

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5105658号
(P5105658)

(45) 発行日 平成24年12月26日(2012.12.26)

(24) 登録日 平成24年10月12日(2012.10.12)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 33/40 (2010.01) HO 1 L 33/00 2 2 0
 HO 1 S 5/042 (2006.01) HO 1 S 5/042 6 1 0
 HO 1 S 5/323 (2006.01) HO 1 S 5/323

請求項の数 4 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2000-164118 (P2000-164118)	(73) 特許権者	500507009
(22) 出願日	平成12年6月1日(2000.6.1)		フィリップス ルミレッズ ライティング
(65) 公開番号	特開2001-7398 (P2001-7398A)		カンパニー リミテッド ライアビリテ
(43) 公開日	平成13年1月12日(2001.1.12)		ィ カンパニー
審査請求日	平成19年5月29日(2007.5.29)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5
(31) 優先権主張番号	327948		1 3 1 サン ホセ ウェスト トリンブ
(32) 優先日	平成11年6月8日(1999.6.8)		ル ロード 3 7 0
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100059959
			弁理士 中村 稔
		(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100065189
			弁理士 穴戸 嘉一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 p型Ga N層に透光性接触部を形成する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源の透光性接触部を形成する方法であって、
 オプトエレクトロニクス素子の層の1つとしてp型窒化ガリウム(GaN)を少なくとも1層形成する工程と、

前記p型GaN層の表面に透光性の導電層を形成する為に金属を選択する工程と、を含み、選択した前記金属は、Niであり、

選択した前記金属を前記表面へと酸化した材料として成膜する工程とを含み、選択した前記金属が、該金属のp型GaN層への成膜前又は成膜中に酸化され、選択した前記金属を成膜する工程は、NiOの金属酸化物として成膜する工程として実行され、

前記金属酸化物を成膜する工程は、同時に前記表面へとAuを含む前記貴金属を添加する工程をも含み、これにより前記金属酸化物と前記貴金属とを組み合わせられた層が形成されることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記金属酸化物と前記貴金属とを同時に成膜する工程が、NiO及びAuの同時反応性蒸着法及び同時反応性スパッタリング法のうちの一方を含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

光源の透光性接触部を形成する方法であって、
 オプトエレクトロニクス素子の層の1つとしてp型窒化ガリウム(GaN)を少なくとも

も1層形成する工程と、

前記p型Ga₂N層の表面に透光性の導電層を形成する為に金属を選択する工程と、を含み、前記金属は、Niであり、

選択した前記金属を前記表面へと酸化した材料として成膜する工程とを含み、選択した前記金属が、該金属のp型Ga₂N層への成膜前又は成膜中に酸化され、選択した前記金属を成膜する工程は、NiOを成膜する工程として実行され、

選択した前記金属上に第2の金属を形成する工程を含み、前記第2の金属はAuであり、

該第2の金属を選択した前記金属を通じて拡散する工程と、

前記p型Ga₂N層の前記表面に沿った横方向の導電性を強化する為にITO層を形成する工程とを含むことを特徴とする記載の方法。 10

【請求項4】

光源の透光性接触部を形成する方法であって、

オプトエレクトロニクス素子の層の1つとしてp型窒化ガリウム(GaN)を少なくとも1層形成する工程と、

前記p型Ga₂N層の表面に透光性の導電層を形成する為に金属を選択する工程と、を含み、前記金属を選択する工程は、Ni、II族の金属及び遷移金属の中からの選択であり、選択した前記金属を前記表面へと酸化した材料として成膜する工程とを含み、選択した前記金属が、該金属のp型Ga₂N層への成膜前又は成膜中に酸化され、

選択した前記金属を成膜する工程が、NiOを反応性蒸着法及び反応性スパッタリング法のいずれか一方を利用して成膜する工程を含み、前記成膜する工程に続いて、 20

Auを成膜する工程と、

前記NiO及びAuを実質的に酸素を含まない環境下においてアニール処理する工程とが実施されることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般的に発光ダイオードやレーザダイオードのようなオプトエレクトロニクス素子に関し、より具体的にはオプトエレクトロニクス素子の発光層に接触部を形成する方法に関する。 30

【0002】

【従来の技術及び発明の解決すべき課題】

発光ダイオード(LED)やレーザダイオードといったオプトエレクトロニクス素子は励起信号に反応して光を生じる固体素子である。従来から、最も効率的なLEDとは、光スペクトルの赤色領域中にピーク波長を持つものであった。しかしながら、光スペクトルの青色領域中にピーク波長を持つ光を効率的に放出することが出来る窒化ガリウム(GaN)をベースにしたタイプのLEDが開発された。このLEDは従来のLEDよりも著しく大きい光出力を提供することが出来る。加えて、青色光は赤色光よりも短い波長を持つ為、GaNベースのLEDが作る青色光は、より長い波長の光を作るために容易に変換することが出来る。この効率的な変換により、市場性の高い「白色光」LEDを製造出来る可能性が増した。GaNベースのLEDはまた、緑色光を生じるように製造することが出来る。 40

【0003】

周知のGaNをベースとしたLEDの一例においては、発光半導体構造がサファイア基板上に形成される。この半導体構造はn型GaN領域及びp型GaN領域を含む。これらの2つの領域はエピタキシャル成長させて形成される。代表的には有機金属気相エピタキシャル成長法が用いられる。p型GaNの形成にはマグネシウム(Mg)又は亜鉛(Zn)をドーパントとして使うことが出来る。他の層を含んでも良い。例えばサファイア基板とGaN材料との間の接着を促進する遷移層として、緩衝層をサファイア基板と半導体構造との間に形成することも出来る。緩衝層は窒化アルミニウム(AlN)で形成するこ 50

とが出来る。

【0004】

作動においては、励起信号がp型GaN領域及びn型GaN領域に印加されると、これに反応して光が生じる。従って、これら2つの領域上にはオーム接触が形成されていなければならない。問題は、許容し得る低抵抗のオーム接触をp型GaN材料に対して作ることが困難なところにある。p型不純物を添加したGaN領域に適用し得る接触部を形成する為に、数多くの異なる構造配列や製造方法が試験されて来た。この接触部は、発生した光がそこから出て行けるように透光性であることが望ましい。シバタによる特開平10-135515号公報及びキミムラ等による特開平第10-209500号公報及び特開平10-209493号公報ではバイメタルの透光性接触部について記述されている。この3つの参考資料には他の材料についても記載されているものの、接触部形成の推奨される実施形態では、コバルト(Co)と金(Au)、又はニッケル(Ni)と金(Au)のいずれかが利用されている。第1の金属(例えばNi又はCo)がp型GaN材料の表面上に成膜される。次に第2の金属(例えばAu)が第1の金属上に成膜される。2つの金属は酸素を含有する雰囲気中で熱処理され、これにより第1の金属が酸化し、そして第2の金属が第1の金属中へと透過してGaN材料に到達する。第1の金属がNiであった場合、この熱処理によりNiOの一相が形成されるが、Auは金属状態のままである。

10

【0005】

オプトエレクトロニクス素子のp型GaN層に使われる周知の透光性接触部は、光の透過率及び層表面に沿った横方向の導電性に関しては許容し得るパフォーマンスに達してはいるが、更なる改良が望まれている。必要とされているのはp型GaN層に応用した場合に望ましい光学及び電気特性を呈する透光性接触部を形成する方法である。

20

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明のp型窒化ガリウム(GaN)層を持つ光源の透光性接触部を形成する方法を提供するものであり、この方法は一実施形態においては、選択した金属をp型GaNの面上に成膜した後で初めて酸化するのではなく、それを酸化状態で添加する工程を含む。選択した条件下においては、酸化させた金属接触部は十分な横導電度(パラメータ V_f にて測定)を提供し、従って従来必要とされた金(Au)のような第2の高い導電性を持つ金属を不要とするものである。第2の金属は完成した接触の光学的透明度に悪影響を与える傾向がある為、接触部の構造を単層に減じた酸化金属へと変えることは有効である。

30

【0007】

第1の金属が酸化された状態でp型GaN表面へと導入されるこの第1の実施形態においては、この材料の酸化はp型GaN表面へと成膜する前に行っても、或いは成膜している間に行っても良い。しかしながら、推奨される方法によれば、金属は酸化環境下で表面へと反応的に蒸着又はスパッタリングされる。金属としてはニッケル(Ni)、或いはII族金属又は遷移金属が望ましい。第2の金属が必要な場合においては、貴金属を用いることが好ましく、中でも金(Au)が最も望ましい。例えば、Niを反応的に蒸着又はスパッタリングしてNiOを形成してからAuを蒸着又はスパッタリングで成膜し、その後アニール処理を行う。このアニール処理によりAuが酸化金属を透過し、p型GaN層の表面へと融着する。温度が十分に高ければ(最低550)、このアニール処理によりGaN層のp型ドーピングが活性化される。この第1の実施形態における他の選択肢としては、第1の金属に第2の金属をドーピング、即ち溶解して所望の光学特性(例えば窓)及び電気特性(例えばオーム接触)を設けるようにしても良い。例えば、Au又は銀(Ag)をドーピングした、即ち溶解した酸化マグネシウム(MgO)を同時蒸着又は事前混合により第2の金属と共に成膜しても良い。本願においてNiOやMgOなどの酸化物は酸素のあらゆる相(例えばNiO_x)及び化学量論的偏差を表すものである。更に「層」という語は、所望の特性を得る為に協同して作用する層の系をも含むことを意図するものである。例えば、p型GaN層は、p型不純物を添加した一連のGaN層である場合もある。

40

【0008】

50

第1の金属をNiOのような酸化物として成膜し、高い導電率を持つ第2の金属をその透明金属酸化物上に成膜する場合、第2の金属を透明の金属酸化物中へと拡散させる熱処理は通常、非反応性環境下で実施される（しかし酸素含有環境の方が有利な応用もある）。N₂環境下で実施することも出来る。接触部の光透過率は接触材料中の金属種の累積量に反比例し、金属種の光透過率に正比例する。一方で横方向の導電率はこれに対立する。即ち、光透過率にとっては金属量を最少化することが望ましいが、横方向の導電率は金属量を多くすることにより改善されるのである。これら2つの問題を考慮するには、2つの金属、特に高い導電率を持つ金属（例えばAu）の層厚の最適範囲を選択することである。第1の金属は150よりも薄くし、第2の金属は100よりも薄くすることが望ましい。最適な層厚はアプリケーションにより異なる。例えば、駆動電流が20mAで作動する代表的な素子においては、Au層の厚さが50であると、500nmの波長において80%の透過率を持たせつつも3.0~3.4Vの範囲のV_fが得られる。しかしながら、電力効率よりも所定のチップ面積に対する発光出力の最大化を重要視する素子においてはV_f範囲は4.0から4.8Vの範囲で良く、この場合はAu層の厚さを5~30とすることが出来る。

10

【0009】

第2の実施形態においては、2つの金属のうちの少なくとも一方がp型GaN層の表面に成膜された後に酸化が行われる。接触構造を形成する為の金属の選択は、基本的に第1の実施形態における材料選択と同様である。材料の一方は導電度の高いもの（例えばAu）が選択され、もう一方はp型GaN層への結合性に関わる機械的特性や酸化後の光学特性によって選択される。Niは酸化させるには望ましい材料であるが、かわりにMgを利用してp型GaN層へのドーピングを強化しても良い。他のII族金属や遷移金属もNiのかわりに使用することが出来る。

20

【0010】

第2の実施形態の一応用例においては、2つの金属が成膜されるが、その酸化は水蒸気及び酸素気体を含んだ環境下で行われる。酸素は室内空気よりも高い濃度の水蒸気と混合される（例えば21において約40%より高い相対湿度）。酸化雰囲気は、例えば窒素中の酸素が20%の電子グレードの混合気体に95に保持された水溜を通して気体を送り込むことにより水蒸気に加えられたものでも良い。温度が十分に高ければ（550以上）、この処理によりp型不純物のドーピングも生じる。試験的実験の結果では、酸素及び水蒸気混合物は、水蒸気を含まない酸素の酸化雰囲気、又は窒素中に水蒸気は含むが酸素を含まない酸化雰囲気と比べると、より望ましい結果が得られることが示された。更に幾つかの点において、p型ドーパントをこれらの方法で活性化することの優位性が得られる。第1には、異なる実施形態に記述した不純物の活性化工程及びアニール処理工程が単一の工程に統合されるという点である。工程の削減は処理時間の節減になり、発光構造体の更なる熱による劣化を回避することが出来、必要とされる器具の数も少なくすることが出来る。この結果、よりコスト効率の良い製造工程が実現される。第2には、金属酸化物の層がp型不純物の不活性化要因である余剰の水素を排除するように作用する。最後に、金属/金属酸化物系が、水素p型不純物化合物を分解する為にエネルギーバリアを低下するように作用し、これによりアニール処理中にp型不純物の活性化が促進される点であるが、これはH₂O及びO₂の混合物中で生じることが望ましい。

30

40

【0011】

Ni/Au接触金属に隣接する層中のMg濃度にも最適範囲が存在する。Ni/Au接触金属に隣接する層中のMg濃度はNi-NiO変換反応に影響を及ぼす。550よりも高い温度の乾燥空気中に水蒸気を含ませた雰囲気中でのNiからNiOへの変換反応は、隣接する層中のMg濃度が $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ より小さい場合に限って成功するのである。より高い濃度の場合、NiはNiOには変換されず、接触部も不透明なものとなる。Mg濃度には、オーム接触を得る上で最低の限界も存在する。Ni/Au接触部層に隣接してMg濃度の低い層があり、550よりも高温で乾燥空気中に水蒸気を含ませた雰囲気中で酸化した場合、Niは確かにNiOへと変化はするが、オーム接触は得られない。オーム

50

接触を得る為に必要なMgの最低濃度は $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。従って、透明なオーム接触を得るには、隣接層中のMg濃度は $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ [Mg] $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲になければならない。

【0012】

第2の実施形態の他の応用例においては、形成される第1の層がNi材料である。酸化アニール処理サイクルによってNiが厚さ全体を通じてNiOへと変化する。金等の第2の材料は、酸化された第1の材料上に蒸着される。再アニール処理により第2の金属は酸化した材料中へと浸透し、そしてp型GaN層となるよう合金化される。

【0013】

第1又は第2の実施形態のいずれかを利用して形成された接触構造の光学特性は、少なくとも第2の金属をパターニングすることにより助長される。即ち、接触構造を選択的にパターニングして導電性接触材料のブランケット層を通じた窓を設けた場合、この窓という手段によって光出力が増大する一方で接触材料の相互接続により充分な横方向の導電率が維持されるのである。この概念の一応用例においては、第1の金属を酸化した又は酸化していない状態で、第2の金属のみがパターニングされる。その後のアニール処理により第2の金属がp型GaN層表面へと到達する。かわりに第2の金属に熱処理を行う前又は後に、2つの金属をパターニングしても良い。また更に他の応用例においては、第2の金属を酸化した第1の材料中へと浸透させた後、オーム接触構造上に1つ以上の追加層が形成される。この例においては、複数の又は単一の追加層をパターニングすることが出来る。例えば、NiO: Auのブランケット層上、又はNiO: AuとITOのブランケット層上にAgのパターニングした層を形成することが出来る。薄いAg層(100 未満)は同じ厚さのAu層よりも透明で導電率が高い為、Agが望ましい。いずれの応用例においても、パターンは高い横方向の導電率を提供する、そして透過性を向上するものが選択される。

【0014】

これまでに触れた実施形態において、金属層は1層又は2層に限られているかのように説明したが、他の接触構造を企図することも可能である。最初にNiO層をGaN: Mg表面に形成した後、Ni及びAu層を形成しても良い。最初の層は、酸化雰囲気中でNiから形成するNiOの更なる形成を促進するシード層(種層)として作用する。シード層は更なる酸化物の確実な形成を助けるよう作用するものである。同様の方法で他の金属及び金属酸化物を形成することも可能であり、1つの金属酸化物の種層を違う金属酸化膜の形成を促進するように作用させることが出来る。

【0015】

接触構造に2つ以上の層を設けるという概念を他の実用例に利用することも可能である。最初の2つの金属層上にITO層を成膜する。ITO層は、アニール処理工程により接触構造の他の層と混合するようにしても良いし(例えば接触層を構成する他の材料中へとITOを混ぜ込む)、或いはアニール処理後に成膜しても良い。ITOを加えると、横方向の導電率が改善される。ITOはまた、最初のNiO層の代わりに利用出来るとも考えられる。多層接触構造の他の選択肢として、Ni/Auの繰り返しパターンの層等、同じ繰り返しのパターンで層を設けても良い。

【0016】

Ni/Au/Niの多層スタックの試験を行った。酸化処理の間、Niの最上層は、Niの酸化をマスクするAu材料無しで酸化を開始することを可能とする酸化初期層を形成する。NiO形成が始まると、Au層はそこに溶け込んで行き、これにより酸素が更に下のNi層にまで浸透する。酸化処理はAuがp型GaN層の表面へと拡散すると共に全てのNi金属が消費、即ち透明酸化物へと変換されるまで続けられる。この方法によれば、酸化処理はより高い再現性と均一性を持つものとなる。この基本的概念は3層を超える層にも拡張して適用することが出来、これらの層は熱処理の間に相互作用し、より少数の層から形成される構造と比べて優れた光学及び/又は電気特性を持つ接触構造を形成する。Ni/Au/Niの3層スタック構造は約35 の一定の層厚を有する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

【 発明の実施形態 】

まず図 1 を参照すれば、これは基板 1 2 と複数の層を含む G a N ベースの発光ダイオード (L E D) 1 0 が開示される。図中に示した基板及び層の種類は後に説明するが、本発明にとってあまり重要ではない。基板 1 2 はサファイアから作られることが一般的であるが、他の基板材料としては、炭化珪素、酸化亜鉛及び二酸化珪素等が含まれる。好適実施形態においては、基板の上面にはテクスチャがつけられており、これにより L E D の活性領域から放出された入射光がランダム化される。テクスチャを持つ基板は入射光が半導体構造の側面又は上面から L E D を出て行く確率を高める。更に、テクスチャを持つ基板を使用した場合、パターンを持たない基板と比べると著しく低いクラック発生率で G a N エピタキシャル層を厚く (例えば 7 μ m よりも厚く) 成長させることが容易になる。

10

【 0 0 1 8 】

随意選択により、基板 1 4 の上面には緩衝層を設けても良い。緩衝層は例えば窒化アルミニウムで形成し、厚さを約 2 5 n m としても良い。推奨される実施形態においては、緩衝層上の層のうち、少なくとも 1 層の厚さは、従来型 L E D 中の同等の層よりも大幅に厚い。層の厚さを増すことにより、活性領域から放出された光が構造体の表面から出て行く為に通過するパスをより少なくすることが出来る。具体的には、厚さを増すことにより放射光が層 / 基板界面又は層 / 層界面から 1 度反射しただけで素子 1 0 の側面から出て行く確率が高くなる。このような光を「ファースト・パス」抽出光と呼ぶ。光がこれら界面の 1 つに達するたびに光エネルギーの一部が失われる。1 つ以上の層の厚さを増すことにより、最初の反射だけで光が出て行くことが出来る側面面積を大きくすることが出来るのである。従来型のものでは、緩衝層 1 4 上にある層の合計厚は 3 μ m である。しかしながら、図 1 の L E D 1 0 においては、この合計厚が 7 μ m 以上とすることが望ましく、1 5 μ m を超えていても良い。G a A s 基板を用いた L E D における厚いエピタキシャル層の形成については、本発明の被譲渡人に譲渡されている F l e t c h e r 等による米国特許第 5 , 2 3 3 , 2 0 4 号に記載されている。

20

【 0 0 1 9 】

緩衝層 1 4 の上には n 型 G a N 層 1 6 が設けられる。従来から周知のように、G a N 材料は有機金属化学蒸着法 (M O C V D) によるエピタキシャル成長が可能である。G a N 核生成層は低温でサファイア基板 1 2 上に成長させることが出来る。その後ドーピングしていない、又は適正にドーピングした厚い G a N 層が形成される。ドーピングしていない G a N は本質的に n 型であり、従って n 型 G a N 層 1 6 が選択した厚さで形成される。

30

【 0 0 2 0 】

n 型 G a N 層 1 6 の上には活性領域 1 8 がある。活性領域 1 8 は図 1 においては単層で示したが、この領域を、正孔と電子が再結合して光を生じる発光層を含む複数の層で構成しても良い。発光層の両側には従来から周知のクラッド層が設けられる。

【 0 0 2 1 】

活性領域 1 8 の上には p 型 G a N 層 2 0 がある。層 1 6 と同様、G a N 層 2 0 もエピタキシャル成長により形成される。好適なドーパントとしては M g が挙げられるが、Z n のような他のドーパントを利用しても良い。当業者には明らかなように、「層」という語は構成要素 1 6 , 1 8 及び 2 0 のいずれかに適用した場合、所望の特性を得る為に協調する複数層の系を含むものである。例えば、p 型 G a N 層 2 0 は一連の複数層から成る場合もある。

40

【 0 0 2 2 】

図 1 に示したように、活性領域 1 8 及び p 型 G a N 層 2 0 の一部を除去して n 型層 1 6 の上面を露出させ、これにより層 1 6 上に接触 2 2 を形成することが出来るようにした。接触により、励起信号源を層 1 6 へと印加することが出来る。低抵抗の接触部を n 型 G a N 層上に形成する為の手法によれば、p 型 G a N 層 2 0 に電圧を印加する為に好適な透明接触構造を形成する時に起きる問題が起こることはない。従って n 型接触構造 2 2 の形成については、本願においては説明しない。

50

【 0 0 2 3 】

次に図2を参照するが、ここではLED10に単層の接触構造が設けられている。層24は、酸化条件下でp型GaN層20上に成膜された光を透過する金属酸化物である。即ち、この金属は成膜後のアニール処理で酸化されたものではなく、層形成前又は層形成中に酸化されたものである。選択した条件下においてこの酸化金属は十分な横方向の導電率を示し、従来のように第2の高い導電性を持つ接触金属を設ける必要がなくなった。推奨される実施形態においては、酸化は反応性蒸着法又は反応性スパッタリング法等によって層形成中に行われる。しかしながら幾つかの応用では、金属酸化物はLED製造工程前（例えば購入するなど）に形成される。p型GaN層20へと設ける接触構造の形成に利用できる材料が金属酸化物のみの場合、十分な横方向の導電率を提供するものとして立証されている材料はNiOである。単層の接触構造を利用する場合の利点は、接触構造の透過率が高くなるという点である。接触部の光透過率は金属種の累積量に反比例し、金属種の透過率に正比例する為、Auのような第2の高い導電率の接触金属を設けなければならないという従来の条件は光出力に悪影響を与える。

10

【 0 0 2 4 】

図2に示した実施形態は、図3に示したフローの最初の5つの工程により作成したものである。即ち、図3の最後の2つの工程はいずれの実施形態においても省略できるものである。工程26において、n型GaN層16が形成される。エピタキシャル成長法については従来から周知である。工程28においては活性領域18が形成される。前述したように活性領域は複数層の組み合わせで構成されるものであり、これには発光層、即ち2つのク

20

【 0 0 2 5 】

工程32においては、接触金属が選択される。望ましい特性とは、機械的、光学的、電気的な特性に関するものである。機械的には、金属はp型GaN層の上面への接着性が良いものでなければならない。光学的には、金属は酸化した状態のときには透光性でなければならない。そして電気的には、金属は充分大きい横方向の導電率を提供するものでなければならない。p型GaNに低抵抗のオーム接触を提供するものが望ましい。この電気特性は、図2の単層構造を採用した場合には特に重要である。上述したように、Niは好適材料である。しかしながら、Mgはp型GaN層へのドーピングを強化することが出来る。同様に、GaN層30がGaN:Znである場合、Znも望ましい。他のII族金属又は遷移金属を選択しても良い。透明金属酸化物としては、TiO₂、SiO₂、YO、HfO₂、ZrO₂、PrO₂、CoO、そしてチタン酸バリウムストロンチウム(BST)のようなペロブスカイト構造を有する酸化物を含むが、これらに限られない。接触構造を作る為に1つ以上の他の層と組み合わせた場合に特に優位性をもたらす他の好適な材料としてはインジウム錫酸化物(ITO)があり、これについての詳細は後述する。

30

【 0 0 2 6 】

工程34において、選択した接触金属を酸化条件下でp型GaN層20の表面に成膜する。推奨される方法は、反応性蒸着法又は反応性スパッタリング法である。

40

【 0 0 2 7 】

単層接触構造を採用した場合、横導電性を提供する接触構造は工程34にて完成する。その後更に小さい接触部を(図1の接触部22に示したように)n型GaN層16上及び図2の透光性金属酸化物24の上面に形成することが出来る。

【 0 0 2 8 】

しかしながら、多くのアプリケーションにおいてはp型GaN層20上の単一金属の単層接触構造は不十分である。従って、p型GaN層20に沿って横方向に十分な導電性を提供する接触構造の形成においては、1つ以上の金属が追加で使用される。この金属は貴金

50

属であることが望ましく、最も好ましいのはAuである。利用可能な金属としては、Al、Pd、Pt、Co、Zn、Ag、Cd、Hg、Ir、Re、Os、Ru及びRhがあげられるがこれらに限られない。

【0029】

第2の金属を使って第2の横方向の導電性を提供する為の方法の1つにおいては、図3の工程36において高い導電率をもつ金属が導入され、図4のバイメタル接触構造が作られる。バイメタル接触構造は酸化層24及び高導電率の層38を含む。その後工程40においてアニール処理が施され、第2の金属が透明金属酸化物層24を通してp型GaN層20の表面へと拡散する。図5に示すように、アニール処理工程の後では、高導電率の層38はp型GaN層と接触していることになる。層24は層38の形成前に酸化されているため、アニール処理の工程40は非反応性の環境下で行われることが望ましい。即ち、不活性気体を利用することが好ましいのである。例えばN₂気体を400 ~ 850 の温度で用いても良い。しかしながら、酸素を含む環境が有効である応用もあり得る。

10

【0030】

工程34で導入された材料がNiO、そして工程36で導入された金属がAuであった場合、酸化物層24の厚さは150 未満、金属層38の厚さは100 未満が望ましい。アニール処理工程40後に形成された接触部の光透過率は接触材料中の金属種の累積量に反比例し、その金属種の透過率に比例する。一方で、接触構造の横方向の導電率は接触構造中の隣接した金属種の量に直接的に比例する。従って、透過率と横方向の導電率是对立している。光透過率の為には金属の量は最低限とすることが望ましいが、金属の量を増せば横方向の導電率を大きくすることが出来る。これらの2つの問題を考慮することは、2つの金属の層厚、特に高導電率の金属(例えば金)の層厚を最適な範囲で選択することが良い。最適な層厚は応用によって異なる。例えば、20mAの駆動電流を使う代表的な素子においては、50 厚のAu層が3.0 ~ 3.4ボルトの範囲のV_fを提供するが、このとき層は、500nm波長の光に対して約80%の透過率を有する。しかしながら、電力効率の問題よりも所定のチップ面積あたりの発光出力を最大化する問題の方が重要視される素子においては、4.0 ~ 4.8ボルトの範囲のV_fでも許容範囲であり、Au層を5 ~ 30 厚とすることが出来る。

20

【0031】

図6は接触構造を形成する為の他の方法のフローであるが、ここでは接触材料はp型GaN層上に成膜される前又は成膜中に酸化される。図6の手順を利用して、接触構造の2つの金属は同時に成膜される。n型GaN層を成長させる工程26、活性領域を形成する工程28、そしてp型GaN層を成長させる工程30の3つの工程は図3に説明した通りの通常の工程である。工程42及び44において、2つの接触材料が選択される。2つの選択された材料はその後工程46において同時に成膜され、続くアニール処理工程48において図5に示す構造が形成される。金属の同時成膜は反応性スパッタリング又は反応性蒸着法により実施されることが望ましいが、少なくとも一方の材料を酸化させた状態で成膜する為の他の技術を利用して良い。随意選択のアニール処理工程48は、N₂のような不活性気体中で行う。しかしながら、酸素を含有した環境下で実行する方が有利なアプリケーションもある。

30

40

【0032】

図6の方法の工程42において選択される金属をNi、そして工程44で選択する金属をAuとしても良い。従ってこの結果得られる構造は、望ましい電気及び光学特性を供するNiO:Auである。NiOはAuと共に同時に反応性蒸着又はスパッタリング法により成膜することが出来る。

【0033】

図3及び図6に示した方法のいずれにおいても、第1の金属に関してはNiOを選択することが推奨されるが、これは絶対条件ではない。NiOのかわりにMgOを利用するとGaN層20のp型ドーピングが促進される。Auをドーピングした、即ちAuを注入したMgOはオーム接触及び窓として、NiO:Auと似た作用を呈する。Auを注入したイ

50

ンジウム錫酸化物 (ITO) では、より大きい横方向の電流拡散が得られる。ZnOもまた、MgO同様、更なるドーピングを助長するものとしてNiOのかわりに利用することが出来る。更に、酸化したII族金属又は遷移金属(たとえばNiOとMgO又はZnO)を利用することも出来る。

【0034】

Ni/Au接触金属の場合、それに隣接する層中のMg濃度[Mg]にも最適範囲がある。Ni/Au接触金属に隣接する層中のMg濃度はNiからNiOへの変換に影響を与える。550 を超える温度の水蒸気を含む乾燥空気中におけるNi-NiO変換反応(NiOからNiOへの変換反応)は、それに隣接する層中のMg濃度が $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 未満でなければ成功しない。その濃度がより高ければ、NiはNiOにはならず、接触は不透明になってしまう。更にMg濃度にはオーム接触を形成する為の最低限界もある。Ni/Au接触層に隣接する層のMg濃度が低い場合、550 を超える温度の水蒸気を含む乾燥空気中においてNiをNiOへと変換することは出来るものの、その接触はオーム接触にはならない。オーム接触を得る為に必要とされるMgの最低濃度は $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。従って、透明なオーム接触を得る為には、隣接層中のMg濃度は $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ [Mg] $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ でなければならない。最適なMg濃度範囲は、他の金属/金属酸化物組み合わせにも存在する。

10

【0035】

図7は本発明の他の実施形態を説明するものである。この実施形態においては、通常のLED製造工程26、28、30に続く工程50で接触金属が成膜された後に初めて酸化処理が行われる。成膜工程50の一事例では、第1の金属として100 厚のNi、第2の金属として50 厚のAuが成膜される。

20

【0036】

100 厚Ni/50 厚AuをNiO:Auへと変換する実験を625 の様々な雰囲気中で行った。使用した3つの雰囲気は；(1)水蒸気を含む窒素；(2)乾燥空気；そして(3)水蒸気を含む乾燥空気；である。乾燥空気は20%の酸素を含む窒素の電子グレードの混合物から得られたもので、これに95 に保たれた水溜中に気体の泡を通すことにより水蒸気が加えられる。

【0037】

流量7.5リットル/分の乾燥空気の場合には、2インチ径のGaN素子ウエハの半分のうち、かなりの部分にわたって灰色の不透明な領域があったことから、NiのNiOへの変換反応は部分的にしか行われなかったことがわかった。その同じウエハのもう半分を対照試料として同じ温度の室内空気中で酸化させたのであるが、この試料はその対象試料と非常に良く似た外観であった。

30

【0038】

流量7.5リットル/分の水蒸気を含んだ乾燥窒素の場合、室内空気中で酸化させた同じウエハの対照資料である半分(部分的変換しか見られなかった)と比較すると、NiOへの変換率は大幅に高かった。しかしNi-NiO変換において室内空気の場合よりも効果的ではあったものの、この乾燥窒素と水蒸気を使った場合の変換は完全ではなかった。

【0039】

水蒸気を加えた乾燥空気中での酸化に関しては、結果は著しく良好であった。流量7.5リットル/分の乾燥空気に水蒸気を加えた混合気体中では、GaN素子ウエハの半分に実質的に完全な酸化が生じた。同じウエハの対照試料である半分には上述した対照試料であるウエハ半分と同様に部分的酸化しか見られなかった。図7の酸化工程52は、酸素と室内空気よりも高い濃度の水蒸気(例えば21 で相対湿度が $> 40\%$)の混合物を利用することが望ましい。高温の酸素及び水蒸気の混合気体を使えば、Ni/Au構造からNiO:Auへのより均一で再現性の高い酸化を行うことが出来る。水蒸気を加えない酸素は酸素を含まない窒素に水蒸気を加えたもの同様、はるかに効果が低い。温度が十分に高い(550 乃至850)場合、この処理で更にp型ドーピングも生じる。更に幾つかの観点から、p型ドーパントをこれらの機構中で活性化させることによって優位性が生じる

40

50

。第1には、様々な実施形態で触れたドーパントによる活性化工程とアニール処理工程を1つの工程にまとめることが出来る。工程の省略は処理時間の短縮につながり、発光構造体の熱による更なる劣化が回避され、そして必要とされる加工用機器の数を低減することになる。この結果、よりコスト効率の高い製造方法が得られる。第2には、金属酸化物の層が、p型ドーパントの不活性化因子である余剰の水素を除く働きをするという点である。最後に、金属/金属酸化物系が水素 p型ドーパント複合体を分解する為にエネルギーバリアを低くする作用を持ち、これによりアニール処理中(好ましくはH₂O及びO₂混合気体中で行われる)のp型ドーパントの活性化が促進される。

【0040】

図8は本発明の他の実施形態である。この応用例においては、接触構造は2つの異なるアニール処理工程にさらされる。通常の工程26、28、30を実施してGa_{0.5}N層及び活性領域を形成する。工程54において、Niを選択した厚さに蒸着する。NiのかわりにIII族金属及び遷移金属等の他の金属を利用しても良い。工程54での第1の金属の成膜後、酸化アニール処理サイクルを実施し、第1の金属をその工程を通して透明金属酸化物へと変換する。従って、工程54にてNiが成膜された場合、この金属は工程56でNiOへと変換される。

10

【0041】

工程58においては、第2の金属が成膜される。上述したように、推奨される材料はAuであるが、Auのかわりに他の金属を使っても良い。工程54及び58には金属蒸着法を採用することが出来る。一実施形態においては、Ni層は100nmの厚さを持ち、Au層は50nmの厚さを持つ。

20

【0042】

工程60において、この構造が再アニール処理されて第2の金属を金属酸化物中へと送り込み、この第2の金属をp型Ga_{0.5}N層と合金化し、図5に示した接触構造を得る。ダブル・アニール処理は望ましい光学、電気及び機械特性をもたらす接触構造を提供する。

【0043】

ここまでの説明で本発明を2層(金属/金属酸化物)接触構造の作成に関連させて説明したが、2層より多くの層で構成することには利点がある。次に図9を参照すると、前述した第2の接触層38の上に第三の接触層62が設けられている。第三の接触層はITOであり、これは最初の2層の電流拡散能力を更に強化することが出来る厚さに設けられている。一応用例においては、ITO層は最初の2層24、38をアニール処理で混合した後初めて設けられる。この応用例において第三の層62は、横方向の導電率を犠牲にすることなく第2の金属(例えばAu)の厚さを薄くすることを可能とする別個の層である。しかしながら、他の応用例においては、3つの層はアニール処理され、3層全ての材料が混合される。

30

【0044】

多層接触構造の更に他の応用例においては、第1及び第三の層24、62がNiであり、中央層38がAuである。最上層のNiは酸化誘導層の働きを持ち、Au層38にNi酸化気体間のマスクとして作用させることなく酸化処理を開始することを可能にする。NiO形成が始まると、Au層はそこへと溶け込み、下のNi層24への酸素の浸透を助ける。酸化処理は全てのNi金属が消費されて透明酸化物に変換され、Auがp型Ga_{0.5}N層20の表面へと移動するまで続けられる。このように、酸化処理は再現性と均一性のより高いものとなる。この基本的概念は他の種類の材料やより多数の層にも拡張することが出来、より多数の層に適用した場合、これらは熱処理の間に相互作用してより少ない数の層から構成される構造よりも優れた電気・光学特性を持つ構造が形成される。図9に示したNi/Au/Ni多層構造の一応用例においては、3層24、38及び62の厚さは各々35nmである。

40

【0045】

多層構造はNi/Au/Ni/Auといったように繰り返しの層パターンを持っていても良い。図9には3つの接触層24、38及び62しか示していないが、更なる層を設ける

50

ことが出来る。

【0046】

次に図10及び図11を参照するが、他の応用例においてはp型GaN層への接触構造64は上述した方法のいずれかで形成した接触層をパターンニングすることにより設けられた一連の開口66を含む。例えば、第1の接触材料を酸化条件下で成膜し、第2の材料を金属酸化物上に蒸着し、そしてこれらの2層を、第2の層を金属酸化物層中へと透過させるアニール処理の前又は後にパターンニング（例えばフォトリソグラフィにより）する。接触層のパターンニングの実施には従来技術を利用することが出来る。

【0047】

接触構造64上には励起信号源へと接続する為の電極68が設けられている。電極は2層構造として図示されているが、これはあまり重要ではない。電極は従来技術により形成することが出来る。

10

【0048】

次に図11を参照するが、ここでは接触構造64の材料が相互に繋がっており、p型GaN層20の表面全体にわたる導電性が提供されている。しかしながら、開口66は光電素子の発光出力を助長する為の窓として作用している。開口66の形状を円形として描いたが、これも重要ではない。全表面積に対する窓面積の比は、十分な横方向の導電率を保ちつつも出来る限り大きく取ることが望ましい。円形開口よりも好ましい場合は楕円開口や他の構成を選択しても良い。

【0049】

20

図10及び図11においては、接触構造の全ての層がパターンニングされている。このパターンニングの実施は高導電率の金属（例えばAu）を金属酸化物（例えばNiO）中に透過させる前でも後でも良い。図10及び図11の例によれば、2層より多くの層で接触構造が構成される場合、その追加の層（例えばITO）もまたパターンニングされる。

【0050】

図11の構造の変更形態を図12に示す。接触構造の全ての層をパターンニングするのではなく、少なくとも1層はそのまま残す。例えば、金属酸化物層70（例えばNiO）を図3にて説明した方法で成膜し、高導電率の層72（例えばAg）をその金属酸化物層上に形成する。金属層中の開口74は窓として機能する。窓の形状は図10及び図11に関して述べたように重要ではない。他の事例として、パターンニングしない材料70をNiO:Auとし、パターンニングする層をAgとしても良い。この例においては、Auがp型GaN層20へのオーム接触を、Agが必要とされる横方向の導電性を提供するようになっており、Au濃度を低減することが出来る。これはパターンニングされていない材料（例えばブランケット材料）が上層のITOを含んでおり、パターンニングされた層が高い導電率を持つ場合にも可能である。ITOのブランケット層により十分な横方向の導電率を保ちつつ全表面積に対する窓面積の比を大きくすることが出来る。

30

【0051】

本発明は、光源の透光性接触部を形成する方法であって、オプトエレクトロニクス素子（10）の層の1つとしてp型窒化ガリウム（GaN）（20、30）を少なくとも1層形成する工程と、前記p型GaN層の表面に透光性の導電層を形成する為に金属を選択する工程（32）と、選択した前記金属を前記表面へと酸化した材料として成膜する工程（34）とを含み、選択した前記金属が、該金属のp型GaN層への成膜前又は成膜中に酸化されることを特徴とする。

40

【0052】

好ましくは、前記金属を選択する工程（32）では、前記金属はNi、II族の金属、及び遷移金属の中から選択され、従って選択した前記金属を成膜する工程（34）は、NiO、II族金属酸化物及び遷移金属酸化物の中から選択した1つの金属酸化物として成膜する工程とされる。

【0053】

好ましくは、前記金属酸化物上に貴金属層を形成する工程（36、38）と、前記金属酸

50

化物及び前記貴金属層を熱処理する工程(40)とを更に含み、これにより前記貴金属が前記選択した金属酸化物中へと浸透し、前記p型GaN層(20)へと拡散する。

【0054】

好ましくは、前記金属酸化物を成膜する工程(34)は、同時に前記表面(20)へと前記貴金属を添加する工程(36)をも含み、これにより前記金属酸化物と前記貴金属とを組み合わせた層(24、38)が形成される。

【0055】

好ましくは、前記金属酸化物と前記貴金属とを同時に成膜する工程(34、36)が、NiO及びAuの同時反応性蒸着法及び同時反応性スパッタリング法のうちの一方を含む。

【0056】

好ましくは、前記金属(24)上に第2の金属(38)を形成する工程と、該第2の金属(38)を前記金属を通じて拡散する工程と、前記p型GaN層(20、30)の前記表面に沿った横方向の導電性を強化する為にITO層(62)を形成する工程とを更に含む。

【0057】

好ましくは、高い導電率を持つ材料(38)を前記金属酸化物(24)上に形成する工程(36)と、前記金属の第2の層(62)を前記高い導電率を持つ材料(38)上に形成する工程と、前記第2の層を酸化し、そして前記高い導電率を持つ材料を前記酸化物材料を通じて拡散し、前記p型GaN層(20)の表面へと到達せしめる為にアニール処理を実施する工程(40)とを更に含む。

【0058】

好ましくは、前記選択した金属を成膜する工程(34)が、NiOを反応性蒸着法及び反応性スパッタリング法のいずれか一方を利用して成膜する工程を含み、前記成膜する工程に続いて、Auを成膜する工程(36)と、前記NiO及びAuを実質的に酸素を含まない環境下においてアニール処理する工程(40)とが実施される。

【0059】

好ましくは、前記選択した金属を成膜する工程(34)は、反応性蒸着及び反応性スパッタリングのいずれか一方を利用してNiOを成膜する工程を含み、前記成膜する工程に続いて、導電性材料を成膜する工程(36)と、前記NiO及び前記導電性材料を実質的にH₂を含まない環境下でアニール処理を行う工程(40)とが実施され、前記アニール処理の工程においては前記p型GaN層へのp型ドーピングが活性化される。

【0060】

好ましくは、前記選択された金属酸化物(24)上にパターニングされた導電層(64、72)を少なくとも1層設ける工程を更に含む。

【図面の簡単な説明】

【図1】p型GaN層上に接触構造を含まないオプトエレクトロニクス素子の斜視図である。

【図2】図1の素子に本発明の一実施形態に基づく透明金属酸化物層で形成された接触構造を設けたものの部分側面図である。

【図3】図2に素子を形成する為の工程を説明するフローチャートである。

【図4】図1の素子に図2の透明金属酸化物層と高い導電率を持つ金属層とを組み合わせ形成した接触構造を設けたものの部分的側面図である。

【図5】アニール処理工程後の図4の素子の部分的側面図である。

【図6】本発明の第2の実施形態に基づく接触構造を形成する為の工程を説明するフローチャートである。

【図7】本発明の他の応用となる実施形態に基づく接触構造を形成する為の工程を説明するフローチャートである。

【図8】本発明の更に他の応用例となる実施形態に基づく接触構造を形成する為の工程を説明するフローチャートである。

【図9】図1の素子に設けた3層接触構造の部分的側面図である。

10

20

30

40

50

【図10】本発明に基づくパターンニングされた接触構造を持つ図1のオプトエレクトロニクス素子の斜視図である。

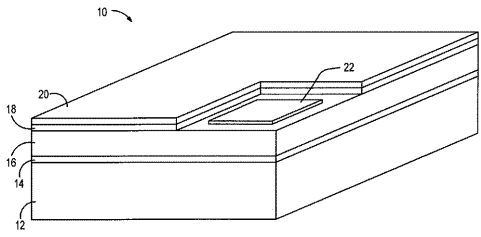
【図11】図10の素子の部分側面図である。

【図12】図10のパターンニングされた接触構造の他の応用となる実施形態を示した図である。

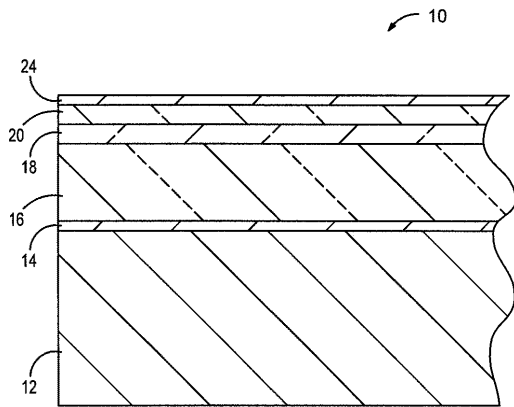
【符号の説明】

10	LED	
12	基板	
14	緩衝層	
16	n型GaN層	10
18	活性領域	
20	p型GaN層	
22	接触	
24	透光性金属酸化物	
26	GaN層の成長	
28	活性領域の形成	
30	GaN層の成長	
32	金属の選択	
34	接触金属の導入	
36	第2の金属の導入	20
38	導電層	
40	アニール処理	
42	第1の金属の選択	
44	第2の金属の選択	
46	同時成膜	
48	アニール処理	
50	成膜	
52	酸化	
54	金属の成膜	
56	酸化	30
58	金属の成膜	
60	再アニール処理	
62	第三の接触層	
64	接触構造	
66	開口	
68	電極	
70	酸化物層	
72	金属層	
74	開口	

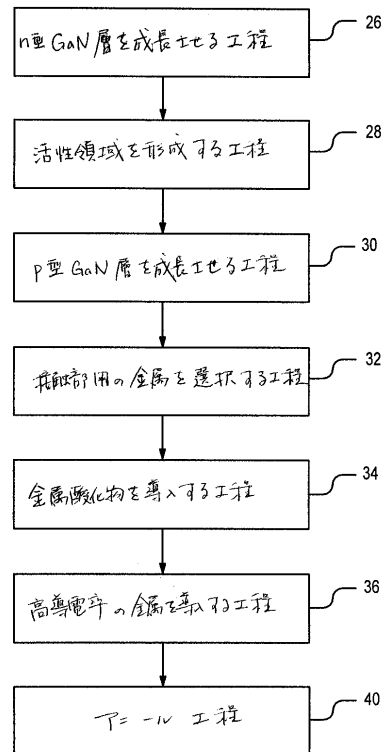
【図1】



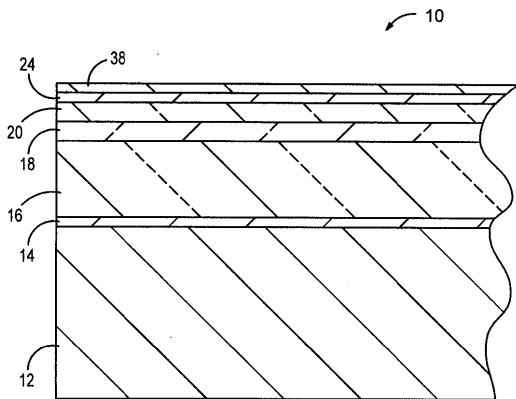
【図2】



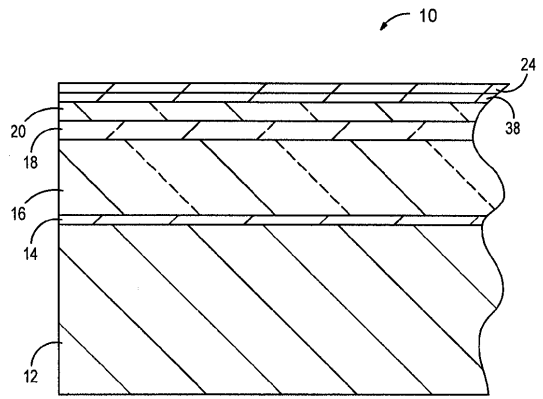
【図3】



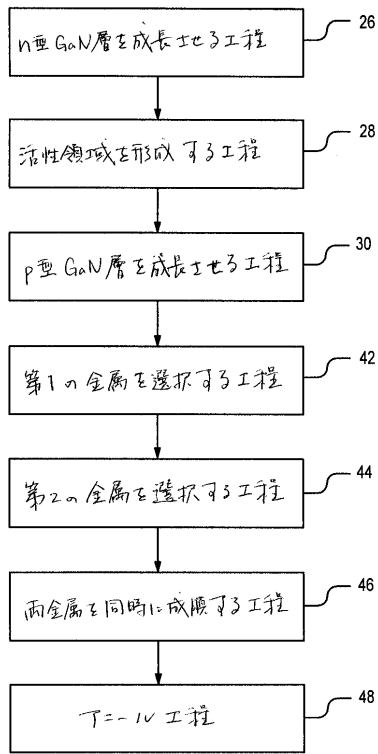
【図4】



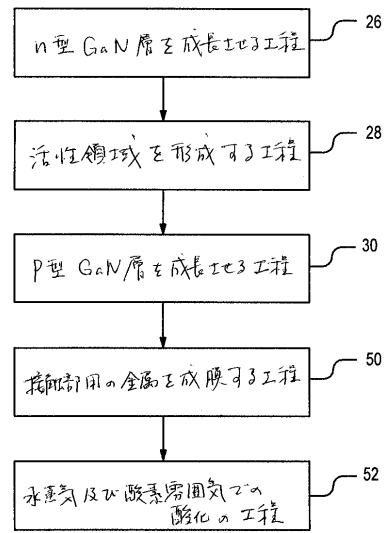
【図5】



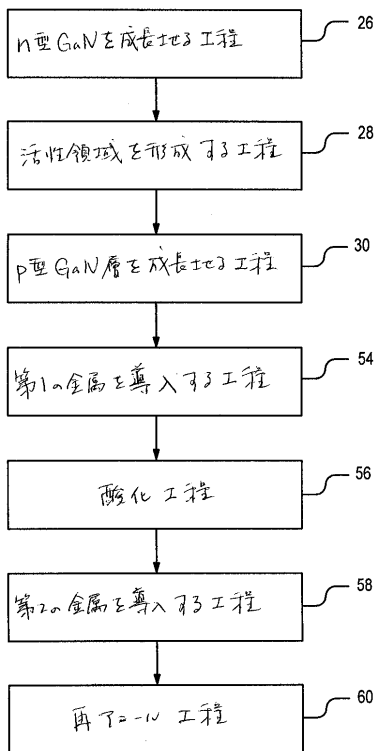
【図6】



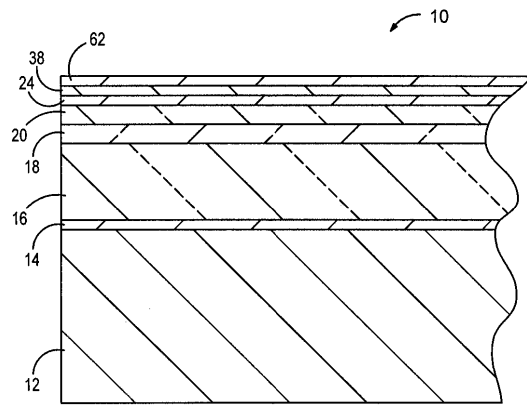
【図7】



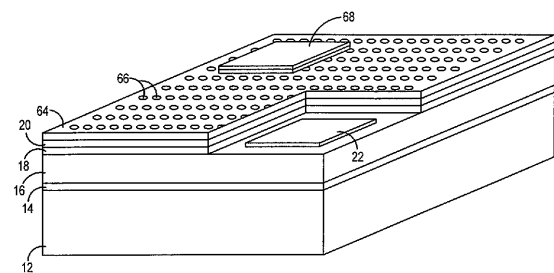
【図8】



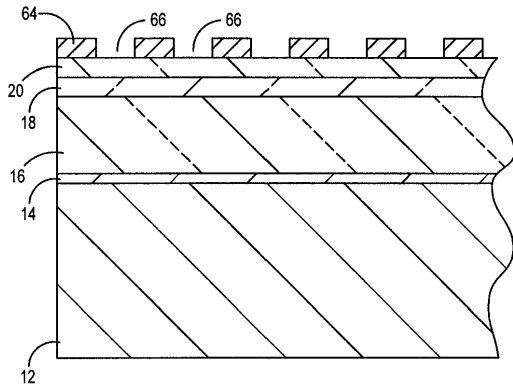
【図9】



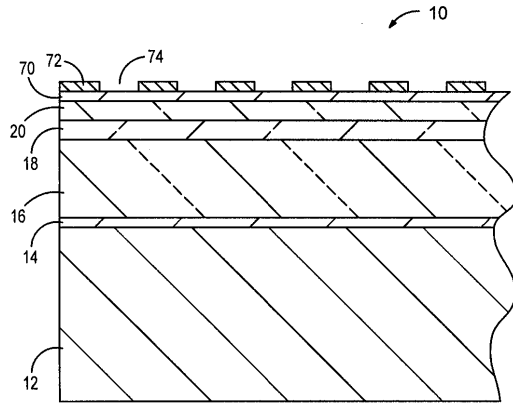
【図10】



【 1 1 】



【 1 2 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100096194
弁理士 竹内 英人
- (74)代理人 100074228
弁理士 今城 俊夫
- (74)代理人 100084009
弁理士 小川 信夫
- (74)代理人 100082821
弁理士 村社 厚夫
- (74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100084663
弁理士 箱田 篤
- (72)発明者 マイケル・ジェイ・ルドワイズ
アメリカ合衆国カリフォルニア州サン・ノゼ スライダ ドライブ6355
- (72)発明者 スティーブン・エー・マラノウスキー
アメリカ合衆国カリフォルニア州サン・ノゼ ウィロー・クリーク ドライブ1737
- (72)発明者 ダニエル・エー・ステイジャーワールド
アメリカ合衆国カリフォルニア州クパティーノ ロックウッド ドライブ10430 - ビー
- (72)発明者 ジョナサン・ジョセフ・ウィーラー・ジュニア
アメリカ合衆国カリフォルニア州サニーベイル アパートメント204 イースト・フレモント・
アベニュー 880

審査官 高椋 健司

- (56)参考文献 特開平11-150299(JP,A)
特開平10-341039(JP,A)
特開平09-167861(JP,A)
特開平10-308533(JP,A)
特開平10-256602(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/28-21/288,21/44-21/445,
29/40-29/49,29/872,
33/00-33/64
H01S 5/042