

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5981426号  
(P5981426)

(45) 発行日 平成28年8月31日(2016.8.31)

(24) 登録日 平成28年8月5日(2016.8.5)

(51) Int.Cl.	F I
<b>C 3 O B 29/62 (2006.01)</b>	C 3 O B 29/62 Q
<b>C 3 O B 29/38 (2006.01)</b>	C 3 O B 29/38 D
<b>H O 1 L 33/16 (2010.01)</b>	H O 1 L 33/16
<b>H O 1 L 21/205 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/205

請求項の数 13 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2013-516546 (P2013-516546)	(73) 特許権者	511001585
(86) (22) 出願日	平成23年6月27日 (2011.6.27)		グロ アーバー
(65) 公表番号	特表2013-532621 (P2013-532621A)		G L O A B
(43) 公表日	平成25年8月19日 (2013.8.19)		スウェーデン国 ルンド エスイー 2 2
(86) 国際出願番号	PCT/SE2011/050845		3 6 3, スケーレヴェーゲン 2 2
(87) 国際公開番号	W02011/162715	(74) 代理人	100076428
(87) 国際公開日	平成23年12月29日 (2011.12.29)		弁理士 大塚 康德
審査請求日	平成26年6月24日 (2014.6.24)	(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 配向されたナノワイヤー成長用のバッファ層を有する基板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

バルク層(3)およびバッファ層(4)を有する基板(1)であって、前記バッファ層(4)が、前記バッファ層(4)の表面(5)上に1つの同じ方向に配向された多数のナノワイヤー(2)を成長させるために前記バルク層(3)上に配置され、前記バッファ層(4)が、2 $\mu$ m未満の厚さを有し、前記バッファ層(4)が、A l N、T i N、グラフェン、多結晶のカーボンから選択される多結晶材料層を有し、前記基板(1)が、前記バッファ層(4)の前記表面上に成長させられた1つまたは複数のナノワイヤー(2)を備えることを特徴とする基板(1)。

【請求項 2】

前記バッファ層(4)が、0.2~2 $\mu$ mの厚さを有し、前記1つまたは複数のナノワイヤー(2)が、100nm未満の直径を有することを特徴とする請求項1に記載の基板(1)。

【請求項 3】

前記バッファ層(4)が、複数の副層(4a、4b、4c)を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の基板(1)。

【請求項 4】

前記バッファ層(4)もしくは前記副層(4a、4b、4c)の1つまたは複数が、放射光用のリフレクタとして機能し、または、前記基板が、複数の副層によって形成される複数の積層されたブラッグリフレクタを備え、各ブラッグリフレクタが別々の発光波長を

反射する、ことを特徴とする請求項 3 に記載の基板 ( 1 )。

【請求項 5】

前記バッファ層 ( 4 ) もしくは前記副層 ( 4 a、4 b、4 c ) の 1 つまたは複数が、 $10^{10} / \text{cm}^2$  より高い欠陥または転位密度を有することを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の基板 ( 1 )。

【請求項 6】

前記バルク層 ( 3 ) が、Si ( 1 0 0 ) または Si ( 1 1 1 ) であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の基板 ( 1 )。

【請求項 7】

前記バッファ層 ( 4 ) または少なくとも最も外側の副層 ( 4 c ) が、前記バルク層 ( 3 ) とは異なる配向を有するか、または、前記バッファ層 ( 4 ) もしくは前記副層が、前記バルク層 ( 3 ) の配向を維持することを特徴とする請求項 3 から 6 のいずれか 1 項に記載の基板 ( 1 )。

【請求項 8】

$50 \text{ km}^{-1}$  未満のウェーハ曲率を示すことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の基板 ( 1 )。

【請求項 9】

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の基板および前記バッファ層 ( 4 ) の前記表面 ( 5 ) 上に成長させられた 1 つまたは複数のナノワイヤ ( 2 ) を備えることを特徴とする構造。

【請求項 10】

前記構造が、前記バッファ層 ( 4 )、または 1 つまたは複数の副層 ( 4 a、4 b、4 c ) のうちの少なくとも 1 つによって形成される、共通の横方向コンタクトによって電氣的に接続される複数のナノワイヤ ( 1 ) を含むことを特徴とする請求項 9 に記載の構造。

【請求項 11】

請求項 9 又は 10 に記載の構造を有するナノワイヤー LED 構造であって、  
各ナノ構造 ( 2 ) が、使用に際して光を発生させるための活性領域の形成に寄与し、  
各ナノ構造が、ナノワイヤーコアおよびシェルを含み、前記コアのみが、シェルが設けられるナノワイヤーなどのナノ構造を構成し、  
前記ナノ構造が、複数のファセットを含み、  
前記シェルが、ピラミッドファセットおよび / または垂直側壁ファセットを示し、  
個別のデバイスそれぞれが、頂部または先端部でより狭く底部でより広いピラミッド形状と先端部および底部がほぼ同一の幅である柱状形状との範囲にある形状から選択される形状を有し、

個別のデバイスそれぞれが、前記デバイスの長軸に垂直な円形、六角形または他の多角形の断面を有し、

個別のデバイスそれぞれの前記底部の幅が、 $100 \text{ nm}$  から最大  $5 \mu\text{m}$  の範囲にあり、高さが、数  $100 \text{ nm}$  から  $10 \mu\text{m}$  の範囲にあることを特徴とするナノワイヤー LED 構造。

【請求項 12】

同一方向に配向された多数のナノワイヤーを備える構造を形成するための方法 ( 1 ) であって、前記方法が、

バルク層 ( 3 ) を準備するステップと、

前記バルク層 ( 3 ) 上に  $2 \mu\text{m}$  未満の厚さを有する多結晶のバッファ層 ( 4 ) を堆積するステップと、

前記バッファ層 ( 4 ) 上に 1 つまたは複数のナノワイヤー ( 2 ) を成長させるステップとを含み、

前記多結晶のバッファ層 ( 4 ) は、AlN、TiN、グラフェン、多結晶のカーボンから選択されることを特徴とする方法。

【請求項 13】

前記バッファ層が、非エピタキシャル材料を使用して成長させられ、

前記バッファ層の成長において使用される前記非エピタキシャル材料が、成長温度に耐えることができる材料、デバイスの熱的特性を改善する配向特性を有する材料の中から選択されることを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ナノワイヤーをベースとしたデバイスに関し、詳細にはナノワイヤー成長用の基板に関する。

【背景技術】

【0002】

ナノワイヤーをベースとした発光ダイオード (LED) などのナノワイヤーをベースとしたデバイスにおいては、多数のナノワイヤーをベースとした構造が通常基板上に規則正しい配列で配置されている。基板は、しばしば複数の目的を有し、すなわち、ナノワイヤー成長用のテンプレートであること、デバイスにおけるナノワイヤー用のキャリアであること、および各ナノワイヤーの一方の側を電気的に接続することである。すべての構造が平行で同一方向に配向される、ナノワイヤーをベースとした構造の規則正しい配列を成長させるための様々な技術が知られている。例えば、半導体ナノワイヤーは、例えば WO 2007/102781 に記載されているように、基板上に配置されたパターン付けされた成長マスクを用いて典型的には選択領域成長によって、高品質、単結晶の、基板の半導体層上にエピタキシャル成長させることができる。別の一般的な方法は、US 7,335,908 に記載されているように、触媒粒子、多くの場合 Au、のパターンがナノワイヤーを成長させるための種として使用される、いわゆる VLS (気相 - 液相 - 固相) 技術である。

【0003】

GaN、InN、AlN、およびそれらの様々な組成の化合物である GaInN、GaAlN、GaInAlN などの窒化物半導体は、その広い直接バンドギャップのため青、緑および紫外線 LED、ならびに他のオプトエレクトロニクス用途で使用される。典型的には、これらのデバイスの窒化物半導体は、基板上のプレーナ層に成長させられる。しかし、基板と窒化物半導体との不整合、例えば格子不整合により、有害な欠陥、クラックが、成長させられる材料に導入される。従来技術においては、転位は、エピタキシャル基板またはエピタキシャルバッファ層を有する基板の使用によって抑制されてきた。市販の GaN をベースとしたデバイスは、サファイア、Si または SiC 基板を利用し、これらは GaN との格子不整合が大きく、したがって、数  $\mu\text{m}$  の厚さのバッファ層が、歪み調整層およびデバイスを成長させる高品質のエピタキシャル下地として機能するように基板上にエピタキシャル成長させられる。エピタキシャルバッファ層を使用した例は、以下の文献に見いだすことができる。

【0004】

US 6,523,188 B2 は、GaN と Si との大きな格子不整合を補償するために、GaN 層を成長させる前に、Si (111) 基板上に AlN からなるエピタキシャルバッファ層のエピタキシャル成長を開示する。このエピタキシャルバッファ層は、平坦な GaN 層を得るために好ましくは 0.2  $\mu\text{m}$  未満である。

【0005】

US 6,818,061 B2 は、GaN と Si との大きな格子不整合を補償するために、GaN 層を成長させる前に、Si (111) 基板上に約 40 nm の厚さを有する AlN を含む薄いエピタキシャルバッファ層のエピタキシャル成長を開示する。さらに、この GaN 層は、AlN 層および GaN 層が交互に繰り返す中間層を含む。

【0006】

US 6,617,060 B2 において、GaN 層でのクラック形成を防止するために、Si 基板と GaN 層との間の GaN 合金からなる組成が段階的に変化する遷移層、および

10

20

30

40

50

任意でさらに、その厚さ全体にわたって全体的に一定の組成を有する薄いエピタキシャルの歪み調整層を使用できることが開示されている。この組成が段階的に変化する遷移層がなければ、クラックを容易には防止することができない。

【0007】

US7,365,374 B2は、基板上の歪み吸収層の使用を開示する。この歪み吸収層は、上にある層が下にある基板とエピタキシャルの関係となるように、10nm未満の厚さを有しなければならない。

【0008】

従来技術の方法では、厚い単結晶で高品質のエピタキシャルバッファ層を形成するために、バッファ層が、エピタキシャル成長法によって成長させられていることが上記の例から理解される。エピタキシャルバッファ層上に成長させられるGaNデバイス層と合わせて、3μmを越える厚さを有するエピタキシャル層が形成される。

【0009】

WO2008/085129 A1に記載されているように、ナノワイヤーにより低い欠陥密度を有する窒化物半導体材料の成長が可能になるため、最近、ナノワイヤーをベースとしたデバイスに対して窒化物半導体を使用することがかなりの注目を集めている。しかし、ナノワイヤーを使用したとしても、高品質の窒化物半導体、例えばGaNの成長は、テンプレートとして高品質のエピタキシャル層を使用して行われる。高品質のエピタキシャル層の使用により、ナノワイヤーの成長にとって最適なエピタキシャルテンプレートが保証され、ナノワイヤー内に伸び続ける可能性のある欠陥の密度が最小化され、基板とナノワイヤーとの間の電気抵抗を低くすることが可能となる。しかし、従来技術によるバッファ層は、歪みにより基板の反りがもたらされ、この反りにより基板上の熱プロファイルが極端に変わる。ナノワイヤーの成長に対して、成長中に基板上の熱均一性が高いことは、LEDなどのナノワイヤー構造の作製にはきわめて重要である。基板の反りの問題は、基板のサイズを増加することによって増大し、こうして大きな基板上でGaNデバイスを大規模に処理するための障害となる。バッファ層の成長は、時間のかかる工程であり、多くの場合厚いAlNがバッファ層において使用され、このバッファ層が垂直の導電率を制限する。さらに、多くのオプトエレクトロニクスデバイス、例えばLEDに対して、基板はしばしば除去され、バッファ層のみが最終的なデバイスに残され、このことによって高価な基板材料のみが成長工程に対して使用される。

【0010】

LEDでは、リフレクタが、LEDから外へ光を向けるために発光領域の下に使用されることがある。最も一般的には、Ag製のミラーのような、金属製のリフレクタの使用である。ブラッグリフレクタは、aを形成する異なる屈折率を有するエピタキシャル半導体の繰り返し層を含む。ブラッグリフレクタは、狭い範囲の波長および入射光線角度に対する反射率に制限され、より広い波長領域の光を発するデバイスには適さない。狭い最適な波長窓は、LEDが狭い波長の光を発するのであまり問題ではない。しかし、ブラッグリフレクタの成長には、時間がかかり、効率のよいリフレクタを作るためには、結晶品質が高くなければならないので、格子不整合のある基板上では特に難題である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】WO2007/102781

【特許文献2】US7,335,908

【特許文献3】US6,523,188 B2

【特許文献4】US6,818,061 B2

【特許文献5】US6,617,060 B2

【特許文献6】US7,365,374 B2

【特許文献7】WO2008/085129 A1

【特許文献8】WO2004/004927 A2

10

20

30

40

50

【特許文献9】US 7, 829, 443

【非特許文献】

【0012】

【非特許文献1】E. Armour et al., "LED growth compatibility between 4" and 6" sapphire", "Semiconductor TODAY Compounds & advanced Silicon", 第4巻、第3号、2009年、4月/5月、82~86ページ

【発明の概要】

【0013】

前記を考慮して、本発明の1つの目的は、同じ方向に配向された多数のナノワイヤーを成長させるための基板を提供することであり、この基板によって、高価で時間のかかるエピタキシーを必要とせず、今日使用されているものとは異なる基板材料の使用が可能となる。具体的には、本発明の1つの目的は、エピタキシャル成長技術で一般に得られるものよりも高い欠陥および転位密度で作られた材料の使用を可能とすることである。

【0014】

本発明の目的は、独立請求項において定義されるような基板および方法によって達成される。

【0015】

本発明による基板は、バルク層およびバッファ層を有し、前記バッファ層は、前記バルク層およびバッファ層の表面上で同一方向に配向された多数のナノワイヤーの成長のために前記バッファ層上に配置される。基板上に堆積されるバッファ層の厚さは、好ましくは2  $\mu\text{m}$ 未満である。ナノワイヤーを成長させるための基板の従来技術のバッファ層では、歪みを補償するバッファ層の厚さは、3~10  $\mu\text{m}$ の範囲にあり、バッファ層にできるだけ高い結晶品質を提供するためにエピタキシーを使用して成長させる。

【0016】

この基板は、バッファ層から突出する1つまたは複数のナノワイヤーをベースとした構造を備える構造を形成するために使用することができる。この構造は、ナノワイヤーをベースとした構造が発光のために利用される、ナノワイヤーをベースとした発光ダイオード構造になりうる。

【0017】

本発明による同一方向に配向する多数のナノワイヤーを備える構造を形成するための本発明による方法は、バルク層を準備するステップと、バルク層上に2  $\mu\text{m}$ 未満の厚さを有するバッファ層を堆積するステップと、バッファ層上に1つまたは複数のナノワイヤーを成長させるステップとの基本的なステップを含む。

【0018】

本発明は、限定されないが、サファイア、石英、Siなどの基板上に窒化物、酸素および炭素を含むサブ $\mu\text{m}$ の厚さのバッファ層を含む。バッファ層はリフレクタ部分を含むことができ、このバッファ層は、横方向に導電することができて、ナノワイヤーデバイスと電子的に一体化される。

【0019】

本発明は、ナノワイヤー用の以前のバッファ層と比較して、反りを大きく低減した大面積ウェーハを作製する方法をさらに教示する。ここで曲率によって表現すると、測定されたウェーハの曲率は、50  $\text{km}^{-1}$ 未満、好ましくは40  $\text{km}^{-1}$ 未満であり、一部の実施形態では、曲率は30  $\text{km}^{-1}$ 未満、好ましくは20  $\text{km}^{-1}$ 未満である。

【0020】

ナノワイヤーの固有の一次元的特性は、ナノワイヤーの成長が他の基板材料またはより低い品質の基板上で可能なはずであるとの主張を合理的なものとする。このことは、まだ証明されていない可能性があるが、例えばWO 2004/004927 A2において、ナノワイヤーが、プレーナモードで成長させられた同じ組成の構造に比べて、結晶欠陥を導入することなく、大きく格子不整合した軸方向変化に適合するきわめて高い能力有してい

10

20

30

40

50

ることが示されている。本発明のおかげで、より低い結晶品質を有するバッファ層および多結晶のバッファ層さえも使用することが可能である。

#### 【0021】

バッファ層の特性は、デバイスを改善する特性と成長を可能にする特性とに分けることができる。デバイスの最終用途および最終的な構成に応じて、熱伝導率、CTE、透明度、屈折率、吸収および導電率のようなパラメーターが重要である。成長を可能にする特性とは、使用される成長温度に対する耐熱性、多数のナノワイヤーに包括的な方向性を提供する基板の能力、歪みにより導入される基板の反り、および基板上にNW材料の核を形成する可能性である。窒化物をベースとしたIII-V半導体は、N、OまたはCを含む多くの材料上に核を形成することが可能なことが示されている。しかし、核形成ステップは、それ自体では必ずしも配向されるように制約されたやり方で行うことができるとは限らず、したがって、通常、このステップをできるだけ短くしておくことが都合がよい。

10

#### 【0022】

従来、デバイスの、プレーナおよび選択成長した窒化物をベースとした半導体デバイスに対するバッファ層は、厚く、多くの場合、いくつものステップでエピタキシャル成長させられ、すべてデバイスの性能を向上させるためのいくつものIII-N材料を含んでいた。デバイスの品質は、基板の結晶品質に直接依存していた。したがって、基板材料の選択も、高い結晶品質のSiC、SiおよびAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>材料の使用に限定され、基板の選択がバッファ層の品質、したがってデバイス品質を直接決定していた。

20

#### 【0023】

本発明の基板におけるバッファ層に関する1つの利点は、基板の材料の選択および材料の順序がかなり緩和され、基板をナノワイヤー配列と電氣的に一体化する新しい選択肢が生み出され、基板において非ブラッグリフレクタまたは複数波長ブラッグリフレクタを使用することが可能になることである。

#### 【0024】

部分的にのみ方向性を有する部分的に結晶性のバッファを使用することができることによって、基板からの方向情報を必要とさえしないバッファ層材料、例えばAlN、一部のカーボン膜、TiNなどが使用される基板材料の選択の可能性がさらに増大した。

#### 【0025】

ナノワイヤー作製方法を教示するため参照により本明細書に組み込まれる、例えば、SeifertらによるUS 7,829,443に記載され、本明細書に記載される我々に所有権のあるナノワイヤーの作製方法を使用して、バッファ層に対して、したがって基板に対しても上記の制約を軽減できることが見いだされた。この作製方法は、他のナノワイヤー成長方法を用いて実現できる可能性があるが、これに関して我々は詳細には調べていない。

30

#### 【0026】

本発明を可能にするメカニズムについての完全な理解は、まだ得られていない。しかし、ナノワイヤーの細い幅と共に、成長の初期段階で欠陥をそらす、または方向を変える選択肢を結晶に与える、NW成長の特有の方向性が主な役割を果たすことがわかっている。結晶のエネルギー最小化は、結晶の完全性を高めることで達成される。転位を消滅させる表面近傍と共に、結晶が成長中にすべての方向で緩和する可能性が、重要であることがわかっている。

40

#### 【0027】

本発明に関する別の利点は、ナノワイヤー成長に対して、歪みを補償する厚いバッファ層を使用する必要がないということである。歪みを補償する厚いバッファ層により、この処理は、しばしば基板の反りの問題をかかえ、これにより基板にクラックが入り、または少なくとも、最終デバイスの性能を劣化させる、基板一面に不均一な成長状態が導入される可能性がある。

#### 【0028】

本発明により、Si(111)基板、および特にSi(100)基板だけでなくアモル

50

ファス基板などの比較的安価な基板上に、配向されたナノワイヤーを成長させることができることが、本発明のさらなる利点であって、主たる前提条件は、選択された処理温度に抗することができる基板であることである。

【0029】

本発明の別の利点は、最終的なデバイス内に残留することができるナノワイヤーを成長させるための基板を提供することである。例えば、上記したように、LED構造において、基板は、デバイスにおいて使用することができないため、または熱特性が不十分なため、通常除去される。例えば、Si基板に関しては、基板を残こして、使用することができる。

【0030】

本発明に関するさらなる別の利点は、処理において高価で時間のかかるエピタキシーステップが回避されるということである。

【0031】

本発明のナノワイヤーを成長させるための基板、およびナノワイヤーを成長させる方法のおかげで、窒化物をベースとした半導体デバイス、具体的には、LEDのようなGaNをベースとしたデバイスの開発における次のステップが可能になる。

【0032】

したがって、一態様において、本発明は、ナノワイヤーLED構造を提供し、使用に際して各ナノワイヤーが、光を発生させるための活性領域の形成に寄与する。

【0033】

本発明の実施形態は従属クレームで定義される。本発明の他の目的、利点および新奇な特徴は、添付図面および特許請求の範囲と共に考察するとき、本発明の以下の説明から明らかになるであろう。

【0034】

次に、本発明の好ましい実施形態が、添付面を参照して説明される。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】従来技術による基板を有するナノワイヤー構造の概略図である。

【図2】本発明による基板を有するナノワイヤー構造の概略図である。

【図3】本発明によるバッファ層中に多層構造を有するナノワイヤー構造の概略図である。

【図4】本発明によるSi基板上の低品質バッファ層上に形成されたGaNナノワイヤーのナノワイヤーアレイを示す図である。

【図5】本発明による低品質バッファ層を示す図である。

【図6】コアおよびシェルを含むナノ構造の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

垂直方向、横方向などの言及はすべて、理解を容易にするためにのみ導入され、具体的な向きに限定していると考えられるべきでない。さらに、図面中の構造の寸法は、必ずしも縮尺通りではない。

【0037】

下記における本発明の好ましい実施形態は、主としてナノワイヤー発光ダイオード(LED)およびそうした構造の必要性の点から説明されるが、本発明の基板およびバッファ層、ならびにそれらの上へのナノワイヤー成長は、他のオプトエレクトロニクスデバイスおよび電子デバイスを作製し、それらの必要性を満たすために使用することができることを理解されたい。

【0038】

LEDに対して、窒化物をベースとした半導体材料は、少なくとも光を発生させるデバイスの部分にとって大変重要である。典型的なGaNナノワイヤーのLEDの作製は、1000あたりの高い成長温度を含む。基板/バッファの多層材料は、この熱雰囲気によ

10

20

30

40

50

って選択されなければならない。そうした材料の例は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ （アイソレーター）、 $\text{AlN}$ 、 $\text{GaN}$ 、 $\text{Si}$ （半導体）、および $\text{W}$ （金属）である。1000 よりもはるかに低い融点を有する共晶二成分化合物を形成する可能性のある隣接する層の組合せに関して、余分な予防措置を講じなければならない。したがって、中間層の組合せが、バリヤー層として使用されることがある。当業者はこれらのリスクに熟知しているので、これらのバリヤー層を実施形態において明示的には開示しない。

#### 【0039】

図1は、20～1000  $\mu\text{m}$ の範囲の厚さを有するバルク層3を備えた基板1および3～10  $\mu\text{m}$ の範囲の厚さを有するエピタキシャル歪み調整バッファ層4を含む従来技術のナノワイヤーをベースとした構造を概略的に示す。ナノワイヤー2は、バッファ層4から突出している。ナノワイヤー2は、バッファ層4の結晶配向によって決定される1つの方向に整列している。図2は、20～1000  $\mu\text{m}$ の範囲の厚さを有するバルク層3を備えた基板1および好ましくは2  $\mu\text{m}$ 未満、より好ましくは0.2～2  $\mu\text{m}$ の範囲の厚さを有するエピタキシャル歪み調整バッファ層4を含む本発明による構造を概略的に示す。ナノワイヤー2は、バッファ層4から突出している。ナノワイヤー2は、バッファ層4の配向によって決定される1つの方向に整列している。

#### 【0040】

バッファ層の全体的な結晶構造は、多くの場合ナノワイヤーの結晶構造と同じであり、または少なくとも類似している。しかし、最終的にナノワイヤーを一定方向に成長させるのは、バッファ層構造の原子の構成である。ナノワイヤーの好ましい全体的な配列の変更は、下記において説明されるような処理ステップで実現することができる。そのような場合、ナノワイヤー結晶の配向は、通常、バッファ層結晶の配向に合わせられる。

#### 【0041】

例示によって、図2における構造において、ナノワイヤーをベースとした構造は、ナノワイヤーをベースとしたLED構造を形成する放射状のコア-シェル構造を備える。コア-シェル構造は、 $\text{AlGaN}$ 、 $\text{InGaN}$ および/または $\text{GaN}$ の副層を備える中間の量子井戸層を有するn型 $\text{GaN}$ ナノワイヤーコアおよびp型 $\text{GaN}$ シェルを備えることができる。図2は、成長マスクを使用する選択領域成長を使用して成長させたナノワイヤーを示すが、成長マスクには限定されない。

#### 【0042】

図3は、1つまたは複数の副層4a、4b、4cを有するバッファ層4を備える本発明の一実施形態を概略的に示す。バッファ層4もしくは前記1つまたは複数の副層4a、4b、4cは、別の層において半導体材料、金属/金属合金、および/または絶縁体を備えることができる。デバイスの熱的特性を改善し、成長温度に耐えることができる、配向特性を有する非エピタキシャル材料が好ましく、例として、限定されることなく、 $\text{AlN}$ 、 $\text{TiN}$ 、グラフェン、および他の多結晶または部分的に非晶質のカーボン膜が挙げられる。

#### 【0043】

本発明の一実施形態において、バッファ層または副層のそれぞれは、その厚さ全体にわたって均質な組成を有する。少なくともこの組成は、意図的には変えられない。

#### 【0044】

所望の光学および/または電気的特性を得るために、様々な材料を組み合わせることができる。例えば、1つまたは複数のリフレクタ層が、バッファ層4の副層スタック内に含まれてよい。垂直および横方向における導電率も、例えば、横方向に高い導電率を有するように調整することができ、この構造の各ナノワイヤーを接続する電流拡散層を提供する。

#### 【0045】

ナノワイヤー構造は、バッファ層4または前記1つまたは複数の副層4a、4b、4cのうちの少なくとも1つによって形成された共通の横方向コンタクトによって電氣的に接続される。

10

20

30

40

50



## 【0046】

低い欠陥密度および高い結晶完成度が不要でない場合は、バッファ層4または副層4a、4b、4cを形成するために使用することができる利用可能ないくつかの堆積方法がある。様々な堆積方法を様々な副層に使用することができる。

## 【0047】

原子層堆積(ALD)によって堆積されたバッファ層は、優れた配向特性を有する。

## 【0048】

プラズマ化学気相成長法(PECVD)、低圧化学気相成長法(LPCVD)および大気圧化学気相成長法(APCVD)を使用することができる。例えば、配向されたAlNは、LPCVDおよびAPCVDによって成長させることができ、グラフェンおよび他の多結晶または部分的に非晶質のカーボン膜もLPCVDまたはRF-CVDを利用することによって堆積させることができる。一般に、PECVDは、他の2つと比較して、配向能力が劣る。

## 【0049】

スパッタリングまたは蒸着に基づいた物理的気相成長技術も使用することができるが、スパッタリングは、通常、配向された堆積には適していない。真空蒸着法は、金属または金属合金の配向された堆積用にしばしば好まれる。よい例は、通常、グレインサイが大きくばらついた多結晶ではあるが、基板に垂直に均一に(111)配向させて容易に成長/蒸着することができるアルミニウム層である。しかし、660の低融点のため、アルミニウムの利用は限定される。

## 【0050】

格子不整合層も、エピタキシャル法によって成長させることができる。金属有機物化学気相成長法(MOCVD)、水素化物気相エピタキシー(HVPE)などのエピタキシー法は、通常非常に高い完成度の結晶および結晶界面を作製するために使用される。しかし、格子不整合の基板上に成長させるために使用する場合、層の転位密度は高い。バッファ層4もしくは1つまたは複数の副層4a、4b、4cは、 $10^{-10}/\text{cm}^2$ より高い欠陥または転位密度を有し、それでも商用デバイス用に使用することができる。

## 【0051】

層の品質は、多くの場合、低温で、厚い歪み調整バッファ層を成長させることによってある程度改善することができる。結晶を完全にするという制約がない場合は、厚い歪み調整バッファ層は冗長になる。

## 【0052】

配向されたバッファ層の酸化によって、元の基板の配向を維持することができる。例示的な例は、配向を維持しながら $\text{Al}_2\text{O}_3$ に酸化することができる蒸着されたアルミニウムである。しかし、バッファ層の堆積によって、配向も変わりうる。

## 【0053】

同一方向に配向した多数のナノワイヤー構造を備える構造を形成する方法であって、本方法は、

バルク層3を準備するステップと、

バルク層3上に2 $\mu\text{m}$ 未満の厚さのバッファ層4を堆積するステップと、

バッファ層4上に1つまたは複数のナノワイヤー2を成長させるステップとを含む。

## 【0054】

本発明の方法により、ブラッグリフレクタおよび通常のリフレクタ層の両方の作製が可能となる。堆積によって、すなわちエピタキシーによってではなく作られたブラッグリフレクタは、エピタキシャルのブラッグリフレクタに比べて作製が容易で安価である。したがって、この方法は、複数の副層によって形成される多数の積層ブラッグリフレクタを使用する、多色デバイスの作製に適しており、各ブラッグリフレクタは、基板上部の着色光発光源と共に使用されて別々の発光波長を反射する。しかし、各ブラッグリフレクタにより、バッファ層の厚さにおよそ0.5 $\mu\text{m}$ が追加され、単色デバイスの場合に比べてバッファ層が厚くなる。

## 【 0 0 5 5 】

堆積方法は、上記に例示されている。原則として、本発明による2つのタイプの堆積がある。(i)バルク層の配向の維持、および(ii)バルク層、すなわち、優越配向がなくまたは様々な配向を有する一般的な意味での基板上で、所定の結晶配向を有するナノワイヤーを成長させるための配向されたバッファ層の生成である。

## 【 0 0 5 6 】

第1のタイプ(i)において、半導体ナノワイヤーは、普通、(111)(立方晶形の閃亜鉛鉱)または(0001)(六方晶形のウルツ鉱)方向に成長させられる。ナノワイヤーアレイを配向させて成長させるために、(111)または(0001)基板が通常使用され、その結果ナノワイヤーを基板表面に垂直に配向する。配向に関して結晶基板上に材料を制御して堆積することによって、配向を維持することが容易となり、このことにより多層構造上に配向された成長を行うことが容易となる。

10

## 【 0 0 5 7 】

第2のタイプ(ii)において、LPCVDまたはAPCVDによって作製されたAlN、もしくは真空蒸着されたAlなどの一部の材料および堆積方法に対して、材料層それ自体が、優勢な(111)方向に整列する傾向がある。これは、多くの大面積の堆積方法が利用可能なTiNに対しても当てはまる。そうした材料の使用によって、最終層に方向情報を導入することができるため、下層に対する選択の自由度が増加し、これはナノワイヤーの核形成に指定される。

## 【 0 0 5 8 】

20

ナノワイヤーは、様々な材料上に核を形成することができるが、均質な核形成は、類似する材料基板上にナノワイヤーを成長させることによって非常に容易になる。GaNナノワイヤーなどの窒化物をベースとした構造に対して、成長用の最適な基板表面は、GaN、InN、またはAlN、およびそれらの組合せなどの窒化物をベースとした半導体である。AlNだけでなくTiNも、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>またはSiNの副層を隣接することができる。優先的な終了層AlNまたは一連のGaNおよびAlNを、ALD、CVDおよびMOCVD法を用いて容易に成長させることができる。この場合、AlNまたはTiNを、方向性情報を向上させるために使用することができ、終了表面層にGaを追加することにより核形成の均質性が向上する。

## 【 0 0 5 9 】

30

ナノワイヤーを成長させるために、例えばLPCVDを使用して、グラフィーム、多結晶のカーボン、または部分的にアモルファスのカーボンの層を堆積することによって、基板に垂直な成長方向を得ることができる。この理由は、高温耐性のカーボン膜の結晶学的な特性によるものであり、すなわち、ダイヤモンド状またはグラフェン状の材料のグレインが形成されるためである。特別の核形成ステップおよび核形成温度が、Si、Cなどの材料上にGaNなどのイオン材料の成長を開始するために、しばしば必要とされる。しかし、核形成ステップは、しばしば成長条件に対する方向性の制約を弱め、通常短くしておくべきである。グレイン構造は、ナノワイヤーとフィルムとの間の格子歪みの緩和に役立つ可能性があるが、「あまりにもランダムな」グレイン構造は、膜の方向特性および温度耐性を制限することになる。バッファ層中に、もしくはバッファ層の1つまたは複数の副層中にカーボン膜を使用するさらなる利点は、その優れた熱伝導特性ならびにその固有の透明性である。

40

## 【 0 0 6 0 】

WO2008/085129は、窒化物ナノワイヤー、およびそうした窒化物ナノワイヤーを生産する方法に関する。この出願の方法は、本発明によるバッファ層上の成長に対して実施することができる。具体的には、窒化物をベースとした半導体ナノワイヤーは、選択領域成長技術によって本発明によるバッファ層上で遂行することができるが、窒素ソース流量は、ナノワイヤー形成中に実質的に一定である。成長中にIII/V比率を変えることによって、少なくとも部分的にナノワイヤーを囲むシェル層を得ることができる。本発明のおかげで、WO2008/085129の方法を使用して、Si基板などの比較

50

的安い基板上に、単結晶でなく、またはきわめて低レベルの欠陥を有するバッファ層を有するナノワイヤーを成長させることが可能である。

【0061】

図4は、本発明による、Si基板上の低品質バッファ層上に形成されたGaNナノワイヤーのナノワイヤーアレイを示す。

【0062】

図5は、本発明による低品質バッファ層を示す。

【0063】

本発明の一実施形態において、ナノワイヤー成長用開口として機能する、本発明によるバッファ層上に配置されるマスク層内の穴部を利用する選択領域成長技術が使用される。穴部の径の選択は、単結晶で、転位のないナノワイヤーを得るために重要である。穴部の径が大きすぎる場合は、ナノワイヤーは、太すぎて、転位を防ぐことができない、または単結晶とならない可能性がある。限界の穴部の径は、バッファ層の品質および組成ならびにナノワイヤーの組成、さらにナノワイヤー核形成および成長中の条件に依存するが、一般に、穴部の径は、好ましくは200nm未満、より好ましくは150nm未満である。本発明の実施形態においても、穴部の径は、100nm未満が好ましく、より好ましくは50nm未満である。

【0064】

ナノワイヤー作製方法を教示するため参照により本明細書に組み込まれる、例えば、Seifertらによる米国特許第7,829,443号に記載されているように、本明細書に記載される作製方法は、好ましくはナノワイヤーコアを利用して、コア上に半導体シェル層を成長させ、LEDを形成するコアシェルナノワイヤーをベースとした構造を形成するが、本発明は、それに限定されないことに留意されたい。例えば、代替の実施形態において以下に記載されるように、コアのみがナノ構造（例えば、ナノワイヤー）を構成することができ、シェルは、任意に、典型的なナノワイヤーシェルよりも大きな寸法を有することができる。さらに、デバイスを、多くのファセットを含むように成形することができる。様々なタイプのファセット間の面積比を制御することができる。このことは、「ピラミッド」ファセットおよび垂直側壁ファセットによって、図6に例示される。図6aは、ナノワイヤーコア62およびシェル64を含む柱状のナノ構造60を示し、図6bは、シェルがピラミッド66を形成するようにナノワイヤーコア62上に成長させられる別の変形形態を示す。図6は、単に概略図であって、縮尺通りではなく、さらにシェルが単層として示されているが、いくつかの層を含みうることに留意されたい。発光層が、支配的なピラミッドファセットまたは側壁ファセットを有するテンプレート上に形成されるように、LEDを作製することができる。発光層の形状と無関係にコンタクト層について同じことが言える。

【0065】

連続する（例えばシェル）層を使用することによって、最終的な個別のデバイス（例えばpnまたはpinデバイス）が、デバイスの長軸に垂直な円形、または六角形、または他の多角形の断面を有するピラミッド形状（すなわち、頂部または先端がより狭く、底部がより広い）と柱状形状（例えば、先端と底部がほぼ同じ幅）との間のいずれかの形状を有しうるようになる。したがって、完成したシェルを有する個別のデバイスは、様々なサイズを有することがある。例えば、サイズは、変わることがあり、底部の幅が100nmから数（例えば5） $\mu\text{m}$ 、例えば100nmから1ミクロン未満までの範囲に及び、高さが数100nmから数（例えば10） $\mu\text{m}$ までの範囲に及ぶ。

【0066】

本発明による方法を用いて、ナノワイヤー用の以前のバッファ層と比較して、著しく反りが低減された大面積ウェーハを作ることが可能である。反りは、本明細書では曲率として表現され、測定されたウェーハの曲率は、 $50\text{ km}^{-1}$ より小さく、好ましくは $40\text{ km}^{-1}$ より小さく、いくつかの実施形態では、曲率は、 $30\text{ km}^{-1}$ より小さく、好ましくは $20\text{ km}^{-1}$ より小さい。本明細書で使用される曲率は、「Semiconduct

10

20

30

40

50

or TODAY Compounds & advanced Silicon」、第4巻、第3号、2009年、4月/5月、82～86ページに掲載の、E. Armourらによる文献「LED growth compatibility between 4" and 6" sapphire」において定義されており、本文献はその全体が参照により本明細書に組み込まれる（本文献の図4を参照されたい）。

【0067】

したがって、反り（B）および曲率（K）は、以下のように関連づけられる。

【0068】

$$K = 1 / R$$

$$B = K * D^2 / 8$$

式中、

Rは、ウェーハの曲率半径であり、

Dは、基板の直径である（例えば、2、4または6インチ）。

【0069】

本発明は、現在最も実地的なものであると考えられるもの、および好ましい実施形態に関して記載されているが、本発明は、開示された実施形態に限定されず、それどころか、添付の特許請求の範囲の範囲内の様々な変更形態および等価な構成を包含することが意図されていることを理解されたい。

10

【図1】

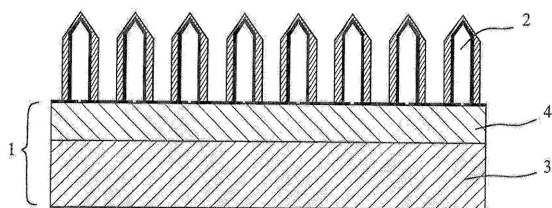


Fig. 1

【図3】

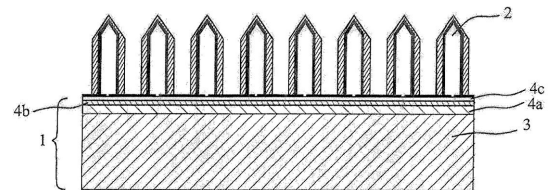


Fig. 3

【図2】

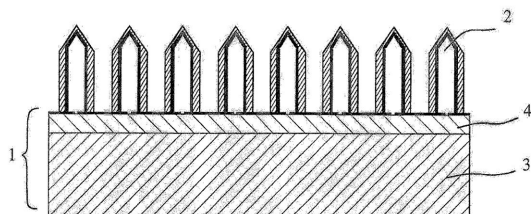


Fig. 2

【図4】

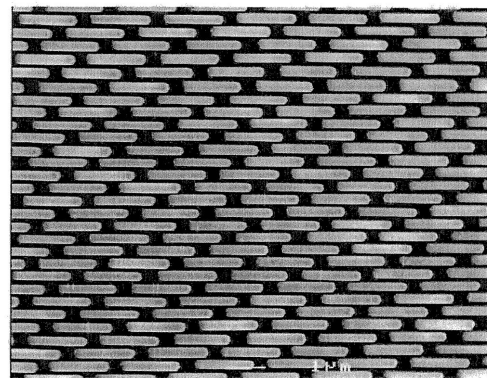


Fig. 4

【図 5】

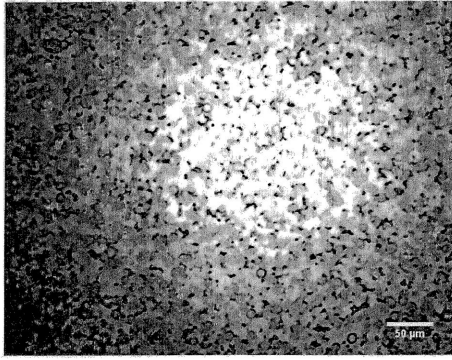


Fig. 5

【図 6】

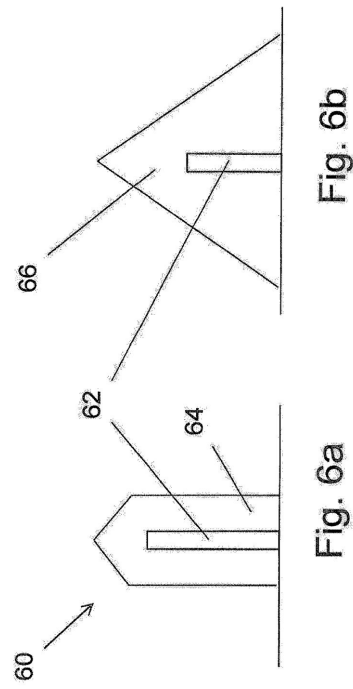


Fig. 6a

Fig. 6b

---

フロントページの続き

(74)代理人 100134175

弁理士 永川 行光

(72)発明者 オールソン, ヨナス

スウェーデン国 マルメ エス - 2 1 2 1 3 , クングスガタン 3 3

審査官 田中 則充

(56)参考文献 特表 2 0 1 0 - 5 1 8 6 1 5 ( J P , A )

特表 2 0 0 9 - 5 4 2 5 6 0 ( J P , A )

特表 2 0 0 9 - 5 2 7 9 1 3 ( J P , A )

特開 2 0 0 4 - 3 1 9 7 1 1 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

C 3 0 B 1 / 0 0 - 3 5 / 0 0

H 0 1 L 2 1 / 2 0 5

H 0 1 L 3 3 / 1 6