した各層にオーミック電極、すなわち、コレクタ電極15、ベース電極16、エミッタ電極17を電子ビーム蒸着により形成した。作製したトランジスタのエミッタ接地のコレクタ電流 - コレクタ電圧特性では、電流利得が100程度得られ、また、耐圧も既述の転位密度の減少を反映して、200V程度まで増加した。

20

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0050】

【図1】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体成長用基板の断面模式図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体成長用基板上に $\text{GaN}$ 層を結晶成長させた構造の断面模式図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体成長用基板の断面模式図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体成長用基板の断面模式図である。

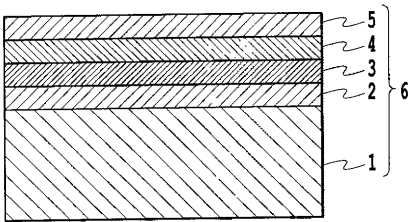
【図5】サファイア基板上に窒化物半導体を形成するプロセスに要する時間と成長炉の温度との関係を説明するための図である。

40

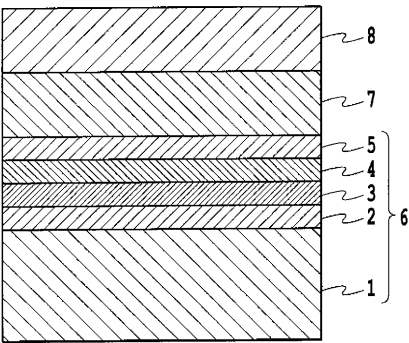
【図6】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体成長用基板上に結晶成長させた $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) /  $\text{GaN}$  ヘテロ接合バイポーラトランジスタ構造の断面模式図である。



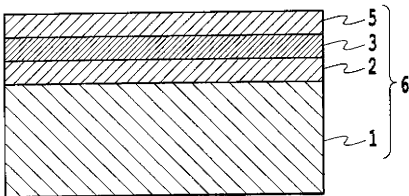
【図 1】  
[図1]



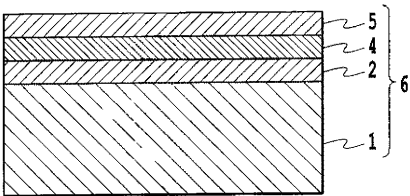
【図 2】  
[図2]



【図 3】  
[図3]

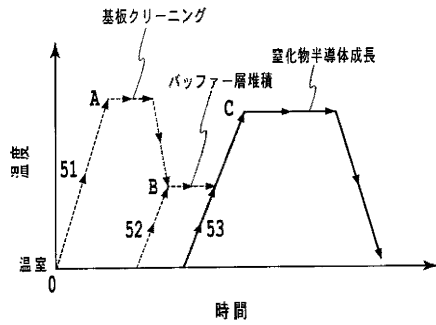


【図 4】  
[図4]



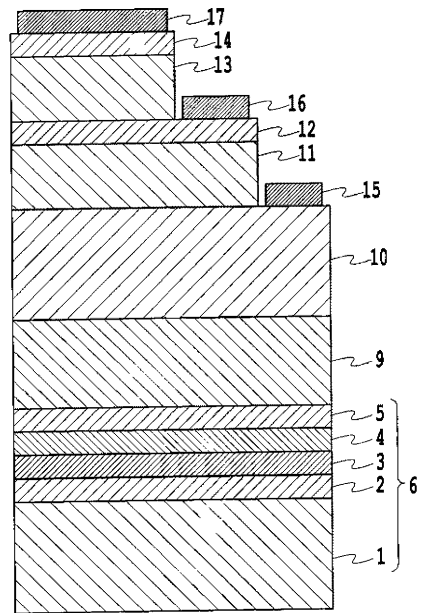
【図 5】

[図5]



【図 6】

[図6]



---

フロントページの続き

(72)発明者 牧本 俊樹

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 河本 充雄

(56)参考文献 特開平02-141495(JP,A)

国際公開第02/012598(WO,A1)

特開平11-060395(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H01L 21/20-21/205

C30B 29/38