

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4700472号
(P4700472)

(45) 発行日 平成23年6月15日(2011.6.15)

(24) 登録日 平成23年3月11日(2011.3.11)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 L 21/20 (2006.01) HO 1 L 21/20
 HO 1 L 21/205 (2006.01) HO 1 L 21/205

請求項の数 8 (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2005-319746 (P2005-319746)	(73) 特許権者	599119503
(22) 出願日	平成17年11月2日(2005.11.2)		ジルトロニック アクチエンゲゼルシャフト
(65) 公開番号	特開2006-135329 (P2006-135329A)		ト
(43) 公開日	平成18年5月25日(2006.5.25)		Siltronic AG
審査請求日	平成17年11月2日(2005.11.2)		ドイツ連邦共和国 ミュンヘン ハンスー
(31) 優先権主張番号	102004053307.5		ザイデループラッツ 4
(32) 優先日	平成16年11月4日(2004.11.4)	(74) 代理人	100061815
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		弁理士 矢野 敏雄
		(74) 代理人	100099483
			弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板およびこの上にヘテロエピタキシャル堆積した珪素とゲルマニウムからなる層を有する多層構造体の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

珪素からなる表面上にヘテロエピタキシャル堆積した、組成 $Si_{1-x}Ge_x$ を有し、珪素の格子定数と異なる格子定数を有する珪素とゲルマニウムからなる層 (SiGe 層) を準備し、SiGe 層上に、900 ~ 1100 の温度で最高で50 nm / 分の堆積速度で、2 ~ 30 nm の厚さを有する、ねじれのずれを結合する組成 $Si_{1-y}Ge_y$ を有する珪素とゲルマニウムからなる薄い中間層を堆積し、前記中間層上に少なくとも1個の他の層を堆積することからなり、前記他の層は一定の組成 $Si_{1-z}Ge_z$ を有する弛緩したヘテロエピタキシャル層であるか又は張設した珪素からなる層であり、かつ前記中間層を堆積するためにSiGe層を水素、ハロゲン化水素化合物、珪素化合物およびゲルマニウム化合物を含有するガス状混合物にさらず、多層構造体の製造方法。

10

【請求項 2】

中間層を気圧または減圧下で堆積する請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

中間層を堆積する際にハロゲン化水素として HCl を使用する請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

中間層を堆積する際に珪素化合物としてジクロロシランを使用する請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

中間層を堆積する際にゲルマニウム化合物として GeH_4 を使用する請求項 1 記載の方

20

法。

【請求項 6】

ガス状混合物が一方でハロゲン化水素および他方で珪素化合物およびゲルマニウム化合物を 100 : 1 ~ 1 : 1 の容積比で含有する請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

SiGe 層を層として準備し、前記層内で SiGe 層の厚さに沿ってゲルマニウム濃度が増加する請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 8】

中間層に組成 $Si_{1-z}Ge_z$ を有する弛緩した前記ヘテロエピタキシャル層を堆積し、組成 $Si_{1-z}Ge_z$ を有する弛緩したヘテロエピタキシャル層に張設した珪素からなる層を堆積する請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の対象は基板および前記基板の上にヘテロエピタキシャル堆積した、基板の格子定数と異なる格子定数を有する、珪素とゲルマニウムからなる層 (SiGe 層) を有する多層構造体である。

【背景技術】

【0002】

前記 SiGe 層に堆積する珪素は二軸方向に張設する。張設された珪素中の電荷担体の移動性が張設されない珪素中の電荷担体の移動性より高いので、切り換え速度を高めるために張設された珪素を使用する電子部品がますます注目される。

20

【0003】

張設された珪素を堆積するために、特にゲルマニウム割合 20 ~ 50 % を有する珪素とゲルマニウムの混合物からなり、できるだけ完全に弛緩 (緩和) されている SiGe 層が適している。SiGe 層の格子定数が珪素の格子定数より大きいので、前記層に堆積する珪素格子が拡大し、張設された珪素の層を形成する。

【0004】

珪素は一般に基板として用いられ、前記基板に弛緩した SiGe 層を堆積する。異なる格子定数のために、成長するヘテロエピタキシャル層がまずそれ自体張設する。臨界的層厚から張設がゆるみ、その際ずれが形成される。間違っただけのずれ (misfit dislocation) は成長する層の成長方向に沿った平面で継続する傾向がある。しかし間違っただけのずれの継続としてねじれのずれ (threading dislocation) が生じる。このずれは SiGe 層の成長方向に延び、その表面にまで達する。堆積した SiGe 層が簡単な熱処理 (アニール) に伴って弛緩する場合に、これは高い程度で行われる。ねじれのずれは一般に SiGe 層に堆積され、前記層に組み込まれる電子部品の機能を妨害する層に継続するので、ねじれのずれをできるだけ回避することが問題である。ねじれのずれの蓄積 (パイルアップ) が特に問題である。SiGe 層の特性に関する他の重要なパラメーターは表面の粗さであり、これをできるだけ少なくすべきである。間違っただけのずれは電界を生じ、SiGe 層が成長する際に成長速度の位置的相違を生じ、最終的に表面トポグラフィー、いわゆるクロスハッチを生じ、これが SiGe 層に堆積する層に同様に転移する。このクロスハッチの程度は例えば AFM (原子間力顕微鏡) で測定した表面の RMS 粗さである。

30

40

【0005】

ねじれのずれの密度を減少するためにすでに多くの方法が開発された。1つの可能性は SiGe 層でのゲルマニウムの濃度を徐々にまたは連続的に増加することである。他の試みは高い濃度の点欠陥を有する層に SiGe 層を堆積する目的を追求する。間違っただけのずれは SiGe 層の表面に配向されるねじれのずれに延長する代わりに、閉じたずれの環を形成し、この環が高い濃度の点欠陥を有する部分を通過する。それにもかかわらず基板の表面に到達するねじれのずれの密度は少なくとも 1×10^7 ねじれのずれ / cm^2 の

50

程度の大きさであり、電子部品の製造の適合性を考慮して明らかになお高すぎる。ねじれのずれの密度を 1×10^5 ねじれのずれ / cm^2 未満に減少する方法は文献に記載されている（特許文献1参照）。これは実質的に SiGe 層の弛緩を生じる熱処理の間に SiGe 層の表面を同時にエッチングする（エッチアニール）ことにある。その際有利な二次的効果として表面の粗さが減少する。

【特許文献1】米国特許2004/0067644A1号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の課題は、構造体の表面が低い粗さおよび少ないねじれのずれおよびその蓄積の密度を有する多層構造体およびその簡単な製造方法を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題は本発明により、基板およびこの基板の上にヘテロエピタキシャル堆積した、組成 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を有し、珪素の格子定数と異なる格子定数を有する、珪素とゲルマニウムからなる層（SiGe層）を有する多層構造体により解決され、前記構造体は SiGe 層上に堆積した、ねじれのずれを結合する、組成 $\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y$ を有する薄い中間層および前記中間層上に堆積した少なくとも1個の他の層を有することを特徴とする。

【0008】

多層構造体の表面はねじれのずれおよびその蓄積の特に低い密度および低い粗さにより特徴付けられる。多層構造体の特別の特徴は珪素とゲルマニウムからなる中間層（境界層）であり、前記中間層はこの下に存在する SiGe 層に対する境界面でねじれのずれを結合する。これにより中間層およびこの上に堆積された少なくとも1個の他の層の表面が明らかに少ないねじれのずれを達成する。

20

【0009】

本発明の対象は更に
基板上にヘテロエピタキシャル堆積した、組成 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を有し、珪素の格子定数と異なる格子定数を有する珪素とゲルマニウムからなる層（SiGe層）を準備し、
SiGe層上にねじれのずれを結合する組成 $\text{Si}_{1-y}\text{Ge}_y$ を有する薄い中間層を堆積し、
前記中間層上に少なくとも1個の他の層を堆積することからなる多層構造体の製造方法である。

30

【0010】

SiGe層は張設（緊張）していても、弛緩（緩和）していてもよい。SiGe層は珪素とゲルマニウムの一定の濃度 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を有することができる。しかしゲルマニウムの濃度が層の厚さに沿って徐々にまたは連続的に増加し（勾配のある層）、層の表面ではじめて濃度 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を達成する層が有利である。指数 x は有利に $0.2 \sim 0.5$ の値を有する。

【0011】

SiGe層は有利に基板として珪素からなる表面に、特に有利に珪素からなる半導体ウェーハまたは珪素層とこの下に存在する酸化層を有する SOI 層構造体（silicon on insulator）に存在する。

40

【0012】

本発明により SiGe 層上に、SiGe 層に対する境界面でねじれのずれを結合する薄い中間層を堆積し、多層構造体の表面上の中間層の密度が SiGe 層の表面上のねじれのずれの密度に比べて明らかに減少する。多層構造体の表面上のねじれのずれの密度（TDD）は最高で $1.5 \text{E} + 4$ ねじれのずれ / cm^2 、有利に $5 \text{E} + 3$ ねじれのずれ / cm^2 未満である。ねじれのずれの蓄積の密度（PuD）は有利に最高で $1 \text{cm} / \text{cm}^2$ である。多層構造体の表面の粗さは有利に最高で 2rms （ $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ 測定窓）である。中間層の厚さは有利に $2 \sim 30 \text{nm}$ である。有利な厚さ範囲の下限を下回るかまたは上限

50

を上まわる場合は、このことが中間層の表面の粗さに、同時に多層構造体の表面に不利に作用する。中間層は一定の組成 $Si_{1-y}Ge_y$ を有し、指数 y は有利に指数 x と同じ値を取ることができる。

【0013】

中間層を堆積するために、 $SiGe$ 層を、水素、ハロゲン化水素化合物、珪素化合物、およびゲルマニウム化合物を含有するガス状混合物にさらす。これは有利にエピタキシャル反応器中で行う。選択された温度条件および圧力条件下で組成 $Si_{1-y}Ge_y$ の材料の純粋な堆積を行うように、ガス状化合物の濃度を調節する。堆積は有利に $900 \sim 1100$ の温度および気圧下または減圧下で行う。堆積速度は 0 nm/分 より大きく、有利に最高で 50 nm/分 である。

10

【0014】

適当な珪素化合物は SiH_4 およびクロロシランであり、その際ジクロロシランが有利である。適当なゲルマニウム化合物はクロロゲルマンおよびそのアルキル誘導体および GeH_4 である。特に有利に GeH_4 、 $GeCl_4$ および CH_3GeCl_3 である。中間層を堆積する際のガス雰囲気中の珪素化合物とゲルマニウム化合物の比は成長する中間層が所望の組成 $Si_{1-y}Ge_y$ を有するように調節する。ガス雰囲気中の有利なハロゲン化水素化合物は HCl である。一方でハロゲン化水素化合物および他方で珪素化合物およびゲルマニウム化合物の比は有利に $100 : 1 \sim 1 : 1$ の範囲内である。表面上のねじれの少ない密度および中間層の表面の少ない粗さのために、他の層として張設された珪素の層を直接中間層の表面に堆積することが特に有利である。それにもかかわらず予め 1

20

【0015】

比較例

珪素からなる基板ウェーハを単独ウェーハエピタキシャル反応器中で減圧下で処理した。以下の処理工程を実施した。

工程 1：反応器を充填する

工程 2：水素 (H_2 ベーク) 下 1120 の温度で基板ウェーハを熱処理する

30

工程 3： $800 \sim 900$ の温度で成長するゲルマニウム部分 (勾配のある層) ($0 \sim 20\%$) を有する $SiGe$ 層を堆積する

工程 4：ゲルマニウム 20% の一定の割合を有する珪素とゲルマニウムからなる緩衝層 (一定の組成の層) を堆積する

工程 5： 700 の温度で張設された珪素からなる厚さ 18 nm の層を堆積する

工程 6：反応器から得られた多層構造体を取り出す。

【0016】

実施例

比較例と同じ形式の他の基板ウェーハを比較例と同じ反応器中で処理したが、以下の点が相違した。

40

工程 1～3：比較例と同じ

工程 4： 1050 の温度で塩化水素、ジクロロシランおよびゲルマンの混合物を導入することによりゲルマニウム 20% の一定の割合を有する珪素とゲルマニウムからなる中間層を堆積する

工程 5～7：比較例の工程 4～6 と同じ。

【0017】

得られた多層構造体の検査

中間層の検査を横断面 TEM (透過型電子顕微鏡、X-TEM) で行った。図 1 は勾配のある層 (ずれの網状組織を有する) と一定の組成の層の間 (境界層) を明らかに示す。中間層の厚さは約 $2 \sim 3 \text{ nm}$ である。図 2 は中間層中の深い $SiGe$ 層からのず

50

れをどのように捕捉するかを示す。ずれは S i G e 層と中間層の間の境界面の内部に延びるが、緩衝層には更に成長しない。

【 0 0 1 8 】

中間層の堆積はねじれのずれの密度 (T D D)、特に前記ずれの蓄積の密度 (P u D) の減少およびクロスハッチ構造体の分解による R M S 粗さの減少を生じた。表面の形態は中間層の堆積の際の処理条件の変動により広い範囲に影響を与えることができる。

【 0 0 1 9 】

【表 1】

	比較例	実施例
TDD /cm ⁻²	4 E+5	1.3 E+4
PuD /cm ⁻¹	18	1.0
RMS 40μm×40μm	6.5 nm	1.6 nm
RMS 1 μm × 1 μm	0.42 nm	0.14 nm

10

【図面の簡単な説明】

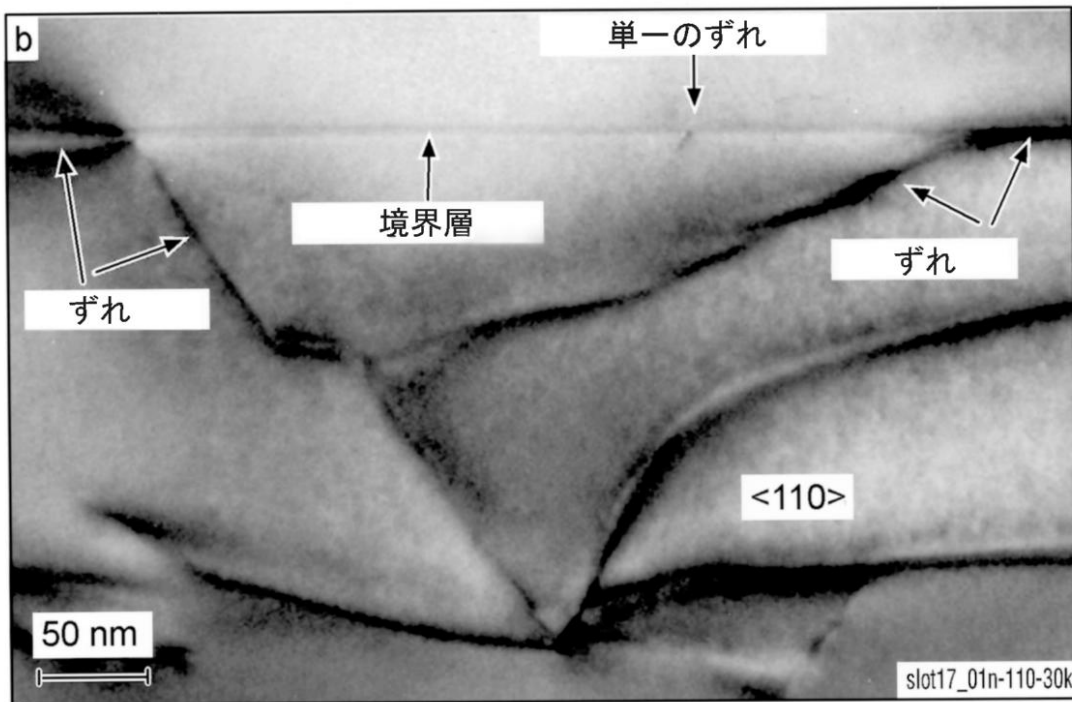
【 0 0 2 0 】

【図 1】勾配のある層 (ずれの網状組織を有する) と一定の組成の層の間の中間層 (境界層) の微細構造を示す図である。

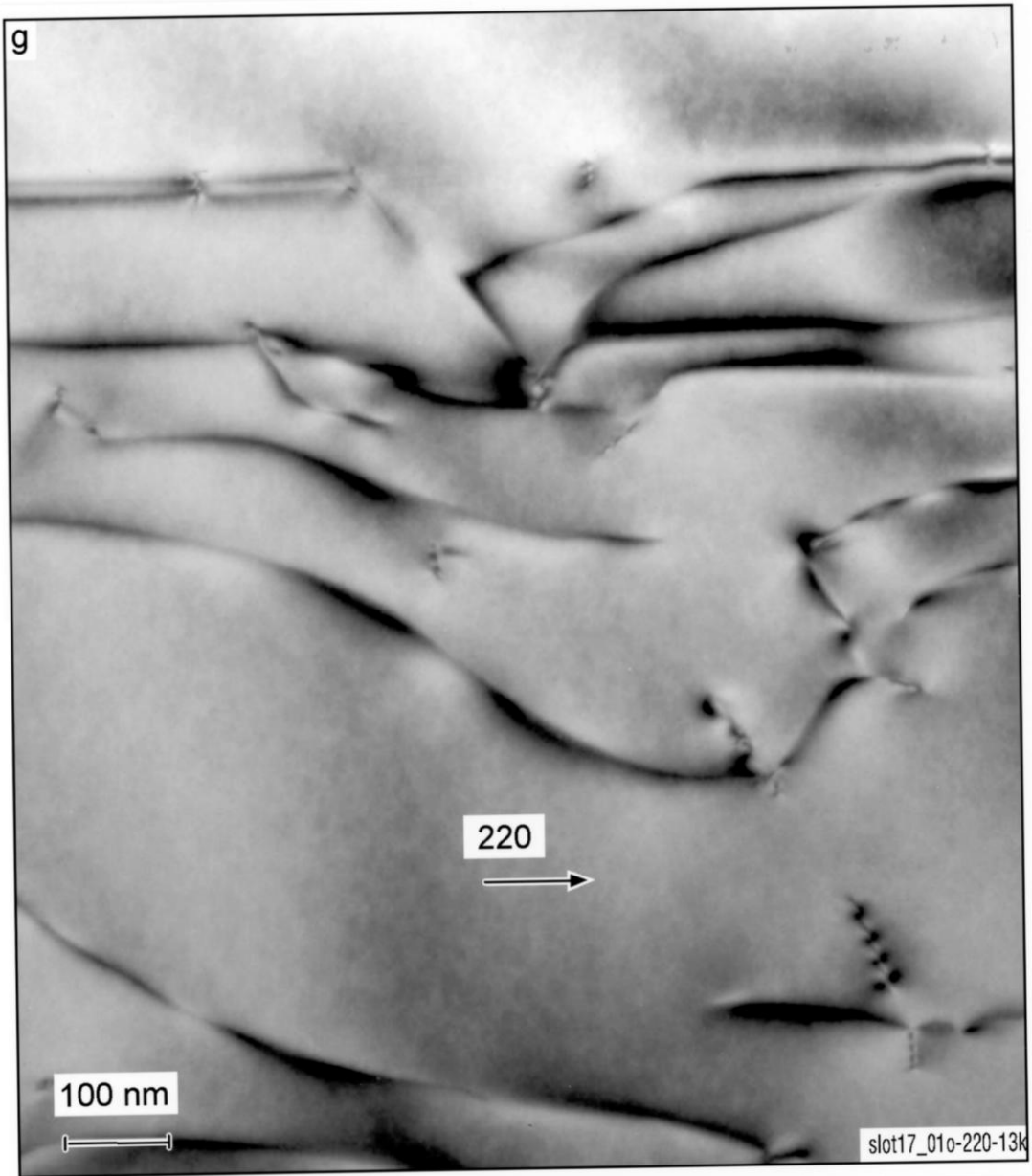
20

【図 2】中間層中の深い S i G e 層からのずれをどのように捕捉するかを示す微細構造の図である。

【図 1】



【 図 2 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
- (74)代理人 230100044
弁護士 ラインハルト・アインゼル
- (72)発明者 ペーター シュトルク
ドイツ連邦共和国 メーリング ウングハウゼン 11アー

審査官 空 哲次

- (56)参考文献 特開2003-197905(JP,A)
特開2001-035794(JP,A)
国際公開第2004/081986(WO,A1)
特開2004-241507(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|--------|
| H01L | 21/20 |
| H01L | 21/205 |