

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-504715

(P2008-504715A)

(43) 公表日 平成20年2月14日(2008.2.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/20 (2006.01)	HO 1 L 21/20	5 F 0 4 1
HO 1 L 33/00 (2006.01)	HO 1 L 33/00 C	5 F 1 5 2
HO 1 S 5/323 (2006.01)	HO 1 S 5/323 G 1 O	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁)

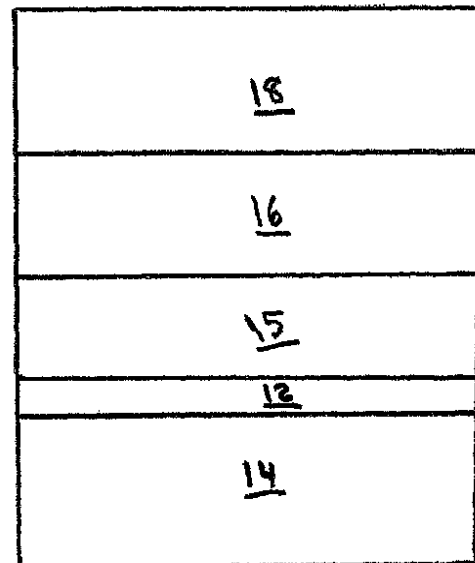
(21) 出願番号	特願2007-519306 (P2007-519306)	(71) 出願人	500200199 ニトロネックス コーポレイション アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2 7 6 0 6 ラレイ ハットン ストリート 6 2 8 スウィート 1 0 3
(86) (22) 出願日	平成17年6月24日 (2005. 6. 24)	(74) 代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
(85) 翻訳文提出日	平成19年1月31日 (2007. 1. 31)	(74) 代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/022488	(72) 発明者	ピナー、エドウィン ラニア アメリカ合衆国 2 7 5 1 1 ノースカロ ライナ州 ケリー フランクリン チェイ ス コート 1 1 2
(87) 国際公開番号	W02006/012298		
(87) 国際公開日	平成18年2月2日 (2006. 2. 2)		
(31) 優先権主張番号	10/879, 703		
(32) 優先日	平成16年6月28日 (2004. 6. 28)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム材料及び方法

## (57) 【要約】

窒化ガリウム材料領域を含む半導体材料、及びこのような構造と関連する方法が提供される。前記半導体構造は前記構造の中に形成される歪み吸収層を含む。前記歪み吸収層は前記基板（例えばシリコン基板）と上部層の間に形成されてよい。前記歪み吸収層が非常に薄く、非晶質構造を有し、窒化ケイ素からなる材料から形成されることが好ましい場合がある。前記歪み吸収層は、他の優位点の中で、他の上部層（たとえば窒化ガリウム材料領域）における他の種類の欠陥の形成を制限する、上部層（例えば、窒化物からなる材料層）において形成されるミスフィット転位数を削減できる。したがって、歪み吸収層の存在は、素子性能の改善につながる可能性がある窒化ガリウム材料領域の質を改善できる。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

上面を有するシリコン基板と、  
前記基板の前記上面の大部分を覆う非晶質窒化ケイ素からなる材料層と、  
前記窒化ケイ素からなる材料層上に形成される窒化物からなる材料の上部層とを備える半導体構造。

## 【請求項 2】

前記窒化ケイ素からなる材料層が実質的に前記基板の上面全体を覆う請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 3】

10

前記窒化ケイ素からなる材料層が SiN からなる請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 4】

前記上部層が単結晶である請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 5】

前記上部層が約 700 より高い温度で形成される請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 6】

前記上部層が窒化ケイ素からなる材料層の上にじかに形成される請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 7】

20

前記上部層が窒化アルミニウムからなる材料からなる請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 8】

前記上部層が前記基板とのエピタキシャル関係を有する請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 9】

前記上部層が窒化ガリウム材料合金からなる請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 10】

前記上部層に濃度勾配がある請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 11】

前記上部層一面に形成される遷移層をさらに備える請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 12】

30

前記遷移層に濃度勾配がある請求項 11 に記載の構造。

## 【請求項 13】

濃度勾配している前記遷移層が上部層の上にじかに形成される請求項 12 に記載の構造。

## 【請求項 14】

濃度勾配している前記遷移層が  $Al_xGa_{(1-x)}N$  からなり、X は前記遷移層の背面から前記遷移層の前面へ減少する請求項 12 に記載の構造。

## 【請求項 15】

前記窒化ケイ素からなる材料層が 100 オングストローム未満の厚さを有する請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 16】

40

前記窒化ケイ素からなる材料層が 10 オングストロームより大きい厚さを有する請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 17】

前記窒化ケイ素からなる材料層が約 10 オングストロームと約 50 オングストロームの間の厚さを有する請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 18】

前記基板が約 125 ミクロンより大きい厚さを有する請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 19】

前記上部層一面に形成される窒化ガリウム材料領域をさらに備える請求項 1 に記載の構造。

50

## 【請求項 20】

前記上部層の欠陥が  $1\text{ cm}^2$  あたり約  $10^{10}$  個未満というミスフィット転位密度を有する請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 21】

前記構造が FET である請求項 1 に記載の構造。

## 【請求項 22】

上面を含むシリコン基板と、

100 オングストローム未満の厚さを有し、前記基板の上面の大部分を覆う窒化ケイ素からなる材料層と、

前記窒化ケイ素からなる材料層に形成される単結晶窒化物からなる材料上部層とを備える半導体構造。

10

## 【請求項 23】

前記窒化ケイ素からなる材料層が非晶質構造を有する請求項 22 に記載の構造。

## 【請求項 24】

前記窒化ケイ素からなる材料層が実質的に前記基板の前記上面全体を覆う請求項 22 に記載の構造。

## 【請求項 25】

前記上部層が窒化アルミニウムからなる材料を備える請求項 22 に記載の構造。

## 【請求項 26】

前記上部層一面に形成される遷移層をさらに備える請求項 22 に記載の構造。

20

## 【請求項 27】

前記遷移層が  $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  からなり濃度勾配がある遷移層であり、 $x$  が前記遷移層の裏面から前記遷移層の前面へ増加する請求項 26 に記載の構造。

## 【請求項 28】

前記窒化ケイ素からなる材料層が 10 オングストロームより大きい厚さを有する請求項 22 に記載の構造。

## 【請求項 29】

前記基板が約 125 ミクロンより大きい厚さを有する請求項 22 に記載の構造。

## 【請求項 30】

前記上部層一面に形成される窒化ガリウム材料領域をさらに備える請求項 22 に記載の構造。

30

## 【請求項 31】

前記上部層の欠陥が  $1\text{ cm}^2$  あたり約  $10^{10}$  個未満というミスフィット転位密度を有する請求項 22 に記載の構造。

## 【請求項 32】

上面を含むシリコン基板と、

前記シリコン基板の実質的に前記上面全体を覆い、100 オングストローム未満の厚さを有する非晶質窒化ケイ素からなる材料層と、

前記非晶質窒化ケイ素からなる材料層の上に形成され、濃度が勾配している遷移層と、

前記遷移層の上に形成される窒化ガリウム材料領域とを備える半導体構造。

40

## 【請求項 33】

半導体材料領域と、

前記半導体材料領域の上に形成される歪み吸収層と、

前記歪み吸収層の上にじかに形成される窒化物からなる材料層におけるミスフィット転位密度が  $1\text{ cm}^2$  あたり約  $10^{10}$  欠陥未満である前記窒化物からなる材料層とを備える半導体構造。

## 【請求項 34】

前記半導体材料領域が基板である請求項 33 に記載の構造。

## 【請求項 35】

前記基板が実質的に平面的である請求項 34 に記載の構造。

50

- 【請求項 36】  
前記基板がケイ素である請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 37】  
前記基板が炭化ケイ素である請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 38】  
前記ミスフィット転位密度が  $1 \text{ cm}^2$  あたり約  $10^8$  欠陥未満である請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 39】  
前記ミスフィット転位密度が  $1 \text{ cm}^2$  あたり約  $10^5$  欠陥未満である請求項 33 に記載の構造。 10
- 【請求項 40】  
前記ミスフィット転位密度が  $1 \text{ cm}^2$  あたり約  $10^2$  欠陥未満である請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 41】  
前記歪み吸収層が窒化ケイ素からなる材料を備える請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 42】  
前記窒化ケイ素からなる材料が非晶質構造を有する請求項 41 に記載の構造。
- 【請求項 43】  
前記窒化物からなる材料層が窒化アルミニウム材料からなる材料を備える請求項 33 に記載の構造。 20
- 【請求項 44】  
前記窒化物からなる材料層が窒化ガリウム材料からなる材料を備える請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 45】  
前記窒化物からなる材料層に濃度勾配がある請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 46】  
前記窒化物からなる材料層一面に形成される窒化ガリウム材料領域をさらに備える請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 47】  
前記窒化ガリウム材料領域と前記窒化物からなる材料層との間に形成され、濃度が勾配している遷移層をさらに備える請求項 46 に記載の構造。 30
- 【請求項 48】  
前記歪み吸収層が  $100$  オングストローム未満の厚さを有する請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 49】  
前記歪み吸収層が  $10$  オングストロームより大きい厚さを有する請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 50】  
前記基板が約  $125$  ミクロンより大きい厚さを有する請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 51】  
前記歪み吸収層が実質的に平面的である請求項 33 に記載の構造。 40
- 【請求項 52】  
前記半導体材料領域が下部層である請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 53】  
前記半導体材料領域が窒化ガリウム材料を備える請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 54】  
前記半導体材料領域が窒化アルミニウムからなる材料を備える請求項 33 に記載の構造。
- 【請求項 55】  
前記半導体材料領域が、前記窒化物からなる材料層とは異なる材料を備える請求項 33 50

に記載の構造。

【請求項 5 6】

前記半導体材料領域が前記窒化物からなる材料層とは異なる結晶構造を有する請求項 3 に記載の構造。

【請求項 5 7】

反応室内にシリコン基板を提供することと、

前記反応室の中に窒素源を導入し、非晶質窒化ケイ素からなる材料層を形成することと

、  
前記反応室の中に第 2 のソースを導入し、前記窒化ケイ素からなる材料層の上に窒化物からなる材料の上部層を形成することと、  
を備える半導体構造を形成する方法。

10

【請求項 5 8】

前記窒素源が前記室内に導入されると、前記反応室内の前記温度が約 1 0 0 0 と約 1 1 0 0 の間である請求項 5 7 に記載の方法。

【請求項 5 9】

前記窒素源が前記室内に導入されると、前記反応室内の前記圧力が約 2 0 トールと約 4 0 トールの間である請求項 5 7 に記載の方法。

【請求項 6 0】

前記窒素源がアンモニアである請求項 5 7 に記載の方法。

【請求項 6 1】

前記窒素源が前記シリコン基板と反応し、窒化ケイ素からなる材料層を形成する請求項 5 7 に記載の方法。

20

【請求項 6 2】

前記第 2 のソースがアルミニウム源を備える請求項 5 7 に記載の方法。

【請求項 6 3】

前記アルミニウム源が前記窒素源と反応し、窒化アルミニウムの層を形成する請求項 6 2 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は概して窒化ガリウム材料に関し、さらに詳細には歪み吸収層を含む窒化ガリウム材料からなる構造に関する。

30

【背景技術】

【0 0 0 2】

窒化ガリウム材料は窒化ガリウム (Ga N) と、窒化ガリウムアルミニウム (Al Ga N)、窒化ガリウムインジウム (In Ga N)、及び窒化ガリウムアルミニウムインジウム (Al In Ga N) 等のその合金を含む。これらの材料は、きわめて強力な電子遷移の発生を可能にする相対的に幅広く直接的なバンドギャップを有する半導体化合物である。このような電子遷移は、青色光を効率的に発する能力、高周波で信号を送信する能力等を含む多くの魅力的な特性を有する窒化ガリウム材料を生じさせることができる。したがって、窒化ガリウム材料は、トランジスタ、電界エミッタ、オプトエレクトロニック素子等の多くのマイクロエレクトロニクス応用で幅広く調査されているところである。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 3】

多くの応用例では、窒化ガリウム材料は基板上で生育される。しかしながら、窒化ガリウム材料と基板間の特性の違いが多くの応用例に適した層を成長させる上での問題を引き起こすことがある。例えば、窒化ガリウム (Ga N) は、サファイア、炭化ケイ素、及びケイ素を含む多くの基板材料とは異なる熱膨張係数 (つまり、熱膨張率) と格子定数とを有する。熱膨張と格子定数のこの違いがミスフィット転位を含む欠陥の形成につながる可

50

能性がある。ミスフィット転位は、転位が半導体材料領域に広がるときにそれらの領域の上で劣化すること、素子性能に悪影響を及ぼすそれらの領域のエネルギーバンドの中での電子状態の生成、及び他の種類の結晶欠陥（例えば、点欠陥、線欠陥、及び平面欠陥）の形成を促進することを含む多くの悪影響を及ぼす可能性がある。これらの影響が素子性能に悪影響を及ぼすことがある。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明は、窒化ガリウム材料領域と、これと関連する方法だけではなく歪み吸収層も備える構造を含む半導体構造を提供する。

一実施形態では、半導体構造が提供される。前記構造は、上面を有するシリコン基板と、前記基板の前記上面の大半を覆う非晶質窒化ケイ素からなる材料層を備える。窒化物からなる材料に覆われた層が窒化ケイ素からなる材料層の上に形成される。

【0005】

別の実施形態では、半導体構造が提供される。前記構造は、上面を含むシリコン基板と、厚さが100オングストローム未満であり、前記基板の前記上面の大部分を覆う窒化ケイ素からなる材料層とを備える。単結晶窒化物からなる材料に覆われた層が窒化ケイ素からなる材料層上に形成される。

【0006】

別の実施形態では、半導体構造が提供される。前記構造は、上面を含むシリコン基板と、前記シリコン基板の実質的に上面全体を覆い、100オングストローム未満の厚さを有する非晶質窒化ケイ素からなる材料層とを備える。濃度が勾配している遷移層が非晶質窒化ケイ素からなる材料層の上に形成される。窒化ガリウム材料領域は前記遷移層上に形成される。

【0007】

別の実施形態では、半導体構造が提供される。前記構造は、半導体材料領域と、前記半導体材料領域の上に形成される歪み吸収層とを備える。窒化物からなる材料層は歪み吸収層の上にじかに形成され、窒化物からなる材料層におけるミスフィット転位密度は $1\text{ cm}^{-2}$ あたり約 $10^{10}$ 欠陥未満である。

【0008】

別の実施形態では、半導体構造を形成する方法が提供される。前記方法は、反応室内でシリコン基板を提供することと、反応室の中に窒素源を導入し、非晶質窒化ケイ素からなる材料層を形成することとを備える。前記方法は、反応室の中に第2のソースを導入し、窒化物からなる材料で覆われる層を窒化ケイ素からなる材料層の上に形成することをさらに備える。

【0009】

本発明の他の態様、実施形態、及び特長は、添付図面に関連して検討されるときに本発明の以下の詳細な説明から明らかになるであろう。添付図面は概略的であり、原寸に比例して描かれることを目的としていない。図中、各同一の、あるいは多様な図の中に描かれている実質的に類似した構成要素は単一の数表示または標記により表現される。明確にするために、あらゆる図であらゆる構成要素に付票が付けられているわけではない。当業者が本発明を理解できるようにするために図解が必要ではない場合、本発明の各実施形態のあらゆる構成要素が図示されているわけでもない。参照することにより本書に組み込まれているすべての特許出願及び特許は、その全体として参照することにより組み込まれている。不一致のある場合には、定義を含む本明細書が優先する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

本発明は、窒化ガリウム材料領域を含む半導体構造と、このような構造と関連する方法とを提供する。半導体構造は、構造の中に形成される歪み吸収層を含む場合がある。歪み吸収層は基板（例えばシリコン基板）と上部層の間に、あるいは構造の中の層間に形成されてよい。さらに後述されるように、歪み吸収層が非常に薄く、非晶質構造を有し、窒化

10

20

30

40

50

ケイ素からなる材料から形成されることが好ましい場合がある。歪み吸収層は、他の優位点の中で、他の上部層（例えば、窒化ガリウム材料領域）内での他の種類の欠陥の形成を制限できる、上部層（例えば、窒化物からなる材料層）で形成されるミスフィット転位数を削減できる。したがって、歪み吸収層が存在することにより、素子性能の改善につながる可能性のある窒化ガリウム材料領域の質を改善できる。

#### 【0011】

図1は本発明の一実施形態による半導体構造10を描いている。例示的な実施形態では、半導体構造は、基板14と上部層15の間に形成される歪み吸収層12を含む。図示されているように、構造は上部層の上に形成される遷移層16と、遷移層の上に形成される窒化ガリウム材料領域18とを含む。さらに後述されるように、歪み吸収層の組成、厚さ及び結晶構造は、窒化ガリウム材料領域内の欠陥の形成を減少できる上部層でのミスフィット転位数の削減に貢献できる。これにより窒化ガリウム材料領域の品質は向上し、素子性能は改善する。本発明の半導体構造は、とりわけトランジスタ（例えばFET）、ショットキーダイオード、発光ダイオード、及びレーザダイオードを含む多くの半導体素子の基本となつてよい。

10

#### 【0012】

層が別の層または基板の「上に」または「一面に」あると参照されるとき、それは層または基板の上にじかにある場合がある、あるいは介在する層が存在する可能性もある。別の層または基板「上にじかに」ある層は、介在する層が存在していないことを意味する。また、層が別の層または基板の「上に」または「一面に」あると参照されるときに、それが層または基板全体、あるいは層または基板の一部を覆うことがあることも理解されなければならない。

20

#### 【0013】

歪み吸収層は（例えば、上部層15が窒化物アルミニウムからなる材料または窒化ガリウム材料から形成されているときに）基板の結晶構造と上部層15の結晶構造の間の格子差異のために発生する歪みを吸収するのに役立つ。歪み吸収層がない場合は、この歪みは通常、基板との界面で上部層15内でのミスフィット転位の生成により対処される。このようにして、応力に対処するための代替機構を提供することにより、歪み吸収層の存在はミスフィット転位の生成を削減できる。

#### 【0014】

さらに、歪み吸収層は上部層及び／または窒素ガリウム材料領域の熱膨張率と比較した場合の基板の熱膨張率の差異のために生じる歪みを吸収するのに役立つことがある。このような差異は上部層／基板界面でのミスフィット転位の形成、あるいは上部層及び／または窒化ガリウム材料領域のどちらかでのひび割れにつながる場合がある。さらに後述されるように、遷移層16はこの熱的に誘導される歪みを吸収するのにも役立つ。

30

#### 【0015】

特定の好適実施形態では、歪み吸収層12は窒化ケイ素からなる材料から形成される。窒化ケイ素からなる材料は、非化学量論的な窒化ケイ素からなる化合物を含む、任意の窒化ケイ素からなる化合物（例えば、とりわけ $\text{SiN}$ 及び、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiCN}$ 等の $\text{Si}_x\text{N}_y$ ）を含む。いくつかの実施形態では、 $\text{SiN}$ 歪み吸収層が好ましいことがある。窒化ケイ素材料からなる歪み吸収層は、さらに後述されるようにシリコン基板上にじかに形成されるときに特に好ましいことがある。

40

#### 【0016】

窒化ケイ素からなる材料と関連する優位点のすべてがこれらの実施形態で達成されない可能性があるが、歪み吸収層が本発明の他の実施形態による他の種類の材料から形成できることも理解されなければならない。

#### 【0017】

いくつかの実施形態では、歪み吸収層が非晶質（つまり結晶ではない）結晶構造を有することが好ましい。非晶質歪み吸収層は、歪みに対処し、したがってミスフィット転位の生成を削減する上で特に有効である。

50

## 【 0 0 1 8 】

しかしながら、本発明の特定の実施形態では、歪み吸収層は単結晶構造または多結晶構造を有してよいことが理解されるべきである。しかしながら、これらの場合、非晶質層に関連する優位点のすべてが実現されない可能性がある。

## 【 0 0 1 9 】

いくつかの実施形態では、特に非晶質及び／または窒化ケイ素からなる材料から形成されるとき、歪み吸収層が非常に薄いことが好ましい。非常に薄い歪み吸収層（例えば、窒化ケイ素からなる歪み吸収層）が、ミスフィット転位の数を削減する上でも効果的である一方で、基板とのエピタキシャル関係を有する上部層（複数の場合がある）の形成を可能にできることが発見された。特定のケースでは（例えば、歪み吸収層が非晶質であるとき）、歪み吸収層が、ミスフィット転位の生成を削減するために基板と上部層 15 の間の格子と熱膨張の差異と関連する十分な歪みに対処するほど十分に大きい厚さを有することが望ましい。これらのケースでは、上部層が基板とエピタキシャル関係を有するように十分に薄いことも望ましい場合がある。これは、高品質の単結晶窒化物ガリウム材料領域の形成に有利であることがある。歪み吸収層が厚すぎると、上部層は基板とのエピタキシャル関係をもって形成されない。

10

## 【 0 0 2 0 】

いくつかの実施形態では、歪み吸収層は、これらの実施形態では基板と上部層の間のエピタキシャル関係を可能にする約 100 オングストローム未満の厚さを有する。いくつかの実施形態では、エピタキシャル関係を可能にするために歪み吸収層が約 50 オングストローム未満の厚さを有することも好ましい場合がある。

20

## 【 0 0 2 1 】

さらに後述されるように、歪み吸収層は、これらの実施形態では歪み（例えば格子と熱膨張の差異から生じる）に対処するのに十分であり、基板全体を覆う歪み吸収層を形成するのを容易にすることができる約 10 オングストロームを超える厚さを有することがある。他の実施形態では、歪み吸収層は歪みに十分に対処するために約 20 オングストロームを超える厚さを有してよい。

## 【 0 0 2 2 】

歪み吸収層の適切な厚さの範囲は前述された範囲（例えば、約 10 オングストロームより大きく、約 100 オングストローム未満、約 10 オングストロームより大きく、約 50 オングストローム未満等）によって定められるそれらのすべてを含む。また、歪み吸収層の厚さは約 20 オングストロームと 70 オングストロームの間であってもよい。

30

## 【 0 0 2 3 】

歪み吸収層の適切な厚さは、他の要因の中で基板の組成、厚さ及び結晶構造だけではなく、歪み吸収層の組成と結晶構造、上部層の組成、厚さ及び結晶構造も含む多くの要因に依存してよいことが理解されなければならない。適切な厚さはミスフィット転位密度及び他の要因（例えば、基板とのエピタキシャル関係を有する上部層を付着する能力等）に対する厚さの影響を測ることによって決定されてよい。また、歪み吸収層が前記範囲外の厚さを有することも考えられる。

## 【 0 0 2 4 】

いくつかのケースでは、歪み吸収層の厚さは層全体で相対的に一様である。例えば、これらのケースでは、歪み吸収層は 25 パーセント未満、つまり歪み吸収層全体で 10 パーセント未満の厚さ一様性変動を有することがある。

40

## 【 0 0 2 5 】

さらに後述されるように、いくつかの実施形態では、歪み吸収層はシリコン基板の上面領域を窒化珪素化することによって形成されてよい。すなわち、基板の表面領域は歪み吸収層を形成するためにケイ素から窒化ケイ素からなる材料に変換されてよい。ここで使用されているように、このような歪み吸収層は「基板上に形成される」、「基板一面に形成される」、「基板上にじかに形成される」として、及び「基板を覆う」として参照されてよい。このような段階は基板の上面で別個の層を付着する（例えば、別個の窒素源とケイ

50



素源を使用する) ことによって形成され、基板の表面領域を変換することによって形成されない歪み吸収層も指す。

【0026】

例示的な実施形態では、歪み吸収層が実質的に基板の上面全体を覆う。この配置は上部層におけるミスフィット転位の数を最小限に抑えるために好ましいことがある。他の実施形態では、歪み吸収層は基板の上面の大部分(例えば、上面面積の50パーセントより多い、あるいは75パーセントより多い)を覆ってよい。

【0027】

また、例示的な実施形態では、歪み吸収層12が基板と上部層の間の領域全体で形成される。つまり、歪み吸収層は、歪み吸収層がじかに基板上にあり、上部層が歪み吸収層上にじかにあるすべての点で基板と上部層を分離する。この配置は、上部層におけるミスフィット転位の数を最小限に抑えるために好ましい場合がある。他の実施形態では、歪み吸収層は基板と上部層の間の領域の大部分(例えば、50パーセントより多い、または75パーセントより多い)全体で形成されてよい。歪み吸収層が基板と上部層の間の領域全体(あるいは、少なくとも領域の大部分)に存在しない場合には、歪み吸収層に関連する前記留意された優位点は実現されない可能性がある。

【0028】

歪み吸収層が本発明において基板(及び上部層と基板の間の領域)を覆う範囲は、シリコン基板と上部層の間に不連続の窒化ケイ素層が(いくつかのケースでは不注意に)形成される従来の技術の特定の技法から区別されてよい。

【0029】

他の実施形態では、歪み吸収層が2つの異なる層(例えば、図3の実施形態)の間等、他の場所に配置されてよいことが理解されなければならない。これらの実施形態では、歪み吸収層は、歪み吸収層の上にある層におけるミスフィット転位の形成を削減できる。

【0030】

前記に留意されたように、有利なことに歪み吸収層の存在は、上部層の中で(例えば、歪み吸収層と上部層の間の界面で、あるいは非常に近くで)非常に低いミスフィット転位密度を生じさせる。ミスフィット転位は、通常、材料の原子構造における相違のための非干渉性の結果、2つの材料間の界面で(または非常に近くで)形成される。

【0031】

本発明のいくつかの実施形態では、上部層におけるミスフィット転位密度は $1\text{ cm}^2$ あたり約 $10^{10}$ 欠陥未満である。そして、他の実施形態では、 $1\text{ cm}^2$ あたり約 $10^8$ 欠陥未満である。例えば、 $1\text{ cm}^2$ あたり約 $10^5$ 欠陥未満の上部層におけるなおさらに低いミスフィット転位密度が達成されてよい。いくつかのケースでは、ミスフィット転位の存在は容易に検出可能でない可能性があり、つまり通常、ミスフィット転位密度は $1\text{ cm}^2$ あたり約 $10^2$ 欠陥未満であることを意味する。特定のミスフィット転位密度は、他の要因の中でも、基板の組成、厚さ及び結晶構造だけではなく、部分的には、歪み吸収層の厚さ、組成及び結晶構造、上部層の組成、厚さ、及び結晶構造等の要因にも依存している。

【0032】

前述されたミスフィット転位密度範囲が、歪み吸収層との界面での、あるいは界面に非常に近くの(例えば、 $20\text{ nm}$ )上部層で見つめられてよく、上部層中の他の領域でも見つめられてよいことが理解されなければならない。

【0033】

ミスフィット転位密度は、公知の技法を使用して測定されてよい。技法は、通常、代表領域一面でのミスフィット転位の存在を判断するために高い倍率を使用する、サンプル(例えば、界面)の原子構造の検査を必要とする。例えば、高解像度透過電子顕微鏡(TEM)が使用されてよい。1つの適切な技法は、高解像度TEM画像を使用して代表領域一面で転位数をカウントすることを必要とする。ミスフィット転位密度は、転位数を面積で除算することにより計算される。通常、ミスフィット転位密度は $1\text{ cm}^2$ あたりの欠陥と

10

20

30

40

50

いう単位で表される。

【0034】

本発明の構造の特定の実施形態では、上部層が前記に留意された範囲より高いミスフィット転位密度を有する可能性があることが理解されなければならない。

本発明の上部層で達成可能な非常に低いミスフィット転位密度は、さらに後述されるように、窒化ガリウム材料領域内の欠陥を削減することを含む多くの優位点につながる可能性がある。

【0035】

構造10が、窒化物からなる材料から形成される上部層15を含むことが好ましいことがある。適切な窒化物からなる材料は、窒化アルミニウムからなる材料（例えば、窒化アルミニウム、窒化アルミニウム合金）、及び窒化ガリウムからなる材料（例えば窒化ガリウム、窒化ガリウム合金）を含むが、これらに限定されない。いくつかのケースでは、上部層は一定の組成を有する。他のケースでは、さらに後述されるように、上部層に濃度勾配があることもある。適切な濃度勾配層はさらに後述され、参照することにより本書に組み込まれている、2000年12月14日に出願された「窒化ガリウム材料及び方法」と題される公有されている米国特許番号第6,649,287号に説明されている。

10

【0036】

上部層が単結晶構造を有するのが好ましい場合がある。前記に留意されたように、いくつかの実施形態では、歪み吸収層の厚さは、上部層が基板とのエピタキシャル関係を有するように制御される。上部層が単結晶構造を有することは、それが単結晶高品質窒化ガリウム材料領域の形成を助長するため有利である可能性がある。いくつかの実施形態では、上部層は基板と異なる結晶構造を有する。単結晶上部層に関連する優位点のすべては達成されない可能性があるが、上部層が単結晶構造を有さず、非晶質または多結晶であってよいことも理解されなければならない。

20

【0037】

上部層は任意の適切な厚さを有してよい。例えば、他の厚さも考えられるが、上部層は約10ナノメートルと5ミクロンの間であってよい。

例示的な実施形態では、遷移層16が上部層の上にじかに形成されている。上部層が一定の組成を有するとき等、特定の実施形態では、遷移層が濃度が勾配している材料（例えば、濃度勾配がある窒化物からなる材料）から形成されていることが好ましいことがある。適切に濃度勾配している層は、前記に参照することにより組み込まれている公有されている米国特許第6,649,287号に説明されている。濃度勾配している遷移層は少なくとも層の一部全体で変化する組成を有する。濃度勾配している遷移層は、窒化物ガリウム材料と基板（例えばシリコン）間の熱膨張率における差異から生じる熱応力を引き下げることによって遷移層上に形成されている窒化ガリウム材料領域でのひび割れの形成を削減する上で特に効果的である。

30

【0038】

実施形態の内の1つのセットに従って、遷移層は濃度に勾配があり、 $Al_x In_y Ga_{(1-x-y)}N$ 、 $Al_x Ga_{(1-x)}N$ 、及び $In_y Ga_{(1-y)}N$ 等の窒化ガリウムの合金から形成されている。これらの実施形態では、合金の元素（例えばGa、Al、In）の少なくとも1つの濃度が遷移層の厚さの少なくとも一部全体で変化する。遷移層16が $Al_x In_y Ga_{(1-x-y)}N$ 組成を有するとき、 $x$ 及び/または $y$ は変化してよい。遷移層が $Al_x Ga_{(1-x)}N$ 組成を有するとき、 $x$ は変化してよい。遷移層が $In_y Ga_{(1-y)}N$ 組成を有するとき、 $y$ は変化してよい。

40

【0039】

特定の好適実施形態では、遷移層に濃度勾配があり、前面での高いガリウム濃度に対して、背面で低いガリウム濃度を有することが望ましい。このような遷移層が窒化ガリウム材料領域18内で内部応力を緩和する際に特に効果的であることが判明している。例えば、遷移層は $Al_x Ga_{(1-x)}N$ という組成を有してよく、 $x$ は遷移層の背面から前面に減少する（例えば、 $x$ は遷移層の背面で1という値から、遷移層の前面での0という値

50

に減少する)。

#### 【0040】

一つの好適実施形態では、構造10は窒化アルミニウム上部層15と濃度勾配している遷移層16とを含む。濃度勾配している遷移層は $Al_xGa_{(1-x)}N$ という組成を有してよく、この場合 $x$ は遷移層の背面での1という値から遷移層の前面での0という値に変化している。例えば、遷移層の組成は不連続的に(例えば段階的に)または連続的に変化してよい。1つの不連続な濃度勾配は、窒化ガリウム材料領域に向かう方向で進行する $AlN$ 、 $Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 及び $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ のステップを含んでよい。

#### 【0041】

他のケースでは、遷移層16は一定の組成を有してよく、濃度に勾配がない場合がある(例えば、上部層が組成が徐々に変化しているとき)ことが理解されなければならない。図2に示されているように、本発明のいくつかの実施形態では、上部層と窒化ガリウム材料領域の間に別個の遷移層は存在していないことも理解されなければならない。図2の例示的な実施形態では、構造20は歪み吸収層12の上部にじかに形成されている上部層15と、上部層の上にじかに形成されている窒化ガリウム材料領域18とを含んでいる。この実施形態では、上部層が前述されたように濃度勾配していることが好ましいことがある。

#### 【0042】

上部層及び/または遷移層は、通常(必ずしも常にではないが)素子の活性領域の一部ではない。前述されたように、上部層及び/または遷移層は窒化ガリウム材料領域18の付着を容易にするために形成されてよい。しかしながら、いくつかのケースでは、上部層及び/または遷移層は素子の動作中に半導体構造の活性領域から熱を取り除くのに役立つ熱拡散層として機能することを含む他の機能を有してよい。例えば、熱拡散層として機能するこのような遷移層は、参照することにより本書に組み込まれている2001年2月23日に出願された「熱伝導性領域を含む窒化ガリウム材料」と題する公有されている同時係属米国特許出願連続番号第09/792,409号に説明されている。

#### 【0043】

素子の活性化領域は窒化ガリウム材料領域18内に形成されてよい。窒化ガリウム材料領域18は少なくとも1つの窒化ガリウム材料層を備える。ここに使用されているように、句「窒化ガリウム材料」は、とりわけ窒化ガリウム( $GaN$ )、及び窒化ガリウムアルミニウム( $Al_xGa_{(1-x)}N$ )、窒化ガリウムインジウム( $In_yGa_{(1-y)}N$ )、窒化ガリウムアルミニウムインジウム( $Al_xIn_yGa_{(1-x-y)}N$ )、ヒ化ガリウムphosphoride窒化物( $GaAs_aP_{b-N(1-a-b)}$ )、ヒ化ガリウムアルミニウムインジウムphosphoride窒化物( $Al_xIn_yGa_{(1-x-y)}As_aP_bN_{(1-a-b)}$ )等のその合金のどれかを指す。通常、存在するとき、ヒ素及び/またはリンは低濃度(つまり5重量パーセント未満)である。特定の好適実施形態では、窒化ガリウム材料は高濃度のガリウムを有し、アルミニウム及び/またはインジウムの量はほとんどまたはまったく含まない。高ガリウム濃度の実施形態では、( $x+y$ )の和は0.4未満、0.2未満、0.1未満またはなおさらに少なくてもよい。いくつかのケースでは、窒化ガリウム材料層が $GaN$ (つまり、 $x+y=0$ )の組成を有することが好ましい。窒化ガリウム材料はn型またはp型にドーピングされてよい、あるいは存在してよい。適切な窒化ガリウム材料は、前記に参照することにより組み込まれている米国特許第6,649,287号に説明されている。

#### 【0044】

いくつかのケースでは、窒化ガリウム材料領域18はただ1つの窒化ガリウム材料層だけを含んでいる。他のケースでは、窒化ガリウム材料領域18が複数の窒化ガリウム材料層を含む。例えば、窒化ガリウム材料領域は図4に示されているように複数の層(例えば18a、18b、18c)を含んでよい。特定の実施形態では、層18bの窒化ガリウム材料が層18aの窒化ガリウム材料のアルミニウム濃度より高いアルミニウム濃度を有することが好ましい場合がある。(前述された窒化ガリウム材料のどれかに関して)層18

10

20

30

40

50

bの窒化ガリウム材料におけるxという値は0.05と、層18aの窒化ガリウム材料におけるxの値より大きい1.0の間、あるいは0.05と、層18aの窒化ガリウム材料におけるxの値より大きい0.5の間の値を有してよい。層18aはGaNから形成されているが、例えば、層18bは $Al_{0.26}Ga_{0.74}N$ から形成されてよい。アルミニウム濃度のこの差異が層18a、18b（つまり2次元電子ガス領域）の界面で高度に伝導性の領域の形成につながることもある。例示的な実施形態では、層18cはGaNから形成されてよい。

#### 【0045】

適切な窒化ガリウム材料層配置は、例えば、参照することにより本書に組み込まれている2003年12月17日出願された「電極形成層を含む窒化ガリウム材料素子及び同を形成する方法（Gallium Nitride Material Devices Including an Electrode-Defining Layer and Methods of Forming the Same）」と題される公有されている同時係属中の米国特許出願、出願番号第10/740,376号に説明されてきた。

10

#### 【0046】

窒化ガリウム材料領域は、他のIII-V化合物または合金、酸化物層、及び金属層等の窒化ガリウム材料組成18を有さない1つまたは複数の層も含んでよい。

窒化ガリウム材料領域18は、その中での素子の形成を可能にするほど十分に高品質である。前記に留意されたように、歪み吸収層の存在は、窒化ガリウム材料領域における欠陥の形成を削減できる上部層におけるミスフィット転位密度を削減してよい。例えば、点欠陥、線欠陥、及び平面欠陥の生成が削減されてよい。窒化ガリウム材料領域における欠陥生成を制限することにより、素子性能は改善できる。低いミスフィット転位密度も、デバイス性能に悪影響も及ぼす窒化ガリウム材料領域のエネルギーバンド内の電子状態の生成を制限できる。

20

#### 【0047】

好ましくは、窒化ガリウム材料領域18は、低いひび割れレベルも有する。前述されたように、遷移層（特に濃度勾配しているとき）及び/または上部層がひび割れ形成を削減してよい。低いひび割れレベルを有する窒化ガリウム材料は、前記に参照することにより組み込まれている米国特許第6,649,287号に説明されている。いくつかのケースでは、窒化ガリウム材料領域は $0.005\mu m/\mu m^2$ 未満というひび割れレベルを有する。いくつかのケースでは、窒化ガリウム材料領域は $0.001\mu m/\mu m^2$ 未満という非常に低いひび割れレベルを有する。特定のケースでは、窒化ガリウム材料領域が、 $0.0001\mu m/\mu m^2$ 未満というひび割れレベルによって定められるように実質的にはひび割れがないことが好ましいことがある。

30

#### 【0048】

特定のケースでは、窒化ガリウム材料領域18は、単一の結晶（つまり単結晶）構造を有する1つの層（または複数の層）を含む。いくつかのケースでは、窒化ガリウム材料領域は、ウルツ（Wurtzite）（六角形）構造を有する1つまたは複数の層を含む。

40

#### 【0049】

窒化ガリウム材料領域18の厚さ及び異なる層の数は、特定の素子の要件によって少なくとも部分的に支配される。最小限では、窒化ガリウム材料領域の厚さは所望される構造または素子の形成を可能にするために十分である。窒化ガリウム材料領域は、通常、必ずしもではないが0.1ミクロンより大きい厚さを有する。他のケースでは、窒化ガリウム材料領域18は0.5ミクロンより大きい、2.0ミクロンより大きい、あるいは5.0ミクロンよりも大きい厚さを有する。

#### 【0050】

前述されたように、特定の好適実施形態では、基板14はシリコン基板である。ここに使用されているように、シリコン基板は、シリコン表面を含む任意の基板を指す。適切なシリコン基板の例は、とりわけケイ素（例えば、バルクシリコンウェハ）、シリコンオン

50

インシュレータ( S O I ) 基板、サファイア上シリコン( S O S ) 基板、及び S I M O X 基板から完全に構成されている基板を含む。適切なシリコン基板は、ダイヤモンド、A I N、または他の多結晶材料に結合されるシリコンウェハを有する基板も含む。単一結晶シリコン基板が好ましいが、さまざまな結晶方位を有するシリコン基板が使用されてよい。いくつかのケースでは、シリコン( 1 1 1 ) 基板が好ましい。他のケースでは、シリコン( 1 0 0 ) 基板が好ましい。

#### 【 0 0 5 1 】

サファイア、炭化ケイ素、リン化インジウム、シリコンゲルマニウム、ヒ化ガリウム、窒化ガリウム、窒化アルミニウム、または他の I I I - V 化合物基板を含む、他の種類の基板も使用されてよいことが理解されなければならない。しかしながら、シリコン基板を使用しない実施形態では、シリコン基板と関連する優位点のすべては達成されない可能性がある。いくつかの実施形態では、シリコン、サファイア、炭化ケイ素、リン化インジウム、シリコンゲルマニウム及びヒ化ガリウム等の非窒化物材料からなる基板を使用することが好ましい場合がある。

10

#### 【 0 0 5 2 】

基板 1 4 は適切な寸法を有してよく、その特定の寸法は用途により決定される。適切な寸法は約 2 インチ( 5 0 m m )、4 インチ( 1 0 0 m m )、6 インチ( 1 5 0 m m )、及び 8 インチ( 2 0 0 m m ) を含むが、これらに限定されない。有利なことに、歪み吸収層は、種々の厚さ一面で基板( 例えばシリコン基板 ) 上に高品質の窒化ガリウム材料領域を形成するために使用されてよい。いくつかのケースでは、基板は約 1 2 5 ミクロンより大きい( 例えば約 1 2 5 ミクロンと約 8 0 0 ミクロンの間、または約 4 0 0 ミクロンと 8 0 0 ミクロンの間 ) 等の相対的に厚いことが好ましい場合がある。相対的に厚い基板は取得、処理が容易であり、いくつかのケースではより薄い基板で発生することがある曲げに抵抗できる。他の実施形態では、これらの実施形態はより厚い基板と関連する利点を有するのではなく、処理を促進する及び / または処理ステップの数を削減することを含む他の優位点を有する場合があるが、より薄い基板( 例えば、1 2 5 ミクロン未満 ) が使用される。いくつかのプロセスでは、基板は当初相対的に厚く( 例えば、約 2 0 0 ミクロンと 8 0 0 ミクロンの間 )、次に後の処理ステップの間に( 例えば 1 5 0 ミクロン未満に ) 薄くされる。

20

#### 【 0 0 5 3 】

いくつかの好適実施形態では、基板は最終的な素子または構造において実質的には平面的である。実質的に平面的な基板は織り目加工されている、及び / または( 例えば米国特許番号第 6 , 2 6 5 , 2 8 9 号においてのように ) その中にトレンチが形成されている基板と区別されてよい。図示されるように、素子の層 / 領域( 例えば、歪み吸収層、上部層、遷移層、窒化ガリウム材料領域 ) は最終的な素子または構造において実質的に平面的であってもよい。さらに後述されるように、このような層 / 領域は垂直な( 例えば、非横方向の ) 成長プロセスで育成してよい。平面的な基板及び層 / 領域は例えば処理を簡略化するためにいくつかの実施形態では有利である場合がある。本発明のいくつかの実施形態では、横方向の生育のプロセスはさらに後述されるように使用されてよいことが理解されなければならない。

30

40

#### 【 0 0 5 4 】

図 3 は、本発明の別の実施形態による半導体構造 2 2 を描く。この実施形態では、歪み吸収層 1 2 は構造の中の層の間に形成されており、基板上にじかに形成されていない。例えば、歪み吸収層は下部層 2 4 と上部層 1 5 の間に形成されてよい。この実施形態では、歪み吸収層は、図 1 の実施形態に関連して前述されたように上部層 1 5 におけるミスフィット転位の形成を削減できる。

#### 【 0 0 5 5 】

下部層 2 4 は、種々の半導体材料から形成されてよい。いくつかの実施形態では下部層は窒化物からなる材料から形成されている。適切な窒化物からなる材料は、窒化アルミニウムからなる材料( 例えば、窒化アルミニウム、窒化アルミニウム合金 ) と窒化ガリウム

50

材料を含むが、これらに限定されない。いくつかの実施形態では、下部層が上部層とは異なる組成を有することが好ましい場合がある。下部層は上部層とは異なる結晶構造も有してよい。

#### 【0056】

他の実施形態では、下部層は窒化物からなる材料から形成されてよい。

図1から図3に描かれている半導体構造は種々の半導体素子の基本となつてよい。適切な素子は、LEDとレーザダイオードを含む発光素子だけではなくトランジスタ（例えばFET）を含むが、これらに限定されない。素子は、通常、少なくとも部分的に窒化物ガリウム材料領域の中にある活性領域を有する。また、素子は種々の他の機能層及び/または特長（例えば電極）も含む。

#### 【0057】

歪み吸収層は、前記に参照することにより組み込まれている公有されている同時係属中の米国特許出願、出願番号第10/740,376号に説明されている構造及び素子に含まれてよい。例えば、図4は、素子30が歪み吸収層12を含むという点を除き、米国特許出願、出願番号第10/740,376号に説明されているFET素子に類似している本発明の一実施形態によるFET素子30を概略で描いている。素子30は、ソース電極34と、ドレイン電極36と、（第1の層18bと第2の層18aを含む）窒化ガリウム材料領域18上に形成されるゲート電極38とを含む。前記素子は、図示されているように、窒化ガリウム材料領域の表面を保護し、不動態化する不動態化層である電極形成層40も含む。ゲート電極が部分的に形成される電極形成層の中にバイア穴42が形成されている。歪み吸収層12は基板上にじかに形成され、上部層15は歪み吸収層上にじかに形成される。いくつかの実施形態では、上部層は濃度勾配している。いくつかの実施形態では、上部層は一定の組成（例えば、窒化アルミニウムまたは窒化アルミニウム合金）を有してよく、濃度勾配がある遷移層は歪み吸収層上に形成される。

#### 【0058】

歪み吸収層は、前記に参照することにより本書に組み込まれている米国特許第6,649,287号に説明されている構造及び素子にも含まれてよい。

歪み吸収層は、参照することにより本書に組み込まれている「裏面バイア穴を含む窒化ガリウム材料素子及び方法（Gallium Nitride Material Devices and Methods Including Backside Vias）」と題される公有されている米国特許番号第6,611,002号に説明されている構造及び素子にも含まれてよい。

#### 【0059】

歪み吸収層を使用する他の構造及び素子が、本書に特に説明されていない構造及び素子を含む本発明の範囲内にあってよいことが理解されなければならない。他の構造は、他の違いの中で、他の層及び/または特長を含んでよい。

#### 【0060】

半導体構造10は、公知の半導体処理技法を使用して製造されてよい。歪み吸収層が窒化ケイ素からなる材料（例えば、非晶質SiN）である実施形態では、歪み吸収層は、前記に留意されたようにシリコン基板の上面をnitratingすることにより形成されてよい。窒化物形成プロセスでは、窒素はシリコン基板の上面領域と反応し、窒化ケイ素からなる層を形成する。前記上面は高温で窒素のガス状のソースにシリコン基板を暴露することによりnitratedされてよい。例えば、アンモニアが、シリコン基板が配置される反応室の中に入れられてよい。反応室内の温度は約1000と約1100の間であつてよく、圧力は約20トルと約40トル（約30トルである場合もある）の間であつてよい。窒素とシリコン基板間の反応が、所望される厚さを有する層を生成するために選択された反応時間の間進行できる。

#### 【0061】

他のプロセスが、別々の窒素源とシリコンソースを使用するプロセス（例えばCVDプロセス）を含む窒化ケイ素からなる歪み吸収層を形成するために使用されてよいことが理

10

20

30

40

50

解されなければならない。また、歪み吸収層が別の種類の材料（非窒化ケイ素からなる材料）から形成されるとき、技術で公知の他の付着プロセスが使用される。

【0062】

いくつかの実施形態では、歪み吸収層は構造の上部層（及び場合によっては以後の層）と現場形成されてよい。すなわち、歪み吸収層は上部層（及び場合によっては以後の層）と同じ付着ステップの間に形成されてよい。前述されたように窒素源（例えば、アンモニア）を反応室の中に導入することにより窒化ケイ素からなる材料の歪み吸収層を生育するプロセスでは、窒素源の後の選択された時間遅延後に第2のソースガスが室内に導入されてよい。第2のソースは窒素源と反応し、上部層を形成し、したがって歪み吸収層の生育を終了する。例えば、上部層が窒化アルミニウムから形成されるとき、アルミニウム源（例えば、トリメチルアルミニウム）が窒素源（例えば、アンモニア）の後の選択された時間に室内に導入される。時間遅延は、歪み吸収層が所望される厚さまで生育するように選択される。第2のソース（例えば、アルミニウム源）と窒素源の間の反応は、上部層を生成するために十分な時間進行できる。上部層が単結晶構造を有するとき、反応条件は適切に選択される。例えば、反応温度は約1000と約1100の間等、700より高くてもよい。いくつかのケースでは、約500と約600の間の温度を含むより低い生育温度が使用されてよい。

歪み吸収層を上部層と以後の層以外の別のプロセスで形成してよいことが理解されなければならない。例えば、歪み吸収層を第一のプロセスで基板上に形成してよい。それから後に、上部層を第二のプロセスで歪み吸収層上に形成してよい。

【0063】

前述されたプロセスでは、上部層は垂直生育プロセスで生育される。すなわち上部層は歪み吸収層に関して垂直方向で生育される。低いミスフィット転位密度を有する歪み吸収層を垂直に生育する能力は、より複雑である可能性のある横方向の生育プロセスに比較すると有利である場合がある。

【0064】

遷移層16と窒化ガリウム材料領域18は、上部層と歪み吸収層と同じ付着ステップで生育されてもよい。このようなプロセスでは、適切なソースが適切なときに反応室の中に導入される。濃度勾配がある遷移層と窒化ガリウム材料領域をシリコン基板一面に形成するための適切なMOCVDプロセスは、前記に参照することにより組み込まれている米国特許番号第6,649,287号に説明されている。窒化ガリウム材料領域18が異なる層を有するとき、いくつかのケースでは、領域全体18を形成するために単一の付着ステップを使用することが好ましい。単一の付着ステップを使用するとき、処理パラメータはさまざまな層を形成するために適切なときに適切に変更されてよい。

【0065】

遷移層と窒化ガリウム材料領域が、歪み吸収層と上部層とは別に生育されてよいことも理解されなければならない。窒化ガリウム材料領域と遷移層は垂直な成長プロセスで成育してよい。これらの領域は、下部層に関して垂直方向で生育される。低いミスフィット転位密度を有する窒化ガリウム材料領域を垂直に生育する能力は、より複雑である可能性のある横方向の生育プロセスに比較すると有利である場合がある。

【0066】

しかしながら、本発明他の実施形態（不図示）では、マスク開口部を通して下部窒化ガリウム層を生育することを必要とする側面方向エピタキシャル過成長（LEO）技法を使用して窒化ガリウム材料領域18の少なくとも一部を生育してから、マスク一面で側面方向に、例えば米国特許番号第6,051,849号に説明されているように、窒化ガリウム材料領域を形成することが可能である。

【0067】

本発明の他の実施形態（不図示）では、例えば米国特許番号第6,265,289号に説明されているように、隣接する側壁からの成長が融合し、窒化ガリウム材料領域を形成するまで窒化ガリウム材料柱（post）の側壁をトレンチの中に生育することを必要と

10

20

30

40

50

する *pendeoe pitaxial* 技法を使用して窒化ガリウム材料領域 18 を生育することが可能である。これらの側面成長技法では、欠点密度が非常に低い窒化ガリウム材料領域が達成できる。例えば、窒化ガリウム材料領域の少なくとも一部は、 $1\text{ cm}^2$  あたり約  $10^5$  欠陥未満という欠陥密度を有してよい。

#### 【0068】

前記に参照することにより組み込まれている公有されている同時係属中の米国特許出願、出願番号第 10 / 740 , 376 号は、図 4 の実施形態に示されている他の層及び特長を成育するために使用される技法をさらに説明する。

#### 【0069】

当業者に公知であるように本発明の構造及び素子を形成するために他のプロセスが使用されてよいことも理解されるべきである。

以下の例は、例示的であることを意味し、制限的ではない。

#### 例 1

本例は、本発明の一実施形態によるシリコン基板上に窒化ケイ素からなる材料の歪み吸収層の形成を描いている。

#### 【0070】

100 mm のシリコン基板が反応室に設置された。アンモニアガスが窒素源として室内に導入された。温度は 1030 で、圧力は約 30 トールで維持された。非晶質窒化ケイ素 (SiN) の層が形成された。

#### 【0071】

アンモニアの導入から約 6 秒後、TMA がアルミニウム源として室内に導入された。温度と圧力はそれぞれ 1030 と約 30 トールで維持された。成長は 30 分間進んだ。

図 5 から図 7 は、結果として生じる構造を描く顕微鏡写真画像のコピーである。図 5 は STEM (走査型透過電子顕微鏡) 画像のコピーである。図 6 と図 7 は高解像度 TEM 画像のコピーである。画像は単結晶窒化アルミニウム層と単結晶シリコン基板の間に形成された非晶質窒化ケイ素の歪み吸収層の存在を示している。特に、高解像度 TEM 画像は結果として生じる層と基板の結晶構造を示している。画像は、窒化ケイ素層の結晶構造が非晶質であり、シリコン基板の結晶構造が立方体であり、窒化アルミニウムの結晶構造が六角形であることを示している。窒化アルミニウム層は基板とのエピタキシャル関係を有している。

#### 【0072】

画像は、非晶質窒化ケイ素の歪み吸収層と窒化アルミニウム層の界面に (または近くに) ミスフィット転位がないことも示している。

この例は、本発明の歪み吸収層がミスフィット転位密度を制限するために使用できることを立証している。

#### 比較例

本例は、本発明の歪み吸収層がない場合にシリコン基板上にじかに形成される窒化アルミニウム層においてミスフィット転位が存在することを描いている。

#### 【0073】

図 8 は、Applied Phys. Lett. 83 (5)、860 (2003 年)、R. Liu に公表された画像のコピーである。画像は、記事に説明された手順の後に、窒化ケイ素の歪み吸収層が存在しない場合にシリコン基板上にじかに形成される窒化アルミニウム層を描く。ミスフィット転位は、「」で示されている。界面コヒーレンスは、 $\{111\}_{\text{Si}}$  格子面と  $\{1-100\}_{\text{AlN}}$  格子面をつなぐ太い線によって示されている。

#### 【0074】

本発明の少なくとも 1 つの実施形態の複数の態様をこのように説明したので、多様な改変、変型及び改善が容易に当業者に思い浮かぶことが理解されるべきである。このような改変、変型及び改善はこの開示の一部であることが目的とされ、本発明の精神及び範囲内にあることが目的とされる。したがって、前記説明及び図面は例証としてのみである。

10

20

30

40

50



## 【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 5 】

【図 1】本発明の一実施形態による歪み吸収層を含む窒化ガリウム材料からなる半導体構造を示す断面図。

【図 2】本発明の別の実施形態による歪み吸収層を含む窒化ガリウム材料からなる半導体構造を示す断面図。

【図 3】本発明の別の実施形態による構造の中の層間に形成される歪み吸収層を含む窒化ガリウム材料からなる半導体構造を示す断面図。

【図 4】本発明の別の実施形態による歪み吸収層を含む F E T 素子の概略を示す断面図。

【図 5】例 1 に説明されているように窒化アルミニウム層とシリコン基板の間の窒化ケイ素歪み吸収層の存在を描く T E M (走査型透過電子顕微鏡) 画像。

【図 6】例 1 に説明されているように窒化アルミニウム層とシリコン基板の間の窒化ケイ素歪み吸収層の存在を描く高解像度 T E M 画像。

【図 7】例 1 に説明されているように窒化アルミニウム層とシリコン基板の間の窒化ケイ素歪み吸収層の存在を描く高解像度 T E M 画像。

【図 8】比較例に説明されているように窒化ケイ素歪み吸収層が存在しない窒化アルミニウム層とシリコン基板の界面を描く A p p l i e d P h y s . L e t t . ) 8 3 ( 5 ) 、 8 6 0 ( 2 0 0 3 年 ) 、 R . L i u らで発表された画像。

10

【図 1】

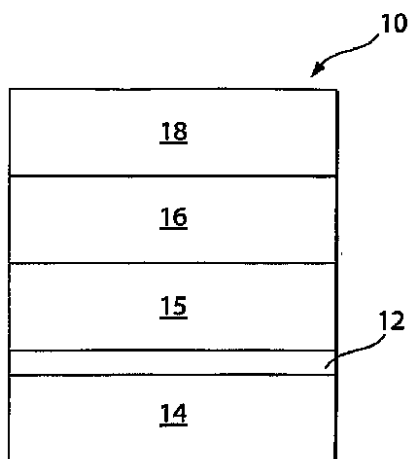


Fig. 1

【図 2】

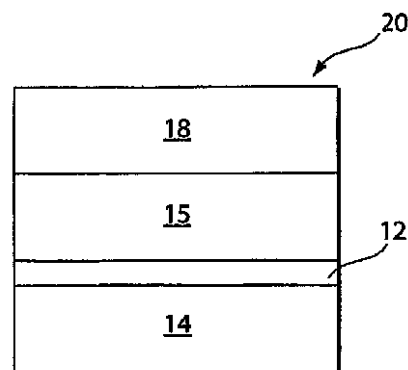


Fig. 2

【 図 3 】

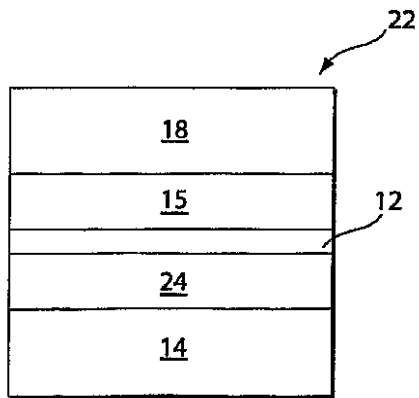


Fig. 3

【 図 4 】

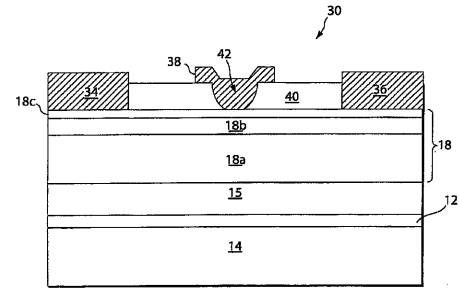
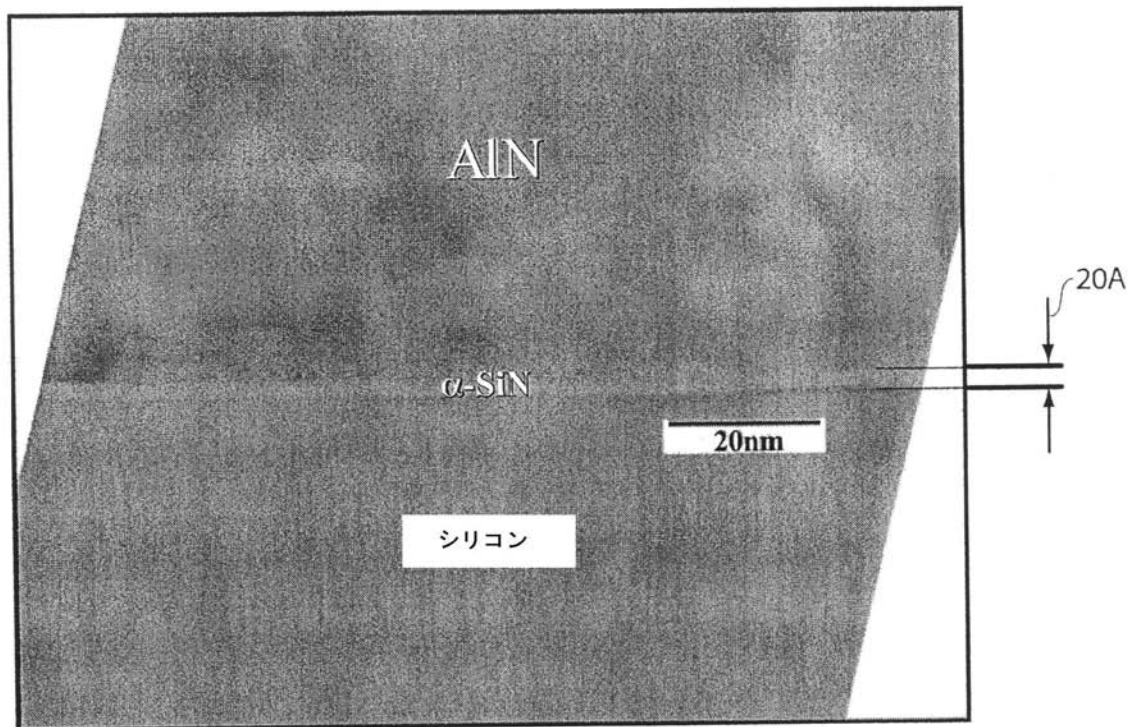
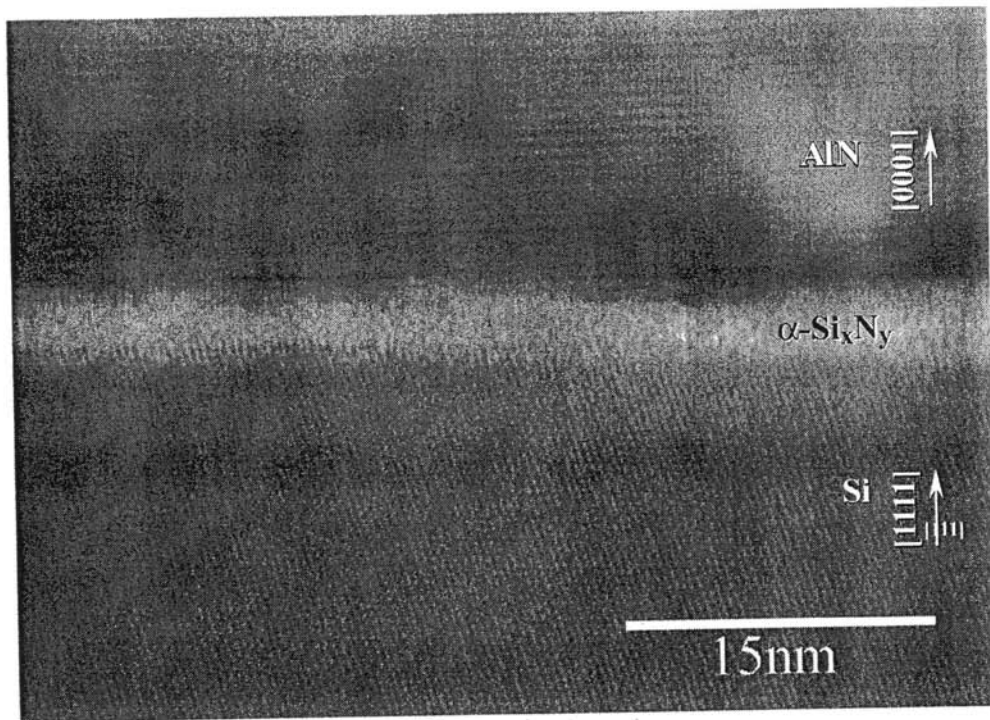


Fig. 4

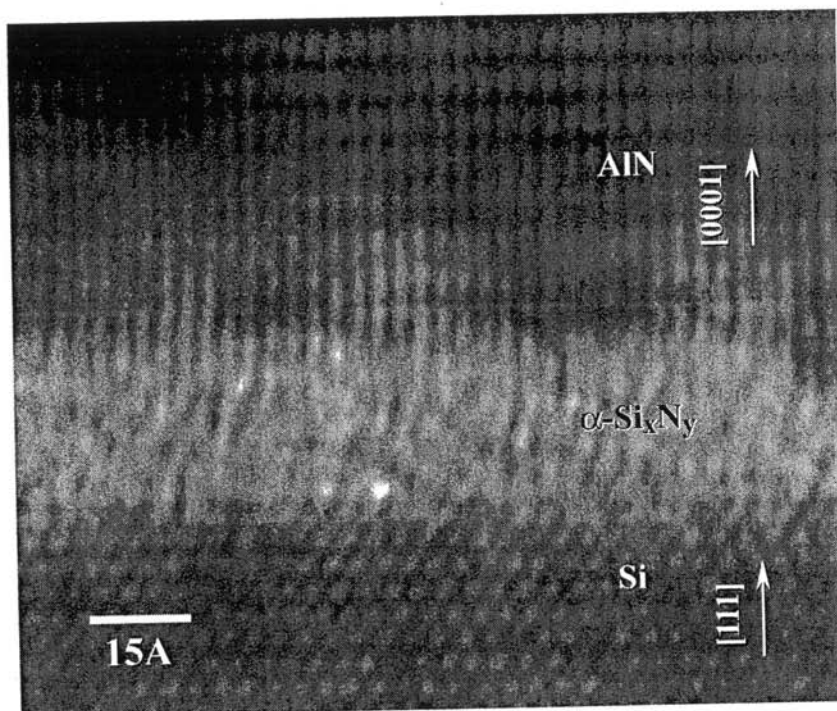
【 図 5 】



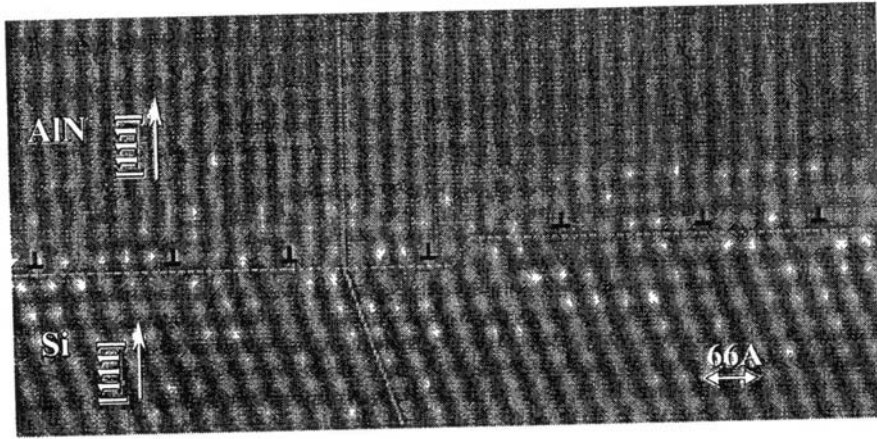
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



( 従来技術 )

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US2005/022488

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H01L21/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 209 729 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD) 29 May 2002 (2002-05-29) Fifth Embodiment; figure 5	1-64
X	US 2004/104384 A1 (MOUSTAKAS THEODORE D ET AL) 3 June 2004 (2004-06-03)  paragraphs '0035!, '0038!, '0046!; figures 2,3,5; examples  ----- -/-	1-15, 18-27, 29-48, 50-64

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E" earlier document but published on or after the international filing date
- \*L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 October 2005

Date of mailing of the international search report

26/10/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Wolff, G

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US2005/022488

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	EP 1 548 807 A (INTERUNIVERSITAIR MICRO-ELEKTRONICA CENTRUM) 29 June 2005 (2005-06-29)  paragraphs '0087!, '0090!, '0108!, '0113!; claims 1-4	1-4, 6-9, 11, 15, 19, 21-26, 30, 58, 61-64
P, X	EP 1 437 764 A (S.O.I. TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES S.A) 14 July 2004 (2004-07-14) paragraphs '0033!, '0034!	1-4, 6, 9, 58
X	WO 02/058164 A (MOTOROLA, INC) 25 July 2002 (2002-07-25) claims 1-4; figures 1-3	33

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/US2005/022488

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1209729	A	29-05-2002	CN 1355931 A WO 0104943 A1 TW 466771 B	26-06-2002 18-01-2001 01-12-2001
US 2004104384	A1	03-06-2004	NONE	
EP 1548807	A	29-06-2005	NONE	
EP 1437764	A	14-07-2004	NONE	
WO 02058164	A	25-07-2002	US 2005194593 A1 US 2002096683 A1	08-09-2005 25-07-2002

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ロバーツ、ジョン クラーセン

アメリカ合衆国 2 7 2 7 8 ノースカロライナ州 ヒルズボロー ラークスパー レーン 1 9  
2 1

(72)発明者 ラジャゴパル、プラディーブ

アメリカ合衆国 2 7 6 1 3 ノースカロライナ州 ラレー ローン マウンテン プレイス 5  
3 3 3

F ターム(参考) 5F041 CA40 CA46 CA65

5F152 LL05 LN03 LN14 LN32 LN35 MM02 MM03 MM09 MM10 NN03

NN04 NN05 NN07 NN08 NN09 NN13 NN15 NN27 NN29 NP09

NP23 NQ09

5F173 AH22 AH48 AP06