

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6219506号  
(P6219506)

(45) 発行日 平成29年10月25日 (2017.10.25)

(24) 登録日 平成29年10月6日 (2017.10.6)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 33/06 (2010.01)	HO 1 L 33/06 Z N M
HO 1 L 33/08 (2010.01)	HO 1 L 33/08
HO 1 L 33/24 (2010.01)	HO 1 L 33/24
HO 1 L 33/42 (2010.01)	HO 1 L 33/42
HO 1 L 33/44 (2010.01)	HO 1 L 33/44

請求項の数 14 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2016-521498 (P2016-521498)	(73) 特許権者	511001585
(86) (22) 出願日	平成26年6月17日 (2014.6.17)		グロ アーバー
(65) 公表番号	特表2016-526789 (P2016-526789A)		G L O A B
(43) 公表日	平成28年9月5日 (2016.9.5)		スウェーデン国 ルンド エスイー 2 2
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/042649		3 6 3, スケーレヴェーゲン 2 2
(87) 国際公開番号	W02014/204906	(74) 代理人	100076428
(87) 国際公開日	平成26年12月24日 (2014.12.24)		弁理士 大塚 康德
審査請求日	平成29年6月12日 (2017.6.12)	(74) 代理人	100115071
(31) 優先権主張番号	61/836, 280		弁理士 大塚 康弘
(32) 優先日	平成25年6月18日 (2013.6.18)	(74) 代理人	100112508
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 高柳 司郎
早期審査対象出願		(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】 ナノワイヤデバイスの活性領域の平坦化および規定のための絶縁層

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のナノワイヤであって各ナノワイヤが第 1 導電型の半導体コアと該コアの上の第 2 導電型の半導体シェルとを含む複数のナノワイヤを基台上に形成する工程と、

絶縁材料の層を、前記絶縁材料の層の少なくとも一部が実質的に平らな上面を与えるように、前記複数のナノワイヤの少なくとも一部の上に形成する工程と、

ナノワイヤの活性領域を規定するように前記絶縁材料の層の一部を除去する工程と、

前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の上に電気接触を形成する工程と、

前記絶縁材料の層の少なくとも一部および前記活性領域の前記複数のナノワイヤの上に導電材料の層を形成する工程と、を有し、

前記電気接触は、前記導電材料の層に電氣的に接続され、

前記導電材料の層は、前記活性領域の前記ナノワイヤと接触し、前記実質的に平らな上面の上で前記絶縁材料の層と接触し、前記電気接触は、前記導電材料の上に形成される

ことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項 2】

前記デバイスはナノワイヤ L E D を含む

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 3】

ナノワイヤの前記活性領域の周辺の境界を与えるように前記絶縁材料の一部を維持する工程をさらに有する

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 4】

前記絶縁材料の層の一部を除去する工程は、ナノワイヤの前記活性領域を規定するように第 1 のマスクを介して前記絶縁材料の層をエッチングする工程を含み、

前記製造方法は、

第 2 のマスクを介してエッチングして、前記基台の一部が露出するようにナノワイヤおよび前記導電材料の層の一部を除去する工程と、

前記デバイスの上に、前記導電材料の層の上および前記絶縁材料の層の前記平らな上面の上の第 1 の開口と、前記基台の前記露出された一部の上の第 2 の開口とを有する第 3 のマスクを形成する工程と、

前記導電材料の層に電氣的に接続された前記電気接触を形成するように前記第 1 の開口に金属材料を堆積する工程と、

前記基台の前記露出された一部の上に第 2 の電気接触を形成するように前記第 2 の開口に金属材料を堆積する工程と、

前記第 3 のマスクを除去する工程と、をさらに有する

ことを特徴とする請求項 1 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 5】

複数のナノワイヤであって各ナノワイヤが第 1 導電型の半導体コアと該コアの上の第 2 導電型の半導体シェルとを含む複数のナノワイヤを基台上に形成する工程と、

絶縁材料の層を、前記絶縁材料の層の少なくとも一部が実質的に平らな上面を与えるように、前記複数のナノワイヤの少なくとも一部の上に形成する工程と、

ナノワイヤの活性領域を規定するように前記絶縁材料の層の一部を除去する工程と、

前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の上に電気接触を形成する工程と、

前記絶縁材料の層の少なくとも一部および前記活性領域の前記複数のナノワイヤの上に導電材料の層を形成する工程と、

ここで、前記電気接触は、前記導電材料の層に電氣的に接続され、

前記基台の一部が露出するようにナノワイヤおよび前記導電材料の層の一部を除去する工程と、

前記基台の前記露出された一部の上に第 2 の電気接触を形成する工程と、を有する

ことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項 6】

複数のナノワイヤであって各ナノワイヤが第 1 導電型の半導体コアと該コアの上の第 2 導電型の半導体シェルとを含む複数のナノワイヤを基台上に形成する工程と、

絶縁材料の層を、前記絶縁材料の層の少なくとも一部が実質的に平らな上面を与えるように、前記複数のナノワイヤの少なくとも一部の上に形成する工程と、

ナノワイヤの活性領域を規定するように前記絶縁材料の層の一部を除去する工程と、

前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の上に電気接触を形成する工程と、

前記絶縁材料の層の少なくとも一部および前記活性領域の前記複数のナノワイヤの上に導電材料の層を形成する工程と、を有し、

前記電気接触は、前記導電材料の層に電氣的に接続され、

前記デバイスはナノワイヤ LED を含み、

前記導電材料の層は、透明な導電性酸化物 (TCO) を含む

ことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【請求項 7】

前記 TCO は、インジウムスズ酸化物 (ITO) を含む

ことを特徴とする請求項 6 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 8】

複数のナノワイヤであって各ナノワイヤが第 1 導電型の半導体コアと該コアの上の第 2 導電型の半導体シェルとを含む複数のナノワイヤを基台上に形成する工程と、

絶縁材料の層を、前記絶縁材料の層の少なくとも一部が実質的に平らな上面を与えるよ

10

20

30

40

50

うに、前記複数のナノワイヤの少なくとも一部の上に形成する工程と、  
ナノワイヤの活性領域を規定するように前記絶縁材料の層の一部を除去する工程と、  
前記絶縁材料の層の少なくとも一部および前記活性領域の前記複数のナノワイヤの上に  
導電材料の層を形成する工程と、  
前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の上に電気接触を形成する工程と、を有し  
、  
前記電気接触は、前記導電材料の層に電氣的に接続され、  
前記導電材料の層は、前記活性領域における前記ナノワイヤの前記第 2 導電型の半導体  
シェルと接触する p 型の電極を備える  
ことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

10

【請求項 9】

前記活性領域を規定するように前記絶縁材料の層の一部を除去する工程の後に、該活性  
領域の上に誘電性の層を形成する工程を更に有する  
ことを特徴とする請求項 8 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 10】

前記基台上に位置する n 型のバッファ層と接触する導電性の n 型のコンタクトを形成す  
る工程を更に有する  
ことを特徴とする請求項 8 記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 11】

前記導電材料の層は、前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の少なくとも一部の  
上に位置し、  
前記電気接触は、前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の或る領域において前記  
導電材料の層の上に位置する  
ことを特徴とする請求項 8 記載の半導体デバイスの製造方法。

20

【請求項 12】

基台上の複数のナノワイヤであって、各ナノワイヤが第 1 導電型の半導体コアと該コア  
の上の第 2 導電型の半導体シェルとを含む複数のナノワイヤと、  
実質的に平らな上面を有し、ナノワイヤの活性領域を規定するように前記複数のナノワ  
イヤの周囲の境界を形成する絶縁材料の層と、  
前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の少なくとも一部の上に位置し且つ前記活  
性領域において前記複数のナノワイヤの前記第 2 導電型の半導体シェルと接触する p 型の  
電極を含む導電材料の層と、  
前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の或る領域において前記導電材料の層の上  
に位置する電気接触と、を備える  
ことを特徴とする半導体デバイス。

30

【請求項 13】

前記活性領域の上に位置する誘電性の層を更に備える  
ことを特徴とする請求項 12 記載の半導体デバイス。

【請求項 14】

前記基台上に位置する n 型のバッファ層と接触する導電性の n 型のコンタクトを更に備  
える  
ことを特徴とする請求項 12 記載の半導体デバイス。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ナノワイヤデバイスの活性領域の平坦化および規定のための絶縁層に関する  
。

【背景技術】

【0002】

背景

50

ナノワイヤ発光ダイオード（ＬＥＤ）は、プレーナ型ＬＥＤに代わる手段として、ますます多くの関心を集めている。ナノワイヤＬＥＤは、従来型のプレーナ技術で製造されたＬＥＤと比べると、ナノワイヤの３次元性に起因する独特の特性であって、より大きい基板上での処理のための格子整合の制限および機会を低減する材料の組み合わせの柔軟性を向上させる特性を示す。

【発明の概要】

【０００３】

概要

実施形態は、半導体デバイスの製造方法を含み、該製造方法は、複数のナノワイヤであって各ナノワイヤが第１導電型の半導体コアと該コアの上の第２導電型の半導体シェルとを含む複数のナノワイヤを基台上に形成する工程と、絶縁材料の層を、前記絶縁材料の層の少なくとも一部が実質的に平らな上面を与えるように、前記複数のナノワイヤの少なくとも一部の上に形成する工程と、ナノワイヤの活性領域を規定するように前記絶縁材料の層の一部を除去する工程と、前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の上に電気接触を形成する工程と、を有する。

10

【０００４】

実施形態は、更に、半導体デバイスを含み、該デバイスは、基台上の複数のナノワイヤであって、各ナノワイヤが第１導電型の半導体コアと該コアの上の第２導電型の半導体シェルとを含む複数のナノワイヤと、実質的に平らな上面を有し、前記複数のナノワイヤの周囲の境界をナノワイヤの活性領域を規定するように形成する絶縁材料の層と、前記絶縁材料の層の前記実質的に平らな上面の上の電気接触と、を備える。

20

【図面の簡単な説明】

【０００５】

以下に組み込まれ且つ本明細書の一部を構成する添付図面は、上述の概要および以下の詳細と共に本発明の実施形態の例を示し、本発明の特徴を説明する。

【図１】図１は、本発明の実施形態にしたがうナノワイヤＬＥＤデバイスの基礎（basis）を側面から描いた概略図である。

【図２】図２は、本発明の実施形態にしたがうバッファ層上のナノワイヤＬＥＤデバイスの基礎を側面から描いた概略図である。

【図３】図３Ａ～３Ｊ（Figs. 3A-3J）は、或る態様に従う活性領域の平坦化および規定のための絶縁層を有するナノワイヤＬＥＤアレイを製造するための第１プロセスを側面から描いた概略図である。

30

【図４】図４Ａ～４Ｄ（Figs. 4A-4D）は、図３Ａ～３Ｊの製造プロセスを概略的に描いたナノワイヤＬＥＤデバイスの上面図である。

【図５】図５Ａ～５Ｃ（Figs. 5A-5C）は、パターンニングされた絶縁層であって或る態様に従う活性領域の平坦化および規定のための絶縁層を伴うナノワイヤアレイのＳＥＭ写真である。

【図６】図６Ａ～６Ｊ（Figs. 6A-6J）は、更なる他の態様に従う活性領域の平坦化および規定のための絶縁層を有するナノワイヤＬＥＤアレイを製造するための第２プロセスを側面から描いた概略図である。

40

【図７】図７Ａ～７Ｅ（Figs. 7A-7E）は、図６Ａ～６Ｊの製造プロセスを概略的に描いたナノワイヤＬＥＤデバイスの上面図である。

【図８】図８Ａ～８Ｃ（Figs. 8A-8C）は、パターンニングされた絶縁層であって更なる他の態様に従う活性領域の平坦化および規定のための絶縁層を伴うナノワイヤアレイのＳＥＭ写真である。

【発明を実施するための形態】

【０００６】

多様な実施形態は、添付図面を参照しながら詳細に説明されうる。図面を通して、可能な限り、同一または類似の部位を参照するのに同一の参照番号が用いられる。特定例および実施についての言及は、説明を目的とするためのものであり、本発明または請求項の趣

50

旨を限定することを意図するものではない。

【0007】

本発明の実施形態は、一般に、ナノワイヤLEDデバイス等のナノワイヤ半導体デバイスの製造方法であって、アレイを平らにする（平坦化する）ようにナノワイヤアレイの上に絶縁層を形成する工程と、ナノワイヤデバイスの活性領域を規定（define）するように該絶縁層の一部を除去する工程とを有する製造方法に方向付けられる。更なる実施形態は、実施形態の方法に従って製造されたナノワイヤデバイスに方向付けられる。多様な実施形態は、より少ないプロセスステップで平坦化されたボンドパッド領域と、従来のドライエッチングを用いて規定が達成されうる活性領域よりも大きい活性領域とを伴うナノワイヤデバイスを提供しうる。

10

【0008】

ナノテクノロジー分野において、ナノワイヤは、その縦方向の大きさに制限されずに、通常、ナノスケールまたはナノメートルサイズの横方向の大きさ（例えば、円筒形のナノワイヤにおける径、又は、ピラミッド型若しくは六角形のナノワイヤにおける幅）を有するナノ構造として解釈される。このようなナノ構造は、共通に、ナノウイスカ、1次元ナノ素子、ナノロッド、ナノチューブ等と称される。ナノワイヤは、約2ミクロンの径または幅を有しうる。ナノワイヤの小さいサイズは、物理、光学および電子のユニークな特性をもたらす。これらの特性は、例えば、量子力学的効果を利用するデバイス（例えば量子細線を使用する等）を形成するのに、又は、組成的に異なる材料であって大きな格子ミスマッチによって一般に結合され得ない材料のヘテロ構造を形成するのに用いられうる。ナノワイヤという用語が示唆するように、1次元性が細長い形状に関連付けられうる。ナノワイヤは、多様な断面形状を有しうるため、径には、実効的な径が参照されるとよい。実効的な径により、断面構造の長径および短径の平均が示される。

20

【0009】

上方、上、下方、下等の参照の全ては、底部に位置する基板および該基板から上方向に向かって延在するナノワイヤを参照するのに用いられる。垂直方向は、基板により形成された平面に対して垂直な方向を示し、水平方向は、基板により形成された平面に平行な方向を示す。この命名は、理解を容易にするために為され、特定の組み立ての方向性等に限定されるべきではない。

【0010】

よく知られている如何なる適切なナノワイヤLED構造も本発明の方法において用いられうる。ナノワイヤLEDは、典型的には、1以上のpn接合またはpin接合に基づく。pn接合とpin接合との違いは、後者の方が広い活性領域を有することである。該広い活性領域は、i領域（i-region）での再結合の可能性を高くする。各ナノワイヤは、第1導電型（例えばn型）のナノワイヤコアと、それを覆う第2導電型（例えばp型）のシェルであって動作時に光を発生するための活性領域を提供するpn接合またはpin接合を形成するシェルとを有する。第1導電型のコアは、ここではn型半導体コアとして描かれ、第2導電型のシェルは、ここではp型半導体シェルとして描かれているが、これらの導電型は逆でもよい。

30

【0011】

図1は、本発明のいくつかの実施形態に従って改良されたナノワイヤLED構造のための基礎の概略図である。原則として、ナノワイヤLEDを形成するのに単一のナノワイヤは十分であるが、その小サイズ故、ナノワイヤは、LED構造が並んで形成されるように、数百、数千、数万又はそれ以上に配列されることが望ましい。図を見やすくするため、ここでは、個々のナノワイヤLEDデバイスは、n型ナノワイヤコア2と、ナノワイヤコア2および中間活性層4を少なくとも部分的に覆うp型シェル3とを有する複数のナノワイヤ1から成るように描かれ得、ここで、中間活性層4は、単一の真性または低ドーブ（例えば、 $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下のドーピングレベル）の半導体層、または、異なるバッドギャップの複数の半導体層を有する3~10の量子ウェル等の1以上の量子ウェルを含みうる。しかしながら、本発明の実施形態の目的において、ナノワイヤLEDはこれに限ら

40

50

れない。例えば、ナノワイヤコア2、活性層4およびp型シェル3は、複数の層またはセグメントから成りうる。他の実施形態では、コア2だけが2ミクロン以下の幅または径を有するナノ構造またはナノワイヤを有し得、一方、シェル3は1ミクロン以上の幅または径を有しうる。

#### 【0012】

III~V族の半導体は、レーザーやLEDのような高速かつ低電力の電子機器および光電気デバイスをもたらすそれらの特性により、特に興味深い。ナノワイヤは、いかなる半導体材料をも含み、ナノワイヤに好適な材料は、GaAs(p)、InAs、Ge、ZnO、InN、GaInN、GaN、AlGaInN、BN、InP、InAsP、GaInP、InGaP:Si、InGaP:Zn、GaInAs、AlInP、GaAlInP、GaAlInAsP、GaInSb、InSb、Siを含むが、これらに限られない。例えばGaPについて可能なドナードーパントは、Si、Sn、Te、Se、S等であり、また、同材料についてのアクセプタドーパントは、Zn、Fe、Mg、Be、Cd等である。ナノワイヤ技術は、GaN、InN、AlNのような窒化物を用いることを可能にし、このことが、従来技術では容易に実現できなかった波長領域のLED発光光の製造をもたらしたことに留意されたい。特定の商業的関心の他の組み合わせは、GaAs、GaInP、GaAlInP、GaP系を含むが、これらに限られない。典型的なドーピングレベルの範囲は、 $10^{18} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。当業者は、これら及び他の材料を知っており、他の材料および材料の組み合わせが可能であることが分かる。

#### 【0013】

ナノワイヤLEDに好適な材料は、III族の窒化物半導体(例えば、GaN、AlInGaN、AlGaInN、InGaN等)、他の半導体(例えば、InP、GaAs等)のようなIII~V族の半導体である。LEDとして機能させるため、各ナノワイヤ1のn側およびp側は接触しており、本発明は、LED構造におけるナノワイヤのn側およびp側の接触に関連する方法および組成を提供する。

#### 【0014】

ナノワイヤの製造方法を示すものとして援用される米国特許第7,829,443号(Seifert et al.)に例示されているように、以下に好適に例示される製造方法は、ナノワイヤコアを、コア-シェルナノワイヤを形成するように該コアの上に半導体シェル層を成長させるために活用するが、本発明はこれに限られるものではないことに留意されたい。例えば、他の実施形態では、コアだけがナノ構造(例えばナノワイヤ)を構成し、シェルは、付随的に、典型的なナノワイヤシェルよりも大きい径を有しうる。さらに、デバイスは、多数のファセットを含む形状をとり得、異なるタイプのファセット間の領域比率は制御されうる。このことは、“ピラミッド”ファセットおよび垂直な側壁のファセットにより例示される。LEDは、発光層が、主要なピラミッドファセットまたは側壁ファセットを伴うテンプレートの上に形成されるように、製造されうる。発光層の形状と独立した接触層についても同様である。

#### 【0015】

図2は、ナノワイヤの基台を提供する構造の例を示している。成長基板5上にナノワイヤを成長させ、ナノワイヤの位置を規定しナノワイヤの底部の境界領域を決定するために付随的に成長マスクまたは誘電性マスク層6(例えば、窒化シリコンの誘電性マスク層等の窒化層)を使用することにより、基板5は、少なくともプロセスの間においては、基板5から突き出たナノワイヤのためのキャリアとして機能する。ナノワイヤの底部の境界領域は、誘電性マスク層6における各開口の内側にコア2の領域を有する。ここで援用されるスウェーデン特許出願第SE1050700-2号(グロアーベに譲渡)において論じられているように、基板5は、III~V族またはII~VI族の半導体、Si、Ge、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiC、クォーツ、ガラス等、異なる材料を備えうる。基板についての他の好適な材料は、GaAs、GaP、GaP:Zn、GaAs、InAs、InP、GaN、GaSb、ZnO、InSb、SOI(silicon-on-insulator)、CdS、ZnSe、CdTeを含むが、これらに限られない。ある実施形態では、ナノワイヤコア2は、成長基板

5の上に直接的に成長される。

【0016】

好適には、基板5は、各ナノワイヤLED1のn側に接続する電流輸送層(current transport layer)として機能するようにも適応される。このことは、図2に示されるように、ナノワイヤLED1と向かい合う基板5の表面上に配された半導体バッファ層7であって、Si基板5上のGaN及び/又はAlGaNバッファ層7等、III族の窒化層を例とするバッファ層7を備える基板5を有することによって、達成されうる。バッファ層7は、一般に、所望のナノワイヤ材料にマッチし、よって、製造プロセスにおいて成長テンプレートとして機能する。n型コア2について、好適にはバッファ層7もn型にドーブされる。バッファ層7は、単層(例えばGaN)、複数のサブ層(例えば、GaN及びAlGaN)、又は、高Al含有のAlGaNから低Al含有のAlGaN若しくはGaNまで段階付けられた段階層(graded layer)を含みうる。ここで援用される米国特許第7,396,696号、第7,335,908号、第7,829,443号、並びに、WO201014032、WO2008048704、及び、WO2007102781に記載された方法を利用することにより、ナノワイヤの成長は達成されうる。

10

【0017】

ナノワイヤLED1は、いくつかの異なる材料(例えば、GaNコア、GaN/InGaNマルチ量子ウェル活性領域、及び、AlとGaとの比率が該活性領域とは異なるAlGaNシェル)を備えることに留意されたい。ここで一般に、基板5及び/又はバッファ層7は、ナノワイヤのための基台または支持層として参照される。ある実施形態では、基板5及び/又はバッファ層7の代わりに又はそれに加えて、導電層(例えば、ミラー又は透明なコンタクト)が基台として用いられうる。よって、「支持層」または「基台」という用語は、これらの要素の1以上のいずれをも含みうる。

20

【0018】

シーケンシャルな(例えばシェル)層の使用は、最終的な単一のデバイス(例えばpnまたはpinデバイス)が、ピラミッドまたはテーパ形状(即ち、頂部または先端では細く、底部では広い)と柱形状(例えば、先端およびベース(base)での幅が略等しい)との間のいずれの形状であって、その長軸と垂直な方向で円形または六角形もしくは多角形の断面を伴う形状を有しうることをもたらす。よって、完成されたシェルを伴う該単一のデバイスは、多様なサイズを有しうる。例えば、該サイズは、例えば2ミクロン以下の100nm等、100nmから数(例えば5)μmの範囲内のベース幅、及び、数百nmから数(例えば10)μmの範囲内の高さで変わりうる。

30

【0019】

上述のLED構造の実施形態の例の記載は、本発明の方法および構成の記載のための基礎(basis)を提供するだろう;しかしながら、いかなる好適なナノワイヤLED構造または他の好適なナノワイヤ構造もが、当業者にとって自明であろう必要な修正と共に本発明を逸脱しない範囲で、該方法および構成において用いられうるのが好まれる。

【0020】

GaNベースのナノワイヤLED等のナノワイヤLEDは、プレーナ型LEDに比べて効率および波長安定性を向上させるのに有望である。しかしながら、ナノワイヤの3次元性は、製造面での課題、とりわけ、LEDデバイス(例えばチップ)が外部の電流/電圧源に接続されるワイヤボンディング工程での課題をもたらす。ワイヤボンディング工程は、ワイヤからデバイスへの機械的圧力および振動の適用(application)に影響を与える。ワイヤボンディング工程のこの圧力および振動は、ナノワイヤの微弱な核形成ベース(weak small nucleation base)に対するワイヤの頂部における圧力点からの力(leverage)に起因して、ナノワイヤを破壊しうる。したがって、ワイヤがデバイスにボンディングされうる領域において、ナノワイヤを破壊しうるレバー(lever arm)の発達を回避するため該領域を平坦化することが望ましい。

40

【0021】

ナノワイヤLEDの製造プロセスは、典型的には、デバイスの活性領域を規定すること

50

にも影響を与える。このことは、通常、ほぼ完成されたデバイスのドライエッチングにより達成され、このことは、 $n$ 型または $p$ 型の側の導電層の連続性の破壊をもたらし、デバイスを絶縁させる。或いは、ナノワイヤは、導電性の膜の堆積（例えば、頂部の電極またはコンタクトの堆積）に先立って、活性領域を規定するようにエッチングされうる。しかしながら、仮にナノワイヤが導電性の膜の堆積に先立ってエッチングされると、典型的にはいくつかのナノワイヤは部分的にエッチングされ、露出された $pn$ 接合の短絡を回避するため、導電性の膜の堆積に先立ってパッシベート（不動態化）する膜の堆積が必要である。このパッシベーション膜は、独立してマスクされ、エッチングされなければならない。このことは、それから、遷移領域（transition region）が導電性の膜の堆積から効果的に分離されるように、活性領域のいくらかを消費（consume）する。

10

#### 【0022】

多様な実施形態は、ナノワイヤLEDデバイス等のナノワイヤ半導体デバイスの製造方法を含み、該製造方法は、低温酸化物（LTO）層等の絶縁層をナノワイヤアレイの上に該アレイを平坦化するように形成する工程と、例えばパターニングされたマスクを介してウェットエッチングすることにより、絶縁層の一部を除去してナノワイヤデバイスの活性領域を規定する工程と、を有する。更なる実施形態は、実施形態の方法に従って製造されたナノワイヤデバイスに方向付けられる。多様な実施形態は、より少ないプロセスステップで平坦化されたボンドパッド領域と、従来のドライエッチングを用いて活性領域を規定するよりも大きい活性領域とを伴うナノワイヤデバイスを提供しうる。

#### 【0023】

20

図3A～3J及び4A～4Dには、ナノワイヤデバイスを製造するための第1の実施形態の方法が概略的に描かれている。図3Aは、複数のナノワイヤ301を含むナノワイヤLEDデバイス300であって図1及び図2に示されたナノワイヤに似うるナノワイヤLEDデバイス300を概略的に描いている。ナノワイヤ301は、第1導電型（例えば $n$ 型）のバッファ層307と誘電性のマスク層306（例えばSiN層）とを含む支持基板の上に位置しうる。ナノワイヤ301は、それぞれ、上述のとおり図1及び図2に関連して、第1導電型（例えば $n$ 型）のナノワイヤコアと、第2導電型（例えば $p$ 型）のシェルと、中間にある発光用の活性領域とを含みうる。ナノワイヤコアは、バッファ層307と電氣的に接触し得、ナノワイヤシェルは、誘電性のマスク層306によりバッファ層から絶縁されうる。

30

#### 【0024】

いくつかの実施形態では、2012年10月26日に出願され且つここで援用される米国仮出願第61/719,133号に記載されているように、ナノワイヤ301の形成の間または後の状態は、ナノワイヤの先端部の伝導率が、該状態を制御しない場合の該先端部の伝導率に比べて少なくとも1桁ほど下がるように制御されうる。このことは、ナノワイヤの外側のシェルを通る電流漏れを抑制し、特にナノワイヤの先端部であって、該外側のシェルがナノワイヤの側壁に沿って比較すると薄いであろう先端部での電流漏れを抑制する。先端の伝導率は、該先端に $Al_2O_3$ 等の絶縁材料を堆積することにより下げられうる。或いは、又は、付随的に、先端の伝導率は、 $H_2^+$ 及び/又は $Ar^+$ イオン等の材料であって該先端を非導電にし又は伝導率を下げる材料を該先端に向ける（direct）ことにより下げられうる。ナノワイヤ構造の先端部に材料を選択的に向けるための角度がついた堆積技術は、2012年10月26日に出願され且つここで援用される米国仮出願第61/718,884号に開示されている。

40

#### 【0025】

図3Bでは、誘電性（例えば絶縁性）の層309は、複数のナノワイヤ301の上に形成される。誘電性の層309は、 $SiO_2$ 層であり得、また、低温酸化物（LTO）堆積により形成されうる。LTO堆積は、低温（例えば、400～500又は約450を含む300～600等、750以下）、及び、10 Torr又はそれ以下（例えば、約450 mTorrを含む100～500 mTorr等、 $10^{-6}$  Torrから1 Torr）のサブ大気圧での、 $SiH_4$ 及び $O_2$ のフローを伴う化学気相成長（CVD）により

50



達成されうる。O<sub>2</sub> フローは、平方センチメートル毎秒 (sccm) において SiH<sub>4</sub> フローを上回りうる。典型的なフローレートは、例えば、85 sccm の SiH<sub>4</sub> 及び 120 sccm の O<sub>2</sub> でありうる。SiN、SiON、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等の他の絶縁材料もまた用いられてもよい。

#### 【0026】

誘電性の層 309 は、ナノワイヤアレイの上に、平均 0.5 ~ 5 µm (例えば、1.5 µm 等、1 ~ 2 µm) の厚さで堆積されうる。誘電性の層 309 は、(例えば、非プレーナ、三次元形状のナノワイヤアレイと比べて) デバイス 300 の概して平らな上面を与えるようにナノワイヤ 301 を覆いうる。第 1 のマスク層 312 は、フォトレジストの層であり得、誘電性の層 309 の概して平らな上面の上に形成される。第 1 のマスク層 312 は、標準的なリソグラフィ技術を用いてパターンニングされ得、該第 1 のマスク層 312 における開口を規定する。

10

#### 【0027】

第 1 のマスク層 312 は、デバイス 300 の露出された活性領域 313、及び、(マスク 312 のパターンによって覆われた) デバイスの少なくとも 1 つのボンド領域 315 を規定するようにパターンニングされる。デバイス 300 は、それから、第 1 のマスク層 312 のパターンを誘電性の層 309 に転写 (transfer) するようにエッチングされうる。実施形態において、誘電性の層 309 は、SiO<sub>2</sub> であり得、希釈されたフッ化水素酸 (HF) のウェットエッチングを用いてエッチングされ得、誘電性の層 309 の選択部分を除去する。ウェットエッチング液のための典型的な濃度は、例えば、1 パートの HF に対して 3 パートの H<sub>2</sub>O (1 part HF to 3 parts H<sub>2</sub>O) でありうる。HF エッチングは、影響を受けないナノワイヤ 301 を残存させながら誘電性の層 309 の選択部分を除去しうる。

20

#### 【0028】

エッチングの後、マスク層 312 は、図 3C に示されたデバイス 300 を与えるように除去されうる。図 4A は、エッチングおよび第 1 のマスク層 312 の除去の後のデバイス 300 を描いた、デバイス 300 の上面図である。デバイス 300 は一定の縮尺で示される必要はないが、図 4A のライン A - A' は、図 3C のライン A - A' に対応する。誘電性の層 309 が除去されたデバイス 300 の領域は、デバイス 300 の活性領域 313 を規定する。誘電性の層 309 は、図 4A に示されるように、活性領域 313 の境界を規定するように活性領域 313 の周辺の周りに延在しうる。誘電性の層 309 の概して平らな部分は、デバイス 300 のボンド領域 315 を規定しうる。図 4A に示されるように、例えば、ボンド領域 315 はデバイスの右上隅に位置する。

30

#### 【0029】

図 3D に示されるように、付随的な誘電性の膜 317 は、デバイスの活性領域 313 の上に形成されうる。誘電性の膜 317 は、スピノン法、化学気相成長または物理気相成長により堆積されうる。好適な方法は、スピノングラスまたは SOG とも称されるガラス (SiO<sub>2</sub>) のスピノン堆積であり、続いて、ナノワイヤ 301 側壁から SOG を除去するため等方性エッチング (例えば HF エッチング) が為される。或る好適な実施形態では、ナノワイヤは、約 2.5 µm の高さであり、また、誘電性の層 317 は、約 1000 から約 6000 の厚さであり、最も好適には底部の平らな表面から計測して約 3000 程度の厚さである。誘電性の層 317 は、同日付けで出願され (代理人整理番号 9308 - 019P) 且つここで援用される米国仮出願第 \_\_\_ 号に記載のとおり、漏れ電流を抑制するようにナノワイヤのベースにおいて “フット” 領域を電氣的に分離する。層 371 の一部は、エッチング後、層 309 の上において残存しうる (図 3D において不図示)。必要に応じて、層 317 は除外されうる。

40

#### 【0030】

図 3E に示されるように、インジウムスズ酸化物 (ITO) 等の透明な導電性酸化物 (TCO) の層 319 は、デバイス 300 の上に堆積される。TCO の層 319 は、p 型の電極の層を形成するように、ナノワイヤ 301 の p 型シェルと接触しうる。アルミニウム

50

添加酸化亜鉛等の他のTCO材料も用いられうる。TCOの層319は、蒸着法やスパッタリング等の物理的な方法、CVD、又は、組み合わせた方法により、堆積されうる。いくつかの実施形態において、層319は、好ましくはp型ナノワイヤシェルを損傷させないスパッタリング法により堆積されうる。ITOの層319は、約100 から約10000 であり得、最も好適には約8000 でありうる。いくつかの実施形態において、TCOの層319は、2013年3月15日に出願され(代理人整理番号9308-021P)且つここで援用される米国仮出願第61/787,299号に開示のとおり、蒸着法であってその後にスパッタリング法が続く蒸着法を含む2ステップ法を用いて堆積されうる。

#### 【0031】

第2のマスク層320は、フォトレジストの層であり得、図3Eに示されるように、TCOの層319の上に形成され得、また、第2のマスク層320において開口321を規定するように、標準的なリソグラフィ技術を用いてパターンニングされうる。第2のマスク層320は、デバイス300のn側コンタクト領域321を規定するようにパターンニングされる(即ち、n側コンタクト領域321は、マスク層320により露出され、該デバイスの残りはマスク層320により覆われる。)。デバイス300は、それから、デバイス300に第2のマスク層320のパターンを転写するようにエッチングされうる。デバイス300のバッファ層307で又はその中でエッチングは中止し得、そしてn側コンタクト領域321におけるn型バッファ層の材料を露出する。エッチングは、ドライエッチングまたはウェットエッチングでありうる。ある実施形態において、塩素ガスプラズマを利用しうる誘導結合プラズマ(ICP)エッチング等のドライエッチングが用いられる。塩素は、 $\text{SiO}_2$ 、ITO及びGaNをエッチングしうる。エッチングに続いて、図3Fに示されるように、第2のマスク層320は除去され、デバイス300を与える。図4Bは、エッチングおよびパターンニングされた第2のマスク層320の除去の後におけるデバイス300の上面図である。デバイス300は一定の縮尺で示される必要はないが、図4BのラインB-B'は、図3FのラインB-B'に対応する。図4Bに示されるように、例えば、n側コンタクト領域321は、デバイス300の左下隅に位置し得、p型ボンド領域315の対角線上で反対側である。

#### 【0032】

第3のマスク層322は、フォトレジストの層であり得、図3Gに示されるように、デバイス300の上に形成され、また、n側コンタクト領域321の上の第1の開口323と、p側コンタクト領域315の上の第2の開口325とを与えるように、標準的なリソグラフィ技術を用いてパターンニングされうる。第3のマスク層322における開口325及び323は、それぞれ、n側およびp側の金属コンタクト(金属接触)の位置を規定する。n側の金属コンタクトのための開口323は、露出されたTCOの層319および部分的にエッチングされたナノワイヤ301からn側の金属コンタクトを分離するため、n側コンタクト領域321よりも小さくてもよい。金属コンタクトのスタック(stack)は、Al、Ti及びAuを含み得、それから、第3のマスク層322の上並びに開口323及び325に蒸着法により堆積されうる。金属のスタックは、1~10 $\mu\text{m}$ (例えば、約3.3 $\mu\text{m}$ 等、2~4 $\mu\text{m}$ )の厚さで、堆積されうる。金属コンタクトのスタックは、アルミニウムが最初で金が最後になる順番で堆積され得、金は、好適なオーミックコンタクトを形成するための熱処理を金が必要としない表面の上の膜である。堆積された金属を伴う第3のフォトレジストマスク322は、図3Hに示されるように、それから、n側及びp側の金属コンタクト327及び329をデバイス300上に残すように、除去されうる(デバイスのリフトオフ)。p側のコンタクト329は、層309の上で315においてTCOの層319と接触する。図4Cは、n側及びp側の金属コンタクト327及び329の堆積、並びに、パターンニングされた第3のマスク層322の除去(例えばリフトオフ)の後におけるデバイス300の上面図である。デバイス300は一定の縮尺で示される必要はないが、図4CのラインC-C'は、図3HのラインC-C'に対応する。

#### 【0033】

図 3 I に示されるように、第 4 のマスク層 330 は、それから、デバイス 300 の上に形成されうる。第 4 のマスク層 330 は、SU-8 エポキシ等の感光性の材料であり得、デバイス 300 を保護するのに用いられうる。第 4 のマスク層 330 は、平均 5 ~ 25  $\mu$ m (例えば、約 15  $\mu$ m 等、10 ~ 20  $\mu$ m) の厚さを有しうる。第 4 のマスク層 330 は、図 3 J に示されるように、それぞれ n 側金属および p 側金属コンタクト (即ち電極) 327 及び 329 にアクセスするための開口 331 及び 333 を与えるように、標準的なリソグラフィ技術を用いて処理され得、成長させられうる。図 4 D は、第 4 のマスク層 330 並びに開口 331 及び 333 を描くデバイス 300 の上面図である。デバイス 300 は一定の縮尺で示される必要はないが、図 4 D のライン D-D' は、図 3 J のライン D-D' に対応する。

10

#### 【0034】

上述の処理の正味の結果は、デバイス 300 であって、より少ないプロセスステップで平坦化されたボンドパッド領域と、実質的に完成されたデバイスをドライエッチングすることにより活性領域を規定する方法等の従来の製造技術によって達成されたものよりも大きい活性領域とを伴うデバイス 300 である。ボンディングワイヤは、それから、対応する n 側金属および p 側金属コンタクト 327 及び 329 に開口 331 及び 333 を介して付着され (attached) うる。

#### 【0035】

図 5 A ~ C は、アレイ 501 上に形成され且つパターニングされた誘電性の層 509 を有するナノワイヤアレイ 501 の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真であり、該層 509 は、アレイ 501 上に形成された低温酸化物 (LTO) でありうる。誘電性の層 509 は、図 5 A に示されるように、アレイ 501 の部分を個別の活性領域 513 に分離しうる。活性領域 513 は、図 5 B に示されるように、実質的に誘電性の材料がなくてもよい。誘電性の層 509 は、さらに、ナノワイヤデバイスのためのコンタクトパッド (接触パッド) を形成するのに用いられうるボンド領域 515 であって、図 5 C に示されるようにアレイ 501 から分離され、平坦化されたボンド領域 515 を提供しうる。

20

#### 【0036】

ナノワイヤデバイスを製造するための第 2 の実施形態の方法は、図 6 A ~ 6 J 及び 7 A ~ 7 E に概略的に描かれている。図 6 A は、図 3 A に関連して上に記載されたように、複数のナノワイヤ 601 と、バッファ層 607 と、誘電性のマスク層 606 (例えば SiN 層) とを備えるナノワイヤ LED デバイス 600 の概略図である。ナノワイヤ 601 は、図 1 及び 2 に関連して上に記載されたように、それぞれ、第 1 導電型 (例えば n 型) のナノワイヤコアと、第 2 導電型 (例えば p 型) のシェルと、中間にある発光用活性領域とを備えうる。上述のとおり、ナノワイヤコアは、バッファ層 607 に電氣的に接触し得、ナノワイヤシェルは、誘電性のマスク層 606 によりバッファ層から絶縁されうる。

30

#### 【0037】

図 6 B において、第 1 のマスク層 612 は、フォトリジストの層であり得、ナノワイヤ 301 の上に形成される。第 1 のマスク層 612 は、標準的なリソグラフィ技術を用いてパターニングされ得、デバイス 600 の活性領域 613 におけるナノワイヤ 601 を覆い、露出された領域 621 及び 615 を規定する。デバイス 600 は、第 1 のマスク層 612 のパターンをデバイス 600 に転写するようにエッチングされうる。エッチングは、塩素ガスプラズマを利用しうるドライエッチング (例えば、誘導結合プラズマ (ICP) エッチング) でありうる。露出されたナノワイヤ 601 は、図 6 C に示されるように、領域 615 及び 621 におけるデバイスを “平たく (flatten)” するように除去され、このことは、同日付けで出願され (代理人整理番号 9308-025P) 且つここで援用される米国仮出願第\_\_号に記載のとおりである。これら “平たく” された領域は、後述するように、後に電気接触を形成するのに用いられうる。エッチングに続いて、図 6 C に示されるように、第 1 のマスク層 612 は除去され、デバイス 600 を与える。図 7 A は、エッチングおよびパターニングされた第 1 のマスク層 612 の除去の後におけるデバイス 600 の上面図である。デバイス 600 は一定の縮尺で示される必要はないが、図 7 A のライ

40

50

ン E - E ' は、図 6 C のライン E - E ' に対応する。

【 0 0 3 8 】

図 6 D において、誘電性の層 6 0 9 は、デバイスの上であって、活性領域 6 1 3 におけるナノワイヤ 6 0 1 の上およびナノワイヤが除去されて “ 平たく ” された領域 6 1 5 及び 6 2 1 の上を含むデバイスの上に形成される。誘電性の層 6 0 9 は、 $\text{SiO}_2$  層であり得、低温酸化物 ( L T O ) 堆積によって形成されうる。L T O 堆積は、低温 ( 例えば、4 0 0 ~ 5 0 0 又は約 4 5 0 を含む 3 0 0 ~ 6 0 0 等、7 5 0 以下 )、及び、1 0 T o r r 又はそれ以下 ( 例えば、約 4 5 0 m T o r r を含む 1 0 0 ~ 5 0 0 m T o r r 等、 $10^{-6}$  T o r r から 1 T o r r ) のサブ大気圧での、 $\text{SiH}_4$  及び  $\text{O}_2$  のフローを伴う化学気相成長 ( C V D ) により達成されうる。 $\text{O}_2$  フローは、平方センチメートル毎秒 ( s c c m ) において  $\text{SiH}_4$  フローを上回りうる。典型的なフローレートは、例えば、8 5 s c c m の  $\text{SiH}_4$  及び 1 2 0 s c c m の  $\text{O}_2$  でありうる。

10

【 0 0 3 9 】

誘電性の層 6 0 9 は、デバイス 6 0 0 の上に、平均 0 . 0 1 ~ 1 0  $\mu\text{m}$  ( 例えば、0 . 4  $\mu\text{m}$  等、0 . 1 ~ 1  $\mu\text{m}$  ) の厚さで堆積されうる。第 2 のマスク層 6 1 4 は、フォトレジストの層であり得、誘電性の層 6 0 9 の上に形成される。第 2 のマスク層 6 1 4 は、デバイス 3 0 0 の活性領域 6 1 3 に対応する第 2 のマスク層 6 1 4 における開口を規定するように、標準的なリソグラフィ技術を用いてパターンニングされうる。デバイス 3 0 0 は、それから、第 2 のマスク層 6 1 4 のパターンを誘電性の層 6 0 9 に転写するようにエッチングされうる。実施形態において、誘電性の層 6 0 9 は、 $\text{SiO}_2$  であり得、希釈されたフッ化水素酸 ( H F ) のウェットエッチングを用いてエッチングされ得、デバイスの活性領域 6 1 3 から誘電性の層 6 0 9 を除去する。ウェットエッチング液のための典型的な濃度は、例えば、1 パートの H F に対して 3 パートの  $\text{H}_2\text{O}$  ( 1 part H F to 3 parts  $\text{H}_2\text{O}$  ) でありうる。H F エッチングは、影響を受けない活性領域 6 1 3 におけるナノワイヤ 6 0 1 を残存させながら誘電性の層 6 0 9 の選択部分を除去しうる。

20

【 0 0 4 0 】

エッチングの後、図 6 E に示されるように、第 2 のマスク層 6 1 4 は除去され得、デバイス 6 0 0 を与える。図 7 B は、エッチングおよびパターンニングされた第 2 のマスク層 6 1 4 の除去の後におけるデバイス 6 0 0 の上面図である。デバイス 6 0 0 は一定の縮尺で示される必要はないが、図 7 B のライン F - F ' は、図 6 E のライン F - F ' に対応する。誘電性の層 6 0 9 は、デバイス 6 0 0 の活性領域 6 1 3 から除去される。誘電性の層 6 0 9 は、図 7 B に示されるように、活性領域 6 1 3 の境界を規定するように活性領域 6 1 3 の周辺の周りに延在しうる。誘電性の層 6 0 9 は、デバイス 6 0 0 の “ 平たく ” された部分 6 1 5 及び 6 2 1 の上に概して平らな上面を与え得、“ 平たく ” された部分 6 1 5 及び 6 2 1 の該上面をデバイスの残りから電氣的に分離しうる。( 図 7 B におけるサークル 6 2 2 は、後述するが、n 側コンタクト 6 2 9 の将来的な位置を示す。 )

30

【 0 0 4 1 】

酸洗浄は、デバイス 6 0 0 に対して為され得、図 6 F に示されるように、例えばインジウムスズ酸化物 ( I T O ) の層のような透明な導電性酸化物 ( T C O ) 等の透明な導電性の層 6 1 9 は、デバイス 6 0 0 の上であって、活性領域 6 1 3 におけるナノワイヤ 6 0 1 の上および “ 平たく ” された領域 6 1 5 及び 6 2 1 における誘電性の層 6 0 9 の上を含むデバイスの上に堆積されうる。T C O の層 6 1 9 は、p 型の電極ないしコンタクト層を形成するようにナノワイヤ 3 0 1 の p 型シェルに接触しうる。アルミニウム添加酸化亜鉛 ( A Z O ) 等の他の T C O 材料も用いられうる。T C O の層 6 1 9 は、蒸着法やスパッタリング等の物理的な方法、C V D、又は、組み合わせた方法により、堆積されうる。いくつかの実施形態において、層 6 1 9 は、好ましくは p 型ナノワイヤシェルを損傷させないスパッタリング法により堆積されうる。I T O の層 6 1 9 は、約 1 0 0 から約 1 0 0 0 であり得、最も好適には約 8 0 0 0 でありうる。いくつかの実施形態において、T C O の層 6 1 9 は、2 0 1 3 年 3 月 1 5 日に出願され ( 代理人整理番号 9 3 0 8 - 0 2 1 P ) 且つここで援用される米国仮出願第 6 1 / 7 8 7 , 2 9 9 号に開示のとおり、蒸着法

40

50

であってその後にスパッタリング法が続く蒸着法を含む２ステップ法を用いて堆積される。

#### 【 0 0 4 2 】

第３のマスク層 6 1 6 は、フォトレジストの層であり得、図 6 F に示されるように、T C O の層 6 1 9 の上に形成され得、また、第３のマスク層 6 1 6 において開口 6 2 3 を規定するように、標準的なリソグラフィ技術を用いてパターンニングされうる。第３のマスク層 6 1 6 における開口 6 2 3 は、デバイス 6 0 0 の“平たく”された部分 6 2 1 に n 側コンタクト領域 6 2 3 を規定する。デバイス 6 0 0 は、それから、第３のマスク層 6 1 6 のパターンをデバイス 6 0 0 に転写するようにエッチングされうる。デバイス 6 0 0 のバッファ層 6 0 7 で又はその中でエッチングは中止し得、そして n 側コンタクト領域 6 2 3 における n 型バッファ層の材料を露出する（例えば、“メサ”構造を形成する。）。エッチングは、ドライエッチングまたはウェットエッチングでありうる。ある実施形態において、塩素ガスプラズマを利用しうる誘導結合プラズマ（ICP）エッチング等のドライエッチングが用いられる。塩素は、 $\text{SiO}_2$ 、ITO 及び GaN をエッチングしうる。エッチングに続いて、図 6 G に示されるように、第３のマスク層 6 1 6 は除去され、デバイス 6 0 0 を与える。図 7 C は、エッチングおよびパターンニングされた第３のマスク層 6 1 6 の除去の後におけるデバイス 6 0 0 の上面図である。デバイス 6 0 0 は一定の縮尺で示される必要はないが、図 7 C のライン G - G' は、図 6 G のライン G - G' に対応する。図 7 C に示されるように、例えば、n 側コンタクト領域 6 2 3 は、デバイス 6 0 0 の左下隅における“平たく”された領域に位置しうる。

#### 【 0 0 4 3 】

第４のマスク層 6 1 8 は、フォトレジストの層であり得、図 6 H に示されるように、デバイス 6 0 0 の上に形成され、また、n 側コンタクト領域 6 2 1 の上の第１の開口 6 2 5 と、“平たく”された領域 6 1 5 の上の第２の開口 6 2 7 とを与えるように、標準的なリソグラフィ技術を用いてパターンニングされうる。第４のマスク層 6 1 8 における開口 6 2 5 及び 6 2 7 は、それぞれ、n 側および p 側の金属コンタクトの位置を規定する。n 側の金属コンタクトのための開口 6 2 5 は、露出された T C O の層 6 1 9 および部分的にエッチングされたナノワイヤ 6 0 1 から n 側の金属コンタクトを分離するため、n 側コンタクト領域 6 2 3 よりも小さくてもよい。金属コンタクトのスタックは、Al、Ti 及び Au を含み得、それから、第４のマスク層 6 1 8 の上並びに開口 6 2 5 及び 6 2 7 に蒸着法により堆積されうる。金属のスタックは、1 ~ 10  $\mu\text{m}$ （例えば、約 3 . 3  $\mu\text{m}$  等、2 ~ 4  $\mu\text{m}$ ）の厚さで、堆積されうる。金属コンタクトのスタックは、アルミニウムが最初で金が最後になる順番で堆積され得、金は、好適なオーミックコンタクトを形成するための熱処理を金が必要としない表面の上の膜である。堆積された金属を伴う第４のマスク層 6 1 8 は、図 6 I に示されるように、それから、n 側及び p 側の金属コンタクト 6 2 9 及び 6 3 1 をデバイス 6 0 0 上に残すように、除去されうる（デバイスのリフトオフ）。図 7 C は、金属堆積およびパターンニングされた第４のマスク層 6 1 8 の除去（例えばリフトオフ）の後におけるデバイス 6 0 0 の上面図である。デバイス 6 0 0 は一定の縮尺で示される必要はないが、図 7 D のライン H - H' は、図 6 I のライン H - H' に対応する。

#### 【 0 0 4 4 】

図 6 J に示されるように、第５のマスク層 6 2 0 は、それから、デバイス 6 0 0 の上に形成されうる。第５のマスク層 6 2 0 は、SU - 8 エポキシベースのフォトレジスト等の感光性のエポキシ材料であり得、デバイス 6 0 0 を保護するのに用いられうる。第５のマスク層 6 2 0 は、平均 5 ~ 25  $\mu\text{m}$ （例えば、約 15  $\mu\text{m}$  等、10 ~ 20  $\mu\text{m}$ ）の厚さを有しうる。第５のマスク層 6 2 0 は、図 6 J に示されるように、n 側金属および p 側金属電極 6 2 9 及び 6 3 1 の周りの領域から第５のマスク層 6 2 0 を除去するように、標準的なリソグラフィ技術を用いて処理され得、成長させられうる。第５のマスク層 6 2 0 は、デバイス 6 0 0 の活性領域の上に残存しうる。図 7 E は、第５のマスク層 6 2 0 並びに n 側金属および p 側金属電極 6 2 9 及び 6 3 1 を描くデバイス 3 0 0 の上面図である。デバイス 3 0 0 は一定の縮尺で示される必要はないが、図 7 E のライン I - I' は、図 6 J の

ライン I - I' に対応する。ワイヤ 633 及び 635 は、図 6 J に示されるように、n 側金属および p 側金属電極 629 及び 631 にボンディングされうる。

【0045】

図 8 A ~ C は、Ga N ベースのナノワイヤアレイ 801 の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真であり、アレイ 801 は、図 6 A ~ 7 E に関連して上に記載された実施形態に従ってアレイ 801 上に形成され且つパターンニングされた誘電性の層 809 を有し、該層 809 は、例えば SiO<sub>2</sub> 等の低温酸化物 (LTO) でありうる。図 8 A は、誘電性の層 809 (例えば LTO) の堆積後におけるアレイ 801 の断面 SEM 写真である。図 8 B は、或る角度から見たときの p 側コンタクト領域の SEM 写真であって、フォトレジスト剥離を伴う金属コンタクトパッド 831 の堆積後における p 側コンタクト領域の SEM 写真である。図 8 C は、金属コンタクトパッドの外側の p 側コンタクト領域の断面 SEM 写真である。図 8 C に示されるように、p 側コンタクト領域は、ナノワイヤ 801 と相対的に“平たく”され、誘電性の層 809 (SiO<sub>2</sub> 等の LTO) は、下地の n - Ga N 層 807 を上の p 側電極層 819 (ITO) から絶縁し、また、p 側電極層は、ナノワイヤ 801 の p - Ga N シェルを伴う金属コンタクト 831 と接触する。

【0046】

本発明はナノワイヤ LED の観点で記載されたが、電界効果トランジスタ、ダイオード、及び、特に、光検出器、太陽電池、レーザー等、光吸収または光発生に関連するデバイス等の半導体デバイスに基づく他のナノワイヤが、いかなるナノワイヤ構造においても実施されうることを理解されたい。

【0047】

更に、いくつかの実施形態の例は、光がナノワイヤのベースから先端へ方向に抽出される頂部発光ナノワイヤ LED として記載され及び描かれたにも関わらず、実施形態は、底部発光ナノワイヤ LED をも含みうる解釈されうる。一般に、底部発光ナノワイヤの構成は、発光がデバイスのバッファ層を通過して後方に向かうように、発光するナノ要素の個々の頂部又はその近く即ち隣において、ミラー等の反射構造を必要とする。底部発光の電極は、2011 年 6 月 17 日出願の米国特許出願公報第 2011/0309382 号、及び、2011 年 6 月 17 日出願の PCT 出願第 PCT/US11/40932 にさらに記載され、これらのいずれもここで援用される。

【0048】

本明細書で引用された全ての文献及び特許は、あたかも個々の文献または特許が具体的に且つ単独に援用されたかのようにここで援用され、関連して文献が引用された方法及び/又は材料を開示し記載するようにここで援用される。いずれの文献の引用も、出願日に先立つその開示を目的とするものであり、先行発明によって本発明がこのような文献に先行する権利がないとの容認と解釈されるべきではない。更に、記載された公開日は、個別に確認される必要がありうる実際の公開日と異なりうる。

【0049】

前述の方法の記載は、単に説明に役立つ実例として与えられ、多様な実施形態の工程が、記載された順番で行われなければならないことを要求し又は示唆するものではない。当業者によって分かるように、前述の方法の工程の順序はいかなる順番によっても為されうる。「その後 (thereafter)」、「それから (then)」、「次に (next)」等の用語は、必ずしも、工程の順序を制限することを意図するものではない；これらの用語は、方法の記載を通して読み手を導くために用いられうる。更に、請求項の構成要素への単数の如何なる言及も、例えば「1 つの / 単一の (a, an)」又は「前記 / 該 (the)」の使用も、該構成要素が単数であると解釈されるべきものではない。

【0050】

開示された側面の先行する記載は、いかなる当業者もが本発明を生産し又は使用することを可能にするために与えられたものである。これらの側面の多様な変更は、当業者には容易に自明であり得、ここで規定された包括的な原理は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、他の側面に適用されうる。よって、本発明は、ここで示された側面に限られるもので

10

20

30

40

50

はないが、ここで開示された原理および新しい特徴と一致する広範な趣旨に従うべきである。

【図 1】

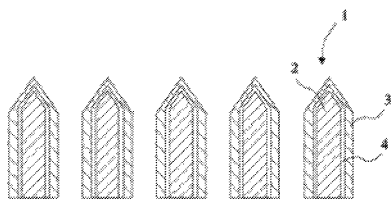


Fig. 1

【図 2】

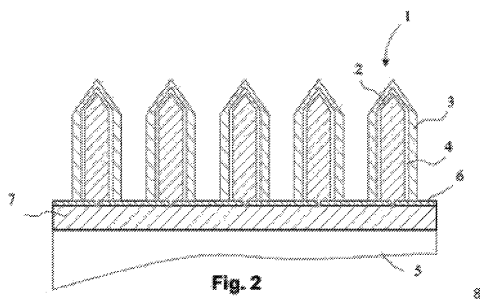
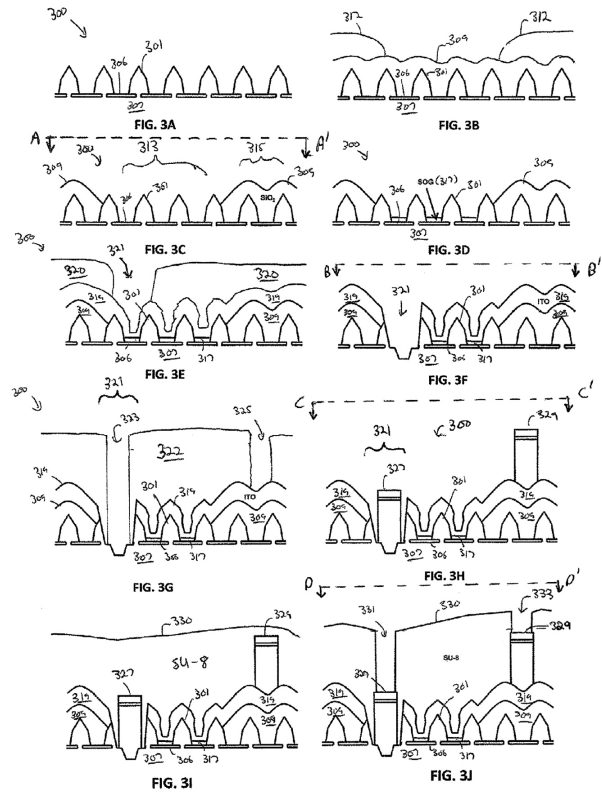
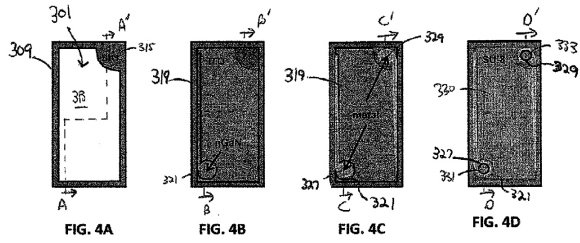


Fig. 2

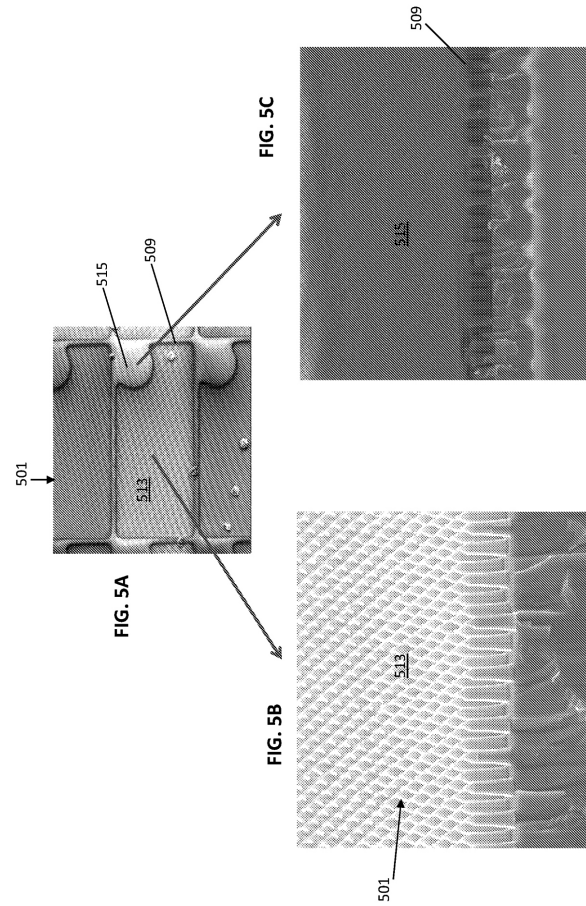
【図 3】



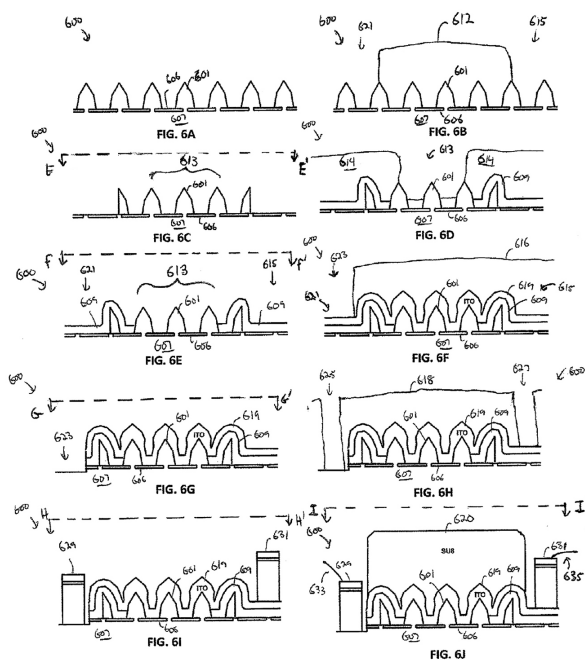
【図 4】



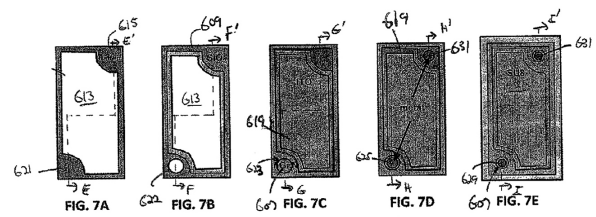
【図 5】



【図 6】



【図 7】





【 図 8 】

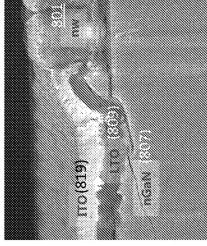


FIG. 8C

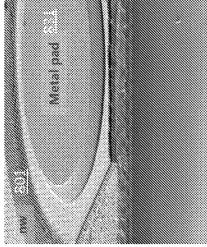


FIG. 8B

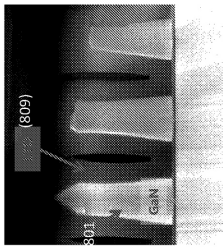


FIG. 8A

---

フロントページの続き

(74)代理人 100134175

弁理士 永川 行光

(74)代理人 100188868

弁理士 小川 智丈

(72)発明者 ヘルナル, スコット ブラッド

スウェーデン国 ルンド エスイー - 2 2 3 6 3 , スケーレヴェーゲン 2 2 , グロ アー  
ペー内

審査官 高椋 健司

(56)参考文献 米国特許第07749905 (US, B1)

国際公開第2013/049008 (WO, A1)

国際公開第2011/160051 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64