

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-517705

(P2012-517705A)

(43) 公表日 平成24年8月2日(2012. 8. 2)

(51) Int.Cl.

H01S 5/183 (2006.01)

F1

H01S 5/183

テーマコード (参考)

5F173

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2011-549434 (P2011-549434)
 (86) (22) 出願日 平成22年1月22日 (2010. 1. 22)
 (85) 翻訳文提出日 平成23年9月28日 (2011. 9. 28)
 (86) 国際出願番号 PCT/DK2010/050015
 (87) 国際公開番号 W02010/091688
 (87) 国際公開日 平成22年8月19日 (2010. 8. 19)
 (31) 優先権主張番号 61/151, 631
 (32) 優先日 平成21年2月11日 (2009. 2. 11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 09153659.9
 (32) 優先日 平成21年2月25日 (2009. 2. 25)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 511195736
 ダンマークス テクニスク ユニバーシテ
 ット
 デンマーク王国 リンビー デーコー 2
 800 バイニング 101エー、アンカ
 ー エンゲルズヴェイ 1
 (74) 代理人 100102978
 弁理士 清水 初志
 (74) 代理人 100102118
 弁理士 春名 雅夫
 (74) 代理人 100160923
 弁理士 山口 裕孝
 (74) 代理人 100119507
 弁理士 刑部 俊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ハイブリッド垂直キャビティレーザー

(57) 【要約】

本発明はシリコンプラットフォーム(3)上の光回路に対して光源(2)を提供する。垂直レーザーキャビティが、上部ミラー(4)と基板上のシリコン層内の格子領域(11)内に形成された底部格子ミラー(12)との間に配置された利得領域(101)によって形成される。格子領域(11)から光を受けるための導波路(18, 19)が格子領域内に形成されるか、または格子領域に接続され、垂直キャビティレーザー(VCL)に対する出力カップラとして機能する。これによって、垂直レーザー発振モード(16)が、シリコン層内に形成された面内導波路の横方向面内モード(17, 20)に結合され、例えばシリコンのSOIまたはCMOS基板上の光回路に光を供給することができる。

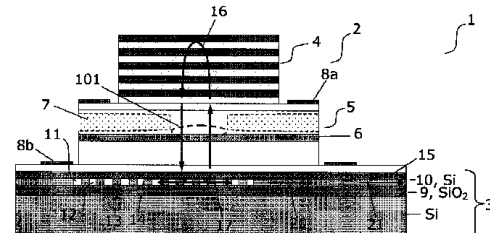


Fig. 1A

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコンプラットフォームの底部格子ミラーを用いて、シリコンプラットフォーム上に垂直キャビティレーザ(VCL)構造をハイブリッド化する方法であって、

III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合(out-coupling)ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含む層構造を提供する工程；

より低い屈折率の層によって支持されているシリコン層内に格子領域を形成する工程であって、該格子領域が、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1次元(1D)または2次元(2D)の周期的屈折率格子を含む、工程；

前記シリコン層内に導波路を形成する工程であって、該導波路は、格子領域から導波路への光の横方向出力結合を容易にするように配置されている、工程；および

前記層構造を前記格子領域上に配置する工程であって、前記層構造と前記格子領域との間にシリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層を設けることを含み、これによって、前記周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して、上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成する、工程を含む、前記方法。

【請求項 2】

VCLにおいてレーザ発振を開始させ、かつVCLキャビティから格子領域の横方向モードへと光を結合させる工程をさらに含む、請求項1記載の方法。

【請求項 3】

前記シリコン層内に形成された導波路が、格子導波路(grating waveguide, GWG)を含み、格子領域の横方向モードから該GWGの導波モードへと光を結合させる工程をさらに含む、請求項2記載の方法。

【請求項 4】

前記シリコン層内に形成された導波路が、格子領域の外側に形成された集積化平面型の屈折率コントラスト導波路(index contrast waveguide, ICWG)を含み、格子領域から該ICWGの導波モードへと光を結合させる工程をさらに含む、請求項2または3記載の方法。

【請求項 5】

前記VCLキャビティの有効キャビティ長 d_{eff} 、および、ひいては、レーザ波長が、層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層の厚さを制御することによって制御される、請求項1から4のいずれか一項記載の方法。

【請求項 6】

前記VCLの光利得領域の位置が、格子領域上の層構造に従って規定される、請求項1から5のいずれか一項記載の方法。

【請求項 7】

- III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含む層構造；

- より低い屈折率の層によって支持されているシリコン層内に形成された格子領域であって、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；

- シリコン層の格子領域の上に設けられ、シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層；

ここで、前記層構造は、周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成するように、前記格子領域の上に配置され、該底部格子ミラーはまた、VCLキャビティのモードの光を格子領域の面内モードへと結合することを容易にし、および

- シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路を含む、ハイブリッド化された垂直キャビティレーザ(VCL)構造。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

前記層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層が、層構造上に形成された酸化物層である、請求項7記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 9】

前記層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層が空気を含み、前記層構造が1つまたは複数のメサを含み、その結果、層構造が格子領域の上に配置された場合にエアギャップとなる、請求項7記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 10】

前記シリコン層内に形成された導波路が、シリコン層内に形成された格子導波路(GWG)を含み、該GWGが、格子領域からGWGへの光の結合を容易にするように配置されている、請求項7から9のいずれか一項記載のハイブリッド化されたVCL構造。

10

【請求項 11】

前記GWGの形状が、該GWG内のモードのモード分散が周期的屈折率格子内のモードのモード分散に類似するか、または周期的屈折率格子内のモードのモード分散に断熱的に変換されるように設計されている、請求項10記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 12】

前記シリコン層内に形成された導波路が、

格子領域の外側のシリコン層内に形成され、かつ格子領域からICWGへの光の結合を容易にするように配置された集積化平面型の屈折率コントラスト導波路(ICWG)を含む、請求項7から11のいずれか一項記載のハイブリッド化されたVCL構造。

20

【請求項 13】

- より低い屈折率を有する層によって支持されているシリコン層；
- シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；
- 垂直に入射した光を反射しかつ垂直に入射した光を格子領域の面内モードに結合させるための格子ミラーを形成する、格子領域の少なくとも一部；および
- シリコン層内に形成され、かつ格子領域の面内モードから導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路；

を含む、横方向導波路を有するシリコンベースの格子ミラー。

【請求項 14】

30

層構造および該層構造を収容するためのシリコン層であって、

- 該層構造が、III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含み、

- 該シリコン層が、より低い屈折率の層によって支持され、かつ該シリコン層は、

- ・ シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；および

- ・ シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路

を含み、

40

前記層構造または前記格子領域のうちの少なくとも1つは、層構造が格子領域上に配置された場合に、格子領域の上にシリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する層を提供する構造を備えるか、またはそのような構造を含む、前記層構造およびシリコン層。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の分野

本発明は、成熟したシリコン処理技術に対応したシリコンプラットフォーム上の光回路に光を供給することに関する。特に、本発明は格子ミラー垂直キャビティレーザーの使用

50

によってそのような回路に光を供給することに関する。

【背景技術】

【0002】

発明の背景

小型で効率的な電氣的にポンピングされた光源をシリコンベースの光回路内に集積化することが難しいことは良く知られている。

【0003】

Gunnは、この難しさについて述べ、集積化されていない外部レーザー源から光を供給するという解決法を提案している(Photonics Spectra March 2006, pp.62-67(非特許文献1))。光は、光ファイバを通して集積化されたホログラフレンズに導かれ、これによって集積化された導波路に結合される。この手法は面倒な位置合わせとそれに続くパッケージングが必要であるという欠点を有している。

10

【0004】

Fangらは、端面発光型の電氣的にポンピングされたAlGaInAs-シリコンエバネッセントレーザーアーキテクチャについて述べている(Optics Express 14, p.9203(2006)(非特許文献2))。この構造はシリコンオンインシュレータ(SOI)基板にウェハ接着され、レーザーキャビティは下のSOI基板内のシリコン導波路によってのみ規定される。端面発光レーザーによる解決法は光回路への結合を容易にするが、一方で電力消費が比較的高く、非本質的なシングルモード制御であるという欠点がある。

20

【0005】

そのため、シリコンプラットフォーム上に光源を集積化するという改良手法が有利であり、特に、光回路へのより効率的および/または信頼性に優れた光供給方法が確立されれば有利である。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】Photonics Spectra March 2006, pp.62-67

【非特許文献2】Optics Express 14, p.9203(2006)

【発明の概要】

【0007】

30

本発明の目的は先行技術に代わる新しい技術を提供することにある。

【0008】

特に、本発明の目的としては、光を光回路に供給する方法に関して先行技術における上述の問題を解決する方法とハイブリッド垂直キャビティレーザー(ハイブリッドVCL)とを提供することであると考えられる。

【0009】

したがって、本発明の第1の局面において、上述の目的および他の複数の目的が、シリコンプラットフォームの底部格子ミラーを用いてシリコンプラットフォーム上に様々なハイブリッドVCL構造を作成する方法を提供することによって達成されることを意図しており、この方法は、

40

III-V族材料で形成された活性領域と高反射性の上部ミラーとを含む層構造を提供する工程と、

シリコン層より低い屈折率を有する層によって支持されたシリコン層内に格子領域を形成する工程であって、該格子領域が、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層より低い屈折率を有する領域とによって形成された1次元(1D)または2次元(2D)の周期的屈折率格子を含む、工程と、

シリコン層内に導波路を形成する工程であって、該導波路は、格子領域から導波路への光の横方向出力結合(lateral out-coupling)を容易にするように配置され、これは、格子領域内に形成する、および/または、例えば隣接させるなどして格子領域に結合することによって得られうる、工程と、

50

格子領域の上に層構造を配置する工程であって、層構造と格子領域との間にシリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する層を設けることを含み、これによって周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して、上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成する、工程と

を含む。導波路は、VCLキャビティに対して横方向に配置され、かつVCLに対する出力結合導波路として機能することが好ましい。

【0010】

以下、多くのさらなる局面、好ましい特徴、および/または任意の特徴、構成要素、構成例、および実施例について説明する。1つの態様または局面に関連して記述された特徴または構成要素は、適用可能であれば他の態様または局面に結合または適用され得る。例えば、あるハイブリッドVCL構造に関連して適用された構造的および機能的特徴は、適切な変更によってハイブリッドVCL構造のための方法に関連する特徴として使用されることもあり、その逆もあり得る。また、発明者によって実現された本発明の基本メカニズムの説明は、説明目的のために提示されたものであり、本発明を演繹するための事後的解析に使用してはならない。

【0011】

高い反射率を有する上部ミラー、活性領域、および底部格子ミラーを含む構造は「格子ミラー垂直キャビティレーザ(GMVCL)構造」とも、および、底部格子ミラーつき、または底部格子ミラーを用いて形成された、VCL構造とも呼ばれる。本明細書においては、これらの呼び方の意味するところは同じである。また、高反射率の上部ミラーと活性領域とを含むが底部格子ミラーを含まない層構造は、場合によって異なるが、「部分的VCL構造」または単に「層構造」と呼ばれている。

【0012】

ハイブリッドVCL構造は光を面内導波路に対して横方向に放射し、一方、垂直キャビティ面発光レーザ(VCSEL)は光をミラー表面から空中へと垂直方向に放射する。したがって、ハイブリッドVCLは、出力カップラとして機能しないように高い反射性を有する上部ミラー、III-IV族材料で形成された活性領域、および上部ミラーとともにVCLキャビティを作成する高反射率の底部格子ミラーを形成するシリコンベースの格子領域、さらにVCLキャビティからシリコン基板内の外部光回路に光を放射させるための横方向導波路を含む。

【0013】

2次元(2D)格子ミラーを用いた先行技術によるVCSELの例は、例えばUS2007/0201526に見ることができる。この構造は本発明の構造といくつかの点で異なっている。その1つは、端部ミラーの1つを出力カップラとして機能するように反射率を低くして、レーザー光の表面放射を可能にしていることである。さらに、US2007/0201526では2D格子構造を保持する層内に、光を横方向に出力するための面内導波路を備えていない。とはいうものの、この技術は似ているので、本明細書全体にわたってVCSEL技術への広範な言及がなされる。本発明は、成熟したVCSEL技術を適用して、概して著しい低消費電力性、優れたシングルモード特性、およびモード制御性を有するため有利である。さらに、VCSEL技術の利用により簡易なパッケージングの適用が可能となっている。

【0014】

部分的VCL構造の中で光学および電氣的閉じ込め状態を得る方法はハイブリッド化プロセスにおける位置合わせの余裕度を大きくする、すなわち、底部格子ミラー上の部分的VCL構造の精密な位置決めに依存しない、または、言い換えれば、底部格子ミラーは、光学および電氣的閉じ込め状態を得るために寄与しないし、重要な役割もない。

【0015】

上部ミラーは、上部放射型のVCSELでは普通である出力結合ミラーとしては使用されないため、VCSELの通常の出力結合ミラーより高い反射率を有する。上部ミラーはできるだけ100%に近い反射率、例えばドーピングがない場合は99.95%より高い反射率を有することが望ましい。上部ミラーとしては、分布ブラッグ(Bragg)リフレクタ(DBR)、格子ミラー、

10

20

30

40

50

これら2つの混合、または任意の他のタイプのリフレクタ等が使用可能である。上部ミラーは、活性領域上にエピタキシャル成長させる、活性領域にウェハ接着する、または活性領域上に堆積する等の方法で形成することができ、これらの選択は材料、および光学的および電氣的閉じ込め状態を得る方法に依存して決められる。

【0016】

本発明は、VCLキャビティを構成する底部リフレクタとして、および、入射光を面内導波路に導くためのルータまたはカップラとして格子ミラーを使用している。高い反射率を有する格子ミラーは、反射のメカニズムによって2つのタイプに大別される。1つは、反射プロセスに入射光が垂直方向に伝搬する自由空間モードと格子の横方向に伝搬するフォニックバンドギャップ(PBG)モードとの共振結合が含まれるタイプであり、もう1つはこれ 10
が含まれないタイプである。どちらのタイプも100%に近い反射率を提供することができるが、リフレクタとルータ/カップラの両方として機能するのはPBGモードが含まれるタイプのみであり、したがって本発明では、好ましくはこのタイプが使用される。この格子ミラータイプにおいては、自由空間モードで入ってくる光は格子で回折され、回折された光の一部は好ましくは (ガンマ)ポイント低速光PBGモード(gamma-point slow light PBG mode)に結合され、PBGモードの光は格子の中を横方向に伝搬して行き、最後に結合して自由空間モードに戻る。この結合プロセスは共振の原因となることがある。内部に面内導波路が存在しない場合、または格子ミラーに接続されている場合、この共振結合プロセスは10 20
0%に近い反射率を実現することができる。出力結合導波路が内部に形成されているか、格子ミラーに接続されている場合、格子のPBGモードは導波路モードへの結合が容易であり、これによって例えば最新技術のホログラフィック格子カップラの結合効率に比肩する約-3dBという高効率なルーティングと結合が可能となる。しかし、PBGモードを伴わない他のタイプの格子ミラーでは、自由空間モードの光は格子内で回折されるがPBGモードとの強い結合が行われないため、ルーティング効率は低い。

【0017】

面内出力結合導波路とも呼ばれる導波路は、シリコン層内に形成され、好ましくは格子領域内に格子導波路(grating waveguide, GWG)と格子領域の外側に屈折率コントラスト導波路(index contrast waveguide, ICWG)を構成する。GWGはPBGモードからICWGモードへの光の抽出を容易にするための中間導波路として働く。GWGのトポロジーおよびGWGとICWGとの接続部を最適化することにより、ルーティング効率を-3dB超に高めることが可能である 30
。横方向導波路を有する底部格子ミラーは約99.5%の反射率と-3dBのルーティング効率を有していることが好ましい。この反射率の値は一般的なVCSELの垂直出力ミラーの反射率と同程度である。

【0018】

格子ミラーのルーティング機能は、一般的な格子カップラの結合機能とはまったく異なっている。本発明の格子ミラーにおいては、入射光の極めて微小な一部が面内導波路に導かれ、入射光の大部分は反射される。例えば、格子ミラーが99.5%の反射率を持ち、ルーティング効率が-3dBである場合は、入射光の99.5%が反射され、0.25%が導波路に出力される。対照的に、最新のホログラフィック格子カップラにおいては、-3dB、すなわち入射光の50%が導波路に結合される(Photonics Spectra March 2006, pp. 62-67)。 40

【0019】

PBGモードとの共振結合を伴う高反射率格子ミラーと面内出力カップラとを、導波路が格子領域内に形成された形態、または格子領域に接続された形態で組み合わせた点に本発明の新規性がある。これまでに報告された、本発明と類似に見える格子構造のほとんどは、本発明の格子ミラーとは、構造的形状、機能、または反射プロセス(低速光モードの関与)において異なっている。例えば、

- ・US2007/0153860, I.-S. Chung et.al. (IEEE Photonic. Tech. Lett. 20, 1041(2008))
- 、およびWO 2005/089098では、反射は低速光PBGモードとの共振結合を伴わない；
- ・US2000/6031243では、格子がリフレクタとして働かない；
- ・US2007/0201526では、格子ミラーは横方向出力のために接続される導波路を有しておら 50

ず、低速PBGモードは分散図内の（ガンマ）ポイントから遠く離れている；

・R. Jones らの報告 ("Grating based hybrid silicon lasers", Proceedings of SPIE, vol.7230, pp. 72300U-1)では、格子はレーザー周波数を選択するために用いられており、リフレクタとしても、またルータとしても機能していない；

・H. Wuらの報告 ("Ultra broadband SOI binary blazed grating mirror", 5th IEEE International Conference on Group IV Photonics, pp. 299-301)では、格子は表面格子であり、すなわち格子の底部はより低い屈折率の材料によって支持されているわけではない。したがって、その反射率は99%を超えることはなく、レーザー発振には不十分である。

【0020】

本発明は特に、多くの先行技術の解決法よりも位置合わせ誤差に敏感でない方法でシリコンプラットフォーム上でのハイブリッド化が可能なハイブリッドVCL構造を用いて光回路に光を供給するのに有利であるが、これに限定されるものではない。本発明は、異なった部品の組み立てに際してより簡便な、したがってより安価な位置合わせ法を提供するため有利である。

【0021】

本発明はまた、1次元(1D)または2次元(2D)のパッシブ格子、および好ましくは格子導波路にも適用可能であることでも有利である。2D格子と格子導波路は、他の文献ではそれぞれ、フォトリソグラフィック結晶(PhC)、およびフォトリソグラフィック結晶導波路(PhCWG)と呼ばれることがある。混乱を避けるために、ここでは以後、PhCおよびPhCWGをそれぞれ2D格子、およびGWGと呼ぶことにする。

【0022】

ハイブリッド化とは、異なった種類または品種の部品を組み合わせることで混成体を作成することである。本明細書では、元素周期律表の第III族と第V族の材料から形成された構造体（以後、III-V族材料と呼ぶ）を物理的および機能的に第IV族材料で形成された構造体と接続させることを意味するものとする。同様に、ハイブリッド化された構造とは、第IV族材料で形成された構造体を第III-V族材料で形成された構造体に接続させた構造体、またはその逆の構造体を指すものとする。接続は、通常ウェハ接着技術で行われるが、部分的VCL構造の第III-V族活性領域をシリコンベースの格子領域にウェハ接着するという方法が好ましい。対象となる適用に対して適切であれば、他の接続技術の利用も可能である。

【0023】

以下では、ハイブリッド化されたVCLという用語は、高反射率の上部ミラーと活性領域（第III-V族材料）とを含む層構造が格子領域（第IV族材料）に接続されることによって得られる構造を意味するものとする。この接続の確立により、VCL（格子領域が底部ミラーを提供）、および上記の定義に従ったハイブリッド化された構造の両方が構成される。しかし、この分野において他の確立された用語との適合性を確実にするために、「ハイブリッドVCL」は、これが格子ミラーを用いて行われるという指定のもとに「ハイブリッドVCL構造」とも呼ぶことにする。本明細書での意味において、これらは同じ意味を有する。

【0024】

当業者であれば理解できるように、シリコン層は、基板上に配置された、異なる層レベルにあってもよい複数の個別のシリコン層部分であってもよい。また、シリコンは現在の技術では好ましい方法ではあるが、本発明にかかわるシリコン部分を、類似の性質を示すIV族材料の混合体、または高屈折率材料のような他のIV族材料で置き換えることも可能である。

【0025】

第2の局面において、本発明は以下を含むハイブリッド化されたVCL構造を提供する：

- 第III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず好ましくは99.95%より高い反射率を有する高反射率の上部ミラーとを含む層構造；および
- より低い屈折率の層によって支持されたシリコン層内に形成された格子領域であって、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；

- シリコン層の格子領域の上に設けられ、シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層；

(ここで、前記層構造は、周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成するように、前記格子領域の上に配置され、該底部格子ミラーはまた、VCLキャビティの横方向モードの光を格子領域の面内モードに結合することを容易にする)、および

- シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路。

【0026】

第3の局面は、第2局面からの、しかし単独で供給される格子領域を有するシリコンベースの基板に関する。したがって、第3の局面においては、本発明は、以下を含む横方向導波路を有するシリコンベースの格子ミラーを提供する：

- より低い屈折率を有する層によって支持されているシリコン層；
- シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；
- 垂直に入射した光を反射しかつ垂直に入射した光を格子領域の面内モードに結合させるための格子ミラーを形成する、格子領域の少なくとも一部；および
- シリコン層内に形成され、かつ格子領域の面内モードから導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路。

【0027】

低屈折率層のような、格子領域の上に形成された層はすべてレーザーの波長に対して透明である。例えば、レーザーの波長は1.1、1.3、および1.55 μm をとることができる。

【0028】

デバイスの製造プロセス中に、格子ミラーの反射率は、格子の設計、すなわち厚さ、周期性、空気充填率、および格子のパターン形状等を変えることによってリソグラフィによって調節することができ、一方、GMVCLのレーザー波長は、シリコン格子の上の低屈折率層の厚さを変えることによって調節することができる。

【0029】

第4の局面では、第2の局面からの部分的VCL構造と格子領域を有する基板とが個別の、未組立て状態の構造として一緒に提供される。したがって、第3の局面では、本発明は第2の局面で説明されたような部分的VCL構造と第2の局面で説明されたシリコン層とを提供するが、接続された構造ではなく組み立て用キットとして提供する。

【0030】

追加として、または代替的に、第4の局面は、層構造と該層構造を収容するためのシリコン層とを提供することができ、

- 該層構造は、III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず、100%に近い、例えば99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含み、
- 該シリコン層は、より低い屈折率の層によって支持され、かつ該シリコン層は、
 - ・ シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；お

よび

- ・ シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路

を含み、

前記層構造または前記格子領域のうちの少なくとも1つは、層構造が格子領域上に配置された場合に、格子領域の上にシリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する層を提供する構造を備えるか、またはそのような構造を含む。

【0031】

ある態様においては、格子領域内のGWGを省略して、結合が、周期的反射率格子の面内PBGモードから、屈折率コントラスト導波路のような、格子領域の外側に形成された導波路

に直接行われるようにすることが可能である。しかし、これは結合効率を低下させる可能性がある。

【0032】

この方法の一態様は、VCLキャビティから格子領域の面内PBGモードへの光の結合を含むことが好ましい。これにより、ハイブリッド化された構造はシリコン層内で面内格子モードに光を効率的に供給する機能に役立ち、これはシリコンプラットフォーム上の光回路に光を供給するのに有利となる。

【0033】

ICWGへの光結合は、格子領域内に形成されるのが好ましい中間GWGを通して容易になる。この態様においては、この方法の一態様は、さらに格子領域の面内PBGモードからシリコン層、好ましくは格子領域内に形成されたGWGの導波路モードへの光結合を含むことが好ましい。このような配置は、VCLが光を放射するときに現われる、底部格子ミラー内でのGWGモードとVCLキャビティモードとの間の部分的オーバーラップを確実にすること、およびGWGモードのモード分散がPBGモードの分散と同様になるか、またはPWGモードのモード分散に断熱的に変換されるようにGWGの形状を設計することによって実現することができる。

10

【0034】

GWGのトポロジジーおよびGWGとICWGとの接続部を最適化することは、モード結合/ルーティング中の望ましくない散乱損失をさらに減少させて全体のルーティング効率を高めるために好ましいことがある。

20

【0035】

VCLの光利得領域の規定は、シリコン層上の部分的VCL構造の配置後に行うことがさらに好ましい。これにより、光利得領域を、組み立て後に、典型的にはそれ以降は相対的な移動がなくなるウェハ接着後に、周期的屈折率格子との好ましい重なりを有するように規定することができるという利点を得られる。これは、組み立て時に位置合わせ精度を気にしなくともよくなることを意味している。VCLの光利得領域の位置の決定には、VCLの活性領域内の区切られた部分に電荷を導くための電流開口部またはそれに類似の部分の規定することが含まれる。

【0036】

本発明は、シリコンプラットフォーム上の光回路に対して安価でコンパクトかつ効率的な方法で光源を提供する。本発明の基本的考え方は、標準的なVCSEL技術に基づいて上部ミラーと活性領域との間、および基板上的シリコン層内に形成された屈折率格子ミラーとしての底部ミラーとの間に垂直レーザーキャビティを形成することである。シリコン層内の格子ミラーは、格子ミラー内の反射プロセスが垂直共振モードの格子ミラーの面内PBGモードへの変換を含むように設計される。面内PBGモードの面内導波路への結合を提供することによって、光を例えばSOI/CMOS基板上的面内光回路に供給できるようになる。すべての製造プロセスで、成熟したIII-V VCSEL技術とシリコン技術を用いることができる。

30

【0037】

本発明のこれらの局面、およびその他の局面は、本明細書に記述された態様に関連する以下の説明から明らかであろう。

40

【図面の簡単な説明】

【0038】

以下、本発明の態様を、対応する図面を参照しながらより詳細に説明する。図面は本発明の1つの実施例を示しているに過ぎず、添付の特許請求の範囲に含まれる他の可能な態様に限定されると解釈されるべきではない。

【0039】

【図1A】本発明の態様よりSOI基板上にハイブリッド化されたVCLの概略図である。図1Aは、横から見た組み立て構造を示す。

【図1B】本発明の態様よりSOI基板上にハイブリッド化されたVCLの概略図である。図1Bは、上から見たSOI基板を示し、導波路のさらなる最適化および異なる態様の領域を示し

50

ている。

【図1C】本発明の態様よりSOI基板上にハイブリッド化されたVCLの概略図である。図1Cは、上から見たSOI基板を示し、導波路のさらなる最適化および異なる態様の領域を示している。

【図1D】本発明の態様よりSOI基板上にハイブリッド化されたVCLの概略図である。図1Dは、上から見たSOI基板を示し、導波路のさらなる最適化および異なる態様の領域を示している。

【図2】光モード閉じ込め、および利得/電氣的閉じ込めのための4つの異なった閉じ込め構造を示している。

【図3】光モード閉じ込め、および利得/電氣的閉じ込めのための4つの異なった閉じ込め構造を示している。

【図4】光モード閉じ込め、および利得/電氣的閉じ込めのための4つの異なった閉じ込め構造を示している。

【図5】光モード閉じ込め、および利得/電氣的閉じ込めのための4つの異なった閉じ込め構造を示している。

【図6】光モード閉じ込め、および利得/電氣的閉じ込めのための4つの異なった閉じ込め構造を示している。

【図7】光モード閉じ込め、および利得/電氣的閉じ込めのための4つの異なった閉じ込め構造を示している。

【図8】本発明の態様による調整可能なハイブリッドVCLを示す。

【図9A】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図9B】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図9C】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図9D】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図10A】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図10B】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図10C】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図10D】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図11】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図12】本発明の態様による異なった組み立て方法、および製造方法の概略図である。

【図13】本発明の態様による格子領域の異なったレイアウトを示す。

【図14】本発明の態様による格子領域の異なったレイアウトを示す。

【図15】本発明の態様のダイナミックな(時間領域での)数値シミュレーションのフレームを示す。

【図16】図16Aおよび図16Bは、図1Bで指定された領域の最適化の例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0040】

発明の詳細な説明

図1Aと図1Bは、本発明の好ましい態様によるハイブリッド化された格子ミラー垂直キャビティレーザ(VCL)構造およびシリコンプラットフォーム格子ミラー垂直キャビティレーザ(VCL)構造のハイブリッド化の方法を示している。

【0041】

最初に、図1A～図1Cを参照しながら、組み立てられた構造と動作原理について説明する。図1Aには、部分的VCL構造2とシリコンプラットフォーム基板3を含むハイブリッド化されたVCL構造が示されている。

【0042】

部分的VCL構造2は、ここでは異なった屈折率を有する層が交互に積み重なった分布ブラッグリフレクタ(DBR)によって具体的に示されている高反射率の上部ミラー4を含んでいる。DBRは、VCSELでは上部ミラーとして一般的に使用されており、その反射率は細かく調整することができ、III-V族材料などSiO₂を含む材料で形成することができる。

【0043】

通常のVCSELの場合、上部ミラーは出力結合ミラーとして動作し、典型的には99%より高いが、底部ミラーの反射率よりは低い反射率を有する。このハイブリッドVCLでは、上部ミラーは出力結合ミラーとしては用いられないため、高い反射率を有するのがよい。ハイブリッドVCLの高反射率上部ミラー4は、99.9%超、99.95%などの、99.5%より高い反射率を有することが好ましい。上部ミラー4の反射率の最適値は、格子ミラー12の反射率、量子井戸(QW)内のワンパス利得、および目的とする微分量子効率を考慮して決定する必要がある。

10

【0044】

部分的VCL構造2はさらにIII-V族材料で形成される活性領域5を含んでいる。活性領域5は、任意の適用可能なVCSEL活性領域として形成することができ、典型的にはエピタキシャル成長による一連のIII-V族材料層を含む。典型的な設計では、交番するQW層(例えば、1.3μmより長い波長の場合はInAlGaAsまたはInGaAs、および波長850nmの場合はGaAs)から成るQW構造6を挟む上部および下部閉じ込め層を含んでいる。

【0045】

部分的VCL構造2は、1つの態様では、底部ミラーがなく、高反射率の上部ミラーを有する標準のVCSEL構造によって与えられる。

20

【0046】

図1Aに示されるハイブリッドVCLの態様において、電氣的接点8aと8bがそれぞれ活性領域5のすぐ上およびすぐ下に位置している。この接点方式はイントラキャパシティコンタクトと呼ばれている。イントラキャパシティコンタクトでは、上部ミラー4はアンドープとすることができる。必要に応じて、電氣的接点8aは上部ミラー4の上にもできる。この接点方式はエクストラキャパシティコンタクトと呼ばれる。エクストラキャパシティコンタクトにおいては、上部ミラーは適切にドープされる必要がある。

【0047】

光の閉じ込めおよび利得閉じ込めの獲得

30

以下、図1～図7を参照しながら、GMVCLにおける光利得領域の位置および光学モードを規定する多数の方法について説明する。GMVCLの説明されない構成要素は、図1Aおよび図1Bに関連して既に説明された構成要素と同様であるものとする。

【0048】

図1Aに示されるハイブリッドVCLの態様においては、光の閉じ込めはプロトン注入によって形成される電流開口部によって行われるので、光モードは熱的レンズ効果によって規定される。プロトン注入によって形成される領域7は絶縁性となり、電流開口部として働くと同時に利得領域101を規定する。

【0049】

図2に示されるハイブリッドVCLの態様においては、利得領域201はプロトン注入領域202によって規定され、一方、光モードは上部ミラー4内の誘電体開口部203によって規定される。誘電体開口部はアルミ濃度の高い層の酸化によって形成されるのが好ましい。したがって、上部ミラー4が形成される際に誘電体開口部が形成されるべき位置にアルミ濃度の高い層を形成する必要がある。

40

【0050】

図3に示されるハイブリッドVCLの態様においては、光利得領域301と光モードは両方とも電氣的開口部303、好ましくは活性領域内に形成された酸化物開口部によって規定される。誘電体開口部303の形成のために、上部接点8aとQW領域6の間の層のうち1層は酸化されやすいように高いアルミ濃度を有することが好ましい。上部ミラーはドープされないDBRであり、これは活性領域上のエピタキシャル成長、活性領域へのウェハ接着、または活

50

性領域上への堆積によって形成することができる。

【0051】

図4に示されるハイブリッドVCLの態様においては、光利得領域401と光モードは両方とも誘電体開口部403によって規定される。プロトン注入領域402は、高速動作に対して有利である。

【0052】

図5に示されるハイブリッドVCLの態様においては、光利得領域501はトンネル接合部503によって規定され、一方、光モードはトンネル接合部503と熱的レンズ効果によって規定される。トンネル接合部では、高濃度n型ドープ薄層と高濃度p型ドープ薄層が接合されており、電流はこの接合部のみを通して流れる。任意で、本態様は光の閉じ込めをさらに高めるためにイントラキャピティエアギャップ507を有することも可能である。

【0053】

図6に示されるハイブリッドVCLの態様においては、上部ミラーはpドープのDBRであり、これは活性領域上にエピタキシャル成長法により形成することが好ましい。酸化物開口部(203)は、光の閉じ込めおよび利得閉じ込めの両方のために、アルミ濃度の高い層を酸化することによって形成される。この構造は格子整合されたGaAs材を用いて実現することができる。

【0054】

図7Aおよび図7Bに示されるハイブリッドVCLの態様においては、光の閉じ込めはDBRの垂直方向にずらされた部分703によって行われ、利得の制限はプロトン注入領域707によって行われる。上部DBR 4は垂直方向にずらされた部分703を形成するために浅いイントラキャピティエアギャップを形成した後に堆積される。この構造は格子整合されたInPまたはGaAs材を用いて実現することができる。格子整合されたInP材の場合は、P接触層709は高吸収性InGaAsであることが好ましい。不要な吸収を避けるために、P接触層709の中央部は除去することが好ましい。格子整合されたGaAs材の場合、この除去は要求されない。図7Aは、低屈折率の酸化物層15'を有するハイブリッドVCLを示し、図7Bは、酸化物スペーサまたはメサ715を用いて形成された低屈折率のエアギャップ15''を有するハイブリッドVCLを示している。

【0055】

シリコンプラットフォーム基板および格子領域

シリコンプラットフォーム基板3は、シリコン基板の上に支持層9(通常はSiO₂)、その上にまたシリコン層10という構造を有するシリコンオンインシュレータ(SOI)基板であることが好ましい。他の構造も可能であるが、この場合のようにシリコン層がより低い屈折率の層で支持されていることが好ましい。シリコンプラットフォーム基板3は、その上面図が図1B~図1Dに示されている。

【0056】

好ましい態様においては、SOI基板は集積化された光回路と電気回路とをも保持する。格子領域11を含む光回路は、相補型金属酸化物半導体(CMOS)処理技術のような成熟した高精度シリコン処理技術を用いて、同じ技術を用いて電気回路を形成すると同時に形成されることが好ましい。

【0057】

上部シリコン層10の中には、格子領域11および導波路18または19が形成される。格子領域11は、シリコン層部分13と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する領域14とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子12を含む。領域14は、それらの領域からシリコン層を除去することによって、例えば、成熟したシリコン処理技術を用いて穴を開けることによって、形成することができる。この穴は空のままでも構わないが、シリコン部分13を破壊することなく処理できるなら低屈折率の材料で埋めることも可能である。またこれに代る方法として、領域14はシリコン層のこれらの領域を他の加工法によって形成することも可能である。周期的屈折率格子12の部分13および領域14のパターン形成および周期性については、この後で図13および図14を参照しながらより

詳細に説明する。

【0058】

低屈折率層

既に説明したように、シリコン層10はより低い屈折率を有する層、この場合はSiO₂層9によって支持されていることが好ましい。同様に、シリコン層10の上の層はそれより低い屈折率を有することが好ましい。格子領域11から高い反射率を得るためには、より低い屈折率を有する層の間に格子領域11を挟み込むことが好ましい。

【0059】

この目的のために、シリコン層10と部分的VCL構造2との間にあるギャップ15をシリコンより低い屈折率を有する材料で充填する。図1Aおよび図9Dに示される態様においては、そのような低屈折率のギャップは酸化物層15'によって満たされている。酸化物層15'は、図9Aに示されるように、組み立て前に部分的VCL構造2の上に形成することが好ましい。図9Bと図9Cはそれぞれ、接着されたウェハの正面および右側面の断面構造を示している。図10Dに示される態様においては、GMVCLは格子領域11上にエアギャップ15''を形成した構造をとっている。なお、格子領域をメサ25が取り囲む構造とすることも可能である。図10Aに示されるように、メサ25は、ウェハ接着の際に位置合わせしなくていいように、組み立て前にシリコン層10の上に形成しておくことが好ましい。図10Bと図10Cはそれぞれ、接着されたウェハの正面および右側の断面構造図を示している。エバネッセントカップリングを避けるために、酸化物層15'またはエアギャップ15''の厚さは最小 $1/2n_{gap}$ であることが好ましい。ここで λ は目的とするレーザー波長、 n_{gap} は酸化物層15'またはエアギャップ15''の屈折率である。典型的適用例として $\lambda=1550\text{nm}$ の場合、この最小厚さは酸化物15'では約500nm、エアギャップ15''では約780nmである。

10

20

【0060】

酸化物層15'またはエアギャップ15''の厚さを変化させることにより、VCLキャビティの有効キャビティ長 d_{eff} を変えることができる。これにより、次式で決定されるレーザー波長 λ が変化する。

$$\phi_{top} + \frac{2\pi n_{eff} d_{eff}}{\lambda} + \phi_{grat} = 2\pi N, \quad N = \text{整数}$$

ここで ϕ_{top} および ϕ_{grat} はそれぞれ、上部ミラーおよび底部格子ミラーからの反射位相シフトである。 n_{eff} はVCLキャビティの有効屈折率である。したがって、レーザー波長 λ はプロセス中に適宜選択することができ、これによってハイブリッドVCLがマルチ波長光源として十分なものとなる。

30

【0061】

格子ミラーおよび導波路

より低い屈折率の層9および15に取り囲まれた周期的屈折率格子12は、ハイブリッドVCLの底部ミラーとして機能する高屈折率コントラスト格子ミラーを構成し、これにより、周期的屈折率格子12と上部ミラー4の間にVCLキャビティ構造が形成される。

【0062】

領域14は、高い反射率を実現するために垂直共振モード16の横方向の広がりよりも大きいことが好ましい。周期的屈折率格子12の厚さはシリコン層10の厚さと同じでもよいが、格子領域11を選択的にエッチングすることによってもっと薄くすることもできる。厚さ、周期性、および空気充填率等、格子ミラーの重要な設計パラメータの好ましい値については後述する。

40

【0063】

支持層9（ここではSiO₂）は、光を格子領域11に閉じ込めるように働くため、低い屈折率を有することが好ましい。シリコン基板への好ましくないエバネッセントカップリングを避けるために、支持層は最低 $1/2n_{supp}$ の厚さを有することが好ましい。ここで n_{supp} は支持層の屈折率である。典型的適用例として $\lambda=1550\text{nm}$ 、支持層がSiO₂である場合、この最小厚さは約500nmとなる。

50

【 0 0 6 4 】

底部格子ミラーが高い反射率を示す源について関連するモードに関して説明する。関連するモードは、図1Aおよび図1Bに概略が示されている。まず、VCLキャビティが矢印つきループ16で示されている垂直共振モードをサポートする。矢印17は格子の横方向に伝搬する低速光モードを表している。低速光モードは、周期的屈折率格子12のEigenモードである。モード16の光は、格子に入るときに回折され、回折された光の一部はモード17に結合し、モード17の光はモード16に結合して戻される。この結合プロセスが共振を発生して高い反射率となって現われるのである。これにかかわるモード17の数は、設計によって1つにも複数にもなり得る。格子領域全体が正確に周期的であると仮定すれば、結合損失はないと思われる。

10

【 0 0 6 5 】

上述のようなハイブリッド構造はシリコンプラットフォームに光を面内モードで効率的に供給する機能を提供する。以下、低速光モード17の光の、横方向出力結合導波路への結合、さらにはシリコンプラットフォームの光回路またはそれと類似の回路への結合について説明する。

【 0 0 6 6 】

図1に示された好ましい態様においては、光は、シリコン層10内に形成され格子領域11に接続される屈折率コントラスト導波路(ICWG)19に、好ましくは図1Bに示されるように、格子領域11内に形成された中間格子導波路(GWG)18を介して結合される。あるいは、光は、図1Cに示されるように格子領域に接続されるように形成されたICWG19に、直接結合される。または、図1Dに示されるように、光は、格子領域11内に形成されたGWG 18にのみ結合される。

20

【 0 0 6 7 】

GWG 18は、格子領域11の周期的屈折率格子12内の線欠陥によって構成することができ、図1Aおよび図1Bに示されるようにGWGモード20の横方向への伝搬をサポートする。GWG 18は、図1B内で円16aで示されているような活性領域101によって決定される垂直共振モード16の横方向の広がりといくらか重なり合うように配置するのがよい。その結果、光の一部をPBGモード17からGWGモード20に抽出することができる。GWG 18の形状は、光を効率的に抽出するために最適化することができる。この問題については図16との関連でさらに後述する。

30

【 0 0 6 8 】

ICWG 19は、格子領域の外側のシリコン層部分をフォトリソグラフィおよびエッチングによって取り除くことによって形成されたリッジ導波路であることが好ましい。ICWG 19は横方向に伝搬するICWGモード21をサポートし、GWG 18の端部の格子領域と接するように配置される。これにより、GWG 18からのGWGモード20はICWGモード21に変換される。ICWG 19はシリコンプラットフォーム上の光回路に接続し、その一部となることができる。GWG 18とICWG 19との接続部は、変換効率を高めるために最適化を図ることができる。この問題については図16との関連でさらに説明する。

【 0 0 6 9 】

ビルディングブロック

まとめると、ハイブリッドVCL 1のビルディングブロックは、好ましい態様においては、以下を含む：

40

- 以下を有する、部分的VCL構造2となる上部構造。

・上部ミラー4。上部ミラーは、分布ブラッグミラー(DBR)と呼ばれる多層ミラー、または単層格子ミラーであってもよい。これらは、活性領域上にエピタキシャル成長させる、活性領域にウェハ接着する、または活性領域上に堆積する等の方法で形成することができる。

・活性領域5。活性領域は格子整合されたInPまたはGaAs材料で形成される。適用目的に応じて、他のIII-V族半導体も使用することができる。

・光閉じ込め的手段。光の閉じ込めは、図1～図7に示されるように、垂直方向にずら

50

されたDBR、酸化物開口部、および熱的レンズ効果等、様々な方法で実現することができる。

・利得閉じ込めの手段。利得の閉じ込めは、図1～図7に示されるように、イオン注入、酸化物開口部、およびトンネル接合部等、いくつかの方法で実現することができる。

- 低屈折率ギャップ 15。低屈折率ギャップは、酸化物（または他の低屈折率材料）または空気で形成することができる。ギャップが酸化物層15'である場合、酸化物ギャップは図11Aに示されるように接着前に形成することが好ましい。エアギャップ15"の場合には、図11Aに示されているように格子パターンを形成する前にスペーサ層をSOI上に形成することが好ましい。

- 以下を形成する格子領域11を有するSOI基板などのシリコンプラットフォーム基板3

10

・シリコンベースの格子ミラー12、および

・横方向出力結合格子導波路18。

- 金属接点。金属接点は、利得閉じ込め機構のタイプによってP-N接点かN-N接点のいずれかとなる。例えば利得閉じ込めのためにイオン注入または酸化物開口部が用いられる場合はP-N接点を使用する必要がある。また、トンネル接合部の場合には、N-N接点を使用する必要がある。設計によって、上部接点は上部ミラーの上に形成するか（エクストラキャビティコンタクト構造(extra cavity contact scheme)）、または活性領域の上に形成する（イントラキャビティコンタクト(intra-cavity contact)）ことができる。調整可能レーザーでは、図8に示されるように、外部調整接点及要求される。任意で、高ドープ接点層上に金属接点を形成することができる。活性領域が、格子整合されたInP材で形成され、P金属接点及要求される場合、P接点層は高吸収性のInGaAs材とすることが好ましい。したがって、図7A、7B、および11Dに示されるように、不要な吸収を避けるためにこの層の一部(107)を除去することが必要である。

20

【0070】

本明細書には、これらのビルディングブロックを組み合わせうる様々な態様が異なる方法で示されている。しかし、記載の設計はこれらの態様に限られることなく、シリコンベースの格子ミラーと出力結合の目的のための横方向導波路とを用いてハイブリッド化することができる限り、他のいかなる組み合わせでも実現が可能である。

【0071】

30

図8に示された態様においては、ハイブリッドVCLは調整可能なハイブリッドレーザーである。上部格子ミラー(806)は、調整接点809を通じて電圧または電流をかけることにより、静電力（詳細はOptics Express 15, 1222(2007)参照）、圧電力(piezoelectric force)（詳細はIEEE J. Selected Topics in Quant. Electron. 13, 374 (2007)参照）、または熱的に誘起された歪み（詳細はIEEE Photon. Technol. Lett. 18, 688 (2006)）参照）を用いることによって動かすことができる。可動の上部格子ミラーは、DBRで置き換えるかまたは格子とDBRの組み合わせで置き換えることができる。調整用エアギャップの厚さを変えることによって、レーザーの放射波長を変えることも可能である。

【0072】

製造

40

以下、既に提示したいいくつかの態様によるハイブリッド化されたVCLの製造方法について説明する。最初に、図2を用いてハイブリッド化されたVCL構造1の典型的な製造方法について説明する。

【0073】

部分的VCL構造2は成熟したVCSEL技術をベースとしているため、前述の部分的VCL構造2の製造はVCSEL製造技術の当業者の技術範囲内であると考えられる。同様に、シリコンプラットフォーム基板3における格子領域11の製造は、成熟した、精密かつ安価な標準シリコン処理技術に基づいており、これは、典型的には、同じシリコンプラットフォーム基板3における電気回路の製造と同時に行われるであろう。

【0074】

50

部分的VCL構造2は、GMVCLにおける横方向光モード閉じ込め部分（垂直方向にずらされたDBR領域703、誘電体開口部、熱的レンズ効果、または上部ミラー4の横方向の広がり）のいずれかによって規定される）と格子領域11とが重なるように、シリコンプラットフォーム基板3上に配置される。

【0075】

ハイブリッドVCL構造の態様のほとんどにおいて、図9Aの部分的VCLエピ構造2'のシリコンプラットフォーム基板3への接着には、いかなる位置合わせ努力も必要とされない。ウェハ接着の際に位置合わせを行う必要がないということは、ハイブリッドVCLを低製造コストで量産できる可能性があることを意味する。この特徴について、図1～図7に示されるハイブリッドVCL構造の態様を用いて詳細に説明する。

10

【0076】

図1Aに示されるハイブリッドVCL構造の態様において、図9に示されているように、プロトン注入は、ウェハ接着の後、典型的なハイブリッドVCL処理時に行われる。プロトン注入領域の位置202は格子領域11とGWG 18の両方と位置が合うように規定することができる。したがって、ウェハ接着に際しては位置合わせ努力が必要とされない。

【0077】

図2に示されるハイブリッドVCL構造の態様において、プロトン注入および酸化はウェハ接着の後、典型的なハイブリッドVCL処理時に行われる。プロトン注入領域202と誘電体開口部203の位置は、格子領域11とGWG 18の両方と位置が合うように規定することができる。したがって、ウェハ接着に際しては位置合わせ努力が必要とされない。

20

【0078】

図3に示されるハイブリッドVCL構造の態様において、誘電体開口部はウェハ接着の後、典型的なハイブリッドGMVCL処理時に酸化プロセスを用いて形成される。誘電体開口部303の位置は格子領域11とGWG 1の両方と位置が合うように規定することができる。したがって、ウェハ接着に際しては位置合わせ努力が必要とされない。

【0079】

図4に示されるハイブリッドVCL構造の態様においては、プロトン注入および誘電体開口部403の酸化はウェハ接着の後、典型的なハイブリッドVCL処理時に行われる。プロトン注入領域402および誘電体開口部403の位置は、格子領域11とGWG 18の両方と位置が合うように規定することができる。したがって、ウェハ接着に際しては位置合わせ努力が必要とされない。

30

【0080】

図5に示されるハイブリッドVCL構造の態様においては、トンネル接合部503が、部分的VCLエピ構造2'のエピタキシャル成長過程で結晶再成長技術によって形成される。部分的VCLエピ構造2'とシリコンプラットフォーム基板3を接着する際は、トンネル接合部503と格子領域11およびGWG 18の位置合わせが必要である。

【0081】

以下、図7Aおよび図7Bを参照しながらハイブリッドVCLの製造方法を説明する。ここで説明される製造方法は、当業者によって図1～図8に示される他の態様にも適用することができ、または適用可能に変更することができる。

40

【0082】

図7AのハイブリッドVCLの製造フローを図11A～Eに示す。図11Aに示されるように、酸化物ギャップ15'が堆積された活性領域5と、導波路18を有するシリコンベースの格子ミラー12を別々に用意する。次に、これらのウェハを図11Bのように接着する。利得閉じ込めのために、図11Cに示されるようにプロトン注入領域707が形成される。次に、メサが規定され、高吸収性P接点層709の中央部分を取り除き、垂直方向にずらされたDBRを形成するための浅い溝704をエッチングし、図11Dのように金属接点708が形成される。さらに、図11Eに示されるように、上部DBRを堆積する。ウェハ接着のレベルでは位置合わせは必要はない。他のすべての位置合わせ精度は、ほとんどの適用に対して十分なフォトリソグラフィの解像度によって決定される。

50

【0083】

図12Aおよび12Bは、図7BのハイブリッドVCLの製造フローの一部を示す。この製造フローは、図11A~Eで示されたフローと似ているが、活性領域5の上に低屈折率酸化物層がなく、その代わりに低屈折率エアギャップ15"(12B)を形成するためにメサ715が基板3上に形成されることが異なっている。

【0084】

格子領域 - 特性およびシミュレーション

格子領域11における周期的屈折率格子12の異なった1D、2Dおよび変形2Dパターンが図1B、図13、および図14に示されている。3つの場合のすべてにおいて、パターンはEigenモードを有するように周期的である必要がある。図14に示されるように、パターン1個の形状は必要に応じて奇抜なものとすることも可能である。

10

【0085】

理想的な設計という観点から見れば、重要なことはどのようなパターンが好ましいPBGモード分散を与え、結果としてのミラー特性が得られるかということである。製造面から見た場合、パターンの選択の際には、薄い格子層構造の機械的安定性、製造容易性、および製造コスト等を考慮する必要がある。

【0086】

格子ミラー層のPBGモードの分散特性は、格子ミラーの周期性、厚さ、屈折率、および空気充填率等で決まる。以下、前述した格子ミラー設計パラメータの可能な範囲について示す。好ましいEigenモード分散が得られるなら、他の値を使用することも可能である。

20

【0087】

格子パターンの周期性は、1Dまたは2Dのいずれの場合でも、0.4 から0.8 の範囲である。ここで はレーザーの波長である。

【0088】

格子層の光学的厚さは0.6 から1.6 までの値をとることができる。層の光学的厚さは、層の物理的厚さに層の屈折率を掛けたものとして定義されている。

【0089】

空気充填率の範囲は20%から70%までである。空気充填率は、1格子周期あたりの面積(13+14)に対する空気(または他の低屈折率材料)の面積14の割合として定義されている。

【0090】

本発明の1つの態様の機能について数値シミュレーションが行われた。図15は、このダイナミックなシミュレーションから得られた1つのタイムフレームの結果を示す。ここで、白い部分と黒い部分は、それぞれ電磁界(EM)強度の高い部分と低い部分を示している。シミュレートされたデバイスのデザインは図3の構成と似たものであり、図15には部分的VCL構造2、格子領域11、およびシリコン層内のICWG 19も示されている。

30

【0091】

ここから分かるように、垂直レーザーモード(図1Aの16)からICWGモード(図1Aの21)への適切な結合が行われている。

【0092】

既に述べたように、周期的格子領域12内のPBGモード17からGWG18内のGWGモード20への光の抽出は、望ましくない結合損失を低減するためにさらに最適化することができる。図1B内の接続部28は、格子の周期性の乱れによる散乱損失を最小化するために位相的に最適化することができる。GWG 18の形状は、良好なモードマッチングのためにGWGモード20の分散がPBGモード17の分散と同様になるように最適化することが可能である。GWG 18内のGWGモード20からICWG 19内のICWGモード21へのモード変換効率は、図1Bまたは図1Cの接続部30を位相的に最適化することによって最大化することができる。位相的な最適化の例を図16に示す。図16Aおよび図16Bはそれぞれ、最適化の前と後の接続部30を示している。

40

【0093】

位相的な最適化の例は、L. YangらのElectronic Letters, 13, p.923 (2007)で示されており、伝達率で5dBの改善があったと報告されている。

50

【 0 0 9 4 】

本発明は、特定の態様に関連して説明したが、本明細書で提示された例に限られると解釈すべきではない。本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲に照らして解釈されるべきものである。特許請求の範囲の文脈において、用語「含むこと(comprising)」または「含む(comprises)」は他の可能な要素または工程を除外するものではない。また、「1つの(a)」または「1つの(an)」のような参照記号の記述は、複数を除外するものと解釈すべきではない。特許請求の範囲における図面に示されている要素に対する参照記号の使用は、発明の範囲を制限すると解釈すべきではない。さらに、異なる請求項で述べられた個々の特徴は有利に組み合わせることが可能であり、異なる請求項でのこれらの特徴の言及は、特徴の組み合わせが可能ではないことおよび有利ではないことを排除するものではない。

10

【 0 0 9 5 】

参考資料

Gunn, Photonics Spectra March 2006, pp. 62-67

Fang et al. Optics Express, **14**, pp. 9203 (2006)

US 2007/0153860

US 2000/6031243

I.-S. Chung et al., IEEE Photonic. Tech. Lett. **20**, 1041 (2008)

US 2007/0201526

R. Jones et al., "Grating based hybrid silicon lasers", Proceedings of SPIE, vol. 7230, pp 72300U-1 to 72300U-8.

WO 2005/089098

H. Wu et al., "Ultra broadband SOI binary blazed grating mirror", 5th IEEE International Conference on Group IV Photonics, pp 299-301.

Huang et al., Optics Express **15**, 1222 (2007)

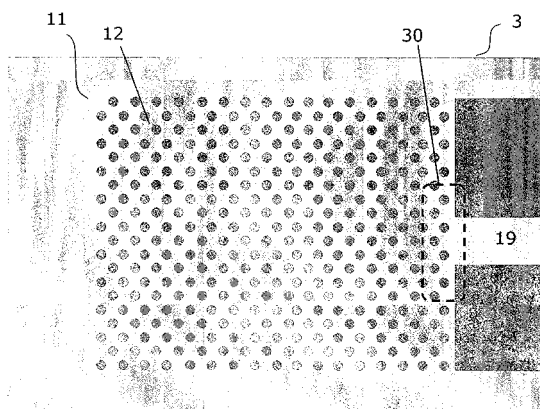
IEEE j. selected topics in Quant. Electron. **13**, 374 (2007)

IEEE Photon. Technol. Lett. **18**, 688 (2006)

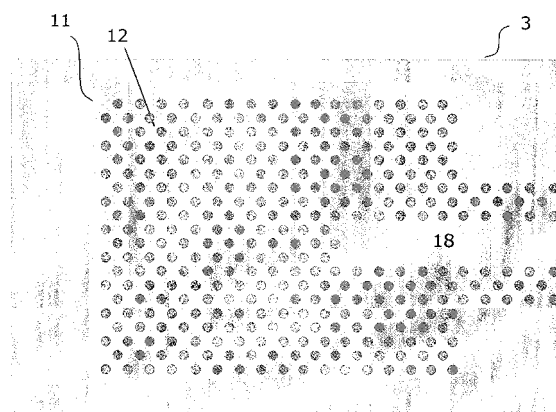
L. Yang, et al., Electronic Letters, **13**, p. 923 (2007)

20

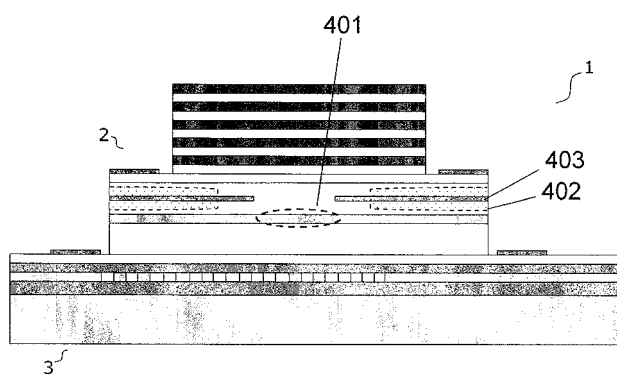
【 図 1 C 】



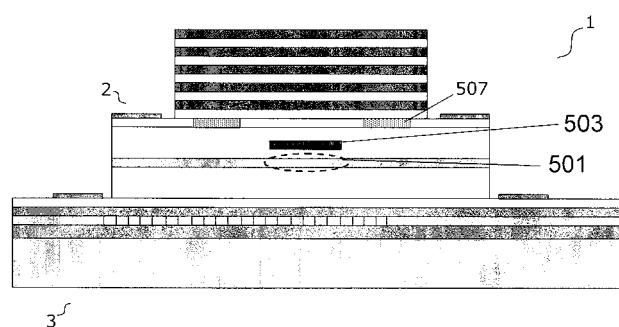
【 図 1 D 】



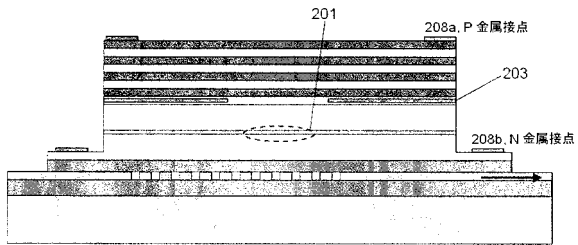
【 図 4 】



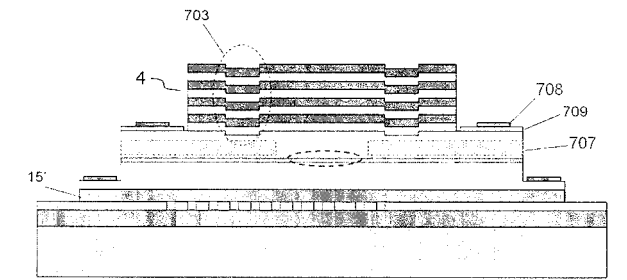
【 図 5 】



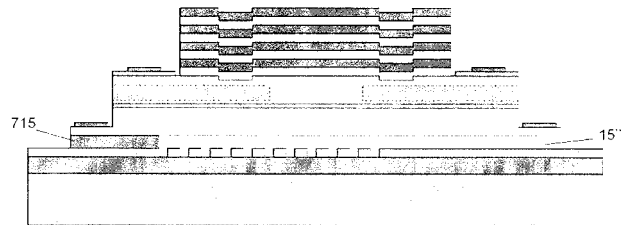
【図 6】



【図 7】

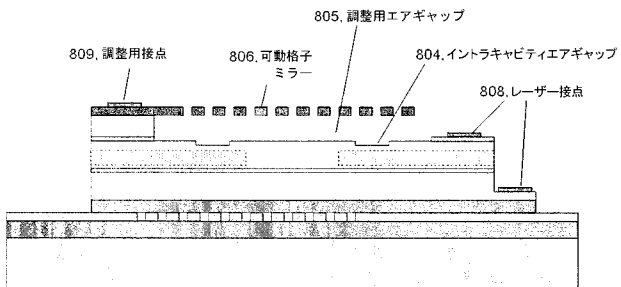


A

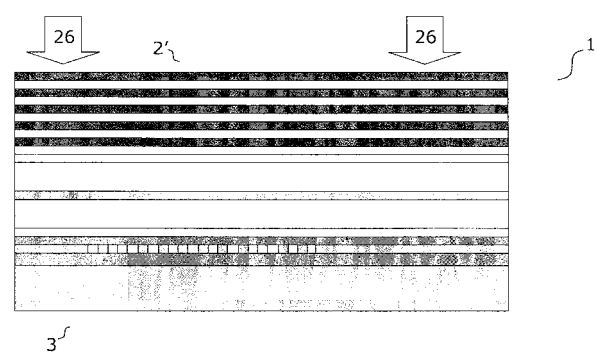


B

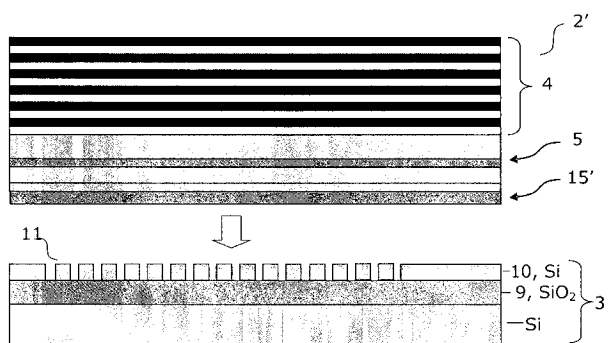
【図 8】



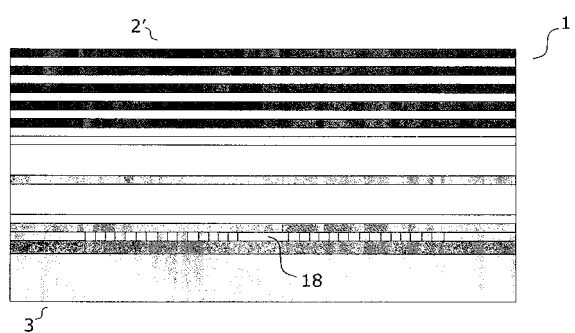
【図 9 B】



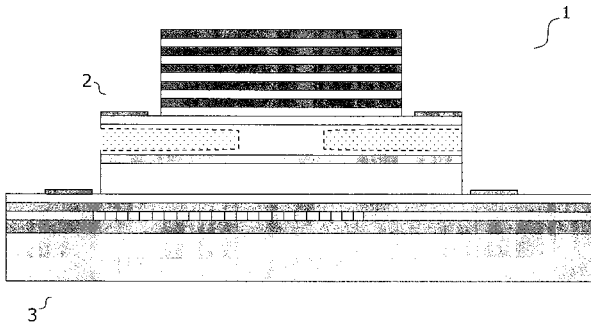
【図 9 A】



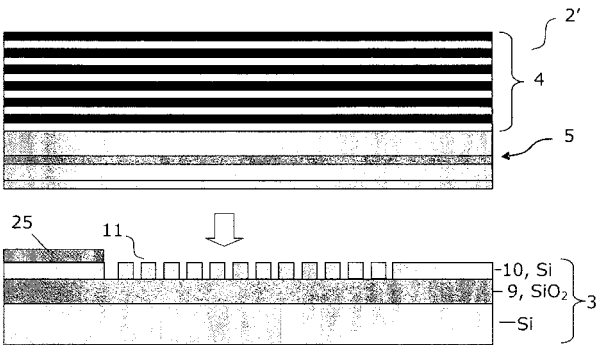
【図 9 C】



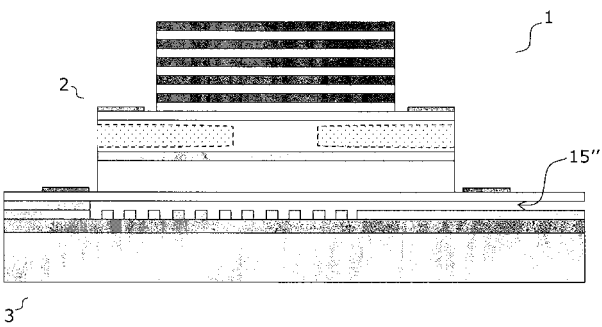
【図 9 D】



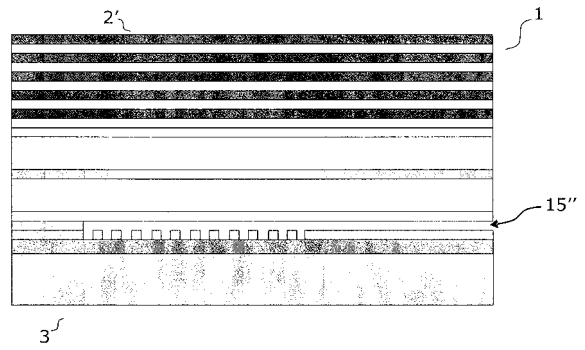
【図 10 A】



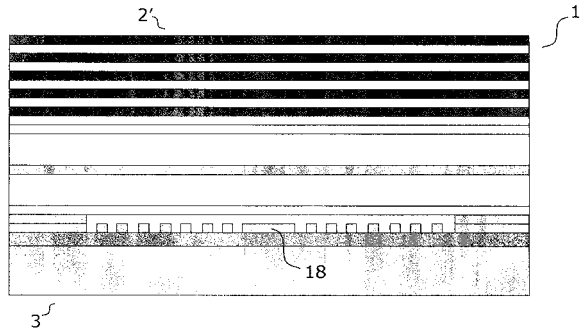
【図 10 D】



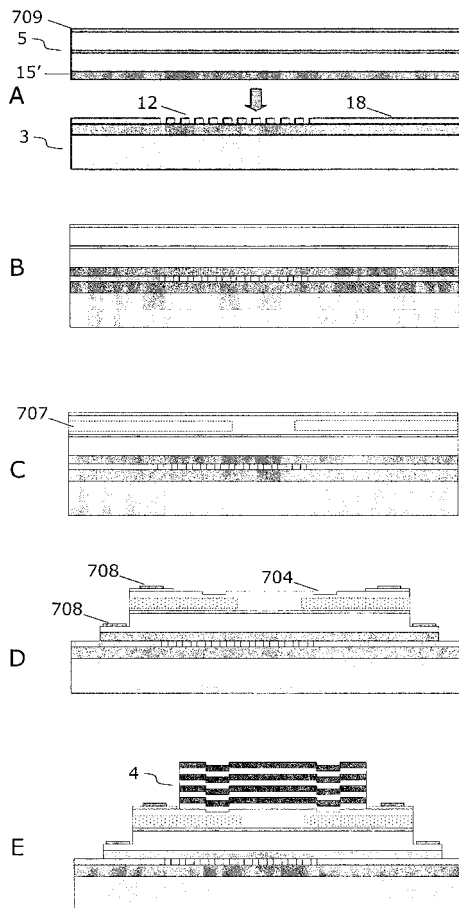
【図 10 B】



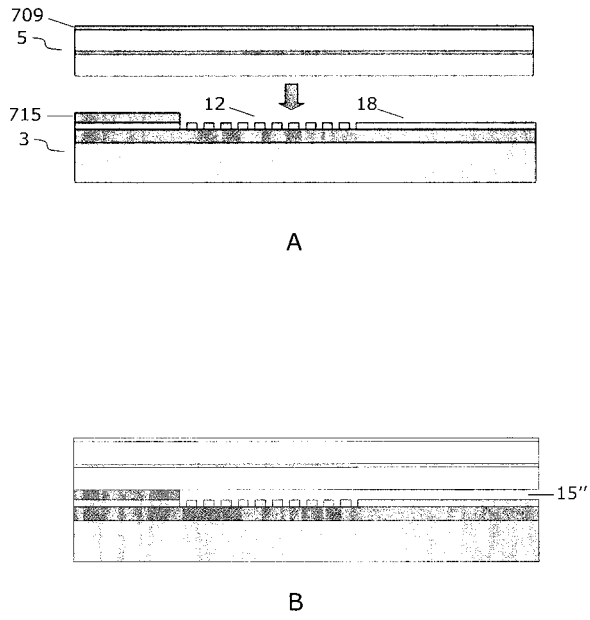
【図 10 C】



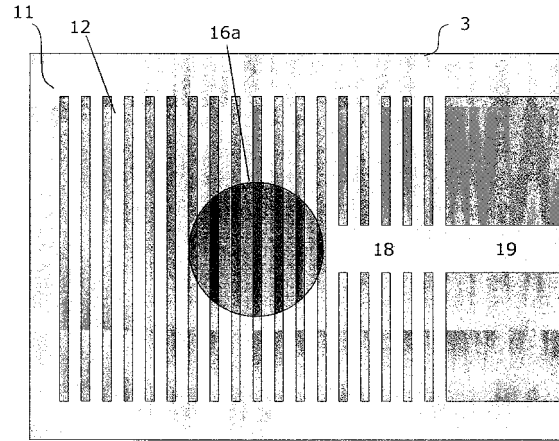
【図 11】



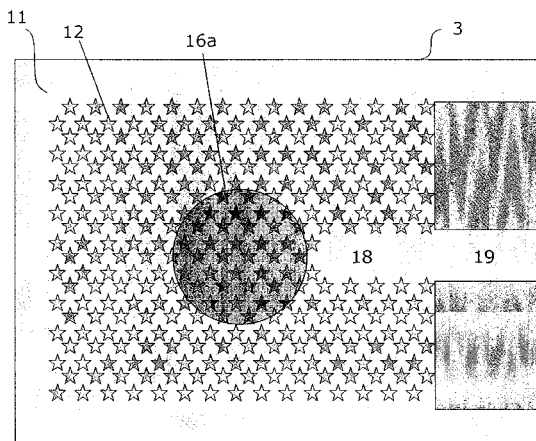
【図 1 2】



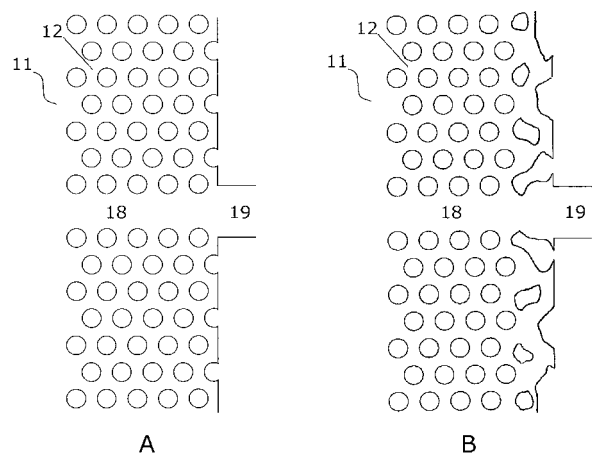
【図 1 3】



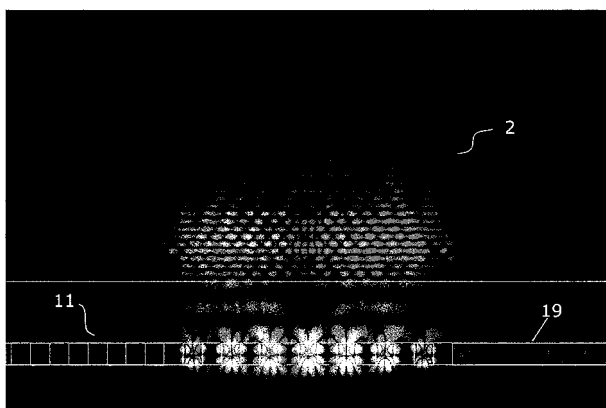
【図 1 4】



【図 1 6】



【図 1 5】



【手続補正書】

【提出日】平成24年1月20日(2012.1.20)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シリコンプラットフォームの底部格子ミラーを用いて、シリコンプラットフォーム上に垂直キャビティレーザ(VCL)構造(1)をハイブリッド化する方法であって、

III-V族材料で形成された活性領域(5)と、出力結合(out-coupling)ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラー(4)とを含む層構造(2)を提供する工程；

より低い屈折率の層(9)によって支持されているシリコン層(10)内に格子領域(11)を形成する工程であって、該格子領域が、シリコン層部分(12)と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域(13)とによって形成された1次元(1D)または2次元(2D)の周期的屈折率格子(11)を含む、工程；

格子領域から該導波路への光の横方向出力結合を容易にするように、格子領域内に形成されるかまたは格子領域に隣接して形成される端部とともに、導波路(18、19)を前記シリコン層内に形成する工程；および

前記層構造を前記格子領域上に配置する工程であって、前記層構造と前記格子領域との間にシリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層(15、15'、15'')を設けることを含み、これによって、前記周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して、上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成する、工程を含む、前記方法。

【請求項 2】

VCLにおいてレーザー発振を開始させ、かつVCLキャビティから格子領域の横方向モードへと光を結合させる工程をさらに含む、請求項1記載の方法。

【請求項 3】

前記シリコン層内に形成された導波路の端部が、格子領域内に形成された格子導波路(guiding waveguide, GWG)(18)を含み、格子領域の横方向モードから該GWGの導波モードへと光を結合させる工程をさらに含む、請求項2記載の方法。

【請求項 4】

前記シリコン層内に形成された導波路が、格子領域の外側に形成された集積化平面型の屈折率コントラスト導波路(index contrast waveguide, ICWG)(19)を含み、格子領域から該ICWGの導波モードへと光を結合させる工程をさらに含む、請求項2または3記載の方法。

【請求項 5】

前記VCLキャビティの有効キャビティ長 d_{eff} 、および、ひいては、レーザー波長が、層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層(15、15'、15'')の厚さを制御することによって制御される、請求項1から4のいずれか一項記載の方法。

【請求項 6】

前記VCLの光利得領域(101、201、301、401、501)の位置が、格子領域上の層構造に従って規定される、請求項1から5のいずれか一項記載の方法。

【請求項 7】

- III-V族材料で形成された活性領域(5)と、出力結合ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラー(4)とを含む層構造(2)；

- より低い屈折率の層(9)によって支持されているシリコン層(10)内に形成された格子領域(11)であって、シリコン層部分(13)と、シリコン層内に形成され該シリコン

層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域(14)とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子(12)を含む格子領域(11)；

- シリコン層の格子領域の上に設けられ、シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層(15、15'、15'')；

ここで、前記層構造は、周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成するように、前記格子領域の上に配置され、該底部格子ミラーはまた、VCLキャビティのモードの光を格子領域の面内モードへと結合することを容易にし、および

- シリコン層内に形成された導波路(18、19)であって、格子領域から導波路への光の結合を容易にするように格子領域内に形成されているかまたは格子領域に隣接して形成されている端部を有する導波路(18、19)

を含む、ハイブリッド化された垂直キャビティレーザー(VCL)構造(1)。

【請求項 8】

前記層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層が、層構造上に形成された酸化物層である、請求項7記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 9】

前記層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層(15、15')が空気を含み、前記層構造が1つまたは複数のメサ(25、715)を含み、その結果、層構造が格子領域の上に配置された場合にエアギャップとなる、請求項7記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 10】

前記シリコン層内に形成された導波路の端部が、格子領域内に形成された格子導波路(GWG)(18)を含み、該GWGが、格子領域からGWGへの光の結合を容易にするように配置されている、請求項7から9のいずれか一項記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 11】

前記GWGの接続部(28、30)が、散乱損失を減少させるために位相的に最適化されている、請求項10記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 12】

前記GWGが、該GWG内のモード(20)の分散を周期的屈折率格子内のモード(17)と一致させるように成形されている、請求項10また11記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 13】

前記シリコン層内に形成された導波路が、

格子領域の外側のシリコン層内に形成され、かつ格子領域からICWGへの光の結合を容易にするように配置された集積化平面型の屈折率コントラスト導波路(ICWG)を含む、請求項7から12のいずれか一項記載のハイブリッド化されたVCL構造。

【請求項 14】

- より低い屈折率を有する層(9)によって支持されているシリコン層(10)；

- シリコン層部分(13)と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する領域(14)とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子(12)を含む格子領域(11)；

- 垂直に入射した光を反射しかつ垂直に入射した光を格子領域の面内モード(17)に結合させるための格子ミラーを形成する、格子領域の少なくとも一部；および

- シリコン層内に形成された導波路(18、19)であって、格子領域の面内モードから導波路への光の結合を容易にするように格子領域内に形成されているかまたは格子領域に隣接して形成されている端部を有する導波路(18、19)；

を含む、横方向導波路を有するシリコンベースの格子ミラー。

【請求項 15】

層構造(2)および該層構造を収容するためのシリコンプラットフォーム基板(3)であって、

- 該層構造が、III-V族材料で形成された活性領域(5)と、出力結合ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラー(4)とを含み、

- 該シリコンプラットフォーム基板が、より低い屈折率の層(9)によって支持され、かつ該シリコン層は、

・ シリコン層部分(13)と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域(14)とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子(12)を含む格子領域(11)；および

・ シリコン層内に形成された導波路(18、19)であって、格子領域から導波路への光の結合を容易にするように格子領域内に形成されているかまたは格子領域に隣接して形成されている端部を有する導波路(18、19)

を含み、

前記層構造または前記格子領域のうちの少なくとも1つは、層構造が格子領域上に配置された場合に、格子領域の上にシリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する層(15、15'、15'')を提供する構造(15、15'、25、715)を備えるか、またはそのような構造(15、15'、25、715)を含む、

前記層構造(2)およびシリコンプラットフォーム基板(3)。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0004】

Fangらは、端面発光型の電氣的にポンピングされたAlGaInAs-シリコンエバネッセントレーザーアーキテクチャについて述べている(Optics Express 14, p.9203(2006)(非特許文献2))。この構造はシリコンオンインシュレータ(SOI)基板にウェハ接着され、レーザーキャビティは下のSOI基板内のシリコン導波路によってのみ規定される。端面発光型の分布ブラッグ(Bragg)リフレクタ(DBR)レーザーは、WO 2008/068209に述べられている。端面発光レーザーによる解決法は光回路への結合を容易にするが、一方で電力消費が比較的高く、非本質的なシングルモード制御であるという欠点がある。

US2007/0201526に述べられているような垂直キャビティ面発光レーザー(VCSEL)は、低消費電力および優れたシングルモード制御の利点を有している。しかし、その面発光の設計のために、シリコンに集積化された導波路へと結合させることが難しいことが欠点である。

Ferrier L.ら:"Vertical microcavities based on photonic crystal mirrors for III-V/Si integrated microlasers"; Proc. of the SPIE Vol. 6989, 2008, pages 69890W-1 - 69890W-12は、フォトリソニック結晶(PhC)ミラーを用い、かつ横方向導波路に結合する垂直マイクロキャビティに関連した多くの構成を考察している。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0009】

したがって、本発明の第1の局面において、上述の目的および他の複数の目的が、シリコンプラットフォームの底部格子ミラーを用いてシリコンプラットフォーム上に様々なハイブリッドVCL構造を作成する方法を提供することによって達成されることを意図しており、この方法は、

III-V族材料で形成された活性領域と高反射性の上部ミラーとを含む層構造を提供する工程と、

シリコン層より低い屈折率を有する層によって支持されたシリコン層内に格子領域を形成する工程であって、該格子領域が、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層より低い屈折率を有する領域とによって形成された1次元(1D)または2次元(2D)の周

期的屈折率格子を含む、工程と、

シリコン層内に導波路を形成する工程であって、該導波路は、格子領域から導波路への光の横方向出力結合(lateral out-coupling)を容易にするように格子領域内に形成されるかまたは格子領域に隣接して形成される端部とともに形成され、これは、導波路を格子領域内に形成する、および/または、例えば隣接させるなどして格子領域に結合することによって得られうる、工程と、

格子領域の上に層構造を配置する工程であって、層構造と格子領域との間にシリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する層を設けることを含み、これによって周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して、上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成する、工程と

を含む。導波路は、VCLキャビティに対して横方向に配置され、かつVCLに対する出力結合導波路として機能することが好ましい。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

PBGモードとの共振結合を伴う高反射率格子ミラーと面内出力カップラとを、導波路が格子領域内に形成された形態、または格子領域に接続された形態で組み合わせた点に本発明の新規性がある。これまでに報告された、本発明と類似に見える格子構造のほとんどは、本発明の格子ミラーとは、構造的形状、機能、または反射プロセス(低速光モードの関与)において異なっている。例えば、

・US2007/0153860, I.-S. Chung et.al. ("Subwavelength Grating-Mirror VCSEL With a Thin Oxide Gap", IEEE Photonics Technology Letters 2 (2008) 20, pages 105-107)

、およびWO 2005/089098では、反射は低速光PBGモードとの共振結合を伴わない；

・US6,031,243では、格子がリフレクタとして働かない；

・US2007/0201526では、格子ミラーは横方向出力のために接続される導波路を有しておらず、低速PBGモードは分散図内の(ガンマ)ポイントから遠く離れている；

・R. Jonesらの報告("Grating based hybrid silicon lasers", Proceedings of SPIE, vol.7230, pp. 72300U-1)では、格子はレーザー周波数を選択するために用いられており、リフレクタとしても、またルータとしても機能していない；

・H. Wuらの報告("Ultra broadband SOI binary blazed grating mirror", 5th IEEE International Conference on Group IV Photonics, pp. 299-301)では、格子は表面格子であり、すなわち格子の底部はより低い屈折率の材料によって支持されているわけではない。したがって、その反射率は99%を超えることはなく、レーザー発振には不十分である。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0025】

第2の局面において、本発明は以下を含むハイブリッド化されたVCL構造を提供する：

- 第III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず好ましくは99.95%より高い反射率を有する高反射率の上部ミラーとを含む層構造；および
- より低い屈折率の層によって支持されたシリコン層内に形成された格子領域であって、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；
- シリコン層の格子領域の上に設けられ、シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層；

(ここで、前記層構造は、周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成するように、前記格子領域の上に配置され、該底部格子ミラーはまた、VCLキャビティの横方向モードの光を格子領域の面内モードに結合することを容易にする)、および

- シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするように格子領域内に形成されているかまたは格子領域に隣接して形成されている端部を有する導波路。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0026】

第3の局面は、第2局面からの、しかし単独で供給される格子領域を有するシリコンベースの基板に関する。したがって、第3の局面においては、本発明は、以下を含む横方向導波路を有するシリコンベースの格子ミラーを提供する：

- より低い屈折率を有する層によって支持されているシリコン層；
- シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；
- 垂直に入射した光を反射しかつ垂直に入射した光を格子領域の面内モードに結合させるための格子ミラーを形成する、格子領域の少なくとも一部；および
- シリコン層内に形成され、かつ格子領域の面内モードから導波路への光の結合を容易にするように格子領域内に形成されているかまたは格子領域に隣接して形成されている端部を有する導波路。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0030】

追加として、または代替的に、第4の局面は、層構造と該層構造を収容するためのシリコンプラットフォーム基板とを提供することができ、

- 該層構造は、III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず、100%に近い、例えば99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含み、
- 該シリコン層は、より低い屈折率の層によって支持され、かつ該シリコン層は、
 - ・ シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；および
 - ・ シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするように格子領域内に形成されているかまたは格子領域に隣接して形成されている端部を有する導波路

を含み、

前記層構造または前記格子領域のうちの少なくとも1つは、層構造が格子領域上に配置された場合に、格子領域の上にシリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する層を提供する構造を備えるか、またはそのような構造を含む。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 3 7 】

本発明のこれらの局面、およびその他の局面は、本明細書に記述された態様に関連する以下の説明から明らかであろう。

[本発明1001]

シリコンプラットフォームの底部格子ミラーを用いて、シリコンプラットフォーム上に垂直キャビティレーザ(VCL)構造をハイブリッド化する方法であって、

III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合(out-coupling)ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含む層構造を提供する工程；

より低い屈折率の層によって支持されているシリコン層内に格子領域を形成する工程であって、該格子領域が、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1次元(1D)または2次元(2D)の周期的屈折率格子を含む、工程；

前記シリコン層内に導波路を形成する工程であって、該導波路は、格子領域から導波路への光の横方向出力結合を容易にするように配置されている、工程；および

前記層構造を前記格子領域上に配置する工程であって、前記層構造と前記格子領域との間にシリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層を設けることを含み、これによって、前記周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して、上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成する、工程を含む、前記方法。

[本発明1002]

VCLにおいてレーザ発振を開始させ、かつVCLキャビティから格子領域の横方向モードへと光を結合させる工程をさらに含む、本発明1001の方法。

[本発明1003]

前記シリコン層内に形成された導波路が、格子導波路(grating waveguide, GWG)を含み、格子領域の横方向モードから該GWGの導波モードへと光を結合させる工程をさらに含む、本発明1002の方法。

[本発明1004]

前記シリコン層内に形成された導波路が、格子領域の外側に形成された集積化平面型の屈折率コントラスト導波路(index contrast waveguide, ICWG)を含み、格子領域から該ICWGの導波モードへと光を結合させる工程をさらに含む、本発明1002または1003の方法。

[本発明1005]

前記VCLキャビティの有効キャビティ長 d_{eff} 、および、ひいては、レーザ波長 λ が、層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層の厚さを制御することによって制御される、本発明1001から1004のいずれかの方法。

[本発明1006]

前記VCLの光利得領域の位置が、格子領域上の層構造に従って規定される、本発明1001から1005のいずれかの方法。

[本発明1007]

- III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含む層構造；

- より低い屈折率の層によって支持されているシリコン層内に形成された格子領域であって、シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；

- シリコン層の格子領域の上に設けられ、シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する層；

ここで、前記層構造は、周期的屈折率格子が底部格子ミラーを確立して上部ミラーと格子領域との間にVCLキャビティを形成するように、前記格子領域の上に配置され、該底部格子ミラーはまた、VCLキャビティのモードの光を格子領域の面内モードへと結合することを容易にし、および

- シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするよう

に配置された導波路

を含む、ハイブリッド化された垂直キャビティレーザ(VCL)構造。

[本発明1008]

前記層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層が、層構造上に形成された酸化物層である、本発明1007のハイブリッド化されたVCL構造。

[本発明1009]

前記層構造と格子領域との間のより低い屈折率の層が空気を含み、前記層構造が1つまたは複数のメサを含み、その結果、層構造が格子領域の上に配置された場合にエアギャップとなる、本発明1007のハイブリッド化されたVCL構造。

[本発明1010]

前記シリコン層内に形成された導波路が、シリコン層内に形成された格子導波路(GWG)を含み、該GWGが、格子領域からGWGへの光の結合を容易にするように配置されている、本発明1007から1009のいずれかのハイブリッド化されたVCL構造。

[本発明1011]

前記GWGの形状が、該GWG内のモードのモード分散が周期的屈折率格子内のモードのモード分散に類似するか、または周期的屈折率格子内のモードのモード分散に断熱的に変換されるように設計されている、本発明1010のハイブリッド化されたVCL構造。

[本発明1012]

前記シリコン層内に形成された導波路が、
格子領域の外側のシリコン層内に形成され、かつ格子領域からICWGへの光の結合を容易にするように配置された集積化平面型の屈折率コントラスト導波路(ICWG)を含む、本発明1007から1011のいずれかのハイブリッド化されたVCL構造。

[本発明1013]

- より低い屈折率を有する層によって支持されているシリコン層；
- シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率より低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；
- 垂直に入射した光を反射しかつ垂直に入射した光を格子領域の面内モードに結合させるための格子ミラーを形成する、格子領域の少なくとも一部；および
- シリコン層内に形成され、かつ格子領域の面内モードから導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路；
を含む、横方向導波路を有するシリコンベースの格子ミラー。

[本発明1014]

層構造および該層構造を収容するためのシリコン層であって、
- 該層構造が、III-V族材料で形成された活性領域と、出力結合ミラーとしては使用されず99.5%より高い反射率を有する高反射性上部ミラーとを含み、
- 該シリコン層が、より低い屈折率の層によって支持され、かつ該シリコン層は、
・ シリコン層部分と、シリコン層内に形成され該シリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する領域とによって形成された1Dまたは2Dの周期的屈折率格子を含む格子領域；
および
・ シリコン層内に形成され、かつ格子領域から導波路への光の結合を容易にするように配置された導波路

を含み、

前記層構造または前記格子領域のうちの少なくとも1つは、層構造が格子領域上に配置された場合に、格子領域の上にシリコン層の屈折率よりも低い屈折率を有する層を提供する構造を備えるか、またはそのような構造を含む、
前記層構造およびシリコン層。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0095

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 9 5 】

参考資料

- Gunn, Photonics Spectra March 2006, pp. 62-67
- Fang et al. Optics Express, **14**, pp. 9203 (2006)
- US 2007/0153860
- US 6,031,243
- I.-S. Chung et al., "Subwavelength Grating-Mirror VCSEL With a Thin Oxide Gap", IEEE Photonics Technology Letters, 2 (2008) 20, pages 105 - 107
- US 2007/0201526
- R. Jones et al., "Grating based hybrid silicon lasers", Proceedings of SPIE, vol. 7230, pp 72300U-1 to 72300U-8.
- WO 2005/089098
- H. Wu et al., "Ultra broadband SOI binary blazed grating mirror", 5th IEEE International Conference on Group IV Photonics, pp 299-301.
- Huang et al., Optics Express **15**, 1222 (2007)
- IEEE j. selected topics in Quant. Electron. 13, 374 (2007)
- IEEE Photon. Technol. Lett. **18**, 688 (2006)
- L. Yang, et al., Electronic Letters, 13, p. 923 (2007)
- WO 2008/068209
- US 2007/0201526
- Ferrier L. et al.: "Vertical microcavities based on photonic crystal mirrors for III-V/Si integrated microlasers"; Proc. of the SPIE Vol. 6989, 2008, pages 69890W-1 - 69890W-12.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DK2010/050015

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01S5/20 H01S5/183		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	FERRIER L. ET AL.: "Vertical microcavities based on photonic crystal mirrors for III-V/Si integrated microlasers" PHOTONIC CRYSTAL MATERIALS AND DEVICES VIII 8 APRIL 2008 STRASBOURG, FRANCE, vol. 6989, April 2008 (2008-04), pages 69890W-1, XP002573996 Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering SPIE - The International Society for Optical Engineering USA ISSN: 0277-786X pages 69890W-7 - pages 69890W-8; figures 7-9 ----- -/--	1-3, 7, 10, 13-14
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
19 March 2010		08/04/2010
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Gnugesser, Hermann

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DK2010/050015

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/068209 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; GILET PHILIPPE [FR]; TCHELNOKOV AL) 12 June 2008 (2008-06-12) page 10, line 7 - page 13, line 25 page 18, lines 4-15; figure 1	1-3, 7, 10, 13-14
Y	US 2007/201526 A1 (HORI YUICHIRO [JP]) 30 August 2007 (2007-08-30) paragraphs [0048] - [0064], [0129] - [0137], [0143] - [0177], [0190] - [0211], [0225] - [0232] figures 8A, 9, 10, 14	1-2, 7, 13-14
A	US 6 031 243 A (TAYLOR GEOFF W [US]) 29 February 2000 (2000-02-29) column 4, line 60 - column 6, line 61; figures 1-3 abstract	1, 7, 13-14
A	"Edge-emitting quantum well laser with Bragg reflectors" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 66, no. 22, 29 May 1995 (1995-05-29), pages 2949-2951, XP012012903 ISSN: 0003-6951 page 2949; figure 1	1, 7, 13-14
A	RICHARD JONES ET AL.: "Grating based hybrid silicon lasers" PROCEEDINGS OF SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING - NOVEL IN-PLANE SEMICONDUCTOR LASERS VIII 2009 SPIE US (CONFERENCE 26.01.2009 - 29.01.2009, SAN JOSE, CA, US), vol. 7230, 3 February 2009 (2009-02-03), pages 72300U-1-72300U-8, XP002527367 pages 72300U-3; figure 4	1, 7, 13-14
A	WO 2005/089098 A (UNIV CALIFORNIA [US]; CHANG-HASNAIN CONNIE J [US]; MATEUS CARLOS FERNA) 29 September 2005 (2005-09-29) paragraph [0039]; figure 1	1, 7, 13-14
A	HUAMING WU ET AL: "Ultra broadband SOI binary blazed grating mirror" GROUP IV PHOTONICS, 2008 5TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 17 September 2008 (2008-09-17), pages 299-301, XP031344509 ISBN: 978-1-4244-1769-8 page 299; figure 1	1, 7, 13-14
	-/--	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DK2010/050015

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 952 472 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO [JP]) 27 October 1999 (1999-10-27) paragraphs [0153] - [0159]; figure 15	1,7, 13-14
A	US 2007/291805 A1 (LEDENTSOV NIKOLAI [US] ET AL) 20 December 2007 (2007-12-20) abstract; figure 13	1,7, 13-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DK2010/050015

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008068209	A1	12-06-2008	EP 2092618 A1 FR 2909491 A1	26-08-2009 06-06-2008
US 2007201526	A1	30-08-2007	JP 2007234835 A	13-09-2007
US 6031243	A	29-02-2000	NONE	
WO 2005089098	A	29-09-2005	NONE	
EP 0952472	A	27-10-1999	US 6330265 B1	11-12-2001
US 2007291805	A1	20-12-2007	NONE	

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PE,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

弁理士 井上 隆一

弁理士 佐藤 利光

弁理士 新見 浩一

弁理士 小林 智彦

弁理士 渡邊 伸一

弁理士 大関 雅人

弁理士 五十嵐 義弘

弁理士 川本 和弥

デンマーク王国 ターストラップ デーコー - 2 6 3 0 1エー イーイビエア バイガード 2
2 9

F ターム(参考) 5F173 AC14 AC26 AC35 AC46 AC54 AC70 AH03 AH48

[illegible]