(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7451376号
(P7451376)

(45)発行日　令和6年3月18日(2024.3.18)

(24)登録日　令和6年3月8日(2024.3.8)

(51)国際特許分類
Ｇ０２Ｂ　6/13 (2006.01)

ＦＩ
Ｇ０２Ｂ　6/13

請求項の数　20　外国語出願　（全22頁）

(21)出願番号　特願2020-177748(P2020-177748)
(22)出願日　令和2年10月23日(2020.10.23)
(65)公開番号　特開2022-39883(P2022-39883A)
(43)公開日　令和4年3月10日(2022.3.10)
審査請求日　令和5年10月16日(2023.10.16)
(31)優先権主張番号　17/006,366
(32)優先日　令和2年8月28日(2020.8.28)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
早期審査対象出願

(73)特許権者　522446306
オープンライト フォトニクス インコーポレイテッド
ＯｐｅｎＬｉｇｈｔ Ｐｈｏｔｏｎｉｃｓ，Ｉｎｃ．
アメリカ合衆国 ９３１１７ カリフォルニア，ゴリータ，コートナ・ドライブ，６８６８，スウィート シー
６８６８ Ｃｏｒｔｏｎａ Ｄｒｉｖｅ，Ｓｕｉｔｅ Ｃ，Ｇｏｌｅｔａ，Ｃａｌｉｆｏｒｎｉａ ９３１１７ Ｕｎｉｔｅｄ Ｓｔａｔｅｓ ｏｆ Ａｍｅｒｉｃａ
(74)代理人　110003708
弁理士法人鈴榮特許綜合事務所
(72)発明者　エリック・ヨハン・ノルバーグ

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　フォトニック回路製造における損失モニタリング

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

フォトニック集積回路の製造中に光学部品エラーを検出するための方法であって、前記方法は、

前記フォトニック集積回路のシリコン層上に、製造環境において初期製造サイクルを使用して、複数の光学部品を製造することと、前記複数の光学部品は、前記フォトニック集積回路において光を処理するための機能的な光学部品と、前記フォトニック集積回路を形成するための後続の製造サイクルプロセスによって引き起こされる損傷の影響を受けやすい、前記フォトニック集積回路の１つまたは複数の領域への損傷を検出するための１つまたは複数の製造導波路モニタ構造とを含み、前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造が、前記フォトニック集積回路の外部にあるエリアにおける上アームと、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの少なくとも１つを通って延びる下アームとを有するマッハツェンダー干渉計を備え、

前記フォトニック集積回路の別の層において、前記製造環境において前記後続の製造サイクルを使用して、複数の追加の光学部品を製造することと、前記複数の追加の光学部品は、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域に含まれており、

前記製造環境において、前記後続の製造サイクルによって引き起こされる、前記シリコン層の前記１つまたは複数の領域への損傷を識別することと、前記損傷は、前記マッハツェンダー干渉計を伝搬する光から検出される、

を備える、方法。
【請求項２】
前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造は、前記フォトニック集積回路の設計に従って、光を処理する前記機能的な光学部品から分離されている、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造の各々は、１つまたは複数の導波路によって接続されている集積光源と光検出器とを含む、請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造の各々は、シンギュレーション前に、ウエハレベルで光を受信および出力するための、入力結合器および出力結合器を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項５】
前記入力結合器は、入力回折格子結合器であり、前記出力結合器は、出力回折格子結合器である、請求項４に記載の方法。
【請求項６】
前記フォトニック集積回路は、ウエハから形成され、
前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造のうちの１つまたは複数は、前記初期製造サイクルを介して、前記ウエハから分離されることになるフォトニック集積回路エリアの外部にある外部エリアにおいて形成される、請求項１に記載の方法。
【請求項７】
第１の製造導波路モニタ構造が、前記外部エリアに位置する結合器を有し、かつ、損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域のうちの１つの領域を通る導波路経路を有する、請求項６に記載の方法。
【請求項８】
第２の製造導波路モニタ構造が、前記フォトニック集積回路内に位置する結合器を有し、かつ、損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域からの前記１つの領域を通り抜ける第２の導波路を有する、請求項７に記載の方法。
【請求項９】
前記第１の製造導波路モニタ構造は、前記１つまたは複数の領域のうちの前記１つの領域への前記損傷を検出するために、前記第１の製造導波路モニタ構造に対して前記第２の製造導波路モニタ構造の光損失が測定され得る、較正製造導波路モニタ構造である、請求項８に記載の方法。
【請求項１０】
前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造のうちの１つは、前記外部エリア内に含まれかつ前記フォトニック集積回路から除外された、入力結合器および出力結合器ならびに健全性導波路を含む、外部製造導波路モニタ構造である、請求項６に記載の方法。
【請求項１１】
前記後続の製造サイクルは、前記フォトニック集積回路の一部分に適用され、前記フォトニック集積回路の外部にある前記外部エリアにおける別の部分にも適用される、請求項１０に記載の方法。
【請求項１２】
前記外部製造導波路モニタ構造は、前記後続の製造サイクルの適用によって損傷され、前記フォトニック集積回路への前記損傷は、前記外部製造導波路モニタ構造の損傷した部分を伝搬する光を入力することおよび測定することを介して検出される、請求項１１に記載の方法。
【請求項１３】
損傷は、前記マッハツェンダー干渉計に入力される光の誤った消光比に基づいて検出され、前記誤った消光比は、損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの前記少なくとも１つを通って延びる前記下アームへの損傷によって引き起こされる消光比である、請求項１に記載の方法。

【請求項１４】
光は、ファイバフォーカサを使用して、前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造へと入力される、請求項１に記載の方法。
【請求項１５】
前記製造環境は、製造レチクルから形成される複数のフォトニック集積回路を含むウエハの製造用の製造クリーンルームである、請求項１に記載の方法。
【請求項１６】
前記１つまたは複数の領域への前記損傷は、前記製造クリーンルームにおいてインラインで、かつ前記製造クリーンルームから前記フォトニック集積回路を取り出すことなく行われる、請求項１５に記載の方法。
【請求項１７】
前記製造環境において前記後続の製造サイクルからの、前記１つまたは複数の領域に対して引き起こされた前記損傷に基づいて、前記フォトニック集積回路を処分することをさらに備える、請求項１に記載の方法。
【請求項１８】
前記複数の光学部品は、導波路および光結合器を含み、
前記複数の追加の光学部品は、レーザおよび変調器を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項１９】
１つまたは複数の製造導波路モニタ構造を含むウエハ上のフォトニック集積回路であって、前記ウエハは、
製造環境において初期製造サイクルを使用して前記ウエハのシリコン層において形成された複数の光学部品を備えるフォトニック集積回路であって、前記複数の光学部品は、前記フォトニック集積回路において光を処理するための機能的なシリコン光学部品と、前記フォトニック集積回路において複数の追加の光学部品を形成するための後続の製造プロセスによって引き起こされる損傷の影響を受けやすい、前記ウエハにおける１つまたは複数の領域への損傷を検出するための前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造とを含み、ここにおいて、前記複数の追加の光学部品は、前記製造環境において前記後続の製造サイクルを使用して、前記フォトニック集積回路の追加の層において形成され、前記複数の追加の光学部品は、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域に含まれており、前記１つまたは複数の製造導波路モニタ構造が、前記フォトニック集積回路の外部にあるエリアにおける上アームと、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの少なくとも１つを通って延びる下アームとを有するマッハツェンダー干渉計を備えるフォトニクス集積回路と、
前記フォトニック集積回路の外部にある余剰領域であって、前記余剰領域は、前記ウエハをシンギュレートすることによって、前記フォトニック集積回路から分離され得、前記製造導波路モニタ構造のうちの少なくとも１つは、前記フォトニック集積回路が前記製造導波路モニタ構造のうちの前記少なくとも１つの部分的な一部分を備えるように、前記初期製造サイクルを使用して、前記フォトニック集積回路および前記余剰領域において形成されており、前記製造導波路モニタ構造は、前記後続の製造サイクルによって引き起こされる損傷を識別するために、前記１つまたは複数の領域を通って光を伝搬させるための導波路を含む余剰領域と、
を備える、ウエハ上のフォトニック集積回路。
【請求項２０】
損傷は、前記マッハツェンダー干渉計に入力される光の誤った消光比に基づいて検出され、前記誤った消光比は、損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの前記少なくとも１つを通って延びる前記下アームへの損傷によって引き起こされる消光比である、請求項１９に記載のウエハ上のフォトニック集積回路。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】

[0001]本開示は、一般に光回路に関し、より詳細には、回路の光学試験に関する。

【背景技術】

【０００２】

[0002]シリコンフォトニックの開発および生産中、ファウンドリは、納品される材料が良い品質であることを保証するために、生産プロセスを特徴付けるためにインライン電気測定および電気モニタ構造を使用し得る。複数のフォトニック集積回路を含む単一のウエハが製造され得、それらは、次いで、最終試験を受ける個々のダイへとシンギュレートされる（singulated）。一般に、これらダイの一部は、製造プロセスから生じるエラーを有し、最終試験後に廃棄される。光学部品の加工については、既存のプロセス制御メカニズムを使用してウエハの品質を決定することは、現在困難または実現不可能である。

【０００３】

[0003]以下の説明には、本開示の実施形態の実施の例として与えられる例示を有する図の説明が含まれる。図面は、限定としてではなく、例として理解されるべきである。本明細書で使用される場合、１つまたは複数の「実施形態」への参照は、本発明の主題の少なくとも１つの実装形態に含まれる特定の特徴、構造、または特性を説明するものとして理解されるべきである。したがって、本明細書で見られる「一実施形態では」または「代替の実施形態では」などの表現は、本発明の主題の様々な実施形態および実装形態を説明するものであり、必ずしも全てが同じ実施形態を参照するわけではない。しかしながら、それらはまた、必ずしも相互排他的とは限らない。任意の特定の要素または動作の説明を容易に識別するために、参照番号の単数または複数の最上位桁は、その要素または動作が最初に紹介された図（「ＦＩＧ．」）番号を参照する。

【図面の簡単な説明】

【０００４】

【図１】[0004]図１は、いくつかの例となる実施形態による、光信号を送受信するための例となる光トランシーバを例示するブロック図である。

【図２】[0005]図２は、いくつかの例となる実施形態による、光電気デバイスの例示である。

【図３】[0006]図３は、いくつかの例となる実施形態による、光電気デバイスの内部アーキテクチャを示す。

【図４】[0007]図４は、いくつかの例となる実施形態による、例となる光学製造モニタアーキテクチャを示す。

【図５】[0008]図５は、いくつかの例となる実施形態による、例となる光学製造モニタアーキテクチャを示す。

【図６】[0009]図６は、いくつかの例となる実施形態による、例となる光学製造モニタアーキテクチャを示す。

【図７】[0010]図７は、いくつかの例となる実施形態による、光学製造試験構造を実施するための方法のフロー図を示す。

【発明を実施するための形態】

【０００５】

[0011]以下で説明される実施形態の一部または全てを示し得る図の説明を含み、ならびに本明細書で提示される本発明の概念の他の潜在的な実施形態または実装形態を説明する、ある特定の詳細および実装形態の説明が以下に続く。本開示の実施形態の概要が以下で提供され、その後に、図面を参照したより詳細な説明が続く。

【０００６】

[0012]以下の説明では、説明を目的として、数多くの特定の詳細が、本発明の主題の様々な実施形態の理解を提供するために示される。しかしながら、本発明の主題の実施形態がこれらの特定の詳細なしに実施され得ることは、当業者には明らかであろう。一般に、周知の命令インスタンス、構造、および技法は、必ずしも詳細に示されない。

【０００７】

[0013]フォトニック回路のシリコンフォトニック製造開発および生産中、１つまたは複

数の光学部品は、製造サイクル（例えば、エッチング）によって損傷され得、結果として生じるエラーは、最終生産段階まで検出可能でない場合がある。フォトニック製造の１つの課題が、フォトニック設計を作り出す製造レチクルに多くの異なる領域が存在することであり、ある特定のプロセスは、ある特定の領域でのみ光導波路の健全性（health）にとって問題になり得る。これは、光デバイス試験構造が、一般に、光導波路の健全性にとって問題になり得る領域から離れて配置されるので、光学的な健全性をモニタすることを困難にし得る。

【０００８】

[0014]加えて、課題は、Ｓｉ－ＩＩＩ－Ｖ族異種ウエハ（Si-III-V heterogenous wafer）から形成される回路の光学的な健全性をモニタする際に生じ得る。この困難は、下地（underlying）シリコン（Ｓｉ）またはシリコンオンインシュレータ（ＳＯＩ）担体ウエハが、ＩＩＩ－Ｖ族材料およびそれから形成されるアクティブ構成部品（例えば、レーザ、増幅器）の統合および加工中に損傷しやすいことに少なくとも部分的に起因する。下地Ｓｉ材料（これは、一般に、ＩＩＩ－Ｖ族層の下にあり、様々な厚さであり得る）の損傷をモニタすることは非常に困難である。ＩＩＩ－Ｖ族材料の境界における、下地Ｓｉ材料のエラーをモニタすることは同様に困難であり、これは、これらが、典型的に、インライン検査技法を使用して到達することが困難な非常に狭いおよび／または小さい領域であるからである。さらに、単に光学試験構造を回路の外部または「パッシブ」エリアに配置するだけでは、フォトニック回路のＩＩＩ－Ｖ族または「アクティブ」領域の健全性を十分に示すことができない可能性があり、したがって、問題を検出しないであろう。本明細書で使用される場合、パッシブ領域およびパッシブ構成部品は、フォトニック材料の電気的制御が、上述のパッシブ構成部品（例えば、導波路、結合器）の光学機能を実施するために使用されないものである。さらに、本明細書で使用される場合、アクティブ領域およびアクティブ構成部品は、一般に、電気的制御が、この構成部品または領域の光学的効果を生じさせるために適用されるものである（例えば、レーザダイオード、電界吸収型変調器など）。

【０００９】

[0015]エンドオブライン（end-of-line）試験アプローチに伴う別の課題が、インライン試験のためにフォトニック回路のポートを使用することの困難さを含み、これは、これらのデバイスポートが、一般に、特定の非試験関連の目的のために（例えば、光デバイスの動作上の機能性（operational functionality）のために）構成されており、製造サイクルにおけるインラインウエハレベル試験のために使用されることができない場合があるからである。例えば、オンチップレーザを備えた送信機フォトニック回路では、ウエハフォームファクタにおいて、このレーザから、チップからの出力までの導波路を試験することは実用的でなく、また、それが、レーザがバイアスされる（例えば、電気的にバイアスされる）ことを必要とし、これは、製造インライン中は（例えば、クリーンルームでは）実用的でないので、それは、製造中にインラインで試験されることができない。同様に、受信機フォトニック回路については、同様の理由により、チップ入力から光検出器までの導波路の保全性を試験することは容易ではない。加えて、ウエハレベルでは、デバイスポートの物理的構成は、ウエハにおいてアクセス可能であり得る（例えば、ダイシンギュレーションがウエハを形成した後までアクセス可能でない、フォトニック集積回路（ＰＩＣ）の側面上の入力出力ポート）。

【００１０】

[0016]１つのアプローチが、製造工場からウエハを取り出し（例えば、その結果、それらを廃棄または処分し）、パフォーマンス／健全性をモニタするために、光学パッシブ測定（ウエハレベルでアクセス可能な結合器を使用した入光および出光（light in and light out））を行うことであるが、これらのアプローチでは、一旦ウエハが取り出されると、それは、製造施設（例えば、インライン、クリーンルーム）に持ち込まれることができない。さらに、光学部品エラーを検出するために、従来の伝統的な相補型金属酸化膜半導体（ＣＭＯＳ）インラインまたは電気的試験構造を使用することは、非常に困難であるか、

不可能である。加えて、所与の集積フォトニック製造フローにおいて、光学ウエハを生産するためのリードタイムは、非常に長くなり得、問題が製造の終わりにおいてのみ検出される場合には、プロセスを改善および開発するためのフィードバック時間が増大され、これは、言い換えると、長い開発リードタイムおよびよりコストのかかる開発ということになる。

【００１１】

[0017]このために、光学製造モニタリング構造が、フォトニックウエハの健全性を評価し、さらに、ラインの終わりではなく、インラインでのプロセスステップを適格とする（qualify）ために実装され得、それによって、現代の光デバイス（例えば、高速光トランシーバ）の設計、開発、および製造において、時間とお金を節約する。

【００１２】

[0018]エラーの増大したリスクを伴う領域の一例が、大きいトポグラフィーを有する界面を含み、これは、このような界面領域が、他の領域よりも速くエッチングする傾向があり、これは、下地層における構成部品（例えば、導波路層、シリコン導波路、または初期層において形成された他の構成部品）を損傷させる「トレンチング（trenching）」をもたらし得るからである。モニタされ得る別の領域が、担体ウエハの上部にある異種接合された材料（heterogeneously bonded materials）（例えば、接合された材料は、ＩＩＩＶ、ＬｉＮｂｏ３、接合誘電体などを含む）の下およびその周りを含む。接合された材料は、担体ウエハと統合されるために特殊加工を必要とし得、特殊加工は、時として下地材料を損傷し得るので、エラーが生じ得る。モニタされ得る別の領域が、インプラント（implants）が追加された領域を含み、ここで、インプラントは、光導波路を損傷し得るか、または光導波路における損失を増大し得る。

【００１３】

[0019]いくつかの例となる実施形態では、光学製造モニタリング構造が、製造工場クリーンルーム環境内部の光学的な健全性を評価するために、ウエハレベルでのインライン試験を可能にするようにフォトニック設計に含まれ得る。光学製造モニタリング構造を使用することによって、光学設計は、インラインの測定を介して試験され得、ウエハの加工は、クリーンルームを出て汚染されることなく継続し得る。

【００１４】

[0020]いくつかの例となる実施形態では、光導波路構造は、特定の製造懸念がある単数または複数の領域（例えば、損傷または摂動（perturbations）の影響を受けやすい領域）を通ってルーティングされる導波路によって接続されている入力結合器および出力結合器を含む。いくつかの例となる実施形態では、試験構造は、パッシブ導波路によって結合された回折格子結合器を使用して形成される。いくつかの例となる実施形態では、追加の光学製造試験構造が、所与のフォトニック集積回路内に完全に含まれるそれら光学モニタリング製造試験構造についての同一の較正構造挿入損失測定を提供するために、同じ領域を通ってルーティングされる。

【００１５】

[0021]いくつかの例となる実施形態では、光学製造回折格子結合器は、懸念すべき領域における回路の内部の１つまたは複数の部分をモニタするために、ルーティング導波路とともに、フォトニック回路の内部に位置し得る。いくつかの例となる実施形態では、光学製造試験構造が、フォトニック回路の外部に完全に位置しているが、回路の内部の製造と同一であるか、あるいは回路の内部で見られるプロセスを模倣し、同じまたは同様に損傷およびエラーを受ける可能性がある領域にある。

【００１６】

[0022]いくつかの例となる実施形態では、光学製造モニタ構造が、非対称マッハツェンダー干渉計（ＡＭＺＩ）などの、異なる長さの複数のアームを有する非対称の導波路構造として実装され得る。いくつかの例となる実施形態では、ＡＭＺＩのアームのうちの１つのうちの１つは、（例えば、較正アームとして）懸念すべきエリアの外部にルーティングされ、別のアームは、健全性モニタ導波路アームとして機能し、これは、モニタされる必

要がある製造エリアまたは経路を通ってルーティングされる。このアプローチでは、健全性モニタ導波路アームに影響を及ぼす意図しない損失は、サブデシベルの光損失を検出するために、測定されたＡＭＺＩスペクトル応答の消光比における変化（例えば、位相変化、消光比変化）に変換することになる。加えて、導波路の長さの変化は、その領域または経路におけるエラーを示し得る。例えば、（例えば、製造サイクル中に生じた）光路長の予期せぬ変化は、モニタ構造に供給される固定波長についての中間パワー（median power）および／またはＦＳＲを変化させることになる。これらの例となる実施形態では、変化したＦＳＲおよび中間パワーは、いくつかの例となる実施形態によれば、フォトニック回路が光路の特定の遅延および／または長さに依拠する場合に、遅延関連の光学的エラーを示し得る。

【００１７】

[0023]光学製造モニタリング構造は、したがって、（例えば、所与の層の厚さ、設計において実装される設計または構成部品を変更するなど）プロセスを早期に適合させるためのフィードフォーワード情報、および／または（例えば、不良部分を検出し、生産サイクルの早期においてそれを捨てるまたは処分するための）フィードバック情報を生成するために、インライン測定で実装され得る。光学製造モニタ構造の利点は、製造歩留まりを大幅に改善すること、製造コストを大幅に低減すること、および複雑なフォトニック設計の開発サイクル時間を低減することを含む。

【００１８】

[0024]図１は、いくつかの例となる実施形態による、光信号を送受信するための例となる光トランシーバ１００を例示するブロック図である。光トランシーバ１００は、インライン製造中に光学的エラーを検出することが困難または不可能であり得る、例となるフォトニックデバイスである。図１に例示される例では、光トランシーバ１００は、電気ハードウェアデバイス１５０などの電気デバイスからのデータを処理し、電気データを光データに変換し、この光データを光デバイス１７５などの１つまたは複数の光デバイスと送受信する。例えば、電気ハードウェアデバイス１５０は、光スイッチネットワークへのデータを送受信するプラグ着脱可能なデバイスとして光トランシーバ１００を「ホスト」するホストボードであり得、ここで、例えば、光デバイス１７５は、光スイッチネットワークの他の構成部品（例えば、外部送信機１７７）であり得る。しかしながら、光トランシーバ１００は、他のタイプの電気デバイスおよび光デバイスとインターフェースするように実装され得ることが理解される。例えば、光トランシーバ１００は、いくつかの例となる実施形態によれば、光からバイナリ電気データに変換された後のデータを処理するオンボード電気チップを相互接続するための光バスとして光ネットワーク（例えば、導波路、ファイバ）を使用するハイブリッド「マザーボード」上のシングルチップとして実装され得る。

【００１９】

[0025]いくつかの例となる実施形態では、ハードウェアデバイス１５０は、光トランシーバ１００の電気インターフェースを収容し（receiving）およびそれと嵌合するための電気インターフェースを含む。光トランシーバ１００は、通信システムまたはデバイス内のバックエンドモジュールとして動作するハードウェアデバイス１５０によって物理的に収容されおよびそれから取り外され得る、取り外し可能なフロントエンドモジュールであり得る。例えば、光トランシーバ１００およびハードウェアデバイス１５０は、いくつかの例となる実施形態によれば、波長分割多重（ＷＤＭ）システムまたはパラレルファイバシステム（例えば、パラレルシングルファイバ（ＰＳＭ））などの光通信デバイスまたはシステム（例えば、ネットワークデバイス）の構成部品であり得る。

【００２０】

[0026]例示される例では、光トランシーバ１００は、電気回路（例えば、データ送信機１０５、データ受信機１１５）と、ＰＩＣ１１０の光学部品とを制御するマイクロプロセッサ１０２を含む。光トランシーバ１００のデータ送信機１０５は、電気信号を受信し得、次いで、これは、ＰＩＣ１１０の光送信機構成部品（例えば、変調器、ヒータ）を介し

て光信号に変換される。次いで、ＰＩＣ１１０は、ＰＩＣ１１０とインターフェースするファイバまたは導波路などの光リンクを介して、光信号を出力し得る。次いで、出力された光データは、ワイドエリアネットワーク（ＷＡＮ）、光スイッチネットワーク、埋込みシステム内の光導波路ネットワークなどのようなネットワークを介して、他の構成部品（例えば、スイッチ、エンドポイントサーバ、単一埋込みシステムの他の埋込みチップ）によって処理され得る。

【００２１】

[0027]ＰＩＣ１１０（例えば、光検出器）は、光デバイス１７５への１つまたは複数の光リンクを介して、高データレートの光信号を受信し得る。光信号は、電気ハードウェアデバイス１５０などの他のデバイスへの出力のために、データをより低いデータレートに復調するなどの、データ受信機１１５によるさらなる処理のために、光受信機構成部品によって光から電気信号に変換される。光トランシーバ１００によって使用される変調は、パルス振幅変調（例えば、「ＰＡＭ４」のような４レベルＰＡＭ、ＰＡＭ８など）、四位相偏移変調（ＱＰＳＫ）、二位相偏移変調（ＢＰＳＫ）、偏波多重ＢＰＳＫ、Ｍ値直交振幅変調（Ｍ－ＱＡＭ）などを含み得る。

【００２２】

[0028]図２は、いくつかの例となる実施形態による、１つまたは複数の光デバイスを含む光電気デバイス２００の例示である。この実施形態では、光電気デバイス２００は、プリント回路基板（ＰＣＢ）２０５、有機基板２６０、特定用途向け集積回路２１５（ＡＳＩＣ）、およびＰＩＣ２２０を含む、マルチ構造チップパッケージである。この実施形態では、ＰＩＣ２２０は、（例えば、図３でのように）以下で説明される１つまたは複数の光学構造を含み得る。

【００２３】

[0029]いくつかの例となる実施形態では、ＰＩＣ２２０は、ＳＯＩまたはシリコン系（例えば、窒化ケイ素（ＳｉＮ：silicon nitride））デバイスを含むか、またはシリコン材料と非シリコン材料の両方から形成されたデバイスを備え得る。上述の非シリコン材料（「異種材料」とも呼ばれる）は、ＩＩＩ－Ｖ族材料、磁気光学（ＭＯ：magneto-optic）材料、または結晶基板材料のうちの１つを備え得る。ＩＩＩ－Ｖ族半導体は、周期表のＩＩＩ族およびＶ族にある元素（例えば、リン化インジウムガリウムヒ素（ＩｎＧａＡｓＰ：Indium Gallium Arsenide Phosphide）、窒化ガリウムインジウムヒ素（ＧａｉｎＡｓＮ：Gallium Indium Arsenide Nitride））を有する。ＩＩＩ－Ｖ族系材料のキャリア分散効果は、ＩＩＩ－Ｖ族半導体における電子速度がシリコンにおける電子速度よりも格段に速いので、シリコン系材料の場合よりも大幅に高くなり得る。加えて、ＩＩＩ－Ｖ族材料は、電気的ポンピングからの光の効率的な生成を可能にする直接バンドギャップを有する。したがって、ＩＩＩ－Ｖ族半導体材料は、光を発生させることおよび光の屈折率を変調することの両方について、シリコンよりも向上した効率でのフォトニック動作を可能にする。したがって、ＩＩＩ－Ｖ族半導体材料は、電気から光を発生させることおよび光を電気に変換し戻すことにおいて向上した効率でのフォトニック動作を可能にする。

【００２４】

[0030]したがって、シリコンの低い光損失および高品質の酸化物が、以下で説明される異種光デバイスにおけるＩＩＩ－Ｖ族半導体の電気光学効率と組み合わされ、本開示の実施形態では、上述の異種デバイスは、デバイスの異種導波路とシリコンのみの導波路との間の、低損失の異種光導波路遷移を利用する。ＭＯ材料は、異種ＰＩＣが、ＭＯ効果に基づいて動作することを可能にする。このようなデバイスは、電気信号に関連付けられた磁場が、光ビームを変調して高帯域幅変調を提供し、光アイソレータをイネーブルにする光学モードの電場を回転させるファラデー効果を利用し得る。上述のＭＯ材料は、例えば、鉄、コバルト、またはイットリウム鉄ガーネット（ＹＩＧ：yttrium iron garnet）などの材料を備え得る。さらに、いくつかの例となる実施形態では、結晶基板材料は、異種ＰＩＣに、高電気機械結合、線形電気光学係数、低伝送損失、および安定した物理的および化学的特性を提供する。上述の結晶基板材料は、例えば、ニオブ酸リチウム（ＬｉＮｂＯ

３：lithium niobate）またはタンタル酸リチウム（ＬｉＴａＯ３：lithium tantalate）を備え得る。

【００２５】

[0031]例示される例では、ＰＩＣ２２０は、プリズム２２５を介してファイバ２３０と光を交換し、上述のプリズム２２５は、いくつかの例となる実施形態によれば、（例えば、光ネットワークにおよびそれから光を伝送するために）１つまたは複数の単一モード光ファイバに光学モードを結合するために使用されるミスアライメント耐性デバイスである。いくつかの例となる実施形態では、ＰＩＣ２２０の光デバイスは、ＡＳＩＣ２１５に含まれる制御回路によって少なくとも部分的に制御される。ＡＳＩＣ２１５およびＰＩＣ２２０の両方が、有機基板２６０を介してこれら集積回路（ＩＣ）を通信可能に結合するために使用される銅柱２１４上に配設されて示されている。ＰＣＢ２０５は、ボールグリッドアレイ（ＢＧＡ）相互接続２１６を介して有機基板２６０に結合され、有機基板２６０（したがって、ＡＳＩＣ２１５およびＰＩＣ２２０）を、例えば、相互接続モジュール、電源などの、図示されていない光電気デバイス２００の他の構成部品に相互接続するために使用され得る。

【００２６】

[0032]図３は、いくつかの例となる実施形態による、光電気デバイス３０２の内部アーキテクチャ３００を示す。例示されるように、アーキテクチャ３００は、光トランシーバ１００などの、光データを送受信し得る光電気デバイス３０２を表示する。光電気デバイス３０２は、エレクトロニクスモジュール３０４とフォトニクスモジュール３０７とを備える。エレクトロニクスモジュール３０４は、図２のＡＳＩＣ２１５などの、パッケージにされたチップ内の１つまたは複数の電気的構造またはＡＳＩＣとして統合され得る電気部品（例えば、電気伝導路／トレース、回路制御ロジック、ＡＳＩＣ、プロセッサ、電力制御回路など）を含む。例示される例では、エレクトロニクスモジュール３０４は、光変調のためのデータ（例えば、ＰＡＭ４データ、ＱＰＳＫデータ）を受信する送信機コントローラ３０６（例えば、図１のデータ送信機１０５）を含む。いくつかの例となる実施形態では、ハードウェアプロセッサ３０５（例えば、ＣＰＵ、ＡＳＩＣ、マイクロプロセッサ）が、光電気デバイス３０２の異なるプロセスを制御する。エレクトロニクスモジュール３０４は、フォトニクスモジュール３０７における光受信機構成部品によって生成された光データを受信し得る受信機コントローラ３１０（例えば、データ受信機１１５）をさらに含む。エレクトロニクスモジュール３０４は、エレクトロニクスモジュール３０４内の電子構成部品を含む、光電気デバイス３０２のために電力を供給および制御し、さらに、様々な電気的に制御されたフォトニック構成部品（例えば、レーザ、シリコン光増幅器、フィルタ、変調器など）に電力供給するために、フォトニクスモジュール３０７に電力を供給するための、電力制御回路３１２をさらに含み得る。

【００２７】

[0033]いくつかの例となる実施形態では、フォトニクスモジュール３０７は、集積フォトニクス送信機構造３１４および集積フォトニクス受信機構造３３２を備える、波長分割多重トランシーバアーキテクチャである。いくつかの例となる実施形態では、集積フォトニクス送信機構造３１４および集積フォトニクス受信機構造３３２は、上述された、図２のＰＩＣ２２０などの、ＰＩＣデバイスにおいて製造される例となる光学部品である。集積フォトニクス送信機構造３１４は、４つのレーンを有する波長分割多重送信機の一例であり、ここで、各レーンは、例えば、第１の送信機レーン３１６におけるレーザ３５０、電界吸収型変調器（ＥＡＭ）３５２、およびＭＺＩ３５５を含む、異なる光学部品を使用して異なる波長の光を処理し、他のレーンは、（例えば、異なる波長分割多重波長において）それらレーン上の光データを管理するための同じまたは同様の構成部品を含み得る。簡潔にするために、例示される例では、第１の送信機レーン３１６と第４の送信機レーン３１８とを含む、送信機の２つのレーンのみが例示されており、第２および第３の送信機レーンは省略されている。

【００２８】

[0034]集積フォトニクス受信機構造３３２は、（例えば、光ネットワークから）変調されたＷＤＭ光を受信し、マルチプレクサ３３４、半導体光増幅器（ＳＯＡ）３３５、および光検出器３３６（例えば、フォトダイオード）などの１つまたは複数の検出器などの構成部品を使用して、光をフィルタリングすること、増幅すること、およびそれを電気信号に変換することによって処理するＷＤＭ受信機の一例である。

【００２９】

[0035]フォトニクスモジュール３０７は、複数のプロセスにおいて製造され得、最初に、１つまたは複数のシリコン構成部品を（例えば、マスクまたはレチクルを使用して）製造することに続いて、（例えば、別のマスクまたはレチクルを使用して）ＩＩＩ－Ｖ族層からアクティブ構成部品を製造することを含む。例えば、フォトニクスモジュール３０７における様々な構成部品を接続している導波路（例えば、矢印として例示される）は、シリコンからエッチングされ得、ＭＺＩ３５５およびＭＺＩ３３３などの他の構成部品も、同様にシリコンからエッチングされ得、一方、レーザ（例えば、レーザ３２８、３５０）、モニタフォトダイオード（例えば、モニタフォトダイオード３６４）、および光検出器３３６などの他の構成部品は、その後、シリコン構成部品の（例えば、導波路がエッチングされた）後に、ＩＩＩ－Ｖ族材料から後続の製造サイクルにおいて製造され得る。いくつかのケースでは、後の方の構成部品（例えば、アクティブ構成部品）を製造する際に、より早く形成された構成部品（例えば、Ｓｉ構成部品）のうちの１つまたは複数が損傷され得、これは、構成部品またはフォトニクスモジュール３０７全体の障害を引き起こし得る。このために、１つまたは複数の光学製造モニタ構造が、以下でさらに説明されるように、フォトニクスモジュール３０７が損傷した領域を有するかどうかを試験するために、製造プロセス中にインラインで使用され得る。

【００３０】

[0036]図４は、いくつかの例となる実施形態による、例となる光学製造モニタアーキテクチャ４００を示す。製造レチクル４０２が、ウエハ上にフォトニック設計を作り出すために、フォトニックレイアウト設計４０７を１回または複数回ウエハ上に形成するために実装される。次いで、作り出されたフォトニック設計の部分は、フォトニック集積回路４１２などの、別個のフォトニック集積回路およびウエハの余剰部分４２０としてシンギュレートされる。例えば、フォトニック集積回路４１２は、フォトニクスモジュール３０７またはＰＩＣ２２０の例となる実装形態であり、ここで、構成部品の一部が、第１の製造プロセス（例えば、フォトニクスモジュール３０７において導波路を形成するためのシリコンエッチング）を使用して製造され、第２の製造プロセスが、追加の構成部品（例えば、ＩＩＩ－Ｖ族材料から製造される、フォトニクスモジュール３０７におけるアクティブ層構成部品）を形成し、ここで、追加の構成部品の製造は、第１の構成部品におけるエラー（例えば、トレンチング、損傷した導波路、付着界面の損傷（bond interface damage））を引き起こし得る。

【００３１】

[0037]製造中にインラインでエラーをモニタおよび検出するために、１つまたは複数の光学製造モニタ構造が、レイアウト設計に含まれ、エッチング用の初期層（例えば、シリコン層）において形成される導波路および他の構成部品と共に、製造レチクル４０２によって製造される。具体的には、例えば、領域Ａおよび領域Ｂが、損傷または製造エラーの影響を受けやすい領域であり得る。例えば、領域Ａは、ＩＩＩ－Ｖ族層において製造される構成部品（例えば、レーザ３２８、レーザ３５０）を含み得、領域Ｂは、ＩＩＩ－Ｖ族層から製造される他の構成部品（例えば、ＥＡＭ３３０、ＥＡＭ３５２）を含み得、ここで、領域Ａおよび領域Ｂにおける構成部品の製造は、領域Ａおよび領域Ｂ内のまたはそれらに近接した既存の構成部品への損傷（例えば、レーザまたはＥＡＭに結合されたシリコンエッチングされた導波路；またはＭＺＩ３３３、３５５などのシリコン層における他の既に作り出された構成部品への損傷）を引き起こし得る。

【００３２】

[0038]光学製造モニタ構造４０５、４１０、４１５は、いくつかの例となる実施形態に

よれば、ウエハまたはフォトニック回路を廃棄することなく、インライン製造中にエラーを検出するために、レイアウト設計に含まれ得る。例えば、製造中に領域Ａをモニタするために、光学製造モニタ構造４０５、および追加として光学製造モニタ構造４１０は、いくつかの例とのなる実施形態によれば、製造損傷プロセスによって引き起こされる光損失を検出するために、領域Ａを通るように光をルーティングし得る。いくつかの例となる実施形態では、光は、所与の光学製造導波路モニタ構造内へと結合され、ファイバ、プリズム、ファイバフォーカサ（fiber focuser）、レンズ、または入力メカニズムと出力メカニズムとを有するモジュール（例えば、導波路から出た光を受信するため出力回折格子および検出器、ならびに光を導波路に結合するためのファイバを有するプローブカード）のうちの１つまたは複数を介して、この構造からインラインで（例えば、製造システムからウエハを取り出すことなく）受信される。

【００３３】

[0039]例示される例では、光学製造モニタ構造４０５は、２つの結合器４０５Ａおよび４０５Ｂ（例えば、回折格子結合器）を含み、これらは、パッシブシリコン導波路（例えば、結合器４０５Ａと４０５Ｂを接続している実線によって示されるような、デバイスの機能的な構成部品とは別個の健全性導波路）を介して結合される。シンギュレーション後、分離された個々のＰＩＣ４１２（例えば、ＰＩＣ２２０）は、光学製造モニタ構造４０５を含むことになる。いくつかの例となる実施形態では、光学製造モニタ構造の一部は、この構造の一部が、シンギュレートされたフォトニック集積回路４１２に含まれないように、シンギュレーション後に分離され得る。例えば、光学製造モニタ構造４１０は、２つの結合器４１０Ａおよび４１０Ｂを含み、これらは、領域Ａ内のまたはそれに近接した製造プロセスから生じる可能性のある損傷またはエラーを検出するために、フォトニック集積回路４１２の外部から始まり、領域Ａへと延びる導波路によって接続されている。フォトニック集積回路４１２のシンギュレーション後、回折格子結合器４１０Ａおよび４１０Ｂは、フォトニック集積回路４１２から分離され、導波路（実線）のみがフォトニック集積回路４１２とともに残り、それによって、フォトニック集積回路４１２内のレイアウト空間を節約している。加えて、およびいくつかの例となる実施形態によれば、この構造の一部をフォトニック集積回路４１２の外部に配置することは、試験構造それら自体が、損失を引き起こさないことおよび誤って誤りのある試験測定値（test readings）を引き起こさないことを保証するために、この構造が試験基準として利用されることを可能にする。例えば、光学製造モニタ構造４０５は、光を受信および出力することができ、損失が測定されて、較正製造導波路モニタ構造として機能する光学製造モニタ構造４１０によって示される損失に対して評価される。光学製造モニタ構造４０５が大幅な損失を示し、光学製造モニタ構造４１０が大幅な損失を示さないケースでは、この場合、損失は、試験構造自体の１つまたは複数の構成部品（例えば、光結合器４０５Ａの不正確に形成された回折格子結合器）に起因し得る。

【００３４】

[0040]いくつかの例となる実施形態では、光学製造モニタ構造のうちのいくつかまたは全ては、それがフォトニック集積回路４１２の外部にあるが、依然としてフォトニック集積回路４１２内に損傷を引き起こし得るプロセスを経る領域にあるように製造される。例えば、領域Ｂは、製造プロセス中に損傷を被る増大した確率を有する領域であり得、ここで、潜在的に損傷を与える製造プロセスを経る領域Ｂの一部は、フォトニック集積回路４１２の外部にある。例示されるように、光学製造モニタ構造４１５は、それが完全にフォトニック集積回路４１２の外部にあるようにレイアウトの一部として設計されているが、領域Ｂにおける１つまたは複数の構成部品が損傷を被る場合、光学製造モニタ構造４１５内の導波路もまた損傷を被るように、結合器４１５Ａと４１５Ｂを接続している導波路を有する。例えば、損傷は、導波路を伝搬して光結合器４１５Ｂに至る光を光結合器４１５Ａに入力することと、損失（例えば、光入力に基づいて予期されるものよりも大きい損失）を測定することとによって、光損失によって示され得る。特に、フォトニック集積回路４１２のシンギュレーション後、光学製造モニタ構造４１５は、フォトニック集積回路４

１２の外部にあり、最終的なシンギュレートされたダイに含まれていない。

【００３５】

[0041]いくつかの例となる実施形態では、光学製造モニタ構造のうちの１つまたは複数は、自己完結型のアプローチ（self-contained approach）において（例えば、結合器に光を入力し、別の結合器から光を受信する必要なしに）、光を発生させおよび光を検出するための、集積光源および検出器とともに製造される。例えば、結合器４１０Ａは、集積レーザ（例えば、ＩＩＩ－Ｖ族材料から部分的に形成されたハイブリッドレーザ）と置き換えられ得、結合器４１０Ｂは、光学製造モニタ構造４１０の健全性導波路を介してモニタリング領域（例えば、領域Ａ）を伝搬する集積レーザによって発生させた光を検出するための集積フォトダイオードと置き換えられ得る。

【００３６】

[0042]自己完結型の光学製造モニタ構造の試験を開始するために、レーザおよび検出器は、電気的プロービングを介してプローブされ得、これは、いくつかの例となる実施形態によれば、インラインの標準電子ＰＣＭ電気プローブ試験を使用して試験するためのより容易な製造ファウンドリであり得る。さらに、（例えば、光が回折格子結合器を介して注入および出力される）結合器ベースの光学製造モニタ構造と同様に、自己完結型の光学製造モニタ構造は、それらが、図３を参照して上述されたように、フォトニクス送信機構造３１４のトランシーバ構成部品（例えば、レーザ、ＭＺＩ、ＥＡＭ）およびフォトニクス受信機構造３３２の受信機構成部品（例えば、ＳＯＡ、検出器など）などの、フォトニック設計の機能的な光学部品と同じ設計の一部として形成されるので、追加の製造労力を必要としない。

【００３７】

[0043]図５は、いくつかの例となる実施形態による、例となる光学製造モニタアーキテクチャ５００を示す。製造レチクル５０５が、ウエハ上にフォトニック設計を作り出すために、フォトニックレイアウト設計５１５を１回または複数回ウエハ上に形成するために実装される。次いで、作り出されたフォトニック設計の部分は、フォトニック集積回路５１０などの、別個のフォトニック集積回路としてシンギュレートされる。例えば、フォトニック集積回路５１０は、フォトニクスモジュール３０７またはＰＩＣ２２０の例となる実装形態であり、ここで、構成部品の一部が、第１の製造プロセス（例えば、フォトニクスモジュール３０７において導波路を形成するためのシリコンエッチング）を使用して製造され、第２の製造プロセスが、追加の構成部品（例えば、ＩＩＩ－Ｖ族材料から製造される、フォトニクスモジュール３０７におけるアクティブ層構成部品）を形成し、ここで、追加の構成部品の製造は、第１の構成部品におけるエラー（例えば、トレンチング、損傷した導波路、付着界面の損傷）を引き起こし得る。

【００３８】

[0044]図５の例では、光学製造モニタリング構造５２０は、主にフォトニック集積回路５１０の外部の製造レチクル領域においてエッチングされたＭＺＩである。例示されるように、光学製造モニタリング構造５２０は、入力結合器５２５（例えば、回折格子結合器、これは、結合器５３０（例えば、Ｔ接合、１×２結合器）へと光を結合し、それは、結合器５３５（例えば、Ｔ接合、２×１結合器）へと光を結合する）を含む。次いで、結合器５３５は、位相ベースのまたは消光比ベースのエラー測定のために、出力結合器５４０（例えば、回折格子結合器）に光を結合する。これらの例となる実施形態では、光学製造モニタリング構造５２０は、（ＡＭＺＩが作り出された後およびさらなる製造サイクルの前に測定される）初期の位相変化からの位相変化、またはフォトニクス集積回路５１０の領域Ａの損傷の影響を受けやすいエリアへと延びる下アーム５４５への損傷による消光比変化を検出することによって、製造エラーのサブデシベルレベルの検出を提供し得る。フォトニクス集積回路５１０のシンギュレーション後、光学製造モニタリング構造５２０の大部分が分離され、下アーム５４５のみが、分離されたフォトニック集積回路５１０に含まれている。さらに、いくつかの例となる実施形態では、図５の光学製造モニタリング構造のうちの１つまたは複数は、図４を参照して上述されたように、集積光源および／また

は検出器がモニタ構造レイアウト中に含まれる、自己完結型の光学製造モニタ構造として実装される。

【００３９】

[0045]図６は、いくつかの例となる実施形態による、例となる光学製造モニタアーキテクチャ６００を示す。製造レチクル６０２が、ウエハ上にフォトニック設計を作り出すために、フォトニックレイアウト設計６０７を１回または複数回ウエハ上に形成するために実装される。次いで、作り出されたフォトニック設計の部分は、フォトニック集積回路６１２などの、別個のフォトニック集積回路としてシンギュレートされる。例えば、フォトニック集積回路６１２は、フォトニクスモジュール３０７またはＰＩＣ２２０の例となる実装形態であり、ここで、構成部品の一部が、第１の製造プロセス（例えば、フォトニクスモジュール３０７において導波路を形成するためのシリコンエッチング）を使用して製造され、第２の製造プロセスが、追加の構成部品（例えば、ＩＩＩ－Ｖ族材料から製造される、フォトニクスモジュール３０７におけるアクティブ層構成部品）を形成し、ここで、追加の光学部品の製造は、第１の構成部品におけるエラー（例えば、トレンチング、損傷した導波路、付着界面の損傷）を引き起こし得る。

【００４０】

[0046]図６の例では、１つまたは複数の光学製造試験構造は、いくつかの例となる実施形態によれば、製造中にフォトニック集積回路６１２の送信機部分、製造中にフォトニック集積回路６１２の受信機部分、または製造中にフォトニック集積回路６１２のトランシーバ回路全体のインライン試験を行うために実装され得る。

【００４１】

[0047]例示される例では、送信機構成部品は、レーザ６０５を含み、これは、送信機の光出力結合器６１５に結合された光変調器６１０に結合される。送信機光学製造試験構造は、フォトニック集積回路６１２の送信機部分に近接した導波路を実装する送信機への損傷または損失を検出し得る。例えば、送信機光学製造試験構造は、送信機構成部品の送信機経路に近接して残るようにレイアウトの一部として設計されたシリコン導波路によって接続されている試験結合器６２０と６２５を含み得る。製造中、送信機部分は、結合器６２０へと光を入力することと、結合器６２５による光および損失を検出することとによって、試験およびモニタされ得、これは、送信機の１つまたは複数の構成部品への潜在的な損傷を示す。

【００４２】

[0048]図６では、受信機構成部品は、入力結合器６４０を含み、これは、増幅器６３５に光を結合し、それはさらに、光検出器６３０に同様に結合する。受信機光学製造試験構造は、フォトニック集積回路６１２の受信機部分に近接した導波路を実装する送信機への損傷または損失を検出し得る。例えば、受信機光学製造試験構造は、受信機構成部品の受信機経路に近接して残るようにレイアウトの一部として設計されたシリコン導波路によって接続されている試験結合器６４２と６４４を含み得る。製造中、受信機部分は、結合器６４２へと光を入力することと、損失を検出するための結合器６４４による光を検出することとによって、廃棄されることまたはラインから取り出されることなしに、インラインで試験およびモニタされ得、これは、受信機の１つまたは複数の構成部品への潜在的な損傷を示す。

【００４３】

[0049]さらに、フォトニクス集積回路６１２全体が、いくつかの例となる実施形態によれば、フォトニック集積回路６１２の受信機部分および送信機部分を取り囲むパッシブシリコン導波路によって接続された入力結合器６４５と出力結合器６５０とを含むトランシーバ光学製造試験構造を使用して、製造中にインラインでモニタされ得る。製造中、フォトニクス集積回路は、結合器６４５へと光を入力することと、損失を検出するための結合器６５０によって出力された光を検出することとによって、光学試験構造を使用してモニタされ得、これは、トランシーバの１つまたは複数の構成部品への潜在的な損傷を示す。このようにして、複雑な高速光トランシーバの製造中、廃棄することまたは汚染なしに、

受信機がインラインで試験され得、送信機がインラインで試験され得、およびトランシーバ全体がインラインで試験され得、それによって、部品（parts）を早期に捨てることおよび製造プロセスまたはフォトニックレイアウトへの変更を可能にする。

【００４４】

[0050]さらに、いくつかの例となる実施形態では、図６の光学製造モニタリング構造のうちの１つまたは複数が、図４を参照して上述されたように、集積光源および／または検出器がモニタ構造レイアウト中に含まれる、自己完結型の光学製造モニタ構造として実装される。

【００４５】

[0051]図７は、いくつかの例となる実施形態による、光学製造試験構造を実施するための方法７００のフロー図を示す。動作７０５において、フォトニクス集積回路の製造中に、フォトニック集積回路の第１の構成部品および１つまたは複数の光学製造モニタ構造が作り出される。例えば、動作７０５において、初期シリコン層が、１つまたは複数の光学部品（例えば、フォトニック集積回路の構成部品を接続するための導波路、および／またはＭＺＩなどのパッシブ構成部品）を作り出すためにエッチングされる。さらに、初期シリコンエッチング中に、１つまたは複数の光学製造試験構造が、上述されたように、クリーンルームでの製造中に光学部品をモニタするために含まれる。

【００４６】

[0052]動作７１５において、第２のセットの構成部品が、（例えば、製造レチクルを介して）ウエハ上に作り出される。上述されたように、第２の構成部品を作り出す際に、動作７０５中に作り出された構成部品のうちの１つまたは複数が損傷され得る。

【００４７】

[0053]動作７２０において、１つまたは複数の製造サイクルからの損傷を検出するために、光が製造モニタ光学構造に供給され、次いで、それは、動作７２５において受信される。動作７３０において、１つまたは複数のエラーが、光学製造試験構造からの受信された光によって示されるように検出される。例えば、受信された光は、製造損傷の影響を受けやすい１つまたは複数の領域内で大幅な光損失が存在することを示し得る。さらに、損傷は、ＭＺＩ試験構造の消光比が変化することまたは増大すること（例えば、設計されたまたは以前のＭＺＩ消光比を超えて増大すること）に基づいて検出され得る。

【００４８】

[0054]動作７３５において、追加の処理が、エラーに従って行われる。例えば、いくつかの例となる実施形態では、検出されるエラーまたは損傷のタイプに依存して、ウエハまたはフォトニック回路は、廃棄されるか、または別な方法で処分され得る。加えて、いくつかの例となる実施形態では、動作７３５において、フォトニック回路を作り出すために実施される製造技法は、動作７３０において検出されたようなさらなるエラーを回避するために修正され得る。例えば、マスキングのタイプ、腐食液のタイプ、接着剤のタイプ、フォトニック回路のレイアウトもしくは設計、または層の厚さが、（所与の製造レチクルまたはマスクの）所与のレイアウト設計のさらなる製造エラーを回避するために修正される。

【００４９】

[0055]下記は、例となる実施形態である。

【００５０】

[0056] ［実施例１］ フォトニック集積回路の製造中に光学部品エラーを測定するための方法であって、前記方法は、前記フォトニック集積回路のシリコン層上に、製造環境において初期製造サイクルを使用して、複数の光学部品を製造することと、前記複数の光学部品は、前記フォトニック集積回路において光を処理するための機能的な光学部品と、前記フォトニック集積回路を形成するための後続の製造サイクルプロセスによって引き起こされる損傷の影響を受けやすい、前記フォトニック集積回路の１つまたは複数の領域への損傷を測定するための製造導波路モニタ構造とを含み、前記フォトニック集積回路の別の層において、前記製造環境において前記後続の製造サイクルを使用して、複数の追加の

光学部品を製造することと、前記複数の追加の光学部品は、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域に含まれており、前記製造環境において、前記後続の製造サイクルによって引き起こされる、前記シリコン層の前記１つまたは複数の領域への損傷を識別することと、前記損傷は、前記初期製造サイクルから形成された前記製造導波路モニタ構造のうちの１つを伝搬する光から測定される、を備える、方法。

【００５１】

［0057］［実施例２］　前記製造導波路モニタ構造は、前記フォトニック集積回路の設計に従って、光を処理する前記機能的な光学部品から分離されている、実施例１に記載の方法。

【００５２】

［0058］［実施例３］　前記製造導波路モニタ構造の各々は、１つまたは複数の導波路によって接続されている集積光源と光検出器とを含む、実施例１または２に記載の方法。

【００５３】

［0059］［実施例４］　前記製造導波路モニタ構造の各々は、シンギュレーション前に、ウエハレベルで光を受信および出力するための、入力結合器および出力結合器を含む、実施例１～３のいずれかに記載の方法。

【００５４】

［0060］［実施例５］　前記入力結合器は、入力回折格子結合器であり、前記出力結合器は、出力回折格子結合器である、実施例１～４のいずれかに記載の方法。

【００５５】

［0061］［実施例６］　前記フォトニック集積回路は、ウエハから形成され、前記製造導波路モニタ構造のうちの１つまたは複数は、前記初期製造サイクルを介して、前記ウエハから分離されることになるフォトニック集積回路エリアの外部にあるエリアにおいて形成される、実施例１～５のいずれかに記載の方法。

【００５６】

［0062］［実施例７］　第１の製造導波路モニタ構造が、前記外部エリアに位置する結合器を有し、かつ、損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域のうちの１つの領域を通る導波路経路を有する、実施例１～６のいずれかに記載の方法。

【００５７】

［0063］［実施例８］　第２の製造導波路モニタ構造が、前記フォトニック集積回路内に位置する結合器を有し、かつ、損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域からの前記１つの領域を通り抜ける第２の導波路を有する、実施例１～７のいずれかに記載の方法。

【００５８】

［0064］［実施例９］　前記第１の製造導波路モニタ構造は、前記１つまたは複数の領域のうちの前記１つの領域への前記損傷を検出するために、それに対して前記第２の製造導波路モニタ構造の光損失が測定され得る、較正製造導波路モニタ構造である、実施例１～８のいずれかに記載の方法。

【００５９】

［0065］［実施例１０］　前記製造導波路モニタ構造のうちの１つは、前記外部エリア内に含まれかつ前記フォトニック集積回路から除外された、入力結合器および出力結合器ならびに健全性導波路を含む、外部製造導波路モニタ構造である、実施例１～９のいずれかに記載の方法。

【００６０】

［0066］［実施例１１］　前記後続の製造サイクルは、前記フォトニック集積回路の一部分に適用され、前記フォトニック集積回路の外部にある前記外部エリアにおける別の部分にも適用される、実施例１～１０のいずれかに記載の方法。

【００６１】

［0067］［実施例１２］　前記外部製造導波路モニタ構造は、前記後続の製造サイクル

の適用によって損傷され、前記フォトニック集積回路への前記損傷は、前記外部製造導波路モニタ構造の損傷した部分を伝搬する光を入力することおよび測定することを介して測定される、実施例１～１１のいずれかに記載の方法。

【００６２】

［0068］［実施例１３］　製造導波路モニタ構造のうちの１つが、前記初期製造サイクルから形成されるマッハツェンダー干渉計であり、前記マッハツェンダー干渉計は、前記フォトニック集積回路の外部にあるエリアにおける上アームと、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの少なくとも１つを通って延びる下アームとを有する、実施例１～１２のいずれかに記載の方法。

【００６３】

［0069］［実施例１４］　損傷は、前記マッハツェンダー干渉計に入力される光の誤った消光比に基づいて検出され、前記誤った消光比は、損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの前記少なくとも１つを通って延びる前記下アームへの損傷によって引き起こされる消光比である、実施例１～１３のいずれかに記載の方法。

【００６４】

［0070］［実施例１５］　光は、ファイバフォーカサを使用して、前記製造導波路モニタ構造のうちの１つまたは複数へと入力される、実施例１～１４のいずれかに記載の方法。

【００６５】

［0071］［実施例１６］　前記製造環境は、製造レチクルから形成される複数のフォトニック集積回路を含むウエハの製造用の製造クリーンルームである、実施例１～１５のいずれかに記載の方法。

【００６６】

［0072］［実施例１７］　前記１つまたは複数の領域への前記損傷は、前記製造クリーンルームにおいてインラインで、かつ前記製造クリーンルームから前記フォトニック集積回路を取り出すことなく行われる、実施例１～１６のいずれかに記載の方法。

【００６７】

［0073］［実施例１８］　前記製造環境において前記後続の製造サイクルからの、前記１つまたは複数の領域に対して引き起こされた前記損傷に基づいて、前記フォトニック集積回路を処分することをさらに備える、実施例１～１７のいずれかに記載の方法。

【００６８】

［0074］［実施例１９］　前記複数の光学部品は、導波路および光結合器を含み、前記複数の追加の光学部品は、レーザおよび変調器を含む、実施例１～１８のいずれかに記載の方法。

【００６９】

［0075］［実施例２０］　１つまたは複数の製造導波路モニタ構造を含むウエハ上のフォトニック集積回路であって、前記ウエハは、製造環境において初期製造サイクルを使用して、前記ウエハのシリコン層において形成された複数の光学部品を備えるフォトニック集積回路と、前記複数の光学部品は、前記フォトニック集積回路において光を処理するための機能的なシリコン光学部品と、前記フォトニック集積回路において複数の追加の光学部品を形成するための後続の製造プロセスによって引き起こされる損傷の影響を受けやすい、前記ウエハにおける１つまたは複数の領域への損傷を測定するための製造導波路モニタ構造とを含み、ここにおいて、前記複数の追加の光学部品は、前記製造環境において前記後続の製造サイクルを使用して、前記フォトニック集積回路の追加の層において形成され、前記複数の追加の光学部品は、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域に含まれており、前記フォトニック集積回路の外部にある余剰領域と、前記余剰領域は、前記ウエハをシンギュレートすることによって、前記フォトニック集積回路から分離され、前記製造導波路モニタ構造のうちの少なくとも１つは、前記フォトニック集積回路が前記製造導波路モニタ構造のうちの前記少なくとも１つの部分的な一部分を備えるように、前記初期製造サイクルを使用して、前記フォトニック集積回路および前記余剰領域において形成されており、前記製造導波路モニタ構造は、前記後続

の製造サイクルによって引き起こされる損傷を識別するために、前記１つまたは複数の領域を通って光を伝搬させるための導波路を含む、を備える、フォトニック集積回路。

【００７０】

[0076]前述の詳細な説明では、本発明の主題の方法および装置が、その特定の例示的な実施形態を参照して説明された。しかしながら、様々な修正および変更が、本発明の主題のより広い精神および範囲から逸脱することなく、それらに対して行われ得ることが明らかであろう。したがって、本明細書および図面は、限定的ではなく例示的なものとしてみなされるべきである。

以下に、出願当初の特許請求の範囲に記載の事項を、そのまま、付記しておく。

［Ｃ１］

フォトニック集積回路の製造中に光学部品エラーを測定するための方法であって、前記方法は、

前記フォトニック集積回路のシリコン層上に、製造環境において初期製造サイクルを使用して、複数の光学部品を製造することと、前記複数の光学部品は、前記フォトニック集積回路において光を処理するための機能的な光学部品と、前記フォトニック集積回路を形成するための後続の製造サイクルプロセスによって引き起こされる損傷の影響を受けやすい、前記フォトニック集積回路の１つまたは複数の領域への損傷を測定するための製造導波路モニタ構造とを含み、

前記フォトニック集積回路の別の層において、前記製造環境において前記後続の製造サイクルを使用して、複数の追加の光学部品を製造することと、前記複数の追加の光学部品は、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域に含まれており、

前記製造環境において、前記後続の製造サイクルによって引き起こされる、前記シリコン層の前記１つまたは複数の領域への損傷を識別することと、前記損傷は、前記初期製造サイクルから形成された前記製造導波路モニタ構造のうちの１つを伝搬する光から測定される、

を備える、方法。

［Ｃ２］

前記製造導波路モニタ構造は、前記フォトニック集積回路の設計に従って、光を処理する前記機能的な光学部品から分離されている、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ３］

前記製造導波路モニタ構造の各々は、１つまたは複数の導波路によって接続されている集積光源と光検出器とを含む、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ４］

前記製造導波路モニタ構造の各々は、シンギュレーション前に、ウエハレベルで光を受信および出力するための、入力結合器および出力結合器を含む、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ５］

前記入力結合器は、入力回折格子結合器であり、前記出力結合器は、出力回折格子結合器である、Ｃ４に記載の方法。

［Ｃ６］

前記フォトニック集積回路は、ウエハから形成され、

前記製造導波路モニタ構造のうちの１つまたは複数は、前記初期製造サイクルを介して、前記ウエハから分離されることになるフォトニック集積回路エリアの外部にあるエリアにおいて形成される、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ７］

第１の製造導波路モニタ構造が、前記外部エリアに位置する結合器を有し、かつ、損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域のうちの１つの領域を通る導波路経路を有する、Ｃ６に記載の方法。

［Ｃ８］

第２の製造導波路モニタ構造が、前記フォトニック集積回路内に位置する結合器を有し

、かつ、損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域からの前記１つの領域を通り抜ける第２の導波路を有する、Ｃ７に記載の方法。

［Ｃ９］

前記第１の製造導波路モニタ構造は、前記１つまたは複数の領域のうちの前記１つの領域への前記損傷を検出するために、それに対して前記第２の製造導波路モニタ構造の光損失が測定され得る、較正製造導波路モニタ構造である、Ｃ８に記載の方法。

［Ｃ１０］

前記製造導波路モニタ構造のうちの１つは、前記外部エリア内に含まれかつ前記フォトニック集積回路から除外された、入力結合器および出力結合器ならびに健全性導波路を含む、外部製造導波路モニタ構造である、Ｃ６に記載の方法。

［Ｃ１１］

前記後続の製造サイクルは、前記フォトニック集積回路の一部分に適用され、前記フォトニック集積回路の外部にある前記外部エリアにおける別の部分にも適用される、Ｃ１０に記載の方法。

［Ｃ１２］

前記外部製造導波路モニタ構造は、前記後続の製造サイクルの適用によって損傷され、前記フォトニック集積回路への前記損傷は、前記外部製造導波路モニタ構造の損傷した部分を伝搬する光を入力することおよび測定することを介して測定される、Ｃ１１に記載の方法。

［Ｃ１３］

製造導波路モニタ構造のうちの１つが、前記初期製造サイクルから形成されるマッハツェンダー干渉計であり、前記マッハツェンダー干渉計は、前記フォトニック集積回路の外部にあるエリアにおける上アームと、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの少なくとも１つを通って延びる下アームとを有する、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ１４］

損傷は、前記マッハツェンダー干渉計に入力される光の誤った消光比に基づいて検出され、前記誤った消光比は、損傷の影響を受けやすい前記領域のうちの前記少なくとも１つを通って延びる前記下アームへの損傷によって引き起こされる消光比である、Ｃ１３に記載の方法。

［Ｃ１５］

光は、ファイバフォーカサを使用して、前記製造導波路モニタ構造のうちの１つまたは複数へと入力される、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ１６］

前記製造環境は、製造レチクルから形成される複数のフォトニック集積回路を含むウエハの製造用の製造クリーンルームである、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ１７］

前記１つまたは複数の領域への前記損傷は、前記製造クリーンルームにおいてインラインで、かつ前記製造クリーンルームから前記フォトニック集積回路を取り出すことなく行われる、Ｃ１６に記載の方法。

［Ｃ１８］

前記製造環境において前記後続の製造サイクルからの、前記１つまたは複数の領域に対して引き起こされた前記損傷に基づいて、前記フォトニック集積回路を処分することをさらに備える、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ１９］

前記複数の光学部品は、導波路および光結合器を含み、

前記複数の追加の光学部品は、レーザおよび変調器を含む、Ｃ１に記載の方法。

［Ｃ２０］

１つまたは複数の製造導波路モニタ構造を含むウエハ上のフォトニック集積回路であって、前記ウエハは、

製造環境において初期製造サイクルを使用して、前記ウエハのシリコン層において形成された複数の光学部品を備えるフォトニック集積回路と、前記複数の光学部品は、前記フォトニック集積回路において光を処理するための機能的なシリコン光学部品と、前記フォトニック集積回路において複数の追加の光学部品を形成するための後続の製造プロセスによって引き起こされる損傷の影響を受けやすい、前記ウエハにおける１つまたは複数の領域への損傷を測定するための製造導波路モニタ構造とを含み、ここにおいて、前記複数の追加の光学部品は、前記製造環境において前記後続の製造サイクルを使用して、前記フォトニック集積回路の追加の層において形成され、前記複数の追加の光学部品は、前記後続の製造サイクルからの損傷の影響を受けやすい前記１つまたは複数の領域に含まれており、

前記フォトニック集積回路の外部にある余剰領域と、前記余剰領域は、前記ウエハをシンギュレートすることによって、前記フォトニック集積回路から分離され、前記製造導波路モニタ構造のうちの少なくとも１つは、前記フォトニック集積回路が前記製造導波路モニタ構造のうちの前記少なくとも１つの部分的な一部分を備えるように、前記初期製造サイクルを使用して、前記フォトニック集積回路および前記余剰領域において形成されており、前記製造導波路モニタ構造は、前記後続の製造サイクルによって引き起こされる損傷を識別するために、前記１つまたは複数の領域を通って光を伝搬させるための導波路を含む、

を備える、フォトニック集積回路。

【図面】

【図１】

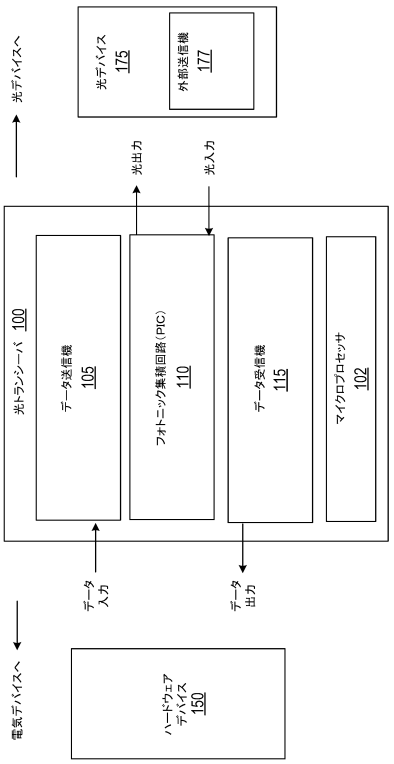

FIG. 1

【図２】

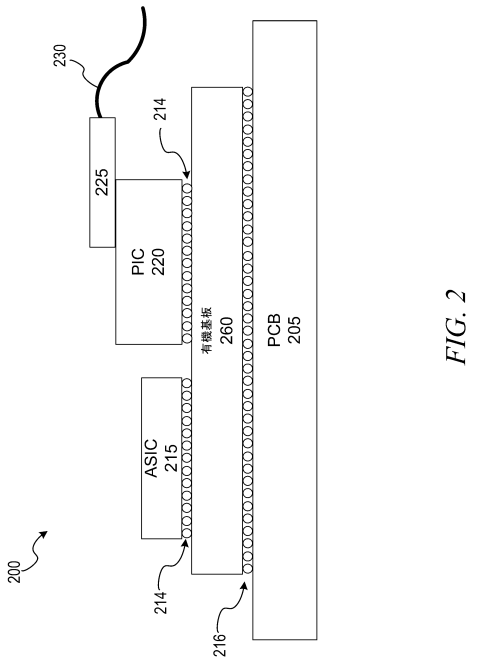

FIG. 2

【図３】

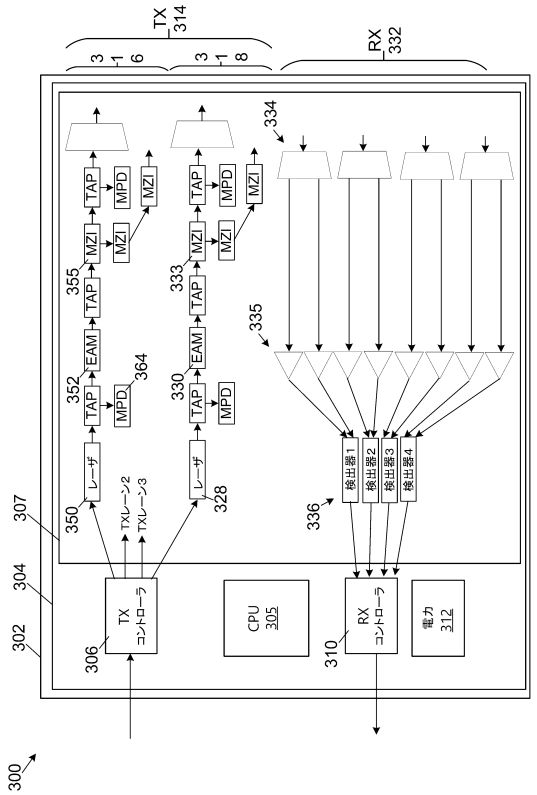

FIG. 3

【図４】

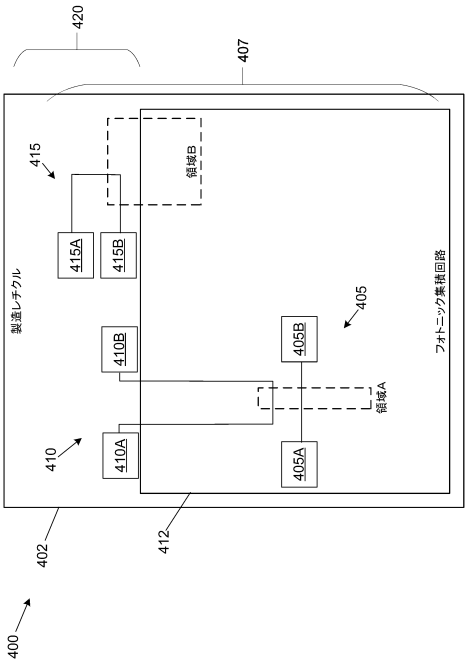

FIG. 4

【図５】

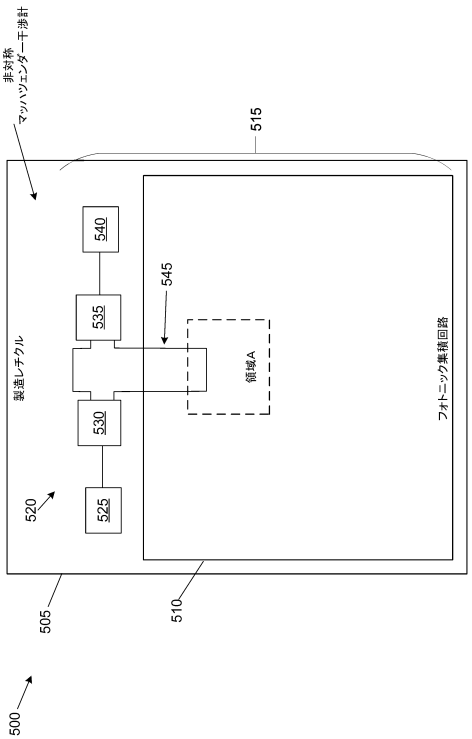

FIG. 5

【図６】

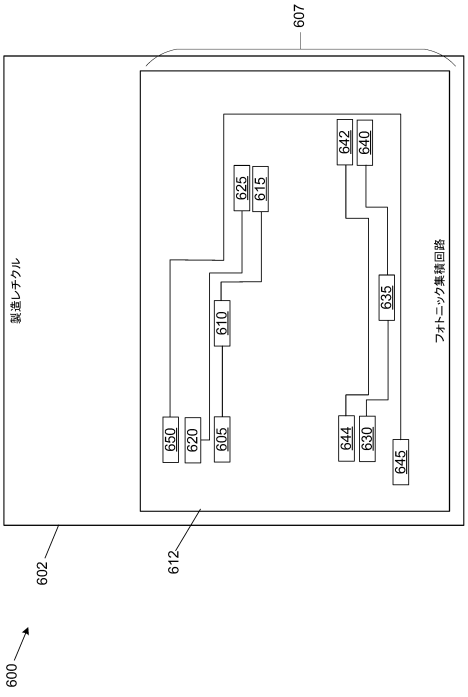

FIG. 6

【図７】

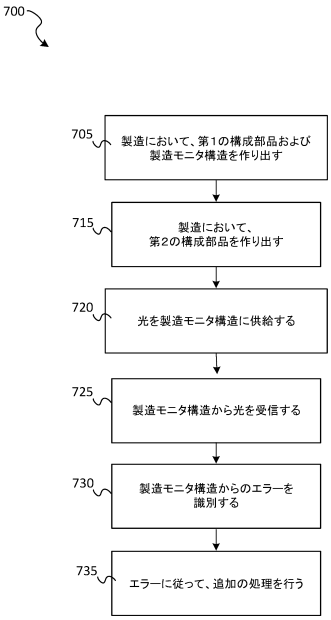
700
705
製造において、第１の構成部品および製造モニタ構造を作り出す
715
製造において、第2の構成部品を作り出す
720
光を製造モニタ構造に供給する
725
製造モニタ構造から光を受信する
730
製造モニタ構造からのエラーを識別する
735
エラーに従って、追加の処理を行う

FIG. 7

フロントページの続き

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９４０８９、サニーベール、イノベーション・ウェイ １１３３
(72)発明者 ルイ・リャン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９４０８９、サニーベール、イノベーション・ウェイ １１３３
(72)発明者 ベンジャミン・エム．・カーティン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９４０８９、サニーベール、イノベーション・ウェイ １１３３
(72)発明者 ジャレッド・ボーターズ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 ９４０８９、サニーベール、イノベーション・ウェイ １１３３

審査官 堀部 修平
(56)参考文献 特表２００５－５３５８９９（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１９／０１６２６２８（ＵＳ，Ａ１）
国際公開第２０１７／０８５９３４（WO，Ａ１）
特開２００４－１２６３９８（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１４／０３４２３８（WO，Ａ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ ６／１２ － ６／１４
Ｇ０１Ｍ １１／００