

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6920302号
(P6920302)

(45) 発行日 令和3年8月18日(2021.8.18)

(24) 登録日 令和3年7月28日(2021.7.28)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 S 5/02255 (2021.01)	HO 1 S 5/02255
HO 1 S 5/026 (2006.01)	HO 1 S 5/026 6 1 8
HO 1 S 5/12 (2021.01)	HO 1 S 5/12
HO 1 S 5/22 (2006.01)	HO 1 S 5/22
GO 2 B 6/12 (2006.01)	GO 2 B 6/12 3 0 1
請求項の数 25 (全 42 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2018-532042 (P2018-532042)	(73) 特許権者	500078303
(86) (22) 出願日	平成28年12月19日 (2016.12.19)		フィニサー コーポレイション
(65) 公表番号	特表2019-500753 (P2019-500753A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
(43) 公表日	平成31年1月10日 (2019.1.10)		089 サニーベイル モフェット パー
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/067634		ク ドライブ 1389
(87) 国際公開番号	W02017/106880	(74) 代理人	100105957
(87) 国際公開日	平成29年6月22日 (2017.6.22)		弁理士 恩田 誠
審査請求日	平成30年8月22日 (2018.8.22)	(74) 代理人	100068755
(31) 優先権主張番号	62/379,569		弁理士 恩田 博宣
(32) 優先日	平成28年8月25日 (2016.8.25)	(74) 代理人	100142907
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 本田 淳
(31) 優先権主張番号	62/268,907		
(32) 優先日	平成27年12月17日 (2015.12.17)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面結合システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

システムであって、
 表面結合端面発光レーザであって、
 コア導波路と、
 該コア導波路と同じ前記表面結合端面発光レーザの層内で前記コア導波路に光学的に結合されたファンアウト領域と、
 前記ファンアウト領域内に形成された第一の表面格子と、
 前記コア導波路の下の1つ又は複数の下層であって、前記表面結合端面発光レーザによって発せられる光を実質的に透過させる前記1つ又は複数の下層と、
 分布帰還型(DFB)レーザを含むアクティブ部分であって、前記分布帰還型レーザは、前記1つ又は複数の下層の上方に位置付けられ、且つ前記コア導波路にエンドツーエンドで光学的に結合される、前記アクティブ部分と、
 コア領域と前記ファンアウト領域とを含むパッシブ部分であって、前記アクティブ部分にエンドツーエンドで光学的に結合される前記パッシブ部分と、を含む前記表面結合端面発光レーザと、
 光集積回路(PIC)であって、該光集積回路は、光学導波路及び前記光集積回路の上層内に形成された第二の表面格子を含み、前記第二の表面格子は、前記第一の表面格子と光軸合わせされている、前記光集積回路と、
 前記第一の表面格子と前記第二の表面格子との間に位置付けられた光学アイソレータと

、を備え、

前記光学アイソレータは、ガーネットを含み、

入力偏光子は、前記ガーネットの上面に結合されており、及び出力偏光子は、前記ガーネットの下面に結合されている、システム。

【請求項 2】

前記第一の表面格子は、前記コア導波路から受け取られた光を前記第二の表面格子に向かって下方に方向転換するように構成され、

前記第二の表面格子は、前記第一の表面格子からの前記光を、前記光が前記光学アイソレータを通った後に受け取るように位置付けられ、

前記第二の表面格子は、前記第一の表面格子から受け取られた光を前記光学導波路へ方向転換するように構成される、請求項 1 に記載のシステム。 10

【請求項 3】

前記第一の表面格子及び前記第二の表面格子の各々は、8 ~ 40 μm のサイズを有する回折スポットを生成するように構成される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記第一の表面格子は、10 マイクロメートル (μm) 超の長さを有し、

前記第二の表面格子は、10 μm 超の長さを有する、請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記光学アイソレータは、300 ~ 800 マイクロメートル (μm) の範囲の物理的厚さを有する、請求項 1 に記載のシステム。 20

【請求項 6】

前記光学アイソレータの上面及び前記光学アイソレータの下面の各々の表面積は、200 μm^2 未満である、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記パッシブ部分は、前記第一の表面格子の上方に位置付けられた上部ミラーを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記表面結合端面発光レーザは、前記アクティブ部分及び前記パッシブ部分に形成されたリッジ構造をさらに含み、

前記リッジ構造は、

前記アクティブ部分内の、前記アクティブ部分の多重量子井戸層の深さより上の深さまで下方に延びる浅いリッジと、

前記パッシブ部分内の、前記多重量子井戸層の前記深さより下の深さまで下方に延びる深いリッジと、を含む、請求項 1 に記載のシステム。 30

【請求項 9】

前記表面結合端面発光レーザは、直接変調レーザ (DML) を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記光集積回路に機械的且つ電氣的に結合された電気集積回路 (EIC) をさらに備え、

電気信号は、前記電気集積回路から前記光集積回路のトレースを通じて前記表面結合端面発光レーザに搬送される、請求項 9 に記載のシステム。 40

【請求項 11】

前記光集積回路は、光学マルチプレクサをさらに含む、請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記第一の表面格子は、集光格子を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 13】

基板をさらに備え、

前記表面結合端面発光レーザは、p 側を下にして前記基板に結合される、請求項 9 に記載のシステム。 50

【請求項 14】

前記基板に取り付けられ、且つ前記表面結合端面発光レーザに通信可能に結合されたドライバ又はクロック及びデータリカバリ(CDR)回路の少なくとも1つをさらに備える請求項13に記載のシステム。

【請求項 15】

前記光集積回路の前記光学導波路は、窒化シリコン(SiN)導波路を含み、
前記システムは、インタポーザをさらに備え、
前記インタポーザは、
インタポーザ導波路であって、前記インタポーザ導波路の一方の端において前記窒化シリコン導波路に断熱的に結合され、且つ前記インタポーザ導波路の反対の端において光ファイバに突き合わせ結合された前記インタポーザ導波路を含む、請求項9に記載のシステム。

10

【請求項 16】

前記光集積回路の前記光学導波路は、シリコン(Si)導波路を含み、
前記光集積回路は、前記シリコン導波路に断熱的に結合された窒化シリコン(SiN)導波路をさらに含み、
前記システムは、インタポーザをさらに備え、
前記インタポーザは、
インタポーザ導波路であって、前記インタポーザ導波路の一方の端において前記窒化シリコン導波路に断熱的に結合され、且つ前記インタポーザ導波路の反対の端において光ファイバに突き合わせ結合された前記インタポーザ導波路を含む、請求項9に記載のシステム。

20

【請求項 17】

前記第二の表面格子は、窒化シリコン(SiN)回折格子を含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項 18】

前記第一の表面格子と前記第二の表面格子との間の作動距離は、少なくとも100マイクロメートルである、請求項1に記載のシステム。

【請求項 19】

前記第一の表面格子のスポットサイズは、8マイクロメートル(μm)~40 μm の範囲である、請求項1に記載のシステム。

30

【請求項 20】

前記表面結合端面発光レーザは、リン化インジウムを含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項 21】

前記表面結合端面発光レーザは、ハイブリッドレーザを含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項 22】

前記第一の表面格子と前記第二の表面格子との間の第一の光路内にレンズが配置されていない、請求項1に記載のシステム。

40

【請求項 23】

システムであって、
表面結合端面発光光増幅器であって、コア導波路、前記コア導波路と同じ前記表面結合端面発光光増幅器の層内で前記コア導波路の第一の端に光学的に結合された第一のファンアウト領域、前記第一のファンアウト領域内に形成された第一の表面格子、前記コア導波路と同じ前記表面結合端面発光光増幅器の層内で前記コア導波路の第二の端に光学的に結合された第二のファンアウト領域、及び前記第二のファンアウト領域内に形成された第二の表面格子を含む表面結合端面発光光増幅器と、
光集積回路(PIC)であって、第一の光学導波路、第二の光学導波路、前記光集積回路の上層内に形成され、且つ前記第一の光学導波路に光学的に結合された第三の表面格子

50

、及び前記光集積回路の前記上層内に形成され、且つ前記第二の光学導波路に光学的に結合された第四の表面格子を含む前記光集積回路と、前記第一の表面格子と前記第三の表面格子との間に位置付けられた光学アイソレータと、を備え、

前記第三の表面格子は、前記表面結合端面発光増幅器の前記第一の表面格子と光軸合わせされており、及び前記第四の表面格子は、前記表面結合端面発光増幅器の前記第二の表面格子と光軸合わせされ、

前記光学アイソレータは、ガーネットを含み、

入力偏光子は、前記ガーネットの上面に結合されており、及び出力偏光子は、前記ガーネットの下面に結合されている、システム。

【請求項 2 4】

10

前記第一の表面格子と前記第三の表面格子との間及び前記第二の表面格子と前記第四の表面格子との間の作動距離は、少なくとも 50 マイクロメートルである、請求項 2 3 に記載のシステム。

【請求項 2 5】

前記第一の表面格子及び前記第三の表面格子の各々のスポットサイズは、8 マイクロメートル (μm) ~ 40 μm の範囲である、請求項 2 3 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書で説明される実施形態は、表面結合システムに関する。

20

【背景技術】

【0002】

特に別段の明示がない限り、このセクションに記載されている内容は、本願の特許請求の範囲の先行技術ではなく、このセクションに含めることによって先行技術と認められることはない。

【0003】

シングルモード発光レーザからの光をシリコン (Si) フォトニクスに結合することはコストが高く、なぜなら、一般的に 2 つのレンズと大型のアイソレータブロックとを必要とするからである。このようなレーザ及びシリコン (Si) フォトニクスを含むシステムでは、光軸位置ずれ公差が 0.5 マイクロメートル (μm) 未満であり得る。このような低い光軸位置ずれ公差は、典型的に、アクティブアライメントが満たされることを要求する。

30

【0004】

本願で特許請求される主題は、何れかの欠点を解決するか、又は上述のような環境のみで動作する実施例に限定されない。むしろ、この背景は、本明細書に記載されている幾つかの実施例が実施され得る 1 つの例示的な技術分野を説明するために提供されているにすぎない。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

40

この概要は、後に詳細な説明でより詳細に説明される概念の選択を簡略化した形式で紹介するために提供される。この概要は、特許請求される主題の主要な特徴又は本質的特性を特定しようとするものではなく、特許請求される主題の範囲を判断する際の補助として使用されることが意図されている。

【0006】

本明細書に記載されている幾つかの例示的な実施形態は、概して、表面結合システムに関する。

システムは、表面結合端面発光レーザであって、コア導波路、表面結合端面発光レーザの、コア導波路と同じ層中でコア導波路に光学的に結合されたファンアウト領域、及びファンアウト領域内に形成された第一の表面格子を含む表面結合端面発光レーザと、光集積

50

回路 (PIC: photonic integrated circuit) であって、光学導波路及びPICの上層中に形成された第二の表面格子を含み、第二の表面格子は、第一の表面格子と光軸合わせされている、光集積回路 (PIC) とを含み得る。

【0007】

他のシステムは、第一の導波路及び第一の導波路に光学的に結合された第一の回折格子を含む表面結合端面発光レーザと、第二の導波路及び第二の導波路に光学的に結合された第二の回折格子を含むPICとを含み、表面結合端面発光レーザの第一の導波路は、コア屈折率を有するコアと、上部クラッド屈折率を有する上部クラッドと、下部クラッド屈折率を有する下部クラッドとしての基板とを含み、第一の回折格子は、第一の導波路のコアに形成された格子歯を含み、格子歯は、それぞれ全高、第一の導波路のコアより上の高さ、周期、及びデューティサイクルを有し、及びコア屈折率は、第一の閾値より大きく、それにより、第一の回折格子の有効屈折率は、下部クラッド屈折率より、回折光モードの基板中への漏洩を防止するのに十分に高い。

10

【0008】

また別のシステムは、第一の導波路及び第一の導波路に光学的に結合された第一の回折格子を含む表面結合端面発光レーザと、第二の導波路及び第二の導波路に光学的に結合された第二の回折格子を含むPICとを含み、表面結合端面発光レーザの第一の導波路は、コア屈折率を有するコアと、上部クラッド屈折率を有する上部クラッドと、下部クラッド屈折率を有する下部クラッドとしての基板とを含み、第一の回折格子は、第一の導波路のコアの上方に形成された交互の格子歯及び上部クラッド歯を含み、第一の回折格子の有効屈折率は、少なくともコア屈折率及び上部クラッド屈折率に依存し、且つ下部クラッド屈折率より少なくとも6%高い。

20

【0009】

本発明の他の特徴及び利点は、以下の説明に記載されており、一部は、説明から明らかとなるか又は本発明の実施により知り得る。本発明の特徴及び利点は、付属の特許請求の範囲で特に指摘されている手段及び組合せによって実現され且つ得られ得る。本発明のこれら及び他の特徴は、以下の説明及び付属の特許請求の範囲からより十分に明らかとなるか、又は後述のような本発明を実施することにより知り得る。

【0010】

本発明の上記及び他の利点及び特徴をさらに明確にするために、本発明のより詳細な説明が、添付の図面に示されている具体的な実施形態に関して提供される。これらの図面は、本発明の典型的な実施形態のみを描いており、したがってその範囲を限定するものとみなされないことが理解される。本発明は、下記のような添付の図面を用いてさらに具体的に且つ詳細に記載され、説明される。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】例示的な表面結合システムを示す。

【図2A - 2B】表面結合システムで実施され得る例示的な表面結合端面発光レーザを示す。

【図2C】表面結合システムで実施され得る他の例示的な表面結合端面発光レーザを示す

40

【図3A - 3B】他の例示的な表面結合システムを示す。

【図4】3つの異なる例示的な光学アイソレータの構成を示す。

【図5】複数のスポットサイズに関するギャップ距離 z に関する結合効率のシミュレーションのグラフ表現を示す。

【図6】例示的な表面結合端面発光レーザのパッシブ部分を示す。

【図7】他の例示的な表面結合端面発光レーザのパッシブ部分を示す。

【図8A - 8B】それぞれパッシブ部分を通る光の伝播のシミュレーションのグラフ表現を含む。

【図9A】パッシブ部分の回折角度に関する例示的なファーストフィールドプロファイルのグ

50

ラフ表現を示す。

【図 9 B】回折光のシミュレーションの各種のグラフ表現を示す。

【図 10】上部ミラーを備えるパッシブ部分における第一の表面格子の格子周期の数 N に関する回折効率損失のシミュレーションのグラフ表現を示す。

【図 11】レーザの他のパッシブ部分を示す。

【図 12】他の例示的な表面結合端面発光レーザの断面図、浅いリッジの端面方向断面図、深いリッジの端面方向断面図、及び上面図を示す。

【図 13】第一の表面格子の長さに沿った位置に関する格子出力の電界と、第一の表面格子の回折角度に関するファールフィールドプロファイルとの各種のグラフ表現を示す。

【図 14 A】表面結合端面発光レーザの側方断面図である。

10

【図 14 B】他の例示的な表面結合システムを示す。

【図 15】コア導波路、ファンアウト領域、及び第一の表面格子の上面図を示す。

【図 16】図 15 のコア導波路、ファンアウト領域、及び第一の表面格子中の光強度のシミュレーションのグラフ表現を示す。

【図 17】他の例示的な表面結合システムを示す。

【図 18 A】表面結合端面発光レーザの他の例を示す。

【図 18 B - 18 C】異なる処理ステップにおける図 18 A のレーザを示す。

【図 19 A - 19 B】例示的な Si 光通信モジュールの上面図及び側面図である。

【図 20 A】他の例示的な Si 光通信モジュールを示す。

20

【図 20 B】他の例示的な Si 光通信モジュールを示す。

【図 21】他の例示的な表面結合システムを示す。

【図 22】図 21 の表面結合システムで実装され得る例示的な表面結合端面発光レーザの各種の図を示す。

【図 23】図 21 の表面結合システムで実装され得る他の例示的な表面結合端面発光レーザの各種の図を示す。

【図 24】他の例示的な表面結合システムを示す。

【図 25 A】例示的な Si PIC を示す。

【図 25 B】他の例示的な Si PIC を示す。

【図 26】ミラーを備える PIC 中の Si N L A S G の側方断面図を示す。

【図 27】他の例示的な表面結合システムを示す。

30

【図 28】本明細書に記載の第一及び第二の表面格子の一方若しくは両方、又は他の L A S G で実装され得る例示的な集光表面格子を示す。

【図 29】本明細書に記載の第一及び第二の表面格子の一方又は両方で実装され得る表面格子の指向性を増大させるための例示的な概念を示す。

【図 30 A】他の例示的な表面結合システムを示す。

【図 30 B】図 30 A の表面結合システムの例示的な実施例を示す。

【図 31】他の例示的な表面結合システムを示す。

【図 32】他の例示的な表面結合システムを示す。

【発明を実施するための形態】

【0012】

40

本明細書に記載されている幾つかの実施形態は、一般的に 2 つのレンズと大型のアイソレータブロックとを必要とする前述のようなシステムにおけるレンズを不要とし、それにより、このようなシステムの部品数を減らし、コストを削減することができ、このようなシステムにおけるパッケージング工程が格段に簡素化される。このようなシステムではアイソレータ (isolator) が使用され得る。このようなシステムにレンズがなければ、アイソレータは、大幅に小型化且つ低コスト化され、また光軸位置ずれ公差 (alignment tolerance) が有意に増大され得る。例えば、光軸位置ずれ公差は、光軸合わせ中にレーザをオンにする必要のあるアクティブフィールドバックアラインメント方式により行われなければならない約 $0.1 \mu\text{m}$ から、パッシブアラインメント式の、すなわちレーザをオンにしなくてよいピックアンドプレスマシン (pick-and place machine) において達成される

50

約 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 又はさらには $5 \sim 8 \mu\text{m}$ へ 10 倍又はさらには 50 倍増大され得る。代わりに又は加えて、本明細書に記載の実施形態は、レーザのウェハレベルの試験を可能にし得る。

【0013】

幾つかの実施形態によれば、第一の表面格子（すなわち、第一の回折格子又は送信格子）と、第二の表面格子（すなわち、第二の回折格子又は受信格子）とを含む表面結合システムが提供され、端面発光レーザからの光を PIC、例えば Si PIC に結合する。幾つかの実施形態において、第一及び第二の表面格子は、それぞれ低屈折率差の長い表面格子を含み得る。一般に、低屈折率差長形表面格子は、屈折率差が約 $1 \sim 1.5$ であり、長さが $10 \mu\text{m}$ より長い表面格子を含み得る。他の実施形態において、第一及び第二の表面格子は、それぞれ長さが約 $10 \mu\text{m}$ より長く、低屈折率差はあってもなくてもよい LASG を含み得る。

10

【0014】

端面発光レーザは、リン化インジウム (InP) レーザ又は他の適当な端面発光レーザを含み得る。InP レーザは、ファンアウト領域 (fan out region) 内で第一の表面格子まで広がる入力パッシブ導波路を含み得る。第一の表面格子は、第一の表面格子により回折される光ビームについて、約 $8 \sim 40 \mu\text{m}$ の比較的大きい光学モードスポットサイズを生成するように構成され得る。

【0015】

第二の表面格子は、Si PIC に形成され得る。第二の表面格子は、第一の表面格子により回折された光ビームを受け取り、且つ光ビームを Si PIC の導波路へ方向転換するように構成され得る。

20

【0016】

本明細書に記載されている実施形態は、第一の回折格子の態様もさらに含む。ある例示的な実施形態において、表面結合システムは、表面結合端面発光レーザ (surface coupled edge emitting laser) と PIC とを含み得る。表面結合端面発光レーザは、第一の導波路と、第一の導波路に光学的に連結された第一の回折格子とを含み得る。PIC は、第二の導波路と、第二の導波路に光学的に連結された第二の回折格子とを含み得る。表面結合端面発光レーザの第一の導波路は、コア屈折率を有するコアと、上部クラッド屈折率を有する上部クラッドと、下部クラッド屈折率を有する下部クラッドとしての基板とを含み得る。第一の回折格子は、第一の導波路のコア上に形成された格子歯を含み、格子歯は、それぞれ全高、第一の導波路のコアより上の高さ、周期、及びデューティサイクルを有する。コア屈折率は、第一の閾値より大きく、それにより、第一の回折格子の有効屈折率は、下部クラッド屈折率より、基板中への回折光モードの漏洩を防止するのに十分に高い。

30

【0017】

コア屈折率は、幾つかの実施形態では、格子歯の格子歯屈折率と同じであり、 3.4 以上、例えば $3.4 \sim 3.44$ の範囲又は 3.42 であり得る。1つ又は複数の例示的な実施形態による第一の回折格子の他の様々なパラメータは、後に説明される。

【0018】

他の例示的な実施形態において、表面結合システムは、表面結合端面発光レーザと PIC とを含み得る。表面結合端面発光レーザは、第一の導波路と、第一の導波路に光学的に結合された第一の回折格子とを含み得る。PIC は、第二の導波路と、第二の導波路に光学的に結合された第二の回折格子とを含み得る。表面結合端面発光レーザの第一の導波路は、コア屈折率を有するコアと、上部クラッド屈折率を有する上部クラッドと、下部クラッド屈折率を有する下部クラッドとしての基板とを含み得る。第一の回折格子は、第一の導波路のコアの上方に形成された交互の格子歯及び上部クラッド歯を含み得る。第一の回折格子の有効屈折率は、少なくともコア屈折率及び上部クラッド屈折率に依存し、且つ下部クラッド屈折率より少なくとも 6% 高いことができる。

40

【0019】

次に、図面を参照しながら、本発明の例示的な実施形態の各種の態様を説明する。図面

50

は、このような例示的实施形態の図式的且つ概略的な表現であり、本発明を限定するものではなく、また必ずしも正確な縮尺によらないことを理解すべきである。

【0020】

図1は、本明細書で説明される少なくとも1つの実施形態により配置された例示的な表面結合システム100を示す。表面結合システム100は、表面結合端面発光レーザ(以下、「レーザ」という)102と、S i P I C 104とを含み得る。少なくとも1つの実施形態において、レーザ102は、I n Pレーザを含み得る。

【0021】

加えて、レーザ102は、第一の表面格子106を含み、S i P I C 104は、第二の表面格子108を含み得る。第一の表面格子106は、コア導波路を通じてレーザ102のアクティブ部分112に光学的に結合され得る。コア導波路は、レーザ102のアクティブ部分112の利得媒質(図示せず)によって発せられる光を受け取るように光学的に結合され得る。幾つかの実施形態において、ファンアウト領域は、コア導波路と第一の表面格子106との間に提供され、及び/又はコア導波路を含み得る。ファンアウト領域は、コア導波路と同じ媒質及び層から形成され、それにより、ファンアウト領域は、一般に、コア導波路の延長であり得る。加えて、ファンアウト領域は、格子線を含み、それにより、ファンアウト領域は、一般に、第一の表面格子106の延長であり得る。

【0022】

レーザ102のアクティブ部分112から発せられた光は、コア導波路を通過してファンアウト領域へ進み、そのファンアウト領域で光のモードが横方向(例えば、一般に図1のページから出入りする方向)に広がり得る。第一の表面格子106は、光を回折され、横方向に広がるモードは、一般に、回折光110として下方に向かう。回折光110は、S i P I C 104の第二の表面格子108に向かって回折され得る。回折光110のモードは、ファンアウト領域内で8~40 μ mのスポットサイズ(横方向に測定)へ広がり、それと同時に第一の表面格子106によってアクティブ部分112の方向に沿って広がる。このような回折光が広がる方法の1つの考え得る利点は、スポットサイズを標準的なスポットサイズコンバータで実現できる2~4 μ mのスポットサイズよりはるかに大きくし得ることである。

【0023】

回折光110は、第二の表面格子108によって受け取られ得る。回折光110は、第二の表面格子108によりS i P I C 104の導波路(図示せず)へ方向転換され得る。導波路の一例は、S i 導波路であり得る。図示されていないが、光アイソレータは、後方反射を低減させるために第一の表面格子106と第二の表面格子108との間に提供され得る。光アイソレータは、S i P I C 104及び/又はレーザ102に取り付けられ得る。

【0024】

他のレーザ-P I Cシステムにおいて、1つの潜在的な問題は、このようなシステムではスポットサイズが比較的小さいため、レーザからの光をP I CのS i 導波路に結合するために2つのレンズと大型の光アイソレータブロックとが使用され得ることである。これらの他のレーザ-P I Cシステム及び他の同様のシステムは、P I Cに対するレーザの光軸位置ずれ公差が0.1 μ mであり得る。これらの他のレーザ-P I Cシステム及び他の同様のシステムのまた別の潜在的な問題は、光軸合わせが一般にアクティブに実行される(例えば、レーザがオンの状態で行われる)ことである。

【0025】

それと比較して、本明細書で説明するシステム及び設計によるレーザ102とS i P I C 104との間の光軸位置ずれ公差は、1~2 μ m又はそれを超え得る。このような光軸位置ずれ公差は、光軸合わせをパッシブに(例えば、光軸合わせ中、レーザはオフ)行うことが可能になり得る。

【0026】

本明細書で説明する第一の表面格子106及び第二の表面格子108等の表面格子は、

10

20

30

40

50

周期的構造を含み得る。周期的構造の屈折率は、交互の材料の繰り返しの周期的な領域を提供することによって周期的に交互に変化し得る。周期的領域は、コルゲーション (corrugation) 又は歯と呼ばれ得る。第一の表面格子 106 及び第二の表面格子 108 のコルゲーション又は歯は、回折光 110 の指向性を改善するためにエッチングされ得る。

【0027】

交互の材料の周期的領域は、第一の屈折率の第一の材料による領域及び第二の屈折率の第二の材料による他の領域を有し得る。第一の屈折率と第二の屈折率との差は、表面格子の屈折率差と呼ばれ得る。周期的構造の光の伝播方向への長さは、表面格子の長さと呼ばれ得る。周期的構造に含められる表面格子又はコルゲーションの深さは、カッパ (κ)、すなわち と呼ばれ、この深さは、光の伝播方向に垂直及び横方向への拡張方向に垂直の両方の方向に測定される。

10

【0028】

InP中に形成された格子は、典型的に、レーザキャビティ内にミラーを形成する分布帰還型リフレクタ (DBR: distributed feedback reflector) として使用される。これらの用途では、格子は、InP中の導波路から入射した光を、入射に関して 180° で入射と同じ平面内において直接反射し、例えば後方反射する。格子の屈折率差は、インジウムガリウムヒ素リン化物 (InGaAsP) と InP との間にあり、これらは、InGaAsPの正確な組成に応じてわずかに異なる屈折率を有する。DBRの例として、InP格子の屈折率差は、 $100 \sim 200 \text{ cm}^{-1}$ 、長さ約 $100 \mu\text{m}$ で約 0.01 であり得る。このような構成の例示的な InP 格子は、約 92% の結合効率を実現し得る。InP表面格子のバンド幅は、InP表面格子の中心がレーザの名目上の中心波長にある場合、約4ナノメートル (nm) であり得る。本明細書に記載されている少なくとも1つの実施形態によれば、InP格子は、入射光を入射面の外に回折させるように設計され、したがって回折格子であり、これは表面格子と呼ばれ得る。

20

【0029】

少なくとも1つの実施形態において、InP表面格子の屈折率差は、二酸化シリコン (SiO_2) 又は他の誘電体上部クラッド (dielectric top cladding) を備える、深掘りエッチングされた InGaAsP 又は InP 表面格子を用いて約2であり、InP表面格子の長さも、約 $50 \mu\text{m}$ で -0.5 dB の低い結合損失を実現し得る。結合損失は、導波路の入射部におけるパワー全体に関する、格子の平面からファールフィールド (far field) の狭い角度に向けられるパワーの比であり得る。

30

【0030】

例示的な InP 表面格子の長さは、例示的な Si/SiO₂ 表面格子の長さより長いことができ、なぜなら、光学モードと格子屈折率プロファイルとの重なり積分と定義される例示的な InP 表面格子の有効屈折率差は、例示的な Si 表面格子の有効屈折率差より比較的小さいことができるからである。例示的な InP 表面格子は、幾つかの実施形態において、 80 nm という高いバンド幅を用いて高い結合効率を有するように構成され得る。

【0031】

第二の表面格子 108 の例は、Si 表面格子を含み得る。例示的な Si 表面格子の屈折率差は約2であり、長さは $10 \sim 20 \mu\text{m}$ であり得る。これらの構成の例示的な Si 表面格子は、約 30 nm のバンド幅で約 $10 \mu\text{m}$ ファイバモードにファールフィールド発光するように構成され得る。例示的な Si 表面格子は、例示的な InP 表面格子により生成されるモードプロファイルとマッチするように構成され得る。或いは、Si PIC 104 は、本明細書に記載されているように、第二の表面格子 108 として実装される窒化シリコン (SiN) 表面格子を含み得る。SiN 表面格子の屈折率差は、Si 表面格子より小さいことができる。そのため、SiN 表面格子のモードプロファイルは、例示的な InP 表面格子のモードプロファイルとよりよくマッチし得る。

40

【0032】

屈折率差がほぼ2であり、長さが約 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ である例示的な Si 表面格子の結合効率は、 $0.8 \sim 2 \text{ dB}$ であり得る。屈折率差がより小さく、及び/又は長

50

さがより長い例示的なS i表面格子の結合効率は、0.8～2dBより高いことができる。幾つかの実施形態において、例示的なS i表面格子の長さは、例示的なI n P表面格子の長さと同じにするか、実質的にマッチするように延長され得る。

【0033】

上記及び本明細書中で説明されているように、第一の表面格子106及び第二の表面格子108等の表面格子の場合、最大の結合又は共鳴は、式1で定義されるような共鳴波長で起こり得る。

【0034】

【数1】

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} n_s \sin \theta + \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_w, \quad \text{式1}$$

10

式1中、 λ_0 は、共鳴波長を示し、 n_s は、表面格子のクラッドの屈折率を示し、 θ は、結合角度であり、 λ は、表面格子の格子周期であり、 n_w は、表面格子の有効屈折率であり得る。表面格子の有効屈折率 n_w は、例えばエッチング深さ、コアの屈折率、及び誘電体の屈折率に依存し、コア及び誘電体は、表面格子の周期的表面の周期的領域を構成する。固定された格子周期及び結合角度の場合、結合効率は、波長が共鳴波長から離れるにつれて劣化し、これは、式1の共鳴条件が満たされなくなるからである。

【0035】

式2は、波長に関する波動ベクトルのミスマッチ量を示す。

【0036】

【数2】

$$\Delta\beta(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} n_w - \left(\frac{2\pi}{\lambda} n_s \sin \theta + \frac{2\pi}{\lambda} \right), \quad \text{式2}$$

20

式2中、 $\Delta\beta(\lambda)$ は、波長 λ に関する波動ベクトルのミスマッチであり、 n_s 、 n_w 、及び θ は、式1に関して説明したとおりである。共鳴では、 $\Delta\beta(\lambda)$ は0と等しいことができる。

【0037】

図2A及び2Bは、図1に関して説明した表面結合システム100等の表面結合システムで実装され得る例示的な表面結合端面発光レーザ(以下、「レーザ」という)202Aを示す。図2Aは、底面図を含み、図2Bは、レーザ202Aの下側斜視図を含む。図2Cは、図1に関して説明した表面結合システム100等の表面結合システムで実装され得る他の例示的な表面結合端面発光レーザ(以下、「レーザ」という)202Bを示す。レーザ202A及び202Bの各々は、図1のレーザ102を含み得るか又はそれに対応し得る。

30

【0038】

まず、図2A及び2Bを参照すると、レーザ202Aは、利得媒質216と、第一の分散ブラッグリフレクタ(DBR: distributed Bragg reflector)214Aと、第二のDBR214Bとを含み得る。第一及び第二のDBR214A～Bは、利得媒質216と共にレーザキャビティ212を形成し、それにより、図2A及び2Bの例におけるレーザ202Aは、DBRレーザを含み得る。代わりに又は加えて、図2Cに示されるように、レーザ202Bは、分布帰還型(DFB: distributed feedback)レーザを含み、格子220及び利得媒質222はレーザキャビティ内で重複する。他の実施形態において、DFB型利得領域及び1つ又は複数のパッシブDBR領域は、両方とも分散リフレクタ(DR: Distributed Reflector)レーザと呼ばれ、また、高速レーザの用途に使用され得る構成内でフィードバックを提供するために存在し得る。レーザ202A、202Bの各々は、対応するレーザキャビティ(例えば、図2A及び2Bの212)に光学的に結合された第一の表面格子206を含み得る。第一の表面格子は、図1に関して説明した第一の表面格子106と同様又は同じであり得る。第一の表面格子206のファンアウト領域は、第一の表面格子

40

50

206とファンアウト領域とが部分的に又は完全に重複するように格子線を含み得る。

【0039】

図2A及び2Bにおいて、第二のDBR 214Bの反射率は約98パーセントであり、第一のDBR 214Aの反射率は約30パーセントであり得る。他の実施形態において、第一及び第二のDBR 214A~Bは、他の反射率の値を有し得る。

【0040】

レーザ202Aは、一般に、第一のDBR 214Aを通じて第一の表面格子206へ光218を発し得る。発せられた光218は、第一の表面格子206と相互作用し、第一の表面格子206によって回折光210として回折され得る。

【0041】

図2Cにおいて、DFBとして実装されるレーザ202Bは、一般に、DFBレーザの正面から第一の表面格子206に向かって光224を発し得る。光224は、第一の表面格子206と相互作用し、第一の表面格子206によって回折光226として回折され得る。

【0042】

レーザ202A及び/又は202Bは、レーザ202A又は202B上のSiN又は酸化シリコン(SiO_x)の堆積により形成されたパッシベーション層によって気密封止され得る。より詳しくは、SiN及び/又はSiO_xの1つ又は複数の層がレーザ202A又は202B上に堆積されて、レーザ202A又は202Bを気密封止し得る。

【0043】

図3A及び3Bは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表面結合システム300を示す。表面結合システム300は、表面結合端面発光レーザ(以下、「レーザ」という)302とSiPIC 304とを含み得る。レーザ302は、図1及び2A~2Cに関して上述したレーザ102、202A、及び/又は202Bと同じ又は同様であり得る。SiPIC 304は、図1に関して上述したSiPIC 104と同じ又は同様であり得る。

【0044】

レーザ302は、第一の表面格子306を含み得る。第一の表面格子306は、図1及び2A~2Cに関して上述した第一の表面格子106及び206と同じ又は同様であり得る。SiPIC 304は、第二の表面格子308を含み得る。第二の表面格子308は、図1に関して上述した第二の表面格子108と同じ又は同様であり得る。第一の表面格子306と第二の表面格子308とは、代わりに又は加えて、それぞれLASGを含み得る。代わりに又は加えて、第一の表面格子306は、トランスミッタ格子又は大面積表面レーザカプラと呼ばれ、その一方で第二の表面格子308は、レシーバ格子又は大面積表面Siカプラと呼ばれ得る。表面結合システム300はまた、レーザ302とSiPIC 304との間に配置された光アイソレータ320も含み得る。

【0045】

レーザ302は、レーザ302のレーザキャビティ312から発せられた光の光学モードを拡張するように構成され得る。レーザキャビティ312から発せられた光の光学モードは、8~40µmのスポットサイズ、又は20~40µmのスポットサイズ、又は他の比較的大きいスポットサイズに拡張され得る。そのため、SiPIC 304に関するレーザ302の光軸位置ずれ公差は、約+/-5µmであり、これは、マルチモード(MM:multimode)垂直キャビティ表面発光レーザ(VCSEL:vertical cavity surface emitting laser)等、他のレーザの光軸位置ずれ公差と同様であり得る。このような比較的大きいスポットサイズの場合、光アイソレータ320にとって回折は無視し得る。そのため、幾つかの実施形態において、光アイソレータ320は、厚さ約600µmであり、これは、光アイソレータ320の上面上の入力偏光子と共にガーネットを含む。より一般的に、光アイソレータ320の物理的厚さは、300µm~800µmの範囲であり得る。光アイソレータ320の上面上は、レーザ302に結合された表面であり得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

光アイソレータ 3 2 0 は、光アイソレータ 3 2 0 の下面上の出力偏光子を含み得る。光アイソレータ 3 2 0 の下面は、S i P I C 3 0 4 に結合された表面であり得る。入力及び出力偏光子の各々は、ポーラーコア (P O L A R C O R) という商品名でコーニング (C O R N I N G) が販売する偏光子又は他の適当な偏光子を含み得る。光アイソレータ 3 2 0 の上側表面積又は下側表面積は、光アイソレータが 2 つのレンズ間に位置付けられる他のレーザ - P I C システムにおける光アイソレータの少なくとも 4 0 0 ~ 5 0 0 μm の表面積と比較して、1 0 0 ~ 2 0 0 μm 又はそれ未満であり得る。光アイソレータ 3 2 0 の表面積がより小さいことにより、他のレーザ - P I C システムと比較して、幾つかの実施形態における光アイソレータ 3 2 0 のコストが削減され得る。

10

【 0 0 4 7 】

本明細書に記載の L A S G の利点は、図 3 B に示されるように、レーザからの光学ビームの発散を考えることでわかる。図 3 B に関して、レーザ 3 0 2 から回折するスポットサイズは、式 3 により特定され得る。

【 0 0 4 8 】

【 数 3 】

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2}, \text{ここで } z_R = \frac{\pi n w_0^2}{\lambda} \quad \text{式 3}$$

20

式 3 中、 w_0 は、第一の表面格子 3 0 6 によりレーザ 3 0 2 から回折される光学スポットサイズ 3 2 2 又はビームウェストであり、 $w(z)$ は、距離 z に関する、例えば第二の表面格子 3 0 8 におけるスポットサイズ 3 2 4 であり、 n は、光学ビームがその中を伝播する媒質の屈折率であり、 z_R は、式 3 の右側で定義される。

【 0 0 4 9 】

レーザ 3 0 2 の第一の表面格子 3 0 6 の大きさが S i P I C 3 0 4 中の第二の表面格子 3 0 8 と同じであり、レーザ 3 0 2 により出力されるビームが光アイソレータ 3 2 0 を通じて発散すると仮定すると、ビームのスポットサイズは、 w_0 3 2 2 から $w(z)$ 3 2 4 へ増大する。 $w(z)$ 3 2 4 と第二の表面格子 3 0 8 との間の重複を利用して、結合角度が最適であると仮定して結合損失を特定できる。

30

【 0 0 5 0 】

各コンポーネント (すなわち、光アイソレータ 3 2 0) 内を通るビームの第一の表面格子 3 0 6 と第二の表面格子 3 0 8 との間の有効距離は、物理的距離を、そのコンポーネント又はビームがその中を伝搬する他の媒質の屈折率で割ったものと等しい。例えば、厚さが 4 0 μm であり、 n が 1 . 5 である光アイソレータ 3 2 0 の偏光子の有効距離は、4 0 μm / 1 . 5、すなわち約 2 7 μm である。

【 0 0 5 1 】

「作動距離」は、レーザ 3 0 2 から (又はより詳しくは、レーザ 3 0 2 の第一の表面格子 3 0 6 から) 発せられたスポット間の結合損失が、第二の表面格子 3 0 8 上において、0 . 5 d B の損失となる大きさに発散するときの空気中の距離であり得る。幾つかの実施形態において、その屈折率が約 3 . 2 に正規化されたレーザ 3 0 2 の I n P 基板の厚さが「作動距離」の計算に含められ、なぜなら、第一の表面格子 3 0 6 からの光がレーザ 3 0 2 の I n P 基板から出た後にアイソレータスタックに衝突するからである。光アイソレータ 3 2 0 及びレーザ 3 0 2 の I n P 基板の、第一の表面格子 3 0 6 と第二の表面格子 3 0 8 との間の有効距離、スポットサイズ w_0 3 2 2 を考えると、第一の表面格子 3 0 6 及び第二の表面格子 3 0 8 は、結合損失が確実に < 0 . 5 d B となるように構成され得る。本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態によれば、レーザを発する表面結合端面発光レーザの第一の表面格子と P I C の第二の表面格子との間の作動距離は、少なくとも 1 0 0 μm であり得る。

40

【 0 0 5 2 】

50

図4は、本明細書に記載されている少なくとも1つの実施形態により配置された3つの異なる光アイソレータ構成420A~Cを示す。光アイソレータ構成420A~Cは、二段形アイソレータ420A、一段形アイソレータ420B、及び第二の偏光子が集積されたアイソレータ420Cを含む。

【0053】

二段形アイソレータ420Aは、第一の「バルク(bulk)」形2層偏光子スタック424Aを含み得る。本明細書で使用される限り、「バルク」とは、Si PICと一体化されていないマイクロオプティックコンポーネントを意味する。二段形アイソレータ420Aはまた、ファラデー回転子(Faraday rotator)426A及び第二のバルク形2層偏光子スタック424Bも含み得る。第二のバルク形2層偏光子スタック424Bは、アイソレーションが概して40~50dBとなるように構成され得る。加えて、二段形アイソレータ420Aは、光ビームの偏光状態を変更又は変化させるための1/2波長板428を含み得る。

10

【0054】

二段形アイソレータ420Aは、概して600 μ m(例えば、600~800 μ m)の有効厚さを有し得る。二段形アイソレータ420Aは、本明細書で説明される3つの光アイソレータ420A~Cのうちの最も厚いものであり得る。

【0055】

一段形アイソレータ420Bは、第一のバルク偏光子430A、ファラデー回転子426B、及び第二のバルク偏光子430Bを含み得る。第二のバルク偏光子430Bは、アイソレーションが20dBとなるように構成され得る。一段形アイソレータ420Bは、1/2波長板を省略して構成され得る。例えば、第二の表面格子が一段形アイソレータ420Bの第二のバルク偏光子430Bの偏光状態を受けるとして構成されている場合、1/2波長板は省略され得る。一段形アイソレータ420Bの有効厚さは、概して300 μ mであり得る。

20

【0056】

第二の偏光子が統合されたアイソレータ420Cは、第二のバルク偏光子を省略し、第一のバルク偏光子430C及びファラデー回転子426Cが、第二の偏光子が統合されたアイソレータ420Cの離散コンポーネントとして残るように構成され得る。第二の偏光子が統合されたアイソレータ420Cにおいて、Si PIC上の第二の表面格子は、1回偏光用に構成され得る。第二の表面格子は、第二のバルク偏光子が省略された場合に偏光子としての役割を果たし得る。Si PIC偏光スプリッタ(図示せず)を含む第二の統合偏光子は、消光比10~20dBの第二の偏光子として使用され得る。第二の統合偏光子は、Si PICのファイバ結合端と、レーザの第一の表面格子に結合された第二の表面格子に接続された導波路との間に配置され得る。

30

【0057】

レーザへの又はそれからの偏光のために使用される偏光子424A、430A、及び430Cは、典型的に、40~50dBの偏光消光比(PER: polarization extinction ratio)を有し、これは、所望の偏光におけるパワーを、偏光子を通る光の偏光されなかったパワーで割った比と定義される。このような40~50dB PERの偏光子は、典型的に、20~25dB PERの2つの偏光子を、基板を挟んで積層させたものを含み得るため、200 μ mの厚さである。このような偏光子の厚さを削減して、有効作動距離を短縮することが望ましいことがあり得る。これら及び他の実施形態において、表面結合システムの第一の表面格子であって、InP表面格子を含み得る第一の表面格子は、横電場(TE: Transvers Electric)偏光で光を所望の角度で効率的に回折させるように構成され得る。この場合、垂直偏光の横磁場(TM: Transvers Magnetic)は効率的に結合されず、第一の表面格子は、消光比10~20dBの偏光子として機能できる。このような実施形態では、偏光子424A、430A、及び430Cはより薄く(例えば、200 μ mより薄く)、20~25dBのより小さい偏光消光比を有するように選択され、これは、第一の表面格子

40

50

の P E R と共に、同程度の合計 40 ~ 50 d B P E R をより短い作動距離及びより低コストで提供し得る。20 d B P E R で十分である場合、幾つかの用途では、偏光子 424 A、430 A、及び 430 C は除去され、第一の表面格子は、アイソレータスタックにおける 20 d B P E R として機能し、レーザに対して 20 d B のアイソレーションを提供する。

【0058】

例示的な S i P I C 偏光スプリッタは、2015年1月11日に依頼された米国特許出願公開第 14 / 938815 号明細書（以下、「815号出願」という）に記載されており、この出願は参照により本願に援用される。第二のバルク偏光子の代わりに第二の表面格子に集積された偏光子を使用する利点は、第一の表面格子と第二の表面格子との間の有効厚さの相対的な縮小であり、それにより、レーザの第一の表面格子から S i P I C の第二の表面格子に向かって発せられる比較的小さいスポットサイズを使用することが可能になり得る。

10

【0059】

図 5 は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された、複数のスポットサイズの、ギャップ距離 z (μm) に関する結合効率 (d B) のシミュレーションのグラフ表現 571 を示す。曲線 573、575、及び 577 は、それぞれ $10\ \mu\text{m}$ 、 $14\ \mu\text{m}$ 、及び $18\ \mu\text{m}$ のスポットサイズの結合効率を示す。図 5 のシミュレーションでは、S i P I C 中の第二の表面格子、例えばレーザ格子に結合されるときにスポットの回折による結合効率のみが考慮されている。S i P I C 内のレーザ格子から S i P I C 内の S i 又は S i N 導波路への有限結合効率による追加的な結合損失があり得る。

20

【0060】

スポットサイズ $10\ \mu\text{m}$ に対応する曲線 573 について、約 $-0.5\ \text{d B}$ の結合効率が約 $160\ \mu\text{m}$ のギャップ距離（又は有効厚さ）で実現され得る。このギャップ距離は、第二の偏光子が集積されたアイソレータ、例えば図 4 に関して説明された第二の偏光子が集積されたアイソレータ 420 C の有効厚さに対応し得る。スポットサイズ $14\ \mu\text{m}$ に対応する曲線 575 について、約 $-0.4\ \text{d B}$ の結合効率は、約 $300\ \mu\text{m}$ のギャップ距離（又は有効厚さ）で実現され得る。このギャップ距離は、一段形アイソレータ、例えば図 4 に関して説明した一段形アイソレータ 420 B の有効厚さに対応し得る。スポットサイズ $18\ \mu\text{m}$ に対応する曲線 577 について、約 $-0.6\ \text{d B}$ の結合効率が約 $600\ \mu\text{m}$ のギャップ距離（又は有効厚さ）で実現され得る。このギャップ距離は、二段形アイソレータ、例えば図 4 に関して説明した二段形アイソレータ 420 A の有効厚さに対応し得る。

30

【0061】

図 6 は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された例示的な表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）のパッシブ部分 632 を示す。図 6 のパッシブ部分 632 を含むレーザは、本明細書で説明する表面結合システムの 1 つ又は複数で実装され得る。パッシブ部分 632 はコア導波路 642 を含み、これは、本明細書の他の箇所でも説明する第一の表面格子に対応するか又はそれを含み得る第一の表面格子 606 に光学的に結合される。パッシブ部分 632 はまた、コア導波路 642 及び第一の表面格子 606 の下の基板 634、コア導波路 642 及び第一の表面格子 606 の上方の誘電体 636、並びに誘電体 636 の上方の上部ミラー 638 も含み得る。基板 634 は、コア導波路 642 のクラッドとしての役割を果たし得る。少なくとも 1 つの実施形態において、コア導波路 642 は I n G a A s P 導波路を含み得る。レーザの幾つかの実施形態は、上部ミラー 638 等の上部ミラーを含み、他の実施形態は上部ミラーがなくてもよい。

40

【0062】

第一の表面格子 606 は、コア導波路 642 と誘電体 636 との接合面に形成された周期的構造 640 を含み得る。周期的構造 640 はコルゲート領域を含み、これは、誘電体 636 の領域と交互に配置されるコア導波路 642 の領域を含む。コア導波路 642 の領域の屈折率は、誘電体の領域 636 の屈折率と異なり得る。周期的領域は、コルゲーション又は歯と呼ばれ得る。周期的構造 640 は、例えばファンアウト領域の形態で光伝播方

50

向（例えば、左から右）に横に（例えば、ページから出入りする方向に）拡張し得る。

【0063】

誘電体636は、 SiO_2 若しくは $SiNx$ 、又は他の適当な誘電パッシベーション材料を含み得る。上部ミラー638は、金、誘電体スタック（例えば、HRコーティング）、又は他の適当な材料及び/又はミラーを含み得る。基板634は、 InP 又は他の適当なクラッド材料を含み得る。

【0064】

図6には示されていないが、パッシブ部分632を含むレーザは、加えて、アクティブ部分を含み、これは、利得媒質及び1つ又は複数のDBRミラー又はDFBリフレクタを含み、これらがまとめてコア導波路に光学的に結合されたレーザキャビティを形成する。

10

【0065】

パッシブ部分632は、第一の表面格子606によって基板634を通過して下方に回折される光の部分を最大にするように構成され得る。加えて、パッシブ部分632は、第一の表面格子606によってレーザの基板を通過してレーザの下に位置付けられた $SiPIC$ の第二の表面格子へ回折される光の部分を最大にするように構成され得る。第一の表面格子606を通過して進む光ビームの一部は、基板634からパッシブ部分632のエピタキシャル成長された上面に向かって回折され、それにより、基板634に向かい、 $SiPIC$ に入る方向への結合効率が低下する。そのため、上部ミラー638が誘電体636の上に堆積されて、上方に回折された光ビームを、クラッド634を通過して $SiPIC$ に入るように下方に方向転換され得る。方向転換された光が第一の表面格子606からクラッド634に向かって回折される光と同位相で追加されることを確実にするために、誘電体636の厚さは、式4を満たし得る。

20

【0066】

$$d = m (\cos(\theta)) / 2n_{\text{dielectric}} \quad \text{式4}$$

式4中、 m は、整数であり、 n は、誘電体636の屈折率であり、 θ は、垂直と、上方に回折する光の伝播方向との間の角度であり、 λ は、光ビームの波長である。

【0067】

図8Aは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、パッシブ部分を通る光の伝播のシミュレーションのグラフ表現879である。図8Aのパッシブ部分は、図6に関して説明したパッシブ部分632と同様であり得るが、上部ミラー（例えば、上部ミラー638）がない。パッシブ部分はまた、長さが短いことができる（例えば、長さ $30\mu m$ 未満）。パッシブ部分は、 $462.2nm$ の格子周期の第一の表面格子を含み得る。加えて、第一の表面格子は、 60 周期及び長さ $27.7\mu m$ （ 60 周期 $\times 0.462\mu m = 27.7\mu m$ ）であり得る。図8Aのグラフ表現879からわかるように、上部ミラーがないため、光の有意な部分（例えば、図8Aの例では 8.3% ）がパッシブ部分から失われ得る。

30

【0068】

図8Bは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、パッシブ部分を通る光の伝播のシミュレーションのグラフ表現881である。図8Bのパッシブ部分は、図6に関して説明したパッシブ部分632と同様であり、上で図6に関して説明した上部ミラー638等の上部ミラーを含み得る。パッシブ部分はまた、長さが短いことができる（例えば、長さ $30\mu m$ 未満）。パッシブ部分は、 $462.2nm$ の格子周期の第一の表面格子を含み得る。加えて、第一の表面格子は、 60 周期及び長さ $27.7\mu m$ （ 60 周期 $\times 0.462\mu m = 27.7\mu m$ ）であり得る。図8Bのグラフ表現881からわかるように、図8Aと比較して、光の比較的より大きい部分が利用可能であり、光はミラーで反射して戻される。

40

【0069】

図8A及び8Bのシミュレーションを比較すると、パッシブ部分に上部ミラーを含めることにより、下方への結合効率が大幅に改善され得ることがわかる。

図7は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表

50

面結合端面発光レーザ（以下「レーザ」という）のパッシブ部分732を示す。パッシブ部分732を含むレーザは、本明細書で説明する表面結合システムの1つ又は複数で実装され得る。パッシブ部分732は、第一の回折格子706に光学的に結合された導波路コア742を含み得る。第一の回折格子706は、他方の第一の回折格子及び/又は本明細書で説明される第一の表面格子に対応し得る。パッシブ部分732はまた、導波路コア742及び第一の表面格子706の下部の下部クラッドとしての基板734と、導波路コア742及び第一の表面格子706の上方の上部クラッド736も含み得る。上部クラッド736、導波路コア742、下部クラッド734が共に導波路744を形成し得る。この例では、光ビームは、導波路744中を右から左の方向に伝播し得る。光ビームは、導波路744中を、光ビームが第一の回折格子706によって下部クラッド734の方向に回折されるまで進み得る。回折光ビームの一部又は全部は、下部クラッド734を通過してそこから外へ伝播し得る。

10

【0070】

幾つかの実施形態において、下部クラッド734は、下部クラッド屈折率が3.2であるInPを含み得る。代わりに又は加えて、上部クラッド736は、上部クラッド屈折率が約1.46であるSiO₂等の誘電体、又はより一般的には、上部クラッド屈折率が1~2の範囲である誘電体を含み得る。代わりに又は加えて、導波路コア742は、光学モードを案内するために下部クラッド屈折率より高いコア屈折率のInGaAsP(In、Ga、As、及びPの比を示すためにIn_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}と呼ばれることがある)を含み得る。組成物In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}中の可変値x及びyを変えると、材料のバンドギャップ、したがって屈折率と、損失とが変化する。

20

【0071】

導波路コア742の幅広い屈折率により、導波路744内に案内されたモードが生じ得る。しかしながら、ファーフールドへ伝播し、SiPIC中のレシーバ格子に到達できる光の高い回折効率を実現するために、導波路コア742の適当な屈折率は、より限定され得る。より詳しくは、第一の回折格子706は、第一の屈折率を有し得るInGaAsPの繰り返しの周期的領域と、第二の屈折率のSiO₂の周期的領域とを含み、第一の屈折率は、第二の屈折率より高く、その結果として得られる第一の回折格子706の屈折率は、導波路コア742と比較して低下され得る。その結果、第一の回折格子706の有効屈折率が、下部クラッド734のための屈折率（例えば、InP基板の屈折率）と同程度であるか又はそれ未満になると、第一の回折格子706から回折する光ビームは、基板モードに漏洩し、所望の方向でファーフールド中に入り、下部クラッド734（例えば、InP基板）から出て、ある作動距離だけ離れているSiPIC中のレシーバ格子に到達するように回折しないことがあり得る。

30

【0072】

図9Aは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、上で図7に関して説明したパッシブ部分732等のパッシブ部分の回折角度に関するファーフールドの例のグラフ表現983を示す。パッシブ部分は、コア屈折率3.38を有し得る。図9Aに示されるように、光の大きい部分が漏洩モード985に向けられ、ファーフールドに回折されないことがあり得る。パッシブ部分は、レーザからの光をSiPICに結合する際の結合効率が低いことがあり、多くの産業用途に対して非実用的であり得る。

40

【0073】

本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態によれば、良好な効率を提供するために、コア屈折率は、下部クラッド屈折率より少なくとも6%高くして、結果として得られる第一の回折格子の有効屈折率が、（例えば、InP基板の）下部クラッド屈折率より、基板への漏洩を防止するのに十分に高くなるようにし得る。

【0074】

代わりに又は加えて、屈折率3.40以上の導波路コアとなるようなInGaAsPの組成は、一般に、基板への漏洩を防止する（又は少なくとも図9Aのシミュレーション983と比較して低減させる）ことができる。しかしながら、屈折率が高くなると、材料の

50

吸収による損失を招くことがあり、したがって、基板への漏洩と損失との折り合いが付けられ、例えばバランスがとられ得る。

【 0 0 7 5 】

図 9 B は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された回折光のシミュレーションの各種のグラフ表現を示す。グラフ 9 8 7 は、図 7 の第一の回折格子 7 0 6 等の第一の回折格子の導波路コア屈折率に関する回折パワーのシミュレーションを表す。曲線 9 8 9 は、第一の回折格子の導波路コア屈折率に関する下方への回折パワー全体を表す。曲線 9 8 9 は、有用な回折光（例えば、基板からファーフールドへ実際に放射される光）、並びに基板中に漏洩したが基板から出ない光が考慮されている。曲線 9 9 1 は、第一の回折格子の導波路コア屈折率に関するファーフールドの下方回折パワーを表す。曲線 9 9 1 は、基板からファーフールドへ実際に放射される有用な回折光のみを含み得る。

10

【 0 0 7 6 】

グラフ 9 9 3 及びグラフ 9 9 5 は、2 つの異なる導波路コア屈折率についての回折角度に関するファーフールドプロファイルを含む。グラフ 9 9 3 に表されるシミュレーションでは、導波路コアの屈折率は 3 . 3 8 であり、9 9 7 で示されるように、より大きい回折角度（例えば、約 7 0 ° より大きい角度）で光の多くの部分が漏洩により失われ得る。9 9 9 で示されるように、グラフ 9 9 3 のシミュレーションは、二次放射モードを含み、ここで、光は、約 - 4 0 ° の回折角度で失われ得る。9 0 1 で示されるように、グラフ 9 9 3 のシミュレーションは、約 1 0 度の回折角度で一次放射モードを含む。グラフ 9 9 3 に表されるシミュレーションでは、全体のパワーの約 2 0 パーセントのみが有用であり、一次放射モードに含まれるにすぎない。これと比較して、グラフ 9 9 5 に表されるシミュレーションでは、導波路コア屈折率は 3 . 4 2 であり、約 - 1 7 度の回折角度において 9 0 3 で示される単独の放射モードがある。

20

【 0 0 7 7 】

InGaAsP コア材料の導波路コア屈折率は、導波路コアを構成する $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ 材料組成（又は他の材料組成）中の x 及び y の値を変えらるることにより調節され得る。 x 及び y の値を変化させると、 $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ のバンドギャップが変わり、それが次にその屈折率を変化させる。屈折率が大きくなりバンドギャップが変化すると、回折効率は、材料の吸収により低下する。したがって、3 . 5 の屈折率は、3 . 4 2 の屈折率よりファーフールドの下方回折パワーがより高いことがあり得るが、3 . 5 の屈折率では、それに伴う材料吸収による損失が 3 . 4 2 の屈折率と比較してはるかに大きいことがあり、それによって回折効率が全体として低くなることにつながる。1 つの実施形態において、導波路コア 4 3 2 の屈折率の 3 . 4 ~ 3 . 4 4 の範囲は、幾つかの実施形態におけるファーフールドへの下方回折パワーと効率回折との間の適当なバランスに当たり得る。他の実施形態において、導波路コアの屈折率は、その特定の実装に応じて 3 . 4 未満でも、又は 3 . 4 4 より大きいこともできる。

30

【 0 0 7 8 】

図 1 0 は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された、図 6 のパッシブ部分 6 3 2 等の上部ミラーを有するパッシブ部分中の第一の表面格子の格子周期数 N に関する回折効率損失のシミュレーションのグラフ表現 1 0 0 5 を示す。図 1 0 のシミュレーションにおいて、0 dB の回折効率損失は、完全な（すなわち、1 0 0 パーセントの）下方回折と等しいことができる。図 1 0 のグラフ表現 1 0 0 5 からわかるように、格子周期数 N が増加すると回折効率が向上する。

40

【 0 0 7 9 】

図 1 1 は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置されたレーザの他のパッシブ部分 1 1 3 2 を示す。図 1 1 のパッシブ部分 1 1 3 2 を含むレーザは、本明細書で説明する表面結合システムの 1 つ又は複数で実装され得る。パッシブ部分 1 1 3 2 は、 SiO_2 、 SiN_x 、又は他の適当なクラッド材料からなる上部クラッド 1 1 3 6 と、導波路コア 1 1 4 2 と、第一の表面格子 1 1 0 6 とを含み得る。第一の表面格子 1 1 0 6 は

50

、格子歯（すなわち、屈折率の異なる交互の材料）を含み得る。第一の表面格子 1 1 0 6 及び導波路コア 1 1 4 2 は、InGaAsP からなり得る。加えて、パッシブ部分 1 1 3 2 は、InP の基板からなる下部クラッド 1 1 3 4 を含み得る。少なくとも 1 つの実施形態において、導波路コア 1 1 4 2 の下部クラッド 1 1 3 4 より上の高さは、約 3 5 0 nm、例えば 3 0 0 ~ 3 8 0 nm、3 2 5 ~ 3 7 5 nm、又は 3 5 0 nm であり得る。代わりに又は加えて、第一の表面格子 1 1 0 6 の格子歯の、導波路コア 1 1 4 2 の最下部から第一の表面格子 1 1 0 6 の格子歯の最上部までの全高は、約 6 5 0 nm、例えば 5 5 0 ~ 7 0 0 nm、6 0 0 ~ 6 8 0 nm、6 5 0 ~ 6 8 0 nm、又は 6 7 3 . 9 nm であり得る。代わりに又は加えて、第一の表面格子 1 1 0 6 の格子歯の、導波路コア 1 1 4 2 の最上部から第一の表面格子 1 1 0 6 の格子歯の最上部まで測定された導波路コア 1 1 4 2 より上の高さは、約 3 0 0 nm、例えば 2 5 0 ~ 3 5 0 nm、3 1 0 ~ 3 3 0 nm、又は 3 2 3 . 9 nm であり得る。

10

【0080】

図 1 1 に示されているように、第一の表面格子 1 1 0 6 の格子歯は、上部クラッド 1 1 3 6 のクラッド歯と交互に配置され、したがって格子周期及び / 又はデューティサイクルを有し得る。格子周期は 5 2 5 . 6 nm であり、これは、各格子歯の前面と次の格子歯の前面との間の距離が 5 2 5 . 6 nm であり得ることを意味する。より一般的に、格子周期は 5 0 0 nm ~ 6 0 0 nm の範囲であり得る。ある例示的な実施形態において、第一の表面格子 1 1 0 6 は 1 2 0 の格子周期を含み得る。第一の表面格子 1 1 0 6 のデューティサイクルは 0 . 3 9 7 であり得、これは、各格子歯が各格子周期の 3 9 . 7 % にわたることを意味し、対応する上部クラッド歯が各格子周期の残りの部分を占める。より一般的に、デューティサイクルは 0 . 3 ~ 0 . 5 の範囲であり得る。ある例示的な実施形態において、第一の表面格子 1 1 0 6 又は本明細書に記載の他の第一の表面格子は、以下のパラメータの 1 つ又は複数を含み得る：格子周期 1 2 0、格子周期 5 2 5 . 6 nm、デューティサイクル 0 . 3 9 7、格子歯の全高 6 7 3 . 9 nm、下方放射効率 (DRE : downward radiation efficiency) - 0 . 4 5 4 dB、放射回折角 θ_{rad} - 1 4 . 2 4 度、第一の表面格子を通じた透過率約 3 . 4 2 %、及び反射パワー約 - 5 3 . 6 dB。ここで、DRE は、ファーフールドへ放射される光の有用部分であり、回折格子から出て、放射回折角約 θ_{rad} の小さい角度範囲で基板に向かって放射する部分と定義される。

20

30

【0081】

図 1 3 は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された、第一の表面格子の長さに沿った位置に関する格子出力の電界の大きさと、第一の表面格子の回折角度に関するファーフールドプロファイルとの各種のグラフ表現を示す。図 1 3 は、図 7 の第一の表面格子又は図 1 1 の第一の表面格子等の第一の表面格子のシミュレーションを含む。より詳しくは、グラフ 1 3 0 7 は、第一の表面格子の長さに沿った位置に関する格子出力の電界の大きさを示す。グラフ 1 3 0 9 は、第一の表面格子の回折角度に関するファーフールドプロファイルを示す。

【0082】

少なくとも図 7、9 A、9 B、1 1 及びそれに関連する説明を参照すると、本願では、本明細書で説明され、本明細書に記載の 1 つ又は複数の表面結合システムに含めることのできる第一の表面格子に関する特定の構成に関連付けられる各種のパラメータが認められている。本明細書に記載の実施形態は、これらのパラメータの 1 つ又は複数を含み、これについて上記の図 1 1 に関連して説明される。上述のパラメータの幾つかは、InP ベースの第一の表面格子に特定のものであるが、以下のパラメータの 1 つ又は複数は、他の材料組成の第一の表面格子に当てはめられ得る。

40

【0083】

第一に、格子歯の全高は、導波路コアの高さより大きいことができる。幾つかの回折格子は、導波路コアをエッチングで掘り下げて、導波路コアの、格子歯を含まない部分の高さが格子歯の全高と同じ又はそれより高くなるように格子歯を形成することによって形成

50

される。それと比較して、本明細書で開示される幾つかの実施形態によれば、導波路コアの、格子歯を含まない部分の高さは格子歯の全高より小さい。

【 0 0 8 4 】

第二に、格子歯の屈折率（例えば、導波路コアから上方に延びる格子歯の屈折率）は、コア屈折率（例えば、導波路コアの屈折率）より高いか又はそれと等しいことができる。導波路コアと同じ材料組成から格子歯を製造する方が容易であり、この場合、格子歯の屈折率はコア屈折率と同じであり得る。他の実施形態において、格子歯は、格子歯の屈折率がコア屈折率より高いか又はそれと等しい場合、導波路コアと異なる材料組成から製造され得る。

【 0 0 8 5 】

第三に、第一の回折格子の有効屈折率は、回折光モードが基板へ漏洩するのを防止するために下部クラッド屈折率（例えば、下部クラッド / 基板の屈折率）より十分に高いことができる。例えば、少なくともコア屈折率及び上部クラッド屈折率（例えば、上部クラッドの屈折率）に依存する第一の回折格子の有効屈折率は、下部クラッド屈折率より少なくとも 6 % 高いことができる。

【 0 0 8 6 】

図 1 2 は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された他の例示的表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）1 2 0 2 の側方断面図 1 2 0 2 A、浅いリッジの端面方向断面図 1 2 0 2 B、深いリッジの端面方向断面図 1 2 0 2 C、及び上面図 1 2 0 2 D を示す。レーザ 1 2 0 2 は、本明細書に記載の表面結合システムの 1 つ又は複数で実装され得る。

【 0 0 8 7 】

レーザ 1 2 0 2 は、アクティブ部分リッジ構造 1 2 6 8 A を有するアクティブ部分 1 2 4 4 と、パッシブ部分リッジ構造 1 2 6 8 B を有するパッシブ部分 1 2 4 6 とを含み得る。アクティブ部分 1 2 4 4 は、側方断面図 1 2 0 2 A において下から上に、n 型ドープ基板として実装される基板 1 2 4 8 と、InP クラッド 1 2 5 0 と、DFB レーザを形成し得る多重量子井戸 (MQW: multiple-quantum well) 及びコア導波路として実装される利得層 1 2 5 2 と、p-InP 層 1 2 5 4 と、InGaAs 又は他のコンタクト層 1 2 5 6 と、金コンタクト 1 2 5 8 とを含み得る。アクティブ部分 1 2 4 4 中の利得層 1 2 5 2 は、上側及び下側導波層間に挟まれた MQW を含み、上側導波層上に回折格子 1 2 6 0 が形成される。

【 0 0 8 8 】

パッシブ部分 1 2 4 6 は、側方断面図の下から上に、基板 1 2 4 8 と、InP クラッド 1 2 5 0 と、コア導波路材料層 1 2 6 4 と、第一の表面格子 1 2 0 6 と、上部ミラー 1 2 6 6 又は他の HR コーティングとを含み得る。コア導波路材料層 1 2 6 4 は、利得層 1 2 5 2 にエンドツーエンドで結合されたコア導波路 1 2 6 8 と、コア導波路 1 2 6 8 にエンドツーエンドで結合されたファンアウト領域 1 2 7 6（上面図 1 2 0 2 D 参照）と、コア導波路材料層 1 2 6 4 と上部ミラー 1 2 6 6 との間の接合面に形成された第一の表面格子 1 2 0 6 とを含む。幾つかの実施形態において、第一の表面格子 1 2 0 6 は、ファンアウト領域 1 2 7 6 にエンドツーエンドで結合され得る。幾つかの実施形態において、第一の表面格子 1 2 0 6 は、ファンアウト領域 1 2 7 6 と部分的に重複し得る。幾つかの実施形態において、第一の表面格子 1 2 0 6 は、ファンアウト領域 1 2 7 6 と完全に重複し得る。上部ミラー 1 2 6 6 は、交互に屈折率が異なる複数の誘電体層、金の上部ミラー若しくは他の適当な上部ミラー、又は HR コーティングを含み得る。

【 0 0 8 9 】

レーザ 1 2 0 2 のアクティブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 A は、アクティブ部分 1 2 4 4 を通じて延び得る。パッシブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 B は、パッシブ部分 1 2 4 6 を通じて延び得る。幾つかの実施形態において、アクティブ及びパッシブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 A ~ B は、それぞれ幅 2 μm であり得る。2 つの端面方向断面図 1 2 0 2 B ~ C に示されているように、アクティブ及びパッシブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 A ~ B は、リッ

10

20

30

40

50

ジの高さが異なり得る。幾つかの実施形態において、アクティブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 A は浅いリッジであり、その高さは、深いリッジであり得るパッシブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 B より短い。アクティブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 A は、利得層 1 2 5 2 又はレーザ 1 2 0 2 のそれ以外の層の 1 つの深さより上の深さまで延び得る。パッシブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 B は、利得層 1 2 5 2 又はレーザ 1 2 0 2 のそれ以外の層の 1 つの深さの下方の深さまで延び得る。

【 0 0 9 0 】

パッシブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 B のリッジの高さが比較的高いことにより、モード閉じ込めが増大し得る。モード閉じ込めが増大すると、第一の表面格子 1 2 0 6 による射出光の回折が増大し、横方向の大面積モードを提供し得る。前述のように、ファンアウト領域 1 2 7 6 及びノ又は第一の表面格子 1 2 0 6 は、モードを $8 \sim 40 \mu\text{m}$ 又は $20 \sim 40 \mu\text{m}$ へ拡張することが意図され得る。モードを $8 \sim 40 \mu\text{m}$ 又は $20 \sim 40 \mu\text{m}$ へ拡張することは、第一の表面格子 1 2 0 6 を、弱い（例えば、小さい屈折率差の）z 方向に長い格子として形成することによって実現され、z 方向は光伝播方向である。パッシブ部分のリッジ構造 1 2 6 8 B によって x 及び y への強力な閉じ込めが行われると、回折が増大し、モードが x 方向に拡張され得る。x 方向は、横方向（例えば、z に垂直で図 1 2 0 2 B ~ C では左から右）を指し、y 方向は、縦方向（例えば、x 及び z に垂直）を指す。

【 0 0 9 1 】

したがって、図 1 2 に関して述べたように、表面結合端面発光レーザは、リッジ導波路型レーザとして実装され得る。他の実施形態において、本明細書に記載の表面結合端面発光レーザは、埋め込みヘテロ型（BH: buried hetero-structure）レーザとして実装され得る。リッジ導波路型レーザ及び BH レーザの何れとして実装するかを問わず、本明細書に記載の表面結合端面発光レーザの幾つかの実施形態は、表面結合端面発光レーザに「ボルトで固定された (bolted)」第一の表面格子を含み、表面結合端面発光レーザにより生成された光を表面結合端面発光レーザの上又は下面を通じて結合し得る。

【 0 0 9 2 】

図 1 4 A は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）1 4 0 2 の側方断面図を示す。レーザ 1 4 0 2 は、本明細書に記載の他のレーザを含み得るか又はそれに対応し得る。

【 0 0 9 3 】

より詳しくは、図 1 4 A のレーザ 1 4 0 2 等の複数のレーザは 1 枚のウェハ中に形成され、レーザのすべてにおける高反射率ファセットミラー (facet mirror) の形成は、ウェハの製造においてダイシングされ、個片化されて、レーザキャビティを形成するサイドファセット (side facet) が露出した後の最後の材料追加ステップの 1 つであり得る。レーザ 1 4 0 2 及びウェハ内の他のレーザに上部ミラーを追加する前に、及びノ又は上部ミラーがすべて省略される実施形態において、検出器 1 4 7 0 がレーザ 1 4 0 2 の第一の表面格子 1 4 0 6 の上方に位置付けられ得る。第一の表面格子 1 4 0 6 は、基板を通る下方及び上方の両方に回折され得るため、検出器 1 4 7 0 は、第一の表面格子 1 4 0 6 の上方に位置付けられて、レーザ 1 4 0 2 により発せられる光ビームの 1 つ又は複数のパラメータを測定し、この光ビームの一部は、第一の表面格子 1 4 0 6 により検出器 1 4 7 0 に回折される。

【 0 0 9 4 】

検出器 1 4 7 0 等の 1 つの検出器又は複数のこのような検出器は、ウェハ内の複数のレーザにより発せられる光ビームのパラメータを測定するために使用され得る。ウェハのレーザは、すべて同時に、1 回に 1 つずつ、2 つ以上の集合ごとに、又は他の何れかの方法で測定され得る。高反射率ファセットミラーは、レーザチップがウェハからダイシングされ、個片化されて、レーザキャビティを形成するファセットを露出させた後にレーザ上に形成され得る。

【 0 0 9 5 】

10

20

30

40

50

図14Bは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表面結合システム1400を示す。表面結合システム1400は、上部ミラーを備える図14Aのレーザ1402を含む。表面結合システム1400はまた、Si PIC 1404及び光学アイソレータ1420も含み得る。Si PIC 1404と光学アイソレータ1420との各々は、それぞれ本明細書に記載の他のPIC又は光学アイソレータを含み得るか又はそれに対応し得る。

【0096】

図14Bの例において、レーザ1402は直接変調レーザ(DML: directly modulated laser)であり、「DMLレーザ1402」と呼ばれ得る。特に、レーザ1402に供給される電圧又は電流は、レーザ1402により発せられる光ビームの強度を変調するように変調され得る。それにより、データは、光ビーム中で暗号化され得る。図8Bの例において、DMLレーザ1402は、p側を下にして、適切なヒートシンクを有するセラミック又はシリコン等の高速基板1488に結合され得る。少なくとも1つの実施形態において、高速ドライバ1472並びに/又はクロック及びデータリカバリ(CDR: clock and data recovery)チップ1474が高速基板1448に取り付けられ得る。本明細書に記載の実施形態の1つの考え得る利点は、表面結合システム1400の幾つか又はすべてのコンポーネントが、光軸位置ずれ公差が低いことができるため、高い精度を必要とせずに高速基板1448に取り付けられ得るという点であり得る。高い精度が不要であると、本明細書で説明される実施形態によるコンポーネントの取付により、低コストでの大量組立が可能となる。例えば、DMLレーザ1402及び/又は同様のDMLレーザは、Si PICへの組立又は他のパッケージの前にサブマウント上でバーンインされ得る。

【0097】

図15は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、コア導波路1512、ファンアウト領域1576、及び第一の表面格子1506の上面図を示す。コア導波路1512、ファンアウト領域1576、及び第一の表面格子1506は、本明細書に記載の表面結合端面発光レーザの1つ又は複数に含まれ得る。したがって、コア導波路1512、ファンアウト領域1576、及び第一の表面格子1506の各々は、それぞれ本明細書に記載の他のコア導波路、ファンアウト領域、又は第一の表面格子を含み得るか又はそれに対応し得る。ファンアウト領域1576は、コア導波路1512及び第一の表面格子1506に光学的に結合され得る。図示されていないが、ファンアウト領域1576及び第一の表面格子1506の一方又は両方は、本明細書で説明された格子歯に対応する格子線を含み得る。ある例において、ファンアウト領域1576は、長さRが約30 μm であり、幅Yがその最も広い部分で14.48 μm であり得る。

【0098】

図16は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、図15のコア導波路1512、ファンアウト領域1576、及び第一の表面格子1506中の光の強度のシミュレーションのグラフ表現1611を示す。

【0099】

幾つかの実施形態によれば、本明細書に記載の第一の表面格子の何れかのような第一の表面格子は、8~40 μm のスポットサイズ又はさらには20~40 μm のスポットサイズをもたらし得る。第一の表面格子からのスポットのx方向への大きさは、回折により特定され得る。モードの回折角度及び距離Rでのx方向への大きさは、式5によって大まかに特定され得る。

【0100】

【数4】

$$\theta \sim \frac{\lambda}{\pi n v_0} \quad \Delta x \sim \theta R, \text{ 式5}$$

式5中、nは、第一の表面格子を含むレーザのファンアウト領域の有効屈折率であり得

10

20

30

40

50

る。式 5 中、 w_0 は、 $1/e^2$ ガウスモードフィールド半径であり、 λ は、光の波長であり得る。

【 0 1 0 1 】

浅いリッジの場合、 $1/e^2$ ガウスモードフィールド半径は約 $1 \mu\text{m}$ であり得る。レーザのファンアウト領域の有効屈折率は 3.5 であり、光の波長は 1310 nm であり得る。この実施形態では、回折角度は約 6.8 度であり得る。例えば、 $40 \mu\text{m}$ のスポットサイズを得るために、ファンアウト半径は約 $335 \mu\text{m}$ であり得る。

【 0 1 0 2 】

図 12 のパッシブ部分のリッジ構造 1268B 等の深いリッジの場合、 $1/e^2$ ガウスモードフィールド半径は約 $0.5 \mu\text{m}$ であり得る。レーザのファンアウト領域の有効屈折率は 3.5 であり、光の波長は 1310 nm であり得る。この実施形態において、回折角度は約 13.6 度であり得る。 $40 \mu\text{m}$ のスポットサイズを得るために、ファンアウト半径は約 $167 \mu\text{m}$ であり得る。

【 0 1 0 3 】

図 17 は、本発明に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された、他の例示的な表面結合システム 1700 を示す。表面結合システム 1700 は、表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）1702 を含み、これは、本明細書に記載の他のレーザを含み得るか又はそれに対応し得る。ある例示的な実施形態において、レーザ 1702 は、図 14A 及び 14B のレーザ 1402 と同様又は同じであり得る。表面結合システム 1700 はまた、Si PIC 1704 も含み、これは、本明細書に記載の他の PIC を含み得るか又はそれに対応し得る。表面結合システム 1700 は、光学アイソレータ 1720 を含み、これは、本明細書に記載の他の光学アイソレータを含み得るか又はそれに対応し得る。

【 0 1 0 4 】

表面結合システム 1700 において、レーザ 1702 の p 側（図 17 において、「p-InP」と表示されている）の抵抗が比較的高いことにより、レーザ 1702 の p 側でより多くの熱が発せられることにつながり得る。したがって、ヒートシンク 1778 がレーザ 1702 の p 側に結合されて、放熱効果が改善され得る。レーザ 1702 の n 型ドープ基板 1748 は数百 μm まで薄くされて、レーザ 1702 と Si PIC 1704 との作動距離が長く、必要なスポットサイズが小さくされ得る。代わりに又は加えて、InP 基板は半絶縁性であり得る。

【 0 1 0 5 】

図 18A は、本明細書に記載の少なくとも 1 つの実施形態により配置された表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）の他の例 1802 を示す。レーザ 1802 は、本明細書に記載の 1 つ又は複数の他のレーザを含み得るか又はそれに対応し得る。レーザ 1802 は、レーザの下面から光を発する他のレーザと異なり、レーザ 1802 のエピ側又は上側から光を発するように構成され得る。レーザ 1802 は、基板 1834 と n 側格子 1882 とを含み得る。n 側格子 1882 は、レーザ 1802 の DFB レーザ部分 1813 内で分布帰還を提供するために利用され得る。DFB レーザ部分 1813 は、アクティブな利得材料導波路 1816 を含む。n 側格子 1882 はまた、レーザ 1802 のパッシブ導波路部分 1846 の下方にあるように構成され、本明細書の他の箇所に記載の第一の表面格子 / 送信格子の一例である。パッシブ導波路部分 1846 は、パッシブコア導波路材料 1864 を含み、DFB レーザ部分 1813 に隣接している。パッシブコア導波路 1864 より下方にある n 側格子 1882 は、レーザ 1802 のパッシブ導波路部分 1846 が表面放射発光を実現するように構成される。加えて、レーザ 1802 は、基板 1834 中に形成された窓 1888 内において、パッシブコア導波路 1864 の下の n 側格子 1882 の下に HR コーティング 1890 を含み得る。

【 0 1 0 6 】

レーザ 1802 のパッシブ導波路部分 1846 の n 側格子 1882 の一部は、光を上下両方に回折され得る。上方に回折した光は、上で図 14 に関して説明した検出器 1470

10

20

30

40

50

等、所望のコンポーネントへ出力され得る。HRコーティング1890は、上で図6に関して述べた上部ミラー638と同様に機能し得る。特に、HRコーティング1890は、下方に回折した光を反射し得るため、下方に回折して、その後、反射された光は上方に回折した光と合体し、所望のコンポーネントへ出力される。反射光が第一の表面格子1806から上方に回折する光と同位相で受け取られることを確実にするために、第一の表面格子1806の下面とHRコーティング1890との間の厚さは、前述のように式4を満たし得る。

【0107】

図18B及び18Cは、図18Aに示されるレーザ1802と同様のレーザ1802の代替的な実施形態を示しているが、ここで、DFBレーザ部分1848のための格子1884とパッシブレーザ部分1846のための格子1806とは、それぞれのアクティブ導波路1816（又は利得部分）及びパッシブ導波路1864の上面に形成されている。格子1806は、本明細書の他の箇所に記載の第一の表面格子又は送信格子の一例である。図18Bに示されるレーザ1802は、図18Cに示されるものと同じレーザ1802であるが、その製造プロセスのより早い段階のものである。

10

【0108】

レーザ1802は、格子1884がDFB格子として実装されたアクティブ部分1848を含み、レーザ1802の利得部分1816の上方に形成され得る。利得部分1816は、基板1834の上にある共通エッチング停止層1886の上方に形成され得る。共通エッチング停止層1886は、レーザのアクティブ部分1844とパッシブ部分1846との両方に共通し得る。パッシブ部分1846は、p側格子として形成される第一の表面格子1806を含み得る。第一の表面格子1806は、共通エッチング停止層1886の上方に形成され得るパッシブコア導波路材料層1864の上方に形成され得る。

20

【0109】

図18Cに示されるように、1つ又は複数の層が利得部分1816の上方に形成され得る、これは、例えばp-InP層1854及びpコンタクト1861層である。加えて、パッシブ部分1846中で窓1888が基板1834中にエッチングされ得る。窓1888は、パッシブレーザ部分1846中にある表面格子1806の下に、共通エッチング停止層1886の下面まで形成され得る。HRコーティング1890が表面格子1806の下の窓1888内の共通エッチング停止層1886に塗布されて、下面ミラーを形成し得る。

30

【0110】

図18B及び18Cのレーザ1802のDFB部分1848からの光は、パッシブ部分1846に入射し、そこで表面格子1806が光を上下両方に回折し得る。上方に回折した光は、上で図14に関して説明した検出器1470等の所望のコンポーネントへ出力され得る。HRコーティング1890は、上で図6に関して述べた上部ミラー638と同様に機能し得る。特に、HRコーティング1890は光を反射し得るため、下方に回折して、その後、反射された光は上方に回折した光と合体し、所望のコンポーネントへ出力される。反射光が第一の表面格子1806から上方に回折する光と同位相で受け取られることを確実にするために、第一の表面格子1806の下面とHRコーティング1890との間の厚さは、前述のように式4を満たし得る。

40

【0111】

屈折率差の大きい表面格子（半導体 - 空気又は半導体 - 誘電体）（例えば、本明細書に記載の第一の表面格子 / 送信格子）は、p側よりn側で実装する方が困難であり得るが、屈折率差の小さい表面格子（半導体 - 半導体）は、レーザのn側でもp側でも同程度に容易にし得る。本明細書に記載の幾つかの実施形態において、図18B及び18Cのレーザ1802中に形成される表面格子1806は、屈折率差の大きい表面格子を含み得、この場合、表面格子1806はp側に形成する方が容易であり得る。

【0112】

図19A及び19Bは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された

50

例示的なSi光通信モジュール（以下、「モジュール」という）の上面図及び側面図を含む。モジュール1992は、複数の送信チャネル1994と複数の受信チャネル1996とを含み得る。

【0113】

モジュール1992は、複数の表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）1902A～Dを含み、その各々は、本明細書に記載の表面結合端面発光レーザの1つ又は複数と同様又は同じであり得る。モジュール1992はまた、光学集積回路（OIC：optical integrated circuit）1904と、電気集積回路（EIC：electrical integrated circuit）1998と、第一のガラス基板上ポリマープラグ1901Aと、第二のガラス基板上ポリマープラグ1901Bとを含み得る。

10

【0114】

4つのレーザ1902A～Dの各々は、それぞれ異なる波長 1、 2、 3、又は4の1つの光ビームを発するように構成され得る。例えば、レーザ1902Aは、波長1の光ビームを発するように構成され、レーザ1902Bは、波長2の光ビームを発するように構成され、レーザ1902Cは、波長3の光ビームを発するように構成され、レーザ1902Dは、波長4の光ビームを発するように構成され得る。他の実施形態において、異なる波長の異なる数のレーザがモジュール1992内に実装され得る。

【0115】

レーザ1902A～DとOIC 1904は、本明細書に記載の他の表面結合システムと同様又は同じ表面結合システム1900を形成し得る。より詳しくは、レーザ1902A～Dの各々は、本明細書に記載の他の第一の表面格子等の第一の表面格子1906A～Dを有し得る。OIC 1904は、本明細書に記載の他の第二の表面格子等の複数の第二の表面格子1908A～D（例えば、レーザ1902A～Dのそれぞれに1つ）を含み得る。光学アイソレータ1920は、レーザ1902A～Dの第一の表面格子1906A～DとOIC 1904の第二の表面格子1908A～Dとの間に位置付けられ得る。したがって、レーザ1902A～Dにより発せられる光ビームは、第一の表面格子1906A～Dにより下方に方向転換され、光学アイソレータ1920を通過して第二の表面格子1908A～Dに向かい、第二の表面格子1908A～DによりOIC 1904の1つ又は複数のSi又はSiN導波路1905A～D中に向けられ得る。

20

30

【0116】

したがって、一般に、レーザ1902A～Dにより発せられた光ビームの各々は、OIC 1904に方向付けられ得る。幾つかの例において、Si又はSiN導波路1905A～Dの各々は、マッハツェンダ（MZ：Mach-Zehnder）干渉計に結合され得る。EIC 1998に含まれる1つ又は複数のドライバ、電気トレース、及び/又は電極は、OIC 1904のMZ干渉計と共同で1つ又は複数のMZ変調器1907A～Dを形成し得る。データは、MZ変調器1907A～Dにより、何れかの適当なMZ変調方式に従って光ビームの各々に変調され得る。幾つかの実施形態において、MZ変調器1907A～D又は他の外部変調器は省かれ、レーザ1902A～Dの各々は直接変調レーザを含み、それにより、レーザ1902A～Dの各々は、変調されない光ビームではなく、光信号をOIC 1904中に発し得る。

40

【0117】

光信号はマルチプレクサ（以下、muxという）1909で受けられ、これは、共通の導波路1911への光信号を多重化信号として多重化する。少なくとも1つの実施形態において、mux 1909はSiN muxであり、共通の導波路1911はSiN導波路であり得る。多重化信号は、第一のガラス基板上ポリマープラグ1901Aを通じて送信光ファイバ1913Aに断熱的に結合され得る。

【0118】

代わりに又は加えて、別の多重化信号が受信光ファイバ1913Bから第二のガラス基板上ポリマープラグ1901Bで受け取られ、第二のガラス基板上ポリマープラグ190

50

1 Bを通り、他の共通の導波路1919に断熱的に結合され得る。Si PIC偏光スプリッタ1915又は他の適当な偏光スプリッタは、多重化信号を偏光に従って分割し、多重化信号のTE偏光モードは、第一のアーム1917Aを通じて、また多重化信号のTM偏光モードは、第二のアーム1917Bを通じて方向付け得る。多重化信号のTE及びTM偏光モードの各々は、対応するデマルチプレクサ(以下、demuxという)1921A~Bによって分波されて、各偏光モードの複数の受信光信号を生成し得る。代わりに又は加えて、TM偏光モードは、TE偏光に変換されてからdemux 1921Aに到達し得る。少なくとも1つの実施形態において、各demux 1921A~BはSiNdemuxを含み得る。

【0119】

各受信光信号は、対応する光学レシーバ1913A~Hにより受信され得る。少なくとも1つの実施形態において、各光学レシーバ1913A~Hは、ゲルマニウム(Ge)正-真性-負(pin: positive-intrinsic-negative)フォトダイオード(以下、Ge pinという)を含み得る。各光学レシーバ1913A~Hは、対応する受信光信号を表す電気信号を生成し得る。対応する電気信号は、EIC 1998中に方向付けられ得る。EIC 1998は、複数の電気信号加算器1935A~Bを含み、簡略化するためにそのうちの一方のみが図19Aに示されており、他方は1935Bで楕円により示されている。各電気信号加算器1935A~Bは、第一のアーム1917Aからの光学受信信号を表す電気信号と、第二のアーム1917Bからの対応する光学受信信号を表す電気信号とを加算して、Si PIC偏光スプリッタ1915で受け取られた多重化信号からの対応する波長チャンネルを表す出力電気信号を生成し得る。

【0120】

図20Aは、本発明に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的なSiフォトニック通信モジュール(以下、「モジュール」という)2092を示す。モジュール2092は、表面結合端面発光レーザ(以下、「レーザ」という)2002を含み得る。少なくとも1つの実施形態において、レーザ2002はDMLとして実装され得る。モジュール2092はまた、Si PIC 2004と、第一のガラス導波路プラグ2001Aと、第二のガラス導波路プラグ2001Bと、光学レシーバ2015と、トランスインピーダンスアンプ(TIA: trans-impedance amplifier)/クロック及び任意選択的なデータリカバリ(CDR)集積回路(IC: integrated circuit)2031も含み得る。第一及び第二のガラス導波路プラグ2001A及び2001Bは、'815号出願に記載されているようなインタポーザの例である。第一及び第二のガラス導波路プラグ2001A及び2001Bは、それぞれガラスを含み得る。他の実施形態において、ポリマー導波路プラグは、モジュール2092内のインタポーザとして実装され得る。

【0121】

レーザ2002及びSi PIC 2004は、本明細書に記載の他の表面結合システムと同様又は同じ表面結合システムを形成し得る。より詳しくは、レーザ2002は、本明細書に記載の他の第一の表面格子と同様又は同じ第一の表面格子2006を含み、Si PIC 2004は、本明細書に記載の他の第二の表面格子と同様又は同じ第二の表面格子2008を含み得る。光学アイソレータ2020は、第一の表面格子2006と第二の表面格子2008との間に位置付けられ得る。したがって、レーザ2002により発せられる光信号は、第一の表面格子2006によってSi PIC 2004に向かって方向転換され、光学アイソレータ2020を通過して第二の表面格子2008に向かい、第二の表面格子2008によってSi PIC 2004の第一の導波路2005A中に向けられ、この第一の導波路2005Aは、SiN導波路又はSi導波路であり得る。少なくとも1つの実施形態において、第一の導波路2005Aは、第二の表面格子がSi/SiO₂である場合にはSi導波路として、また第二の表面格子がSiNである場合にはSiN導波路として実装され得る。

【0122】

10

20

30

40

50

第一の導波路2005AがSi導波路である少なくとも1つの実施形態において、光信号は、第一の導波路2005AからSiPIC2004のSiN導波路に断熱的に結合されてから、SiN導波路から第一のガラス導波路プラグ2001Aの導波路に断熱的に結合され得る。断熱的結合は、815号出願に記載されている。第一の導波路2005AがSiN導波路である実施形態では、光信号は、第一の導波路2005Aから第一のガラス導波路プラグ2001Aの導波路へ直接断熱的に結合され得る。第一のガラス導波路プラグ2001Aの光信号は、送信光ファイバ2013Aに突き合わせ結合され得る。

【0123】

他の光信号が第二のガラス導波路プラグ2001Bで受信光ファイバ2013Bから受信され、第二のガラス導波路プラグ2001Bを通じて、SiN導波路として実装される第二の導波路2005B中に断熱的に結合されて、光をSi導波路に断熱的に結合し、Si導波路は、次に光信号を光学レシーバ2015に案内する。少なくとも1つの実施形態において、光学レシーバ2015は、ゲルマニウム正-真性-負(Ge pin)又は他の適当な光学レシーバを含み得る。光信号は、光学レシーバ2015により受信されて、光信号を表す電気信号を生成し得る。電気信号はTIA/CDR IC2031に方向付けられて、電気信号を増幅、整形、及び/若しくはリタイミングするか、又は他に電気信号を処理し得る。

【0124】

ある例示の実施例において、受信光ファイバ2013Bから受信した光信号は、第二のガラス導波路プラグ2001Bの第二の導波路からSiN導波路へ、次にSi導波路へ2段階の断熱的遷移を経ることができ、これにより、光信号を光学レシーバ2015に搬送する。1つ又は複数の他の光信号又は光ビームも同様に、インタポーザ導波路(第二のガラス導波路プラグ2001B等)からSiN導波路へ、次にSi導波路へ又はその逆へ2段階の断熱的遷移を経ることができる。加えて、幾つかの実施形態は、本明細書においてガラス基板上ポリマープラグ又はガラス導波路プラグを含むように記載されており、これらは、両方とも幾つかの実施形態により実装され得るインタポーザの例である。2段階の断熱的遷移及び本明細書に記載の実施形態に適し得るインタポーザのさらなる詳細は、815号出願に記載されている。

【0125】

図20Bは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的なSiフォトニック通信モジュール(以下、「モジュール」という)2093を示す。モジュール2093は、図20Aのモジュール2092と多くの点で同様又は同じであり、例えば、レーザ2002と、SiPIC2004と、ガラス導波路プラグ2001A、2001Bと、光学レシーバ2015と、アイソレータブロック2020と、TIA/CDR IC2031と、第一及び第二の導波路2005A、2005Bとを含む。図20Aと比較すると、モジュール2093は、光学スペクトルリシェイパ(OSR: optical spectrum reshaper)2033をさらに含み、この光学スペクトルリシェイパ2033は、直接変調レーザ2002と共にチャープが制御されたレーザを形成し、その例がチャープ制御レーザ、すなわちCMLの名称でフィニサー・コーポレーション(FINISAR CORP.)から販売されている。

【0126】

チャープ(chirp)が制御されたレーザにおいて、レーザ2002は、周波数変調も有する振幅変調光信号をOSR2033へ出力する。OSR2033は、SiPIC2004中に一体的に形成され得る。OSR2033は、光信号の周波数変調を振幅変調に変換し、消光比を改善し得る。OSR2033は、さらに、光信号のビット間の位相相関を導入して分散公差を改善し得る。チャープが制御される例示的なレーザの態様は、2008年1月2日に出願された米国特許出願公開第11/968581号明細書に記載されており、同出願を参照によって本願に援用する。

【0127】

図21は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な

10

20

30

40

50

表面結合システム2100を示す。システム2100は、表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）2102と、光学アイソレータ2120と、Si PIC 2104とを含み得る。光学アイソレータ2120及びSi PIC 2104の各々は、本明細書に記載の他の光学アイソレータ及びSi PICと同様又は同じであり得る。少なくとも1つの実施形態において、レーザ2102はハイブリッドレーザとして実装され得る。

【0128】

レーザ2102は、Si基板に結合されたInPウェハ中に形成され、InPは利得を提供し、パッシュミラー（例えば、Si反射格子）はSi基板内又はその上のSiに形成される。光は、InPからSi基板中又はその上のSi導波路（図示せず）に断熱性結合又はエバネッセント結合によって結合され得る。光は、InPからSi導波路へ小面積表面格子カブラ（図示せず）を用いて結合され、これについては、図22に関してさらに詳細に説明する。光はまた、InPからSi導波路に端面結合を用いて結合され、これについては、図23に関してさらに詳細に説明する。

10

【0129】

小面積表面格子カブラは、典型的に、10～20μmの長さであり、モードフィールド径が例えば10μmのシングルモード光ファイバとマッチするファーフィールドモードを生成するように最適化され得る。そのため、小面積表面格子からの光ビームは、レンズなしの作動範囲50μmを有し、これによって光学アイソレータ2120を設置できない。このように比較的短いレンズなし作動範囲を有する自由空間を通じた実施形態に伴う1つの潜在的な問題は、これらの実施形態が、光学アイソレータを収容するためのレンズを必要とし得ることである。このような小面積表面格子カブラはまた、20～30nmの比較的大きい波長バンド幅を有し、DFBレーザからSi導波路にレンズを用いて光を結合するため、及び/又はSi導波路からファイバ中へレンズを用いて光を結合するために使用され得る。

20

【0130】

しかしながら、本明細書に記載の実施形態は、1つ又は複数のLASGを用いて、8～40μm又はさらには20～40μmのモードサイズを実現し得る。したがって、レーザ2102は、その中に形成された第一の表面格子2106をさらに含み、この第一の表面格子2106は、レーザ2102からの光を8～40μmのスポットサイズ又はさらには20～40μmのスポットサイズで結合して、光をレーザ2102から縦に発する。モードサイズを大きくすることにより、レンズなしの作動距離が300～600μmに増大して、レンズ内に光学アイソレータ2120を収容するのに十分な大きさとなる。

30

【0131】

図22は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、図21の表面結合システム内に実装され得る例示的な表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）2202の各種の図を示す。少なくとも1つの実施形態において、レーザ2202はハイブリッドレーザとして実装され得る。図22は、レーザ2202の第一の上面図2202A、レーザ2202の側面図2202B、レーザ2202の光学顕微鏡画像2202C、レーザ2202の第二の上面図2202D、及びレーザ2202の第三の断面図2202Eを含む。

40

【0132】

光は、導波路2213とInP層2233との間で1つ又は複数の小面積表面格子カブラ2235A～B（側面図2202Bのみ）により結合され得る。少なくとも1つの実施形態において、導波路2213はSi導波路として実装され得る。出力カブラ2237は、レーザ2202からの光を結合する。レーザ2202等のハイブリッドレーザの幾つかの過去の実施例では、出力カブラ2237は小面積表面格子カブラを含み得る。しかしながら、本明細書に記載の実施形態によれば、出力カブラ2237は、本明細書に記載の第一の表面格子等のLASGを含み得る。

【0133】

50

図23は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、図21の表面結合システム2100で実装され得る他の例示的な表面結合端面発光レーザ（以下、「レーザ」という）の各種の図を示す。図23は、レーザ2302の第一、第二、及び第三の図を含む。第一のものは、(a)と表示され、ハイブリッドSiエバネッセントデバイスとしてのレーザ2302の端面図を含む。第二の図は、(b)と表示され、レーザ2302のパッシブシリコン導波路のアクティブハイブリッド部分への及びその逆の遷移テーパー部の概略図を含む。第三の図は、(c)と表示され、レーザ2302のテーパー部の走査電子顕微鏡(SEM: scanning electron microscope)画像を含む。図23には示されていないが、レーザ2302は、本明細書に記載の第一の表面格子の何れかのようなLASGを含み、そのLASGがレーザ2302のSi基板からの光を結合する。

10

【0134】

図24は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表面結合システム2400を示す。表面結合システム2400は、入力Si導波路2413と、Si光学回路2439と、第一及び第二のLASG 2408A~B（本明細書に記載の第二の表面格子等）を含み得る。表面結合システム2400は、半導体光増幅器(SOA: semiconductor optical amplifier)2441と、SOA 2441の各端の第三及び第四のLASG 2406A~B（本明細書に記載の第一の表面格子等）とをさらに含み得る。

【0135】

20

Siフォトリソコンポネントには、光学損失の問題があり得る。図24の例では、SOA 2441は湾曲していても（湾曲していなくても）よく、Si PICに結合されて利得を提供し、損失を補償し得る。1つの光学アイソレータ（図示せず）は、第一のLASG 2408Aと第三のLASG 2406Aとの間に位置付けられ、他の光学アイソレータは、第二のLASG 2408Bと第四のLASG 2406Bとの間に位置付けられ得る。

【0136】

図24は、SOA 2441であって、その両端の第三及び第四のLASG 2406A~Bを有するSOA 2441として実装された表面結合端面発光光増幅器、並びに入力Si導波路2413と出力Si導波路（番号なし）とを含むPICを含むシステム2400を示す。入力Si導波路2413は、第一のLASG 2408Aに光学的に結合される。第二のLASG 2408Bは、出力Si導波路に光学的に結合される。

30

【0137】

図24の例において、PICの第一のLASG 2408Aの作動距離は、少なくとも50µmであり得る。代わりに又は加えて、SOA 2441の第二のLASG 2406Bの作動距離は、少なくとも50µmであり得る。

【0138】

図25Aは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、本明細書に記載の表面結合システムの1つ又は複数に実装され得る例示的なSi PIC 2504を示す。一般に、Si PIC 2504は、Si導波路層2562Aと、少なくとも1つのSiN導波路層2562Bと、Si及び/又はSiN導波路層2562A~B中のSi及びSiN導波路の上方、下方、及び/又は周囲のSiO₂クラッド2534A~Bとを含み得る。窓は、1つ又は複数の誘電体層中のSiN導波路層2562Bの上方に形成され、ポリマー又は高屈折率ガラスインタポーザ等のインタポーザの端を受ける。図25Aに示される例において、このようなインタポーザはポリマー導波路を含み、このポリマー導波路は、ポリマーコア2565とポリマークラッド2567とを含む。少なくとも1つの実施形態において、Si導波路層2562Aは、Ge pinダイオード、Si変調器、Si mux、及び/又は他のコンポネント若しくはデバイスを含み得る。図25AのSi PIC及び/又は他のSi PICの実装に関する他の詳細事項は、'815号出願に記載されている。図25Aには示されていないが、Si PIC 2504及

40

50

び/又は他のSi PICは、表面結合端面発光レーザの他のLASG(本明細書に記載の第一の表面格子等)からの光を受け取るLASG(本明細書に記載の第二の表面格子等)を含み得る。

【0139】

図25Bは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、本明細書に記載の表面結合システムの1つ又は複数に実装され得る他の例示的なSi PIC 2503を示す。Si PIC 2503は、図25AのSi PIC 2504と多くの点で同様であり得る。これら2つの間の1つの相違点は、図25BのSi PIC 2503がSi導波路層を含まないことである。加えて、図25Bにおいて、LASG 2506(本明細書に記載の第二の表面格子等)は、Si PIC 2503のSiN導波路層2569中に形成され、SiN LASG 2506と呼ばれ得る。ある例示的な実施例において、SiN LASG 2506は、DMLとして実装されるレーザに光学的に結合されて、光を変調するためにSi PIC中で使用されることの多いSi変調器が不要となり、Si PIC 2503から省かれ得る。SiN LASG 2506により提供される表面結合は、DMLベースのトランスミッタのパッケージング及び組立コストを削減することが意図される。

10

【0140】

Si PIC 2503のSiN LASG 2506は、Si LASGより広いバンド幅を有し、なぜなら、SiN格子の有効屈折率がSi格子の有効屈折率より低いことができるためである。SiN LASG 2506はまた、Si LASGより大きい結合角度を有し得る。回折光の指向性は、SiN LASG 2506の下にミラー(図示せず)を追加することにより改善され得る。

20

【0141】

例えば、図26は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、ミラー2638を備える、PIC 2602中のSiN LASG 2606の側方断面図を示す。ミラー2638は、SiN LASG 2606の下、SiN LASG 2606により上方に回折する光と、ミラー2638により上方に反射される光との間に強め合う干渉を提供するのに適した距離に位置付けられ得る。ミラー2638は、金属反射層を含み得る。ある例示的な実施形態において、ミラー2638は、SiN LASG 2606の下方約420nmに位置付けられ得る。ミラー2638をSiN LASG 2606の下に形成することは、SiN LASG 2606を含むSi PIC 2602の製造又は製作の配線工程(BEOL: back end of line)と両立可能であり得る。

30

【0142】

図27は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表面結合システム2700を示す。表面結合システム2700は、表面結合端面発光レーザ(以下、「レーザ」という)2702と、第一のSi PIC 2704Aと、第二のSi PIC 2704Bと、電気集積回路(EIC)2798と、インタポーザ2701とを含み得る。

【0143】

レーザ2702は、第一のSi PIC 2704A中の1つ又は複数のトレース2711を通じてEIC 2798に電氣的に結合され得る。EIC 2798は、ドライバ、バイアス回路、及び/又は光ビームを発するようにレーザ2702を駆動するための他の素子を含み得る。光ビームは、レーザ2702内に形成された第一のLASG 2745Aと、第一のSi PIC 2704Aに形成された第二のLASG 2745Bとによって第一のSi PIC 2704A中へ結合され得る。

40

【0144】

第一のSi PIC 2704Aは、Si基板上に形成された1つ又は複数のSiN導波路層を含み得る。少なくとも1つの実施形態において、mux 2709及び他のコンポーネントは、SiN導波路層の少なくとも1つに形成され得る。レーザ2702からの

50

光ビームを受ける第二のLASG 2745Bは、第一のSi PIC 2704Aの第一のSiN導波路により、第一のSi PIC 2704Aの第三のLASG 2745Cに光学的に結合され得る。光学ビームは、第一のSiN導波路により、第一のSi PIC 2704Aの第二のLASG 2745Bから第一のSi PIC 2704Aの第三のLASG 2745Cに搬送され得る。

【0145】

第二のSi PIC 2704Bは、Si基板上に形成された1つ又は複数のSi導波路と、第四のLASG 2745Dと、第五のLASG 2745Eとを含み得る。第二のSi PIC 2704Bは、1つ又は複数のMZI干渉計(MZI: MZ interferometer)、pinダイオード、導波路スプリッタ、Si導波路、又はその中に形成される他のコンポーネント若しくはデバイスを含み得る。光ビームは、第一のSi PIC 2704Aの第三のLASG 2745Cから第二のSi PIC 2704Bの第四のLASG 2745Dに結合され得る。第二のSi PIC 2704Bの第四のLASG 2745Dは、第二のSi PIC 2704Bの第五のLASG 2745Eに、MZI又は第二のSi PIC 2704Bの1つ若しくは複数の他のコンポーネント若しくはデバイスによって光学的に結合され得る。MZIは、第一のSi PIC 2704A中の1つ又は複数のトレース2713を通じてEIC 2798に電氣的に結合され、これは、ドライバ、バイアス回路、又は第一のSi PIC 2704Aを通じてレーザ2702から受け取った光ビームを変調するようにMZIを駆動するための他の素子を含み得る。変調された光ビームは、第二のSi PIC 2704Bの第五のLASG 2745E及び第一のSi PIC 2704Aの第六のLASG 2745Fを通じて第一のSi PIC 2704Aに戻るよう出力され得る。

【0146】

mux 2709は複数の入力を有し、これら複数の入力は、複数のそのような変調された光ビームを受けるための複数のSiN導波路に結合され、その変調された光ビームは、共通の出力SiN導波路に組み合わせられ得る。815号出願に記載されているように、共通の出力SiN導波路がインタポーザのインタポーザ導波路に断熱的に結合され得る。

【0147】

この及び他の例において、第一のSi PIC 2704Aは、SiN層、コンポーネント、及びデバイスのみ(Si層、コンポーネント、及びデバイスと対照的)を含み、第一のSi PIC 2704AのSiN製造工程が最適化され、その一方で第二のSi PIC 2704Bは、Si層、コンポーネント、及びデバイスのみ(SiN層、コンポーネント、及びデバイスと対照的)を含み、第二のSi PIC 2704BのSi製造工程が最適化され得る。例えば、第一のSi PIC 2704Aの第二のLASG 2745B、第三のLASG 2745C、及び第六のLASG 2745Fは、SiN LASGを含み、第一のSi PIC 2704AのSi基板からのその厚さを最適にして、結合の指向性を高めるように構成され得る。

【0148】

他の実施形態において、表面結合システムは、レーザと1つのSi PICとを含み得る。レーザは、DMLとして実装され、Si PICは、1つ又は複数のSiN層、コンポーネント、及びデバイスを含み、Si層、コンポーネント、及びデバイスを全く含まなくてもよい。このようなSi PICは、SiN PIC又はSiNプラットフォームと呼ばれ得る。レーザは、本明細書に記載の第一の表面格子の1つ又は複数を含み、SiNプラットフォームは、本明細書に記載の第二の表面格子の1つ又は複数を含み得る。SiNプラットフォームは、レーザが直接変調されるため、Si導波路又はSiベースのMZI若しくは他のSiベースの変調器を省略でき、その場合、Si変調器の比較的高い損失(例えば、7~8dB)が回避され得る。

【0149】

この例のSiNプラットフォームは、低コストである、レンズを用いないパッケージン

10

20

30

40

50

グプラットフォームとしての役割を果たし、それによってレンズをなくし、ピックアッププレースの精度要求を緩和し得る。光は、断熱的に結合されたポリマーインタポーザ又は高屈折率ガラスインタポーザを用いてSiNプラットフォームから結合され得る。SiN PICは、基本的に、Siフォトニック工程のBEOLを含み、金属層並びに第二の表面格子としてSiN LASSGを含み得る。SiNプラットフォームは、mux、demux、導波路スプリッタ、及び/又は他のパッシブコンポーネントを含み得る。

【0150】

垂直照明pinダイオード(InGaAs、Ge/Si等)は、SiNプラットフォームに取り付けられたフリップチップであり、SiN導波路からの光は、本明細書に記載されているようなSiN LASSGを通じて垂直照明pinダイオードに結合され得る。高速ダイオードは、高さ約20 μ mであり、SiN LASSGとpinとの間に光学アイソレータが不要であり得るため、スポットサイズ10 μ mの格子が使用され得るが、本明細書に記載されている幾つかのLASSGにより提供され得る20~40 μ mのスポットサイズでは、作動距離を大きくし得る。この例において、ファイバからの入射光は、'815号出願に記載されているように、ポリマーインタポーザ又は高屈折率ガラスインタポーザを通じてSiNプラットフォーム2704Aに断熱的に結合され得る。

【0151】

幾つかの実施形態において、フォトニクスプラットフォーム内へのLASSGの形成に関して2つの要件があり得る。フォトニクスプラットフォームは、SiNプラットフォーム(例えば、Si基板上の1つ又は複数のSiN導波路層)、Siプラットフォーム(例えば、Si基板上の1つ又は複数のSi導波路層)、及びSi/SiNプラットフォーム(例えば、すべてSi基板上の1つ又は複数のSi導波路層及び1つ又は複数のSiN導波路層)を含み得る。「Si PIC」という用語は、文脈上他の解釈が必要でない限り、本明細書では概してすべてのプラットフォームを指すために使用されている。

【0152】

2つの要件は、以下を含み得る：

- 1) 弱く長い格子により、結合ビームを8~40 μ m又はさらには20~40 μ mに拡張できること、
 - a. 格子ピッチは最大に調節される、
- 2) 導波路の十分に強力な閉じ込めにより、ビームを横方向に回折させて、約8~40 μ m又はさらには20~40 μ mのビームサイズを実現できること。

【0153】

Siプラットフォーム内に形成されるLASSGは、第一の条件を満たし得る。しかしながら、ガラス導波路内のモードサイズは、主にコアとクラッドとの屈折率差の値が小さいことによるものであり、例えば、屈折率差は、約0.006~0.03であり得る。SiNプラットフォーム内に形成されるLASSGは十分に高い閉じ込めを提供し、屈折率差は約0.5であり、それによって約1 μ mの幅の導波路モードが実現され、そのために約250 μ mのファンアウト長さが必要となる。Siプラットフォーム及びSiNプラットフォームの何れを選択するかは指向性(上下の回折パワーの比)に依存し、これはまた、基板及びSiO₂ボックス層によって異なり得る。

【0154】

図28は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、本明細書に記載の第一及び第二の表面格子の1つ若しくは両方又は他のLASSGで実装され得る例示的な集光表面格子2906を示す。

【0155】

図29は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された、本明細書に記載の第一及び第二の表面格子の1つ又は両方に実装され得る表面格子の指向性を増大させるための例示的な概念を示す。図29の例において、1つの表面格子3001が他の表面格子3003の上に形成され、一方が他方に関してずらされている。積み重ねられた2つの表面格子は、一体として、本明細書に記載されているように、レーザからの光を回折

10

20

30

40

50

させるための第一の表面格子の一方、又はS i P I C中に光を回折させるための第二の表面格子の1つとして実装され得る。

【0156】

図30Aは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表面結合システム3100を示す。システム3100は、表面結合端面発光レーザ(以下、「レーザ」という)3102を含み得る。レーザ3102は、本明細書に記載の他のレーザの何れかを含み得るか又はそれに対応し得る。レーザ3102は、InPレーザとして実装され得る。レーザ3102は、InP MZ変調器3107と同じチップ内にあり、レーザ3102とInP MZ変調器3107とは、斜めの隔離トレンチ3157によって分離され得る。レーザ3102は、レーザ3102からの光を結合するための第一のLASG 3145Aを含み得る。InP MZ変調器3107は、InP MZ変調器3107への光を結合するための第二のLASG 3145Bを含み得る。

10

【0157】

表面結合システム3100はまた、ブリッジ3159を含み得る。ブリッジ3159は、レーザ3102の第一のLASG 3145Aからブリッジ3159への光を結合するための第三のLASG 3145Cと、ブリッジ3159からInP MZ変調器3107の第二のLASG 3145Bへの光を結合するための第四のLASG 3145Dとを含み得る。

【0158】

表面結合システム3100は、第一及び第二の光学アイソレータ3120A~Bをさらに含み得る。第一の光学アイソレータ3120Aは、第一の偏光子3124Aと第一のファラデー回転子3126Aとを含み得る。第一の偏光子3124Aと第一のファラデー回転子3126Aとは、レーザ3102の第一のLASG 3145Aとブリッジ3159の第三のLASG 3145Cとの間に配置され得る。第二の光学アイソレータ3120Bは、第二の偏光子3124Bと第二のファラデー回転子3126Bとを含み得る。第二の偏光子3124Bと第二のファラデー回転子3126Bとは、ブリッジ3159の第四のLASG 3145DとInP MZ変調器3107の第二のLASG 3145Bとの間に配置され得る。

20

【0159】

レーザ3702のInP基板3134A~C及びInP MZ変調器3107において、複数の窓3188A~Bは、対応するLASG 3145A~Bの下にエッチングされ得る。HRコーティング3190A~Bは、対応するLASG 3145A~Bの下に塗布されて、下面ミラーを形成し得る。同様に、ブリッジ3159のInP基板3134D中において、複数の窓3188C~Dは、対応するLASG 3145C~Dの上方にエッチングされ得る。HRコーティング3190C~Dは、対応するLASG 3145C~Dの上方に塗布されて、上部ミラーを形成し得る。幾つかの実施形態において、ブリッジ3159は、レーザ3102及びInP MZ変調器3107と同じウェハ内に形成され、この場合、ブリッジ3159は、製造後に上下逆さにされ得る。

30

【0160】

動作中、レーザ3102は光ビームを発し、この光ビームは、幾つかの実施形態において連続波(CW: continuous wave)を含み得る。光ビームは、レーザ3102から第一の光学アイソレータ3120Aを通してブリッジ3159へレーザ3102の第一のLASG 3145A及びブリッジ3159の第三のLASG 3145Cによって結合され得る。ブリッジ3159の第三のLASG 3145Cは、ブリッジ3159の第四のLASG 3145Dに光学的に結合され、光ビームをブリッジ3159の第四のLASG 3145Dへ方向転換し得る。ブリッジ3159の第四のLASG 3145Dは、ブリッジ3159からの光ビームを第二の光学アイソレータ3120B及びInP MZ変調器3107の第二のLASG 3145Bを通してInP MZ変調器3107へ結合し、ここで、光ビームは、暗号化された情報を有する光信号を形成するように変調され得る。

40

50

【0161】

1つの実施形態において、レーザ3102をInP MZ変調器3107内の時間変調反射から分離することが有益であり得る。この例において、二段形分離はハイブリッド集積によって実現され得る。ブリッジ3159は、レーザ3102及びInP MZ変調器3107と同じウェハから劈開され(cleaved)、それにより、ブリッジ3159は、層厚、組成、及びLASG格子の深さの点でレーザ3102及びInP MZ変調器3107とマッチし得る。層厚、組成、及びLASG格子の深さの点でマッチすることにより、最適なLASG-LASG挿入損失性能が得られる。レーザ3102、InP MZ変調器3107、及びブリッジ3159は、在庫管理を容易にするために同じウェハ上で一緒に供給され得る。

10

【0162】

図30Bは、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された図30Aの表面結合システム3100の例示的实施例を示す。

図31は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表面結合システム3200を示す。システム3200は、図30A及び30Bのシステム3100と同様であるが、例外として、レーザ3202とInP MZ変調器3207とは完全に分離され、それによって設置公差の点で有利であり、InPチップの全体的なコストが削減される。

【0163】

図32は、本明細書に記載の少なくとも1つの実施形態により配置された他の例示的な表面結合システム3300を示す。システム3300はブリッジ3359を含み、これは、第一のLASG 3345Aと第二のLASG 3345Bとの間の半導体光増幅器(SOA)3341を含む。第一及び第二のLASG 3345A~Bは、3359の裏面にPコンタクト3361A~BとNコンタクト3363とを含み得る。ブリッジ3359はまた、複数のpドーパント拡散フィードスルー3365A~Bを含み得る。図30A、30B、31、及び32に示される例示的实施形態の何れにおいても、ブリッジ内の、第三及び第四のLASG 3145C及び3145D間に位置付けられた導波路部分は、ブリッジ内の方向を変化され、すなわち、導波路が第三のLASG 3145Cと第四のLASG 3145Dとの間で直線の状態を保つ必要がない。この導波路部分の方向の変化は、サブコンポーネント(3102及び3159)自体の組立を容易にするため、及び/又は完成したデバイスの光学分離性能を改善するために含めることができる。

20

30

【0164】

LASGの概念は、レーザ以外の他のInPデバイスに拡張され得る。例えば、電界吸収型変調器(EAM: electro-absorption modulator)、InP MZ変調器、及び/又は他のInPデバイスである。これら及び他の実施形態において、InPデバイス及び/又はSi PICに含まれるLASGは、8~40µmのスポットサイズ又はさらには20~40µmのスポットサイズを有し、高い光軸位置ずれ公差及びレンズなしの組立を可能にするように構成され、それによってコストが削減される。

【0165】

本明細書における実質的にあらゆる複数形及び/又は単数形の用語の使用に関して、当業者であれば、文脈及び/又は用途に応じて、複数形から単数形に及び/又は単数形から複数形に解釈できる。明瞭にするために、本明細書では、各種の単数形/複数形の置換えが明示的に記され得る。

40

【0166】

本発明は、その趣旨又は本質的特性から逸脱することなく、他の具体的な形態で実施され得る。記載されている実施形態は、あらゆる点において限定ではなく例示として考慮されるものとする。したがって、本発明の範囲は、上記の説明によってではなく、付属の特許請求の範囲により示される。特許請求の範囲の意味及び均等物の範囲に含まれるすべての変更形態は、その範囲内に包含されるものとする。

50

【図1】

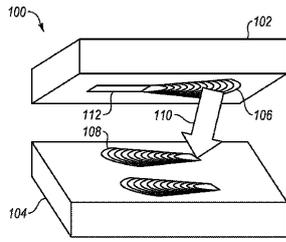
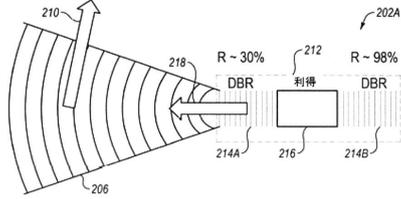


FIG. 1

【図2A】



【図2B】

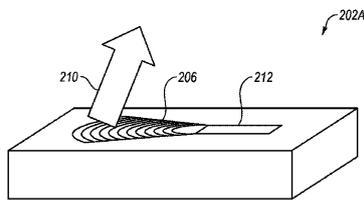


FIG. 2B

【図3A】

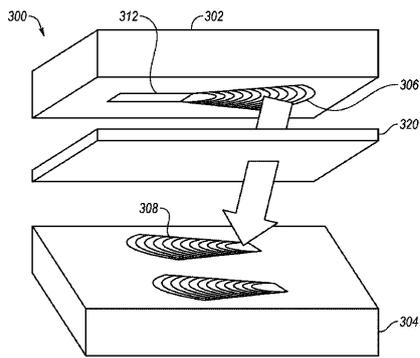


FIG. 3A

【図3B】

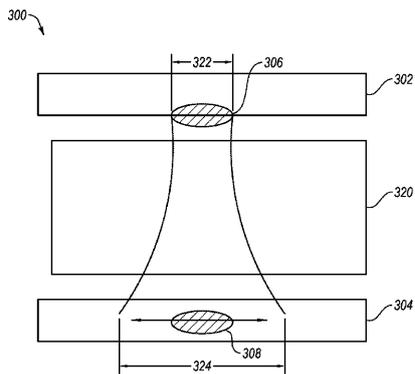


FIG. 3B

【図2C】

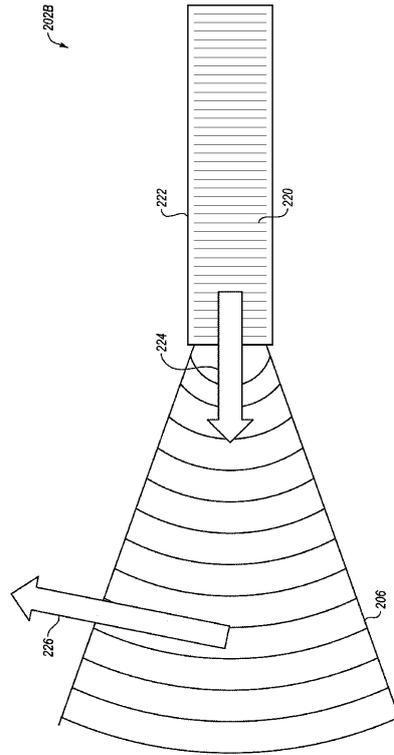
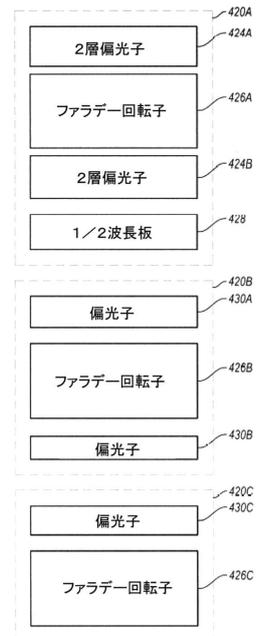
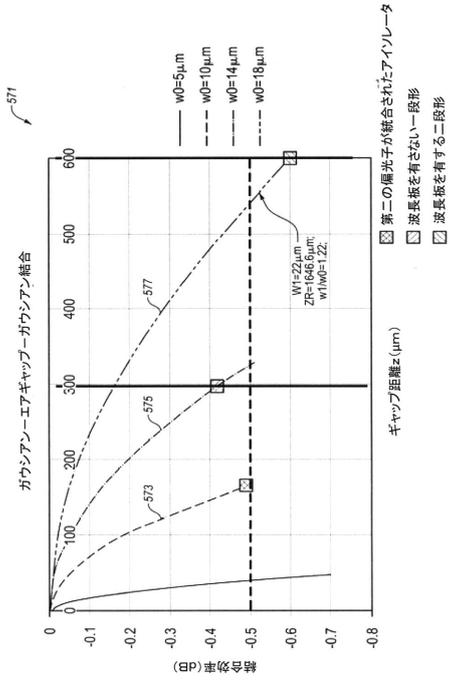


FIG. 2C

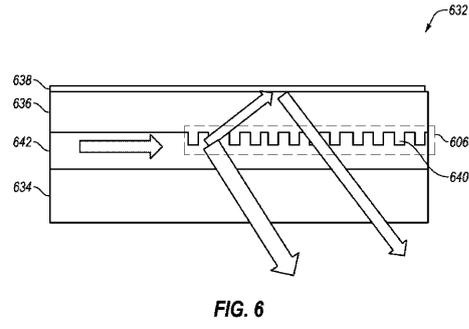
【図4】



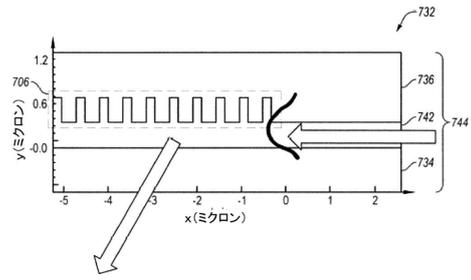
【図5】



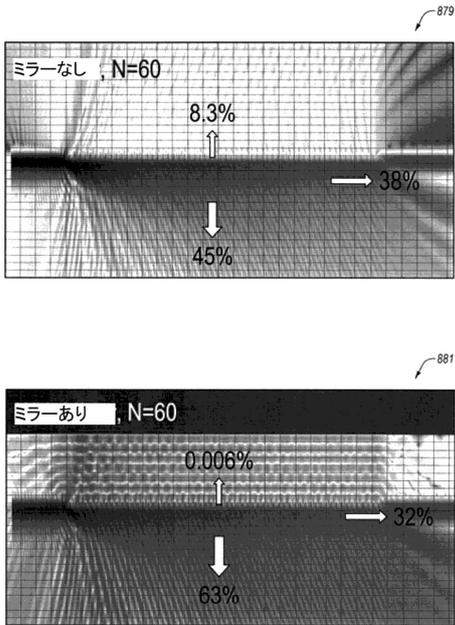
【図6】



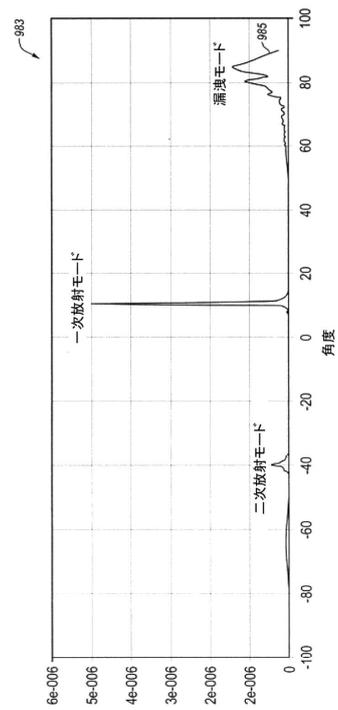
【図7】



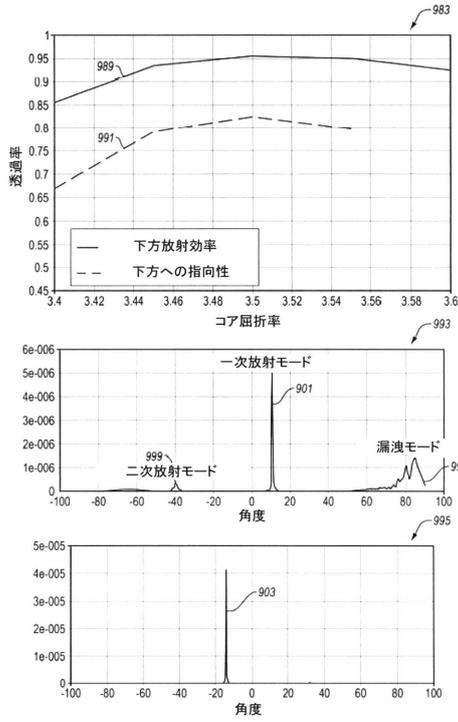
【図8A - 8B】



【図9A】



【図9B】



【図10】

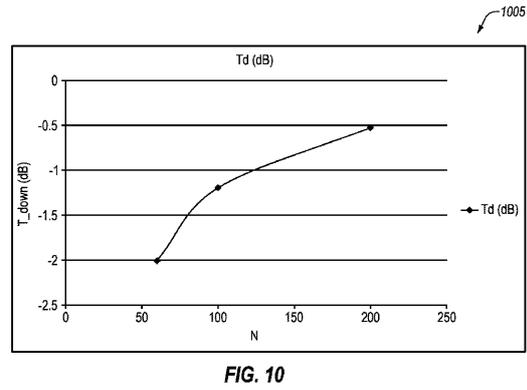
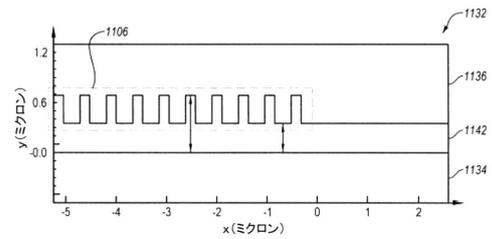
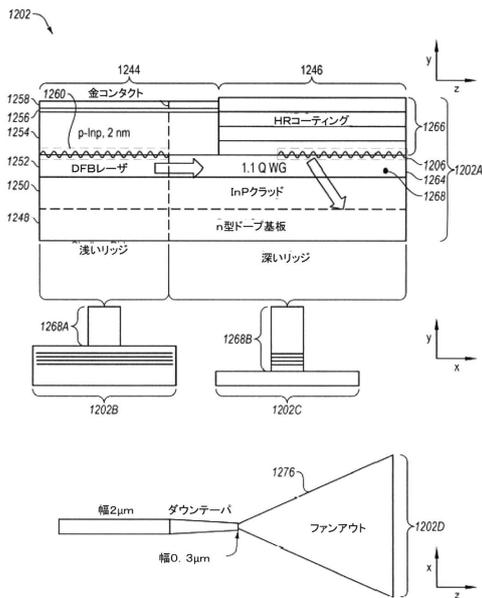


FIG. 10

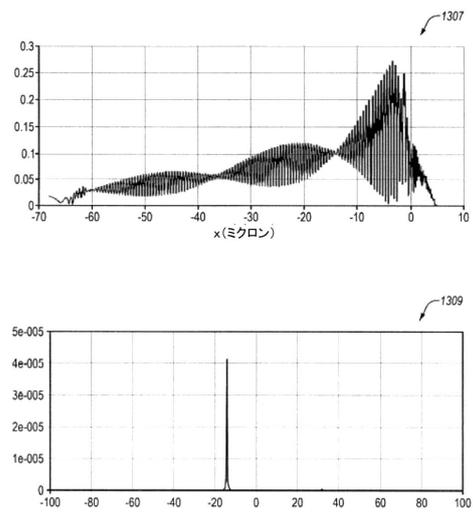
【図11】



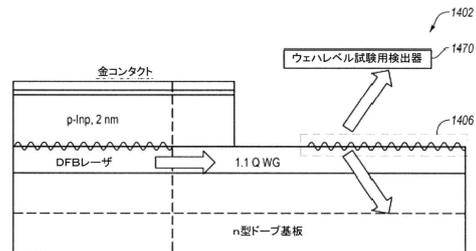
【図12】



【図13】



【図14A】



【 図 1 4 B 】

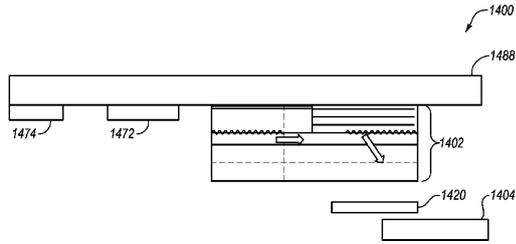
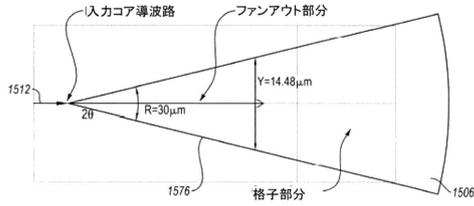
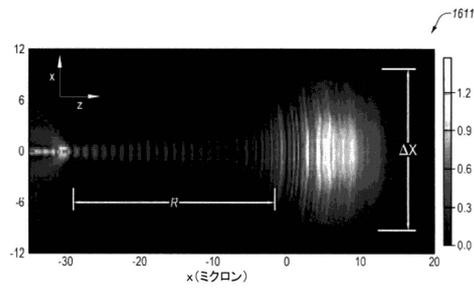


FIG. 14B

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 8 B 】

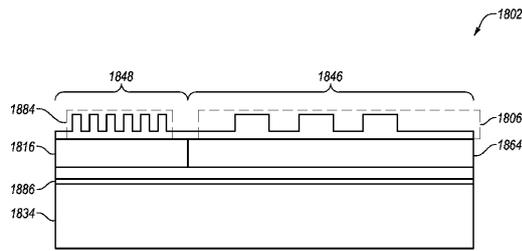


FIG. 18B

【 図 1 8 C 】

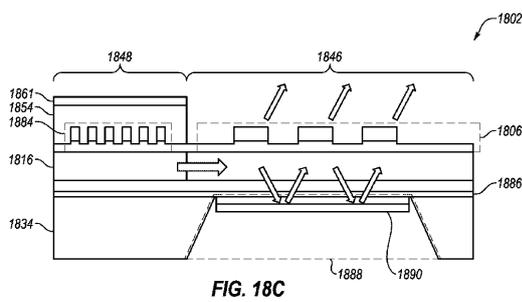


FIG. 18C

【 図 1 7 】

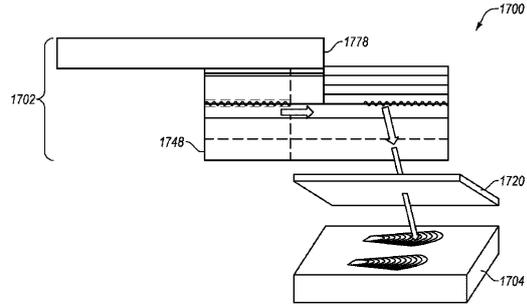


FIG. 17

【 図 1 8 A 】

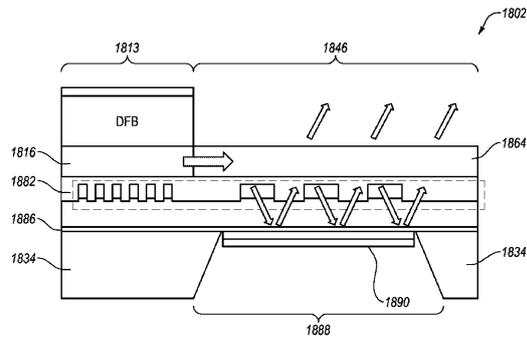


FIG. 18A

【 図 1 9 A 】

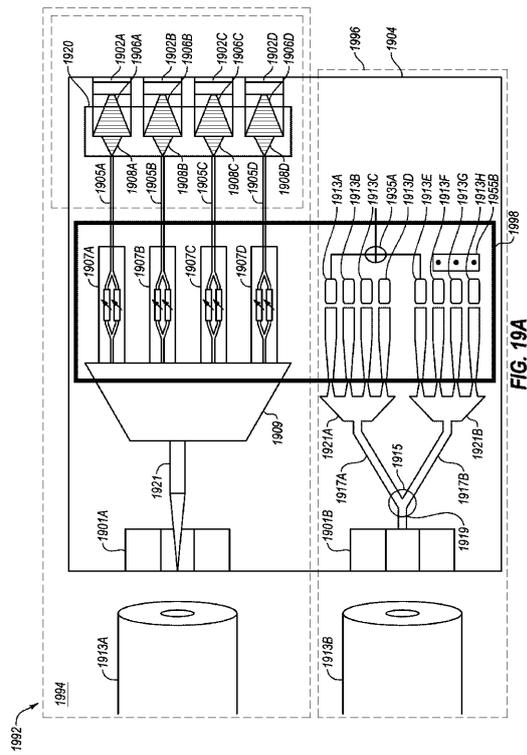
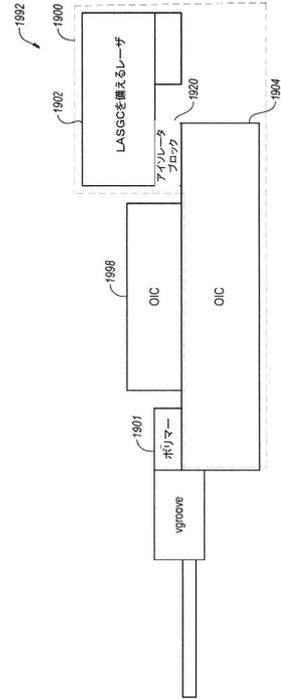


FIG. 19A

【図19B】



【図20A】

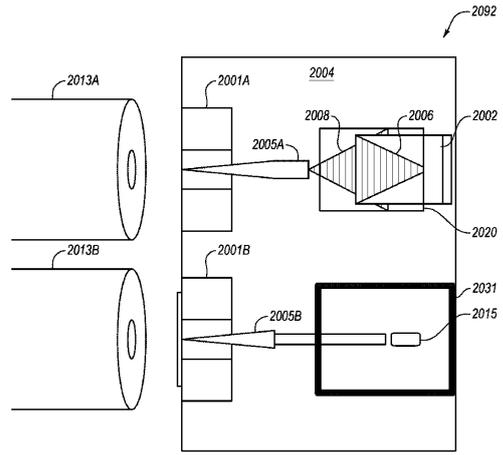


FIG. 20A

【図20B】

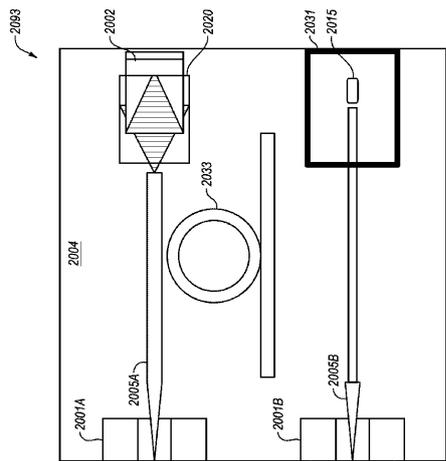
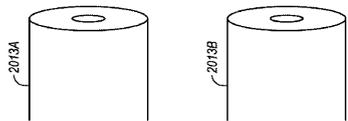


FIG. 20B



【図21】

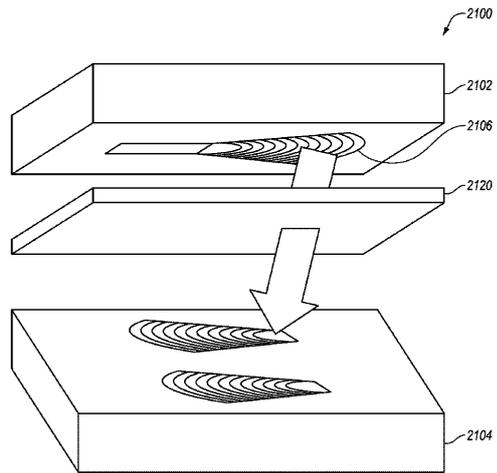
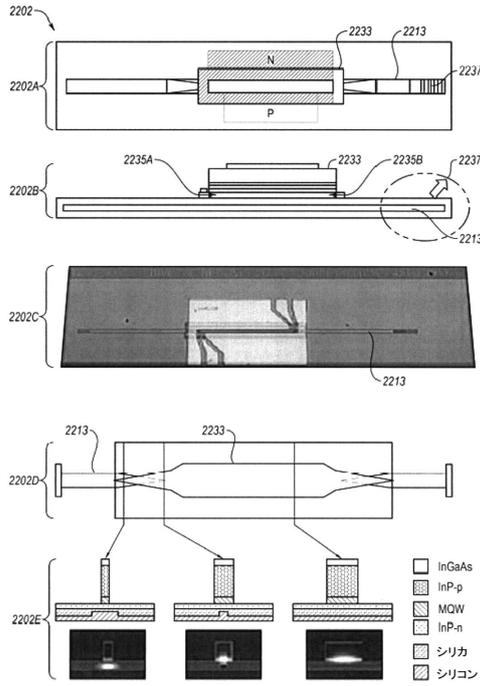


FIG. 21

【図22】



【図23】

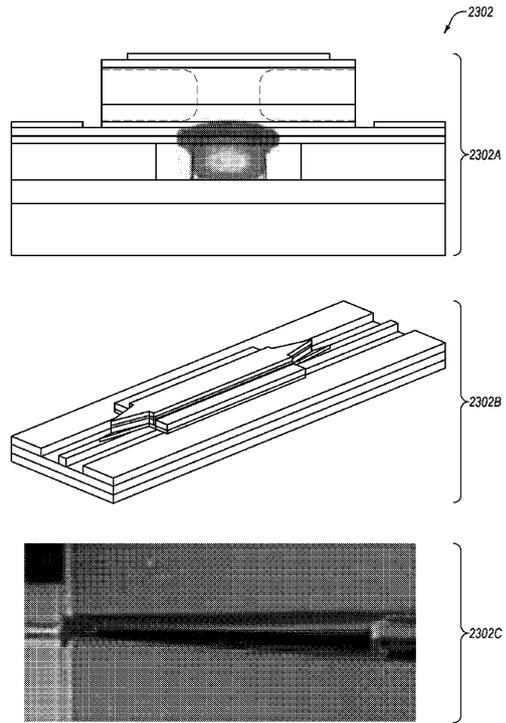


FIG. 23

【図24】

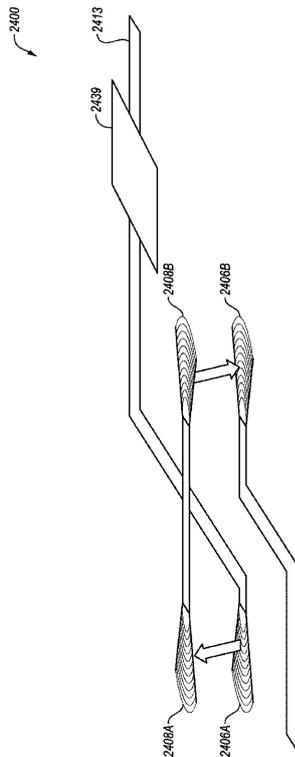
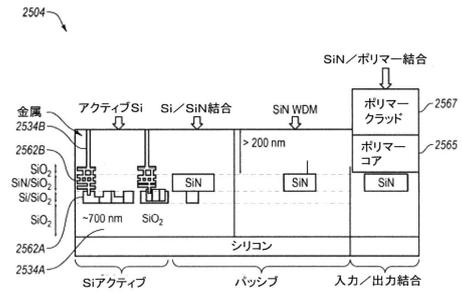
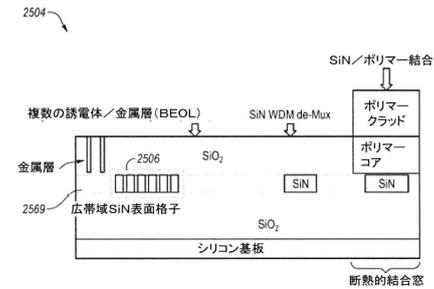


FIG. 24

【図25A】



【図25B】



【 図 26 】

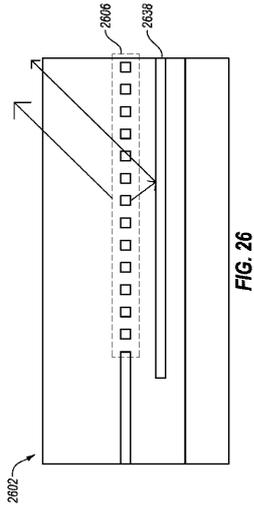
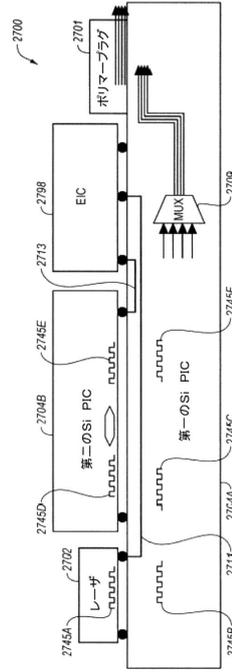


FIG. 26

【 図 27 】



【 図 30 A 】

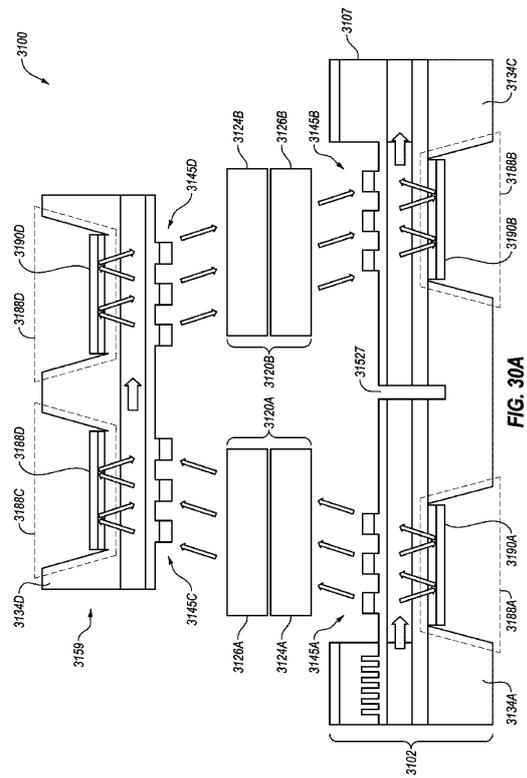


FIG. 30A

【 図 28 】

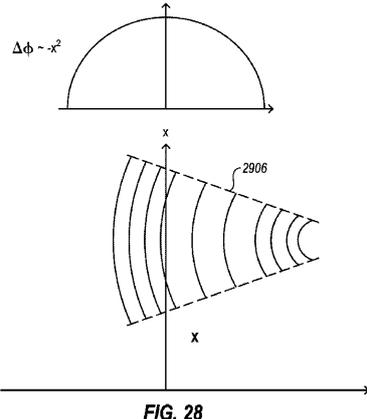


FIG. 28

【 図 29 】

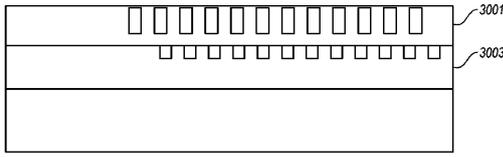
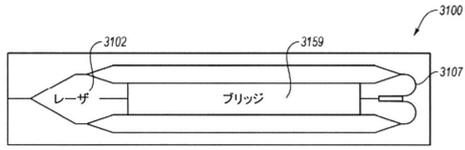


FIG. 29

【図30B】



【図31】

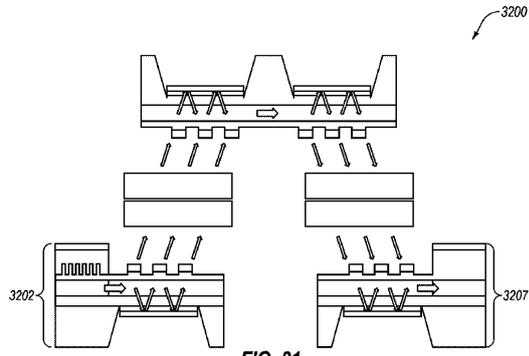
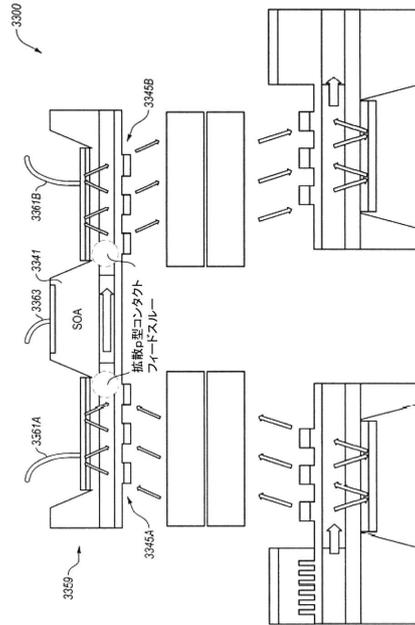


FIG. 31

【図32】



フロントページの続き

- (51) Int. Cl. F I
- | | | | | | |
|---------|-------|-----------|---------|-------|-------|
| G 0 2 B | 6/124 | (2006.01) | G 0 2 B | 6/124 | |
| G 0 2 B | 6/122 | (2006.01) | G 0 2 B | 6/122 | 3 1 1 |
| G 0 2 B | 6/34 | (2006.01) | G 0 2 B | 6/34 | |
| G 0 2 B | 6/42 | (2006.01) | G 0 2 B | 6/42 | |
| G 0 2 B | 6/30 | (2006.01) | G 0 2 B | 6/30 | |
- (72)発明者 マーガーエフテ、ダニエル
アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州 サニーベイル モフェット パーク ドライブ
1 3 8 9 フィニサー コーポレーション内
- (72)発明者 チェン、ジェンシャオ
アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州 サニーベイル モフェット パーク ドライブ
1 3 8 9 フィニサー コーポレーション内
- (72)発明者 ヒューブナー、ベルント
アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州 サニーベイル モフェット パーク ドライブ
1 3 8 9 フィニサー コーポレーション内
- (72)発明者 シュー、シャオジー
アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州 サニーベイル モフェット パーク ドライブ
1 3 8 9 フィニサー コーポレーション内
- (72)発明者 マツイ、ヤスヒロ
アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州 サニーベイル モフェット パーク ドライブ
1 3 8 9 フィニサー コーポレーション内
- (72)発明者 アダムズ、デイビッド
アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州 サニーベイル モフェット パーク ドライブ
1 3 8 9 フィニサー コーポレーション内
- (72)発明者 グエン、テリン
アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州 サニーベイル モフェット パーク ドライブ
1 3 8 9 フィニサー コーポレーション内

審査官 高橋 健司

- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 2 6 0 9 1 3 (U S , A 1)
特開 2 0 0 3 - 2 5 5 1 6 6 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 3 1 0 7 5 0 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 0 9 1 1 5 7 (U S , A 1)
特開平 0 1 - 0 8 4 7 7 6 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 1 1 8 3 7 2 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 2 0 3 6 0 4 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 5 / 0 6 3 6 2 8 (W O , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 0 6 3 7 5 3 (U S , A 1)
特開 2 0 1 3 - 2 5 1 3 9 4 (J P , A)
ABELES J.H. et al., "Monolithic High-power InGaAs/AlGaAs Grating Surface Emitting Fanned-out Amplifier-lasers Emitting Monochromatic High-Quality Beams", LEOS '92 Conference Proceedings, IEEE, 1992年11月16日, DLTA11.2, pp. 521-522, DOI:10.1109/LEOS.1992.694074 <https://ieeexplore.ieee.org/document/694074>

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0