

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4721513号
(P4721513)

(45) 発行日 平成23年7月13日(2011.7.13)

(24) 登録日 平成23年4月15日(2011.4.15)

(51) Int.Cl.

F 1

H01S 5/22 (2006.01)

H01S 5/22

G02B 6/13 (2006.01)

G02B 6/12

G02B 6/122 (2006.01)

G02B 6/12

M

A

請求項の数 2 (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願2000-396575 (P2000-396575)

(22) 出願日

平成12年12月27日 (2000.12.27)

(65) 公開番号

特開2001-251017 (P2001-251017A)

(43) 公開日

平成13年9月14日 (2001.9.14)

審査請求日 平成19年12月26日 (2007.12.26)

(31) 優先権主張番号 09/472754

(32) 優先日 平成11年12月27日 (1999.12.27)

(33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 596170170

ゼロックス コーポレイション

XEROX CORPORATION

アメリカ合衆国、コネチカット州 068

56、ノーウォーク、ピーオーボックス

4505、グローバー・アヴェニュー 4

5

(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 穎男

(74) 代理人 100065189

弁理士 宍戸 嘉一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体構造およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基層と、

該基層の上に形成された複数の半導体層であって、最上部層である第1半導体層と酸化可能な層により形成された第2半導体層とを含む複数の半導体層と、
を具備し、

前記酸化可能な層には、少なくとも3つの孔が貫通しており、

前記酸化可能な層が前記少なくとも3つの孔から酸化されることによって、略直線状の酸化された線であって酸化されていない領域により分断されていない連続的な線、が形成され、

前記少なくとも3つの孔が、前記略直線状の酸化された線によって境界を定められた、酸化されていない連続的な分断されていないストライプ領域を定めるように、配置されている、

ことを特徴とする半導体構造。

【請求項 2】

基層と、

該基層の上に形成された複数の半導体層であって、最上部層である第1半導体層と酸化可能な層により形成された第2半導体層とを含む複数の半導体層と、
を具備し、

前記酸化可能な層には、少なくとも6つの孔が貫通しており、

10

20

該少なくとも 6 つの孔が、第 1 の略直線状の線及び第 2 の略直線状の線を形成するよう
にかつこれらの 2 つの線を略平行に形成するように配置され、

前記少なくとも 6 つの孔の各々が前記最上部層から延びており、

前記酸化可能な層における各孔に対応する領域が酸化されることによって、2 つの略平
行な分断されていない酸化された線が形成され、

該 2 つの略平行な分断されていない線が、これらの線によって境界を定められた、酸化
されていない連続的な分断されていないストライプ領域を定める、

ことを特徴とする半導体構造。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体構造及びその製造方法に関し、特に、半導体構造の平面上を横方向に酸化する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

さまざまな半導体の応用において、埋込み層を酸化させるには、埋込み半導体層にアクセスすることが望ましい。多くの光子デバイス、電子デバイス、および超小型機械デバイスでは、電気的に絶縁している、あるいはより低い屈折率を持たせることによって周囲物質とは異なる埋込み物質の領域が必要である。そのような物質は、デバイスの製造中に 1 つまたはそれ以上の埋込み半導体層を、電気的に絶縁している低い屈折率の自然酸化物に選択的に変えることによって形成することができる。

20

【0003】

酸化領域は、酸化物領域のより低い屈折率による望ましい光学的効果を生み出すため問題の領域を部分的または完全に取り囲むように形成することができる。埋込み酸化物層は、さらに、デバイスの異なる領域を電気的に隔離する、または同じウェーハ上のあるデバイスを別のデバイスから電気的に隔離する作用をすることができる。埋込み層は、横方向に速く酸化するどんな物質でもよく、一般に高いアルミニウム含有量を有する半導体、たとえば AlGaAs、AlGaInP、または AlAsSb である。埋込み層は、アルミニウムと、次の要素 : As、Ga、In、P、および Sb を 1 つまたはそれ以上を含んでいる化合物でもよいが、それらに限定されない。アルミニウムは、一般に化合物のグループ III 構成要素の少なくとも 70 % を構成するであろう。酸化環境たとえば高温度の蒸気に暴露すると、埋込み層は横方向に酸化され、暴露された側壁から物質の未酸化部分に向かって内側に進行するであろう。横方向酸化速度は、一般にアルミニウム含有量が増すと共に増加する。

30

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

埋込み酸化層にアクセスする通常の方法はメサエッチによっている。この方法は、ウェーハの非平面性の程度が増すので、次に続く処理工程が複雑になる。さらに、除去された大量の物質はデバイスの機械的完全性を低下させ、かつその熱抵抗を増大させる。この問題は、酸化層が通常ウェーハの表面よりずっと下に埋め込まれたデバイス、たとえば垂直キャビティ表面放射レーザにおいて特に厳しい。

40

【0005】

【課題を解決するための手段】

酸化しようとする層の側壁をさらすメサを形成する代わりに、複数のエッチングされたキャビティを使用して、酸化させる埋込み層にアクセスすることができる。得られた酸化領域の形状とサイズは、各キャビティの形状とキャビティの相互の配置とによって定まる。キャビティ間の区域は平面のままであるので、次に続く工程たとえば電気接点の形成やホトリソグラフィが容易になる。平面構造は、ホトリソグラフィの際の焦点深度、あるいは誘電体フィルムおよび / またはポリマー膜の堆積すなわちスピンドルティングの際のステップ状被覆による問題を心配せずに、簡単なエッチング、堆積、ホトリソグラフィの諸工程を可能にする。エッチングされたキャビティ間の物質は元のままであるので、すぐれた

50

機械的完全性と熱伝導性を維持することができる。

【0006】

平面横方向酸化は多くの応用に利益を与える。応用は、酸化された物質が光導波、定められた導電路、又はその両方を提供する埋込み酸化物質で取り囲まれたコア領域を含んでいる応用；それらの光る波性質のため1つまたはそれ以上の完全酸化層を使用している応用；電気的隔離のため酸化層を使用している応用；及び性質が酸化領域の形状で制御される応用を含むが、それらに限定されない。

【0007】

【発明の実施の形態】

図1aは、本発明に係る実施例、エッジ放射レーザ構造100の平面図を示し、図1bは10、その断面図を示す。 $Al_{0.4}In_{0.6}P$ 量子井戸活性層175（一般に厚さは約80オングストローム）は、p形($Al_{0.6}Ga_{0.4}$)_{0.5} $In_{0.5}P$ バリヤ層186およびn形($Al_{0.6}Ga_{0.4}$)_{0.5} $In_{0.5}P$ バリヤ層185と境を接している。2つのバリヤ層185と186の厚さは一般に約0.12μmである。エッチングされたキャビティ110は横方向酸化のため $Al_yGa_{1-y}As$ 埋込み層120へアクセスを許す。yとして選択される値は一般に0.95以上であり、一般的な値は0.99である。 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の厚さは一般に1000オングストローム未満である。 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120のストライプ170は横方向屈折率ステップを与えるため非酸化のままであるのに対し、領域123はストライプ170を形成するため酸化される。 $GaInP$ 層111はオプションであり、 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の下にあって、キャビティ110をエッチングするためのエッチストップの役目を果たす。p形 $Al_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層155は $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の上にあるのに対し、n形 $Al_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層156はn形($Al_{0.6}Ga_{0.4}$)_{0.5} $In_{0.5}P$ バリヤ層185の下、n+GaAs基層171の上にある。2つのクラッド層155とクラッド層156の厚さは一般に約1μmである。電気的接続はp電極105とn電極106によって与えられる。電気的隔離は浅い陽子注入を使用して領域159を注入することによって実現される。

【0008】

酸化の後に、 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120はエッジ放射レーザ構造100に横方向屈折率誘導を提供する。有効な横方向屈折率ステップを生成して基本モードの伝播だけを許すように $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の厚さと位置を目的に合わせることによって、エッジ放射レーザ構造100は単一モードに作られる。横方向屈折率ステップは3つの従属導波路の有効屈折率によって決まる。2つの従属導波路は酸化された部分の上にある領域と下にある領域とによって形成されるのに対し、第3の導波領域は非酸化ストライプ領域170の上にある層と下にある層とによって形成される。横方向屈折率ステップは、 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の厚さと、層186、175、185から成る独立した閉込めヘテロ構造（SCH）190からの $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の距離xによって決まる。図1cの曲線166は、横方向屈折率ステップの依存関係を $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の厚さ（オングストローム）の関数として示す。図1dは、単一モード動作を維持するのに必要なストライプ170の最大幅（ミクロン）と、厚さ500オングストロームの $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の閉込めヘテロ構造190からの距離（オングストローム）との関係を示す。図1dの曲線167の下にある点は単一モード動作を示すのに対し、曲線167の上の点はエッジ放射レーザ100の多重モード動作を示す。

【0009】

全体的なウェーハ平面性が維持されるので、複雑な平面化工程なしに、金属接点105による電気接觸を容易に達成することができる。エッジ放射レーザ100のベースにある金属接点106は第2電気接点として作用する。図1aおよび図1bに示した本発明に係る実施例は、メサエッチを使用して酸化層120、121へアクセスしている図2のエッジ放射レーザ200とは異なる。図1aおよび図1bのエッジ放射レーザー100を製作するのに用いられる処理工程は、メサ210の代わりに、キャビティ110を使用して水蒸気が埋込み層120へアクセスすることを除き、図2において用いられる処理工程と似て

10

20

30

40

50

いる。これについては以下に検討する。

【0010】

横方向に酸化された $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の使用によって、 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120へアクセスするのに最小限度のエッチング、すなわちエッチングされたキャビティ110をエッチングするだけで済む。 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 埋込み層120の厚さは一般に1000オングストローム未満であり、これは既に成功しているレーザの設計を大幅に変更する必要が無いこと、そしてレーザ構造のエピタキシャル結晶成長に必要な時間が大幅に増えないことを意味する。

【0011】

平面横方向酸化は複数ビームエッジ放射レーザの設計へ拡張することができる。本発明に係る複数ビームエッジ放射レーザ構造の設計に使用した平面横方向酸化によって、図3aに示すように、容易な電気的ルーチングで、個々のエッジ放射レーザ325, 326、327、328間の狭い間隔（一般に20μm未満）を達成することができる。図3aは、4個の狭い間隔で配置された個別にアドレス可能なエッジ放射レーザ325, 326、327、328から成る本発明に係る4ビーム構造300の平面図である。図3bは、図3aの線3bに沿った4ビーム構造300の断面図である。エッジ放射レーザ325, 326、327、328間の電気的隔離は図3bの浅い陽子注入領域340によって達成される。キャビティ310は埋込み層320と321の酸化を実施するためアクセスを許すために存在する。酸化の後に、埋込み層320と321はエッジ放射レーザ325, 326、327、328に横方向屈折率誘導を提供する。金属接点350はレーザ326と接触し、金属接点360はレーザ325と接触し、金属接点351はレーザ327と接触し、金属接点361はレーザ328と接触する。共通金属接点306はレーザ325, 326, 327、328と接触する。埋込み層320と321の間に、エッジ放射レーザ325, 326, 327、328のための活性領域375が置かれている。

【0012】

埋込み層の酸化を可能にするキャビティを使用して、受動導波路を形成することができる。より低屈折率の物質と境を接する領域は光を閉じ込めることが可能であり、光のある場所から別の場所へ誘導するのに使用できる。酸化半導体は一般に非酸化半導体より低い屈折率を有する。たとえば、典型的な $\lambda = 980\text{ nm}$ において、AlAsは約2.9の屈折率を有し、GaAsは約3.5の屈折率を有するのに対し、酸化AlAsは約1.5の屈折率を有する。2つの導波路が相互に十分に近接しているとき（一般に、 $\lambda = 980\text{ nm}$ の場合、約0.15すなわち147nmの範囲内）、ある導波路内の光学モードはエバネッセント波相互作用によって他の導波路内の光学モードと結合する。

【0013】

図4aは、3ウェイビームスプリッタとして機能する本発明に係る受動導波路構造400を示す平面図である。受動導波路構造400は4個の導波路コア425, 426、427、428から成っている（図4aの線5に沿った断面図である図4bも参照されたい）。導波路コア428は導波路コア425、426、427とエバネッセントに結合されているので、導波路コア428内で信号の3ウェイ分割が生じる

【0014】

一般に、受動導波路構造400はGaAa基層450の上に作られる。GaAs層436内の導波路コア428の中に光を縦方向に閉じ込めるため、GaAs層436の上および下にそれぞれ $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層438と $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層437が位置している。最初に、GaAa基層450の上に $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層438が結晶成長される。 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層437の上にGaAs層455が結晶成長される。その後、GaAa層455の上に $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層430が結晶成長され、 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層430の上にGaAaキャップ層440が結晶成長される。次に、酸化させるため $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層430および $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層437へアクセスできるように、キャビティ410と411がエッチングされる。図4bのキャビティ411は $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層437まで下方にエッチングされる。図4bのキャビティ410は $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層430まで下方にエッチングされる。 $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層430内のキャ

10

20

30

40

50

ビティ 410 の側面部分 422 とキャビティ 411 の側面部分 420 は水蒸気を使用して横方向に酸化され、GaAs 層 455 内の導波路コア 425、426、427 に横方向閉込めを提供する。キャビティ 411 の側面部分 421 は水蒸気を使用して横方向に酸化され、導波路コア 428 に横方向閉込めを提供する。側面部分 420、421、および 422 に関する酸化の横方向範囲は図 4 b に示した実施例では一般に約 4 μm であり、エッティングされたキャビティ 411 の幅は約 2 μm である。

【0015】

図 5 は、たとえば光を光検出器または分光計へ分割することができるビームスプリッタとして作用する本発明に係る実施例を示す。光はキャビティ 510 によって定められた導波路コア 526 に入り、キャビティ 511 によって定められた導波路コア 527 内のエバネッセント波相互作用によって結合された光学モードが生成される。導波路コア 526 と 527 は縦に積み重なっており、同じ水平面内にはない。横方向閉込めは、導波路コア 526 を含む GaAs 層と導波路コア 527 を含む GaAs 層の上の $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層(図示せず)の横方向酸化によって生成される。キャビティ 510 と 511 はそれぞれの $Al_{0.99}Ga_{0.01}As$ 層(図示せず)まで下方にエッティングされる。

【0016】

もう 1 つの種類のデバイスは、酸化層が反射防止被膜、分散布拉ック反射器 (distributed Bragg reflector: DBR と略す) として、あるいはマイクロレンズを作る方法として使用されているものを含む。酸化物と隣接する半導体物質の屈折率の差は、もし層を酸化させなければ達成することができるよりはるかに大きくすることができる。DBR ミラーは非常に高い反射率バンド幅を持つことができ、そのため層厚さの変化の影響を比較的を受けない。さらに、決められた反射率を達成し、かつ結晶成長時間とコストを削減するには、より少ないミラー層が必要である。たとえば、980 nm の波長において、GaAs と酸化 AlAs 間の屈折率の差は約 2 であり、GaAs と AlGaAs 合金間の屈折率の差より約 3.5 倍大きい。GaAs と酸化 AlAs 間の大きな屈折率の差は高い反射率と広い反射バンド幅を与える。高い反射率バンド幅は非酸化物質の場合より 5 倍以上広いので、特定の波長において高い反射率を生成するのに必要な層厚さの公差もまた約 5 倍以上緩和され、また反射スペクトルも層厚さの変化の影響を比較的受けない。したがって、決められた反射率を達成するには、より少ないミラー層と、厳しくない厚さ公差が必要である。4 対の GaAs 層 / 酸化 AlAs 層と比べて、約 99.8 % の反射率を達成するには、一般に 19 対の GaAs 層 / AlAs 層が必要である。

【0017】

図 6 は、本発明に係る実施例の簡略化した断面図である。AlAs 層 620 は GaAs 層 630 と交互に配置されて DBR ミラー 600 を形成している。キャビティ 610 は酸化のため AlAs 層 620 へアクセスするのに使用される。AlAs 層 620 の斜線部分は AlAs 層 620 内の酸化の範囲を示す。

【0018】

本発明の実施例に従って、GaAs 層 730 と酸化 AlAs 層 720 が交互に配置された高反射率の DBR ミラーは、図 7 a ~ 7 c に示した垂直キャビティ表面放射レーザ (VCSEL) 700 などの応用に使用することができる。図 7 a は、種々の埋込み高アルミニウム含有量層と酸化層 740 の酸化を可能にするエッティングされたキャビティ 710 を有する VCSEL 700 の平面図を示す。図 7 b は、図 7 a の線 7 b に沿った断面図を示し、図 7 c は、図 7 a の線 7 c に沿った断面図を示す。上部 DBR ミラー 799 は一般に擬似正弦波状に徐々に変化する 25 の層ペア (一般に、 $Al_{0.86}Ga_{0.14}As$ 層 798 と $Al_{0.16}Ga_{0.84}As$ 層 797 が交互に配置されている) から成っている。上部 DBR ミラー 799 はドープされたシリコンである。一般に、高いアルミニウム含有量を有する AlGaAs 層のアルミニウム含有量は、低屈折率を考慮して十分に高くすべきであるが、容易に酸化させるほど高くすべきでない。低いアルミニウム含有量を有する AlGaAs 層の組成は、一般に、低アルミニウム含有量層がレーザ光放射波長において非吸収性であるように、十分なアルミニウムをもっていなければならぬ。 $Al_{0.86}Ga_{0.14}As$ 層 798 と $Al_{0.16}Ga_{0.84}As$ 層 797 の厚さは一般に 0.15 波長であ

10

20

30

40

50

り、 $Al_{0.86}Ga_{0.14}As$ 層 798 と $Al_{0.16}Ga_{0.84}As$ 層 797 間のグレーデッド AlGaAs 物質の総厚さは 0.2 波長であるので、層ペア当りの 0.5 波長の全光学厚さが得られる。上部 DBR ミラー 799 の上に、 $Al_{0.16}Ga_{0.84}As$ 電流拡散層(図示せず)と p 形 GaAs 接触層(図示せず)が結晶成長されている。

【0019】

本発明の実施例に従って、下部 DBR ミラー 798 は、GaAs 層 730 と酸化 AlAs 層 720 が交互に配置された 4 つの層ペアで構成されている。酸化 AlAs 層 720 はよりすぐれた構造完全性を得るために少量の Ga を含んでいるが、依然として迅速な酸化を許す。下部 DBR ミラー 798 は n 形 GaAs 基層 777 より上に位置しており、一般に下部 DBR ミラー 798 と GaAs 基層 777 の間に厚さ 200 nm の n 形 GaAa バッファ層がはさまれている。典型的な波長、 $\lambda = 980$ nm の場合、もし GaAs 層 730 の厚さが約 69.5 nm で、AlAs 層 720 の厚さが約 163.3 nm であれば、屈折率の差が干渉効果を引き起こし、それが高い反射を生み出す。AlAs は酸化されると約 10% だけ収縮するので、AlAs 層 720 の初期厚さは約 179.6 nm である。

【0020】

垂直キャビティ表面放射レーザ(VCSEL) 700 は、約 1/4 波長の厚さをもつ酸化 $Al_{0.94}Ga_{0.06}As$ 層 740 によって一般に形成された非酸化アパー・チャ 701 を有している。活性領域 750 は一般に厚さ 1 波長の独立した閉込めヘテロ構造(SCH) から成っている。SCH は 4 つの InAlGaAs 量子井戸(図示せず)と、5 つの $Al_{0.35}Ga_{0.42}As$ バリヤ層(図示せず)を有する。透明な最上部電極 780 (一般に、インジウム錫酸化物) と最下部電極 790 は電気接点になる。電流はエピタキシャル結晶成長させた DBR ミラー 799 を通り、活性層 750 を通過し、DBR ミラー 798 をまわって電極 790 に向かって注入される。DBR ミラー 798 は濃く酸化されたアルミニウム層を含んでいるので、電流路の一部を形成しない。活性層 750 は下部 $Al_{0.16}Ga_{0.84}As$ クラッド層 770 と上部 $Al_{0.58}Ga_{0.32}As$ クラッド層 760 の間にさまれている。下部 $Al_{0.16}Ga_{0.84}As$ クラッド層 770 に対するドーピングは、一般に n 形で、 $1 \times 10^{18} / cm^3 \sim 5 \times 10^{18} / cm^3$ の範囲のドーピングレベルと、約 100 nm 厚さを有する。VCSEL 構造に関するこれ以上の詳細は米国特許第 5,978,408 号を参照されたい。

【0021】

マイクロレンズは多層構造を異なる横方向長さに酸化させることによって作ることができる。本発明に従って、図 8 は、エッチングされたキャビティ 811 を使用し、平面酸化を使用して製作されたマイクロレンズ 800 を示す。図 8 の層 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810 の異なる横方向酸化長さはそれぞれの層のアルミニウム組成を異ならすことによって達成される。酸化プロセスが垂直方向に進行するのを防止するため、酸化層 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810 の間に、薄い非酸化層 850 を置かなければならない。たとえば、もしマイクロレンズ 800 が 25 μm の半径と 10 μm の焦点距離を有していれば、本発明に係る実施例は表 1 で説明される。表 1 に記載した実施例の場合、各層のアルミニウム組成は、同じ酸化時間における要求された酸化物の長さに基づいて決まる。 $Al_xGa_{1-x}As$ の各層の厚さは 1 μm である。400 におけるアルミニウム組成の関数として、AlGaAs の酸化速度に基づいて、酸化フロントが球面を形成するように、各層のアルミニウム組成、すなわち各層 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810 のアルミニウム含有量が選定される。もしより滑らかな酸化物先端を所望ならば、層の厚さを減らし、もっと多くの層を追加してもよい。しかし、横方向酸化技術を使用して非球面レンズを作ることもできることに留意すべきである。

【0022】

【表 1】

層	酸化長さ (μ m)	$x(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As})$
801	25	1
802	18	0.985
803	15.2	0.977
804	13.1	0.973
805	11.4	0.967
806	10	0.962
807	8.75	0.958
808	7.65	0.95
809	6.66	0.945
810	5.8	0.94

10

20

【0023】

同じウェーハの上にいろいろなタイプのエレクトロニクスや光学デバイスを集積することが望ましいことが多い。エッチド・キャビティ法は、オプトエレクトロニクス集積回路内のデバイスの間に電気的隔離領域を形成する容易な手段を提供する。図9は、エッジ放射半導体レーザ1005と共に集積されたGaAs金属-半導体電界効果トランジスタ(MESFET)905と9011から成る本発明に係る実施例を示す。MESFETトランジスタ905はゲート931、ドレーン932、およびソース933から成っている。MESFETトランジスタ911はゲート941、ドレーン942、およびソース943から成っている。信号は、相互接続ワイヤ991、992に沿ってそれぞれゲート941、931に接続している接触パッド950に入力される。ソース943は相互接続ワイヤ993によって接触パッド955へ接続されており、接触パッド955はグラウンドに達している。相互接続ワイヤ994はドレーン942とソース933とを接続している。p接触パッド965は相互接続ワイヤ995によってエッジ放射レーザ1005のp接点に接続されており、通路960は相互接続ワイヤ996によってドレーン932へ接続されており、エッジ放射レーザ1005のn接点に達している。

30

【0024】

エッチングされたキャビティ910は埋込みAlAs層1010を酸化させるためのアクセスを提供する(図10参照)。埋込みAlAs層1010はMESFETトランジスタ905とMESFETトランジスタ911の両方をエッジ放射半導体レーザ1005から電気的に隔離する作用をする。MESFETトランジスタ911からMESFETトランジスタ905を電気的に隔離するために、浅いイオン注入が使用されている。図10は、図9の線10に沿った断面を示す。MESFETトランジスタ905、911のゲート領域は一般に低いレベルの $10^{17} / \text{cm}^3$ までドープされている。ドレーン932とドレーン942の各領域とソース933とソース943の各領域におけるより高いドーピングレベルは、よりすぐれたオーム接点を考慮に入れており、イオン注入によって達成することができる。p+層1020、真性層1030、およびn+層1040は、エッジ放射半導体レーザ1005のためのダイオード構造を形成している。

40

【0025】

5 μ mのオーダーの十分に短い酸化長さにするため、酸化フロントの形状はエッチングさ

50

れたキャビティの形状に従っている。図11は、考えられる酸化フロントの形状1101, 1102, 1103, 1104と、対応する形状のキャビティ1111, 1112, 1113, 1114を示す。キャビティ1111~1114は一般にホトレジストにパターンングされ、そのあとエッチングされる。次に、キャビティ1111~1114が本発明に従って水蒸気に暴露され、埋込みAlGaAs層内に酸化フロントの形状1101~1104が形成される。図12のつなぎ合わされた酸化フロントの形状1102, 1103, 1104は、湾曲した導波路1198の形を定める酸化フロントパターン1199を形成する。酸化フロントパターン1199は、キャビティ1112~1114から生まれた酸化フロントの形状1102~1104が集まって、湾曲した導波路1198である自然酸化物で形が定められた通路を形成するように、キャビティ1112~1114を整列させることによって生成される。湾曲した導波路は能動デバイス(たとえばリング・レーザ)や、集積光学デバイス(たとえばマッハ・ゼンダー変調器)に対する用途を有する。

【0026】

図13aは、本発明に係る分布帰還(DFB)レーザ構造1300を示す。ここでは、酸化させるため、 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ 埋込み層1320はエッチングされたキャビティ1321を通してアクセスされる。図13aに示した酸化フロント1325の周期的波形の形状は周期的屈折率変化に変化する。周期性が1/2波長の整数の倍数であるように設計した場合の周期的屈折率変化は、レーザ作用をする分布帰還機構を提供する。たとえば、AlGaAsに一般的であるAlGaAs埋込み層1320の3.5の屈折率と、DFBレーザ1300の820nmの波長のために、酸化フロントの格子周期を約117nmにする必要がある。図13bは、DFBレーザ1300の層構造を示す。nGaAs基層1329上に、n形 $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ 下部クラッド層1330が一般に約1μmの厚さに結晶成長される。そのn形 $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ クラッド層1330の上に、n形 $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ 導波路層1331が一般に0.12nmの厚さに結晶成長される。n形 $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ 導波路層1331とp形 $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ 導波路層1332の間に、GaAs量子井戸活性層1335がある。p形 $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ 上部クラッド層1336は、酸化可能なp形 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ 埋込み層1320によってp形 $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ 導波路層1335から分離されている。p形GaAs層1340はキャッピング層として作用する。

【0027】

図14a~dは、エッジ放射レーザ構造100の埋込み層120にアクセスして酸化させるためエッチングされたキャビティ110を使用する典型的な製造順序を断面図で示す(図1b参照)。図15a~dは、それらの対応する平面図である。図14aと図15aについて説明すると、エッジ放射レーザ構造100の結晶成長後、CVD(chemical vapor deposition)、プラズマ強化CVD、または蒸着(evaporation)によって、p形 $Al_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層155の上に、 SiO_2 層1405が堆積される。 SiO_2 層1405に続いて、ホトレジスト層1401が堆積される。

【0028】

次に図14bと図15bについて説明する。ホトレジスト層1401は、エッチングされたキャビティ110のサイズと位置を定めるパフォレーション1410にパターンングされる。エッチングされたキャビティ110は、化学的エッチングプロセスまたはドライエッティングプロセスによって SiO_2 層1405を貫通してp形 $Al_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層155まで下方にエッチングされる。p形 $Al_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層155とその下にある半導体層は、ドライエッティング、例えば反応性イオンエッティング(RIE)または化学的支援イオンビームエッティング(CAIBE)によって、一般にGaInPエッチストップ層111まで下方にエッティングされる。例えば、GaAsをベースとするエッジ放射レーザ構造100のエッティングされたキャビティ110は、塩素をベースとする反応性イオンエッティングまたは化学的支援イオンビームエッティングを使用して、ドライエッティングすることができる。

【0029】

AlGaAs合金の場合には、キャビティはドライエッティング技術またはウェットエッティング技術のどちらかを使用してエッティングすることができる。

10

20

30

40

50

【0030】

ドライエッティングの例は、Technics Plasma RIBE ECR 3608を使用する化学的支援イオンビームエッティング装置(CAIBE)と、8 SCCM Cl_2 、2 SCCM BCl_3 、5 SCCM Arから成る混合ガスを使用する。混合ガスは、350Wのマイクロ波パワーと1200ガウスの磁界による電子サイクロトロン共振(ECR)で活性化される。活性化されたガスは550Vで試料に向かって加速され、28%デュティサイクルで電子エミッタによって中和される。試料は100に加熱される。エッティング速度はキャビティのサイズによって決まり、直径2 μm の円形キャビティの場合は約1,000オングストローム/分である。

【0031】

キャビティのエッティングは、他のドライエッティングツール、たとえばPlasmaQuest ECRリアクタを使用する反応性イオンエッティング(RIE)を使用して実施することができる。RIEエッティングの例は、1 SCCM Cl_2 、10 SCCM BCl_3 、および13.5 SCCM ArのECR活性化混合ガスと、400Wのマイクロ波パワーと33WのRFパワーを使用している。エッティングチャンバ圧力は2.1 torrに調整され、試料温度は4に設定される。エッティング速度は同様にキャビティのサイズによって決まり、直径2 μm の円形パターンの場合は約730オングストローム/分で、直径10 μm 以上のキャビティの場合は1,300オングストローム/分である。RIE装置はPlasmaQuest ECRリアクタである。

【0032】

高いアスペクト比をもつ小さいキャビティはウェットエッティングを使用して作ることは難しいが、ウェットケミカル装置で大きなキャビティをあけることは、実行可能なオプションである。AlGaAsをエッティングできる化学物質の混合物は1 H_3PO_4 : 1 H_2O_2 : 30 H_2O である。ここで、数字は体積比を示す。化学物質を別の比率で混合することも可能である。さらに、他の化学物質たとえばHCl/ H_2O_2 や H_2SO_4 / H_2O_2 を使用することもできる。

【0033】

AlGaAs以外の半導体は当然に他のエッティング化学物質を必要とするであろう。亜磷酸インジウムの場合、 H_3PO_4 で希釈したHClはうまくいくが、水で希釈した H_3PO_4 / H_2O_2 はInAlGaAs合金に使用できる。InGaAsP合金の場合、水で希釈した H_2SO_4 / H_2O_2 は理想的である。さらに、AlGaAsに関して触れた混合ガスのような塩素をベースとする混合ガスを使用するCAIBEおよびRIEドライエッティングを用いて、InPをベースとする物質にキャビティをあけることができる。しかし、エッティング残留物は揮発性が少ないので、試料の温度は一般にAlGaAsエッティングの場合より高く設定すべきである。AlGaAsおよびInGaAsP以外の物質に対するエッティングプロセスは必要なとき開発することができる。

【0034】

次に図14c及び図15cについて説明する。ホトレジスト層1401は剥離され、 $\text{Al}_{0.99}\text{Ga}_{0.01}\text{As}$ 埋込み層120は米国特許第5,262,360号に記載されているやり方で酸化される。エッジ放射レーザ構造100は400を超える温度の周囲の飽和水蒸気に暴露される。 $\text{Al}_{0.99}\text{Ga}_{0.01}\text{As}$ 埋込み層120は、ガリウムと砒素酸化物を含む非晶質アルミニウム酸化物に変えられる。 $\text{Al}_{0.99}\text{Ga}_{0.01}\text{As}$ 埋込み層120は絶縁しており、一般に1.5~1.6の低い屈折率を有する。導波路コアの形を定める $\text{Al}_{0.99}\text{Ga}_{0.01}\text{As}$ 埋込み層120のストライプ170の酸化を防止するように注意を払うべきである。

【0035】

次に図14dおよび図14dについて説明する。 SiO_2 層1405がドライエッティングによって除去され、p電極105が蒸着によって堆積される。エッジ放射レーザ構造100は蒸発した金属原子のビーム方向に対し約45度の角度で傾斜している。エッジ放射レーザ構造100を傾斜させることは、金属がエッティングされたキャビティ110の内面を被覆し、エッジ放射レーザ構造100を通る望ましくない電流路を生成するのを防止する。n接点を作るために、エッジ放射レーザ構造100が薄くされ、底面にn電極106が堆積される。

【0036】

同じ設計技法と製造プロセスによって、受動ストレート導波路構造400(図4a参照)

10

20

30

40

50

及び 500 (図 5 参照) を製造することができる。しかし、受動ストレート導波路構造 400 および 500 は、それぞれ導波路コア 425, 426, 427 および 526, 527 の中に伝播する光を吸収しない半導体層を有する。これは、受動導波路構造 400 及び 500 のSCH構造 190 のバンドギャップが伝播する光の光子エネルギーより大きいように、SCH構造 190 (図 1 b 参照) が設計される (すなわち、処理される) ことを意味する。このバンドギャップ・エンジニアリングは、たとえば不純物誘起層の無秩序またはマイグレーション・エンハンスド・エピタキシーによって達成することができる。能動デバイスについて使用したのと同じプロセスを受動導波路構造 400 および 500 に使用できることは重要である。その理由は、これにより、単一導波路構造が能動セクションと受動セクションをもつことができるからである。受動セクションは、受動セクションの光吸収性をもたらすバイアス電圧を加えることによって光変調器として使用することができる。

【0037】

以上、横方向に酸化させるため酸化可能な埋込み半導体層にアクセスするする方法について説明した。ウェーハの平面性は維持されるので、本方法は埋込み酸化物質をそれらの光学的性質と電気的性質のため使用するさまざまなデバイスににとって利益がある。

【0038】

この分野の専門が理解されるように、本発明の開示した実施例に対するその他の修正、拡張、および変更は、特許請求の範囲に記載した発明の範囲および精神に包含されるものと考えられる。

【図面の簡単な説明】

【図 1 a】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 1 b】図 1 a の実施例の断面図である。

【図 1 c】本発明に係る実施例について酸化物層の厚さの関数として、横方向屈折率ステップの変化を示すグラフである。

【図 1 d】横方向に酸化された層と独立した閉込めヘテロ構造間の間隔の関数として、単一モード動作を維持するために必要なストライプの最大幅を示すグラフである。

【図 2】メサ構造エッチ放射半導体レーザを示す断面図である。

【図 3 a】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 3 b】図 3 a の実施例の断面図である。

【図 4 a】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 4 b】図 4 a の実施例の断面図である。

【図 5】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 6】本発明に係る実施例の断面図である。

【図 7 a】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 7 b】図 7 a の実施例の断面図である。

【図 7 c】図 7 a の実施例の断面図である。

【図 8】本発明に係る実施例の断面図である。

【図 9】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 10】図 9 の実施例の断面図である。

【図 11】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 12】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 13 a】本発明に係る実施例の平面図である。

【図 13 b】図 13 a の実施例の断面図である。

【図 14 a】本発明に係る実施例を製作する一連の工程の第 1 のものを示す側面図である。

【図 14 b】本発明に係る実施例を製作する、次の工程を示す側面図である。

【図 14 c】本発明に係る実施例を製作する、その次の工程を示す側面図である。

【図 14 d】本発明に係る実施例を製作する、更に次の工程を示す側面図である。

【図 15 a】図 14 a の工程の平面図である。

【図 15 b】図 14 b の工程の平面図である。

10

20

30

40

50

【図15c】図14cの工程の平面図である。

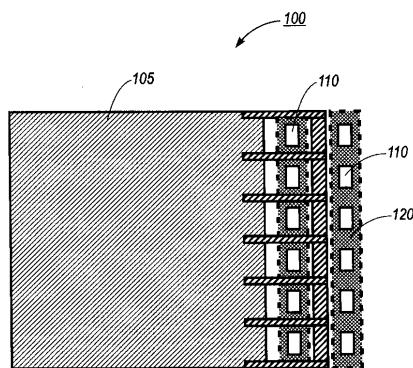
【図15d】図14dの工程の平面図である。

【符号の説明】

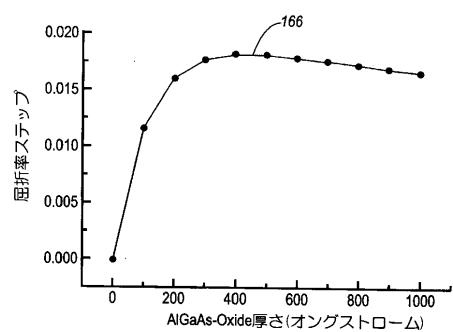
100	本発明に係るエッジ放射レーザ構造	
105	p電極	
106	n電極	
110	エッチングされたキャビティ	
111	GaInP層	
120	Al _y Ga _{1-y} As埋込み層	10
123	酸化領域	
155	p形Al _{0.99} Ga _{0.01} Asクラッド層	
156	n形Al _{0.5} In _{0.5} Pクラッド層	
159	注入領域	
170	ストライプ	
171	n ⁺ GaAs基層	
175	Ga _{0.4} In _{0.6} P量子井戸活性層	
185	n形(Al _{0.6} Ga _{0.4}) _{0.5} In _{0.5} Pバリヤ層	
186	p形(Al _{0.6} Ga _{0.4}) _{0.5} In _{0.5} Pバリヤ層	
190	閉込めヘテロ構造(SCH)	
200	本発明に係るエッジ放射レーザ	20
210	メサ	
300	本発明に係る4ビーム構造	
310	キャビティ	
320、321	埋込み層	
325、326、327、328	個々のエッジ放射レーザ	
350、351、360、361	金属接点	
400	本発明に係る受動導波路構造	
410	キャビティ	
411	キャビティ	
420、421、422	キャビティの側面部分	30
425、426、427、428	導波路コア	
430	Al _{0.99} Ga _{0.01} As層	
436	GaAs層	
437、438	Al _{0.99} Ga _{0.01} As層	
450、455	GaAs層	
500	本発明に係る実施例(ビームスプリッタ)	
510、511	キャビティ	
526、527	導波路コア	
600	本発明に係る実施例(DBRミラー)	
610	キャビティ	40
620	AlAs層	
630	GaAs層	
700	本発明に係る実施例(垂直キャビティ表面放射レーザ)	
701	非酸化アパー チャ	
710	エッチングされたキャビティ	
720	酸化AlAs層	
730	GaAs層	
740	酸化層	
750	活性領域	
760	上部Al _{0.58} Ga _{0.32} Asクラッド層	50

7 7 0	下部Al _{0.16} Ga _{0.84} Asクラッド層	
7 7 7	n形GaAs基層	
7 8 0	透明上部電極	
7 9 0	下部電極	
7 9 7	Al _{0.16} Ga _{0.84} As層	
7 9 8	下部DBRミラー	
7 9 9	上部DBRミラー	
8 0 0	マイクロレンズ	
8 0 1 ~ 8 1 0	酸化層	
8 1 1	エッチングされたキャビティ	10
8 5 0	薄い非酸化層	
9 0 5	GaAs金属半導体電界効果(MESFET)トランジスタ	
9 1 0	エッチングされたキャビティ	
9 1 1	MESFETトランジスタ	
9 3 1、9 4 1	ゲート	
9 3 2、9 4 2	ドレーン	
9 3 3、9 4 2	ソース	
9 5 0、9 5 5	接触パッド	
9 6 0	通路	
9 6 5	p接触パッド	20
9 9 1 ~ 9 6 6	相互接続ワイヤ	
1 0 0 5	エッジ放射レーザ	
1 0 1 0	埋込みAlAs層	
1 0 2 0	p ⁺ 層	
1 0 3 0	真性層	
1 0 4 0	n ⁺ 層	
1 1 0 1 ~ 1 1 0 4	酸化フロントの形状	
1 1 1 1 ~ 1 1 1 4	対応する形状のキャビティ	
1 1 9 8	湾曲した導波路	
1 1 9 9	酸化全部パターン	30
1 3 0 0	本発明に係る分布帰還(DFB)レーザ構造	
1 3 2 0	Al _{0.98} Ga _{0.02} As埋込み層	
1 3 2 1	エッチングされたキャビティ	
1 3 2 5	酸化フロント	
1 3 2 9	GaAs基層	
1 3 3 0	n形Al _{0.7} Ga _{0.3} As下部クラッド層	
1 3 3 1	n形Al _{0.4} Ga _{0.6} As導波路層	
1 3 3 2	p形Al _{0.4} Ga _{0.6} As導波路層	
1 3 3 5	GaAs量子井戸活性層	
1 3 3 6	p形Al _{0.7} Ga _{0.3} As上部クラッド層	40
1 3 4 0	pGaAs層	
1 4 0 1	ホトレジスト層	
1 4 0 5	SiO ₂ 層	
1 4 1 0	パーフォレーション	

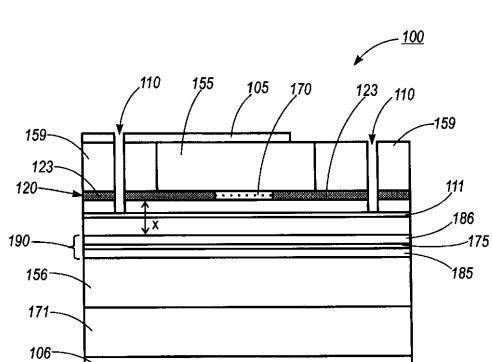
【図 1 a】



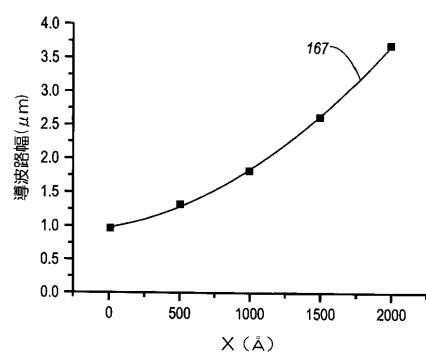
【図1c】



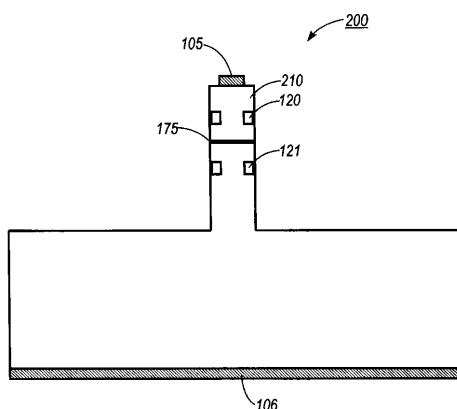
【図 1 b】



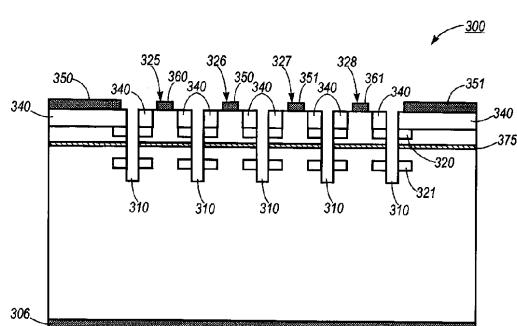
〔 図 1 d 〕



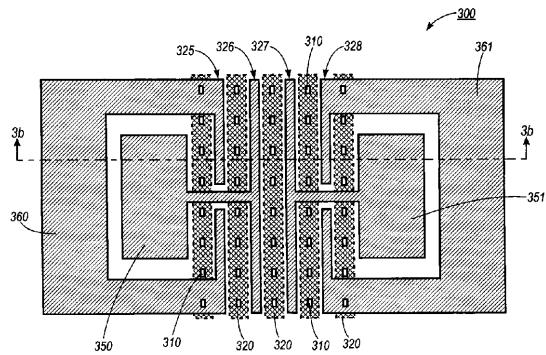
【 図 2 】



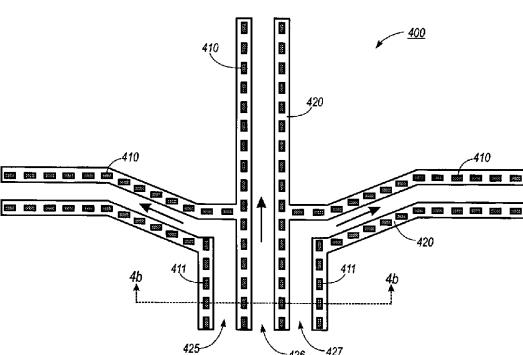
【図3b】



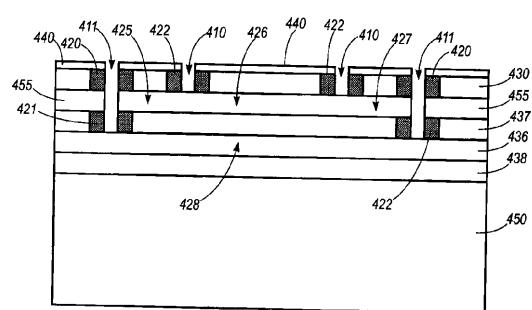
【図3a】



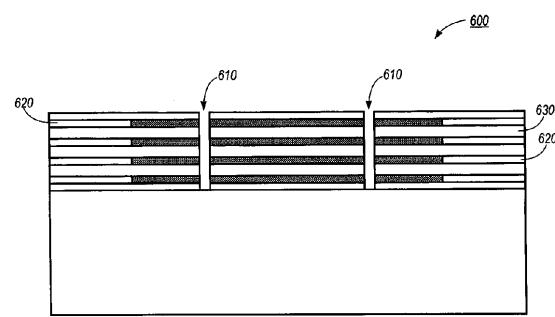
【図 4 a】



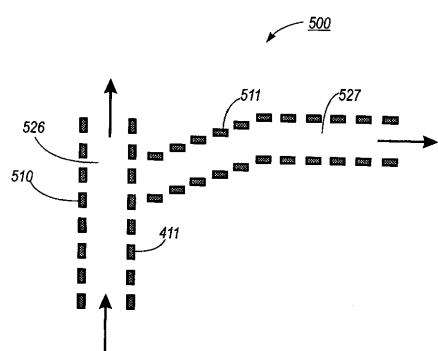
【図4b】



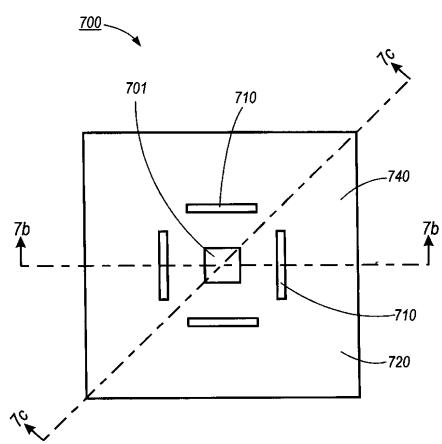
【図6】



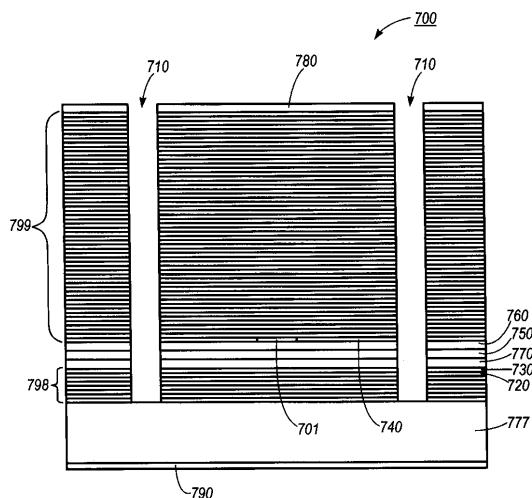
【図5】



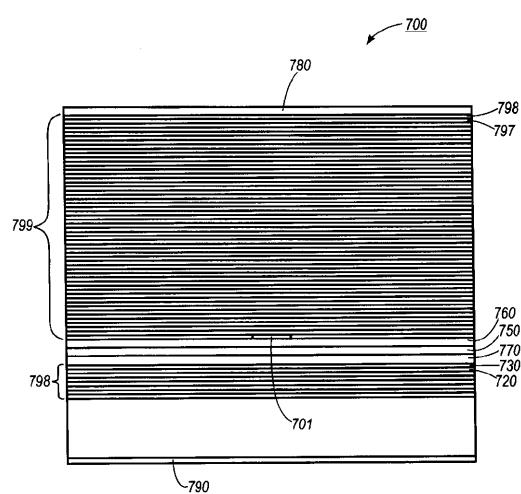
【図7a】



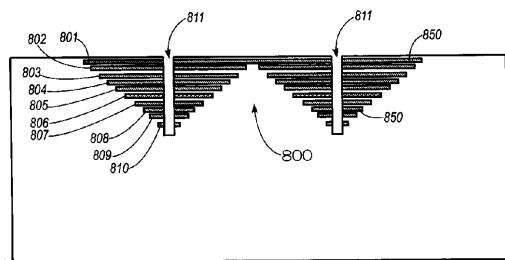
【図7b】



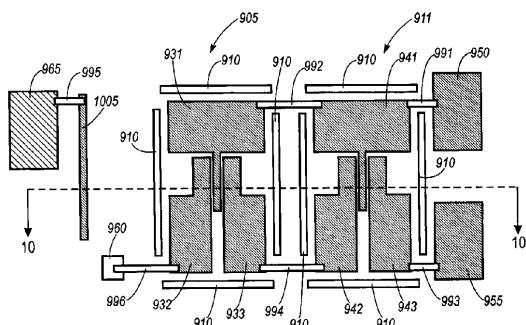
【図 7 c】



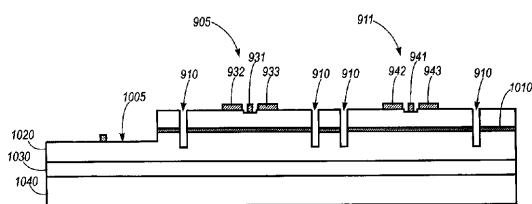
【図 8】



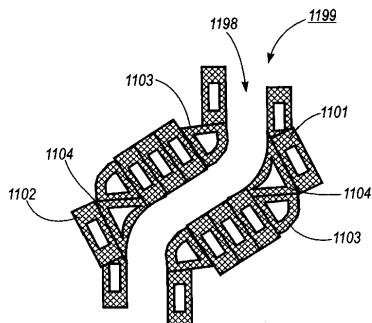
【図 9】



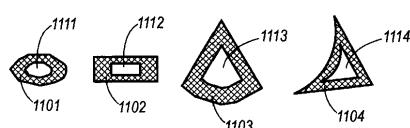
【図 10】



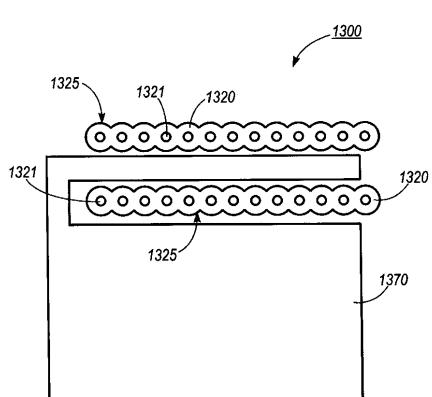
【図 12】



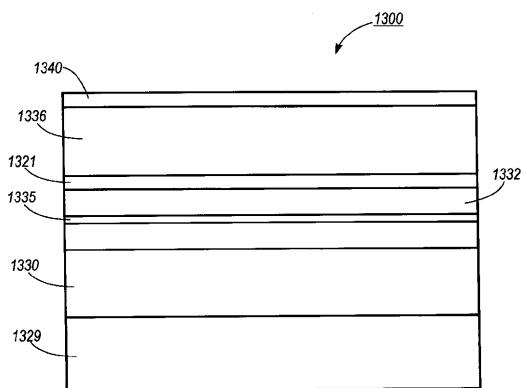
【図 11】



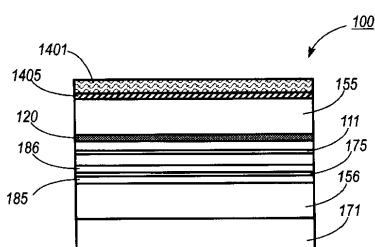
【図 1 3 a】



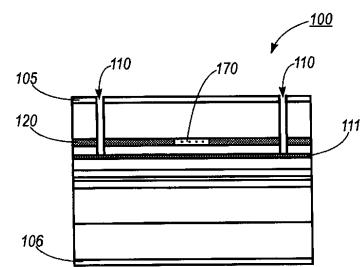
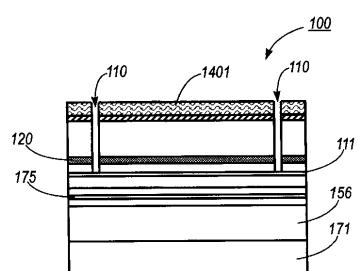
【図 1 3 b】



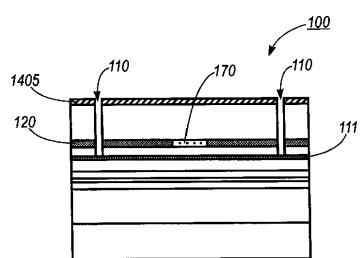
【図 1 4 a】



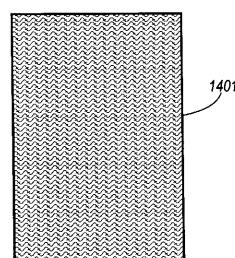
【図 1 4 b】



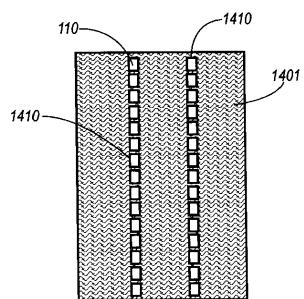
【図 1 4 c】



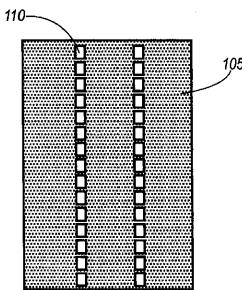
【図 1 4 d】



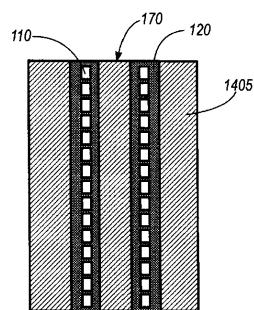
【図 1 5 b】



【図 1 5 d】



【図 1 5 c】



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 クリストファー エル チュア
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95123 サン ホセ キュリー ドライブ 636

(72)発明者 フィリップ ディー フロイド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94086 サニーヴェイル ヴィセント ドライブ 12
51 アパートメント 103

(72)発明者 トーマス エル パオリ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94022 ロス アルトス サイプレス ドライブ 42
0

(72)発明者 ディカイ サン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94024 ロス アルトス サンライズ コート 130
0

審査官 古田 敦浩

(56)参考文献 米国特許第05896408(US, A)
米国特許第05978408(US, A)
特開平11-183735(JP, A)
特開平11-087837(JP, A)
米国特許第05719891(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01S 5/00 - 5/50
G02B 6/12 - 6/14