

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-173802

(P2007-173802A)

(43) 公開日 平成19年7月5日(2007.7.5)

(51) Int. Cl.

**H01S 5/183 (2006.01)**

F I

H01S 5/183

テーマコード (参考)

5 F 1 7 3

審査請求 有 請求項の数 20 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2006-331418 (P2006-331418)  
 (22) 出願日 平成18年12月8日 (2006.12.8)  
 (31) 優先権主張番号 60/751,519  
 (32) 優先日 平成17年12月19日 (2005.12.19)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 11/441,372  
 (32) 優先日 平成18年5月25日 (2006.5.25)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 501195658  
 エムコア・コーポレーション  
 アメリカ合衆国08873ニュージャージー  
 州サマーセット、ベルモント・ドライブ  
 ・145  
 (74) 代理人 100082005  
 弁理士 熊倉 禎男  
 (74) 代理人 100067013  
 弁理士 大塚 文昭  
 (74) 代理人 100086771  
 弁理士 西島 孝喜  
 (74) 代理人 100109070  
 弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

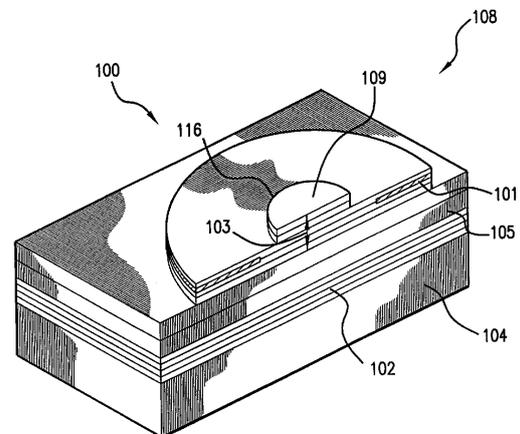
(54) 【発明の名称】 光学式マウスのための単一モードV C S E Lの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 上側メサ構造体の選択的パターニングにより形成された、モード制御を伴うV C S E Lを提供すること。

【解決手段】 上面及び底面を有する基板と、基板の上面に配置された交互の屈折率の第1ミラー層スタックと、第1スタック上に配置された活性層とを有する表面発光レーザである。表面発光レーザはまた、活性層上に配置された交互の屈折率の第2ミラー層スタックと、活性層とは反対側の第2スタック側において第2スタックの中央部から外方に延びる表面発光レーザの光学的開口部を形成する第2スタックの減少された直径のミラー延長部とを有する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

表面発光レーザであって、  
上面及び底面を有する基板と、  
前記基板の上面に配置された交互の屈折率の第 1 ミラー層スタックと、  
前記第 1 スタック上に配置された活性層と、  
前記活性層上に配置された交互の屈折率の第 2 ミラー層スタックと、  
前記活性層とは反対側の前記第 2 スタック側において前記第 2 スタックの中央部から外方に延びる前記表面発光レーザの光学的開口部を形成する、前記第 2 スタックの減少された直径のミラー延長部と、  
を備えた表面発光レーザ。

10

## 【請求項 2】

前記ミラー延長部の底部の周りに配置された環状コンタクトをさらに備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 3】

前記ミラー延長部がさらに、非ドープ分散型ブラッグリフレクタを備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 4】

前記ミラー延長部がさらに、誘電体分散型ブラッグリフレクタを備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

20

## 【請求項 5】

前記ミラー延長部がさらに、4 乃至 5 マイクロメートルの直径を有することを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 6】

前記ミラー延長部がさらに、約 0.2 乃至 1.5 マイクロメートルの高さを有することを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 7】

前記ミラー延長部がさらに、円筒形状の領域を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 8】

前記レーザが、電流閉じ込めのための注入領域を含むゲイン・ガイド注入型 VCSEL であることを特徴とする請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

30

## 【請求項 9】

前記第 2 ミラー層スタックの逆位相層上に p - コンタクト層を配置することをさらに含む、請求項 1 に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 10】

表面発光レーザであって、  
上面及び底面を有する基板と、  
前記基板の上面に配置された交互の屈折率の第 1 ミラー層スタックと、  
前記第 1 スタック上に配置された活性層と、  
前記活性層上に配置された交互の屈折率の第 2 ミラー層スタックと、  
を備え、第 1 直径を有する前記第 2 ミラー層スタックは前記活性層に隣接し、遠位端における第 2 の減少された直径まで段階的に変化することを特徴とする表面発光レーザ。

40

## 【請求項 11】

前記第 1 直径から前記第 2 直径に段階的に変化する表面において前記第 2 ミラー層スタックの周りに配置された環状コンタクトをさらに備えたことを特徴とする請求項 9 に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 12】

前記第 2 の減少された直径内のミラー層がさらに、非ドープ分散型ブラッグリフレクタを備えたことを特徴とする請求項 9 に記載の表面発光レーザ。

50

## 【請求項 13】

前記第2の減少された直径内のミラー層がさらに、誘電体分散型ブラッグリフレクタを備えたことを特徴とする請求項9に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 14】

前記第2の減少した直径が4乃至5マイクロメートルであることを特徴とする請求項9に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 15】

前記第2の減少した直径内の前記ミラー層が、約0.2乃至1.5マイクロメートルの高さを有することを特徴とする請求項9に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 16】

前記第2の減少した直径内の前記ミラー層がさらに円筒形状の領域を備えたことを特徴とする請求項9に記載の表面発光レーザ。

10

## 【請求項 17】

前記レーザが、電流閉じ込めのための注入領域を含むゲイン・ガイド注入型VCSELであることを特徴とする請求項9に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 18】

前記第2ミラー層スタックの逆位相層上にp-コンタクト層を配置することをさらに含む、請求項9に記載の表面発光レーザ。

## 【請求項 19】

表面発光レーザであって、  
 上面及び底面を有する基板と、  
 前記基板の上面に配置された交互の屈折率の第1ミラー層スタックと、  
 前記第1スタック上に配置された活性層と、  
 前記活性層上に配置された交互の屈折率の第2ミラー層スタックと、  
 を備え、第1直径を有するミラー層の第1部分を有する前記第2ミラー層スタックが前記活性層に隣接し、ミラー層の第2部分は遠位端において第2の減少された直径を有することを特徴とする表面発光レーザ。

20

## 【請求項 20】

前記第2部分に隣接して位置する前記第1部分のミラー層の周辺部の外面上にp-コンタクトを配置することをさらに含む、請求項19に記載の表面発光レーザ。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、垂直キャビティ表面発光レーザ（VCSEL）に関し、より詳細には、上側メサ構造体の選択的パターニングにより形成された、モード制御を伴うVCSELに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

典型的なVCSEL構成は、基板ウェハの表面上に互いに積み重ねて配置された2つのミラー間に活性領域を有する。ミラー間の絶縁領域が、電流を小さい穴に通して流させ、デバイスがウェハ表面（すなわち、VCSELの「垂直」部）に対して垂直にレーザを放出する。1つのタイプのVCSEL、特に、絶縁領域がプロトン注入により形成されるプロトン型VCSELが、VCSELの初期の商業的歴史の主体であった。酸化物誘導型VCSELにおいては、絶縁領域は、ミラー構造体内の薄い高アルミニウム含有層の部分的酸化により形成される。この同じ酸化プロセスは、光電子式デバイス及び純粋な電子デバイスの両方を製造するために他の半導体構造体に適用することができる。

40

## 【0003】

垂直キャビティ表面発光レーザ（VCSEL）は、ストレージ・エリア・ネットワーク（SAN）アプリケーション及びローカル・エリア・ネットワーク（LAN）アプリケーションにおいて用いられるトランシーバのためのレーザ技術の選択肢となっている。VC

50

S E Lを製造するための2つの主な技術プラットフォームが存在する。これらのプラットフォームの違いは、イオン注入か又は酸化物層による閉じ込めかのいずれかによる、異なる電流閉じ込め技術に基づいている。V C S E Lにおける電流閉じ込め構造体を形成する2つの方法は、イオン注入と選択的酸化である。イオン注入技術においては、イオンを上側反射層の一部に注入して高抵抗領域を形成し、それにより電流の流れを定められた領域に閉じ込める。選択的酸化技術においては、メサ構造体の周辺領域を酸化させ、それにより高抵抗領域によって囲まれた開口部を画定する。

#### 【0004】

より具体的には、選択的酸化法においては、高抵抗領域となるA L G a A s層を上側リフレクタの下部に付着させた後に、得られた構造体をエッチングして、ウェハ上に個々のV C S E Lを形成する。次に、ウェハを酸化雰囲気中に所定の時間だけおいて、A l A s層の周辺部に蒸気を拡散させる。その結果、酸化物絶縁層が、電流の流れを制限する高抵抗領域として周辺部に形成され、それにより高抵抗領域によって囲まれた開口部が形成される。

10

V C S E Lの開口部を形成する際の酸化性物質の拡散速度は、酸化性物質の拡散に用いられる炉の温度、酸化時間、及び炉に供給される酸素の量に対して非常に敏感である。高い再現性を要求する大量生産の際には、及び特定の寸法の開口部を形成する際には、拡散速度の変動は深刻な問題である。

注入型V C S E Lは、非常に信頼できるものであることが証明されている。しかしながら、注入型V C S E Lの作動速度は、普通は、2 G b / 秒より低い作動速度を要求する用途のために制限される。酸化物型V C S E Lは、より高い速度(23 G b / 秒より高くに実証される)及びより高い効率を含む、多くの優れたV C S E L性能特性を与える。しかしながら、酸化物型V C S E Lを用いるS A N及びL A N用途の分野での時間は、注入型V C S E Lほど長くはない。

20

#### 【0005】

現在市販されている10 G b / 秒V C S E Lの電磁波伝搬設計は、縦方向すなわち成長方向(z軸)に単一モードであり、横方向すなわち成長方向に対し垂直な方向(r平面)にマルチモードである。z軸に沿った活性半導体層の厚さは、単一光学モードのみがレーザー・ゲイン・ピークに結合されるように設計される。r平面においては、許容される横方向モードは酸化物開口部の寸法によって決まる。特徴を決定付ける別のモードは、メサの中央から半径方向外側を見ることであり、酸化物開口部による層の平均屈折率の約5%の段階的減少が存在する。この屈折率の変化は、横方向モードの屈折率ガイドをもたらす。

30

#### 【0006】

選択的酸化型V C S E Lにおいては、発光領域の直径(非選択的酸化領域の直径にほぼ対応する)が出力パワーを増加させる目的で拡大される場合には、V C S E Lは、種々のオーダーの振動をもたらす、すなわち、いわゆるマルチモード振動をもたらす。マルチモード振動においては、スペクトル線幅が広くなり、光ファイバがモード分散性を有し、それによりファイバ内の信号の減衰が増加する、すなわち、モード状態が不安定になり、したがって、注入電流量の変化及び環境温度の変化によって振動モードのメインオーダーが容易に変化する。モード・オーダーの動的変化は、ファイバとの結合効率を変化させるため好ましくない。

40

#### 【0007】

多数の横方向モードに起因するモード不安定性の問題を回避するために、従来技術において多くの手法が提案されている。米国特許第6,990,128号は、横方向モード振動を制御する多くのこうした手法を説明しており、それを引用によりここに組み入れる。最低オーダー(0オーダー)の基本モードにおける振動のみを保証する第1の手法は、発光領域の直径を小さくすることによるものである。しかしながら、V C S E Lの発光領域の直径が典型的に4 μ mに又はそれより小さく(前述のプロトン注入型V C S E Lの直径より小さく)減少されるときには、これらのV C S E Lは、高い要素抵抗を有し、したがって高い出力パワーを生成することができない。横方向モードを安定にすることは、V C

50

S E L が光ファイバに光学的に結合されるときに信号が減衰するのを防止するための重要な要件である。さらに、電気光学的特性を改善する必要がある。

【0008】

優れた発光効率と高い応答性能を有する選択的酸化型 V C S E L における横方向モードを安定にすることと、抵抗を減少させ出力パワーを増加させることの相反する目的を同時に実現するためのアイデアのなかには、I E E E P h o t o n i c s T e c h n o l o g y L e t t e r s 第11巻、第12号、p 1 5 3 6 - 1 5 3 8 ( 図 1 3 参 照 ) において開示された構造体を有する V C S E L がある。この例においては、発光領域の直径は、20  $\mu$ m ほどの大きさであるが、レーザ光を放出する電極開口部の内側は、開口部の中央から半径 7.75  $\mu$ m の領域を除いて 40 nm の深さにまでエッチング除去される。発光領域の直径が 20  $\mu$ m ほどの大きさであるので、表面処理がない場合には、注入電流量に従って振動モードのオーダーが変化し、それにより遠距離場像 ( f a r - f i e l d i m a g e ) が変化することが観測され、対照的に、孔を有する表面発光半導体レーザは、光出力 0.7 mW までの基本モードをもたらすが、そのレベルを上回る電流が注入されたときには、モードが分割して遠距離場像を徐々に広げる。

10

【0009】

前述の V C S E L の目的は、基本モードにおける光出力パワーを改善することである。しかしながら、孔を有する表面発光半導体レーザの最大光出力パワーは 10.4 mW であり、一方、基本モードにおける出力パワーは、たったの 0.7 mW である。表面処理がない場合の最大出力パワーが 17.9 mW であることを考慮に入れると、前述の従来技術の構成は、横方向モードを安定にすることと同時に大きい光出力パワーをもたらすことは非常に困難であることを明らかに示す。

20

【0010】

これに関して、モードを制御するための種々の他の V C S E L 構造体が提案されている。例えば、米国特許第 5,940,422 号は、異なるフィルム厚さの 2 つの領域を形成することによりモード制御が行われる V C S E L を開示している。米国特許第 5,940,422 号においては、付加的なフィルムが配置される領域のみが発光領域となる。本発明の目的は、V C S E L においてもたらされる特定の振動を考慮することにより位置を決定するのではなく、発光スポットの位置を人為的に決定することであると考えられる ( 例えば、1 つの好ましい実施形態として説明される 5 つの発光スポットをもたらす振動モードは、自然界には存在しない ) 。

30

【0011】

さらに、米国特許第 5,963,576 号は、環状導波管を有する V C S E L を開示している。特に、本発明は、発光スポットが「高解像度スポット」をもたらすように環状領域に規則的に配置され、決められたオーダーの特定の振動モードを必ずしも故意にもたらし必要はないモードを提供する。

I E E E P h o t o n i c s T e c h n o l o g y L e t t e r s 、第 9 巻、第 9 号、p 1 1 9 3 - 1 1 9 5 は、ミラー反射率が局所的に変化するようにエッチングすることによりポストの上面に円形キャビティが形成される構成を有する V C S E L を開示している。この文献は、モード抑制効果をもたらすために、このデバイスのスペクトル線幅が、キャビティをもたないデバイスのスペクトル線幅の半分に減少されることを報告している。しかしながら、電流注入量が増加するのに伴って、振動スペクトルが変化することが観測される。これは、特定の振動モードが常に支配的であるわけではない、言い換えれば、モードが安定していないことを明らかに示す。

40

【0012】

さらに、E l e c t r o n i c s L e t t e r s 、第 3 4 巻、第 7 号、p 6 8 1 - 6 8 2 ( 1 9 9 8 年 4 月 ) は、エッチングによりポストの上面に円形キャビティが形成され、キャビティの外周部に環状発光領域が形成される構成を有する V C S E L を提案している。これは、非常に高オーダーの ( 3 0 番オーダーより大きい ) モードがもたらされ、同時に発光スポットの強度における大きな変動が存在する、近距離場パターンから明らかで

50

ある。これは、30 μmほどの大きさの内径の環状領域に一樣な電流を注入するのは難しいことを示す。したがって、実用化のための安定な高オーダー振動モードを得るために、VCSELの改善のための余地がある。

#### 【0013】

前述のように、マルチモード型光ファイバの光源として期待されるVCSELに関しては、VCSEL技術における従来技術は、横方向モードを安定化させ、高い出力パワー、低い抵抗、高い効率、及び高速応答を有する要件を満たすデバイスを提供することができない。

米国特許第6,990,128号は、単一モードVCSELを製造する方法を開示している。しかしながら、これがサポートする単一モードは、基本モードではなく高オーダー横方向モードである。

10

米国特許第6,990,128号は、共振器を提供することを記載し、発光領域が形成される第1領域と、活性層と、第1反射層と第2反射層との間に活性層を挟むように形成された第2反射層とを有し、発光領域が、特定の振動モード以外の振動モードの発光を抑制するための境界領域、特に、境界領域により実質的に分割されて特定の振動モードに対応する発光スポットをもたらす複数の分割領域を含む、構造体を開示する。

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0014】

こうした設計の欠点は以下のとおりである。

20

1. 単一モードがほとんど抑制されるので、デバイスの全出力パワーは低い。米国特許第6,990,128号の図5は、L1カーブ「孔あり」及び「孔なし」を示す。全出力パワーは、ほとんど50%だけ減少され、L1カーブは、モード選択が用いられたときに低い駆動電流においてロールオーバーする。したがって、低い出力パワーは、こうした設計を使用するいずれかのオプティカル・リンクの長さをも制限する。

2. 前述の特許(例えば、図3A、図3B、図7A、図7B、図8A、図8B...)に詳述されるように、単一の高オーダーモードを選択するために、レーザの製作の際に複雑かつ正確なパターンが用いられなければならない。さらに、前述の特許は、酸化物開口部へのパターンの位置合わせがデバイス性能にどのように影響を及ぼすかを説明していない。

30

#### 【0015】

3. デバイスは意図的に単一モードであるので、単一モード・レーザのような単一モード・ファイバと共に用いられたときのモード分散を無くするという利点を有する。しかしながら、マルチモード・ファイバ又はマルチモード導波管が用いられるときには、単一モード・レーザは、ファイバ内を伝搬する間のモード混合に起因する著しいジッターの不利益を被る。マルチモード・ファイバにおいて単一モード・レーザを用いるときには、システムにコストと複雑さを付加するレーザ発射状態を精密に制御することが重要である。単一モード・レーザに伴う第2の基本的問題は、光学系をレーザ・キャビティに結合することからの背面反射である。単一モードが存在するので、背面反射はレーザを不安定にし、信号にジッターを付加する。この問題への産業標準の解決策は、レーザと結合光学系との間に光アイソレータを挿入すること(これはシステムにコストと複雑さを付加する)か、又はレーザ・パワーをキャビティ内の干渉が問題にならないレベルに制限すること(しかしながら、パワー制限のために、これはこのデバイスを用いることができる用途を制限する)のいずれかである。

40

#### 【0016】

VCSELにおける横方向モードのより詳細な分析及び説明がこの時点で有用であろう。横方向モードは、酸化物開口部中心モード(ACM)及び酸化物開口部縁モード(AEM)の2つのクラスにグループ分けすることができる。酸化層による光学的散乱のために、ACMは常にAEMよりも低い固有損失を有することになる。結果として、ACMは、低い閾値ゲインを有し、それらはAEMより前にレーザを放出し、閾値近くのレーザ放出

50

を支配する。しかしながら、透明なコンタクトがレーザ放出開口部をカバーする場合を除き、注入電流は、酸化物開口部の外側から開口部の中心に向けて移動する半径成分を常に有する。この半径電流注入のために、閾値よりもかなり上では、AEMモードがレーザ放出を支配することになる。閾値より上では、誘導放出のためにキャリア寿命が劇的に低下する。その結果、キャリア拡散距離が減少し、それらはもはや開口部の中心に到達することができない。

#### 【0017】

狭いスペクトル幅を達成することの難しさは、酸化物開口部のサイズを選択することに固有のトレードオフに起因する。より小さい開口部は、許容される横方向モードの数を減少させるが、デバイスの信頼性に関する多数の問題を有する。第1に、デバイス抵抗は開口部直径の二乗に反比例する。この見地から、最小開口部サイズは、ドライバに合致するインピーダンスにより設定される。第2に、ESD損傷閾値もまた、開口部直径の二乗に反比例する。ESD閾値を下げることにより、製造プロセスにコスト及び複雑さが付加され、フィールド故障のリスクが増加する。第3に、磨耗信頼性は、電流密度の二乗に比例する。定電流において、磨耗寿命は、開口部直径の4乗に逆比例する。第4に、熱インピーダンスは、開口部直径に逆比例する。より小さいデバイスは、より高い注入温度を有し、したがって減少した磨耗寿命を有する。第5に、より小さい開口部はより高い割合の酸化AlGaAsを要求し、それはレーザにおける機械的歪みを増加させる。

10

#### 【0018】

従来技術のVCSELにおける別の問題は、駆動電流及び周囲温度に対するスペクトル幅の敏感さである。これらの影響は、ACM及びAEM間の競合と、酸化物開口部のサイズのために存在する横方向モードの数との両方に起因する。駆動電流が増加するのに伴って、より多くの高損失AEMが閾値に達する。したがって、レーザのSWは駆動電流と共に増加する。低温では、レーザの全体的損失が減少し、より多くのAEMが閾値に達する。したがって、SWはまた、温度の減少に伴って増加する。

20

さらに別の問題は、レーザが変調される際のACM及びAEMモードの交互支配に起因する、マルチモードVCSELの変調の際のモード競合に起因する、ジッター及びアンダースhootの問題である。AEMモードと比較すると、ACMモードは電流変調にゆっくり応答する。第1に、キャリアは、開口部の中心に到達するのにより遠くに拡散しなければならない。第2に、AEMモードは、酸化物開口部による散乱に起因する付加的な損失を有する。最終的には、レーザが変調される際に光学的モードが駆動電流を良好に追跡することを可能にする光学的寿命が減少する。

30

本発明より以前に、長い伝送距離にわたる高いデータ転送速度の用途に適した、狭いスペクトル幅を有する商業上実用的な酸化型VCSELはなかった。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0019】

本発明の目的は、横方向モードにわたる改善されたモード制御を伴う半導体レーザ・デバイス構造体を提供することである。

本発明の別の目的は、狭いスペクトル幅を有する改善された垂直キャビティ表面発光レーザ(VCSEL)を提供することである。

40

本発明のさらに別の目的は、モード制御を有し、駆動電流及び周囲温度に対してあまり敏感でない、改善されたVCSELを提供することである。

本発明のさらに別の目的は、モード制御のために上側ミラー層の一部が除去されたメサを有するVCSEL構造体を提供することである。

本発明のさらに別の目的は、VCSEL構造体の放出領域の一部を除去するためのエッチング・プロセスを提供し、それにより、モード制御と、狭いスペクトル幅を有するVCSELデバイスの一貫した製造、試験及び信頼性を提供することである。

#### 【0020】

簡単に言えば、及び大まかには、本発明は、上面及び底面を有する基板と、基板の上面に配置された交互の屈折率の第1ミラー層スタックと、第1スタック上に配置された活性

50

層と、活性層上に配置された交互の屈折率の第2ミラー層スタックと、活性層とは反対側の第2スタック側において第2スタックの中央部から外方に延びる表面発光レーザの光学的開口部を形成する第2スタックの減少された直径のミラー延長部と、を備えた表面発光レーザを提供する。

#### 【0021】

別の態様においては、本発明はまた、基板を用意し、基板上に第1並列ミラー・スタックを形成し、第1並列ミラー・スタック上に活性層及びスペーサ層を形成し、活性層及びスペーサ層上に第2並列ミラー・スタックを形成し、第2並列ミラー・スタックをエッチングしてメサ形状の構造体を定め、メサ形状の構造体を酸化してメサに電流閉じ込め中央領域を形成し、メサ構造体の中央領域の一部を第2並列ミラー・スタックの一部まで除去することを含み、垂直キャビティ表面発光レーザを製造する方法を提供する。

10

#### 【0022】

本発明の1つの態様は、酸化物開口部のサイズから多くの許容される横方向モードを切り離し、それにより抵抗に関連する問題及び小さい開口部に関連する信頼性問題を回避する。

本発明の別の態様は、AEMを抑制し又は減少させて半径電流注入に起因するモデル競合を最小にし又は無くすことである。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0023】

本発明の例示的な態様及び実施形態を含む本発明の詳細をここで説明する。図面及び以下の説明を参照すると、同様の又は機能的に類似した要素を特定するために同じ参照番号が用いられ、それらは例示的な実施形態の主な特徴を非常に単純化された概略的な形で説明することを意図されている。さらに、図面は、実際の実施形態の全ての特徴を描写することも、描写された要素の相対的寸法を尺度どおりに描くことも意図されていない。

20

図1aを参照すると、従来技術において公知の酸化物閉じ込めVCSELの半導体構造体の断片的な断面図である。特に、VCSEL100は、第1ミラー・スタックを形成する第1半導体領域102と第2ミラー・スタックを形成する第2半導体領域103との間に定められたレーザ・キャビティ領域105を含む。半導体領域102及び103は、典型的にp型ガリウム砒化物とすることができる基板104上に配置される。キャビティ領域105は、1つ又はそれ以上の活性層（例えば量子井戸又は1つ又はそれ以上の量子ドット）を含む。活性層は、AlInGaAs（すなわちAlInGaAs、GaAs、AlGaAs、及びInGaAs）、InGaAsP（すなわちInGaAsP、GaAs、InGaAs、GaAsP、及びGaP）、GaAsSb（すなわちGaAsSb、GaAs、及びGaSb）、InGaAsN（すなわちInGaAsN、GaAs、InGaAs、GaAsN及びGaN）又はAlInGaAsP（すなわちAlInGaAsP、AlInGaAs、AlGaAs、InGaAs、InGaAsP、GaAs、InGaAs、GaAsP、及びGaP）から形成することができる。他の量子井戸層組成物を用いても良い。活性層は、一对のスペーサ層106、107の間に挟むことができる。第1及び第2スペーサ層106、107は、アルミニウム、ガリウム及び砒化物からなり、活性層の材料組成に応じて選択される。適切な駆動電流がVCSEL100に適用されることを可能にするために電気コンタクトが構造体に設けられる。

30

40

#### 【0024】

基板104は、GaAs、InP、サファイア（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）又はInGaAsから形成することができる。非ドープ、n型ドープ（例えばSiにより）又はp型ドープ（例えばZnにより）とすることができる。VCSEL100が形成される前にバッファ層を基板104上に成長させることができる。図1の例示的な図においては、第1及び第2ミラー・スタック102、103は、レーザ光がVCSEL100の上面から放出されるように設計され、他の実施形態においては、ミラー・スタックは、レーザ光が基板104の底面から放出されるように設計される。

#### 【0025】

50

作動時に、作動電圧が電気コンタクトに適用されて半導体構造体内に電流の流れが生じる。電流は、半導体構造体の中央領域を通して流れ、結果としてキャビティ領域105の中央部分においてレーザ放出する。周囲酸化物領域101又はイオン注入領域、或いはその両方によって定められた閉じ込め領域は、キャリア及びフォトンの横方向の閉じ込めを提供する。閉じ込め領域の比較的高い電気抵抗率は、電流を導かせ、半導体構造体の中央に配置された領域に流すことになる。特に、酸化物VCSELにおいては、フォトンの光学的閉じ込めは、キャビティ領域105において発生したフォトンガイドする屈折率プロファイルに起因する。キャリア及び光の横方向閉じ込めは、活性領域内のキャリア及びフォトンの密度を増加させ、活性領域内の光の発生効率を増加させる。

幾つかの実施形態においては、閉じ込め領域101は、VCSEL100の中央領域を取り囲んで、好ましくはVCSEL電流がその中を通して流れる開口部を定める。他の実施形態においては、酸化物層をVCSEL構造体における分散型ブラッグリフレクタの一部として用いることができる。

10

#### 【0026】

第1及び第2ミラー・スタック102及び103は、各々、分散型ブラッグリフレクタ(DBR)を形成する異なる屈折率材料の交互層のシステムを含む。材料は、所望の作動レーザ波長(例えば650nmから1650nmの範囲内の波長)に応じて選択される。例えば、第1及び第2ミラー・スタック102、103は、高アルミニウム含有量のAlGaAs及び低アルミニウム含有量のAlGaAsの交互層から形成することができる。第1及び第2ミラー・スタック102、103の層は、作動レーザ波長の約1/4である有効光学的厚さ(すなわち層の厚さに層の反射率をかけたもの)を有することが好ましい。

20

第1ミラー・スタック102は、金属-有機化学気相成長法(MOCVD)又は分子線エピタキシャル法(MBE)のような従来のエピタキシャル成長法とその後のエッチングによって形成することができる。

#### 【0027】

第1ミラー・スタック102、活性層105及び第2ミラー・スタック103が完成すると、構造体がパターン形成されて1つ又はそれ以上の個々のVCSELが形成される。当該技術分野では周知の方法のいずれかにより第2ミラー・スタック103の上面にフォトレジスト材料層が形成される。メサ108又はトレンチ(図1bに示される)のいずれかの位置及びサイズを定めるためにフォトレジスト層が露出され、材料が除去される。メサ108又はトレンチは、ドライ又はウエット・エッチ・プロセスのような当該技術分野では公知のいずれかの適切な手段によりミラー・スタック103をエッチングすることによって形成される。典型的なドライ・エッチ・プロセスは、塩素、窒素及びヘリウムイオンを使用し、ウエット・エッチ・プロセスは、硫酸又はリン酸エッチを使用する。メサの実施形態においては、メサは、直径が25から50ミクロンの範囲とすることができ、又は好ましくは約40ミクロンであり、基板の表面上の高さが約3から約5ミクロンとすることができ、図1bに示されるトレンチの実施形態においては、トレンチは、ほぼメサ形状に周りを完全に延び、ほぼメサ形状を定める。両方の実施形態において、メサはほぼ円形の断面を有する。

30

40

#### 【0028】

処理手順の終了時には、窒化ケイ素(SiNx)のような誘電体材料層がVCSEL100の全表面上に付着され、開口部がメサ形状の構造体108の上面の中にエッチングされて、発光領域109とほぼ一致し、発光領域109を定める。透明な金属コンタクト層が発光領域に付着され、メサ形状の構造体108の上に続いて電気コンタクト・ウィンドウを定め、外部電気コンタクトのための十分な表面を与える。一般に、使用される透明な金属は、インジウム・スズ酸化物(ITO)、カドミウム・スズ酸化物などである。必要であれば、層の上に付加的な従来の金属を付着させることができる。電気コンタクト・ウィンドウは、基本的に上側並列ミラー・スタック内の電流分布を制御することに注意されたい。

50

## 【0029】

図1bは、関連するVCSELミラーの構造体内の薄い高アルミニウム含有層の部分的酸化により形成することができる絶縁領域を含む、米国特許出願公開2003/0219921号又は米国特許第6,628,694号に表されるような従来技術では公知の別のVCSEL100の斜視図を示す。図1bは、図1aに示されたメサ型構造体108とは対照的に、トレンチ200によって囲まれた酸化物分離VCSEL100の概略的断面図を表す。図1bに示されるように、VCSEL100は、一般に、発光開口部109と、孔を形成する酸化物又はイオン注入閉じ込め領域101と、活性領域105とを含む。

## 【0030】

図2は、本発明に係るメサ型酸化物閉じ込めVCSELの半導体構造体の断片的な断面詳細図である。ほぼ円筒形の減少された直径のミラー延長部116が第2ミラー・スタック103の上部層に提供される。 10

ミラー延長部116を用いるキャビティ内手法は、VCSEL100の直列抵抗を減少させ、それにより電流注入を改善する。ミラー延長部116は、所望の作動温度及び電流範囲にわたる単一モード作動を保證する光学的開口部を与える。

光学的開口部のサイズは、電流開口部より小さくなるように設計され、それにより高オーダーのモードが空間的に抑制される。電流注入を最適化することにより、空間的ホール・バーニング効果を最小にして、広い作動電流及び温度範囲にわたる単一モード動作を維持することができる。横方向の光学的閉じ込めは横方向の電流閉じ込めから切り離されるので、より大きい酸化物開口部と共に単一モード動作を達成することができる。これは、より信頼できる、より高い静電放電(ESD)/電気オーバーストレス(EOS)ダメージ閾値を有するデバイスを与える。 20

## 【0031】

ミラー・スタック103の逆位相層においてpコンタクト層111(図3B-図3F)を変位させて、より高オーダーの横方向モードの区別を強化することができる。光学的開口部109は、上部ミラー103の一部であり、ICPドライ・エッチングにより形成される。光学的開口部における自由キャリア吸収を減少させるために、ミラー延長部116に非ドープDBR(又は誘電体DBR)を用いても良い。或いは、下側コンタクト層ドーピング及び薄いコンタクト層を用いても良い。

ミラー延長部116の直径及び高さは、基本モードの光学的エネルギーのみが光学的開口部109に結合されることを保證するために、それぞれ4乃至5ミクロン及び0.2乃至1.5ミクロンのオーダーとなるように選択することができる。したがって、損失の増加のために高オーダーの横方向モードが抑制され、電流注入が改善される。 30

## 【0032】

デバイス100の電流開口部は、酸化層によって閉じ込められ、そしてまた必要であれば注入プロセスと適合することができる。光学的開口部のサイズは、基本モードの空間的分布と同じスケールであるので、電流開口部を10ミクロンまで増加させることができる。一般的に用いられる4ミクロン又はそれより小さい酸化物VCSELと比べると、ESD電圧制限も著しく改善することができる。デバイス100を形成するプロセスはまた、同じチップ上にESD保護ダイオードを提供することと適合し、それによりパッケージ化及びダイ・ハンドリングのためのESD制御要件を緩和させる。 40

## 【0033】

ここでVCSELデバイス100の製造に移ると、図3Aは、本発明に係る第1処理ステップにおける、メサ108の周辺側壁を酸化して構造体に電流閉じ込め中央領域を形成した後の半導体構造体の断片的な断面詳細図である。メサ108は、発光領域109を有するほぼ平坦な上面を有する。

図3Bは、本発明に係る単一の第2プロセス・ステップにおける、デバイスの両側を基板まで、そしてまたメサ構造体108の上側外方縁までエッチングしてメサ構造体108の中央領域にミラー延長部116を形成した後の半導体構造体の断片的な断面詳細図である。エッチングは、DI水で希釈したHFによるエッチングのようなウエット・エッチン 50

グ・プロセスによって行われることが好ましい。或いは、 $CI/CH_4$ 反応性イオン・エッチング(RIE)又は反応性イオン・ビーム・エッチング(RIBE)のようなドライ・エッチング・プロセスを同様に用いても良い。

#### 【0034】

好ましい実施形態においては、ミラー延長部116を除き、デバイスの両側のエッチングは、第1ミラー・スタック103の一部、及び第2ミラー・スタック102の一部を通して延びる。デバイス100の両側での基板までのエッチングは、後のステップに示されるように基板との電氣的コンタクトを形成する目的のためである。

さらに好ましい実施形態においては、ミラー延長部116は、最初にICPEッチングによる第1ステップにおいて定められる。ミラー延長部116が作成された後で、第2処理ステップとしてミラー延長部116の側壁及び上部109をSiNxで被覆することができる。

第3処理ステップとして、再びICPDライ・エッチングを用いることによりメサ108を定めることができる。第4処理ステップとして、酸化により電流開口部を定めることができる。

#### 【0035】

図3Cは、本発明に係る第3プロセス・ステップにおいて、構造体にn及びpオーム・コンタクトを付着した後の半導体構造体の断片的な断面詳細図である。pコンタクト111は、メサ108のショルダの表面とのオーム電氣コンタクトを形成する実質的に環状のリング(図4に示される)である。nコンタクト112は、基板104とのオーム電氣コンタクトを形成する環状セグメント(図4に示される)である。

図3Dは、本発明に係る第4プロセス・ステップにおける、構造体の一部の上にポリイミド層113を付着した後の図3Cの半導体構造体の断片的な断面詳細図である。ポリイミド層113は、典型的には、ウェハ上に4乃至6ミクロンの厚さまでスピン・オンされ、熱硬化され、当該技術分野では公知のリソグラフィ・プロセスを用いてパターン形成されて、n及びpオーム・コンタクト111及び112、並びに発光開口部109を露出する。

#### 【0036】

図3Eは、本発明に係る第5プロセス・ステップにおける構造体上の金属結合パッド層114及び115の付着後の、図4に示されたE-E平面を通る図3Dの半導体構造体の断片的な断面詳細図である。層114は、n-オーム・コンタクト111との電氣コンタクトを形成し、層115は、p-オーム・コンタクト112との電氣コンタクトを形成する。

図3Fは、本発明に係る第5プロセス・ステップにおける構造体上の金属結合パッド層の付着後の、図4に示されたF-F平面を通る図3Dの半導体構造体の断片的な断面詳細図である。層115は、図面の左側においてp-オーム・コンタクト112と電氣コンタクトを形成し、層115の別の部分が、図面の右側においてp-オーム・コンタクト112との電氣コンタクトを形成するように示されている。

#### 【0037】

図4は、本発明に係る第5プロセス・ステップにおいて、構造体上に金属結合パッド層114及び115を付着した後の図3E及び図3Fの半導体構造体の平面図である。

前述の要素及びプロセス・ステップの各々は、又はその2つ又はそれ以上は共に、前述のタイプとは異なる他のタイプの構成の有用な用途を見出すことができる。

本発明は、VCSELデバイスのための半導体構造体、及びこうした構造体を形成する方法において具体化されるものとして図示され説明されてきたが、本発明の精神から多少なりとも逸脱することなく種々の修正及び構造的変化を加えることができるので、本発明は図示された詳細に限定されることを意図されていない。

さらなる分析なしに、上記のことは、他者が、現在の知識を適用することにより、従来技術の観点から本発明の一般的又は特定の態様の本質的特徴を公正に構成する特徴を省くことなく本発明を種々の用途に容易に適応させることができる本発明の概要を十分に明ら

10

20

30

40

50

かにするであろうし、したがって、こうした適応は、特許請求の範囲の請求項の均等物の意味及び範囲内に包含されるべきであり、そうであることを意図されている。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1A】従来技術では公知の酸化物閉じ込めVCSELのための半導体構造体の拡大された断片的な断面図である。

【図1B】従来技術では公知のイオン・トレンチ型VCSELのための半導体構造体の拡大された断片的な断面図である。

【図2】本発明に係るメサ型酸化物閉じ込めVCSELのための半導体構造体の拡大された断片的な断面図である。

【図3A】本発明に係る第1処理ステップにおいて構造体の上側周辺側壁をエッチングして構造体の中央領域にミラー延長部を形成した後の半導体構造体の断片的な断面詳細図である。

【図3B】本発明に係る後続の処理ステップにおいて側壁をエッチングしてメサ構造体を形成し、側壁を酸化させて電流開口部を形成した後の半導体構造体の断片的な断面詳細図である。

【図3C】本発明に係る第3処理ステップにおいて構造体にn及びpオーム・コンタクトを付着させた後の半導体構造体の断片的な断面詳細図である。

【図3D】本発明に係る第4プロセス・ステップにおいて構造体の一部の上にポリイミド層を付着させた後の半導体構造体の断片的な断面詳細図である。

【図3E】本発明に係る第5プロセス・ステップにおいて構造体に金属結合パッド層を付着させた後の図6に示されたE-E平面を通る半導体構造体の断片的な断面詳細図である。

【図3F】本発明に係る第5プロセス・ステップにおいて構造体に金属結合パッド層を付着した後の図6に示されたF-F平面を通る半導体構造体の断片的な断面詳細図である。

【図4】本発明に係るVCSEL半導体構造体の上面図である。

【符号の説明】

【0039】

100：VCSEL

102：第1ミラー・スタック

103：第2ミラー・スタック

104：基板

105：レーザ・キャビティ領域

108：メサ

109：光学的開口部

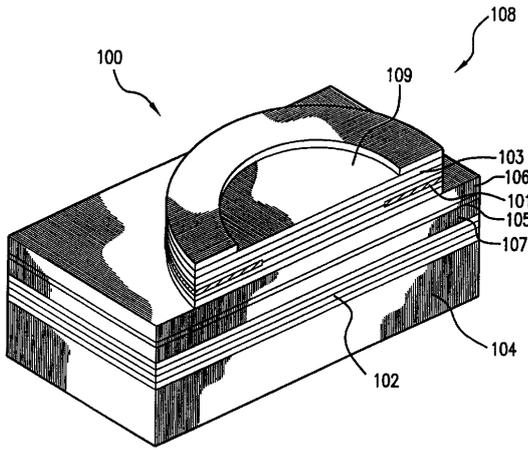
116：ミラー延長部

10

20

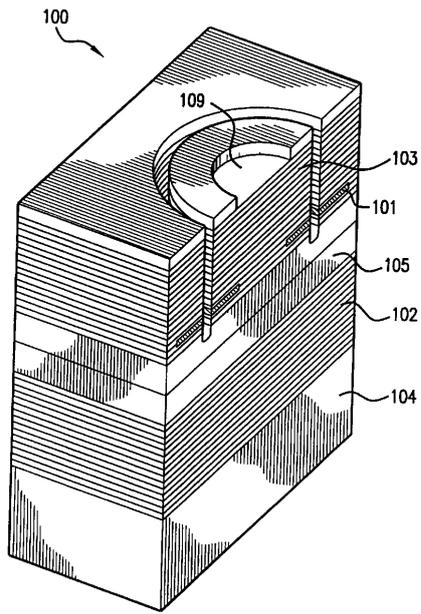
30

【図 1 A】



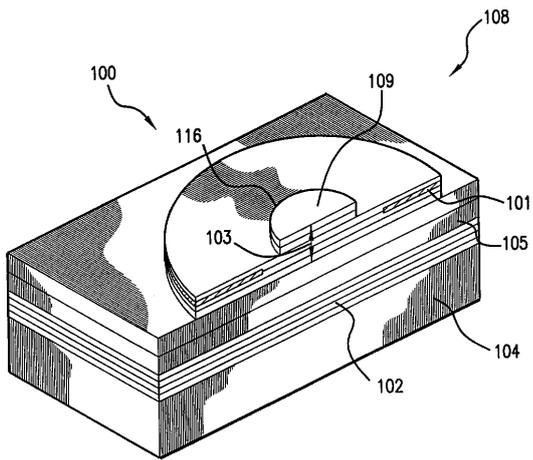
従来技術

【図 1 B】

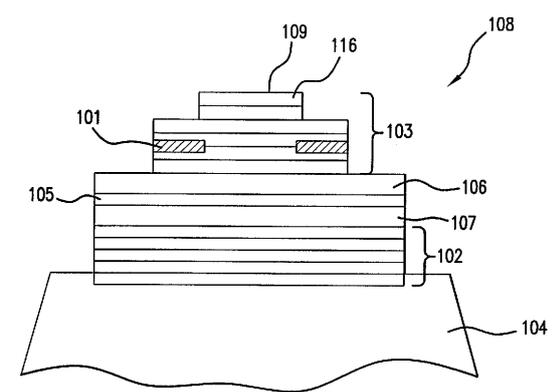


従来技術

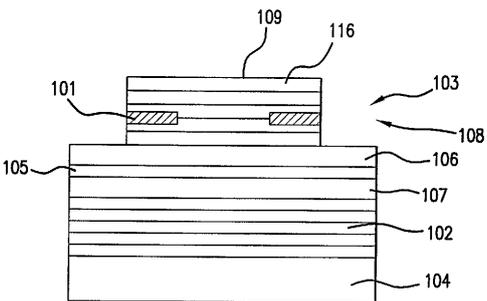
【図 2】



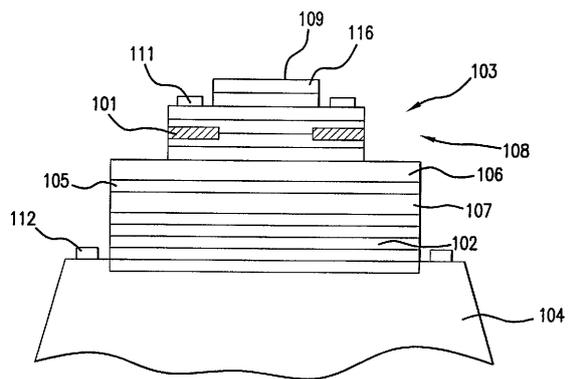
【図 3 B】



【図 3 A】



【図 3 C】





---

フロントページの続き

(72)発明者 ダグラス コリンズ

アメリカ合衆国 ニューメキシコ州 8 7 1 2 3 アルバカーキー サウスイースト リサーチ  
ロード 1 0 4 2 0

(72)発明者 ナイン イ リー

アメリカ合衆国 ニューメキシコ州 8 7 1 2 2 アルバカーキー ノースイースト ウィルシャ  
ー アベニュー 9 9 7 5

F ターム(参考) 5F173 AC03 AC13 AC26 AC35 AC42 AC44 AC52 AG22 AH03 AH04

AH14 AH28 AK05 AK22 AL15 AL21 AP32 AP33 AP67 AP79

AR04 AR33 AR61 AR75