

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5785103号
(P5785103)

(45) 発行日 平成27年9月24日 (2015. 9. 24)

(24) 登録日 平成27年7月31日 (2015. 7. 31)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/338 (2006. 01)	HO 1 L 29/80 H
HO 1 L 29/778 (2006. 01)	HO 1 L 21/205
HO 1 L 29/812 (2006. 01)	
HO 1 L 21/205 (2006. 01)	

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2012-5945 (P2012-5945)	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成24年1月16日 (2012. 1. 16)		シャープ株式会社
(65) 公開番号	特開2013-145821 (P2013-145821A)		大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(43) 公開日	平成25年7月25日 (2013. 7. 25)	(74) 代理人	110001195
審査請求日	平成26年7月17日 (2014. 7. 17)		特許業務法人深見特許事務所
		(72) 発明者	布袋田 暢行
			大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
			シャープ株式会社内
		(72) 発明者	寺口 信明
			大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
			シャープ株式会社内
		(72) 発明者	本田 大輔
			大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
			シャープ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ヘテロ接合型電界効果トランジスタ用のエピタキシャルウエハ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ヘテロ接合型電界効果トランジスタ用のエピタキシャルウエハであって、

S i 基板上に順次積層された A l N 下地層、段階的組成傾斜バッファ層構造、超格子バッファ層構造、G a N チャネル層、および窒化物系半導体の電子供給層を含み、

前記段階的組成傾斜バッファ層構造は、A l 組成比が段階的に順次低減されるように積層された複数の A l G a N バッファ層を含み、最上の A l G a N バッファ層は $A l_x G a_{1-x} N$ ($0 < x$) の組成を有し、前記超格子バッファ層構造内では $A l_y G a_{1-y} N$ ($y > 1$) 超格子構成層と $A l_z G a_{1-z} N$ ($0 < z < y$) 超格子構成層のいずれかから開始してそれらの超格子構成層が交互に複数回積層されており、前記 $A l_x G a_{1-x} N$ バッファ層と $A l_z G a_{1-z} N$ 超格子構成層とがほぼ同じ A l 組成比を有して $x - 0.05 \leq z \leq x + 0.05$ の条件を満たし、前記超格子バッファ層構造内の小さなバンドギャップの $A l_z G a_{1-z} N$ ($0 < z < y$) 超格子構成層と前記段階的組成傾斜バッファ層構造中の最上層の $A l_x G a_{1-x} N$ ($0 < x$) のそれぞれにおける A l 組成比は等しい、エピタキシャルウエハ。

【請求項 2】

前記超格子バッファ層構造内の最下の超格子構成層が A l N の組成を有することを特徴とする請求項 1 に記載のエピタキシャルウエハ。

【発明の詳細な説明】

10

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、2次元電子ガス(2DEG)を生じ得る複数の窒化物系半導体層を含むヘテロ接合型電界効果トランジスタを作製するためのエピタキシャルウエハに関し、特にそのウエハにおける反りと転位密度の低減に関する。

【背景技術】

【0002】

窒化物系半導体からなる例えばAlGa_xN層/GaN層のヘテロ接合構造の形成においては、GaN基板が高価であることから、サファイア基板やSi基板の上におけるそれらの層のエピタキシャル結晶成長が従来から行なわれている。

10

【0003】

Si基板上の窒化物系半導体層の結晶成長に関しては、Si基板に対する窒化物系半導体層の結晶構造の相違、格子不整合、熱膨張係数差などに基づく歪みを緩和するために、さまざまなバッファ層構造が検討されている。より具体的には、2種の超格子構成層の繰返しを含む超格子バッファ層構造に関して、多くの特許公報が存在している。

【0004】

例えば、特許文献1では、格子定数および熱膨張率が大きく異なる基板上に表面が平滑でクラックを含まない窒化物半導体層を形成することを目的として、シリコン基板上にAl_{1-x}Ga_xN(0.5<x<1)の第1超格子構成層とAl_{1-y}Ga_yN(0.0<y<0.2)の第2超格子構成層とを交互に繰返し積層してAlGa_xN系超格子バッファ層構造を形成することが記載されている。

20

【0005】

また、特許文献2では、バッファ層を介する電極間の電流リークを抑制することを目的として、シリコン基板上のAlNバッファ層と、その上に交互に積層された高Al組成比のH-AlGa_xN超格子構成層と低Al組成比のL-AlGa_xN超格子構成層を含む超格子バッファ層構造とを有する半導体素子が記載されている。

【0006】

さらに、特許文献3では、Si基板上またはこの上に形成した中間層上に、Al組成比が厚さ方向に連続または段階的に減少させられた組成傾斜バッファ層構造を形成し、その上に交互に積層された高Al組成比のAlGa_xN超格子構成層と低Al組成比のAlGa_xN超格子構成層とを含む超格子バッファ層構造を形成し、その上にチャネル層となる窒化物層が形成されている。このような積層構造を利用することによって、クラックおよびピットの発生が少なくかつ結晶性に優れた窒化物半導体層を有する半導体素子が得られることが述べられている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2007-67077号公報

【特許文献2】特開2010-232377号公報

【特許文献3】特開2009-158804号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1から3に開示された窒化物系半導体エピタキシャルウエハは、電子デバイスであるパワーデバイス用のウエハとして用いることができることが記載または示唆されている。しかしながら、そのようなエピタキシャルウエハを用いてパワーデバイスを製造するためには、そのウエハに対してフォトリソグラフィやエッチングなどの工程を通して、電極形成、素子分離、表面保護膜形成、内部配線形成などの半導体処理プロセスを経る必要がある。したがって、ウエハに反りがある場合にはデバイスの歩留まりの低下を招き、反りがひどい場合にはウエハを半導体製造装置で処理できないという問題を生じる。特に

50

、600Vから1200Vまでの耐電圧が求められるパワーデバイスの場合には、窒化物半導体層自体の膜厚を増大させる必要があり、その膜厚の増大に伴ってウエハの反りが大きくなる傾向にある。

【0009】

このようなウエハの反りの問題から、パワーデバイスを製造するに適したエピタキシャルウエハは、未だ市場に出ていないのが現状である。

【0010】

上述のような先行技術における課題に鑑み、本発明は、段階的組成傾斜バッファ層構造とその上の超格子バッファ層構造との関係を調整することによって、ヘテロ接合型FET用のエピタキシャルウエハにおける反りと刃状転位密度を低減させることを目的としている。

10

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明によれば、ヘテロ接合型電界効果トランジスタ用のエピタキシャルウエハは、Si基板上に順次積層されたAlN下地層、段階的組成傾斜バッファ層構造、超格子バッファ層構造、GaNチャネル層、および窒化物系半導体の電子供給層を含み、段階的組成傾斜バッファ層構造はAl組成比が段階的に順次低減されるように積層された複数のAlGa_{1-x}Nバッファ層を含み、最上のAlGa_{1-x}Nバッファ層はAl_xGa_{1-x}N(0<x)の組成を有し、超格子バッファ層構造内ではAl_yGa_{1-y}N(y-1)超格子構成層とAl_zGa_{1-z}N(0<z<y)超格子構成層のいずれかから開始してそれらの超格子構成層が交互に複数回積層されており、Al_xGa_{1-x}Nバッファ層とAl_zGa_{1-z}N超格子構成層とがほぼ同じAl組成比を有していてx-0.05<z<x+0.05の条件を満たし、超格子バッファ層構造内の小さなバンドギャップのAl_zGa_{1-z}N(0<z<y)超格子構成層と段階的組成傾斜バッファ層構造中の最上層のAl_xGa_{1-x}N(0<x)のそれぞれにおけるAl組成比は等しいことを特徴としている。

20

【0012】

なお、超格子バッファ層構造内の最下の超格子構成層は、AlNの組成を有することが好ましい。

【発明の効果】

【0013】

上述のような本発明による段階的組成傾斜バッファ層構造および超格子バッファ層構造の組合せを利用することによって、窒化物系半導体エピタキシャルウエハの反りを大幅に低減させることができ、また刃状転位密度も低減された窒化物系半導体エピタキシャルウエハを得ることが可能となる。

30

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の実施例1による窒化物系半導体エピタキシャルウエハの積層構造を示す模式的断面図である。

【図2】比較例1による窒化物系半導体エピタキシャルウエハの積層構造を示す模式的断面図である。

40

【図3】比較例2による窒化物系半導体エピタキシャルウエハの積層構造を示す模式的断面図である。

【図4】段階的組成傾斜バッファ層構造中の最上層に対する超格子バッファ層構造中で相対的に小さなバンドギャップを有する超格子構成層のAl組成差(%)に依存するエピタキシャルウエハの反り量(μm)を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明者達は、ヘテロ接合型FET用のエピタキシャルウエハにおける反りと刃状転位密度の低減を図るために望まれる段階的組成傾斜バッファ層構造と超格子バッファ層構造との関係を解明するために、以下に述べるような実施例と比較例によるウエハにおける反り

50

量と刃状転位密度を測定し、その結果について考察して本発明を導き出した。

【0016】

(実施例1)

図1は、本発明の実施例1によるヘテロ接合型FET用エピタキシャルウエハの積層構造を示す模式的断面図である。

【0017】

この図1のウエハの作製においては、4インチ径で厚さ625 μm のSi基板1が用いられた。窒化物系半導体層の結晶成長に先立って、フッ酸系のエッチャントでSi基板1の表面酸化膜を除去した後に、MOCVD(有機金属気相堆積)装置内にその基板がセットされた。MOCVD装置内では基板が1100に加熱され、チャンバ内圧力13.3kPaの水素雰囲気にて基板表面のクリーニングが行なわれた。その後、基板温度とチャンバ内圧力を維持しつつ、アンモニア NH_3 (12.5slm)を流すことによって、Si基板表面の窒化が行なわれた。

【0018】

Si基板表面の窒化に引き続いて、TMA(トリメチルアルミニウム)流量=117 $\mu\text{mol}/\text{min}$ と NH_3 流量=12.5slmの条件下で、AlN下地層2が200nmの厚さに堆積された。

【0019】

その後、基板温度を1150に上昇させ、下記条件下で段階的組成傾斜バッファ層構造6が形成された。すなわち、TMG(トリメチルガリウム)流量=57 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、TMA流量=97 $\mu\text{mol}/\text{min}$ および NH_3 流量=12.5slmの条件下で、 $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$ 層3が200nmの厚さに堆積された。続いて、TMG流量=99 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、TMA流量=55 $\mu\text{mol}/\text{min}$ および NH_3 流量=12.5slmの条件下で、 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層4が400nmの厚さに堆積され、さらにTMG流量=137 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、TMA流量=18 $\mu\text{mol}/\text{min}$ および NH_3 流量=12.5slmの条件下で、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層5が400nmの厚さに堆積された。こうして、段階的組成傾斜バッファ層構造6が形成された。

【0020】

その後、基板温度を1150に維持したままで、厚さ10nmのAlN超格子構成層と厚さ20nmの $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 超格子構成層とを70周期積層することによって、厚さ2.1 μm の超格子(SL)バッファ層構造7が形成された。このとき、AlN超格子構成層はTMA流量=102 $\mu\text{mol}/\text{min}$ および NH_3 流量=12.5slmの条件下で堆積され、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 超格子構成層はTMG流量=720 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、TMA流量=80 $\mu\text{mol}/\text{min}$ および NH_3 流量=12.5slmの条件下で堆積された。

【0021】

その後、基板温度が1100に下げられ、TMG流量=224 $\mu\text{mol}/\text{min}$ および NH_3 流量=12.5slmの条件下で、GaNチャネル層8が1000nmに堆積された。

【0022】

なお、本実施例1では単一のGaNチャネル層8が堆積されたが、形成されるFETの耐電圧を向上させるために、相対的に低い反応ガス圧下で堆積される厚さ0.3 μm のGaN層と相対的に高い反応ガス圧下で堆積される厚さ0.7 μm のGaN層を含む2層構造のチャネル層が形成されてもよい。この場合に、反応ガス圧が低いときにはTMGに含まれる炭素がGaNチャネル層内にドーブされやすく、逆に反応ガス圧が高いときにはGaNチャネル層内に炭素がドーブされにくい傾向を利用することによってFETの耐電圧の向上が図られる。

【0023】

GaNチャネル層8上には、TMG流量=46 $\mu\text{mol}/\text{min}$ 、TMA流量=7 $\mu\text{mol}/\text{min}$ および NH_3 流量=12.5slmの条件下で、13.3kPaの圧力の下

10

20

30

40

50

で、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 障壁層 9 (20 nm 厚) からなる電子供給層が堆積された。

【0024】

なお、電子供給層としては、 GaN チャネル層 8 と $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 障壁層 9 との間に極めて薄い AlN 特性改善層 (1 nm 厚) を付加することによって GaN チャネル層中の 2DEG 濃度を高める工夫をしてもよいし、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 障壁層 9 の表面を保護する目的でその上に GaN キャップ層 (1 nm 厚) を設けることも好ましい。

【0025】

(比較例 1)

図 2 は、比較例 1 によるヘテロ接合型 FET 用のエピタキシャルウエハの積層構造を示す模式的断面図である。

10

【0026】

図 2 のウエハの作製では、超格子 (SL) バッファ層構造 72 に含まれる層以外の層は、実施例 1 の場合と同じ条件で堆積された。

【0027】

本比較例 1 の超格子バッファ層構造 72 の形成においては、基板温度を 1150 °C に設定して、厚さ 10 nm の AlN 超格子構成層と厚さ 20 nm の GaN 超格子構成層とが 70 周期積層された。このとき、 AlN 超格子構成層は TMA 流量 = 102 $\mu\text{mol/min}$ および NH_3 流量 = 12.5 slm の条件下で堆積され、 GaN 層は TMG 流量 = 80 $\mu\text{mol/min}$ および NH_3 流量 = 12.5 slm の条件下で堆積された。

【0028】

20

その後、実施例 1 の場合と同様に、 GaN チャネル層 8 (1000 nm 厚) および $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 障壁層 9 (20 nm 厚) の電子供給層が堆積された。

【0029】

(比較例 2)

図 3 は、比較例 2 によるヘテロ接合型 FET 用のエピタキシャルウエハの積層構造を示す模式的断面図である。

【0030】

図 3 のウエハの作製においは、超格子 (SL) バッファ層構造 73 に含まれる層以外の層は、実施例 1 の場合と同じ条件で堆積された。

【0031】

30

本比較例 2 の超格子バッファ層構造 73 の形成においては、基板温度を 1150 °C に設定し、厚さ 10 nm の AlN 超格子構成層と厚さ 20 nm の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 超格子構成層とが 70 周期積層された。このとき、 AlN 超格子構成層は TMA 流量 = 102 $\mu\text{mol/min}$ および NH_3 流量 = 12.5 slm の条件下で堆積され、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 超格子構成層は TMG 流量 = 640 $\mu\text{mol/min}$ 、TMA 流量 = 160 $\mu\text{mol/min}$ および NH_3 流量 = 12.5 slm の条件下で堆積された。

【0032】

その後、実施例 1 の場合と同様に、 GaN チャネル層 8 (1000 nm 厚) および $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 障壁層 9 (20 nm 厚) の電子供給層が堆積された。

【0033】

40

(評価および考察)

以上のような実施例および比較例によるエピタキシャルウエハにおいて反りと刃状転位密度が評価された。

【0034】

なお、4 インチ径のウエハの反りは、下に凸の中央部の反り量をプラスとして測定されている。また、刃状転位密度は、 GaN チャネル層 8 中の転位密度として測定されている。より具体的には、刃状転位密度は、X 線回折測定によるロッキングカーブの (1 - 100) 面回折ピークの半値全幅 (FWHM) を用いる下記の実験式 (1) から見積もられている。

$$\text{刃状転位密度} = (\text{FWHM}^2 / 9.0) / 3.189 \quad \dots (1)$$

50

ここで、FWHMと刃状転位密度とは、カソードルミネッセンス（CL）による観察によって関係付けられた。式（１）中の数値「9.0」は、FWHMと刃状転位密度とをCL観察に基づいて関係付けるフィティングパラメータであり、3.189はGaN結晶中の刃状転位のバーガスベクトルの長さである。

【0035】

図4のグラフにおいては、超格子バッファ層構造中で相対的に小さなバンドギャップ（小さなAl組成比）を有する超格子構成層に対する段階的組成傾斜バッファ層構造中の最上層のAl組成差（％）に依存するエピタキシャルウエハの反り（ μm ）が、上述の実施例1および比較例1と2に基づいて示されている。

【0036】

すなわち、段階的組成傾斜バッファ層構造中の最上層の組成を $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x$ ）とし、超格子バッファ層構造中で相対的に大きなバンドギャップを有する超格子構成層の組成を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ （ $y > 1$ ）しかつ相対的に小さなバンドギャップを有する超格子構成層の組成を $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ （ $0 < z < y$ ）とした場合に、図4のグラフの横軸は $(z - x) \times 100\%$ を表している。

【0037】

このグラフに示されているように、実施例1においては、超格子バッファ層構造7内の小さなバンドギャップの $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 超格子構成層に対する段階的組成傾斜バッファ層構造中6の最上層の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層5のAl組成差は0％であって、この場合にウエハの反り量は $2.0\mu\text{m}$ であった。また、そのウエハにおける刃状転位密度は $2.44 \times 10^9\text{cm}^{-2}$ であった。

【0038】

他方、比較例1においては、超格子バッファ層構造72内の小さなバンドギャップのGaN超格子構成層に対する段階的組成傾斜バッファ層構造中6の最上層の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層5のAl組成差は-10％であって、この場合にウエハの反り量は $44.8\mu\text{m}$ であった。また、そのウエハにおける刃状転位密度は $6.15 \times 10^9\text{cm}^{-2}$ であった。

【0039】

さらに、比較例2においては、超格子バッファ層構造73内の小さなバンドギャップの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 超格子構成層に対する段階的組成傾斜バッファ層構造中6の最上層の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層5に対するAl組成差は+10％であって、この場合にウエハの反り量は $67.4\mu\text{m}$ であった。また、そのウエハにおける刃状転位密度は $3.45 \times 10^9\text{cm}^{-2}$ であった。

【0040】

以上の結果から、超格子バッファ層構造中の小さなAl組成比の超格子構成層と組成傾斜バッファ層構造中の最上層との間のAl組成差（％）が小さいほど、エピタキシャルウエハにおける反りと刃状転位密度の両方が顕著に減少することが分かる。

【0041】

ここで、エピタキシャルウエハの反りが $20\mu\text{m}$ 以下の場合には、半導体製造プロセスにおいてそのウエハを容易に取扱うことができ、例えばGaN系の低オン抵抗の小型パワーデバイスを容易に作製することができる。したがって、 $-0.05 \leq z - x \leq 0.05$ の組成比差であれば、実用的なエピタキシャルウエハとして利用可能である。

【0042】

なお、以上の実施例と比較例においては組成傾斜バッファ層構造中6の最上層として $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層5が用いられたが、その最上層として $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層が用いられた場合でも、図4と同様の傾向が確認された。

【0043】

以上のような結果となる理由として、以下のような事項が関係していると推察される。まず、比較的大きな厚さを有するGaNチャネル層を直接Si基板上にエピタキシャル成長させた場合、エピタキシャル成長時の高温状態から室温にウエハを冷却するときに、S

10

20

30

40

50

i 基板に比べて大きな熱膨張係数を有する GaN 層は Si 基板より冷却収縮度が大きくなる。したがって、Si 基板の上面は GaN 層から圧縮力を受け (GaN 層は Si 基板から引張り力を受け)、ウエハ全体が下に凸に反ることになる。

【0044】

このような状況において、段階的組成傾斜バッファ層構造によって格子定数差による歪を利用して GaN 層に圧縮力を順次与えることによって、結果としてウエハ全体の下に凸の反りを軽減させることができる。なお、AlGaN 層は、GaN 層および AlN 層に比べてそれらの中間の格子定数を有している。

【0045】

さらに、超格子バッファ層構造中でバンドギャップの小さい方の超格子構成層の Al 組成を段階的傾斜バッファ層中の最上層の Al 組成とほぼ同じにすることによって、超格子バッファ層構造と段階的傾斜バッファ層構造との間の歪を最小限とすることができ、ウエハに生じる反りをさらにミニマイズできると考えられる。

10

【0046】

なお、高い耐電圧を有する FET を作製するために本発明のエピタキシャルウエハを使用する場合には、超格子バッファ層構造はなるべく大きなバンドギャップの AlN 超格子構成層を含むことが好ましい。

【産業上の利用可能性】

【0047】

以上のように、本発明による段階的組成傾斜バッファ層構と超格子バッファ層構造の組合せを利用することによって、窒化物系半導体エピタキシャルウエハの反りを大幅に低減させることができ、また刃状転位密度も低減された窒化物系半導体エピタキシャルウエハを提供することが可能となる。

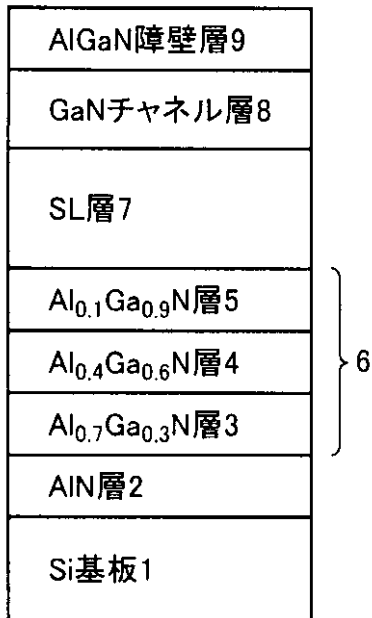
20

【符号の説明】

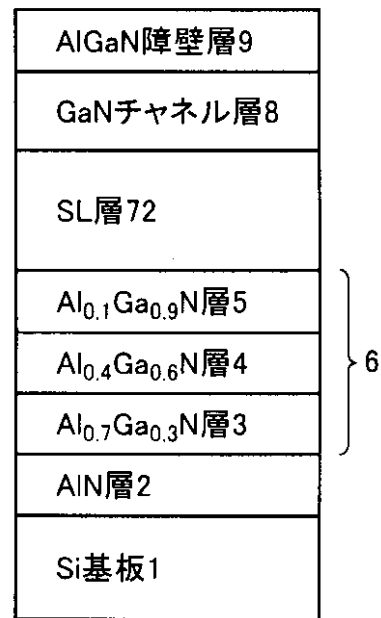
【0048】

1 Si 基板、2 AlN 下地層、3 $Al_{0.7}Ga_{0.3}N$ バッファ層、4 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ バッファ層、5 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ バッファ層、6 段階的組成傾斜バッファ層構造、7、72、73 超格子バッファ層構造、8 GaN チャンネル層、9 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 障壁層。

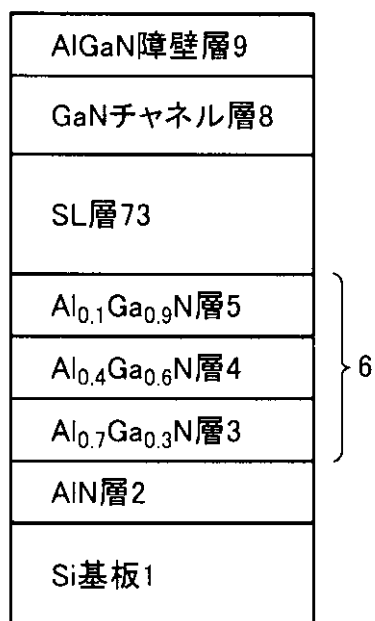
【図 1】



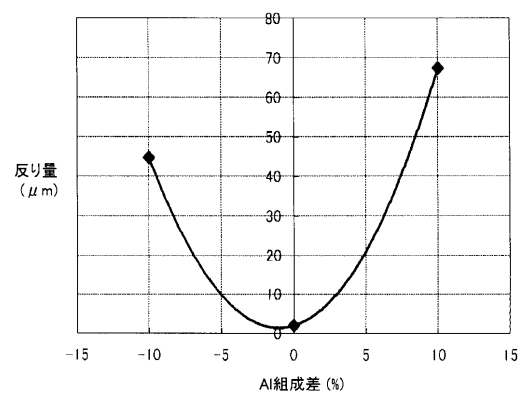
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 伊藤 伸之
大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 松林 雅和
大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 松笠 治彦
大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内

審査官 儀同 孝信

- (56)参考文献 特開2009-158804(JP,A)
特表2005-512327(JP,A)
国際公開第2007/077666(WO,A1)
特開2006-100501(JP,A)
特開2011-023642(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0008647(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/338
H01L 21/205
H01L 29/778
H01L 29/812