(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2005-508021
(P2005-508021A)
(43)公表日　平成17年3月24日(2005.3.24)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
G02B 6/42	G02B	6/42	2H137
H01S 5/022	H01S	5/022	5F173

審査請求 未請求　予備審査請求 有　（全 222 頁）

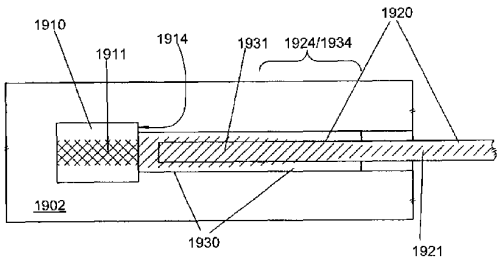
(21)出願番号	特願2003-540709(P2003-540709)
(86)(22)出願日	平成14年6月28日(2002.6.28)
(85)翻訳文提出日	平成16年4月28日(2004.4.28)
(86)国際出願番号	PCT/US2002/020668
(87)国際公開番号	WO2003/038497
(87)国際公開日	平成15年5月8日(2003.5.8)
(31)優先権主張番号	60/334,705
(32)優先日	平成13年10月30日(2001.10.30)
(33)優先権主張国	米国(US)
(31)優先権主張番号	60/360,261
(32)優先日	平成14年2月27日(2002.2.27)
(33)優先権主張国	米国(US)

(71)出願人　504168536
イクスポーネント　フォトニクス，インコーポレイティド
アメリカ合衆国，カリフォルニア　９１０１６，モンロビア，イースト　ハンティントン　ドライブ　４２５
(74)代理人　100099759
弁理士　青木　篤
(74)代理人　100092624
弁理士　鶴田　準一
(74)代理人　100102819
弁理士　島田　哲郎
(74)代理人　100108383
弁理士　下道　晶久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光電力トランスバース伝送を用いた光接合装置及び方法

(57)【要約】
光学装置は、基板１９０２上に製造された光学素子９１０、基板１９０２及び／又は光学素子上に製造された外部伝送光導波管１９３０、並びに、伝送光導波管１９２０を備える。光学素子及び／又は外部伝送導波管は、それらの間の光電力の伝送（端部伝送又はトランスバース伝送）に適合して配置されている。外部伝送導波管及び／又は伝送導波管は、それらの間の光電力のトランスバース伝送（モード干渉結合又は断熱）に適合している。伝送導波管は、当初は、基板、素子、及び外部伝送導波管から機械的に独立した部材として提供される。伝送導波管を、基板、素子、及び／又は外部伝送導波管と組み合わせると、光電力のトランスバース伝送を可能とするように、外部伝送導波管と伝送導波管とが相対的に配置される結果となる。このように、素子と伝送導波管との間の外部伝送導波管を通じた光電力の伝送が、可能となる。伝送導波管は、導波基板上の平面導波管を備えていることが望ましい。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板上の光学素子と、
光接合領域を含む外部伝送光導波管と、
光接合領域を含む伝送光導波管とを備え、
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管は、それらの間での光電力の伝送を可能とするように光学的に統合され、
前記伝送光導波管及び外部伝送光導波管の少なくとも１つが、それらの間にてそれぞれの光接合領域における光電力のトランスバース伝送を可能とするように適合して配置されたことを特徴とする光学装置。
【請求項２】
前記伝送光導波管は、前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、それぞれの光接合領域を配置するように、前記基板、前記光学素子、前記外部伝送光導波管の少なくとも１つと組み合わされたことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項３】
前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間のトランスバース伝送を可能とするように、それぞれの光接合領域を配置するように、前記伝送光導波管を、前記基板、前記光学素子、及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つに固定する接合部材を、さらに備えたことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項４】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つの光接合領域は、前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間の光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を可能にするように適合したことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項５】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±０．５倍のトランスバースオフセットについて、約０．５ｄＢ未満に維持するように適合したことを特徴とする請求項４に記載の装置。
【請求項６】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つの光接合領域は、前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間の光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能とするように適合したことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項７】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．０倍のトランスバースオフセットについて、約０．５ｄＢ未満に維持するように適合したことを特徴とする請求項６に記載の装置。
【請求項８】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．５倍のトランスバースオフセットについて、約０．５ｄＢ未満に維持するように適合したことを特徴とする請求項６に記載の装置。
【請求項９】
ＩＢ０’ａ．前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±０．７倍

のトランスバースオフセットについて、公称光電力伝送損失レベルの約±０．５ｄＢ以内に維持するように適合したことを特徴とする請求項６に記載の装置。
【請求項１０】
ＩＢ０’ｂ．前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．０倍のトランスバースオフセットについて、公称光電力伝送損失レベルの約±０．５ｄＢ以内に維持するように適合したことを特徴とする請求項６に記載の装置。
【請求項１１】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．５倍のトランスバースオフセットについて、公称光電力伝送損失レベルの約±０．５ｄＢ以内に維持するように適合したことを特徴とする請求項６に記載の装置。
【請求項１２】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項１３】
前記光学素子は、エッチングされた端面を有し、このエッチングされた端面は、前記光学素子を、該光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように少なくとも部分的に適合させる役割を果たすことを特徴とする請求項１２に記載の装置。
【請求項１４】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の実質的に空間モード適合した端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されていることを特徴とする請求項１２に記載の装置。
【請求項１５】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の一部の量子井戸混合により形成されることを特徴とする請求項１２に記載の装置。
【請求項１６】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項１７】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項１８】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項１９】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２０】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項１９に記載の装置。
【請求項２１】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２２】

前記伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２３】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２４】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２５】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項２４に記載の装置。
【請求項２６】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２７】
前記伝送光導波管は、その一端にて、単一モード光ファイバへの光電力の端部伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２８】
前記伝送光導波管は、導波基板上の平面導波管であることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項２９】
前記伝送光導波管は、前記導波基板上の複数の平面導波管のうちの１つであり、前記複数の平面導波管は、平面導波回路を形成していることを特徴とする請求項２８に記載の装置。
【請求項３０】
前記伝送光導波管は、光ファイバであり、該光ファイバは、光ファイバのテーパー部を有し、その光ファイバの光接合領域は、前記光ファイバのテーパー部の少なくとも一部を含むことを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項３１】
前記伝送光導波管は、光ファイバであり、その光接合領域の少なくとも一部は、トランスバース方向に非対称に除去されたクラッドを有することを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項３２】
前記伝送光導波管は、光ファイバであり、その光接合領域はその傾斜した端部であることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項３３】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項３４】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１に記載の装置。
【請求項３５】
光接合領域を含む第１の光導波管と、
光接合領域を含む第２の光導波管と、
接合部材と、
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、それらの間の光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能とするように、それぞれの光接合領域にて適合し、
前記接合部材は、前記第１及び第２の光導波管のそれぞれの光接合領域を、光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送が可能となるように配置するように、前記第１の光導波管を前記第２の光導波管に対して固定するように配列されたことを特徴とする光接合装置

。
【請求項３６】
光接合領域を含む第１の光導波管と、
前記第１の光導波管と組み合わされ、光接合領域を含む第２の光導波管と、
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、それらの間の光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能とするように、それぞれの光接合領域にて適合するとともに配置されたことを特徴とする光接合装置。
【請求項３７】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記第１及び第２の光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．０倍のトランスバースオフセットについて、約０．５ｄＢ未満に維持するように適合したことを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項３８】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記第１及び第２の光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．５倍のトランスバースオフセットについて、約０．５ｄＢ未満に維持するように適合したことを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項３９】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記第１及び第２の光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±０．７倍のトランスバースオフセットについて、公称光電力伝送損失レベルの約±０．５ｄＢ以内に維持するように適合したことを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項４０】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記第１及び第２の光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．０倍のトランスバースオフセットについて、公称光電力伝送損失レベルの約±０．５ｄＢ以内に維持するように適合したことを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項４１】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、そこでのトランスバースオフセットした光電力伝送損失を、前記第１及び第２の光導波管における対応するトランスバース光学モードサイズ特性の少なくとも約±１．５倍のトランスバースオフセットについて、公称光電力伝送損失レベルの約±０．５ｄＢ以内に維持するように適合したことを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項４２】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項４３】
前記コア及び前記クラッドの少なくとも１つにおける少なくとも１つのトランスバース寸法は、前記光接合領域の少なくとも一部に沿って、軸方向に様々であることを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項４４】
前記コア及び前記クラッドの少なくとも１つの屈折率は、前記光接合領域の少なくとも一部に沿って、軸方向に様々であることを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項４５】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの光接合領域の少なくとも一部は、傾斜していることを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項４６】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリカベース材料を含むこ

とを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項４７】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリコンオキシニトリドを含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項４８】
前記コアの少なくとも一部は、窒化ケイ素を含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項４９】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、ポリマーベース材料を含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項５０】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項５１】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリコン半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項５２】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、ＩＩＩ／Ｖ半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項５３】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、複数のコア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項５４】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項４２に記載の装置。
【請求項５５】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項５６】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、シリカベース材料であることを特徴とする請求項５５に記載の装置。
【請求項５７】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、ポリマーベース材料を含むことを特徴とする請求項５５に記載の装置。
【請求項５８】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求３６に記載の装置。
【請求項５９】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項５８に記載の装置。
【請求項６０】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、シリコン半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項５８に記載の装置。
【請求項６１】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、ＩＩＩ／Ｖ半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項５８に記載の装置。
【請求項６２】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項３６に記載の装置。

【請求項６３】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、導波基板上の平面導波管であることを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項６４】
前記平面導波管は、前記導波基板上の複数の平面導波管のうちの１つであり、前記複数の平面導波管は、平面導波回路を形成していることを特徴とする請求項６３に記載の装置。
【請求項６５】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、その一端にて、単一モード光ファイバとの光電力の端部伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項６６】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、空間モード拡張に適合していることを特徴とする請求項６５に記載の装置。
【請求項６７】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの光接合領域は、空間モード拡張、及び光電力の断熱トランスバース伝送に適合していることを特徴とする請求項６５に記載の装置。
【請求項６８】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、光ファイバであり、該光ファイバは、光ファイバのテーパー部を有し、その光ファイバの光接合領域は、前記光ファイバのテーパー部の少なくとも一部を含むことを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項６９】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、光ファイバであり、その光接合領域の少なくとも一部は、トランスバース方向に非対称に除去されたクラッドを有することを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項７０】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、光ファイバであり、その光接合領域はその傾斜した端部であることを特徴とする請求項３６に記載の装置。
【請求項７１】
基板上の光学素子と、
光接合領域を含む第１の外部伝送光導波管と、
光接合領域を含む第２の外部伝送光導波管と、
光接合領域を含む第１の伝送光導波管と、
光接合領域を含む第２の伝送光導波管と、
前記光学素子及び前記第１の外部伝送光導波管は、それらの間での光電力の伝送を可能とするように光学的に統合され、
前記光学素子及び前記第２の外部伝送光導波管は、それらの間での光電力の伝送を可能とするように光学的に統合され、
前記第１の伝送光導波管及び前記第１の外部伝送光導波管の少なくとも１つが、それらの間にてそれぞれの光接合領域における光電力のトランスバース伝送を可能とするように適合して配置され、
前記第２の伝送光導波管及び前記第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つが、それらの間にてそれぞれの光接合領域における光電力のトランスバース伝送を可能とするように適合して配置されたことを特徴とする光学装置。
【請求項７２】
前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つは、前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つと、対応する前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つとの間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、それぞれの光接合領域を配置するように、前記基板、前記光学素子、並びに前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つと組み合わされたことを特徴とする請求項７１に記載の装置。

【請求項７３】
前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つと、対応する前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つとの間のトランスバース伝送を可能とするように、それぞれの光接合領域を配置するように、前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つを、前記基板、前記光学素子、並びに前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つに固定する接合部材を、さらに備えたことを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項７４】
前記光学素子並びに前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つとの間の光電力の端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項７５】
前記光学素子並びに前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つとの間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項７６】
前記第１及び第２の伝送光導波管並びに前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つと、対応する前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つとの間の、それぞれの光接合領域における、光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を可能にするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項７７】
前記第１及び第２の伝送光導波管並びに前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つと、対応する前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つとの間の、それぞれの光接合領域における、光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能にするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項７８】
前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つは、導波基板上の平面導波管であることを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項７９】
前記第１及び第２の伝送光導波管は、共通部材の要素であり、該共通部材は、当初は前記基板から機械的に独立して提供されて、後に前記基板と組み合わされることを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項８０】
前記第１及び第２の伝送光導波管は、共通導波基板上の平面導波管であることを特徴とする請求項７９に記載の装置。
【請求項８１】
前記第１及び第２の伝送光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項８２】
前記第１及び第２の外部伝送光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項７１に記載の装置。
【請求項８３】
導波基板上の平面伝送光導波管を備え、該伝送光導波管は光接合領域を含み、
前記伝送光導波管は、光接合領域にて前記伝送光導波管と第２の光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように適合し、
前記導波基板及び前記伝送光導波管の少なくとも１つは、前記第２の光導波管を、前記伝

送光導波管の光接合領域を基準として受容及び配置するように適合したことを特徴とする光学装置。
【請求項８４】
前記伝送光導波管は、該伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項８５】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含み、前記コア及び前記クラッドの少なくとも１つにおける少なくとも１つのトランスバース寸法は、前記光接合領域の少なくとも一部に沿って、軸方向に様々であることを特徴とする請求項８４に記載の装置。
【請求項８６】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含み、前記コア及び前記クラッドの少なくとも１つの屈折率は、前記光接合領域の少なくとも一部に沿って、軸方向に様々であることを特徴とする請求項８４に記載の装置。
【請求項８７】
前記伝送光導波管の光接合領域の少なくとも一部は、傾斜していることを特徴とする請求項８４に記載の装置。
【請求項８８】
光電力のトランスバース伝送は、波長依存であることを特徴とする請求項８４に記載の装置。
【請求項８９】
光電力のトランスバース伝送は、偏光依存であることを特徴とする請求項８４に記載の装置。
【請求項９０】
前記伝送光導波管は、該伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項９１】
モード屈折率適合は、受動的になされることを特徴とする請求項９０に記載の装置。
【請求項９２】
モード屈折率適合は、能動的になされることを特徴とする請求項９０に記載の装置。
【請求項９３】
光電力のトランスバース伝送は、偏光依存であることを特徴とする請求項９０に記載の装置。
【請求項９４】
光電力のトランスバース伝送は、波長依存であることを特徴とする請求項９０に記載の装置。
【請求項９５】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項９６】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、シリカベース材料を含むことを特徴とする請求項９５に記載の装置。
【請求項９７】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、ポリマーベース材料を含むことを特徴とする請求項９５に記載の装置。
【請求項９８】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項８３に記載の装置。

【請求項９９】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項９８に記載の装置。
【請求項１００】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、シリコン半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項９８に記載の装置。
【請求項１０１】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、ＩＩＩ／Ｖ半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項９８に記載の装置。
【請求項１０２】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項１０３】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリカベース材料を含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１０４】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリコンオキシニトリドを含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１０５】
前記コアの少なくとも一部は、窒化ケイ素を含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１０６】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、ポリマーベース材料を含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１０７】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１０８】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリコン半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１０９】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、ＩＩＩ／Ｖ半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１１０】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、複数のコア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１１１】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項１０２に記載の装置。
【請求項１１２】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項１１３】
前記伝送光導波管は、その端部にて、該伝送光導波管と単一モード光ファイバとの間の光電力の端部伝送を可能とするように適合し、
前記導波基板及び前記伝送光導波管の少なくとも１つは、光電力の端部伝送を可能とするように、前記単一モード光ファイバの端部を前記伝送光導波管を基準として配置するように適合したことを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項１１４】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、空間モード拡張に適合していることを特徴とする

請求項１１３に記載の装置。
【請求項１１５】
前記伝送光導波管の光接合領域は、空間モード拡張、及び光電力の断熱トランスバース伝送に適合していることを特徴とする請求項１１３に記載の装置。
【請求項１１６】
前記伝送光導波管は、前記導波基板上の複数の平面導波管のうちの１つであり、前記複数の平面導波管は、平面導波回路を形成していることを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項１１７】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するように適合し、前記第２の光導波管は、前記伝送光導波管と前記光学素子との間の光電力の伝送を提供することを特徴とする請求項８３に記載の装置。
【請求項１１８】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の波長別機能の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１１９】
前記伝送光導波管は、導波格子を含むことを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１２０】
前記伝送光導波管は、熱光学部材を含むことを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１２１】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の偏光別機能の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１２２】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子のための光電力監視を提供するように適合していることを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１２３】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の空間モード別機能の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１２４】
前記伝送光導波管は、熱補償器を含むことを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１２５】
前記伝送光導波管は、レーザ光源を含むことを特徴とする請求項１１７に記載の装置。
【請求項１２６】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記レーザ光源の波長選択性の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１２５に記載の装置。
【請求項１２７】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記レーザ光源の空間モード選択性の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１２５に記載の装置。
【請求項１２８】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記レーザ光源の偏光選択性の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１２５に記載の装置。
【請求項１２９】
基板上の光学素子と、
光接合領域を含む外部伝送光導波管とを備え、
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管は、それらの間での光電力の伝送を可能とするように光学的に統合され、
前記外部伝送光導波管の接合領域は、該外部伝送光導波管と第２の光導波管との間の接合領域での光電力のトランスバース伝送を可能とするように適合し、
前記基板、前記光学素子、及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、光電力のトランスバース伝送を可能とするように、前記第２の光導波管を、前記外部伝送光導波管の光

接合領域を基準として受容及び配置するように適合したことを特徴とする光学装置。
【請求項１３０】
前記外部伝送光導波管は、該外部伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１３１】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含み、前記コア及び前記クラッドの少なくとも１つにおける少なくとも１つのトランスバース寸法は、前記光接合領域の少なくとも一部に沿って、軸方向に様々であることを特徴とする請求項１３０に記載の装置。
【請求項１３２】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含み、前記コア及び前記クラッドの少なくとも１つの屈折率は、前記光接合領域の少なくとも一部に沿って、軸方向に様々であることを特徴とする請求項１３０に記載の装置。
【請求項１３３】
前記外部伝送光導波管の光接合領域の少なくとも一部は、傾斜していることを特徴とする請求項１３０に記載の装置。
【請求項１３４】
光電力のトランスバース伝送は、波長依存であることを特徴とする請求項１３０に記載の装置。
【請求項１３５】
光電力のトランスバース伝送は、偏光依存であることを特徴とする請求項１３０に記載の装置。
【請求項１３６】
前記外部伝送光導波管は、該外部伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１３７】
モード屈折率適合は、受動的になされることを特徴とする請求項１３６に記載の装置。
【請求項１３８】
モード屈折率適合は、能動的になされることを特徴とする請求項１３６に記載の装置。
【請求項１３９】
光電力のトランスバース伝送は、偏光依存であることを特徴とする請求項１３６に記載の装置。
【請求項１４０】
光電力のトランスバース伝送は、波長依存であることを特徴とする請求項１３６に記載の装置。
【請求項１４１】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１４２】
前記光学素子は、エッチングされた端面を有し、このエッチングされた端面は、前記光学素子を、該光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように少なくとも部分的に適合させる役割を果たすことを特徴とする請求項１４１に記載の装置。
【請求項１４３】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の実質的に空間モード適合した端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されていることを特徴とする請求項１４１に記載の装置。

【請求項１４４】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の一部の量子井戸混合により形成されることを特徴とする請求項１４１に記載の装置。
【請求項１４５】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１４６】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１４７】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、シリカベース光導波管であることを特徴とする請求項１４６に記載の装置。
【請求項１４８】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、ポリマーベース光導波管であることを特徴とする請求項１４６に記載の装置。
【請求項１４９】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１５０】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、半導体ベースの光導波管であることを特徴とする請求項１４９に記載の装置。
【請求項１５１】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、シリコン半導体ベースの光導波管であることを特徴とする請求項１４９に記載の装置。
【請求項１５２】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、ＩＩＩ／Ｖ半導体ベースの光導波管であることを特徴とする請求項１４９に記載の装置。
【請求項１５３】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１５４】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリカベース材料を含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１５５】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つの少なくとも一部は、シリコンオキシニトリドを含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１５６】
前記コアの少なくとも一部は、窒化ケイ素を含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１５７】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つは、ポリマーベース材料を含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１５８】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つは、半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１５９】
前記コア及びクラッドの少なくとも１つは、シリコン半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１６０】

前記コア及びクラッドの少なくとも１つは、ＩＩＩ／Ｖ半導体ベースの材料を含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１６１】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、複数のコア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１６２】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項１５３に記載の装置。
【請求項１６３】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１６４】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、空間モード拡張に適合していることを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１６５】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１２９に記載の装置。
【請求項１６６】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の波長別機能の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１６７】
前記外部伝送光導波管は、導波格子を含むことを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１６８】
前記外部伝送光導波管は、熱光学部材を含むことを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１６９】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の偏光別機能の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１７０】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子のための光電力監視を提供するように適合していることを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１７１】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の空間モード別機能の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１７２】
前記外部伝送光導波管は、熱補償器を含むことを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１７３】
前記外部伝送光導波管は、レーザ光源を含むことを特徴とする請求項１６５に記載の装置。
【請求項１７４】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記レーザ光源の波長選択性の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１７３に記載の装置。
【請求項１７５】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記レーザ光源の空間モード選択性の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１７３に記載の装置。
【請求項１７６】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記レーザ光源の偏光選択性の少なくとも一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項１７３に記載の装置。
【請求項１７７】
光学装置を製造する方法であって、

基板上に光学素子を製造するステップと、
前記基板及び前記光学素子の少なくとも１つの上に、光接合領域を含む外部伝送光導波管を製造するステップと、
光接合領域を含む伝送光導波管を、前記光学素子及び前記外部伝送光導波管と組み合わせるステップとを含み、
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の伝送を可能にするように、適合するとともに配置され、
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間のそれぞれの光接合領域における光電力のトランスバース伝送を可能にするように、適合するとともに配置され、
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管は、前記伝送光導波管を前記基板及び前記外部伝送光導波管と組み合わせると、前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、それぞれの光接合領域を配置するように、配置されることを特徴とする方法。

【請求項１７８】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つの光接合領域は、前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間の光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を可能にするように適合したことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項１７９】
前記伝送光導波管及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つの光接合領域は、前記伝送光導波管と前記外部伝送光導波管との間の光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能にするように適合したことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項１８０】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管は、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項１８１】
前記光学素子を、該光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように少なくとも部分的に適合させるように、前記光学素子の端面をエッチングするステップを、さらに含むことを特徴とする請求項１８０に記載の方法。

【請求項１８２】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の実質的に空間モード適合した端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されていることを特徴とする請求項１８０に記載の方法。

【請求項１８３】
前記光学素子の一部の量子井戸混合により、前記外部伝送光導波管の少なくとも一部を形成するステップを、さらに含むことを特徴とする請求項１８０に記載の方法。

【請求項１８４】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項１８５】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項１８６】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項１８７】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項１８８】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項１８７に記載の方法。
【請求項１８９】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９０】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９１】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９２】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９３】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項１９２に記載の方法。
【請求項１９４】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９５】
前記伝送光導波管は、その一端にて、単一モード光ファイバへの光電力の端部伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９６】
前記伝送光導波管は、導波基板上の平面導波管であることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９７】
前記伝送光導波管は、前記導波基板上の複数の平面導波管のうちの１つであり、前記複数の平面導波管は、平面導波回路を形成していることを特徴とする請求項１９６に記載の方法。
【請求項１９８】
前記伝送光導波管は、光ファイバであり、該光ファイバは、光ファイバのテーパー部を有し、その光ファイバの光接合領域は、前記光ファイバのテーパー部の少なくとも一部を含むことを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項１９９】
前記伝送光導波管は、光ファイバであり、その光接合領域の少なくとも一部は、トランスバース方向に非対称に除去されたクラッドを有することを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項２００】
前記伝送光導波管は、光ファイバであり、その光接合領域はその傾斜した端部であることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項２０１】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するとともに前記光学素子の動作を可能とするように適合していることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。
【請求項２０２】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するとともに前記光学素子の動作を可能とするように適合していることを特徴とする請求項１７７に記載の方法。

【請求項２０３】
組み合わされた光学装置を製造する方法において、
光接合領域を含む第１の光導波管を製造するステップと、
光接合領域を含む第２の光導波管を製造するステップであって、前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、それらの間の光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能とするようにそれぞれの光接合領域にて適合した、ステップと、
前記第１及び第２の光導波管を、それぞれの光接合領域を光電力の実質的に断熱的な伝送が可能となるように配置するように、組み合わせるステップとを含むことを特徴とする方法。
【請求項２０４】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２０５】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項２０４に記載の方法。
【請求項２０６】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２０７】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２０８】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２０９】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つの少なくとも一部は、導波基板上の平面導波管であることを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２１０】
前記平面導波管は、前記導波基板上の複数の平面導波管のうちの１つであり、前記複数の平面導波管は、平面導波回路を形成していることを特徴とする請求項２０９に記載の方法。
【請求項２１１】
単一モード光ファイバを、前記平面導波管と前記光ファイバとの間の端部伝送を可能とするように配置するステップを、さらに含み、前記平面導波管は、その一端にて、前記単一モード光ファイバへの光電力の端部伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２１２】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、光ファイバであり、該光ファイバは、光ファイバのテーパー部を有し、その光ファイバの光接合領域は、前記光ファイバのテーパー部の少なくとも一部を含むことを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２１３】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、光ファイバであり、その光接合領域の少なくとも一部は、トランスバース方向に非対称に除去されたクラッドを有することを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２１４】
前記第１及び第２の光導波管の少なくとも１つは、光ファイバであり、その光接合領域はその傾斜した端部であることを特徴とする請求項２０３に記載の方法。
【請求項２１５】
光学装置を製造する方法であって、少なくとも１つの平面伝送光導波管を導波基板上に製

造するステップを含み、前記伝送光導波管は光接合領域を含み、
前記伝送光導波管は、該伝送光導波管と第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力のトランスバース伝送を可能にするように適合し、
前記導波基板及び前記伝送光導波管の少なくとも１つは、前記第２の光導波管を、光電力のトランスバース伝送を可能とするように、前記伝送光導波管の光接合領域を基準として受容及び配置するように適合し、前記第２の光導波管は、当初は機械的に独立した部材として提供されて、後に前記伝送光導波管及び前記導波基板の少なくとも１つと組み合わされることを特徴とする方法。
【請求項２１６】
前記伝送光導波管は、該伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能にするように適合したことを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２１７】
前記伝送光導波管は、該伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を可能にするように適合したことを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２１８】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２１９】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２２０】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２２１】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項２２０に記載の方法。
【請求項２２２】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２２３】
前記伝送光導波管は、その一端にて、該伝送光導波管と単一モード光ファイバとの間の光電力の端部伝送を可能とするように適合し、
前記導波基板及び前記伝送光導波管の少なくとも１つは、前記単一モード光ファイバの一端を、光電力の端部伝送を可能とするように、前記伝送光導波管を基準として配置されたことを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２２４】
前記伝送光導波管は、前記基板上の複数の平面導波管の１つであり、前記複数の平面導波管は、平面導波回路を形成していることを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２２５】
前記伝送光導波管の少なくとも一部は、光学素子の機能の一部を提供するとともに、接続された場合には前記光学素子の動作を可能とするように適合していることを特徴とする請求項２１５に記載の方法。
【請求項２２６】
光学装置を製造する方法であって、
素子基板上に光学素子を製造するステップと、
前記素子基板及び前記光学素子の少なくとも１つの上に、光接合領域を含む外部伝送光導波管を製造するステップとを含み、
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、光電力の伝送を可能にする

ように適合し、
前記外部伝送光導波管は、光電力の伝送を可能とするように、前記光学素子を基準として配置され、
前記外部伝送光導波管の光接合領域は、前記外部伝送光導波管と第２の光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように適合し、
前記素子基板、前記光学素子、及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記第２の光導波管を、光電力のトランスバース伝送を可能とするように、前記外部伝送光導波管の光接合領域を基準として受容及び配置するように適合し、前記第２の光導波管は、当初は機械的に独立した部材として提供されて、後に前記素子基板、前記光学素子、及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つと組み合わされることを特徴とする方法。

【請求項２２７】
前記外部伝送光導波管は、該外部伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項２２６に記載の方法。

【請求項２２８】
前記外部伝送光導波管は、該外部伝送光導波管と前記第２の光導波管との間の前記光接合領域における光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を可能とするように、適合していることを特徴とする請求項２２６に記載の方法。

【請求項２２９】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されていることを特徴とする請求項２２６に記載の方法。

【請求項２３０】
前記光学素子を、該光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の端部伝送を可能とするように少なくとも部分的に適合させるように、前記光学素子の端面をエッチングするステップを、さらに含むことを特徴とする請求項２２９に記載の方法。

【請求項２３１】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力の実質的に空間モード適合した端部伝送を可能とするように、適合するとともに配置されていることを特徴とする請求項２２９に記載の方法。

【請求項２３２】
前記光学素子の一部の量子井戸混合により、前記外部伝送光導波管の少なくとも一部を形成するステップを、さらに含むことを特徴とする請求項２２９に記載の方法。

【請求項２３３】
前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、前記光学素子と前記外部伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とするように、適合するとともに配置されたことを特徴とする請求項２２６に記載の方法。

【請求項２３４】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、低モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項２２６に記載の方法。

【請求項２３５】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、高モード屈折率光導波管であることを特徴とする請求項２２６に記載の方法。

【請求項２３６】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、コア及び低屈折率のクラッドを含むことを特徴とする請求項２２６に記載の方法。

【請求項２３７】
前記クラッドの少なくとも一部は、金属膜を含むことを特徴とする請求項２３６に記載の方法。

【請求項２３８】

前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、多層導波構造を含み、該多層導波構造は、少なくとも１つの多層反射スタックを含むことを特徴とする請求項２２６に記載の方法。
【請求項２３９】
前記外部伝送光導波管の少なくとも一部は、前記光学素子の機能の一部を提供するように適合していることを特徴とする請求項２２６に記載の方法。
【請求項２４０】
共通の素子基板上に製造された複数の光学素子と、
各々が、前記素子基板及び前記複数の光学素子の少なくとも１つの上に製造された、複数の外部伝送光導波管と、
共通の導波基板上に製造された複数の平面伝送光導波管とを備え、前記複数の平面伝送光導波管は、平面光導波回路を形成し、前記導波基板は、前記素子基板と組み合わされ、
前記複数の光学素子の少なくとも１つ、及び前記複数の外部伝送光導波管の少なくとも１つは、光電力伝送のために適合するとともに配置され、
前記複数の外部伝送光導波管の少なくとも２つ、及び、前記複数の平面伝送光導波管のうちの対応する２つの平面伝送光導波管は、光電力のトランスバース伝送のために適合し、
前記素子基板を前記導波基板と組み合わせることは、光伝送のトランスバース伝送を可能とすることにより、前記平面光伝送回路と前記複数の光学素子との間の少なくとも２つの光学接続を確立するために、前記複数の外部伝送光導波管の少なくとも２つを、対応する平面伝送光導波管を基準として配置する役割を果たすことを特徴とする光学装置。
【請求項２４１】
各々の上に、少なくとも１つの光学素子が製造された、複数の素子基板であって、少なくとも１つの素子基板上には、外部伝送光導波管が製造され、前記光学素子及び前記外部伝送光導波管の少なくとも１つは、光電力伝送を可能とするように配置されるとともに適合している、素子基板と、
共通の導波基板上に製造された複数の平面伝送光導波管であって、前記複数の平面伝送光導波管は、平面光導波回路を形成し、該平面光導波回路は、その複数の素子位置にて、前記複数の素子基板の対応する１つを受容するように適合している、平面伝送光導波管とを、備え、
前記複数の素子位置の各々について、前記複数の平面伝送光導波管の少なくとも１つ、前記光学素子、及び前記外部伝送光導波管は、前記光学素子と前記平面光導波回路との間の光電力伝送を可能とするように適合しており、
前記複数の素子位置の少なくとも１つ、及び、前記複数の素子基板の対応する１つの上の外部伝送光導波管は、前記平面光導波回路と、前記複数の素子基板の対応する１つの上の前記外部伝送光導波管との間の、光電力のトランスバース伝送を可能にするように適合し、
前記素子基板の対応する１つを、前記複数の素子位置の少なくとも１つにて組み合わせることは、前記平面光導波回路と、前記素子基板の対応する１つの上の前記外部伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送を可能とする役割を果たすことを特徴とする光学装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本願は、既に出願されて同時係属中の、"Integrated end-coupled transverse-optical-coupling apparatus and methods"なる名称で、２００１年１０月３０日出願の、Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, Peter C. Sercel, Oskar J. Painter, and Guido Hunzikerによる米国特許仮出願第６０／３３４，７０５号（事件番号ＣＱＣ１５Ｐ）における権利を主張するものであり、当該仮出願は、ここに一体に組み入れられる。また、本願は、既に出願されて同時係属中の、"Alignment-insensitive optical junction apparatus and methods employing adiabatic optical power transfer"なる名称で、２００２年２月２７日出願の、Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, David W. Vernooy, and Joel S.

Paslaskiによる米国特許仮出願第６０／３６０，２６１号（事件番号ＣＱＣ１７Ｐ）における権利を主張するものであり、当該仮出願は、ここに一体に組み入れられる。

【０００２】

本発明の分野は、光通信に関する。特に、組み合わされた光学部材間の光電力のトランスバース伝送（transverse-transfer）を用いた光接合装置及び方法が、ここに説明される。

【背景技術】

【０００３】

本願は、以下において開示された内容に関する。

Ａ１）"Waveguides and resonators for integrated optical devices and methods of fabrication and use thereof"なる名称で２０００年１２月２１日出願の、Oskar J. Painterによる米国特許仮出願第６０／２５７，２１８号（事件番号ＡＬＧ０４Ｐ）であって、当該仮出願は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【０００４】

Ａ２）"Waveguide-fiber Mach-Zender interferometer and methods of fabrication and use thereof"なる名称で２００１年６月２７日出願の、Oskar J. Painter, David W. Vernooy, and Kerry J. Vahalaによる米国特許仮出願第６０／３０１，５１９号（事件番号ＡＬＧ０５Ｐ）であって、当該仮出願は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【０００５】

Ａ３）"Fiber-optic-taper probe for characterizing transversely-optically-coupled waveguides and rasonators"なる名称で２００１年９月１３日出願の、David W. Vernooyによる米国特許仮出願第６０／３２２，２７２号（事件番号ＣＱＣ１１Ｐ）であって、当該仮出願は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【０００６】

Ａ４）"Method for improving the planarity of etched mirror facets"なる名称で１９９１年７月１６日発行の、Peter. L. Buchman, Peter Vettiger, Otto Voegeli, and David J. Webbによる米国特許第５，０３２，２１９号であって、当該特許は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【０００７】

Ａ５）"Improved planar etched mirror facets"なる名称で１９９２年４月７日発行のPeter. L. Buchman, Peter Vettiger, Otto Voegeli, and David J. Webbによる米国特許第５，１０３，４９３号であって、当該特許は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【０００８】

Ａ６）"Method of passivating etched mirror facets of semiconductor laser diodes"なる名称で１９９３年１月５日発行の、Peter. L. Buchman, David J. Webb, and Peter Vettigerによる米国特許第５，１７７，０３１号であって、当該特許は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【０００９】

Ａ７）"Self-aligned optical waveguide to laser structure and method of making the same"なる名称で１９９３年１１月２日発行の、Gian-Luca Bona, Fritz Gfeller, Heinz Jaeckel, and David J. Webbによる米国特許第５，２５９，０４９号であって、当該特許は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【００１０】

Ａ８）"Integrated end-coupled transverse-optical-coupling apparatus and methods"なる名称で２００１年１０月３０日出願の、Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, Peter C. Sercel, Oskar J. Painter, and Guido Hunzikerによる米国特許仮出願第６０／３３４，７０５号（事件番号ＣＱＣ１５Ｐ）であって、当該仮出願は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。

【００１１】
Ａ９）"Alignment apparatus and methods for transverse optical coupling"なる名称で２００１年１１月２３日出願の、Charles I. Grosjean, Guido Hunziker, Paul M. Bridger, and Oskar J.による米国特許仮出願第６０／３３３，２３６号（事件番号ＣＱＣ１６Ｐ）であって、当該仮出願は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。
【００１２】
Ａ１０）"Multi-layer dispersion-engineered waveguides and resonators"なる名称で２００１年１２月２１日出願の、Oskar J. Painter, David W. Vernooy, and Kerry J.による米国特許出願第１０／０３７，９６６号（事件番号ＣＱＣ１４ＮＰ）であって、当該出願は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。
【００１３】
Ａ１１）"Alignment-insensitive optical junction apparatus and methods employing adiabatic optical power transfer"なる名称で２００２年２月２７日出願の、Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, David W. Vernooy, and Joel S. Paslaskiによる米国特許仮出願第６０／３６０，２６１号（事件番号ＣＱＣ１７Ｐ）であって、当該仮出願は、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。
【００１４】
また、本願は、以下の出版物に開示された内容にも関し、これら各出版物が、ここに完全に記述されたものとして一体に組み入れられる。
Ｐ１）Y. P. Li and C. H. Henry, Silicon Optical Bench Waveguide Technology, in Optical Fiber Telecommunications, IIIb, I.P. Kaminow and T. L. Koch eds. , Academic Press, 1997
Ｐ２）T. Ramadan, R. Scarmozzino, and R Osgood"Adiabatic Couplers : Design Rules and Optimization"IEEE J. Lightwave Tech., v16, No. 2, pp 277-283, (1998)
Ｐ３）D. G. Dalgoutte, R. B. Smith, G. Achutaramayya, and J. H. Harris, "Externally mounted fibers for integrated optics interconnections", Appl. Optics Vol. 14, No. 8, pp 1860-1865 (1975)
Ｐ４）Y. Shani, C. H. Henry, R. C. Kistler, R. F. Kazarinov, and K. J. Orlowsky, "Integrated optic adiabatic devices on silicon", IEEE J. Quant. Elec., Vol. 27, No. 3, pp556-566 (1991)
【００１５】
光通信の分野における基本的な問題として、組み合わされた光学部材間の効率的で費用対効果の高い光信号電力の伝送がある。重要な例として、能動又は受動光学素子と低損失光導波管（光ファイバ及び／又は平面導波回路等）との間の光電力伝送を実現することがある。能動光学素子の例として、半導体レーザ、電子吸収変調器、電子吸収変調レーザ、電気光学変調器、半導体光学増幅器、フォトダイオード又は他の光検出器、ＮｘＮ光学スイッチ等が挙げられるが、それに限定されるものではない。受動光学素子の例として、波長分割多重装置／多重分離装置、波長分割スライサ／インターリーバ、波長分割追加／除去フィルタ、他の光学フィルタ、スプリッタ／コンビネータ、干渉計、移相器、分散補償器、固定又は可変光学減衰器等が挙げられるが、それに限定されるものではない。このような光学機器は、通例小規模な（幅方向に数マイクロメートル（ミクロン）、高さ方向に１マイクロメートル未満であることが多い）、光学モードの生成、光学モードとの相互作用、及び／又は光学モードの操作を伴うことが多い。このような相互作用モードのサイズは、通例、単一モードファイバ又は平面導波回路が対応している光学モードのサイズ（幅方向に一般に約１０マイクロメートル）よりも小さい。従って、光ファイバ又は平面導波回路の光学素子に対する端部結合は、空間モードの不適合のため、非効率的（約５～１５％）であることが多く、大規模な挿入損失が生じてしまう。高い端部結合効率を実現するための、従来技術による方法が存在しているが、該方法は、モードをより良好に適合させるための高価な部材（非球面レンズ等）を要するとともに、光学部材及び光学装置を高精度

に位置決めすることを要する（必要とされる許容誤差は０．１μｍにもなり、通例、個々の素子レベルで達成されねばならない）。

【００１６】

低コストの端部結合光学アセンブリ用の技術（例えば、シリコン光学台技術等）が存在している。しかしながら、このような低コストの解決策では、上述の理由により、一般に、光学素子と光学ファイバ又は他の導波管との間の光電力伝達効率が低くなってしまう。

【００１７】

端部結合（すなわち、端部ファイア結合又は端部伝送）による光電力伝達は、伝送されるべき光信号電力の伝播方向に実質的に沿った端部対端部の幾何学的配置における光学部剤の配置により、特徴づけられる。このように形成された光学接続にて、光電力は、一方の光学部材の端面から出て、他方の光学部材の端面へと入る。その代わりに、光電力伝送は、いわゆるトランスバース結合（すなわち、トランスバース伝送）により実現してもよく、そこでは、光学部材は、光信号電力の伝播方向を基準として並列の幾何学的配置となっている。トランスバース結合による光学接続では、通例、その接続の少なくとも１つのセグメントがあり、光電力は、両部材に沿って同時に伝播する。

【００１８】

光学部材間の効率的な端部伝送には、それぞれの要素における光学モードが、実質的に、空間モード対応していることが、必要とされる。光学素子と伝達光導波管との間の光電力のトランスバース伝送により、光信号電力を光学素子と伝達導波管との間で（例えば、光ファイバの先細部分を通じて、又は、平面導波管における適切に適合した部分を通じて）伝送するための端部伝送に対する代替例が提供される。特に、空間モードの適合は排除される。光電力のトランスバース伝送は、空間モードのサイズ及び／又は形状が異なった光学モード間で実現されうる。

【００１９】

トランスバース伝送（トランスバース結合、トランスバース光接合、エバネッセント光接合、エバネッセント結合、方向性光接合、方向性結合とも称される）について、先に引用された上述の特許出願のいくつかにて詳細に検討されており、その検討内容の全てをここで再び繰り返す必要はない。トランスバース伝送は、個々の光学導波管（又は他の光学部材）の光学モード特性が結合導波光学系の光学モード特性へと移行するという観点から、容易に検討されうる。このような後者のモードは、ここに「システムモード」又は「結合システムモード」と称され、前者のモードは、ここに「孤立モード」「孤立導波モード」と称される。トランスバース結合による光学導波管間の光信号電力の効率的な伝送は、いくつかの動作形態のいずれかにて実現する。ここで検討される２つのこのような形態は、いわゆるモード干渉結合（mode-interference coupling）、及び、いわゆる断熱光学電力伝送（adiabatic optical power transfer）である。

【００２０】

いわゆるモード干渉結合（先の引用のいくつか、特にＡ８及びＡ１０にて説明され、そこでは単にトランスバース光接合と称されている）では、ある導波管から接合領域へと入る光信号電力は、２つの誘導システムモードに分割される。このような接合領域への移行は、孤立モードが２つの最下位次のシステムモードのほぼ線形の重ね合わせとなるように構成されることが、理想的である。この状態により、光信号電力が接合領域に入ると、高次のシステムモード（及び／又は放射モード）について、電力損失が最小となる。２つのシステムモードは、異なる伝播定数（２つの最下位時のシステムモードについてβ＋とβ－として指定される）で、導波管に沿って接合領域を通って伝播する。接合領域の端部に達すると、光信号電力は、２つのシステムモードの相対位相に応じて、２つの導波管へと分割される。再度、高次及び／又は放射モードへの損失を最小化するために、孤立モードは、実質的に、２つのシステムモードの線形の重ね合わせに近似しているべきである。このことは、通例、実際の装置におけるケースであり、そのような場合でなくとも妥当な近似を提供するので、通例、孤立モードの特性の観点から接合領域の特性を記述することが可能であり、以後、このような記述が用いられることになる。特に、モード干渉接合による

光信号電力の伝送の度合いは、孤立導波モード（結合定数κにより特徴づけられる）、モードが重なり合う伝播距離（すなわち、接合領域の長さ又は相互作用距離Ｌ）、及びモード屈折率の不整合により規定される。モード干渉結合では、κ、β_1、β_2は、通例、接合領域の長さＬに亘って実質的に一定に保たれるものと、仮定されている。モード干渉結合導波管間の光電力の伝送は、以下の式により与えられる（光学的損失を無視）。

【００２１】

【数１】

$$\frac{\left|E_2(L)\right|^2}{\left|E_1(0)\right|^2} = \frac{\left|\kappa\right|^2}{q^2}\sin^2(qL)$$

$$q^2 = \left|\kappa\right|^2 + \frac{1}{4}\Delta\beta^2$$

【００２２】

ここで、以下の定義が適用される。

$E_{1,2}$（ｚ）…結合電磁界の振幅

$\beta_{1,2}$…結合電磁界の伝播定数

κ…電磁界の空間的重なりに由来する結合振幅

ｚ…軸方向伝播定数座標

【００２３】

接合領域の前に第１の光学導波管へと空間的に閉じ込められた振幅E_1の入射電磁界は、ｚ＝Ｌにて（ここで、我々は、接合領域開始をｚ＝０と、接合領域の終端をｚ＝Ｌと定義する）、合成電磁界振幅E_2（Ｌ）で、他の光学部材へと伝送される。従って、結合領域の長さＬの関数としての光電力伝送は、κ及びΔβに依存する固有周期あるいは「ビート長」で振動する。このことは、接合領域に生じるシステムモード間の干渉の現れと考えられてもよく、それらのいずれもが光信号電力を搬送する。結合振幅κが大きくなると、及び／又は、モード屈折率の不整合Δβが大きくなると、ビート長が短くなる。モード屈折率の不整合が減少で、Δβが０に近い場合に光学部材間の往復の光電力の実質的に完全な伝送で、振動電力伝送の絶対値は減少する。一方の導波管から他方への光電力伝送の特定の度合いは、長さＬの接合領域を、所与のΔβ及びκについて所望の伝送関数を実現するように構成することにより実現する。

【００２４】

モード干渉結合と断熱光学電力伝送との違いを理解するために、まずはじめに、光学導波管の一般的な状況における断熱条件の意味について理解する必要がある。２つの例が説明のために提示されている。最初に、トランスバース範囲と誘導モードの伝播定数との双方を変更するように、全長におけるある部分がテーパーがついた、単一モード導波管について検討する。導波管がテーパー状になると、放射モードへと結合することになる。しかしながら、そのテーパーが、充分に緩やかであり、この放射損失がわずかであれば（すなわち断熱テーパーになっていれば）、テーパー状の導波管部分を横切るときに特性に軸方向位置の依存性（すなわちｚ依存性）があるとしても、テーパー状の導波管を横切る光電力を単一モードを表すものとみなすことにも意味がある。断熱条件が満たされたとして（すなわち、最小限であるか実際上許容可能なレベル未満の他のモードへの結合とするのに充分に、テーパーが緩やか）、ｚ依存伝播「定数」β（ｚ）のような軸方向変化量を用いてモードを記述することが可能である。

【００２５】

第２の例として、導波管の特性が、軸伝播方向に沿って変化して、導波管が、ある位置では単一のトランスバースモードに対応し、別の位置では２つ以上のトランスバースモード

に対応しうるということがある。この例では、導波管特性の断熱変化により、これらの他のモードへの結合が無視できる（あるいは実際上許容可能な）ものであり、再度、導波管に沿って伝播するときに単一「モード」が保たれるものとみなせることになる。伝播「定数」β及び／又はトランスバース空間プロファイル等の特性に導波管に沿った軸方向位置についての依存性があるモードであったとしてもである。

【００２６】

軸方向すなわち伝播方向に沿った断熱変化にさらされる光学モードを考慮するこのような概略方法は、断熱電力伝送装置の動作を理解するのに重要な概念である。なお、「モード」なる用語が、断熱条件を満たす導波管及び接合の文脈において、いくらか一般的な意味を持つ旨、留意することが重要である。特に、他のモードへの結合が最小限であるか実際上許容可能なレベル以下である範囲にて、「モード」及び／又は「光学モード」なる用語がここに用いられることになる。特性が軸方向に断熱的に変化する導波管に沿ってモードが伝播するにつれて、空間、時間、偏光、及び／又は他の特性が進展するとしてもである。モードについてのこのような一般的解釈は、実質的に軸方向に一定の導波管に沿ってモードが伝播するにつれて、通例、あるモード特性（伝播定数β、トランスバース空間プロファイル、偏光状態等）の保存を意味する従来の「モード」なる用語の用法とは異なる。

【００２７】

断熱光電力伝送について、孤立導波管における２つの孤立モードa_1（ｚ）及びa_2（ｚ）特性が、結合領域に入るにつれて、弱く結合しはじめる。断熱条件下で、この弱い結合は、結合係数κ（ｚ）及びモード屈折率不整合Δβ（ｚ）＝β_1（ｚ）－β_2（ｚ）により、特徴づけられる。合成されたシステムモードは、以下の式により与えられる結合導波系のａ＋（ｚ）とａ－（ｚ）との重ねあわせと、実質的に類似している。

【００２８】

【数２】

$$a_{\pm}=\frac{\lambda_{\pm}}{\sqrt{\kappa^2+\lambda_{\pm}^2}}a_1+\frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2+\lambda_{\pm}^2}}a_2 \quad \text{ここで、} \lambda_{\pm}=\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)\pm\sqrt{\kappa^2+\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2}$$

【００２９】

ここで、全ての量がｚ依存である。本考察のために、「重ね合わせモード」及び「システムモード」なる用語が、全接合領域に亘りシステムモードは重ね合わせモードに類似しているわけではないが、同義で用いられる。接合領域の最初の部分（すなわちｚ＝０）では、重ねあわせモードa_+が一方の孤立モードa_1又はa_2にかなり類似し、モードa_-が他に類似していることが望ましい。例えば、｜Δβ｜＞＞｜κ｜の範囲（モード屈折率が強度に不整合）で、各重ね合わせモードを示すa_+　$a_1+\kappa a_2/\Delta\beta$　a_1及びa_-　$a_2+\kappa a_1/\Delta\beta$　a_2は、この範囲内で、主として単一の孤立導波モードと対応している（すなわち、$a_+\Leftrightarrow a_1$及び$a_-\Leftrightarrow a_2$）。断熱光学結合について、ｚ＝０での孤立導波モードには｜Δβ｜＞＞｜κ｜が望ましい。この入力終端条件下で、重ねあわせモード（そしてまた、システムモード）は、孤立導波モードに実質的に類似している。第１の導波管の結合領域に入ってくる光電力は、対応するシステムモードへと主に移行する。結合領域は、（孤立導波モードについて）｜Δβ｜が接合領域に沿って最初に減少するように、構成されている。また、係数κも、接合領域に沿って変化してもよく、接合領域内で絶対値が最大になることが望ましい。上述の重ね合わせモードを定義する式から明らかなように、Δβ及び／又はκが変化すると、全接合領域に亘って、重ねあわせモード（より正確にはシステムモード）が進展することになる。上述のように、断熱条件には、Δβ及び／又はκの変化は充分緩やかであるべきで、システムモード間及び／又はシステムモードと他の光学モード（誘導その他）との間での光電力の伝送が、実際上許容可能なレベル以下に保たれる

ことが、必要となる。この条件は、参考文献Ｐ２に記述された断熱条件と等価である。特に、導波管の配置、トランスバース寸法、モード及び／若しくは材料屈折率、又は他の特性（接合領域前、接合領域内、及び／又は接合領域後）は、実際上許容可能なレベルの光電力が、結合導波系における望ましくないモードへと伝送されることを、最小化するかあるいは減少させるように、充分に緩やかでなければならない。

【００３０】

接合導波管の「進入領域」（すなわち、接合領域の直前及び直後であり、入力及び出力領域とも称されうる）は、望ましくは、断熱条件を満たすように適合されるべきである。結合されるべき導波管は、通例、急峻な進入によりもたらされうる望ましくない光電力伝送又は光学的損失を最小化するために、かなり浅い角度で相互に近接している。その代わりに、一方の導波管は細い先端に始まり、高さ及び／又は幅が、その完全なトランスバース寸法に達するまで、他方の導波管の全長に亘って増大する。光学材料におけるこのような緩やかな「外観」は、断熱条件を満足／維持するように充分緩やかにされてもよい。同様に、接合領域後、導波管は浅い角度で離れてもよく、あるいは、一方の導波管は、細い先端にて終端するまでトランスバース寸法が減少してもよい。進入領域及び接合領域の相対的な長さは、通例、接合導波管間の相互作用の強度に依存することになる。接合領域における導波管間の強度の相互作用については、接合領域は、相対的に短くなってもよい。その一方で、断熱条件を維持するためには、導波管の非常に緩やかな進入及び分離（並びに、それに応じた長い進入領域）が必要となりうる。他方、接合領域における導波管間の弱い相互作用には、所与のレベルの光電力伝送を実現するために、比較的長い接合領域が必要となるが、短い進入領域が用いられてもよく、それにもかかわらず、他の光学モードへの望ましくない光電力伝送が実質的に回避されている。所与の導波管型／形状について、断熱光電力伝送装置の全長を最小化しつつ、導波管間の所望のレベルの光電力伝送を、望ましくない光学結合を実際上の許容可能レベル以下として実現することが可能である。所与の装置において、望ましくない光学結合の高度のレベルが許容可能（すなわち、実際上許容可能）である場合、装置の全体としての大きさを最小化するために、短い進入領域が用いられてもよい。なお、進入領域及び接合領域は、明確に区分されうるわけではなく、その代わりに、あるものから次のものへと徐々に移行しうる。このように徐々に移行することは、通例、断熱条件を満たすために必須である。

【００３１】

導波管間の光電力の実質的に完全な伝送を実現するために、Δβは、０に達して、接合領域内のどこかで符号が変ることが、望ましい。それ以降、｜Δβ｜は、接合領域に沿って増大する。実質的に長い接合領域（すなわち、｜Δβ｜＞＞｜κ｜、ｚ＝Ｌにて、出力終端条件）の端部では、第２の導波管の孤立導波管モードに実質的に類似するように光電力を搬送するシステムモードが展開してきており、光電力が第２の導波管の結合領域から離脱する。第１の導波管は、接合領域又はその直後にて終端してもしなくともよい。但し、このような終端が断熱条件を満たすならばである。同様に、第２の導波管は、接合領域が始まる部分又はその直後にのみ現れてもよい。但し、このような終端が断熱条件を満たすならばである。

【００３２】

なお、第１の導波管から第２の導波管への光電力の断熱伝送は、「モード結合」を用いることなく達成される旨、留意することが重要である。特に、光電力は、第１の導波管上の接合領域に入る光電力を搬送するシステムモードと「同一の」システムモードにより搬送される第２の導波管上の接合領域を離れる。このことは、断熱条件が、導波管間の光電力の伝送の際に、無視できる（又はせいぜい実際上許容可能な）光電力の他のモードへの伝送のみが発生することを要求することにより生じる（すなわち、システムモードは、物理的様相が接合領域を通じての伝送に進展したとしても、接合の断熱特性により保存される）。この挙動は、モード干渉結合の挙動とは全く異なる。なお、モード干渉結合は、複数のシステムモード（通常は２つ）による接合領域を通じて搬送される光電力に依拠して、光電力伝送を実現している。

【００３３】
２つの断熱結合導波管間の接合領域から離脱する光電力（それらのうちの１つのみを通じて接合領域に入ったもの）の分割を実現するために、接合領域は、ｚ＝Ｌにて、システムモードが、両孤立導波モードの実質的な要素を含む重ね合わせモードに実質的に類似するように、構成されてもよい。これらの条件下で、システムモード内の光電力は、２つの孤立導波モードへと分割され、両導波管における接合領域を離脱する。例えば、光電力伝送の所望の部分が約５０％（すなわち、約３ｄＢ）であるということは、干渉計装置を実装するために望ましいものとなりうる。｜Δβ｜が約０となるまで低減して、接合領域における残りの長さＬに亘って０に近くなった断熱光電力伝送接合が、用いられてもよい。合成されたシステムモードは、接合領域の端部における各孤立導波モードに実質的に対応した実質的に等重の要素を有してもよい。光電力伝送の他の部分は、特定の装置に要求されるような断熱トランスバース光電力伝送を用いることにより、実装されてもよい。

【００３４】
光電力伝送が接合長Ｌの関数として振動するモード干渉結合導波管の挙動とは異なり、断熱光電力伝送についての電力伝送の部分は、実質的に距離Ｌの単調関数であり、通例、ある最小距離（κ及びΔβに依存）後に漸近値に密接に接近して、さらなる接合領域長では実質的に不変に保たれる。挙動におけるこの基本的な差異は、トランスバース結合光学部材を製造するのに必要な製造／組立／位置決め許容誤差に重大な影響を与える。簡単に述べると、κ及び／又はΔβは、導波管間の所望のレベルの光電力を実現するのに必要な最小の接合領域長に影響しうる。組み合わされた装置の接合領域が、製造／組立／位置決めの変化により生じがちな最大のこのような最小接合領域長よりも長い限り、組立てられた装置における光電力伝送の一部が、実質的には影響を受けずに済む。このことは、以下に詳細に説明されるものであり、本発明の重要な特徴である。

【００３５】
一般的に、光接合の所望の目的は、そこに組み合わされた一方の光学部材から他方の光学部材への光電力伝送の特定の度合いをもたらすことにある。モード干渉結合を用いた光電力の伝送の特に望まれる度合いは、厳しい許容誤差に保たれたκ、Δβ、及びＬを有するトランスバース光学結合部材の設計、製造、及び組立を必要とする（参考文献Ａ８で検討されているような端部結合に必要なほどの許容誤差ではないが）。光学部材の相対位置の変動（κと、あるいはΔβにも影響）により、「ビート長」が変動するので、所与の接合領域長Ｌ（これは、通例、数十乃至約１００μｍ間で動く）も変動する。例えば、基板（３～５μｍ）上の誘電体導波管の上面に対してモード干渉結合した光ファイバのテーパー部（直径２～３μｍ）は、±０．５μｍの水平精度及び±２０ｎｍの垂直精度で配置されて、９０％レベル（０．５ｄＢレベル）を超えた公称での完全（１００％）を保つことを、必要としてもよい。このような許容誤差は、達成するのが困難で、高価で、及び／又は時間がかかることにもなり、特に大量生産環境では、装置の歩留まりも低下することになる。同様に、モード干渉結合部材は、充分な精度Δβ及びκが実質的にもたらされるように、実質的に正確に設計及び製造されなければならない。Δβの変動により、実現されるべき光電力伝送の最大の度合いとともにビート長の変動が大きくなる。モード干渉結合、及び光学結合一般についてのさらなる検討が、Fundamentals of Photonics by B. E. A. Seleh and M. C. Teich (Wiley, New York, 1991)に見出されうるものであり、ここに完全に記述したものとして一体に組み込まれる。特に、第７章及び第１８章に注意されたい。

【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【００３６】
断熱光電力伝送は、モード干渉結合に関係した組立光学部材及び素子のために、製造許容誤差を緩和するのに利用される。例えば、断熱光電力伝送を用いて一方の導波管から他方の導波管へと光電力を実質的に完全に伝送することを実現するために、光学素子の製造及び組立の際に、実質的に完全な光電力伝送が、｜κ｜及び｜Δβ｜のほぼ全ての値につい

て発生すると想定されるように、接合領域長は、実質的に長く取られるべきである（通例、数百μｍ乃至おそらくは数ｍｍ）。従って、κ及びΔβにおける製造変動は、導波管間（モード干渉結合とは異なり）の光電力の実質的に完全な伝送には、ほとんど又は全く影響しないこととなる。例えば、基板（３～５μｍ幅、長さ数百μｍの接合領域に亘って変化するモード屈折率）上の誘電体導波管の上面に結合した光ファイバのテーパー部（直径２～３μｍ）の上述の例では、モード干渉結合に必要なものよりも約３乃至５倍大きい範囲内の位置精度のみが必要とされうる。

【００３７】

従って、断熱光電力伝送の技術及び構成は、光学素子を構築するために開発されてもよい。なお、この光学素子は、最初は別個の光学部材であり、その後、組み合わされることにより、光学部材間の光信号電力を伝送するために、上述の様々な欠点を克服する装置及び方法を提供する。光信号電力を断熱光接合により接合された導波管間で伝送する装置及び方法を提供することが、望ましい。端部結合及びモード干渉トランスバース結合に比べて、製造、組立、及び／又は位置決め許容誤差が実質的に緩和された、断熱光電力伝送装置及び方法を実装することが、望ましい。導波管の受動位置決めが可能であることが望ましい。少なくとも１つの導波管を、基板上の集積光学部材として提供することが、望ましい。実質的に断熱光電力トランスバース伝送断熱装置及び方法を実装することが、望ましい。これら装置及び方法は、既成の光学素子技術と互換性があってもよい。

【００３８】

ファイバ光学通信分野における基本的な問題として、光信号電力を発生及び／又は操作するために、光学ファイバと光学素子との間で光信号電力を効率的に伝送するということがある。光信号電力のトランスバース伝送は、中間外部伝送工学導波管を通じて光電力を光ファイバと光学素子との間で伝送するために、有利に用いられる。基板上の光学素子と該基板上の光学素子と光学的に一体となった伝送導波管との間で、光信号電力を、外部伝送導波管を通じて、光信号電力を伝送する装置及び方法を提供することが、望ましい。ここで、光信号電力は、光電力トランスバース伝送（断熱その他）により、外部伝送導波管と伝送導波管を伝送される。光電力は、端部伝送又はトランスバース伝送（断熱その他）により、素子と外部伝送導波管との間で伝送されてもよい。光学素子のある端部伝送に適合した外部伝送導波管は、実質的に空間モードが適合していてもよい。伝送光学導波管は、光ファイバ（トランスバース伝送に適切に適合）でもよく、平面導波管でもよい。このような平面導波管は、光ファイバへ／光ファイバからの伝送をより容易に可能とする。既成の光学素子技術と互換性がありうる外部伝送導波装置及び方法により、光電力伝送を実装することが、望ましい。外部伝送光学導波管（光電力トランスバース伝送、断熱その他に適合、伝送導波管を伴う）は、光学素子と光学的に一体となった部材であってもよく、光学素子の製造及び処理に用いられるものに類似した空間選択製造及び処理技術を用いて、提供されてもよい。このような製造技術を用いることにより、単一の基板上で平行な多くの外部伝送導波管／素子対のウエハ規模の製造及び精度位置決めが可能となるので、光学素子を製造するための時間及びコストが著しく節約される。２つ以上の伝送導波管のある組立／位置決めを実質的に同時に可能とする及び／又は推進することが、望ましい。

【課題を解決するための手段】

【００３９】

本発明のいくつかの側面は、従来技術における上述の１つ以上の欠点が克服し、及び／又は、光電力伝送の技術の状態を進歩させ、さらに、以下の目的の１つ以上に合致してもよい。

光導波管間の実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送のための装置及び方法を提供すること。

光導波管間の実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した、機械的に独立した光導波管を提供すること。

光電力伝送について、製造及び／又は位置決めの許容誤差が緩和された、実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した導波管を提供すること。

【００４０】
光導波管間の実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した装置及び方法を提供することであって、その光電力のトランスバース伝送は、端部伝送及び／又はモード干渉結合トランスバース伝送の場合よりも、導波管の寸法及び／又は相対位置の影響を受けにくくなっていること。
受動的に位置決めされて組み合わされた場合に、光導波管間の実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した、機械的に独立した光導波管を提供すること。
【００４１】
光導波管間の実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した装置及び方法を提供することであって、その電力伝送レベルは、導波管間の相対的なトランスバース位置の実質的な範囲に亘って、実質的に平坦なままとなっていること。
光導波管間の実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した装置及び方法を提供することであって、その電力伝送レベルは、導波管のトランスバースオフセットの範囲に亘って、その最大レベルが約０．５ｄＢ未満にとどまり、その範囲は、光導波管における対応するトランスバース空間モードサイズ特性の約±１．０倍であること。
【００４２】
実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した少なくとも１つの光導波管を、基板上に統合された光学部材として提供すること。
実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した少なくとも１つの光導波管を、基板上の平面導波間として提供すること。
確立された光学素子技術と互換性がある、実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した装置及び方法を提供すること。
【００４３】
光ファイバと基板上の光学素子との間の光信号電力の伝送を可能にし、及び／又は、促進する、装置及び方法を提供すること。
光学素子と伝送光導波管との間で外部伝送光導波管を通じて光信号電力を伝送する装置及び方法を提供することであって、外部伝送光導波管は、共通基板上の光学素子と統合され、外部伝送光導波管及び伝送光導波管は、それらの間の光電力のトランスバース伝送に適合していること。
【００４４】
適切に（トランスバース伝送に）適合した光ファイバを、伝送光導波管として提供すること。
適切に（トランスバース伝送に）適合した平面導波管を、伝送光導波管として提供すること。
適切に（トランスバース伝送に）適合した平面導波管を、伝送光導波管として提供することであって、平面導波管は、光ファイバへの／光ファイバからの光電力の伝送にさらに適合していること、
光電力の実質的に空間モード適合した端部伝送に適合した光学素子及び／又は外部伝送光導波管を提供すること。
【００４５】
光電力のトランスバース伝送に適合した光学素子及び／又は外部伝送光導波管を提供すること。
【００４６】
実質的に断熱的な光電力のトランスバース伝送に適合した外部伝送光導波管及び／又は伝送光導波管を提供すること。
光電力の受動的にモード屈折率整合したモード干渉結合トランスバース伝送に適合した外部伝送光導波管及び／又は伝送光導波管を提供すること。
光電力の能動的にモード屈折率整合したモード干渉結合トランスバース伝送に適合した外部伝送光導波管及び／又は伝送光導波管を提供すること。
【００４７】

伝送光導波管及び統合された光学素子／外部伝送光導波管を、組み合わされた場合に外部伝送光導波管と伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送に適合した機械的に独立した部材として提供すること。
伝送光導波管及び統合された光学素子／外部伝送光導波管を、受動的に位置決めされて組み合わされた場合に外部伝送光導波管と伝送光導波管との間の光電力のトランスバース伝送に適合した機械的に独立した部材として提供すること。
光学素子に対して、リソグラフィ、蒸着、マスキング、及び／又はエッチング技術等の精密加工技術を適用して、外部伝送光導波管と光学素子との高精度の位置決めを可能とすることにより、光学的に統合された外部伝送導波管を提供すること。

【００４８】

確立された光学素子技術と互換性のある外部伝送光導波装置及び方法を提供すること。
単一の基板上で並行した光学的に統合された多くの外部伝送導波管／素子対のウエハ規模の製造及び精密位置決めを提供すること。
共通の平面導波基板上での複数の光学素子の組立／位置決めを可能にする装置及び方法を提供することであって、各素子は、平面導波基板上での１つ又はそれ以上の平面伝送導波管との光電力の伝送に適合していること。

【００４９】

光電力のトランスバース伝送を確立するように、導波管を２つ以上の他の伝送導波管と実質的に同時に組立／位置決めすることを、可能とし、及び／又は促進すること。
素子と各導波管との間に光接合を確立するように、光学素子を２つ以上の導波管と実質的に同時に組立／位置決めすることを、可能とし、及び／又は促進すること。

【００５０】

１つ又はそれ以上の上述の目的は、本発明にて、第１の導波管と第２の導波管との間の光電力のトランスバース伝送のための装置により、達成される。第１及び第２の導波管は、当初は機械的に独立しており、後に組み合わされて、光電力伝送のための光接合を形成する。その装置は、光接合領域を含む第１の光導波管と、光接合領域を含む第２の光導波管とを、備えている。導波管の一方又は双方の接合領域は、全長に亘る１つ又はそれ以上の光学特性の変化により、実質的に断熱的な光電力の伝送に適合している。第１及び第２の導波管の寸法及び／又は光学特性の軸方向の変化は、誘導されたシステム光学モードと他の光学モードとの間の望ましくない光電力の伝送が、結果として、実際的に許容可能なレベル以下となるのに充分に漸進的である。第１及び第２の導波管を組み合わせることは、それぞれの光接合領域を、導波管間の実質的に断熱的な光電力の伝送を可能とするように配置する役割を果たす。断熱的な光電力の伝送の性質により、端部演奏及び／又はモード干渉結合トランスバース伝送に比べて、位置決め許容誤差が実質的に緩和される結果となる。光電力伝送のために第１及び第２の導波管を組み立てるのに、受動的な位置決めが、用いられてもよい。接合領域は、導波管間の光電力の実質的に完全な伝送を提供するために適合してもよい。

【００５１】

上述の目的の１つ又はそれ以上は、本発明にて、光学素子と伝送光導波管との間の光電力の伝送のための装置により達成されてもよく、その装置は、ａ）基板上の光学素子、ｂ）伝送光導波管、ｃ）光学素子と光学的に統合された外部伝送光導波管を備え、外部伝送導波管は、光学素子と伝送光導波管との間の光電力の伝送に適合している。光学素子及び／又は外部伝送光導波管は、光電力の端部伝送又はトランスバース伝送に適合するとともに配置されることが望ましい。外部伝送導波管及び／又は伝送光導波管は、それらの間のトランスバース伝送（モード干渉結合又は断熱）に適合していることが望ましい。伝送光導波管は、当初、光学素子及び外部伝送光導波管から機械的に独立した部材として提供される。伝送光導波管を、基板、光学素子、及び／又は外部伝送光導波管と組み合わせることは、伝送光導波管と外部伝送光導波管を、それらの間の光電力のトランスバース伝送のために配置する役割を果たす。光学素子と光学的に統合された外部伝送導波管は、ウエハ規模の製造及び精密位置決めを用いて提供されてもよく、それにより、多くの外部伝送導波

管／素子対の単一の基板上での並行したウエハ規模の製造及び精密位置決めが可能となる。伝送光導波管は、適切に（外部伝送光導波管とのトランスバース伝送に）適合した光ファイバであってもよく、あるいは、望ましくは、適切に（外部伝送導波管とのトランスバース伝送に）適合した平面伝送光導波管であってもよい。平面導波管は、光ファイバへの／光ファイバからの光電力伝送に、さらに適合してもよく、それにより、統合された外部伝送導波管及び組み合わされた平面伝送導波管を通じた、素子とファイバとの間の光電力の伝送が可能となる。平面伝送導波管は、平面導波回路の一部であってもよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【００５２】

本発明のさらなる目的及び利点は、図面に図示されるとともに、以下の書面による説明及び／又は特許請求の範囲に記述されるように、本発明の好適な実施形態及び代替的な実施形態を参照することにより、明らかとなるであろう。

【００５３】

なお、図に示した様々な構造の相対的な比率は、本発明をより明瞭に説明するために変形されていることがある。様々な素子、導波管、共振子、光ファイバ／テーパー等の相対寸法は、それらのトランスバース及び／又は軸方向の比率と同様、互いに変形されていることがある。多くの図面において、光学部材のトランスバース寸法は、明瞭にするために、軸方向寸法に対して拡大されている。それにより、トランスバース寸法の変化が軸方向位置に対して誇張されて現れることになる。また、光電力の端部伝送のための光ファイバを示す図面において、ファイバの寸法は、通例、図示された他の導波管の寸法と比較して、かなり大きくなっている。ファイバを正確な縮尺で示すと、図面用紙のサイズより大きくなってしまう。一方、ファイバのテーパー部を示す図は、実際の相対縮尺にかなり近くなっている。

【００５４】

図面に示した実施形態は例示的なものであり、ここに開示及び／又は特許請求された本発明の範囲を制限するものとして解釈されるべきではない。

【実施例】

【００５５】

書面による説明及び／又は特許請求の範囲のために、「屈折率」は、特定の材料の体積屈折率を意味してもよく（ここで「材料屈折率」とも称される）、$\beta = 2\pi n_{eff}/\lambda$によって特定の光学部材における特定の光学モードの伝播定数βと関連する「有効屈折率」n_{eff}を意味してもよい。ここで、有効屈折率は、「モード屈折率」とも称されうる。ここで称されるように、「低屈折率」なる用語は、屈折率が約２．５未満の任意の材料及び／又は光学構造を示すことになり、「高屈折率」なる用語は、屈折率が約２．５を超える任意の材料及び／又は構造を示すことになる。このような範囲内で、「低屈折率」は、シリカ（SiO_x）、ケイ酸ゲルマニウム、ケイ酸化ホウ素、他のドープシリカ、及び／又は他のシリカベースの材料、窒化ケイ素（Si_xN_y）及び／又はシリコンオキシニトリド（SiO_xN_y）、他のガラス、他の酸化物、様々なポリマー、及び／又は屈折率が約２．５未満の任意の他の適切な光学材料を、示すことが望ましい。また、「低屈折率」としては、光ファイバ、光導波管、平面導波管、並びに／又は、このような材質が組み込まれ及び／若しくは約２．５未満のモード屈折率を示す他の光学部材等もある。同様に、「高屈折率」は、半導体、ＩＲ材料、及び／若しくは、屈折率が約２．５を超えた他の任意の適切な光学材料、並びに／又はこのような材料が組み込まれ及び／若しくは約２．５を超えたモード屈折率を示す任意の適切な種類等の材料を示すことが望ましい。「高屈折率」及び「低屈折率」なる用語は、ここにおいても用いられる「低い屈折率」及び「高い屈折率」とは区別されるべきである。「高屈折率」及び「低屈折率」は、屈折率の絶対的な数値を示すが（約２．５を超えるかあるいはそれ未満）、「低い屈折率」及び「高い屈折率」は、屈折率の絶対的な数値にかかわらず、２つの個々の材料のいずれが高い屈折率であるかを示す相対的な用語である。

【００５６】

ここに用いられる「平面光導波管」なる用語は、実質的に平面状の基板上に設けられた任意の光学導波管を示すことになる。このような導波管の例としては、リッジ導波管、埋込導波管、半導体導波管、他の高屈折率導波管、シリカベース導波管、ポリマー導波管、他の低屈折率導波管、コア／クラッド型導波管、多層反射導波管、メタルクラッド導波管、エアガイド導波管、光結晶／光バンドギャップ導波管、並びに、ここでは特に示されないもののここに開示及び／又は特許請求される発明の概念の範囲内にある他の無数の例がある。半導体、結晶、シリカ又はシリカベース、他のガラス、セラミック、金属、並びに、ここでは特に示されないもののここに開示及び／又は特許請求される発明の概念の範囲内にある他の無数の例等、多くの適切な基板が、用いられうる。

【００５７】

本発明による光接合装置及び方法を提供するために、当初は別個であってその後に組み合わされた光学部材間における光電力のトランスバース伝送（断熱又はモード干渉結合）が、用いられうる。このような光接合は、組立光学素子、システム、及び／又はサブシステムを構築するのに用いられる様々な種類の光学部材間で、光信号を伝送するために用いられうる。当初は別個であって光電力の伝送を実現するために組みたれられうる光学部材としては、２本の別個の光ファイバ、２個の別個の平面導波管、光ファイバと平面導波管、基板上に組み込まれた光学素子と光ファイバや平面導波管や基板から独立した他の光学導波管、別個の基板上に組み込まれた２つの光学素子等があってもよい。但し、それに限定されるものではない。なお、本発明による装置及び方法を、光伝送システム（ファイバ光学伝送システム）と基板上の半導体ベースの光素子との間の光電力の伝送に用いることについて、特に留意されたい。別個の光学部材の他の組み合わせは、本発明による光電力のトランスバース伝送に適合した装置及び方法を用いて、光結合されてもよい。ある種の接合部材は、通例、当初は別個でその後に組み合わされる部材を組み合わせるために用いられうる。このような接合部材の例（部材間の相互作用から及び／又は１つ若しくは双方の部材に関連した構造部材から生じうる）には、保持器、クランプ、係止具、接着剤、ハンダ、ポッティング若しくは埋込材料、クリップ、タブ／スロット、溝、光接触、静電及び／若しくは静磁力（ＭＥＭＳベース素子を含む）、スプリング若しくはマイクロスプリング、組立部材のハーメチック又はマイクロハーメチックシール、ウォーターボンディング技術等があってもよい。但し、それに限定されるものではない。光学素子の機能における様々な側面が当初は別個の光学部材上にある光学素子が構築されてもよく、その光学素子は、組み合わされると、完全に機能するようになって、別個の部材間の光接合を確立する。素子の機能は、本発明の光接合により、提供、変更、及び／又は制御されてもよい。

【００５８】

複数の平面光導波管が共通の基板上に設けられて、いわゆる平面導波回路が形成されうる。なお、平面導波回路は、平面光回路（ＰＬＣ）、光集積回路、又は光電子集積回路とも称される。複数の平面導波間は、全て、基礎となる導波基板上に同じ高さ又は厚さで設けられて、３次元光ネットワークが形成されてもよい。複数の平面導波間を単一の導波基板上に設けることにより、任意の適切な配列で結合された複数の光学素子を含む複合光アセンブリを、構築することができる。平面導波管及び平面導波回路は、本発明の実施に用いられる伝送光導波管における重要な部類を含む。平面導波管は、実質的に平面状の基板上に作製された低屈折率コア／クラッド型誘電体導波管（多くの場合、酸化物被覆シリコン基板上に作製されたシリカ又はシリカベースの導波管）を、含むことが多い。シリコンは、以下の様々な理由（但しそれに限定されない）により望ましい導波基板材料である。すなわち、比較的容易かつ周知の材料加工技術、成熟した業界規格、高度に平面な単結晶面が得られること、選択的な乾式及び／又は湿式エッチングで修正可能、剛性が高いこと、望ましい熱特性である。シリコン基板には、シリカオーバーレイヤ、該シリカオーバーレイヤ上の１つ以上の平面導波管が、設けられることが多い。シリカ及びシリカベース材料は、ほぼ理想的で周知の光学材料である。

【００５９】

光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送が、光接合確立時に位置決め感度を低減さ

せるために用いられうる。光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送を実現するために、少なくとも１つの接合光学部材（通例、導波管）が、接合領域に沿って変化するモード屈折率を有する必要があり、それにより、実質的に断熱的なトランスバース伝送に導波管を適合させる。このモード屈折率の変換は、様々な方法で実現されうる。すなわち、１）導波管のコア及び／又はクラッドにおける一方又は双方のトランスバース寸法が、導波管の全長に亘って変化、２）コア及び／又はクラッドの屈折率が、導波管の全長に亘って変化、３）選択された屈折率の材料が、導波管の全長に亘って変化した量及び／又は距離で導波管近傍に配置される、４）チャープ格子が導波管に沿って書き込まれ、屈折率の異なる材料が配置され、導波管の全長に亘って有効屈折率の変化がもたらされる。他の技術が案出されてもよく、任意の適切な技術が単独又は組み合わされて用いられて、本発明の光接合を提供するために、導波管を、実質的に断熱的な光電力伝送に適合させてもよい。

【００６０】

本発明の書面による説明及び／又は特許請求の範囲のために、断熱条件は、一般に、対象となる孤立又はシステムモードと、他の孤立、システム、又は放射モードとの間の光電力の伝送を実際上許容可能なレベルに近くあるいはそれより低く維持するように充分に漸進的な、１つ又はそれ以上の導波管特性の軸方向変化として、定義されることになる。実際上許容可能なレベルは、性能、製造、歩留まり、組立、検査、入手可能性、コスト、供給、需要、並びに／又は、製造業者を取り囲む他の要因、及び個々の組立光学素子の配備による制約及び／又は要件により、規定されうる。

【００６１】

図１Ａ、図１Ｂ、図１Ｃ、図２Ａ、図２Ｂ、図２Ｃ、図３Ａ、図３Ｂ、及び図３Ｃに、積層された一対の導波管１１０，１２０（すなわち面接合）を、模式的に示す。ここで、導波管１１０は基板１１１上に配置され、導波管１２０は基板１２１上に配置されている（基板１２１は、図１Ａ、図２Ａ及び図３Ａでは、理解しやすいように省略されている）。各導波管のコア１１２／１２２は、接合領域１０１に亘って、それぞれの導波管の長さに沿って幅が変化している。導波管のコアは、接合領域の全長に亘り、高さ又は両トランスバース寸法について、等価に変化してもよい（ここでは図示せず）。コアの寸法が変化すると、導波管の全長に亘ってΔβが対応して変化する。それは、接合領域１０１のある点にてΔβ＝０となるように構成されることが望ましい。導波管１１０に（基板１１１のどこかから）入る光信号電力は、１）接合領域１０１の端部にて｜κ｜＜＜｜Δβ｜、２）接合領域１０１の中央部ではκが充分大きい、かつ、３）Δβは、接合領域の一端近傍で正であり、他端近傍で負である、という条件が満たされれば、導波管１２０へと実質的に完全に伝送される。その代わりに、導波管１２０へと入ってくる光信号電力が、実質的に完全に導波管１１０へと（従って、もし存在すれば、導波管１１０と光学的に一体の他の部材へと）、伝送されてもよい。誘電体導波管１１０，１２０についての例示的な寸法は、最大コア幅が１～１０μｍ、望ましくは約２～５μｍ、接合領域１０１の長さが約１００乃至２０００μｍ、通例は数百μｍ、導波管コア同士の間隔が約０～３μｍとなりうる。

【００６２】

κの変化に対する断熱光電力の挙動は、導波管１１０，１２０間の光電力の実質的に完全な伝送が、端部結合又はモード干渉結合素子にて許容されるものよりも、導波管１１０，１２０の相対位置のより広い範囲内において、実現されうることを示す。従って、導波管１２０は、受動位置決め技術を用いて配置されうる。なお、この技術は、導波管１２０を導波管１１０に対して受容及び配置するための位置決め構造（図示せず）を基板１１１上に設けること（例えば、先に引用された出願Ａ９のように）、導波管１１０，１２０を適切に配置するように、基板１１１と係合するようになった基板１２１上に導波管１２０を設けること、又は、他の手段等である。また、能動位置決め技術が用いられてもよく（機械視覚アセンブリ技術、又は結合された導波管の光学的挙動を監視することによる等）、本発明により提供されると、位置決め許容誤差が緩和されて、より容易かつ経済的に実装されることになる。

【００６３】
図１Ａ、図１Ｂ、及び図１Ｃでは、各進入領域１０２／１０３は、導波管１２０又は導波管１１０とともに示されている。導波管は、それぞれ、最終的に端部に達する前に、左右対称に水平にテーパーがついている。例えば、導波管１１０の孤立モードは、導波管１２０の端部における細い先端の外形により最小限乱されることになる。導波管１２０が進入領域１０２に沿って幅が拡がっているのは、他のシステムモードへの望ましくない光電力伝送を実質的に防止するのに充分に漸進的であることが望ましい（すなわち、幅が断熱的に拡大）。同様に、導波管１１０は、細い先端にて終端する前に進入領域１０３に沿って左右対称にテーパーがついており、そこにおいて、導波管１２０の孤立モードを最小限乱している。図２Ａ、図２Ｂ、及び図２Ｃに、進入領域１０２／１０３の同様の配列を示し、そこでは、導波管は、一方の側からのみ水平にテーパーがついている（同等に傾斜）。図３Ａ、図３Ｂ、及び図３Ｃに、導波管１１０／１２０が、垂直方向にテーパーがついた、すなわち、進入領域１０３／１０２に沿って傾斜した配列を示す。本実施形態では、断熱条件は、他の導波管へと次第に近接してゆくテーパーがついた導波管表面の漸進的な進入により、主に実現している。このような配列は、例示的なものであり、他の多くの配列が、進入領域に沿った断熱条件を維持するために、等価に用いられうる。なお、これらの例及び後続の例における「進入領域」と「接合領域」との分割は、構造あるいは機能上、尖鋭になっている必要はなく、実際には、断熱条件を満たすために、進入領域と接合領域とは、一方から他方へと滑らかに移行することが望ましい。

【００６４】
図４Ａ，図４Ｂ、図４Ｃ、図５Ａ、図５Ｂ、及び図５Ｃに、並列された（すなわち側面接合された）一対の導波管４１０，４２０を模式的に示し、導波管４１０が基板４１１上に図示され、導波管４２０が基板４２１上に図示されている（明瞭にするために、基板４２１は図４Ａ及び図５Ａでは省略されている）。各導波管コア４１２／４２２は、それぞれの導波管の全長方向に沿って接合領域４０１に亘り、幅が変化する（あるいは、高さ、又は両トランスバース方向に、接合領域に沿って等価に変化してもよい。ここには図示せず）。上述の例におけるように、コア寸法が変化すると、導波管の全長に沿ってΔβが対応して変化する。なお、接合領域４０１におけるある点にてΔβ＝０となるように構成されることが望ましい。光信号電力の実質的に完全な伝送は、以下の条件で実現されうる。すなわち、１）接合領域４０１の端部にて｜κ｜＜＜｜Δβ｜、２）κは、接合領域４０１の中央部では実質的に大きい、３）Δβは、接合領域の一端近傍では正であり、他端近傍では負である、という条件である。光電力の実質的に完全な伝送を実現するための位置の許容誤差は、これらの実施形態では、上述の例での記述と同様の場合におけるモード干渉結合の導波管と比較して緩和されており、これらの側面接合の例は、同様の技術を用いて、位置決め／組立されてもよい。

【００６５】
図４Ａ、図４Ｂ、及び図４Ｃでは、各進入領域４０２／４０３は、導波管４２０又は導波管４１０とともに示されている。導波管は、それぞれ、他方の導波管に実質的に接した細い先端における端部に最終的に達する前に、テーパーがついている、すなわち水平に傾斜している。例えば、導波管４１０の孤立モードは、導波管４２０の端部における細い先端の外形により最小限乱されることになる。導波管４２０が進入領域４０２に沿って幅が拡がっているのは、他のシステムモードへの望ましくない光電力伝送を実質的に防止するのに充分に漸進的であることが望ましい（すなわち、幅が断熱的に拡大）。同様に、導波管４１０は、細い先端にて終端する前に進入領域４０３に沿ってテーパーがついており、そこにおいて、導波管４２０の孤立モードを最小限乱している。図５Ａ、図５Ｂ、及び図５Ｃに一配列を示し、そこでは、導波管４１０／４２０は、進入領域４０２／４０３に沿って水平にテーパーがついている、すなわち傾斜しているが、各導波管の細い先端は、他方の導波管から離反して配置されている。本実施形態では、断熱条件は、他の導波管へと次第に近接してゆくテーパーがついた導波管表面の漸進的な進入により、主に実現している。このような配列は、例示的なものであり、他の多くの配列が、進入領域に沿った断熱条

件を維持するために、等価に用いられうる。

【００６６】

図６Ａ及び図６Ｂに、基板６１１上に側面接合（図６Ａ）されるか、あるいは、基板６２１（明瞭にするために図６Ａでは省略）上の導波管６２０に対して表面接合された導波管６１０を示す。これらの各実施形態では、導波管のモード屈折率の変化が、導波管コア６１２／６２２とそれぞれの導波管クラッドとの屈折率の差が軸方向に漸進的に変化することにより、実現している。各導波管では、屈折率差は、一端（導波管６１０／６２０の入力／出力端）にて最大であり、接合領域に亘って実質的にゼロまで減少してもよい。屈折率差の傾斜は、クラッドの屈折率の傾斜から、コアの屈折率の傾斜から、あるいは、両者から発生してもよい。ここに開示された結合導波管の特定の例、又はその等価物は、屈折率分布差型導波管等で実装されてもよい。

【００６７】

図１Ａ乃至図６Ｂの実施形態に示した軸方向モード屈折率の変化は、標準的な空間選択性の材料加工技術を用いて、容易に実現しうる。その技術には、リソグラフィ、蒸着、ドーピング、注入、マスキング、エッチング、光学的焼締（optical densification）、光化学等があるが、それに限定されるものではない。また、これらの技術は、断熱光電力伝送に適合した導波管の１つとともに基板上に他の光学部材を製造するのに、用いられてもよい。それにより、基板上に組み込まれた様々な部材から個々の導波管へと光電力を伝送可能となる。このような外部伝送導波管の使用については、先に引用された出願Ａ８にて、広範に説明されている（そこでは、「外部伝送導波管」は、「外部結合導波管」と称される）。これらの語句は、本説明及び／又は特許請求の範囲の目的については、等価とみなされうるものであり、以下に詳細に説明される。出願Ａ８は、共通の基板上の光学部材に対して端部結合され、別個の伝送導波管に対してモード干渉結合された、外部伝送導波管の使用について、開示している。先に引用された出願Ａ８に開示された方法、装置、及び実施形態の全ては、外部伝送導波管を含めるように修正されてもよい。なお、そうでなければ、外部伝送導波管は、別個の伝送光導波管への実質的に断熱的な光電力伝送に、適合されるものである。従って、製造、組立、及び位置決め許容誤差は緩和されており、このような素子の構築は、それに応じて、難しく、高価で、及び／又は時間がかかるという程度が、より少なくなりうる。

【００６８】

光電力の実質的に断熱的なトランスバース伝送が導波管の位置に依存する度合いは、それぞれの導波管に固有のトランスバース光学モードサイズに関して、最も容易に特徴づけられうる。トランスバース伝送の多くの例では、導波管の充分に正確で高精度の配置は、１つのトランスバース方向（基板に対して垂直又は水平／横）において容易に実現しうる。これは、位置の許容誤差が、導波管固有の対応するトランスバース光学モードサイズにおけるわずかな部分のみ（例えば、位置の許容誤差は、対応するトランスバース方向におけるトランスバースモードサイズの０．５倍未満）であったとしてもである。図１Ａ乃至図３Ｃの例示的な実施形態では、垂直相対配置が、表面接合導波管間、一方の導波管と他方の導波基板上に設けられた支持／位置決め構造との間、及び／又は、各導波基板上の支持／位置決め構造間の機械的接触により、決定される。このような位置決めの正確さは、導波管を製造するために用いられた高精度の材料加工及び処理技術に依存しているので、信頼性及び再現性のある光電力のトランスバース伝送を実現するために充分な正確さ及び精度が提供されうる。垂直トランスバースモードサイズのわずかな部分となる許容誤差内であってもである。同様に、図４Ａ乃至図６Ｂの例示的な実施形態では、導波管を精密加工に加工することにより、側面接合導波管間の機械的結合により、高精度の横又は水平配置が可能となる。水平トランスバースモードサイズのわずかな部分内であってもである。他のトランスバース方向（図１Ａ乃至図３Ｃにおける水平、又は横方向配置、図４Ａ乃至図６Ｂについての垂直配置）における導波管の同様に正確な相対配置は、そのように容易に達成されないことが多い。

【００６９】

しかしながら、実質的に断熱的なトランスバース伝送について、導波管間の実質的に完全な光電力の伝送が、導波管固有の横方向トランスバース光学モードサイズと同じ、あるいはその２倍内の横方向の位置許容誤差内で実現しうることが、実証されている。図４６にて曲線を生成する単純な解析モデルにより示されるように、導波管の相対的なトランスバースオフセット（表面接合導波管については横方向）を基準として、光電力伝送の度合いにおける変化は、実質的に断熱トランスバース伝送のかなりの範囲に亘って平坦である。モード干渉結合トランスバース伝送及び端部伝送についての光電力伝送の対応する度合いは、トランスバース位置でより急激に変化する。このような計算（単純な解析モデルに基づく）は、幅が約５μｍで厚さが約３μｍの導波管コアで、約１μｍのクラッドにより垂直配置され、コア屈折率が約１．５でクラッド屈折率が約１．４５となったものに基づいている。コアの幅は、断熱の場合については、約７５０μｍの接合領域に亘って約２０％変化する。導波管の横方向オフセットが、横方向トランスバースモードサイズの約±０．３倍で最大電力伝送位置から離れていると、端部結合電力伝送（通例、空間モード不整合により制限される）について実現可能な最大電力伝送と比べて、約０．５ｄＢのトランスバースオフセット光学伝送損失がもたらされる。トランスバースモードサイズは、ここに、強度についての１／ｅ^{2}半値幅として定義され、平方二乗平均モードサイズは、異なるサイズの光学モードに導波管が対応している場合、関連したモードサイズである。モード干渉結合の場合についての光接合長は、導波管が適切に屈折率適合しているという前提で、実質的に完全な光電力伝送がもたらされるように、選択される。モード干渉結合トランスバース伝送については、横方向の導波管オフセットが、横方向トランスバースモードサイズの約±０．７倍であることにより、相似の０．５ｄＢトランスバースオフセット伝送損失がもたらされる（最大達成可能トランスバース伝送と比較して。原則的に、実質的に完全な光電力伝送）。トランスバースオフセット伝送損失は、約０．５ｄＢ未満にとどまり、断熱トランスバース伝送のトランスバースモードサイズの約１．５倍の横方向オフセットについては、実質的に平坦である。トランスバースオフセット伝送損失は、トランスバースオフセットの特定の許容可能な範囲内（この例における１００％の伝送の０．５ｄＢ内）に残ったものとして、特徴づけられる。

【００７０】

これらの値は、光電力のトランスバース伝送用に用いられる導波管の特定の形状、用いられているコア及びクラッド材料、並びに結合定数κのサイズに、依存している。また、モード干渉結合トランスバース伝送についてのオフセット許容誤差も、要求された相互作用長が実現される精度に依存している。断熱トランスバース伝送については、オフセット許容誤差も、光接合領域の長さ、並びに、接合領域における導波管に沿ったκ及びΔβの変化に、依存している。結合定数κの比較可能値については、断熱トランスバース伝送に関し、モード干渉結合トランスバース伝送に要求されるものよりも５倍長い光接合領域にて、図４６の結果が達成されている。より大きな横方向オフセットは、導波管に沿って実質的に断熱条件が維持されるように配慮されるとして、断熱トランスバース伝送用の長い接合領域であっても、及び／又はκ値が増加しても、許容可能である。

【００７１】

アスペクト比が大きな導波管を用いることにより、断熱トランスバース伝送が示すトランスバースオフセット強度が増大しうる。図４７に、薄膜型コアの表面接合導波管間の光電力伝送につき、数値モデル化された曲線及び測定データを示す。各導波管は、約２５０μｍの光接合領域長に亘って幅が約２．２μｍから約０．５μｍへと減少してゆくコアを有する。コアは、厚さが約０．１３μｍで、約０．８μｍのクラッドにより垂直に区切られており、コアの屈折率が約２．０で、クラッドの屈折率が約１．４５である。コアは幅が約１．４μｍであり、それによる光学モードサイズは、横方向においてΔβが光接合領域にて０となる点で約０．７μｍである。トランスバースオフセット光電力伝送損失は、横方向オフセットが±１．５μｍの領域に亘って約０．５ｄＢ未満（そして実質的に平坦）、あるいは、対応するトランスバース光学モードサイズの約±２倍にとどまる。

【００７２】

光電力のモード干渉結合トランスバース伝送を実質的に用いている、ここに説明された様々な光接合については、トランスバースオフセット光電力伝送損失は、少なくとも、個々の導波管に固有の対応するトランスバース光学モードサイズの約±０．５倍のトランスバースオフセットにつき、約０．５ｄＢ未満にとどまることが望ましい。光電力の断熱トランスバース伝送を実質的に用いている、ここに説明された様々な光接合については、トランスバースオフセット光電力伝送損失は、望ましくは、個々の導波管に固有の対応するトランスバース光学モードサイズの約±１倍、最も望ましくは、少なくとも、対応するトランスバース光学モードサイズの約±１．５倍につき、約０．５ｄＢ未満にとどまるとよい。光電力の断熱トランスバース伝送を実質的に用いている、ここに説明された様々な光接合については、「平坦」として特徴づけられるトランスバースオフセット光電力伝送損失は、望ましくは、少なくとも対応するトランスバース光学モードサイズの約±１倍、最も望ましくは、少なくとも、対応するトランスバース光学モードサイズの約±１．５倍につき、望ましくは、公称伝送損失が±０．５ｄＢ以内に、最も望ましくは±０．３ｄＢ以内にとどまるとよい。図４７に示す実験及び数値データにより、これらの条件が容易に実現しうることが示されている。

【００７３】

本発明による位置決めの影響を受けない光接合を実装した導波管は、より標準的な導波管構造（すなわち、導波管、光ファイバ、又は、当初は軸方向に実質的に変動がないコア及び／若しくはクラッド特性を有する同様の構造）を機械的に修正することにより、提供されてもよい。標準的な導波管を非常に浅い角度でエッチング又は研磨することにより、軸方向にモード屈折率が変化する傾斜した結合領域が、形成されてもよい。このようにエッチング又は研磨された面を他の導波管に対向配置することにより、終端条件が合致するならば、導波管間の実質的に断熱な光電力伝送が可能となる。側面及び表面接合例を、図７Ａ及び図７Ｂ（側面接合）及び図８Ａ及び図８Ｂ（表面接合）に示す。基板７１１上のコア７１２を含む導波管７１０は、浅い角度でエッチングされている（例えば、約０．５°、その結果、５μｍ幅の導波管について約６００μｍの接合領域となる。なお、他の角度及び接合領域長が用いられてもよい）。基板７２１上のコア７２２のある第２の導波管７２０（明瞭にするために図７Ａでは省略）は、同様にエッチング又は研磨されて、図示のように導波管７１０に対して配置され、望ましくは、導波管のエッチング／研磨面が当接するとよい。上述の実施形態におけるように、断熱光電力伝送の性質により、導波管７１０，７２０の広範な相対位置について、導波管間における信号電力の実質的に完全な伝送がもたらされる。従って、受動的及び／又は低精度の組立／位置決め技術が、上述のように、装置を構築するために、容易及び／又は経済的に実行されうる。クラッド層が任意の厚さでよく、クラッドが厚いと、一方の導波管の孤立モードの乱れは、他方の導波管の細い先端形状により減少するため、実質的に漸進的な進入条件が、容易に実現しうる。

【００７４】

導波管間の実質的に完全な光電力の伝送を保障するのに役立つ一方法として、ここまでに提示された実施形態の場合のように、２つの実質的に同一の導波管（無論、モード屈折率の傾斜が逆）を用いるということがある。このことにより、接合領域内にΔβ＝０の点があり、Δβは接合領域の両端部にて符号が逆になること）実質的に位置決めの影響を受けない、実質的に完全な断熱光電力伝送のために必須の条件）が保障されるので、設計工程が簡略化される。また、このような対称の配置により、入力終端条件が満たされれば、出力終端が同様に満たされることも、保障される。しかしながら、ここに開示及び／又は特許請求された発明の概念から離れることなく、位置決めの影響を受けない断熱光電力伝送を用いた光接合装置及び方法が、異なる導波管を用いて実装されてもよい。このような導波管は、一般的な型が同じであって、サイズ、材料、屈折率、軸方向の傾斜等が異なるものであってもよい。その代わりに、導波管は、適切な終端及び断熱条件が実質的に満たされている限り、実質的に異なる型であってもよい。特に、両導波管が、軸方向モード屈折率の傾斜を有する必要はないことに、留意されたい。一方又は双方の導波管に軸方向モード屈折率の傾斜がある断熱トランスバース伝送が、本発明の方法及び装置に実装されても

よい。

【００７５】

図９Ａ、図９Ｂ、及び図９Ｃでは、浅い角度で研磨されて軸方向に変化するモード屈折率を有する傾斜した領域ができた、コア９２２のある光ファイバ９２０が示されている。例えば、コア径が約８μｍで研磨角度が約０．５°の単一モード光ファイバにより、約１ｍｍの接合領域が形成されてもよい。なお、他の角度及び接合領域長が用いられてもよい。基板９１１上のコア９１２のある導波管９１０に対して表面接合された光ファイバ９２０が、図示されている。また、側面接合が用いられてもよいが、光ファイバ９２０のクラッド径による機械的な不都合があるであろう。モード屈折率の軸方向の変化がない導波管９１０が、図示されている。導波管９１０のモード屈折率は、ファイバ９２０のクラッド層の屈折率よりも大きく、ファイバ９２０全体（完全なコア９１２と完全なクラッド）のモード屈折率未満となっているべきである。その代わりに、導波管９１０には、図１乃至図８Ｂに示したものを含む任意の適切な様式で、軸方向に変化したモード屈折率が付与されてもよい。

【００７６】

図１０Ａ、図１０Ｂ、図１１Ａ、図１１Ｂ、図１２に、光ファイバのテーパー部、及び実質的に断熱的な光電力伝送に適合した様々な導波管を示す。図１０Ａ及び図１０Ｂでは、テーパー部１０２０は、導波管１０１０に対して、断熱的に表面接合（図１０Ａ）又は側面接合（図１０Ｂ）されており、導波管１０１０は、軸方向にテーパーがついたコア１０１２を含んでいる。導波管１０１０のモード屈折率は、テーパー部１０２０のモード屈折率よりも大きいことが望ましく、導波管１０１０のクラッドの屈折率は、テーパー部１０２０のモード屈折率未満であることが望ましい。図１１Ａ及び図１１Ｂでは、テーパー部１１２０は、導波管１１１０に対して、断熱的に表面接合（図１１Ａ）又は側面接合（図１１Ｂ）されており、導波管１１１０は、軸方向に屈折率差の傾斜があるコア１１１２を含んでいる。導波管１１１０のモード屈折率は、テーパー部１１２０のモード屈折率よりも大きいことが望ましく、導波管１１１０のクラッドの屈折率は、テーパー部１１２０のモード屈折率未満であることが望ましい。図１２に、側面エッチング（又は側面研磨）された傾斜した導波管１２１０に対して断熱的に側面接合された光ファイバのテーパー部１２２０を示す。また、表面接合には、エッチングされた導波管及びテーパー部が用いられてもよいが、機械的な不都合があるであろう。導波管１２１０のモード屈折率は、テーパー部１２２０のモード屈折率よりも大きいことが望ましく、導波管１２１０のクラッドの屈折率は、テーパー部１２２０のモード屈折率未満であることが望ましい。なお、これらの実施形態にて断熱光電力伝送接合を形成したように図示された光ファイバのテーパー部１０２０／１１２０／１２２０の部分は、光ファイバのテーパーの実質的に直線状の中央部であることが望ましく、通例、テーパー部に沿った軸方向位置に対して実質的に一定の直径及びモード屈折率を有する。軸方向に変化する直径及び／又は屈折率を有する光ファイバのテーパーの部分を用いて、断熱光電力伝送素子を構築することが、望ましい。

【００７７】

図１０Ａ乃至図１２の実施形態のいずれにおいても、導波管１０１０／１１１０／１２１０は、基板１０１１／１１１１／１２１１上に配置されてもよく、そこにおいて、他の光学部材と一体化されてもよい。先に引用された出願Ａ９に記述された型の位置決め構造が、光ファイバのテーパー部１０２０／１１２０／１２２０を導波管に対して位置決めするのに、用いられてもよい。断熱光電力伝送の性質により、光ファイバのテーパー部と導波管との間の光電力の伝送は、光ファイバのテーパー部の数マイクロメートルの範囲内の高精度の位置決めに関して実質的に影響を受けないことが、保証される。光ファイバのテーパーと導波管との間の実質的に断熱的な光電力伝送を用いた素子の構築は、それに応じて、導波管に対してモード干渉結合された光ファイバのテーパーが組み込まれた類似の素子よりも、困難でなくなり、高価でなくなり、及び／又は時間がかからなくなりうる。それでも、モード干渉結合素子が用いられてもよく、以下に説明するある種の環境下では、好適なものとなりうる。

【００７８】
図１３Ａ、図１３Ｂ、図１４Ａ、図１４Ｂ、図１５Ａ、図１５Ｂに、いわゆる「フリップチップ」構造及び平面導波管を用いた断熱光電力伝送用の光導波管のアセンブリを示す。図１３Ａ及び図１３Ｂに、テーパーのついた導波コア１３１２ａ，１３１２ｂをそれぞれ有する平面導波管１３１０ａ，１３１０ｂを含んだ、基板１３１１上の平面導波回路の一部の平面図及び側面図をそれぞれ示す。明瞭にするためにトランスバース方向の双方にテーパーがついたテーパー付のコア１３１２ａ，１３１２ｂが、図示されている。なお、テーパーは、軸方向屈折率差の傾斜にて、あるいは、接合領域に沿ってモード屈折率を軸方向に変化させるための任意の他の適切な形態にて、１つのトランスバース方向にのみつけられてもよい。基板１３１１には、位置決めガイド１３１５及び電気接点１３１６が設けられている。平面導波回路は、光学部材を受けて、そこに対して導波管１３１０ａ／１３１０ｂを通じて光電力を送受するように、適合している。図１４Ａ及び図１４Ｂに、基板１３２１上の光学素子１３２４の側面図及び底面図をそれぞれ示す。素子１３２４は、任意の所望の種類の能動又は受動素子であってもよい。また、外部伝送導波管１３２０ａ，１３２０ｂは、基板１３２１上に配置されおり、先に引用された出願Ａ８（そこでは、外部伝送導波管は、外部結合導波管と称され、その用語は、書面による本説明及び／又は特許請求の範囲の目的に関して、等価とみなされうる）に開示された様式にて、素子１３２４に対して端部結合されている。外部伝送導波管１３２０ａ／１３２０ｂには、コア１３２２ａ／１３２２ｂが（それぞれ）設けられ、その各々が、上述のような任意の適切な様式にて提供された軸方向に変化するモード屈折率を有する。光学素子１３２４には、接点１３１６と係合させるための電気接点１３２６が設けられてもよい。

【００７９】
図１５Ａ及び図１５Ｂに、導波基板１３１１と組み合わされた基板１３２１上の素子１３２４の平面図及び側面図を、それぞれ示す。位置決めガイド１３１５は、素子基板１３２１におけるリソグラフで規定された位置決めエッジを、外部伝送導波管１３２０ａ／１３２０ｂを平面導波管１３１０ａ／１３１０ｂ（それぞれ）での断熱光電力伝送のために配置するように、係合させる。リッジ、エッジ、タブ、スロット、ピン、フランジ、噛合歯、光学ターゲット等、位置決めガイドの他の多くの形態が、等価に用いられてもよい。但し、それらに限定されるものではない。従って、光学信号は、平面導波管から素子へと実質的に完全に伝送され、その素子による作用を受けた後、他の平面導波管へと実質的に完全に伝送される。その代わりに、素子１３２４から発せられた光信号電力は、外部伝送導波管１３１０ａ／１３１０ｂへと伝送されてもよい。断熱トランスバース伝送では許容誤差が緩和されているので、光学素子は、実質的に、短時間、低コスト、及び／若しくは難しくなく、並びに／又は、素子の歩留まりを向上させながら、平面導波システムへと容易に挿入可能である。特に、許容誤差が緩和されているので、図１５Ａ及び図１５Ｂに例示されているように、複数の導波管がある光学素子を同時に位置決めすることが可能となる。このように同時に位置決めすることは、端部結合やモード干渉結合では実現が非常に困難であった。図１３Ａ及び図１３Ｂに示すような複数の素子の位置が、単一の導波基板上に提供されてもよく、それにより、図１４Ａ及び図１４Ｂに示す様式で提供されている複数の光学素子を容易に組み合わせられるようになる。

【００８０】
先に引用された出願Ａ８に開示された方法及び装置のいずれかは、外部伝送導波管（先に引用された出願Ａ８では、外部伝送導波管は、外部結合導波管と称されている。その用語は、本発明の書面での説明及び／又は特許請求の範囲の目的について、等価とみなされうる）としてここに開示されたように、実質的に断熱的な光電力伝送に適合した導波管を用いて実装されてもよい。断熱光電力伝送により提供された位置決め許容誤差の緩和により、さらに、出願Ａ８による外部伝送導波管により提供される利益が強化される。

【００８１】
図１６Ａ、図１６Ｂ、図１７Ａ、図１７Ｂ、図１８Ａ，及び図１８Ｂに、平面導波ガイドシステムと光ファイバとの間の実質的に断熱的な光信号伝送に適したアセンブリを示す。

図１６Ａ及び図１６Ｂは、それぞれ、光ファイバへの実質的に断熱的な光信号伝送に適した平面導波基板１６１１の一部の平面図及び側面図である。導波管１６１０は、基板１６１１上に、テーパー付きコア１６１２とともに設けられていてもよい。テーパー付きコア１６１２によりもたらされる軸方向に変化したモード屈折率は、一方又は双方のトランスバース方向にテーパーがついたコア、屈折率分布差型コア、又は他の適切な形式等、他の適切な構造によりもたらされてもよい。基板１６１１には、位置決めガイド１６１５が設けられている。図１７Ａ及び図１７Ｂは、それぞれ、傾斜したＶ字ブロック１６２１内に配置された、傾斜研磨された光ファイバ１６２０の側面図及び底面図である。ブロック１６２１の傾斜したＶ字溝１６２３は、光ファイバ１６２０を適切な傾斜角に研磨するのに用いられることが望ましく、導波管１６１０に対してファイバ１６２０及びコア１６２２の傾斜した端部を配置するのに用いられる。

【００８２】

図１８Ａ及び図１８Ｂは、それぞれ、ブロック１６２１と組み合わされた平面導波基板１６１１の平面図及び側面図である。位置決めガイド１６１５は、ブロック１６２１におけるリソグラフで規定された位置決めエッジを、ファイバ１６２０の研磨部分をテーパー付のコア１６１２を基準としてそこでの断熱光電力伝送のために配置するように、係合させる。リッジ、エッジ、タブ、スロット、ピン、フランジ、噛合歯、光学ターゲット等、位置決めガイドの他の多くの形態が、等価に用いられてもよい。但し、それらに限定されるものではない。断熱トランスバース伝送では許容誤差が緩和されているので、光ファイバは、実質的に、短時間、低コスト、及び／若しくは難しくなく、並びに／又は、素子の歩留まりを向上させながら、平面導波システムへと容易に挿入可能である。本発明による装置及び方法は、光学部材又はサブアセンブリと、他の２つ以上の光導波管、素子、及び／又はサブアセンブリとの組立／位置決めに、特に良好に適することにもなる。

【００８３】

本発明の範囲内にある限り、様々な型の導波管が、実質的に断熱的な光電力伝送に適合した導波管として用いられてもよい。コア及び低屈折率のクラッドを含む低屈折率誘電体導波管は、実質的に光電力伝送に適した好適な導波管となりうる（そして図に示されている）。このような導波管は、シリカベース材料を使用して、精密材料加工技術を用いて、製造されてもよい。それによりもたらされる導波管は、シリカベースの光ファイバテーパー部又は傾斜研磨光ファイバへの断熱的な光電力伝送用に、容易に用いられうる。他の導波材料及び／又は構成が、等価に用いられてもよく、断熱光電力伝送の効用を変化及び／又は向上させるのに用いられる導波管の特性が多様となる。ケイ酸ゲルマニウムは、導波管又はファイバコア材料として一般に用いられ、本願におけるコア材料としても適している。また、窒化ケイ素（Si_xN_y）及び／又はシリコンオキシニトリド（SiO_xN_y）も、断熱トランスバース伝送に適した導波管のコアを形成するための好適な材料となりうる。導波管は、導波管の光学モードの閉じ込めが以下により影響されるところに、用いられる。すなわち、低屈折率のクラッド層に囲まれた１つ又はそれ以上の導波管コア、分散ブラッグ反射器、他の多層反射器、光バンドギャップ／光結晶ベース技術、金属反射コーティング、誘電体反射コーティング、及び／又は内部反射、空気／導波管境界に影響されるところにである。コアのある導波管には、単一コアやマルチコアがあり、後者は、対応している孤立又はシステムモードの分布を変更するために用いられうる（いわゆる「フィールド平坦化」であり、それにより、組み合わされた光学素子の位置決め感度をさらに低下させる）。導波管材料としては以下のものの１つ又はそれ以上がある。すなわち、シリカ、ケイ酸ゲルマニウム、及び／若しくは他のドープシリカ、又はシリカベース材料や、窒化ケイ素、及び／又はシリコンオキシニトリドや、半導体材料や、有機材料や、無機材料や、結晶性材料や、ガラス状材料又はアモルファス材料や、高分子材料や、電子光学材料や、他の低屈折率又は高屈折率誘電体材料等がある。但し、それに限定されるものではない。低屈折率誘電体材料（例えば、シリカ、ケイ酸ゲルマニウム、窒化ケイ素、及び／又はシリコンオキシニトリドベース）及びシリカベース光ファイバ（傾斜研磨及び／又はテーパー付）は、本発明による断熱光電力トランスバース伝送のために、特に、適切な導波管

とされている。このような導波管は、断熱光電力伝送性能について、波長又は偏向にほとんど依存しないか、あるいは全く依存しないこととなり、このことは、本発明による実質的に断熱的な光電力伝送に適合した導波管を用いた様々な光学素子について、望ましいことにもなる。また、先に引用したＡ１及びＡ１０に開示された多層導波管は、実質的に断熱的な光電力伝送に適合した導波管として使用するのに、場合によっては望ましい候補である。このような導波管は、断熱光電力トランスバース伝送性能について、波長及び／又は偏光に実質上依存することになり、このことは、様々な光学素子にとって望ましいものともなる。実質的に断熱的な光電力トランスバース伝送に適合した導波管に、電子活性及び／又は非線形光学材料を組み込むことにより、導波管の性能を動的に制御することが可能となる。

【００８４】

図示した例示的な実施形態では、断熱光電力伝送に適合した導波管（又はそのコア）は、終端して示されており、図示の実施形態については、いずれも、導波管間における光信号電力の実質的に完全な伝送が望まれる状況に使用することが意図されている。導波管（又はコア）は、このような実施形態にて必ずしも終端する必要はなく、導波管及び／又はコアが終端しない実施形態も、ここに開示及び／又は特許請求される本発明の範囲内に入る。また、ここに開示及び／又は特許請求される本発明の範囲内に入る限り、断熱光電力伝送に適合した導波管が、導波管間の光信号電力の完全とはいえない伝送に用いられてもよい。

【００８５】

断熱光電力伝送に適した導波管の製造には、精密材料加工技術が役立てられてもよい。このことは、このような導波管が、同様の技術を用いて製造された他の光学部材及び／又は素子上に組み込まれて設けられる場合に、特に有利である。これらには、リソグラフィ、蒸着、ドーピング、マスキング、エッチン等の精密及び／又は空間選択的材料加工技術が、含まれてもよい。このような技術は、光学素子、部材、及び／又は導波管が集積された多数のグループを同時に製造するために、ウエハ規模で実施されてもよい。特に、先に引用された出願Ａ８に開示されたように、外部伝送導波管として光学素子に用いられる断熱光電力伝送に適合した導波管は、これらの技術を用いてウエハ規模で製造されることが、望ましい。

【００８６】

外部伝送光導波管を基板上に製造された光学素子と伝送光導波管との間のリンクとして用いることは、強力な技術であり、先に引用された出願Ａ８及びＡ１１にて採用されている。ウエハ規模の製造が、伝送導波管との光接合を提供するための光学的に統合された外部伝送光導波管を有する多くの光学素子を同時に製造するのに、用いられてもよい。精密材料加工技術により、各光学素子及びそれぞれの光電力伝送用の外部伝送光導波管を、適切に位置づけて位置決めすること（すなわち、端部伝送又はトランスバース伝送のための光集積）が、容易に可能となる。外部伝送光導波管と光学プローブとして構成された伝送光導波管との間の光電力トランスバース伝送（例えば、先に引用された出願Ａ３のように）により、ウエハを個々の素子に分割するという、困難で、時間がかかり、費用がかかる工程の前に、基板上の光学素子を検査及び格付することが可能となる。

【００８７】

光電力トランスバース伝送について（特に、実質的に断熱的なトランスバース伝送について）位置決め許容誤差が緩和されることにより、外部伝送光導波管と伝送光導波管とを適切に配置して位置決めすることが、容易に可能となる。断熱トランスバース伝送は、光電力の実質的に完全な伝送が求められている場合、及び／又は、実質的に、偏光及び／又は波長独立の伝送がもとめられているときに、特に適切であり、一般に、ここに説明する光電力伝送技術の最小の位置決め許容誤差を提供する。なお、光接合領域は、かなり長くともよく、長さが１ミリを超えてもよいが、全体の素子サイズを増大させてしまう。モード干渉結合トランスバース伝送は、偏光及び／又は波長依存の伝送が求められているとき、光電力伝送の動的制御が求められているとき、光電力伝送の度合いを変化させることが求

められているとき、及び／又は、短い光接合領域（１００μｍ未満）及び小サイズが求められていときに、特に適切となりうる。

【００８８】

図１９Ａ、図１９Ｂ、図１９Ｃ、及び図１９Ｄに、本発明による光学素子１９１０と光電力の伝送に適合した外部伝送光導波管１９３０がある伝送光導波管１９２０との一般的な例を、模式的に示す。通例、光学素子１９１０は、幅がわずかに数マイクロメートルの空間的光学モード１９１１を規定しうる。このような素子対応モードは、水平寸法と垂直寸法とで異なってもよく、高さが１マイクロメートル未満となることもある。一般に、従来の光学素子の端面は、一般に、材料の劈開端面を含んでいる。なお、その材料から素子が製造され、その材料を通じて光信号電力が伝送されることになる。本発明により実装された光学素子については、端面１９１４は、壁解されるのではなく、エッチングされてもよる。素子基板１９０２上に外部伝送光導波管１９３０を製造するために、さらなる材料加工工程（リソグラフィ、蒸着、マスキング、エッチング等）が用いられてもよい。精密材料加工技術により、素子１９１０により規定される空間モード１９１１に対する素子基板１９０２上の外部伝送光学導波管１９３０の製造及び位置決めにおいて、サブミクロンの許容誤差が容易に可能となる。外部伝送工学導波管１９３０は、素子１９１０により規定された光学モード１９１１に対して実質的に空間モード適合した光学モード１９３１（孤立時に、実質的に導波管１９３０の特性）に対応するように、製造されることが望ましい。この空間モード適合の結果として、光電力は、光学素子１９１０と外部伝送光導波管１９３０との間で、効率的に伝送されてもよい。その代わりに、光電力は、光学素子と外部伝送光導波管との間で、端部伝送及びトランスバース伝送（断熱又はモード干渉結合）等の任意の適切な方法により、伝送されてもよい。光学素子と外部伝送光導波管との間の光電力伝送のために、どのような手法が用いられても、光学素子及び外部伝送光導波管の共通の基板上における製造／組込により、高精度の位置決め及び効率的、再現可能、並びに信頼性のある光電力伝送が可能となる。

【００８９】

外部伝送光導波管１９３０には、トランスバース伝送光接合部１９３４が設けられて、光学素子１９１０と伝送光導波管１９２０との間の光信号電力の伝送が可能となる。好適な伝送光導波管としては、トランスバース伝送用のテーパー部を有する光ファイバ、基板上に製造されてトランスバース伝送光接合部を有する平面導波管若しくは平面導波回路、側面エッチングされたトランスバース光接合部を有する光ファイバ若しくは光導波管、又は、適切に適合したトランスバース伝送光接合部を有する適切な伝送光導波管等が含まれうる。伝送光導波管は、光学モード１９２１（孤立時の導波管１９２０の特徴）に対応していてもよい。外部伝送光導波管１９３０のそれぞれの光接続部１９３４／１９２４、及び伝送光導波管１９２０は、モード干渉結合光電力トランスバース伝送（図１９Ａ及び図１９Ｂに模式的に図示）に適合していてもよく、実質的に断熱的な光電力トランスバース伝送（図１９Ｃ及び図１９Ｄに模式的に図示、図１９Ｄにおける基板１９２２上に伝送導波管１９２０を図示）に適合していてもよい。接合領域１９２４／１９３４におけるその部分／近傍の光学モードは、孤立導波モード１９２１／１９３１の重ね合わせに似ていてもよく、孤立導波モード又はその重ねあわせには特に似ていないシステムモードであってもよい。

【００９０】

伝送導波管１９２０の光接合部１９２４は、外部伝送光導波管１９３０の光学モードと伝送光導波管１９２０の光学モード１９２１との間の光電力のトランスバース伝送を実現するように、外部伝送光導波管１９３０の光接合部１９３４を基準として配置されてもよい。光接合部１９２４及び／又は１９３４の構造、寸法、及び／又は位置は、光電力の効率的な伝送のために結合係数κ及び相互作用長Ｌの適切な組み合わせを提供することにより、実質的にモード屈折率が適合したトランスバース伝送を実現するように、選択されてもよい。その代わりに、光接合部１９２４及び／又は１９３４の構造、寸法、材料、及び／又は位置は、適切な結合係数κ（ｚ）の軸方向変化及びモード屈折率不整合Δβ（ｚ）を

提供することにより、実施的に断熱トランスバース伝送を実現するように、選択されてもよい。位置決め構造は、外部伝送光導波管の光接合部を基準として伝送光導波管の光接合部を受動的に位置決め可能とするように、光学素子上に提供されてもよい。

【００９１】

図２０Ａの実施形態及び以降の多くの図に、光学素子と伝送光導波管との間の外部伝送光導波管を通じた光電力トランスバース伝送に適した構成を、一般的に示す。これらの図に示した実施形態は、いずれも、外部伝送光導波管と伝送光導波管との間のモード干渉結合又は実質的に断熱的なトランスバース伝送に適合していてもよく、特に明記されない限り、両構成を含むものとみなされるべきである。

【００９２】

外部伝送光導波管によって伝送光導波管に対して接続された光学素子の例を、図２０Ａ乃至図２０Ｈに示す。アクティブ層２０１６及びクラッド層２０１８により規定された素子光学モードを有する標準的なエッジ放射半導体レーザ２０１０が、示されている。レーザは、面２０１３，２０１４にて終端しており、望ましくは、素子のエッチングにより形成されている。外部伝送光導波管２０３０は、半導体レーザ２０１０と同じ基板２０２０上に製造されている。外部伝送導波管２０３０は、半導体レーザ出力の空間モードと実質的に空間モード整合した光学モードに対応するように、公正及び配置されてもよい。個々の部材を能動的に位置決めすることにより実現可能なものよりも、はるかに精密なレーザ出力に対して、外部伝送光導波管２０３０を位置決めするために、高度な精密材料加工技術（リソグラフィ、蒸着、マスキング、エッチング等）が、用いられてもよい。自動調整工程を含みうるこのようなシステムは、半導体レーザ２０１０を製造するのに用いられる技術と同一又は同様であることが多く、ウエハ規模の工程の際に、光学的に統合された精密位置決めされた多数のレーザ／導波管素子を同時に製造するためのスケールになっていてもよい。

【００９３】

レーザ２０１０及び外部演奏光導波管２０３０は、単一のマルチステップ製造工程間に、あるいは、別個のレーザ及び導波管製造工程間に、製造されてもよい。レーザ２０１０，２０３０は、同様の材料（例えばいずれも半導体ベース）で、あるいは、異なる材料（例えば半導体ベースのレーザとシリカベースの導波管）で、製造されてもよい。レーザ２０１０と導波管２０３０との境界は、はっきりしていても段階的であってもよい。なお、光学素子と外部伝送光導波管との区別は、機能的及び／又は構造的なものであってもよい。これらのいずれの場合にも、レーザ２０１０により発せられた光電力は、半導体レーザ２０１０の面２０１４を通じて外部伝送光導波管２０３０へと、効率的に端部伝送される。面２０１４を形成するのに、エッチングが用いられてもよい。その代わりとして、光電力の端部伝送に適合した面２０１４を形成するのに、他の任意の適切な空間選択材料加工技術が用いられてもよい。レーザの切子面２０１３上に、及び／又は、レーザの端面と外部伝送導波管の切子面２０１４との間に、１つ又はそれ以上の光学被覆層を設けることが望ましい。このようなレーザの端面上の光学被覆は、端面とレーザの動作特性との反射率を変更及び／又は制御する役割を果たす。レーザの端面２０１４上の任意の光学被覆は、外部伝送導波管２０３０の製造前に施されてもよく、あるいは、製造後、端面２０１４と導波管２０３０との間に形成されてもよい。なお、レーザ２０１０へのフィードバックを低減させるとともに、レーザ２０１０と外部伝送導波管２０３０との間の効率的な端部伝送を可能とするために、切子面２０１４を傾斜した端面として提供すること、及び、外部伝送導波管２０３０に、傾斜端面を相補的に傾斜させて設けることが望ましい。

【００９４】

その代わりに、光学素子及び対応する外部伝送光導波管は、そこでの光電力のトランスバース伝送のために、配置されて位置決めされてもよい。上述の精密製造技術は、光学素子と外部伝送光導波管との間の効率的な光電力トランスバース伝送を実現するために、用いられてもよい。光電力は、一旦、外部伝送光導波管２０３０へと伝送されると、トランスバース伝送（図２０Ａ乃至図２０Ｄに、モード干渉結合トランスバース伝送に適合したも

のとして図示、図２０Ｅ乃至図２０Ｈに、断熱トランスバース伝送に適したものとして図示）により、伝送及び外部伝送光導波管２０２０／２０３０のそれぞれの光接合部２０２４／２０３４にて、伝送光導波管２０２０（これらの例における光ファイバのテーパー部）へと伝送されてもよい。これらの例示的な素子では、外部伝送光導波管２０３０は、低屈折率のクラッド層２０３８に囲まれたコア２０３６を含む低屈折率光導波管（シリカ、ケイ酸ゲルマニウム、窒化シリコン、シリコンオキシニトリド、他のガラス、ポリマー等を含む）を、備えていることが望ましい。このような低屈折率導波管は、モード屈折率が適合したトランスバース伝送（図２０Ａ乃至図２０Ｄ）について、シリカベースの光ファイバの光ファイバテーパー部２０２０に対して（通例、光接合部のトランスバース形状／寸法を適切に設計することにより）、受動的にモード屈折率適合していてもよい。レーザ２０１０に対する空間モード整合に必要な外部伝送光導波管２０３０のトランスバース形状／寸法と、光ファイバのテーパー部２０２０に対するモード屈折率整合とが、実質的に異なる場合、外部伝送導波管２０３０は、異なる形状／寸法間での実質的に断熱的な伝送が可能となるように、実質的に長く作製される。その代わりに、外部伝送光導波管は、電子活性及び／又は非線形光学材料並びに電子及び／又は光学制御信号を用いることにより、能動モード屈折率整合に適合していてもよい。光ファイバのテーパー部２０２０は、外部伝送光導波管２０３０を基準として位置決めされて、結合係数κにより特徴づけられる（また、外部伝送光導波管２０３０の光接合部２０３４のトランスバース形状／寸法による部分にも規定された）モード干渉結合トランスバース伝送が実現されてもよい。外部伝送光導波管２０３０及び光ファイバのテーパー部２０２０の光接合部２０３４，２０２４は、それぞれ、結合係数κ及び相互作用長Ｌが、κＬ　π／２となるように構成されることが望ましい。それにより、外部伝送光導波管から光ファイバへと光電力が実質的に完全に伝送されるという結果になる。

【００９５】

図２０Ｅ乃至図２０Ｈの例示的な実施形態では、実質的に断熱的なトランスバース伝送が、上述の方法のいずれかにおける光接合領域２０２４／２０３４間に用いられてもよい。他の例示的な実施形態では、光ファイバのテーパー部２０２０の代わりに、他の型の伝送光導波管が用いられてもよい。例えば、光電力トランスバース伝送は、外部伝送光導波管２０３０と平面導波管との間に、確立されてもよい。

【００９６】

光電力伝送の所望の度合い（通例、実質的に完全な伝送が望まれる）を実現するように配置されるべき、モード干渉結合又は実質的に断熱的なトランスバース伝送を用いた、伝送光導波管２０２０及び外部伝送光導波管２０３０の光接合部２０２４／２０３４の精度について、以下、詳細に説明する。正確なトランスバース位置決めは、基板内及び／又は基板上に、伝送光導波管（この例では光ファイバのテーパー部）の光接合部を、外部伝送光導波管の光接合部を基準として適切に位置決めされた位置に案内して、それにより位置決めを維持するための、溝、フランジ、ポスト、タブ、スロット、ヨーク、ハンダ／金属面張力等の位置決め構造を設けることにより、容易になるかあるいは可能となりうる。光ファイバの部分（光信号を搬送する光ファイバとは別）は、光ファイバのテーパー又は他の伝送導波管を位置決めして支持するための構造部材として用いられてもよく、リング、溝、フランジ、及び／又はナイフエッジを作製してもよい。図２０Ｃ／２０Ｄ及び図２０Ｇ／２０Ｈに、光ファイバのテーパー部２０２０を外部伝送導波管２０３０を基準として位置決めするための、例示的な位置決め構造２０６０を示す。他の同様な位置決め構造が、先に引用した出願Ａ９に開示されている。

【００９７】

モード干渉結合トランスバース伝送については、外部伝送光導波管２０３０の光接合部２０３４は、外部伝送光導波管２０３０から伝送光導波管２０２０への実質的に完全な光電力伝送（又は他の所望の光電力伝送レベル）のために、適切な相互作用長Ｌがもたらされるように、構成されてもよい。相互作用長は、レーザ２０１０と光接合部２０３４との間の外部伝送光導波管２０３０に曲げを与えることにより決定され、曲げを越えた外部伝送

光導波管の部分が適切な相互作用長となる（図２０Ａ乃至図２０Ｈ）。その代わりに、外部伝送光導波管２１３０の光接合部２１３４には、長さＬの高い部分、及び、光ファイバのテーパー部２１２０の光接合部２１２４（図２１）への／からの、所望の値κのモード屈折率整合したトランスバース伝送が、設けられてもよい。いずれの場合にも、光ファイバのテーパー部の外部伝送光導波管に対する高精度の軸方向位置決めは、必要とされていない。光ファイバ（すなわち、本実施形態における伝送導波管）及びその光ファイバのテーパー部の、外部伝送光導波管との（従って半導体レーザとの）充分に正確な位置決めは、受動位置決め技術により実現しうる。レーザ出力能を有する光ファイバは、ファイバ光学ベースの光学システムに対して、任意の適切な技術により、連結され、接合され、あるいは、結合されてもよい。モード干渉結合トランスバース伝送の代わりに、断熱トランスバース伝送が用いられている場合、光接合部についての位置決め精度及び長さ許容誤差は、さらに緩和される。

【００９８】

上述のように光学集積外部伝送光導波管を含んだ光学素子（先の例では半導体レーザ）により、かなりの経済性が実現可能となる。伝送光導波管及び光学素子に対する受動位置決め技術を用いるとともに、高効率の光電力伝送を実現することは、従来技術と比較してかなり重要である。追加的な利益として、単一のウエハ上に製造された多数の素子／導波管を同時に事前検査及び事前評価する能力がある。劈開端部結合素子では、ウエハは、素子の検査に先立って劈開されていなければならない。従って、後に廃棄されうる素子があると、実質的な処理時間、労力、コストが増大してしまう。しかしながら、本発明によると、各素子には、ウエハのいかなる劈開にも先立って外部伝送光導波管が設けられ、該外部伝送光導波管により、ウエハのいかなる分割にも先立って、検査及び特徴づけのための光結合が可能となる。また、素子自体が、電子的検査及び接触を用いて、隣接する素子を診断するのに用いられてもよい。例えば、レーザーダイオードのウエハ上で、ダイオードは、隣接する素子からのレーザ出力電力を監視するために、光検出器として機能するように逆バイアスがかけられてもよい。その代わりに、診断素子が、結果として光学素子をもたらす製造工程へと特別に設計されてもよい。

【００９９】

先の段落で記述された光集積外部伝送導波管を含む半導体レーザの説明では、本発明の１つの例示的な実装例のみが提供されている。実際には、本発明は、基板上に製造されうる他のあらゆる光学素子に、一般化される。このような素子として、外部伝送光導波管が、外部伝送光導波管と光学素子との間の端部伝送及び／又はトランスバース伝送による光電力伝送に適合した集積素子部材として素子基板上に、製造されてもよい。外部伝送光導波管の光接合部は、素子と伝送光導波管との間の光電力の効率的な伝送を提供するのに用いられてもよい。本発明は、上述の例における半導体レーザ等の単一終端又は単一ポート素子のために実装されてもよく、変調器、フィルタ、スイッチ、多重化器、スプリッタ／結合器等の素子のために実装されてもよい。一旦、素子に適切な数の入力／出力部が製造されると、それらは、光電力伝送（端部又はトランスバース伝送）及び各々に設けられた外部伝送光導波管に、適切に適合してもよい。そして、これら各外部伝送光導波管は、光学素子と光学システムへの結合用のそれぞれの伝送導波管との間の光電力トランスバース伝送を提供する。各外部伝送光導波管とそれぞれの伝送光導波管との間の光電力トランスバース伝送は、断熱的又はモード干渉結合（能動又は受動モード屈折率整合）であってもよく、光学素子に対応した全ての外部伝送導波管について同じである必要はない。

【０１００】

図２２Ａ及び図２２Ｂに、具体的な２ポートの例を示す。これらの図には、入力及び出力面２２１４，２２１５にそれぞれ端部結合した入力及び出力外部伝送光伝送間２２３０，２２３１を有する半導体電子吸収変調器２２１０が、示されている。変調器２２１０及び外部伝送光導波管２２３０／２２３１は、共通の基板２２０２上に製造されることが望ましい。外部伝送光導波管２２３０／２２３１は、実質的に、空間モード整合され、変調器２２１０により規定された光学モードに対して整合してもよい。入力及び出力外部伝送光

導波管２２３０／２２３１により、変調器２２１０と入力及び出力伝送光導波管２２２０／２２２１との間の光電力トランスバース伝送が、それぞれ可能となる（本例における光ファイバのテーパー部、図１３Ａ乃至図１５Ｂに示すように、平面導波管等の他の伝送光導波管が、等価に用いられてもよい）。変調されるべき光信号は、入力伝送光導波管２２２０を通じて光システムから受信され、入力外部伝送光導波管２２３０へのトランスバース伝送により伝送され、変調器２２１０への端部伝送により伝送され、変調器を伝播するにつれて変調され、出力外部伝送光導波管２２３１への端部伝送により伝送され、出力伝送導波管２２２１へのトランスバース伝送により伝送され、光システムへと伝送されてもよい。その代わりに、光電力トランスバース伝送は、変調器２２１０と外部伝送光導波管２２３０／２２３１との間に用いられてもよい。光電力の各伝送が高効率であることにより、変調器の挿入損失は低くなる。上述の製造及び製作の経済性及びウエハ規模の事前検査及び事前格付機能は、本発明により製造されるあらゆる素子について、実現することになる。

【０１０１】

様々な型の導波管が、本発明の範囲内にある限り、外部伝送光導波管（断熱又はモード干渉結合トランスバース伝送に適合）として、用いられてもよい。コア及び低屈折率クラッド層を含む低屈折率誘電体導波管は、好適な外部伝送導波管となりうる。このような導波管は、シリカ、ケイ酸ゲルマニウム、他のドープシリカ、窒化ケイ素、シリコンオキシニトリド、他のガラス、ポリマー等を用い、精密材料加工技術を用いて製造されてもよい。結果としての導波管は、同様の材料又はシリカベースの光ファイバのテーパー部を用いた平面導波管に対して、容易にモード屈折率整合する。他の導波管材料及び／又は構成が等価に用いられて、光学素子の機能を変更及び／又は向上させようとしている導波管特性を変化させる。本発明の好適な実施形態に適切な外部伝送光導波管は、１）その端部にて、外部伝送光導波管と光学素子との間の光電力端部伝送に適合、２）外部伝送光導波管と光学素子（断熱、能動モード屈折率適合、又は受動モード屈折率適合）との間の光電力トランスバース伝送に適合、３）その光接合部にて、モード干渉結合トランスバース伝送（能動又は受動モード屈折率整合）用の伝送光導波管に適したκ、Ｌ、及び／若しくはΔβの値が得られるように適合、並びに／又は、４）その光接合部にて、伝送光導波管に、実質的に断熱的なトランスバース伝送のために適合してもよい。低屈折率クラッド層に囲まれた１つ又はそれ以上の導波管のコア、分散ブラッグ反射器、他の多層反射器、誘電体反射被覆、及び／又は空気／導波管の境界での内部反射により、光学モードの閉じ込めがもたらされる導波管が、用いられてもよい。コアのある導波管としては、単一コア又はマルチコアがあってもよく、後者は、対応した孤立又はシステムモードの電磁界の分布を変更するために、用いられてもよい（いわゆる「フィールド平坦化」、それにより、組み立てられた光学素子の位置決め精度をさらに低減させる）。導波管の材料としては、シリカ、ケイ酸ゲルマニウム、及び／若しくはシリカベースの材料、窒化シリコン、シリコンオキシニトリド、有機材料、無機材料、結晶性材料、ガラス若しくはアモルファス材料、ポリマー材料、半導体材料、電子光学材料等の1つ又はそれ以上であってもよい。但し、それに限定されるものではない。低屈折率誘電体導波管（例えばシリカベース）は、同様の屈折率の伝送導波管に対して、受動的にモード屈折率整合してもよい。このような導波管は、波長又は偏光についてトランスバース結合効率依存性がほとんどなくとも、全くなくともよく、このことは、本発明による外部伝送光導波管を用いた様々な光学素子について望ましい。

【０１０２】

なお、外部伝送光導波管の先端（光学素子に結合していない側の端部）を様々に変更することが、（特に、モード干渉結合トランスバース伝送を用いる場合）望ましい。外部伝送光導波管の先端から反射してきた光電力により発生する、光学素子への光学的フィードバックを、実質的に除去することが望ましい。光学損失部材（光学吸収体、及び／若しくは光学散乱体）を設けることにより、並びに／又は、外部伝送光導波管の端面を意図的にずらして、反射してきた光電力が導波管へ戻って伝播しないようにすることにより、先端は

、このようなフィードバックを実質的に除去するように、変更されてもよい。このように傾斜した端面により、光学素子を検査及び／又は監視する追加的な用途が提供されてもよい。実質的に平面状（又は、合焦特性が必要であれば、適切に湾曲）の傾斜端面は、外部伝送光導波管から（下方へ基板へと、実質的に基板と平行に、あるいは、基板から上方へ）トランスバースに光電力を反射させる役割を果たしてもよい。外部伝送光導波管からこのように誘導された光電力は、光学素子の検査／特徴づけ／監視のために、検出及び／又は分析される。ウエハから上方又は下方へと光電力を誘導するために傾斜した導波管の端面について、製造工程中、素子の検査及び格付のために、外部検出器が用いられてもよい。その代わりに、検出器は、ウエハ内／ウエハ上に、光学素子及び外部伝送光導波管とともに組み込まれてもよく、製造中に検査可能とするだけでなく、完成した光学素子の一部として残されて、素子の現場でのモニタとして機能してもよい。

【０１０３】

所与の波長近傍のモード屈折率整合には、より広い許容誤差が与えられることが、望ましい。図２３に示す代替的な実施形態では、外部伝送光導波管２３３０には、複数の別個の光接合部２３３４ａ～２３３４ｄが作製されてもよい。各光接合部は、伝送光導波管２３２０を異なる波長でモード屈折率整合するように設計されている。モード屈折率整合した波長は、接合部２３３４ａから接合部２３３４ｄへと単調変化することが望ましく、光接合部２３３４ａ～２３３４ｄについてのそれぞれのモード屈折率整合した波長は、実質的に連続した波長範囲を提供するように、いくらか重複していた方がよい。光学素子の組立中、伝送導波管２３２０は、実質的にモード屈折率整合した光結合部を検出するまで、各光接合部２３３４ａ～２３３４ｄに対して順に結合されてもよい。４つの光接合部２３３４が図示されているが、別個の光学接合部２３３４の適切な数が提供されてもよい。

【０１０４】

ある状況下では、光学素子へ／光学素子からの、波長又は偏光依存の光電力伝送を、提供することが望ましい。例えば、図２４の素子は、複数の半導体レーザ源２４１０ａ～２４１０ｄを示している。各半導体レーザ光源２４１０ａ～２４１０ｄは、単一の伝送導波管２４２０に対して、対応して光学的に統合された外部伝送光導波管２４３０ａ～２４３０ｄを通じて接続され、波長多重化器を形成している。レーザ２４１０ａ～２４１０ｄ及び外部伝送光導波管２４３０ａ～２４３０ｄは、共通の基板２４０２上に製造されることが、望ましい。しかしながら、伝送導波管２４２０と各外部伝送光導波管２４３０ａ～２４３０ｄとの間のトランスバース伝送が波長依存でない限り、伝送導波管２４２０へと第１のレーザ２４１０ａから伝送される光電力は、少なくとも部分的に、伝送導波管２４２０から後続の外部伝送光導波管２４３０ｂ～２４３０ｄへと伝送されて、失われる。伝送導波管２４２０と外部伝送導波管２４３０ａ～２４３０ｄの光接合部２４３４ａ～２４３４ｄとの間に、波長別のトランスバース伝送を提供することにより、伝送導波管へと１つのレーザから伝送される光電力は、実質的に乱されていない後続の外部伝送光導波管を通過する。

【０１０５】

波長依存トランスバース光結合は、モード干渉結合トランスバース伝送に適合した、伝送導波管と外部伝送光導波管との間のモード屈折率適合を操作することにより、最も容易に実現しうる。外部伝送光導波管の分散特性及びトランスバースサイズ並びに／又は光接合部の形状が、所望の波長域のみに亘るトランスバース伝送をもたらすために、利用されてもよい。材料の分散だけでは、トランスバース伝送に適した狭さの波長域をもたらすのには、充分でないことがある。多層反射導波管（出願Ａ１及びＡ２にてＤＢＲ導波管と称され、出願Ａ１０にてＭＬＲ導波管と称される）は、通例、対応した光学モードのモード屈折率にて、かなり大きな波長分散を示し、本発明の光学素子のための波長依存外部伝送光導波管を実装することが望ましい。このような導波管は、先に引用された出願Ａ１、Ａ２、及びＡ１０に、詳述されており、通例、異なる屈折率を有する材料の上部及び下部λ／４スタック（これらスタックは、多層ミラー又は多層反射面とも称される）間のコア層を含んでいる。上部及び下部スタックは、所望の波長特性に応じて、材料、及び／又は層数

の点で同じであっても異なっていてもよい（ある種の実装例では、上部スタック及びコアまでもが全て抜けていてもよい）。ＭＬＲ導波管へのトランスバース伝送は、導波管側面から（ＭＬＲスタック格子波動ベクトルに対して実質的に垂直）、実現してもよく、導波管表面から（ＭＬＲスタック格子波動ベクトルに実質的に沿って）、実現してもよい。スタックは、導波管の光学モードを閉じ込めるのに役立ち、ＭＬＲ導波管の分散特性を発生させる。本発明にて使用するのに適したＭＬＲ導波管は、誘電体及び／又は半導体層を用いて製造されてもよく、所望の分散特性を示すように設計されてもよい。

【０１０６】

このようなＭＬＲ導波管を充分に正確に設計して製造することにより、伝送光導波管と外部伝送光導波管との間の、所望の波長域に亘る、受動モード屈折率適合モード干渉結合トランスバース伝送が、可能となりうる。その代わりに、ＭＬＲ導波管の電気光学特性（使用されている材料に固有の、あるいは、１つ又はそれ以上の電気光学材料層に特に組み込まれたもの）が、能動モード屈折率適合モード干渉結合トランスバース伝送を可能とするために、用いられてもよい。図２５に示すように、制御電力又は接点２５３６，２５３８は、外部伝送光導波管２５３０の光接合部２５３４上に設けられてもよく、制御電圧が、光ファイバのテーパー２５２０の光接合部２５２４との所望の波長域に亘るモード屈折率適合を実現するために印加されてもよい。素子２５１０及び外部伝送光導波管２５３０は、共通の基板２５０２上に製造されて、実質的に空間モード適合した端部結合を実現することが望ましい。このように能動モード屈折率整合した実装により、所望のトランスバース伝送波長を選択することが可能となる。なお、ＭＬＲ導波管が充分に厳密に設計及び製造できなかったり、素子２５１０の設計波長に製造上の許容誤差があったりした場合にも、可能となる。また、このような能動モード屈折率整合により、動的に再構成可能な波長依存特性を有する光学素子を構築することが、可能となる。

【０１０７】

その代わりに、多層分散設計の光導波管が、断熱光電力トランスバース伝送に適合した外部伝送光導波管として、用いられてもよい。多層反射導波管の光学特性は、断熱トランスバース伝送を実現するために、その全長に沿って様々な様式で変化してもよい。１層又は多層における屈折率、厚さ、及び幅の様々なものが、本発明の断熱トランスバース伝送に適合した外部伝送光導波管を提供するために、用いられてもよい。この多層反射面の実装例により、光電力トランスバース伝送に対する能動制御が可能になるとともに、断熱トランスバース伝送に典型的な位置決め許容誤差の緩和が、享受される。

【０１０８】

ＭＬＲ導波管は、通例、対応する光学モードについて偏光依存モード屈折率を示す。この特性は、伝送光学導波管と外部伝送光導波管との間の偏光選択モード干渉結合トランスバース伝送を可能とするために、最も容易に用いられる。このような偏光選択トランスバース伝送は、他の例もある中で、特に、励起レーザ電力をドープファイバ利得媒体へと伝達するための偏光依存ビーム結合を含んだ、様々な状況下において、望ましいものとなりうる。光電力トランスバース伝送のための様々な偏光依存装置及び方法が、偏光独立トランスバース伝送が効果的に用いられた様々な状況とともに、先に引用された出願Ａ４に開示されている。

【０１０９】

なお、本発明による外部伝送光導波管として利用されるだけでなく、ＭＬＲ導波管は、変調器、フィルタ、Ｎ×Ｎスイッチ、多重化器／多重分離器等の光学素子の全部又は一部としても利用されうる。このように実装された光学素子には、本発明による１つ又はそれ以上の外部伝送光導波管が設けられてもよく、これらの外部伝送光導波管には、ＭＬＲ導波管等、ここに開示された外部伝送光導波管の種類のうちの任意のものが、含まれてもよい。外部伝送光導波管は、伝送光導波管からの／伝送光導波管へのモード干渉結合トランスバース伝送に、能動又は受動モード屈折率整合してもよく、伝送導波管に対する波長及び／又は偏光依存トランスバース結合を、示していてもいなくともよい。その代わりに、外部伝送光導波管は、本発明による断熱トランスバース伝送のために実装されてもよい。な

お、外部伝送光学導波管とともに素子部分の双方のためにＭＬＲ導波管を用いた本発明による光学素子については、その各々が、実質的に同じ型のＭＬＲ構造を備えてもよく、その各々が、ＭＬＲ構造における別個の型を備えてもよい。

【０１１０】

光学的に統合された本発明による外部伝送光導波管を伴うＭＬＲベースの光学素子の例について、図２６Ａ／２６Ｂ及び図２７Ａ／２７Ｂに示す。各図では、ＭＬＲ導波管に基づくとともに本発明による外部伝送光導波管を組み込んだ単一ポート素子が、示されている。図２６Ａ及び図２６Ｂでは、ＭＬＲ素子２６１０は、外部伝送光導波管２６３０（両者とも基板２６０２上に製造されている）に、端部結合している。そしてまた、外部伝送光導波管２６３０は、伝送光導波管２６２０（これらの例では、光ファイバのテーパー部）への／からの、トランスバース伝送に適合している。図２６Ａの例では、光ファイバのテーパー部に対して表面接合され、接点２６３２／２６３４により提供された能動モード屈折率整合を伴うモード干渉結合トランスバース伝送に適合した、外部伝送光導波管２６３０が図示されている。図２６Ｂの例では、光ファイバのテーパー部に対して側面接合され、受動モード屈折率整合を伴うモード干渉結合トランスバース伝送に適合した、外部伝送光導波管２６３０が図示されている。接点２６１２／２６１４は、素子２６１０への電子的アクセスを提供する（例：レーザの駆動電流を提供、バイアス電圧を提供、及び／又は変調器の駆動信号を提供）。外部伝送光導波管２６３０は、ＭＬＲ素子２６１０と伝送光導波管２６２０との間で、必要に応じていずれかの方向又は双方向へと、光信号電力を伝送するのに役立つ。

【０１１１】

図２７Ａ及び図２７Ｂでは、ＭＬＲ素子２７１０は、外部伝送光導波管２７３０に端部結合している（いずれも基板２７０２上に製造されている）。そしてまた、外部伝送光導波管２７３０は、伝送光導波管２７２０（これらの例では平面導波管（明瞭にするために導波基板は図から省略））への／からの、トランスバース伝送に適合している。図２７Ａの例では、平面導波管に対して表面接合され、断熱トランスバース伝送に適合した、外部伝送光導波管２７３０が図示されている。図２７Ｂの例では、平面導波管に対して側面接合され、接点２７３２／２７３４により提供された断熱条件の能動制御を伴う断熱トランスバース伝送に適合した、外部伝送光導波管２７３０が図示されている。接点２７１２／２７１４は、素子２７１０への電子アクセスを提供している。

【０１１２】

ここに開示された本発明の概念の範囲内である限り、多くの他の素子の組み合わせ及び／又は構成が実装されてもよく、図２８Ａ／Ｂ及び後続の図に実施例が示されている。図示された素子構成は、例示的なものであり、本発明により実装されうる素子の組を網羅的に表すものではない。これらの素子は、任意の好適な素子の型又は構成（ＭＬＲベースの素子）を含んでもよく、任意の好適な外部伝送光導波管の型を用いてもよい。外部伝送導波管を伴うこれらの素子は、光ファイバのテーパー部及び平面導波管等（但しそれに限定されるものではない）、任意の好適な伝送光導波管の型との光接合を形成するように適合していてもよい。外部伝送光導波管と伝送光導波管との間の光電力伝送は、個々の状況に必要とされるモード干渉結合及び／又は断熱トラスバース伝送を、用いてもよい。１つ又はそれ以上の光学的に統合された外部伝送光導波管を伴う光学素子は、特に、平面伝送光導波管とともに使用することが意図されている場合、フリップチップ構成（図１５Ａ／図１５Ｂ）に、有利に実装されてもよい。

【０１１３】

図２８Ａ及び図２８Ｂに、本発明により基板２８０２上にて外部伝送光導波管２８３０／２８３１と光学的に統合された例示的な２ポート光学素子２８１０を示す。これらの例における伝送光導波管２８２０は、光ファイバのテーパー部である。電極又は接点２８１２／２８１４は、素子２８１０への電気的アクセスを提供する。図２８Ａの例では、外部伝送光導波管２８３０／２８３１と表面接合伝送光導波管２８２０との間の光電力トランスバース伝送は、能動モード屈折率適合モード干渉結合であり、接点２８３２／２８３３／

２８３４／２８３５が、モード屈折率適合に提供されている。図２８Ｂの例では、外部伝送光導波管２８３０／２８３１と側面接合伝送光導波管２８２０との間の光電力トランスバース伝送は、受動モード屈折率適合モード干渉結合である。図２８Ａ／２８Ｂの素子は、伝送導波管２８２０から素子へと、一方の外部伝送導波管２８３０／２８３１を通じて、また、素子２８１０による操作後、伝送導波管へと他の外部伝送導波管を通じて戻る、光電力の実質的に完全な伝送で動作する。その代わりに、素子２８１０、及び、伝送導波管２８２０における２つの外部伝送導波管間の部分は、マッハツェンダー干渉計の２つのアームとして機能してもよい。素子２８１０は、このように形成された干渉計の一方のアーム用の位相変調器として機能してもよく、それにより、外部伝送導波管２８３０／２８３１以降に伝送導波管２８２０を通る光電力の伝送を、変調することができる。

【０１１４】

図２９Ａ乃至図２９Ｄに、基板２９０２上に外部伝送光導波管２９３０／２９３１とともに製造されたマッハツェンダー干渉変調器２９１０を示す。光電力は、伝送導波管２９１０から外部伝送導波管２９３０、及び、マッハツェンダー干渉計２９１０へと、実質的に完全に伝送されてもよい。接点又は電極２９１１／２９１２／２９１３／２９１４は、干渉計２９１０を通る伝送を制御するために用いられ、そこを通る光電力は、伝送導波管２９１０へと、外部伝送導波管２９３１を通じて伝送される。マッハツェンダー干渉計２９１０は、任意の型の電子活性材料を含んだ任意の適切な型の導波管（多層導波管等）を用いて、構築されてもよい。電極や電子活性材料の代わりに、非線形光学素子が、マッハツェンダー干渉計２９１０に用いられ、そこを通る伝送を制御するために光制御信号が用いられてもよい。図２９Ａに、伝送導波管２９２０を、外部伝送導波管２９３０／２９３１に表面接合するとともに受動モード屈折率整合モード干渉結合トランスバース伝送を用いた光ファイバのテーパー部として示す。図２９Ｂに、伝送導波管２９２０を、外部伝送導波管２９３０／２９３１に側面接合するとともに電極２９３２／２９３３／２９３４／２９３５により制御される能動モード屈折率整合モード干渉結合トランスバース伝送を用いた光ファイバのテーパー部として示す。図２９Ｃに、伝送導波管２９２０／２９２１を、外部伝送導波管２９３０／２９３１に表面接合するとともに断熱トランスバース伝送を用いた平面導波管（明瞭にするために図２９Ｃでは導波基板を省略）として示す。図２９Ｄに、伝送導波管２９２０／２９２１を、外部伝送導波管２９３０／２９３１に側面接合するとともに断熱トランスバース伝送を用いた平面導波管（明瞭にするために図２９Ｄでは導波基板を省略）として示す。

【０１１５】

図３０に、基板３００２上に外部伝送導波管３０３０／３０３１／３０３２／３０３３とともに製造された２×２光スイッチ３０１０を示す。外部伝送導波管に表面接合した、対応する伝送導波管３０２０／３０２１／３０２２／３０２３が、図示されており、平面導波管として示されている（明瞭にするため図３０では導波基板を省略）。他の伝送導波管の型（光ファイバのテーパー部等）が、等価に用いられてもよく、側面接合が等価に用いられてもよい。各伝送導波管と、対応する外部伝送導波管との間の、光電力のトランスバース伝送は、断熱的、能動モード屈折率整合モード干渉結合、又は受動モード屈折率整合モード干渉結合であってもよい。トランスバース伝送の性質は、全ての伝送導波管／外部伝送導波管の対について、同一である必要はない。電極又は接点３０１１／３０１２／３０１３／３０１４に対して与えられる制御信号は、２×２スイッチ３０１０を通る光伝送を制御する。なお、２×２スイッチ３０１０は、任意の適切な型の電子活性材料を含んだ任意の適切な型の導波管（多層導波管等）を用いて構築されてもよい。電極や電子活性材料の代わりに、２×２スイッチ３０１０に、非線形光学材料が用いられて、そこを通る伝送を制御するのに光制御信号が用いられてもよい。

【０１１６】

図３１に、いずれも基板３１０２上に外部伝送導波管３１３０／３１３１とともに製造された、共振子３１１０、光学損失部材３１１７、導波管３１１８を含んだ、共振光学変調器を示す。外部伝送導波管に表面接合した対応する伝送導波管３１２０／３１２１が図示

されており、平面光導波管として示されている（明瞭にするために図３１では導波基板を省略）。他の伝送導波管の型（光ファイバのテーパー部等）が、等価に用いられてもよく、側面接合が等価に用いられてもよい。各伝送導波管と、対応する外部伝送導波管との間の、光電力のトランスバース伝送は、断熱的、能動モード屈折率整合モード干渉結合、又は受動モード屈折率整合モード干渉結合であってもよい。トランスバース伝送の性質は、伝送導波管／外部伝送導波管の対の双方について、同一である必要はない。電極又は接点３１１１／３１１２（導波管／共振結合）、３１１３／３１１４（共振損失）、及び３１１５／３１１６（共振周波数）に対して与えられる制御信号は、共振変調器を通る光伝送を制御する。なお、共振変調器は、任意の適切な型の電子活性材料を含んだ任意の適切な型の導波管（多層導波管等）を用いて構築されてもよい。電極や電子活性材料の代わりに、共振変調器に、非線形光学材料が用いられて、そこを通る伝送を制御するのに光制御信号が用いられてもよい。図３１の素子は、伝送導波管３１２０／３１１８を通じて伝送される波長における特定の帯域のみを変調するために用いられてもよい。

【０１１７】

図３２に、いずれも基板３２０２上に外部伝送導波管３２３０／３２３１／３２３２／３２３３とともに製造された、共振子３２１０及び導波管３２１７／３２１８を含んだ、共振光学フィルタを示す。外部伝送導波管に表面接合した対応する伝送導波管３２２０／３２２１／３２２２／３２２３が図示されており、平面光導波管として示されている（明瞭にするために図３２では導波基板を省略）。他の伝送導波管の型（光ファイバのテーパー部等）が、等価に用いられてもよく、側面接合が等価に用いられてもよい。各伝送導波管と、対応する外部伝送導波管との間の、光電力のトランスバース伝送は、断熱的、能動モード屈折率整合モード干渉結合、又は受動モード屈折率整合モード干渉結合であってもよい。トランスバース伝送の性質は、伝送導波管／外部伝送導波管の対の双方について、同一である必要はない。電極又は接点３１１１／３１１２（導波管／共振結合）、３１１３／３１１４（導波管／共振結合）、及び３１１５／３１１６（共振周波数）に対して与えられる制御信号は、共振フィルタを通る光伝送を制御する。なお、共振フィルタは、任意の適切な型の電子活性材料を含んだ任意の適切な型の導波管（多層導波管等）を用いて構築されてもよい。電極や電子活性材料の代わりに、共振変調器に、非線形光学材料が用いられて、そこを通る伝送を制御するのに光制御信号が用いられてもよい。図３２の素子は、伝送導波管３２１７／３２１８間の波長における特定の帯域のみを切り換えるために、用いられてもよい。

【０１１８】

図２８Ａ／２８Ｂ及び図２９Ａ／２９Ｂの実施例では、伝送導波管は、外部伝送導波管の双方へのトランスバース伝送のために適合するとともに配置された単一の導波管として示されている。伝送導波管からの完全な光電力の伝送が、光素子による後続の操作及び同一の伝送導波管へと戻る伝送のために望まれている、あらゆる素子構成において、信号伝送導波管の中間部分に、光学損失機構を提供することが望ましいことがある。このような損失機構は、外部伝送導波管間に配置されるとともにトランスバース伝送に適合した追加的な光導波管、吸収若しくは散乱コーティング、吸収若しくは散乱トランスバース結合光学部材、吸収若しくは散乱構造部材、ブラッグ分布、ドーピング、又は他の光学損失機構の形態をとってもよい。このように、伝送導波管の両端は、素子の製造及び／又は組立に役立つように機械的には結合されていながら、光学的に減結合されてもよい。図３３Ａに、外部伝送光導波管３３３０／３３３１とともに、外部伝送導波管とのトランスバース伝送のために配置されて適合した伝送導波管３３２０とともに、基板３３０２上に製造された、２ポート素子３３１０の実施例を示す。追加の光導波管３３８０は、外部伝送導波管間における伝送導波管３３２０からのトランスバース伝送による光学損失を提供する。図３３Ｂに、同様の実施例を示し、ここでは、構造的伝送導波位置決め部材３３７０もまた、外部伝送導波管間の光学損失を提供している。

【０１１９】

この時点までに開示されたほとんどの実施例は、平面光導波管又は光ファイバのテーパー

部を、伝送導波間として用いていた。先に引用された出願Ａ６に開示されたような側面エッチング光ファイバ部が、外部伝送導波管におけるトランスバース伝送のために適切に配列された部分とともに、用いられてもよい。同様に、断熱又はモード干渉結合トランスバース伝送に適合した構成の任意の光導波管が、本発明を実施するために用いられてもよい。

【０１２０】

平面導波管及び平面導波回路は、本発明を実施するために用いられる伝送光導波管における重要な部類を含んでいる。平面導波管は、実質的に平面状の基板上に製造された低屈折率コア／クラッド型の誘電体導波管（多くの場合、酸化膜シリコン基板上に製造されたシリカ、又はシリカベースの導波管）を、含むことも多い。シリコンは、様々な理由から、望ましい導波管基板材料である。その理由を以下に挙げるが、それに限定されるものではない。すなわち、材料加工技術が比較的容易かつ周知、産業規格が成熟している、大きなウエハサイズにより規模の経済を享受できる能力、選択的な乾式及び／又は湿式エッチングに修正可能、高剛性、望ましい熱特性等の理由がある。シリコン基板には、シリカオーバーレイヤ、該オーバーレイヤ上の１つ又はそれ以上の平面導波管が、設けられることが多い。シリカ及びシリカベース材料は、ほぼ理想的であり、周知の光学材料である。その代わりに、平面導波管は、石英、シリカ、又は他の低屈折率又は絶縁基板（又は半導体基板上のオーバーレイヤ）上に形成された、１つ又はそれ以上の高屈折率導波管（例えば半導体導波管）を、含んでもよい。このような高屈折率の導波管は、他の高屈折率光学部材へのトランスバース伝送をより容易に実現できるという利点を、提供してもよい。シリカベース平面導波管は、従来、光学素子及び／又は光ファイバとともに端部結合構成に用いられてきたが、通例、貧弱な空間モード適合により、特に半導体ベースの光学素子との間で、挿入損失が高くなっていた。本発明により実装された外部伝送導波管は、平面導波管への／平面導波管からの、トランスバース伝送を可能にすることにより、このような光学素子についての挿入損失を著しく減少させてもよい。２ポート光学素子に光学的に組み込まれた平面伝送導波管と外部伝送導波管との間の断熱トランスバース伝送に適合した実施例は、図１３Ａ／１３Ｂ、図１４Ａ／１４Ｂ、及び図１５Ａ／１５Ｂに、既に示されている。

【０１２１】

光学的に統合された入力及び出力外部伝送導波管３４３０／３４３１を伴う２ポート光学素子３４１０（例えば電子吸収変調器）を含む他の実施例が、図３４Ａ及び図３４Ｂに示されている。外部伝送導波管は、光学素子により規定された光学モードに対して空間モード整合した端部結合に適するとともに平面伝送導波管３４２０／３４２１へのトランスバース伝送に適した任意の型のものであってもよい。トランスバース伝送は、断熱的、能動モード屈折率整合モード干渉結合、又は受動モード屈折率整合モード干渉結合であってもよい。光ファイバテーパーベースの伝送導波管におけるように、平面導波管と外部伝送導波管との間の効率的なトランスバース伝送を実現するために必要とされる位置決め精度の度合いは、空間モード整合平面伝送導波管と光学素子との端部伝送に必要とされる精度未満のオーダーであり、それにより、光学素子の平面伝送導波管に対する位置決めのための受動位置決め技術が可能となる。図３４Ａ／３４Ｂの例示的な実施形態では、光学素子３４１０及び外部伝送導波管３４３０／３４３１が、共通の基板３４０２上に製造されている。平面伝送導波管３４３０／３４２１は、基板３４２２上に製造されている。２つの要素は、外部伝送導波管３４３０／３４３１と平面伝送導波管３４２０／３４２１との間のトランスバース伝送、及び、電極３４１４と接点３４２４との間の電子的結合を確立するために、いわゆる「フリップチップ」構成に組み合わされている。操作されるべき光信号は、光学システムから平面伝送導波管３４２０を通じて受信され、トランスバース伝送により外部伝送導波管３４３０へと伝送され、端部伝送により素子３４１０へと伝送され、素子３４１０を通って伝播するに従って操作され、端部伝送により他の外部伝送導波管３４３１へと伝送され、トランスバース伝送により他の平面伝送導波管３４２１へと伝送され、光学システムへと伝送されてもよい。光電力の各伝送が高効率であることにより、挿

入損失が低い素子がもたらされる。この型の平面導波管の実装は、任意の好適な光学素子とともに適用されてもよい。

【０１２２】

本発明の平面導波管の実装例は、複数の光学部材を高レベルで統合する可能性を提供して、ハイブリッド又は複合光学素子を形成する。任意の望ましい配列の光ネットワークを形成した複数の平面伝送導波管が、光学部材の位置しうる各点におけるギャップのある基板上に、製造されてもよい。伝送導波管は、光電力トランスバース伝送（断熱及び／又はモード干渉結合、いずれの型も単一の平面導波基板上で組み合わされてもよい）の可能な各素子位置近傍に適合してもよい。各光学部材は、本発明により光学的に統合された１つ又はそれ以上の外部伝送導波管であってもよく、その各々は、光学素子への／光学素子からの、効率的な端部又はトランスバース結合のために、要素である素子を基準として配置される。各外部伝送導波管は、部材が平面導波基板上に配置される場合に、対応する平面伝送導波管からの／への、トランスバース伝送を可能とするために、配置されて適合されてもよい。各外部伝送導波管と基板上にてそれに対応する平面導波管との間のトランスバース伝送を確立するために、いわゆる「フリップチップ」構成が用いられてもよい。外部伝送導波管とそれぞれの平面伝送導波管との相対的な精密位置決めを適切に確立するために、部材上、及び／又は、平面導波基板上に、嵌合位置決め構造が設けられてもよい。

【０１２３】

図３５Ａ／３５Ｂ、図３６Ａ／３６Ｂ、及び図３７Ａ／３７Ｂに、複数のトランスバース結合サブコンポーネントを伴う光学素子の実施例を示す。そこでは、各々が１つ又はそれ以上の光学的に統合された外部伝送導波管を有する、レーザ／導波管ハイブリッド部材、及び、変調器／導波管ハイブリッド部材が、平面導波基板３５２２上にフリップチップ搭載されている。１つの平面伝送導波管３５２４が、光電力を、レーザ３５４２から変調器３５５２へと伝送する一方で、第２の平面伝送導波管３５２６が、変調された光電力を光ファイバのテーパー３５２０へとトランスバース伝送するために、トランスバース伝送部３５２８にて終端してもよい（図３５Ａ）。レーザ３５４２からの光電力は、端部伝送により外部伝送導波管３５４６（基板３５４４にてレーザ３５４２と光学的に統合）へと伝送され、トランスバース伝送により、第１の平面伝送導波管３５２４へと伝送され、トランスバース伝送により、入力外部伝送導波管３５５６（基板３５５４上にて変調器３５５２と光学的に統合）へと伝送され、端部伝送により変調器３５５２へと伝送され、変調器３５５２を通って伝播するに従って変調され、端部伝送により、出力外部伝送導波管３５５７（基板３５５４上にて変調器３５５２と光学的に統合）へと伝送され、トランスバース伝送により、第２の平面伝送導波管３５２６へと伝送され、トランスバース伝送により、光ファイバのテーパー部３５２０へと伝送される（図３５Ａ）。トランスバース伝送のステップは、断熱的（図３６Ａ／３６Ｂ）であるか、あるいは、モード干渉結合（能動又は受動、図３７Ａ／３７Ｂ）であり、アセンブリにおける各トランスバース伝送光接合について、同じ型である必要はない。

【０１２４】

光ファイバのテーパーへのトランスバース伝送の代わりに、伝送導波管３５２６が、光ファイバ３５２９への端部伝送のための、空間モードエキスパンダとして機能するように、適合してもよい。全体としての光電力の高いスループット（すなわち、低い挿入損失）が、ハイブリッド素子について実現しうる。図３５Ａに示したのと同様に、図２４における波長多重の実施例が、光ファイバのテーパーへの光電力の伝送のための基板上の平面伝送導波管を用いて構築されてもよく、各レーザ光源は、平面伝送導波管へのトランスバース伝送のための統合された外部伝送導波管を有するフリップチップ搭載されたレーザを備えている。任意の光学素子が、本発明による１つ又はそれ以上の外部伝送導波管を用いて、上述のように、１つ又はそれ以上の平面伝送導波管と結合されてもよい。平面導波基板から／平面導波基板へと、光電力を、平面伝送導波管３５２８からの／への、トランスバース伝送により伝送するための、光ファイバのテーパー部３５２０が、図３５Ａに図示されているが、他の方法及び／又は構成が、等価に用いられてもよい。平面伝送光導波管３５

２６が、空間モード拡張部を備えて、伝播する光電力が光ファイバ３５２９へと端部伝送されてもよい。空間モードの拡張は、望ましくない光学損失を最小限にするために、実質的に断熱的であることが望ましい。

【０１２５】

本発明による装置及び方法は、複雑な光学素子を組み合わせるための光学的な「ブレッドボード」手法を可能とするように、さらに適用されてもよい。基板には、モジュール式の光学素子のフリップチップ搭載用に提供された複数の位置が、設けられてもよく、各素子は、本発明による１つ又はそれ以上の外部伝送導波管を組み込んでいる。これらのフリップチップ搭載位置は、基板上に、アレイ状パターン（正方形、長方形、三角形／六角形等）で設けられてもよく、複数の平面伝送導波管が、各フリップチップ搭載位置をその近傍のうちの１つ又はそれ以上に接続する基板上に、設けられてもよい。任意の所望の型の個々のモジュール式光学素子には、その素子が基板上の搭載位置にフリップチップ搭載されている場合、外部伝送導波管が、対応する平面伝送導波管への／からの、トランスバース伝送を確立するように、設けられてもよい。そうでなければ空いているフリップチップ搭載位置を光学的に「ブリッジ」するために、その上に１つの外部伝送導波管のみを有する（追加の素子はなし）、追加のフリップチップ部材が、設けられてもよい。そして、これらのモジュール式の光学部材の任意の望ましい組み合わせが、複雑なハイブリッド光学素子を構築するために、実質的に任意の組み合わせで、実質的に任意の構成で、光学的に結合されてもよい。光学的ブレッドボードには、光ファイバのテーパー部若しくは他の導波管へのトランスバース伝送、又は、光ファイバ若しくは他の導波管への端部伝送に適合した平面導波管が、さらに設けられてもよく、それにより、ブレッドボード素子への／からの、光電力の伝送が可能となる。このようなモジュール式ブレッドボード手法は、素子の試作、及び／又は、順応性のある素子製造に有用となりうる。

【０１２６】

その代わりに、光学素子の統合の高度な度合いにも、本発明による方法及び装置が用いられてもよい。複数の平面導波管、複数の光接合部、及び複数の素子位置がある単一の平面導波基板は、任意の所望の平面導波回路構成にて製造されてもよい。複数の対応する外部演奏導波管がある素子は、単一の素子基板上に製造されてもよい。複数の素子及び外部伝送光導波管は、素子位置の導波基板上における配列に対応した位置で、素子基板上に位置していてもよい。同様に、複数の外部伝送導波管の光接合領域は、平面導波管の光接合領域に対応して配置されてもよい。そして、導波基板及び素子基板を組み合わせる単一の組立工程は、複数の平面導波管及び複数の外部伝送導波管間の光接合を同時に確立して、任意の所望の度合いの複雑さの複合光学素子を形成する役割を果たしてもよい。必要とされる正確な位置決めの大部分は、精密、高度に並行的な材料加工技術を用いて、基板及びその上の構造の製造時に達成されてもよい。

【０１２７】

光学素子及び光学的に組み込まれた外部伝送導波管は、素子の性能や特性を変更及び／又は制御するために、あるいは、それ以外に素子の機能を提供するために、共通の基板上に製造されてもよい。図３８の例では、レーザ３８１０は、光学的に組み込まれた外部伝送導波管３８３０，３８３１とともに、基板３８０２上に製造されている。導波管３８３０は、レーザ３８１０と伝送導波管３８２０との間の光電力伝送を提供してもよい。導波管３８３１は、レーザ３８１０の光学特性及び／又は性能を変更する役割を果たしてもよい。例えば、導波管３８３１の格子構造は、レーザ３８１０のレーザ発光波長を規定する役割を果たす。その代わりに、導波管３８３１が対応している空間光学モードにより、レーザ出力のトランスバース空間モード特性が規定されてもよい。様々な構造及び特性の外部伝送導波管が、本発明により、様々な光学素子のための以下の様々な光学素子機能を提供するために、用いられてもよい（但しそれに限定されない）。すなわち、波長選択性、空間モード選択性、光学フィルタ、偏光選択性、熱補償、電力監視、反射、変調等である。選択性は、チューニング、関連した光学特性の安定化、及び／又は変調とも称されうる。外部伝送光導波管には、格子構造、熱光学部材、又は他の適切な機能部材が、含まれうる

。素子の端面は、製造の際、及び／又は、本発明により実装された素子の光学特性を変更する処理の際に、操作されてもよい。例えば、端面は、波長別、変更別等に、コーティングされてもよい。素子の端面は、レンズとして機能するように曲率をつけて製造されてもよい。傾斜した端面は、素子の監視又は光学的フィードバックを低減させるために、光電力を外部伝送導波管からトランスバース方向へ向ける役割を果たしてもよい（回転ミラーとして機能）。

【０１２８】

図３９に、代替的な実施形態を示す。ここでは、光学素子機能の一部が伝送光導波管内に提供され、及び／又は、素子と伝送導波管との間の光電力の伝送が（外部伝送光導波管を通じて）可能となるまで、光学素子が完全には機能しない。平面導波基板３９２２が、平面伝送導波管３９２０，３９２１とともに図示されている。レーザーダイオード３９１０は、組み込まれた外部伝送光導波管３９３０，３９３１とともに、基板３９０２上に設けられている。外部伝送導波管３９３０と伝送導波管３９２０との間のトランスバース伝送により、出力レーザ３９１０の出力用の光学経路が提供される。レーザ３９１０と伝送導波管３９２１との間の（外部伝送導波管３９３を通じての）光電力の伝送は、伝送導波管３９２１をレーザーキャビティの要素とすることにより、レーザ３９１０の出力の制御、変更、及び／又は操作を、可能としてもよい。伝送導波管３９２１の光学／スペクトル特性の制御又は操作は、対応する効果をレーザ３９１０の出力にもたらす。例えば、格子構造が、レーザ３９１０の波長を安定させるために設けられてもよく、又は、伝送導波管３９２１の空間モード特性が、レーザ３９１０の出力の空間モード特性を制御してもよい。他の素子及び方式が、本発明の範囲内にある限り、容易に工夫されてもよい。そのような場合として、素子と素子機能の一部を提供している伝送光導波管との間に光電力伝送が確立されるまで、素子が機能するようにならないということがある。様々な構造及び特性の伝送導波管が、本発明により、様々な光学素子のための以下の様々な光学素子機能を提供するために、用いられてもよい（但しそれに限定されない）。すなわち、波長選択性、空間モード選択性、光学フィルタ、偏光選択性、熱補償、電力監視、反射、変調等である。伝送光導波管には、格子構造、熱光学部材、又は他の適切な機能部材が、含まれうる。いくつかの実施形態では、伝送導波管は、光学素子の動作を変更するだけでもよい。なお、他の実施例では、伝送導波管は、素子が実際に機能するために必要とされるということがある。

【０１２９】

先の２つの段落の議論の見地から、「光学素子」なる用語について説明が必要となろう。ここに使用されるように、「光学素子」は、レーザ、変調器、フィルタ、スイッチ等の独立に機能する部材を示している。その代わりに、「光学素子」は、独立して動作せずに、他の部材と組み合わされて機能する部材を示してもよい。ある例には、反射防止コーティングが施された端面及び外部伝送導波管を伴う半導体ゲイン媒体が、含まれてもよい。このような部材だけで、レーザ光源として機能するわけではない。反射面が、外部伝送導波管内に、あるいは、外部伝送導波管と光接合を形成している伝送導波管内に設けられているならば、反射面及び半導体は、機能するレーザをともに形成することになる。他の多くの同様な実施例が、ここに開示及び／又は特許請求される本発明の概念の範囲内に含まれうる。

【０１３０】

図４０及び図４１は、本発明による好適な平面伝送導波管の製造を示す処理フロー図（それぞれトランスバース方向の断面図及び平面図）である。寸法及び材料の組成は、例示的なものであり、本発明の範囲内にある限り変更されうる。シリコン基板４００２には、シリカ４００４の５μｍ厚のバッファ層、ケイ酸ゲルマニウム４００６の１０μｍ厚の層、及び窒化ケイ素４００８（ＳｉｘＮｙ）の７０ｎｍ厚の層が加工される。窒化ケイ素は、パターン化及びエッチングされて、６μｍ幅で各端部にて横方向にテーパーがついた図４１に示す所望の形状の導波管コア４１２４が形成される。そして、ケイ酸ゲルマニウム層がエッチングされて、位置決め／支持構造４１７０の上部と同様、約１０μｍ幅で高さが

約６μｍのリッジ導波管４１２０が形成される。残りのケイ酸ゲルマニウム４００６及びシリカバッファ４００４は、パターン化されて除去され、ケイ酸ゲルマニウム層（残された厚さが約４μ）及びシリカ層を含んだある程度幅広のバッファリッジ４１２６により支持された、リッジ導波管４１２０が残される。また、位置決め／支持構造４１７０の下部も、これらの工程により形成される。そして、リッジ４１２０，４１２６は、０．５μｍ厚の蒸着されたケイ酸ゲルマニウムのオーバーレイヤにより被覆される。基礎となるシリコンは、パターン化されてエッチングされ、単一モード光ファイバの端部を最終的に受けるためのｖ字溝４１５０が形成される。溝４１５２は、ｖ字溝を（鋸引又は他の適切な方法により）終端させて光ファイバが導波管４１２０の端部に達するように、設けられる。そして、接点／電極４１６０及び他の所望の部材が、空間的に選択可能な適切な材料加工技術を用いて、設けられてもよい。パターン化／エッチングがここでの様々な加工工程に列挙されているが、任意の適切な空間選択材料加工技術が、等価に用いられてもよい。同様の加工シーケンスは、図４２Ａ／４２Ｂ、図４３Ａ／４３Ｂ、及び図４４Ａ／４４Ｂに図示された例示的な実施形態等の様々な構成を製造するのに用いられてもよい。

【０１３１】

また、これらの平面導波部材（等価に、ＰＬＣ様部材）は、本発明による１つ又はそれ以上の組み込まれた外部伝送導波管を伴う光学素子を、望ましくは、フリップチップ構成又は任意の適切な組立配列にて、受けてもよい。リッジ導波管４１２０の窒化ケイ素コアのテーパーつきの一端は、光学素子の外部伝送光導波管を伴う断熱光電力トランスバース伝送に適合している。その代わりに、リッジ導波管４１２０は、モード干渉結合光電力トランスバース伝送用の外部伝送光導波管とともに、構成されてもよい。リッジ導波管４１２０の窒化ケイ素コアのテーパーつきの他端は、リッジ導波管４１２０とｖ字溝４１５０内に配置された光ファイバとの間の光電力の端部伝送を可能とするためのモードエキスパンダとしての役割を果たす。コア４１２２の幅が減少するにつれて、コア／導波管４１２２／４１２０が対応する光学モードは導波管４１２０へと拡がる。モードの拡大が断熱条件（ここにおいて、先に規定済み）を満たすように、コア４１２２のテーパーが充分に漸進的であることが望ましい。リッジ導波管４１２０のために適切なトランスバース寸法を選択することにより、導波管４１２０と光ファイバとの間の光電力端部伝送を可能とするために、導波管４１２０と光ファイバとの間の空間モード適合の所望の度合いが、達成されうる。

【０１３２】

図４２Ａ及び図４２Ｂには、平面導波基板４２２２が、ダイオードレーザの外部伝送導波管との光電力の断熱的なトランスバース伝送のために第１の端部が適合した平面伝送導波管４２２２とともに、示されている。ダイオードレーザ及び外部伝送導波管は、レーザ基板４２０２（基板４２２２上にフリップチップ搭載されて図示）上で光学的に統合されている。基板４２２２におけるｖ字溝４２５０は、導波管４２２０との端部伝送のために光ファイバ４２９０（図４２Ｂに図示）を位置決めする役割を果たす。導波管４２２０は、モード拡張及びファイバ４２９０との空間モード整合のために、第２の端部にて適合されてもよい。基板４２２２には、導波管４２２０からのダイオードレーザの光出力電力の一部分の伝送のために、第１の端部にて位置決めされて適合した補助導波管４２４０が、設けられてもよい。導波管４２４０の第２の端部は、光電力をモニタフォトダイオードへと伝達するために、適合していてもよい。接点／電極４２２４／４２４４は、それぞれダイオードレーザ及びフォトダイオードへの電子的アクセスのために、設けられている。位置決め／支持部材４２７０／４２７２は、それぞれフリップチップ搭載されたダイオードレーザ及びフォトダイオードの位置決め及び支持のために、設けられている。

【０１３３】

モニタフォトダイオードは、平面導波基板４２２２上に組み込まれてもよく、望ましくは、フォトダイオード基板４２４２上に独立した部材として設けられるとよい（図４２Ｂでは、平面導波基板４２２２上にフリップチップ搭載されて図示）。導波管４２４０の第１の端部は、望ましくは、（図４２Ａ／４２Ｂに示すように）導波管４２２０からの光電力

のトランスバース伝送に適合しているとよく、あるいはその代わりに、導波管４２２０からの光電力の伝送のための他の任意の適切な方法で、適合していてもよい。導波管４２４０の第２の端部は、光電力を基板４２２２から上方へと向ける回転ミラーとして機能するように、適合していることが望ましい。このことは、基板４２２２加工時に、導波管４２２２の傾斜した第２の端面を提供することにより、実現してもよい。その代わりに、導波管４２４０からモニタフォトダイオードへと光電力を伝送するために、任意の適切な手段が用いられてもよい。例えば、導波管４２４０の第２の端部には、光学散乱体が、設けられてもよく、散乱した光電力の一部がフォトダイオードにより向けられる。他の実施例では、フォトダイオードには、導波管４２４０からの光電力のトランスバース伝送（断熱又はモード干渉結合）及び光電力のフォトダイオードへの伝送に適合した、本発明による外部伝送光導波管が、設けられてもよい。他の手段が等価に用いられてもよい。

【０１３４】

図４３Ａ／４３Ｂに、平面伝送光導波管４３２０，４３２１を搭載した平面導波基板４３２２を示す。ダイオードレーザには、レーザ基板４３０２（図４３Ｂでは基板４３２２上にフリップチップ搭載されて図示）上に外部伝送光導波管が、設けられてもよい。光学変調器には、変調基板４３０３（図４３Ｂでは基板４３２２上にフリップチップ搭載されて図示）上に２つの外部伝送光導波管が、設けられてもよい。導波管４３２０は、第１の端部にて、ダイオードレーザの外部伝送導波管との光電力のトランスバース伝送（断熱又はモード干渉結合）に適合していてもよく、第２の端部にて、変調器の第１の外部伝送導波管との光電力のトランスバース伝送（断熱又はモード干渉結合）に適合していてもよい。導波管４３２１は、第１の端部にて、変調器の第２の外部伝送導波管との光電力のトランスバース伝送（断熱又はモード干渉結合）に適合していてもよく、第２の端部にて、モード拡張及び光ファイバ４３９０（図４３Ｂでは、ｖ字溝４３５０内に配置されて図示）との端部伝送に適合していてもよい。補助導波管４３４０，４３９０は、第１の端部にてそれぞれ導波管４３２０及び導波管４３２１からの光電力の一部分の伝送に適合した基板４３２２上に、設けられている。分流された部分は、フォトダイオードへと向けられる。なお、フォトダイオードは、望ましくは独立したフォトダイオード基板４３４４／４３４５上に設けられるとよく、図４３Ｂでは、基板４３２２上にフリップチップ搭載されて図示されている。導波管４３４０／４３４１及びフォトダイオードは、先の段落で説明されたように適合してもよい。接点／電極４３７０／４３７１／４３７２／４３７３は、ダイオードレーザ、変調器、及びフォトダイオードへの電子的アクセスのために、設けられている。位置決め／支持部材４３８０／４３８１／４３８２／４３８３は、ダイオードレーザ、変調器、及びフォトダイオードの位置決め及び支持のために、基板４３２２上に設けられてもよい。上記の実施形態は、例示的なものである。光学素子（外部伝送導波管を伴う）及び伝送導波管は、ここに開示及び／又は特許請求される特許請求の範囲内に含まれる。

【０１３５】

図４４Ａ及び図４４Ｂでは、平面導波基板４４２２が、ダイオードレーザの外部伝送導波管との光電力の断熱的なトランスバース伝送のために第１の端部が適合した平面伝送導波管４４２０とともに、示されている。ダイオードレーザ及び外部伝送導波管は、レーザ基板４４０２（図４４Ｂでは、基板４４２２上にフリップチップ搭載されて図示）上で光学的に統合されている。基板４４２２におけるｖ字溝４４５０は、導波管４４２０との端部伝送のために光ファイバ４４９０（図４４Ｂに図示）を位置決めする役割を果たす。導波管４４２０は、モード拡張、及びボールレンズ４４９４（基板４４２２の凹部内に収容されて図示）と組み合わされたファイバ４２９０との空間モード整合のために、第２の端部にて適合されてもよい。基板４４２２は、ボールレンズ４４９４と光ファイバ４４９０との間に挿入された光学アイソレータ４４９６を収容するための追加の凹部を、有してもよい。基板４４２２には、導波管４４２０からのダイオードレーザの光出力電力の一部分の伝送のために、第１の端部にて位置決めされて適合した補助導波管４４４０が、設けられてもよい。導波管４４４０の第２の端部は、光電力を、フリップチップ搭載された基板４

４４４上に設けられたモニタフォトダイオードへと伝達するために、適合していてもよい。接点／電極４４７０／４４７２は、それぞれダイオードレーザ及びフォトダイオードへの電子的アクセスのために、設けられている。位置決め／支持部材４４８０／４４８２は、それぞれフリップチップ搭載されたダイオードレーザ及びフォトダイオードの位置決め及び支持のために、設けられている。

【０１３６】

ここに示した様々な例示的な実施形態には、光学素子を（外部伝送導波管のある基板上に）正確に位置決めして支持するための支持／位置決め部材が含まれる。素子基板上に支持及び又は位置決め構造を提供することが、望ましい。このような支持構造は、外部伝送光導波管（突出構造であることが多い）を、素子及び導波基板の組立時に損傷しないように保護する役割を果たしてもよい。図４５Ａ及び図４５Ｂに、例示的な支持部材を示す。光学素子（図示せず）及び外部伝送光導波管４５３０は、支持部材４５６０（導波管４５３０に実質的に平行に伸びて突出したリッジの形態をとる）とともに、素子基板上４５０２にて光学的に統合されている。素子を平面伝送導波管４５２０とともに導波基板４５２２（明瞭にするために図４５Ａでは省略）上に組み合わせると、リッジ４５６０が導波基板表面に係合して、外部伝送導波管４５３０に機械的支持及び保護を提供することになる。

【０１３７】

本発明は、好適及び代替的な実施形態の形態にて説明された。しかしながら、ここに開示及び／又は特許請求された本発明の概念の範囲内に留まる限り、光電力のトランスバース伝送を用いた、開示された光接合装置及び方法に対する修正が、なされてもよい。

【図面の簡単な説明】

【０１３８】

【図１Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の平面図である。

【図１Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の側面図である。

【図１Ｃ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の端面図である。

【図２Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の平面図である。

【図２Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の側面図である。

【図２Ｃ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の端面図である。

【図３Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の平面図である。

【図３Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の側面図である。

【図３Ｃ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の端面図である。

【図４Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の平面図である。

【図４Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の側面図である。

【図４Ｃ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の端面図である。

【図５Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の平面図である。

【図５Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の側面図である。

【図５Ｃ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の端面図である。
【図６Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の平面図である。
【図６Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の側面図である。
【図７Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の平面図である。
【図７Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の端面図である。
【図８Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の側面図である。
【図８Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管の端面図である。
【図９Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバの平面図である。
【図９Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバの側面図である。
【図９Ｃ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバの端面図である。
【図１０Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバのテーパー部の平面図である。
【図１０Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバのテーパー部の平面図である。
【図１１Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバのテーパー部の平面図である。
【図１１Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバのテーパー部の平面図である。
【図１２】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合して組み合わされた導波管及び光ファイバのテーパー部の平面図である。
【図１３Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管の平面図である。
【図１３Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管の側面図である。
【図１４Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管を含む光学素子の側面図である。
【図１４Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管を含む光学素子の底面図である。
【図１５Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管を含む組み合わされた光学素子の平面図である。
【図１５Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管を含む組み合わされた光学素子の側面図である。
【図１６Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管の平面図である。
【図１６Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管の側面図である。
【図１７Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した光ファイバの導波管の側面図である。
【図１７Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した光ファイバの底面図である。

【図１８Ａ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管及び光ファイバを含む組み合わされた光学素子の平面図である。
【図１８Ｂ】本発明による実質的に断熱的な光電力の伝送に適合した導波管及び光ファイバを含む組み合わされた光学素子の側面図である。
【図１９Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の模式的な平面図である。
【図１９Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の模式的な側面図である。
【図１９Ｃ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の模式的な平面図である。
【図１９Ｄ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の模式的な側面図である。
【図２０Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図２０Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な側面図である。
【図２０Ｃ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図２０Ｄ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な側面図である。
【図２０Ｅ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図２０Ｆ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な側面図である。
【図２０Ｇ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図２０Ｈ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な側面図である。
【図２１】本発明による外部伝送光導波管の例示的な側面図である。
【図２２Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図２２Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な側面図である。
【図２３】本発明による外部伝送光導波管の例示的な側面図である。
【図２４】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図２５】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図２６Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２６Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２７Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２７Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２８Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２８Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。

【図２９Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２９Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２９Ｃ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図２９Ｄ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図３０】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図３１】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図３２】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図３３Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図３３Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な斜視図である。
【図３４Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の側面図である。
【図３４Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の側面図である。
【図３５Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図３５Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図３６Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の側面図である。
【図３６Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の側面図である。
【図３７Ａ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の側面図である。
【図３７Ｂ】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の側面図である。
【図３８】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な平面図である。
【図３９】本発明による統合された外部伝送光導波管を含む光学素子の例示的な側面図である。
【図４０】本発明による外部伝送光導波管又は平面伝送光導波管の製造を示す工程図（断面）である。
【図４１】本発明による平面伝送光導波管を含む平面導波基板上の製造を示す工程図（平面）である。
【図４２Ａ】本発明による平面導波基板上へと取り付けられた光学素子の例示的な平面図である。
【図４２Ｂ】本発明による平面導波基板上へと取り付けられた光学素子の例示的な平面図である。
【図４３Ａ】本発明による平面導波基板上へと取り付けられた光学素子の例示的な平面図である。
【図４３Ｂ】本発明による平面導波基板上へと取り付けられた光学素子の例示的な平面図である。
【図４４Ａ】本発明による平面導波基板上へと取り付けられた光学素子の例示的な平面図である。
【図４４Ｂ】本発明による平面導波基板上へと取り付けられた光学素子の例示的な平面図である。
【図４５Ａ】本発明によるトランスバース伝送に適合して組み合わされた光接合の例示的な平面図である。

【図４５Ｂ】本発明によるトランスバース伝送に適合して組み合わされた光接合の例示的な側面図である。

【図４６】端部伝送、モード干渉結合トランスバース伝送、断熱トランスバース伝送についての、トランスバースオフセットの関数としての導波管間の光電力のグラフ。光電力伝送は、単純な解析モデルを用いて算出されたものである。

【図４７】トランスバースオフセットの関数としての導波管間の光電力のグラフ。導波管は、本発明により、断熱的なトランスバース伝送に適合して配置されている。曲線（黒の三角付）は、数値モデルを用いて算出され、一方、白の四角は、実験による測定値である。

【図４６】

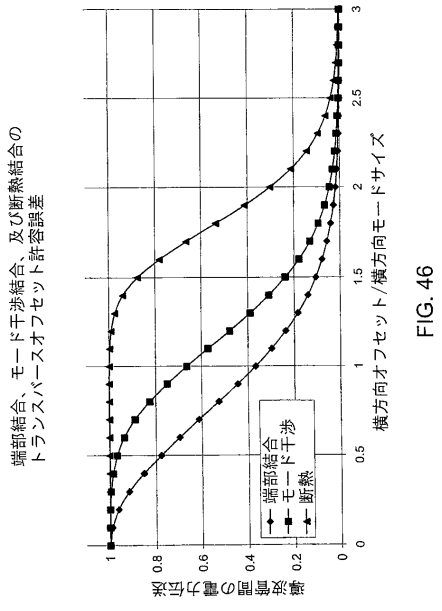


FIG. 46

【図４７】

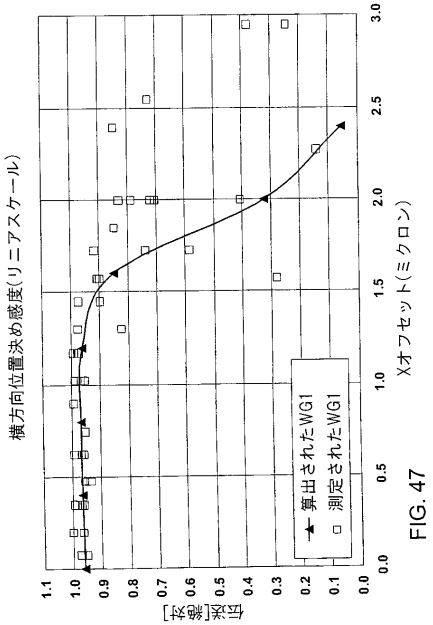


FIG. 47

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
8 May 2003 (08.05.2003)

PCT

(10) International Publication Number
WO 03/038497 A1

(51) International Patent Classification⁷: G02B 6/26, 6/36, 6/42

(21) International Application Number: PCT/US02/20668

(22) International Filing Date: 28 June 2002 (28.06.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
60/334,705 30 October 2001 (30.10.2001) US
60/360,261 27 February 2002 (27.02.2002) US

(71) Applicant: XPONENT PHOTONICS, INC. [US/US]; 425 East Huntington Drive, Monrovia, CA 91016 (US).

(72) Inventors: BLAUVELT, Henri, A.; Xponent Photonics Inc., 425 East Huntington Drive, Monrovia, CA 91016 (US). VAHALA, Kerry, J.; Xponent Photonics Inc., 425 East Huntington Drive, Monrovia, CA 91016 (US). VERNOOY, David, W.; Xponent Photonics Inc., 425 East Huntington Drive, Monrovia, CA 91016 (US). PASLASKI, Joel, S.; Xponent Photonics Inc., 425 East Huntington Drive, Monrovia, CA 91016 (US).

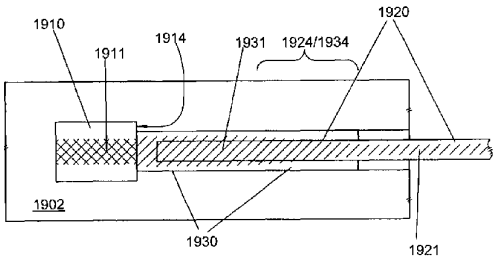
(74) Agents: MILLER, Scott, R. et al.; Riordan & McKinzie, 300 South Grand Avenue, 29th Floor, Los Angeles, CA 90071 (US).

(81) Designated States *(national)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States *(regional)*: ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continued on next page]

(54) Title: OPTICAL JUNCTION APPARATUS AND METHODS EMPLOYING OPTICAL POWER TRANSVERSE-TRANSFER



(57) Abstract: An optical apparatus comprises an optical device (910) fabricated on a substrate (1902), an external-transfer optical waveguide (1930) fabricated on the substrate (1902) and/or on the optical device, and a transmission optical waveguide (1920). The optical device and/or the external-transfer waveguide are adapted for and positioned for transfer of optical power therebetween (end-transfer or transverse-transfer). The external-transfer waveguide and/or the transmission waveguide are adapted for transverse-transfer of optical power therebetween (mode-interference-coupled or adiabatic). The transmission waveguide is initially provided as a component mechanically separate from the substrate, device, and external-transfer waveguide. Assembly of the transmission waveguide with the substrate, device, and/or external-transfer waveguide results in relative positioning of the external-transfer waveguide and the transmission waveguide for enabling transverse-transfer of optical power therebetween. Optical power transfer between the device and the transmission waveguide through the external-transfer waveguide is thereby enabled. The transmission waveguide may preferably comprise a planar waveguide on a waveguide substrate.

WO 03/038497 A1

WO 03/038497 A1

Published:
— *with international search report*
— *before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments*

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

OPTICAL JUNCTION APPARATUS AND METHODS EMPLOYING OPTICAL POWER TRANSVERSE-TRANSFER

Applicants: Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, David W. Vernooy, and Joel S. Paslaski

[0001] This application claims benefit of prior-filed co-pending provisional Application No. 60/334,705 (Docket No. CQC15P) entitled "Integrated end-coupled transverse-optical-coupling apparatus and methods" filed 10/30/2001 in the names of Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, Peter C. Sercel, Oskar J. Painter, and Guido Hunziker, said provisional application being hereby incorporated by reference as if fully set forth herein. This application claims benefit of prior-filed co-pending provisional Application No. 60/360,261 (Docket No. CQC17P) entitled "Alignment-insensitive optical junction apparatus and methods employing adiabatic optical power transfer" filed 02/27/2002 in the names of Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, David W. Vernooy, and Joel S. Paslaski, said provisional application being hereby incorporated by reference as if fully set forth herein.

FIELD OF THE INVENTION

[0002] The field of the present invention relates to optical telecommunications. In particular, optical junction apparatus and methods are described herein employing transverse-transfer of optical power between assembled optical components.

BACKGROUND

[0003] This application is related to subject matter disclosed in:

[0004] A1) U.S. provisional Application No. 60/257,218 (Docket No. ALG04P) entitled "Waveguides and resonators for integrated optical devices and methods of fabrication and use thereof" filed 12/21/2000 in the name of Oskar J. Painter, said provisional application being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0005] A2) U.S. provisional Application No. 60/301,519 (Docket No. ALG05P) entitled "Waveguide-fiber Mach-Zender interferometer and methods of fabrication and use thereof" filed 06/27/2001 in the names of Oskar J. Painter, David W.

Vernooy, and Kerry J. Vahala, said provisional application being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0006] A3) U.S. provisional Application No. 60/322,272 (Docket No. CQC11P) entitled "Fiber-optic-taper probe for characterizing transversely-optically-coupled waveguides and resonators" filed 09/13/2001 in the name of David W. Vernooy, said provisional application being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0007] A4) U.S. Pat. No. 5,032,219 entitled "Method for improving the planarity of etched mirror facets" issued 07/16/1991 in the names of Peter. L. Buchman, Peter Vettiger, Otto Voegeli, and David J. Webb, said patent being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0008] A5) U.S. Pat. No. 5,103,493 entitled "Improved planar etched mirror facets" issued 04/07/1992 in the names of Peter. L. Buchman, Peter Vettiger, Otto Voegeli, and David J. Webb, said patent being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0009] A6) U.S. Pat. No. 5,177,031 entitled "Method of passivating etched mirror facets of semiconductor laser diodes" issued 01/05/1993 in the names of Peter. L. Buchman, David J. Webb, and Peter Vettiger, said patent being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0010] A7) U.S. Pat. No. 5,259,049 entitled "Self-aligned optical waveguide to laser structure and method of making the same" issued 11/02/1993 in the names of Gian-Luca Bona, Fritz Gfeller, Heinz Jaeckel, and David J. Webb, said patent being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0011] A8) U.S. provisional App. No. 60/334,705 (Docket No. CQC15P) entitled "Integrated end-coupled transverse-optical-coupling apparatus and methods" filed 10/30/2001 in the names of Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, Peter C. Sercel, Oskar J. Painter, and Guido Hunziker, said application being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0012] A9) U.S. provisional App. No. 60/333,236 (Docket No. CQC16P) entitled "Alignment apparatus and methods for transverse optical coupling" filed 11/23/2001 in the names of Charles I. Grosjean, Guido Hunziker, Paul M. Bridger, and Oskar J.

Painter, said application being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein;

[0013] A10) U.S. non-provisional App. No. 10/037,966 (Docket No. CQC14NP) entitled "Multi-layer dispersion-engineered waveguides and resonators" filed 12/21/2001 in the names of Oskar J. Painter, David W. Vernooy, and Kerry J. Vahala, said application being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein; and

[0014] A11) U.S. provisional App. No. 60/360,261 (Docket No. CQC17P) entitled "Alignment-Insensitive optical junction apparatus and methods employing adiabatic optical power transfer" filed 02/27/2002 in the names of Henry A. Blauvelt, Kerry J. Vahala, David W. Vernooy, and Joel S. Paslaski, said provisional application being hereby incorporated by reference as if fully set forth herein.

[0015] This application is also related to subject matter disclosed in the following publications, each of said publications being hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein:

[0016] P1) Y.P. Li and C.H. Henry, Silicon Optical Bench Waveguide Technology, in Optical Fiber Telecommunications, IIIb, I.P. Kaminow and T.L. Koch eds., Academic Press, 1997;

[0017] P2) T. Ramadan, R. Scarmozzino, and R Osgood "Adiabatic Couplers: Design Rules and Optimization" IEEE J. Lightwave Tech., v16, No. 2, pp 277-283,(1998);

[0018] P3) D. G. Dalgoutte, R. B. Smith, G. Achutaramayya, and J. H. Harris, "Externally mounted fibers for integrated optics interconnections", Appl. Optics Vol. 14, No. 8, pp 1860-1865 (1975); and

[0019] P4) Y. Shani, C. H. Henry, R. C. Kistler, R. F. Kazarinov, and K. J. Orlowsky, "Integrated optic adiabatic devices on silicon", IEEE J. Quant. Elec., Vol. 27, No. 3, pp556-566 (1991).

[0020] A fundamental problem in the field of optical telecommunications is attaining efficient and cost-effective transfer of optical signal power between assembled optical components. One particularly significant example is achieving optical signal power transfer between an active or passive optical device and a low-

loss transmission optical waveguide, including optical fibers and/or planar waveguide circuits. Examples of active optical devices may include but are not limited to semiconductor lasers, electro-absorption modulators, electro-absorption modulated lasers, electro-optic modulators, semiconductor optical amplifiers, photodiodes or other photodetectors, NxN optical switches, and so forth. Examples of passive devices may include but are not limited to wavelength division multiplexers/de-multiplexers, wavelength division slicers/interleavers, wavelength division add/drop filters, other optical filters, splitters/combiners, interferometers, phase shifters, dispersion compensators, fixed or variable optical attenuators, and so forth. Such optical devices often involve generation of, interaction with, and/or manipulation of optical modes that are typically small (particularly in semiconductor-based devices), often on the order of just a few microns across and sometimes less than 1 micron high. This interacting mode size is typically much smaller than an optical mode size supported by a single-mode optical fiber or a planar lightwave circuit (generally about ten microns across). End-coupling of an optical fiber or planar waveguide circuit to an optical device is therefore often inefficient (around 5-15%) due to spatial mode mismatch, yielding devices having undesirably large insertion losses. Prior art methodologies exist for achieving higher end-coupling efficiencies, but these require expensive components for achieving better mode-matching (aspheric lenses and the like), and also require high-precision active alignment of the optical components and the optical device (required tolerances may be as small as 0.1 μm, and must typically be achieved on an individual device basis).

[0021] Prior art methodologies exist for low-cost end-coupled optical assembly (such as methodologies based on silicon optical bench technologies, for example). However, these low-cost solutions generally suffer from low optical power transfer efficiency between an optical device and an optical fiber or other waveguide, for the reasons set forth hereinabove.

[0022] Optical power transfer by end-coupling (equivalently, end-fire coupling or end-transfer) is characterized by positioning of the optical components in an end-to-end geometry substantially along the direction of propagation of the optical signal power to be transferred. At the optical junction thus formed, optical power propagates out through an end-face of one optical component and in through an

end-face of another optical component. Alternatively, optical power transfer may be achieved by so-called transverse-coupling (equivalently, transverse-transfer), in which the optical components are positioned in a side-by-side geometry relative to the direction of propagation of the optical signal power. At the optical junction formed by transverse-coupling, there is typically at least one segment of the junction with optical power propagating along both components simultaneously.

[0023] Efficient end-transfer between optical components requires that optical modes in the respective components be substantially spatial-mode matched. Transverse-transfer of optical power between an optical device and a transmission optical waveguide provides an alternative to end-transfer for transferring optical signal power between an optical device and a transmission waveguide (through a taper segment of an optical fiber or through a suitably adapted portion of a planar waveguide, for example). In particular, the requirement for spatial-mode matching is eliminated; transverse-transfer of optical power may be achieved between optical modes of differing spatial-mode size and/or shape.

[0024] Transverse-transfer (also referred to as transverse coupling, transverse optical coupling, evanescent optical coupling, evanescent coupling, directional optical coupling, directional coupling) is discussed at length in several of the prior patent applications cited hereinabove, and the entire discussion need not be repeated herein. Transverse-transfer may be readily described in terms of optical modes characteristic of the separate optical waveguides (or other optical components) transitioning to the optical modes characteristic of a coupled-waveguide optical system. These latter modes are referred to herein as the "system modes" or "coupled-system modes", while the former modes are referred to herein as the "isolated modes" or "isolated-waveguide modes". Efficient transfer of optical signal power between optical waveguides by transverse-coupling may be achieved in one of several operating regimes. Two such regimes discussed herein are so-called mode-interference coupling and so-called adiabatic optical power transfer.

[0025] In so-called mode-interference coupling (described in several of the above-cited references, particularly A8 and A10, and referred to therein simply as transverse optical coupling), optical signal power entering a junction region from one waveguide is divided between two guided system modes. Ideally, this

transition into the junction region is configured so that the isolated mode is very nearly a linear superposition of the two lowest order system modes. This condition results in minimal power loss to higher order system modes (and/or radiation modes) as optical signal power enters the junction region. The two system modes propagate through the junction region along the waveguides with differing propagation constants (designated as β+ and β- for the two lowest-order system modes). Upon reaching the end of the junction region, optical signal power is divided into the two waveguides according to the relative phase of the two system modes. Once again, to minimize loss to higher-order and/or radiative modes, the isolated modes should substantially resemble linear superpositions of the two system modes. Since this is typically the case in practical devices, and presents a reasonable approximation even when it is not the case, it is usually possible to describe the characteristics of the junction region in terms of properties of the isolated modes, and such a description shall be used hereinafter. In particular, the degree of optical signal power transfer via mode-interference coupling is determined by the degree of transverse overlap between the isolated-waveguide modes, (characterized by a coupling coefficient κ), by the propagation distance over which the modes overlap (i.e., junction region length or interaction length L), and by the degree of modal index mismatch (characterized by $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$, the β's being the propagation constants for the respective isolated-waveguide modes). In mode-interference coupling, κ, β_1, β_2 are typically assumed to remain substantially constant over the length L of the junction region. Transfer of optical power between the mode-interference-coupled waveguides is given by (neglecting the effects of optical losses):

$$\frac{\left|E_2(L)\right|^2}{\left|E_1(0)\right|^2} = \frac{|\kappa|^2}{q^2}\sin^2(qL)$$

$$q^2 = |\kappa|^2 + \frac{1}{4}\Delta\beta^2 .$$

where the following definitions apply:

$E_{1,2}(z)$ *amplitudes of the coupled fields;*
$\beta_{1,2}$ *propagation constants of the coupled fields;*
κ *coupling amplitude resulting from spatial overlap of the fields;*
z *longitudinal propagation distance coordinate*

An incident field of amplitude E_1 that is spatially confined to a first optical waveguide before the junction region will transfer to the other optical element with a resultant field amplitude $E_2(L)$ at $z=L$ (where we define $z=0$ as the start of the junction region and $z=L$ as the end of the junction region). Optical power transfer as a function of the junction region length L is therefore oscillatory with a characteristic period or "beat length" that depends on κ and $\Delta\beta$. This may be thought of as a manifestation of the interference between the system modes excited within the junction region, both of which carry optical signal power. Greater coupling amplitude κ and/or greater modal-index mismatch $\Delta\beta$ will reduce the beat length. The absolute magnitude of the oscillatory power transfer decreases with increasing modal-index mismatch, with substantially complete transfer of optical power back and forth between the optical elements when $\Delta\beta$ is near zero. A particular degree of optical power transfer from one waveguide to the other may be achieved by configuring the junction region with the length L to achieve the desired transfer fraction for a given $\Delta\beta$ and κ.

[0026] To understand the distinction between mode interference coupling and adiabatic power transfer, it is first necessary to understand the meaning of the adiabatic condition within the general context of an optical waveguide. Two examples are presented for illustration. Consider first a single mode waveguide that is tapered over some segment of its length so as to modify both the transverse extent and the propagation constant of the guided mode. Tapering of a waveguide supporting even a single mode induces coupling to radiation modes. However, provided that the tapering is sufficiently gradual so that this radiative loss is weak (i.e., adiabatic tapering), it still makes sense to consider the optical power traversing the tapered waveguide as representing a single mode, albeit one whose properties have a longitudinal position dependence (i.e. z-dependence) as it traverses the tapered waveguide segment. Provided the adiabatic condition is satisfied (i.e., tapering is slow enough to render coupling to other modes minimal or below an operationally acceptable level), it is possible to describe the mode using longitudinally varying quantities such as a z-dependent propagation "constant" $\beta(z)$.

[0027] As a second example, the properties of a waveguide could be varied along the longitudinal propagation direction so that the waveguide at one position

supports a single transverse mode while at another position supports two or more transverse modes. In this example, adiabatic variation of the waveguide properties would result in negligible (or operationally acceptable) coupling to these other modes so that once again it is possible to think of the single "mode" as being preserved as it propagates along the waveguide, albeit as a mode whose properties such as its propagation "constant" β and/or its transverse spatial profile acquire a dependence on longitudinal position z along the waveguide.

[0028] This approximate way of considering optical modes subject to an adiabatic variation along the longitudinal or propagation direction is an important concept for understanding the operation of adiabatic power transfer devices. It is important to note that the term "mode" acquires a slightly more general meaning in the context of waveguides and junctions that satisfy an adiabatic condition. In particular, to the extent that coupling to other modes is minimal or remains at or below some operationally acceptable level, the terms "mode" and/or "optical mode" shall be used herein even if spatial, temporal, polarization, and/or other properties might evolve as the mode propagates along a waveguide whose properties vary longitudinally in an adiabatic fashion. This more general interpretation of modes is distinct from the more conventional use of the term "mode" which may typically imply preservation of certain modal properties, such as propagation constant β, transverse spatial profile, polarization state, and so on, as the mode propagates along a substantially longitudinally invariant waveguide.

[0029] For adiabatic optical power transfer, two isolated modes $a_1(z)$ and $a_2(z)$ characteristic of the isolated waveguides begin to experience weak coupling as they enter the junction region. Under the adiabatic condition this weak coupling may be characterized by a coupling coefficient $\kappa(z)$ and modal-index mismatch $\Delta\beta(z) = \beta_1(z) - \beta_2(z)$. The resulting system modes will substantially resemble the superposition modes a+(z) and a-(z) of the coupled-waveguide system given by

$$a_{\pm} = \frac{\lambda_{\pm}}{\sqrt{\kappa^2 + \lambda_{\pm}^2}} a_1 + \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \lambda_{\pm}^2}} a_2 \quad \text{where} \quad \lambda_{\pm} = \left(\frac{\Delta\beta}{2}\right) \pm \sqrt{\kappa^2 + \left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)^2}$$

where all quantities are z-dependent. For purposes of the present discussion, the terms "superposition modes" and "system modes" may be used interchangeably, even though the system modes may not resemble the superposition modes

throughout the junction region. At the beginning of the junction region (i.e., z=0), superposition mode a_+ preferably closely resembles only one of the isolated-waveguide modes a_1 or a_2, while mode a_- resembles the other. For example, in the limit of $|\Delta\beta| >> |\kappa|$ (i.e., strongly modal-index mis-matched), $a_+ \approx a_1 + \frac{\kappa}{\Delta\beta} a_2 \approx a_1$ and $a_- \approx a_2 - \frac{\kappa}{\Delta\beta} a_1 \approx a_2$, meaning each superposition mode is predominantly associated with a single isolated-waveguide mode in this limit (i.e., $a_+ \Leftrightarrow a_1$ and $a_- \Leftrightarrow a_2$). For adiabatic optical coupling, preferably $|\Delta\beta| >> |\kappa|$ for the isolated-waveguide modes at z=0. Under this input termination condition, the superposition modes (and hence also the system modes) substantially resemble the isolated-waveguide modes, and optical signal power entering the junction region in a first waveguide is transferred predominantly (even exclusively) into the corresponding system mode. The junction region is configured so that $|\Delta\beta|$ (for the isolated-waveguide modes) initially decreases along the junction region. The coefficient κ may also vary along the junction region, preferably reaching a maximum absolute value within the junction region. As evident from the equations defining the superposition modes given above, the variation of $\Delta\beta$ and/or κ results in evolution of the superposition modes (more precisely, the system modes) along the length of the junction region. As described above, the adiabatic condition requires that the variation of $\Delta\beta$ and/or κ must be sufficiently gradual so that transfer of optical power between system modes and/or between a system mode and other optical modes (guided or otherwise) remains at or below some operationally acceptable level. This criterion is equivalent to the adiabatic condition described in reference P2. In particular, any change in waveguide spacing, transverse dimensions, modal and/or material index, or other properties (before, within, and/or after the junction region) must be sufficiently gradual so as to minimize or reduce to an operationally acceptable level optical power transfer into undesirable modes of the coupled-waveguide system.

[0030] The "approach regions" of the joined waveguides (i.e., the regions directly before and after the junction region; may also be referred to as input and output regions) should preferably be adapted to satisfy the adiabatic condition. The waveguides to be joined may typically approach each other at a fairly shallow angle in order to minimize undesirable optical power transfer or optical loss that might result from an abrupt approach. Alternatively, one waveguide may arise from a

narrow tip and increase in height and/or width along the length of the other waveguide before reaching its full transverse dimensions. This gradual "appearance" of optical material may be made sufficiently gradual so as to satisfy/maintain the adiabatic condition. Similarly, after the junction region, the waveguides may move apart at a shallow angle, or one waveguide may decrease in transverse dimension(s) until it terminates in a narrow tip. The relative lengths of the approach regions and the junction region will typically depend on the strength of the interaction between the joined waveguides. For strong interaction between the waveguides in the junction region, the junction region might be relatively short, while very gradual approach and separation of the waveguides (and correspondingly longer approach regions) may be required to maintain an adiabatic condition. On the other hand, weaker interaction between the waveguides in the junction region requires a relatively longer junction region to achieve a given level of optical power transfer, but shorter approach regions may be used while nevertheless substantially avoiding undesirable optical power transfer to other optical modes. For a given waveguide type/geometry, it should be possible to achieve a desired level of optical power transfer between the waveguides with undesirable optical coupling maintained below some operationally acceptable level, while minimizing the overall length of the adiabatic optical power transfer device. If a higher level of undesirable optical coupling is tolerable (i.e., operationally acceptable) in a given device, shorter approach regions may be employed in order to reduce overall device size. It should be noted that the approach regions and junction region may not be clearly demarcated, but instead may gradually transition from one to the next. Such gradual transitions are typically necessary in order to satisfy the adiabatic condition.

[0031] For achieving substantially complete transfer of optical power between the waveguides, $\Delta\beta$ preferably reaches zero and changes sign at some point within the junction region, after which $|\Delta\beta|$ increases along the junction region. At the end of a sufficiently long junction region (i.e., $|\Delta\beta| >> |\kappa|$ at z=L; output termination condition), the system mode carrying the optical power has evolved to substantially resemble the isolated-waveguide mode of the second waveguide, and the optical power leaves the coupling region in the second waveguide. The first waveguide may or may not terminate at the end of the junction region or shortly thereafter,

provided that such termination satisfies the adiabatic condition. Likewise, the second waveguide may only appear at the beginning of the junction region or shortly before, provided that such appearance satisfies the adiabatic condition.

[0032] It is important to note that adiabatic transfer of optical power from the first waveguide to the second waveguide is accomplished without the use of "mode coupling." In particular, optical power leaves the junction region on the second waveguide carried by the "same" system mode as the system mode that carried the optical signal power entering the junction region on the first waveguide. This occurs since the adiabatic condition dictates that only negligible (or at most operationally acceptable) optical power transfer to other modes has occurred during the transfer of optical power between the waveguides (i.e., the system mode has been preserved by the adiabatic properties of the junction, even though its physical appearance has evolved in transit through the junction region). This behavior is quite distinct from the behavior of mode-interference coupling, which relies upon optical power being carried through the junction region by multiple system modes (usually two) to achieve optical power transfer.

[0033] In order to achieve division of optical power leaving the junction region between the two adiabatic-coupled waveguides (having entered the junction region through only one of them), the junction region may be configured so that at z=L the system mode substantially resembles a superposition mode that includes substantial components of both isolated-waveguide modes. Under these conditions optical power in the system mode will be divided into the two isolated-waveguide modes and leave the junction region in both waveguides. For example, a desired fraction of optical power transfer of about 50% (i.e., about 3 dB) may be desirable for implementing an interferometric device. An adiabatic optical power transfer junction may be employed having $|\Delta\beta|$ decreasing to about zero and then remaining near zero over the remaining length L of the junction region. The resulting system modes may have substantially equally weighted components substantially corresponding to each of the isolated-waveguide modes at the end of the junction region, resulting in substantially equal fractions of optical power leaving the junction region in each waveguide. Other fractions of optical power transfer may be implemented by employing adiabatic transverse optical power transfer as required for a specific device.

[0034] In contrast to the behavior of mode-interference-coupled waveguides, in which optical power transfer oscillates as a function of the junction length L, the fraction of power transfer for adiabatic optical power transfer is a substantially monotonic function of the distance L, typically closely approaching an asymptotic value after a certain minimum distance (which depends on κ and $\Delta\beta$) and then remaining substantially unchanged with additional junction region length. This fundamental difference in behavior has a profound influence on the fabrication/assembly/ alignment tolerances required for producing transverse-coupled optical components. Briefly, variations in κ and/or $\Delta\beta$ may affect the minimum junction region length required to achieve a desired level of optical power transfer between waveguides, but do not typically affect the asymptotic fraction of optical power transferred. As long as the junction region of an assembled device is longer than the largest such minimum junction region length likely to arise due to fabrication/assembly/alignment variations, then the fraction of optical power transfer in the assembled device will remain substantially unaffected. This is discussed in more detail below, and is an important feature of the present invention.

[0035] Frequently the desired objective of an optical junction device is to effect a specific degree of optical power transfer from one optical component to another optical component assembled therewith. Achieving a specifically-desired degree of optical power transfer using mode-interference coupling requires design, fabrication, and assembly of transverse-optical-coupled elements having κ, $\Delta\beta$, and L kept within tight tolerances (although not as tight as tolerances required for end-coupling, as discussed in reference A8). Variation in relative positioning of the optical elements (affecting κ and possibly also $\Delta\beta$) causes variation in the "beat length", and hence the degree of optical power transfer for a given junction region length L (which may typically range between several tens to about 100 μm). For example, a fiber-optic taper segment (diameter 2-3 μm) mode-interference-coupled to a top surface of a dielectric waveguide on a substrate (3-5 μm wide) may require positioning within $\pm$0.5 μm accuracy horizontally and $\pm$20 nm accuracy vertically to keep nominally complete (100%) optical power transfer above the 90% level (0.5 dB level). Such tolerances may be difficult, expensive, and/or time-consuming to achieve, and may reduce device yield, particularly in a mass-production environment. Similarly, the mode-interference-coupled elements must be designed

and fabricated sufficiently accurately to yield sufficiently accurate $\Delta\beta$ and κ. Variation in $\Delta\beta$ gives rise to variation in the beat length as well as the maximum degree of optical power transfer that may be achieved. Further discussion of mode-interference coupling, and optical coupling in general, may be found in Fundamentals of Photonics by B. E. A. Saleh and M. C. Teich (Wiley, New York, 1991), hereby incorporated by reference in its entirety as if fully set forth herein. Particular attention is called to Chapter 7 and Chapter 18.

[0036] Adiabatic optical power transfer may be exploited to further relax manufacturing tolerances for assembled optical components and devices relative to mode-interference coupling. For example, to achieve substantially complete transfer of optical power from one waveguide to another using adiabatic optical power transfer, the length of the junction region should be made sufficiently long (typically several hundred μm up to perhaps several mm) so that substantially complete optical power transfer occurs for nearly all values of $|\kappa|$ and $|\Delta\beta|$ likely to arise during fabrication and assembly of an optical device. Manufacturing variations in κ and $\Delta\beta$ would therefore have little or no effect on the substantially complete transfer of optical power between waveguides (in contrast to the situation with mode-interference coupling). For example, in the example given above of a fiber-optic taper segment (diameter 2-3 μm) coupled to a top surface of a dielectric waveguide on a substrate (3-5 μm wide, with a modal index varying over a junction region several hundred μm in length) may only require position accuracy within limits about 3 to 5 times larger than those required for mode-interference coupling.

[0037] The techniques and configurations of adiabatic optical power transfer may therefore be exploited for constructing optical devices that include initially separate optical components subsequently assembled together, thereby providing apparatus and methods for transferring optical signal power between optical components that overcome various drawbacks described hereinabove. It is desirable to provide apparatus and methods for transferring optical signal power between waveguides joined by an adiabatic optical junction. It is desirable to implement apparatus and methods for adiabatic optical power transfer wherein fabrication, assembly, and/or alignment tolerances are substantially relaxed relative to end-coupling and mode-interference transverse-coupling. It is desirable to enable passive alignment of the waveguides. It is desirable to provide at least one of the waveguides as an

integrated optical component on a substrate. It is desirable to implement substantially adiabatic optical power transverse-transfer adiabatic apparatus and methods that may be compatible with established optical device technologies.

[0038] A fundamental problem in the field of fiber-optic telecommunications is efficient transfer of optical signal power between the optical fiber and the optical devices for generating and/or manipulating the optical signal power. Transverse-transfer of optical power may be advantageously employed to transfer optical power between an optical fiber and an optical device through an intermediate external-transfer optical waveguide. It is desirable to provide apparatus and methods for transferring optical signal power between an optical device on a substrate and a transmission waveguide through an external-transfer waveguide optically integrated with the optical device on the substrate, wherein optical signal power is transferred between the external-transfer waveguide and the transmission waveguide by optical power transverse-transfer (adiabatic or otherwise). Optical power may be transferred between the device and the external-transfer waveguide by end-transfer or transverse-transfer (adiabatic or otherwise). An external-transfer waveguide adapted for end-transfer with the optical device may be substantially spatial-mode-matched therewith. The transmission optical waveguide may be the optical fiber (suitably adapted for transverse-transfer) or may be a planar waveguide. Such a planar transmission optical waveguide may more readily enable transfer of optical signal power to/from the optical fiber. It is desirable to implement optical power transfer via external-transfer waveguide apparatus and methods that may be compatible with established optical device technologies. An external-transfer optical waveguide (adapted for optical power transverse-transfer, adiabatic or otherwise, with a transmission waveguide) may be a component optically integrated with an optical device, and may be provided using precision spatially selective fabrication and processing techniques similar to those used to fabricate and process the optical device. Use of such fabrication techniques thereby enables wafer-scale fabrication and precision alignment of many external-transfer waveguide/device pairs in parallel on a single substrate, thereby realizing significant economies of time and cost to manufacture optical devices. It is desirable to enable and/or facilitate substantially simultaneous assembly/alignment of an optical device with two or more transmission waveguides.

SUMMARY

[0039] Certain aspects of the present invention overcome one or more aforementioned drawbacks of the previous art and/or advance the state-of-the-art of optical power transfer, and in addition may meet one or more of the following objects:

[0040] To provide apparatus and methods for substantially adiabatic optical power transverse-transfer between optical waveguides;

[0041] To provide mechanically separate optical waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer when assembled;

[0042] To provide waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer therebetween with relaxed fabrication and/or alignment tolerances for optical power transfer;

[0043] To provide apparatus and methods for substantially adiabatic optical power transverse-transfer between optical waveguides wherein optical power transverse-transfer is less sensitive to dimension(s) and/or relative position of the waveguides than is the case for end-transfer and/or mode-interference-coupled transverse-transfer;

[0044] To provide mechanically separate optical waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer when aligned passively and assembled;

[0045] To provide apparatus and methods for substantially adiabatic optical power transverse-transfer between waveguides wherein the power transfer level remains substantially flat over a substantial range of relative transverse positions of the waveguides;

[0046] To provide apparatus and methods for substantially adiabatic optical power transverse-transfer between waveguides wherein the power transfer level remains within about 0.5 dB of its maximum level over a range of waveguide transverse offsets, the range being larger than about ±1.0 times a corresponding transverse spatial mode size characteristic of the waveguides;

[0047] To provide at least one of the optical waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer as an integrated optical component on a substrate;

[0048] To provide at least one of the optical waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer as a planar waveguide on a substrate;

[0049] To provide substantially adiabatic optical power transverse-transfer apparatus and methods that may be compatible with established optical device technologies;

[0050] To provide apparatus and method for enabling and/or facilitating transfer of optical signal power between an optical fiber and an optical device on a substrate;

[0051] To provide apparatus and methods for transferring optical signal power between an optical device and a transmission optical waveguide through an external-transfer optical waveguide, the external-transfer optical waveguide being optically integrated with the optical device on a common substrate, the external-transfer optical waveguide and the transmission optical waveguide being adapted for optical power transverse-transfer therebetween;

[0052] To provide a suitably adapted (for transverse-transfer) optical fiber as the transmission optical waveguide;

[0053] To provide a suitably adapted (for transverse-transfer) planar waveguide as the transmission optical waveguide;

[0054] To provide a suitably adapted (for transverse-transfer) planar waveguide as the transmission optical waveguide, the planar waveguide being further adapted for transferring optical power to/from an optical fiber;

[0055] To provide the optical device and/or the external-transfer optical waveguide adapted for substantially spatial-mode-matched end-transfer of optical power therebetween;

[0056] To provide the optical device and/or the external-transfer optical waveguide adapted for transverse-transfer of optical power therebetween;

[0057] To provide the external-transfer optical waveguide and/or the transmission optical waveguide adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer therebetween;

[0058] To provide the external-transfer optical waveguide and/or the transmission optical waveguide adapted for passively-modal-index-matched mode-interference-coupled optical power transverse-transfer therebetween;

[0059] To provide the external-transfer optical waveguide and/or the transmission optical waveguide adapted for actively-modal-index-matched mode-interference-coupled optical power transverse-transfer therebetween;

[0060] To provide the transmission optical waveguide and the integrated optical device/external-transfer optical waveguide as mechanically separate components adapted for optical power transverse-transfer between the external-transfer optical waveguide and the transmission optical waveguide when assembled;

[0061] To provide the transmission optical waveguide and the integrated optical device/external-transfer optical waveguide as mechanically separate components adapted for optical power transverse-transfer between the external-transfer optical waveguide and the transmission optical waveguide when passively aligned and assembled;

[0062] To provide the optically integrated external-transfer waveguide by applying to the optical device precision material processing techniques such as lithography, deposition, masking, and/or etching techniques, thereby enabling precision alignment of the external-transfer optical waveguide and the optical device;

[0063] To provide external-transfer optical waveguide apparatus and methods that may be compatible with established optical device technologies;

[0064] To provide wafer-scale fabrication and precision alignment of many optically integrated external-transfer waveguide/device pairs in parallel on a single substrate;

[0065] To provide apparatus and methods enabling assembly/alignment of multiple optical devices on a common planar waveguide substrate, the

devices each being adapted for optical power transfer with one or more planar transmission waveguides on the planar waveguide substrate;

[0066] To enable and/or facilitate substantially simultaneous assembly/alignment of a waveguide with two or more other transmission waveguides so as to establish optical power transverse-transfer therebetween; and

[0067] To enable and/or facilitate substantially simultaneous assembly/alignment of an optical device with two or more waveguides so as to establish an optical junction between the device and each waveguide.

[0068] One or more of the foregoing objects may be achieved in the present invention by an apparatus for transferring optical power between a first optical waveguide and a second optical waveguide, the first and second waveguides being initially mechanically separate and subsequently assembled to form an optical junction for optical power transfer. The apparatus comprises: a first optical waveguide including an optical junction region; and a second optical waveguide including an optical junction region. The junction region of one or both of the waveguides is/are adapted for substantially adiabatic optical power transfer, through variation of one or more optical properties along the length thereof. Longitudinal variation of dimension(s) and/or optical properties of the first and second waveguides are sufficiently gradual so as to result in undesirable optical power transfer between the guided system optical mode and other optical modes at or below an operationally acceptable level. Assembly of the first and second waveguides serves to position the respective optical junction regions thereof so as to enable substantially adiabatic optical power transfer between the waveguides. The nature of adiabatic optical power transfer results in substantially relaxed alignment tolerances relative to end-transfer and/or mode-interference-coupled transverse-transfer. Passive alignment may be employed to assemble the first and second waveguides for optical power transfer. The junction regions may be adapted so as to provide substantially complete transfer of optical power between the waveguides.

[0069] One or more of the foregoing objects may be achieved in the present invention by an apparatus for transferring optical power between an optical device and a transmission optical waveguide, the apparatus comprising: a) an optical device on a substrate; b) a transmission optical waveguide; and c) an external-

transfer optical waveguide optically integrated with the optical device, the external-transfer waveguide being adapted for transmitting optical power between the optical device and the transmission optical waveguide. The optical device and/or the external-transfer optical waveguide may preferably be adapted and positioned for end-transfer or transverse-transfer of optical power therebetween. The external-transfer waveguide and/or the transmission optical waveguide may preferably be adapted for transverse-transfer of optical power therebetween (mode-interference-coupled or adiabatic). The transmission optical waveguide is provided initially as a component mechanically separate from the optical device and external-transfer optical waveguide. Assembly of the transmission optical waveguide with the substrate, optical device, and/or external-transfer optical waveguide serves to position the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide for transverse-transfer of optical power therebetween. An external-transfer waveguide optically integrated with an optical device may be provided using wafer-scale fabrication and processing techniques, thereby enabling wafer-scale fabrication and precision alignment of many external-transfer waveguide/device pairs in parallel on a single substrate. The transmission optical waveguide may be a suitably adapted (for transverse-transfer with the external-transfer optical waveguide) optical fiber, or may preferably be a suitably adapted (for transverse-transfer with the external-transfer optical waveguide) planar transmission optical waveguide. The planar waveguide may be further adapted for transferring optical power to/from an optical fiber, thereby enabling transfer of optical power between the device and the fiber through the integrated external-transfer waveguide and the assembled planar transmission waveguide. The planar transmission waveguide may be part of a planar waveguide circuit.

[0070] Additional objects and advantages of the present invention may become apparent upon referring to the preferred and alternative embodiments of the present invention as illustrated in the drawings and described in the following written description and/or claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0071] Figs. 1A, 1B, and 1C are top, side, and end views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0072] Figs. 2A, 2B, and 2C are top, side, and end views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0073] Figs. 3A, 3B, and 3C are top, side, and end views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0074] Figs. 4A, 4B, and 4C are top, side, and end views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0075] Figs. 5A, 5B, and 5C are top, side, and end views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0076] Figs. 6A and 6B are top and side views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0077] Figs. 7A and 7B are top and end views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0078] Figs. 8A and 8B are side and end views, respectively, of waveguides adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0079] Figs. 9A, 9B, and 9C are top, side, and end views, respectively, of a waveguide and fiber-optic adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0080] Figs. 10A and 10B are top views of a waveguide and fiber-optic-taper segment adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0081] Figs. 11A and 11B are top views of a waveguide and fiber-optic-taper segment adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0082] Fig. 12 is a top view of a waveguide and fiber-optic-taper segment adapted and assembled for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0083] Figs. 13A and 13B are top and side views, respectively, of waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0084] Figs. 14A and 14B are side and bottom views, respectively, of an optical device including waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0085] Figs. 15A and 15B are top and side views, respectively, of an assembled optical device including waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0086] Figs. 16A and 16B are top and side views, respectively, of a waveguide adapted for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0087] Figs. 17A and 17B are side and bottom views, respectively, of a fiber-optic adapted for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0088] Figs. 18A and 18B are top and side views, respectively, of an assembled optical device including a waveguide and a fiber-optic adapted for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention.

[0089] Figs. 19A and 19B are top and side schematic diagrams, respectively, of an optical device including an integrated external-transfer waveguide according to the present invention. Figs. 19C and 19D are top and side schematic diagrams, respectively, of an optical device including an integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention.

[0090] Figs. 20A and 20B are top and side views, respectively, of an exemplary optical device including an integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention. Figs. 20C and 20D are top and side views, respectively, of an exemplary optical device including an integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention. Figs. 20E and 20F are top and side views, respectively, of an exemplary optical device including an integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention. Figs. 20G and 20H are top and side views, respectively, of an exemplary optical device including an integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention.

[0091] Fig. 21 is a side view of an exemplary external-transfer optical waveguide according to the present invention.

[0092] Figs. 22A and 22B are top and side views, respectively, of an exemplary optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0093] Fig. 23 is a top view of an exemplary external-transfer optical waveguide according to the present invention.

[0094] Fig. 24 is a top view of an exemplary optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0095] Fig. 25 is a top view of an exemplary optical device including an integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention.

[0096] Figs. 26A and 26B are isometric views of exemplary optical devices including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0097] Figs. 27A and 27B are isometric views of exemplary optical devices including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0098] Figs. 28A and 28B are isometric views of exemplary optical devices including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0099] Figs. 29A, 29B, 29C, and 29D are isometric views of exemplary optical devices including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0100] Fig. 30 is an isometric view of an exemplary optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0101] Fig. 31 is an isometric view of an exemplary optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0102] Fig. 32 is an isometric view of an exemplary optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0103] Figs. 33A and 33B are isometric views of exemplary optical devices including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0104] Figs. 34A and 34B are side views of an optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0105] Figs. 35A and 35B are top views of exemplary optical devices including integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention.

[0106] Figs. 36A and 36B are side views of an optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0107] Figs. 37A and 37B are side views of an optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0108] Fig. 38 is a top view of an exemplary optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0109] Fig. 39 is a side view of an exemplary optical device including integrated external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0110] Fig. 40 is a process diagram (cross-section) illustrating fabrication of an external-transfer optical waveguide or a planar transmission optical waveguide according to the present invention.

[0111] Fig. 41 is a process diagram (plan) illustrating fabrication on a planar waveguide substrate including planar transmission optical waveguides according to the present invention.

[0112] Figs. 42A and 42B are plan views of exemplary optical devices assembled onto a planar waveguide substrate according to the present invention.

[0113] Figs. 43A and 43B are plan views of exemplary optical devices assembled onto a planar waveguide substrate according to the present invention.

[0114] Figs. 44A and 44B are plan views of exemplary optical devices assembled onto a planar waveguide substrate according to the present invention.

[0115] Figs. 45A and 45B are plan and side views of exemplary optical junctions adapted and assembled for transverse-transfer according to the present invention.

[0116] Fig. 46 is a plot of optical power transfer between waveguides as a function of transverse offset for end-transfer, mode-interference-coupled transverse-transfer, and adiabatic transverse-transfer. The optical power transfer is calculated using a simple analytical model.

[0117] Fig. is a plot of optical power transfer between waveguides as a function of transverse offset, the waveguides being adapted and positioned for adiabatic transverse-transfer according to the present invention. The curve (with solid triangles) is calculated using a numerical model, while the open squares are experimentally measured values.

[0118] It should be noted that the relative proportions of various structures shown in the Figures may be distorted to more clearly illustrate the present invention. Relative dimensions of various devices, waveguides, resonators, optical fibers/tapers, and so forth may be distorted, both relative to each other as well as in their relative transverse and/or longitudinal proportions. In many of the Figures the transverse dimension of an optical element is enlarged relative to the longitudinal dimension for clarity, which will cause variations of transverse dimension(s) with longitudinal position to appear exaggerated. Also, in Figures which show an optical fiber positioned for end-transfer of optical power, the fiber diameter is typically much larger relative to other waveguide dimensions than is depicted. To show the fiber accurately scaled could have made it larger than the drawing sheet size. On the other hand, Figures showing a fiber-optic-taper segment are much closer to the actual relative scale.

[0119] The embodiments shown in the Figures are exemplary, and should not be construed as limiting the scope of the present invention as disclosed and/or claimed herein.

DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED AND ALTERNATIVE EMBODIMENTS

[0120] For purposes of the written description and/or claims, "index" may denote the bulk refractive index of a particular material (also referred to herein as a "material index") or may denote an "effective index" n_{eff}, related to the propagation constant β of a particular optical mode in a particular optical element by $\beta = 2\pi n_{eff}/\lambda$. The effective index may also be referred to herein as a "modal index". As referred to herein, the term "low-index" shall denote any materials and/or optical structures having an index less than about 2.5, while "high-index" shall denote any materials and/or structures having an index greater than about 2.5. Within these bounds, "low-index" may preferably refer to: silica (SiO_x), germano-silicate, boro-silicate, other doped silicas, and/or other silica-based materials; silicon nitride (Si_xN_y) and/or silicon oxynitrides (SiO_xN_y); other glasses; other oxides; various polymers; and/or any other suitable optical materials having indices between below about 2.5. "Low-index" may also include optical fiber, optical waveguides, planar optical waveguides, and/or any other optical components incorporating such materials and/or exhibiting a modal index below about 2.5. Similarly, "high-index" may preferably refer to materials such as semiconductors, IR materials, and/or any other suitable optical materials having indices greater than about 2.5, and/or optical waveguides of any suitable type incorporating such material and/or exhibiting a modal index greater than about 2.5. The terms "high-index" and "low-index" are to be distinguished from the terms "lower-index" and "higher-index", also employed herein. "Low-index" and "high-index" refer to an absolute numerical value of the index (greater than or less than about 2.5), while "lower-index" and "higher-index" are relative terms indicating which of two particular materials has the larger index, regardless of the absolute numerical values of the indices.

[0121] The term "planar optical waveguide" as employed herein shall denote any optical waveguide that is provided on a substantially planar substrate. Examples of such waveguides include ridge waveguides, buried waveguides, semiconductor waveguides, other high-index waveguides, silica-based waveguides, polymer waveguides, other low-index waveguides, core/clad type waveguides, multi-layer reflector waveguides, metal-clad waveguides, air-guided waveguides, photonic crystal/photonic bandgap-based waveguides, and myriad other examples not

explicitly set forth herein but nevertheless falling within the scope of inventive concepts disclosed and/or claimed herein. Many suitable substrates may be employed, including semiconductor, crystalline, silica or silica-based, other glasses, ceramic, metal, and myriad other examples not explicitly set forth herein but nevertheless falling within the scope of inventive concepts disclosed and/or claimed herein.

[0122] To provide optical junction apparatus and methods according to the present invention, transverse-transfer of optical power (adiabatic or mode-interference-coupled) between initially separate and subsequently assembled optical components may be exploited. Such optical junctions may be employed for transferring optical signal power between various types of optical components used to construct assembled optical devices, systems, and/or sub-systems. Examples of initially separate components that may be assembled to achieve optical power transfer therebetween may include but are not limited to: two separate optical fibers; two separate planar waveguides; an optical fiber and a planar waveguide; an optical device integrated onto a substrate and an optical fiber, planar waveguide, or other optical waveguide separate from the substrate; two optical devices integrated onto separate substrates. Of particular note is the use of apparatus and methods according to the present invention for transferring optical power between an optical transmission system (particularly a fiber-optic transmission system) and a semiconductor-based optical device on a substrate. Other combinations of separate optical components may be optically coupled using apparatus and methods adapted for transverse-transfer of optical power (adiabatic or mode-interference-coupled) according to the present invention. Some sort of joining element may typically be employed to effect assembly of initially separate and subsequently assembled components. Examples of such a joining element (which might arise from an interaction between the components and/or from structural members associated with one or both components) may include, but are not limited to: retainer, clamp, fastener, an adhesive, solder, potting or embedding materials, clip, tab/slot, groove, optical contacting, electrostatic and/or magnetostatic forces (including MEMS-based devices), spring or micro-spring, hermetic or micro-hermetic sealing of the assembled components, wafer-bonding techniques. Optical devices may be constructed in which various aspects of the functionality of the

optical device reside on initially separate optical components, with the optical device becoming fully functional upon assembling and establishing an optical junction between the separate components. Device functionality may be provided, altered, and/or controlled via optical junctions according to the present invention.

[0123] Multiple planar optical waveguides may be provided on a common substrate to form so-called planar waveguide circuits, sometimes also referred to as planar lightwave circuits (PLCs), optical integrated circuits, or opto-electronic integrated circuits. The multiple planar waveguides may all be provided at the same height or thickness above the underlying waveguide substrate, or may be provided at multiple heights or thicknesses above the waveguide substrate to form a three-dimensional optical network. Providing multiple planar waveguides together on a single waveguide substrate enables construction of composite optical assemblies including multiple optical devices connected in any suitable topology. Planar waveguides and planar waveguide circuits comprise an important class of transmission optical waveguides used to implement the present invention. A planar waveguide may often comprise a low-index core/cladding-type dielectric waveguide fabricated on a substantially planar substrate, often silica or silica-based waveguides fabricated on an oxide-coated silicon substrate. Silicon is a desirable waveguide substrate material for a variety of reasons, including but not limited to: relatively easy and well-understood material processing techniques; mature industry standards; highly planar single crystal faces obtainable; amenable to selective dry- and/or wet-etching; highly rigid; desirable thermal characteristics. The silicon substrate is often provided with a silica over-layer, with one or more planar waveguides on the silica over-layer. Silica and silica-based materials are nearly ideal and well-understood optical materials.

[0124] Substantially adiabatic transverse-transfer of optical power may be employed to provide reduced alignment-sensitivity when establishing an optical junction. In order to achieve substantially adiabatic optical power transfer, at least one of the joined optical components (typically waveguides) must have a modal index varying along the length of the junction region, thereby adapting the waveguide for substantially adiabatic transverse-transfer. This modal index variation may be achieved in a variety of ways: 1) one or both transverse dimensions of the waveguide core and/or cladding may vary along the length of the

waveguide; 2) the index of core and/or cladding material may vary along the length of the waveguide; 3) material of a selected index may be placed near the waveguide in amounts and/or at distances varying along the length of the waveguide; 4) a chirped grating may be written along the waveguide and optical material of differing index may be deposited, yielding an effective index varying along the length of the waveguide. Other techniques may be devised, and any suitable technique may be used alone or in combination to produce waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer for providing optical junctions according to the present invention.

[0125] For purposes of the present written description and/or claims, the adiabatic condition shall generally be defined as longitudinal variation of one or more waveguide properties sufficiently gradual so as to maintain near or below an operationally acceptable level optical power transfer between an isolated or system mode of interest and another isolated, system, or radiation mode. An operationally acceptable level may be defined by any relevant set or subset of applicable constraints and/or requirements arising from the performance, fabrication, device yield, assembly, testing, availability, cost, supply, demand, and/or other factors surrounding the manufacture and deployment of a particular assembled optical device.

[0126] Figs. 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, and 3C schematically illustrate a pair of stacked waveguides 110 and 120 (i.e., surface-joined), with waveguide 110 shown positioned on substrate 111 and waveguide 120 on substrate 121 (substrate 121 omitted from Figs. 1A, 2A, and 3A for clarity). Each waveguide core 112/122 varies in width along the length of the respective waveguide over junction region 101. The waveguide cores may equivalently vary in height, or in both transverse dimensions, along the length of a junction region (not shown here). The variation in core dimension(s) results in corresponding variation in $\Delta\beta$ along the lengths of the waveguides, which are preferably configured so that $\Delta\beta=0$ at some point in the junction region 101. Optical signal power entering waveguide 110 (from elsewhere on substrate 111) is transferred substantially completely to waveguide 120, provided that: 1) $|\kappa| << |\Delta\beta|$ at the ends of junction region 101; 2) κ is sufficiently large in the central portions of junction region 101; and 3) $\Delta\beta$ is positive near one end of the junction region and negative near the other end. Alternatively, optical

signal power entering through waveguide 120 may be substantially completely transferred to waveguide 110, (and hence to other components optically integrated with waveguide 110, if present). Exemplary dimensions for dielectric waveguides 110 and 120 might be: maximum core width 1-10 μm, preferably between about 2-5 μm; length of junction region 101 between about 100 and 2000 μm, typically several hundred μm; spacing between waveguide cores between about 0-3 μm.

[0127] The behavior of adiabatic optical power transfer with respect to variation in κ means that substantially complete transfer of optical power between waveguide 110 and 120 may be achieved within a wider range of relative position of waveguides 110 and 120 than could be tolerated with end-coupled or mode-interference-coupled devices. Waveguide 120 may therefore be positioned using passive alignment techniques, such as: providing alignment structures (not shown) on substrate 111 for receiving and positioning waveguide 120 relative to waveguide 110 (as in earlier-cited application A9, for example); providing waveguide 120 on a substrate 121 adapted for mating with substrate 111, so as properly position waveguides 110 and 120; or by other means. Active alignment techniques may also be employed (such as machine-vision assembly techniques, or by monitoring optical behavior of the coupled waveguides), and would be more readily and economically implemented with relaxed alignment tolerances as provided by the present invention.

[0128] In Figs. 1A, 1B, and 1C, approach regions 102/103 are each shown with waveguide 120 or 110, respectively, bilaterally tapering in a horizontal dimension before finally coming to an end. An isolated mode of waveguide 110, for example, would be minimally perturbed by the appearance of the narrow tip at the end of waveguide 120. The increase in width of waveguide 120 along approach region 102 is preferably sufficiently gradual so as to substantially avoid undesirable optical power transfer to other system modes (i.e., adiabatic increase in width). Similarly, waveguide 110 bilaterally tapers along approach region 103 before ending in a narrow tip, where it minimally perturbs an isolated mode of waveguide 120. Figs. 2A, 2B, and 2C show a similar arrangement of approach regions 102/103 where waveguides are horizontally tapered from only one side (equivalently, beveled). Figs. 3A, 3B, and 3C show an arrangement where waveguides 110/120 are vertically tapered or beveled along the approach regions 103/102. In this

embodiment the adiabatic condition is achieved primarily by the gradual approach of the tapered waveguide surface closer and closer to the other waveguide. These arrangements are exemplary, and many other arrangements may be equivalently employed for maintaining the adiabatic condition along the approach regions. It should also be noted that the division between "approach regions" and the "junction region" in these and subsequent examples need not be sharply delineated, either structurally or functionally, and in fact to satisfy the adiabatic condition the approach regions and junction region should preferably smoothly transition from one to the other.

[0129] Figs. 4A, 4B, 4C, 5A, 5B, and 5C schematically illustrate a pair of waveguides 410 and 420 side by side (i.e., side-joined), with waveguide 410 shown positioned on substrate 411 and waveguide 420 on substrate 421 (substrate 421 omitted from Figs. 4A and 5A for clarity). Each waveguide core 412/422 varies in width along the length of the respective waveguide over junction region 401 (or may equivalently vary in height, or in both transverse dimensions, along the length of a junction region; not shown here). As in the previous examples, the variation in core dimension(s) results in corresponding variation in $\Delta\beta$ along the lengths of the waveguides, which are preferably configured so that $\Delta\beta=0$ at some point in the junction region 401. Substantially complete transfer of optical signal power may be achieved provided that: 1) $|\kappa| << |\Delta\beta|$ at the ends of junction region 401; 2) κ is sufficiently large in the central portions of junction region 401; and 3) $\Delta\beta$ is positive near one end of the junction region and negative near the other end. Position tolerances for achieving substantially complete optical power transfer are relaxed in these embodiments relative to mode-interference-coupled waveguides in a manner similar to that described for earlier examples, and these side-joined examples may be aligned/assembled employing similar techniques.

[0130] In Figs. 4A, 4B, and 4C, approach regions 402/403 are each shown with waveguide 420 or 410, respectively, tapered or beveled the horizontal dimension before finally coming to an end at a narrow tip substantially in contact with the other waveguide. An isolated mode of waveguide 410, for example, would be minimally perturbed by the appearance of the narrow tip at the end of waveguide 420. The increase in width of waveguide 420 along approach region 402 is preferably sufficiently gradual so as to substantially avoid undesirable optical power transfer to

other system modes (i.e., adiabatic increase in width). Similarly, waveguide 410 tapers along approach region 403 before ending in a narrow tip substantially in contact with waveguide 420, where it minimally perturbs an isolated mode of waveguide 420. Figs. 5A, 5B, and 5C show an arrangement where waveguides 410/420 are horizontally tapered or beveled along the approach regions 403/402, but with the narrow tip of each waveguide positioned away from the other waveguide. In this embodiment the adiabatic condition is achieved primarily by the gradual approach of the tapered waveguide surface closer and closer to the other waveguide. These arrangements are exemplary, and many other arrangements may be equivalently employed for maintaining the adiabatic condition along the approach regions.

[0131] Figs 6A and 6B show waveguide 610 on substrate 611 side-joined (Fig.6A) or surface-joined (Fig. 6B) to waveguide 620 on substrate 621 (omitted from Fig. 6A for clarity). In each of these examples variation of the modal indices of the waveguides is achieved by a longitudinal gradient in the index differential between waveguide cores 612/622 and the respective waveguide cladding. In each waveguide, the index differential may be a maximum at one end (input/output ends of waveguides 610/620) and decreases to substantially zero across the junction region. The index differential gradient may arise from a cladding index gradient, a core index gradient (as in Figs. 6A and 6B), or both. Any of the specific examples of coupled waveguides disclosed herein, or equivalents thereof, may be implemented with such graded-index-differential waveguides.

[0132] The longitudinal modal index variations shown in the embodiments of Figs. 1A through 6B may be readily achieved using standard spatially-selective material processing techniques, including but not limited to lithography, deposition, doping, implantation, masking, etching, optical densification, photochemistry, and so forth. These techniques may also be employed to fabricate other optical components on a substrate along with one of the waveguides adapted for adiabatic optical power transfer, thereby enabling transfer of optical power from various components integrated onto a substrate to a separate waveguide. Use of such an external-transfer waveguide was discussed extensively in earlier-cited application A8 (wherein the "external-transfer waveguide" was referred to as an "external-coupling waveguide"; these phrases may be considered equivalent for purposes of the

present written description and/or claims), and is discussed in detail hereinbelow. Application A8 discloses use of an external-transfer waveguide end-coupled to an optical component on a common substrate and mode-interference coupled to a separate transmission waveguide. All of the methods, apparatus, and embodiments disclosed in earlier-cited application A8 may be modified to include an external-transfer waveguide that is instead adapted for substantially adiabatic optical power transfer to the separate transmission optical waveguide. The fabrication, assembly, and alignment tolerances are thereby relaxed, and construction of such devices may be correspondingly less difficult, expensive, and/or time-consuming.

[0133] The degree to which substantially adiabatic transverse-transfer of optical power depends on waveguide position may be most readily characterized in relation to transverse optical mode sizes characteristic of the respective waveguides. In many cases of transverse-transfer, sufficiently accurate and precise relative positioning of the waveguides may be readily achieved in one of the transverse dimensions (vertical or horizontal/lateral relative to the substrate), even if the position tolerance is only a fraction of the corresponding transverse optical mode sizes characteristic of the waveguides (for example, position tolerance less than about 0.5 times transverse mode size in the corresponding transverse dimension). In the exemplary embodiments of Figs. 1A-3C, vertical relative positioning may be determined by mechanical contact between the surface-joined waveguides, between one waveguide and support/alignment structures provided on the other waveguide substrate, and/or between support/alignment structures on each waveguide substrate. The accuracy of such positioning is dependent on the precision material fabrication and processing techniques employed to fabricate the waveguides, and may therefore provide sufficient accuracy and precision for achieving reliable and reproducible transverse-transfer of optical power, even within tolerances that are only a fraction of the vertical transverse mode size. Similarly, in the exemplary embodiments of Figs. 4A-6B, precision fabrication of the waveguides enables precision lateral or horizontal positioning by mechanical contact between side-joined waveguides, even to within a fraction of the horizontal transverse mode size. It is often the case that similarly accurate relative positioning of the

waveguides in the other transverse dimension (horizontal, or lateral positioning in Figs. 1A-3C; vertical positioning for Figs. 4A-6B) may not be so readily achieved.

[0134] However, it has been demonstrated for substantially adiabatic transverse-transfer that substantially complete transfer of optical power between waveguides may be achieved within lateral position tolerances that are as large as, or even twice as large as, the lateral transverse optical mode sizes characteristic of the waveguides. As shown by a simple analytic model which generates the curves in Fig. 46, variation in the degree of optical power transfer with respect to relative transverse offset of the waveguides (in the lateral dimension for surface-joined waveguides) is substantially flat over a significant range for adiabatic transverse-transfer. The corresponding degrees of optical power transfer for mode-interference-coupled transverse-transfer and end-transfer vary more rapidly with transverse position. These calculations (based on a simple analytic model) are based on waveguide cores about 5 μm wide by about 3 μm thick, vertically spaced by about 1 μm of cladding, having a core index of about 1.5 and a cladding index of about 1.45. The core widths vary by about 20% over a junction region about 750 μm long for the adiabatic case. Lateral offset of the waveguides away from the maximum power transfer position by about ±0.3 times the lateral transverse mode size results in a transverse-offset optical transfer loss of about 0.5 dB relative to the maximum power transfer achievable for end-coupled power transfer (typically limited by spatial mode mismatch). The transverse mode size is defined herein as the $1/e^2$ half-width for the intensity, with a root-mean-square mode size being the relevant mode size when dissimilarly sized optical modes are supported by the waveguides. The optical junction length for the mode-interference-coupled case is chosen to yield substantially complete optical power transfer assuming the waveguides are properly index-matched. For mode-interference-coupled transverse-transfer, a lateral waveguide offset of about ±0.7 times the lateral transverse mode size results in an analogous 0.5 dB transverse-offset transfer loss (relative to the maximum achievable transverse-transfer; in principle, substantially complete optical power transfer). The transverse-offset transfer loss stays below about 0.5 dB, and is substantially flat, for lateral offsets as large as about 1.5 times the transverse mode size for adiabatic transverse-transfer. The flatness of the transverse-offset transfer loss can be characterized as remaining within a specific

range around a nominal optical power transfer loss over an acceptable range of transverse offset (within 0.5 dB of 100% transfer in this example).

[0135] These values depend on the specific geometry of the waveguides employed for transverse-transfer of optical power, the core and cladding materials employed, and the size of the coupling constant κ. The offset tolerance for mode-interference-coupled transverse-transfer also depends on the accuracy with which the required interaction length may be achieved. For adiabatic transverse-transfer, the offset tolerance also depends on the length of the optical junction region and the variation of κ and $\Delta\beta$ along the waveguides in the junction region. For comparable values of the coupling constant κ, the results of Fig. 46 are achieved with an optical junction region about 5 times longer for adiabatic transverse-transfer than that required for mode-interference-coupled transverse-transfer. Larger lateral offsets can be tolerated with even longer junction regions for adiabatic transverse-transfer and/or with increasing values of κ, assuming that care is taken to maintain a substantially adiabatic condition along the waveguides.

[0136] Employing waveguide cores having large aspect ratios may enhance the transverse-offset-insensitivity exhibited by adiabatic transverse-transfer. A numerically modeled curve and measured data are shown in Fig. 47 for optical power transfer between surface-joined waveguides with thin-film type cores. The waveguides each have a core decreasing from about 2.2 μm wide to about 0.5 μm wide over about a 250 μm long optical junction region. The cores are about 0.13 μm thick vertically separated by about 0.8 μm of cladding, with a core index of about 2.0 and a cladding index of about 1.45. The cores are about 1.4 μm wide and the resulting optical mode sizes are about 0.7 μm in the lateral dimension near the point where $\Delta\beta$ crosses zero in the optical junction region. Transverse-offset optical power transfer loss remains below about 0.5 dB (and is substantially flat) over a range of lateral offsets of ±1.5 μm, or about ±2 times the corresponding transverse optical mode size.

[0137] For various optical junctions described herein employing substantially mode-interference-coupled transverse-transfer of optical power, the transverse-offset optical power transfer losses may preferably remain below about 0.5 dB for transverse offsets at least as large as about ±0.5 times the corresponding transverse optical mode size characteristic of one of the waveguides. For various

optical junctions described herein employing substantially adiabatic transverse-transfer of optical power, the transverse-offset optical power transfer losses may preferably remain below about 0.5 dB for transverse offsets at least as large as about ±1 times the corresponding transverse optical mode size, and most preferably at least as large as about ±1.5 times the corresponding transverse optical mode size. For various optical junctions described herein employing substantially adiabatic transverse-transfer of optical power, transverse-offset transfer loss characterized as "flat" shall preferably remain within ±0.5 dB of a nominal transfer loss, most preferably within ±0.3 dB, over transverse offsets at least as large as about ±1 times the corresponding transverse optical mode size, and most preferably at least as large as about ±1.5 times the corresponding transverse optical mode size. Experimental and numerical data shown in Fig. 47 show that these criteria may be readily achieved.

[0138] Waveguides for implementing alignment-insensitive optical junctions according to the present invention may be provided by mechanical modification of more standard waveguide structures (i.e., waveguide, optical fiber, or similar structure having core and/or cladding profiles initially having substantially no longitudinal variation). By etching or polishing a standard waveguide at a very shallow angle, a beveled coupling region may be created having a longitudinally varying modal index. Placement of this etched or polished surface against another waveguide may then enable substantially adiabatic optical power transfer between the waveguides, if the termination conditions are met. Side- and surface-joined examples are shown in Figs. 7A and 7B (side-joined) and 8A and 8B (surface-joined). A waveguide 710 on substrate 711 and including a core 712 is etched at a shallow angle (for example, about 0.5°, resulting in a junction region about 600 μm long for a waveguide 5 μm wide; other angles and junction region lengths may be employed). A second waveguide 720 with core 722 on substrate 721 (omitted from Fig. 7A for clarity) is similarly etched or polished and positioned relative to waveguide 710 as shown, preferably with the etched/polished surfaces of the waveguides in contact. As with embodiments previously shown, the nature of adiabatic optical power transfer results in substantially complete transfer of optical signal power between the waveguides for a wide range of relative position of waveguides 710 and 720, both horizontal and vertical. Passive and/or low-

precision assembly/alignment techniques may therefore be readily and/or economically implemented for constructing devices, as described hereinabove. Sufficiently gradual approach conditions may be readily achieved, since cladding layers may be arbitrarily thick, with thicker cladding reducing perturbation of an isolated mode of one waveguide by the appearance of the narrow tip of the other waveguide.

[0139] One way to help ensure substantially complete transfer of optical power between waveguides is to employ two substantially identical waveguides (with opposing modal index gradients, of course), as has been the case in the embodiments presented thus far. This ensures that there will be a point within the junction region with $\Delta\beta=0$ and that $\Delta\beta$ will have opposite signs at the ends of the junction region (necessary conditions for substantially alignment-insensitive, substantially complete adiabatic optical power transfer), thereby simplifying the design process. Such a symmetric arrangement also ensures that if the input termination condition is satisfied, then the output termination will be similarly satisfied. However, without departing from inventive concepts disclosed and/or claimed herein, alignment-insensitive optical junction apparatus and methods employing adiabatic optical power transfer may be implemented using differing waveguides. Such waveguides may be of the same general type but differ in size, material, index, longitudinal gradient, and so on. Alternatively, the waveguides may be of substantially dissimilar types, as long as the appropriate termination and adiabatic conditions are substantially met. It should be particularly noted that both waveguides need not have a longitudinal modal-index gradient. Adiabatic transverse-transfer may be implemented in methods and apparatus according to the present invention wherein either one or both waveguides have a longitudinal modal-index gradient.

[0140] In Figs. 9A, 9B, and 9C, an optical fiber 920 with core 922 is shown polished at a shallow angle to yield a beveled region having a longitudinally varying modal index. For example, a single-mode optical fiber with about an 8 μm core diameter and about a 0.5° polishing angle may yield a junction region about 1 mm in length; other angles and coupling region lengths may be employed. Optical fiber 920 is shown surface-joined to waveguide 910 with core 912 on substrate 911. Side-joining could also be employed, but may prove mechanically inconvenient due

to the diameter of the cladding of optical fiber 920. Waveguide 910 is shown having no longitudinal variation of modal index. The modal index of waveguide 910 should be larger than the index of the cladding layer of fiber 920, but smaller than the modal index of the full fiber 920 (complete core 912 plus complete cladding). Alternatively, waveguide 910 may be provided with a longitudinally-varying modal index in any suitable manner, including those illustrated in Figs. 1A through 8B.

[0141] Figs. 10A, 10B, 11A, 11B, and 12 show a fiber-optic-taper segment and various waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer. In Figs. 10A and 10B, taper segment 1020 is adiabatically surface-joined (Fig. 10A) or side-joined (Fig. 10B) to waveguide 1010, the waveguide 1010 including a longitudinally tapered core 1012. The modal index of waveguide 1010 is preferably larger than the modal index of taper segment 1020, while the index of the cladding of waveguide 1010 is preferably smaller than the modal index of the taper segment 1020. In Figs. 11A and 11B, taper segment 1120 is adiabatically surface-joined (Fig. 11A) or side-joined (Fig. 11B) to waveguide 1110, the waveguide 1110 including core 1112 with a longitudinal index-differential gradient. The modal index of waveguide 1110 is preferably larger than the modal index of taper segment 1120, while the index of the cladding of waveguide 1110 is preferably smaller than the modal index of the taper segment 1120. Fig. 12 shows fiber-optic-taper segment 1220 adiabatically side-joined to side-etched (or side-polished) beveled waveguide 1210. Surface-joining could also be employed with an etched waveguide and taper segment, but may prove to be mechanically inconvenient. The modal index of waveguide 1210 is preferably larger than the modal index of taper segment 1220, while the index of the cladding of waveguide 1210 is preferably smaller than the modal index of the taper segment 1220. It should be noted that the portion of the fiber-optic-taper segment 1020/1120/1220 shown forming an adiabatic optical power transfer junction in these embodiments is preferably the substantially straight central portion of the fiber-optic taper, and typically has a diameter and modal index substantially invariant with respect to longitudinal position along the taper segment. It may be desirable to construct adiabatic optical power transfer devices using portions of a fiber-optic taper having longitudinally varying diameter and/or modal index.

[0142] In any of the embodiments of Figs. 10A through 12, the waveguide 1010/1110/1210 may be positioned on a substrate 1011/1111/1211, and perhaps also integrated with other optical components thereon. Alignment structures of the sort described in earlier-cited application A9 may be employed for aligning the fiber-optic-taper segment 1020/1120/1220 relative to the waveguide. The nature of adiabatic optical power transfer ensures that transfer of optical power between the fiber-optic-taper segment and the waveguide is substantially insensitive to the precise alignment of the fiber-optic-taper segment within a range of several microns. Construction of devices employing substantially adiabatic optical power transfer between a fiber-optic taper and a waveguide may be correspondingly less difficult, expensive, and/or time-consuming than analogous devices incorporating fiber-optic taper mode-interference-coupled to the waveguide. Mode-interference-coupled devices may nevertheless be employed, and may even be preferred under certain circumstances, as discussed hereinbelow.

[0143] Figs. 13A, 13B, 14A, 14B, 15A, and 15B illustrate assembly of optical waveguides for adiabatic optical power transfer, using so-called "flip-chip" structures and planar waveguides. Figs. 13A and 13B show top and side views, respectively, of a portion of a planar waveguide circuit on a substrate 1311, including planar waveguides 1310a and 1310b with tapered waveguide cores 1312a and 1312b, respectively. Tapered cores 1312a and 1312b are shown tapering in both transverse dimensions for clarity, but may equivalently be provided tapering in only one transverse dimension, with a longitudinal index-differential gradient, or in any other suitable form for providing a longitudinally varying modal index along a junction region. Substrate 1311 is provided with alignment guides 1315, and electrical contact 1316. The planar waveguide circuit is adapted to receive an optical component and transmit optical power thereto/therefrom through waveguides 1310a/1310b. Figs. 14A and 14B show side and bottom views, respectively, of an optical device 1324 on a substrate 1321. Device 1324 may be an active or passive device of any desired sort, including a laser, modulator, filter, or other optical device. External-transfer waveguides 1320a and 1320b are also positioned on substrate 1321 and are end-coupled to device 1324, in the manner disclosed in earlier-cited application A8 (wherein the external-transfer waveguides are referred to as external-coupling waveguides; the terms may be considered

equivalent for purposes of the present written description and/or claims). The external-transfer waveguides 1320a/1320b are provided with cores 1322a/1322b (respectively), each having a longitudinally varying modal index provided in any suitable manner as described hereinabove. Optical device 1324 may be provided with an electrical contact 1326 for engaging contact 1316.

[0144] Figs. 15A and 15B show top and side views, respectively, of the device 1324 on substrate 1321 assembled with waveguide substrate 1311. Alignment guides 1315 engage lithographically defined alignment edges of device substrate 1321 so as to position external-transfer waveguides 1320a/1320b for adiabatic optical power transfer with planar waveguides 1310a/1310b (respectively). Many other forms of alignment guides may be equivalently employed, including but not limited to ridges, edges, tabs, slots, pins, flanges, interlocking teeth, optical targets, and so forth. An optical signal may therefore be substantially completely transferred from a planar waveguide into the device, and substantially completely transferred into the other planar waveguide after being acted upon by the device. Alternatively, optical signal power emitted from device 1324 may be transferred into external-transfer waveguides 1310a/1310b. The relaxed tolerances of adiabatic transverse-transfer enable an optical device to be readily inserted into a planar waveguide system with substantially reduced time, cost, and/or difficulty, and/or increased device yield. In particular, relaxed tolerances readily enable simultaneous alignment of an optical device with multiple waveguides, as exemplified in Figs. 15A and 15B. Such simultaneous alignment would be exceedingly difficult to achieve by either end-coupling or mode-interference coupling. Multiple device locations such as that shown in Figs. 13A and 13B may be provided on a single waveguide substrate, thereby enabling ready assembly of multiple optical devices provided in the manner shown in Figs. 14A and 14B.

[0145] It should be re-emphasized that any of the methods and apparatus disclosed in earlier-cited application A8 may be implemented using waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer as disclosed herein as an external-transfer waveguide (external-transfer waveguides are referred to as external-coupling waveguides in earlier-cited application A8; the terms may be considered equivalent for purposes of the present written description and/or claims). The relaxed alignment tolerances provided by adiabatic optical power

transfer would further enhance the advantages provided by the use of external-transfer waveguides according to application A8.

[0146] Figs. 16A, 16B, 17A, 17B, 18A, and 18B illustrate an assembly suitable for substantially adiabatic optical signal power transfer between a planar waveguide system and an optical fiber. Figs. 16A and 16B are top and side views, respectively, of a portion of a planar waveguide substrate 1611 adapted for substantially adiabatic optical power transfer to an optical fiber. Waveguide 1610 may be provided on substrate 1611 with tapering core 1612. The longitudinally varying modal index provided by tapered core 1612 may be provided by any other suitable structure, including a core tapered in one or both transverse dimensions, a graded-index-differential core, or any other suitable form. Substrate 1611 is provided with alignment guides 1615. Figs. 17A and 17B are side and bottom views, respectively, of an angle-polished beveled optical fiber 1620 positioned in an angled V-block 1621. The angled V-groove 1623 of block 1621 may preferably be used to polish optical fiber 1620 to the appropriate bevel angle, and may then be used to position the beveled end of fiber 1620 and core 1622 relative to waveguide 1610.

[0147] Figs. 18A and 18B are top and side views, respectively, of planar waveguide substrate 1611 assembled with block 1621. Alignment guides 1615 engage lithographically defined alignment edges of block 1621 so as to position the polished portion of fiber 1620 relative to tapered core 1612 for substantially adiabatic optical power transfer therebetween. Many other forms of alignment guides may be equivalently employed, including but not limited to ridges, edges, tabs, slots, pins, flanges, interlocking teeth, optical targets, and so forth. The relaxed tolerances of adiabatic optical power transfer enable an optical fiber to be readily coupled to a planar waveguide system with substantially reduced time, cost, and/or difficulty, and/or increased device yield. Apparatus and methods according to the present invention may be particularly well-suited for simultaneous assembly/alignment of an optical component or sub-assembly with two or more other optical waveguides, devices, and/or sub-assemblies.

[0148] A variety of waveguide types may be employed as a waveguide adapted for substantially adiabatic optical power transfer while remaining within the scope of the present invention. A low-index dielectric waveguide including a core and lower-

index cladding layers may be a preferred waveguide adapted for substantially adiabatic optical power transfer (and have been shown in the Figures). Such waveguides may be fabricated using silica-based materials using precision material processing techniques. The resulting waveguide may be readily employed for adiabatic optical power transfer to a silica-based fiber-optic-taper segment or angle-polished optical fiber. Other waveguide materials and/or configurations may be equivalently employed, and varying waveguide properties exploited to modify and/or enhance the utility of adiabatic optical power transfer. Germano-silicates are commonly employed as waveguide or fiber core materials, and may be suitable for use as a core material in the present application. Silicon nitride (Si_xN_y) and/or silicon oxynitride (SiO_xN_y) may also be preferred materials for forming a waveguide core adapted for adiabatic transverse-transfer. Waveguides may be employed wherein confinement of waveguide optical modes is effected by: one or more waveguide cores surrounded by lower-index cladding layers, distributed Bragg reflectors, other multi-layer reflectors, photonic bandgap/photonic crystal-based techniques, metal reflector coatings, dielectric reflector coatings, and/or internal reflection at an air/waveguide interface. A waveguide with a core may include a single core or multiple-cores, the latter which may be employed for altering the field distribution of a supported isolated or system mode (so-called "field-flattening", thereby further reducing alignment sensitivity of an assembled optical device). Waveguide materials may include (but are not limited to) one or more of: silica, germanosilicate, and/or other doped silicas or silica-based materials; silicon nitride and/or silicon oxynitride; semi-conductor materials; organic materials; inorganic materials; crystalline materials; glassy or amorphous materials; polymeric materials; electro-optic materials; other low- or high-index dielectric materials; and so forth. Low-index dielectric waveguides (including silica-, germano-silicate-, silicon nitride-, and or silicon oxynitride-based, for example) and silica-based optical fiber (angle-polished and/or tapered) are particularly noted as suitable waveguides for adiabatic optical power transverse-transfer according to the present invention. Such waveguides may exhibit little or no dependence of adiabatic optical power transfer performance on wavelength or polarization, and this may be desirable for a variety of optical devices employing waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer according to the present invention. Multi-layer waveguides as disclosed in earlier-cited applications A1 and A10 are also noted as potentially

desirable candidates for use as waveguides adapted for substantially adiabatic optical power transfer. Such waveguides may exhibit substantial dependence of adiabatic optical power transverse-transfer performance on wavelength and/or polarization, and this may be desirable for a variety of optical devices. Incorporation of electro-active and/or non-linear-optical materials into a waveguide adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer may enable active control of performance of the waveguide.

[0149] In the exemplary embodiments shown in the Figures, the waveguides (or cores thereof) adapted for adiabatic optical power transfer are shown terminating, and the embodiments shown are all intended for use in situations where substantially complete transfer of optical signal power between waveguides is desired. The waveguides (or cores) need not necessarily terminate in such embodiments, and embodiments in which the waveguide and/or core does not terminate shall fall within the scope of the present invention as disclosed and/or claimed herein. Waveguides adapted for adiabatic optical power transfer may also be employed for less than complete transfer of optical signal power between waveguides while remaining within the scope of the present invention as disclosed and/or claimed herein.

[0150] Fabrication of waveguides suitable for adiabatic optical power transfer may be facilitated by use of precision material processing techniques. This may be especially advantageous when such waveguides are provided integrated onto a substrate along with other optical components and/or devices that may be fabricated using similar techniques. These may include precision and/or spatially-selective material processing techniques such as lithography, deposition, doping, masking, etching, and so forth. Such techniques may be implemented on a wafer-scale to effect simultaneous fabrication of many integrated groups of optical devices, components, and/or waveguides. In particular, waveguides adapted for adiabatic optical power transfer employed as external-transfer waveguides for optical devices as disclosed in earlier-cited application A8 may preferably be fabricated on a wafer-scale using these techniques.

[0151] Use of an external-transfer optical waveguide as a link between an optical device fabricated on a substrate and a transmission optical waveguide is a powerful technique, and was introduced in earlier-cited applications A8 and A11. Wafer-

scale fabrication may be employed for simultaneous fabrication of many optical devices, each having an optically integrated external-transfer optical waveguide for providing an optical junction with a transmission waveguide (a planar waveguide, an optical fiber, or some other transmission optical waveguide). Precision material processing techniques readily enable proper positioning and alignment of each optical device and its respective external-transfer optical waveguide for optical power transfer (i.e., optical integration, for end-transfer or transverse-transfer). Optical power transverse-transfer between the external-transfer optical waveguide and a transmission optical waveguide configured as an optical probe (as disclosed in earlier-cited applications A3, for example) allows testing and qualification of optical devices on the substrate before the difficult, time-consuming, and expensive step of dividing the wafer into individual devices.

[0152] Relaxed alignment tolerances for optical power transverse-transfer (and particularly for substantially adiabatic transverse-transfer) readily enable proper positioning and alignment of the external-transfer optical waveguide and the transmission optical waveguide. Adiabatic transverse-transfer may be particularly appropriate in applications where substantially complete transfer of optical power is desired and/or when substantially polarization- and/or wavelength-independent transfer is desired, and generally provides the least demanding alignment tolerances of the optical power transfer techniques discussed herein. Optical junction regions may be quite long, however, even exceeding a millimeter in length, which in turn increases overall device size. Mode-interference-coupled transverse transfer may be particularly appropriate when polarization- and/or wavelength-dependent transfer is desired, when active control of optical power transfer is desired, when varying degrees of optical power transfer are desired, and/or when a short optical junction region (even shorter than 100 μm) and smaller device size is desired.

[0153] Figs. 19A, 19B, 19C, and 19D schematically illustrate generic examples of an optical device 1910 and a transmission optical waveguide 1920 with an external-transfer optical waveguide 1930 positioned and adapted for transferring optical power therebetween according to the present invention. The optical device 1910 may typically define a spatial optical mode 1911 only a few microns across. Such device-supported modes may also differ between horizontal and vertical

dimensions, sometimes being less than one micron high. An end face of a previous optical device would generally comprise a cleaved end face of the material from which the device was fabricated, through which optical signal power would be transmitted. For an optical device implemented according to the present invention, the end face 1914 may be etched rather than cleaved. Further material processing steps (lithography, deposition, masking, etching, and so forth) may be used to fabricate an external-transfer optical waveguide 1930 on the device substrate 1902. Precision material processing techniques readily enable sub-micron tolerances in the fabrication and alignment of the external-transfer optical waveguide 1930 on the device substrate 1902 relative to the spatial mode 1911 defined by the device 1910. The external-transfer optical waveguide 1930 may preferably be fabricated so as to support an optical mode 1931 (substantially characteristic of the waveguide 1930 when isolated) substantially spatial-mode-matched to the optical mode 1911 defined by the device 1910. As a result of this spatial-mode-matching, optical power may be efficiently transferred between the optical device 1910 and the external-transfer optical waveguide 1930. Alternatively, the optical power may be transferred between the optical device and the external-transfer optical waveguide by any suitable method, including end-transfer and transverse-transfer (adiabatic or mode-interference-coupled). Whatever scheme is employed for optical power transfer between the optical device and the external-transfer optical waveguide, fabrication/ integration of the optical device and the external-transfer optical waveguide on a common substrate enables precision alignment and efficient, reproducible, and reliable optical power transfer.

[0154] The external-transfer optical waveguide 1930 is provided with a transverse-transfer optical junction segment 1934 to enable transfer of optical signal power between the optical device 1910 and a transmission optical waveguide 1920 at an optical junction segment 1924 thereof. A preferred transmission optical waveguide may include an optical fiber having a tapered segment for transverse-transfer, a planar waveguide or planar waveguide circuit fabricated on a substrate and having a transverse-transfer optical junction segment, an optical fiber or optical waveguide having a side-etched transverse-transfer optical junction segment, or other suitable transmission optical waveguide having a suitably adapted transverse-transfer optical junction segment. The transmission optical waveguide may support an

optical mode 1921 (characteristic of the waveguide 1920 when isolated). The respective optical junction segments 1934/1924 of the external-transfer optical waveguide 1930 and the transmission optical waveguide 1920 may be adapted for mode-interference-coupled optical power transverse-transfer (depicted schematically in Figs. 19A and 19B), or adapted for substantially adiabatic optical power transverse-transfer (depicted schematically in Figs.19C and 19D, with transmission waveguide 1920 shown on a substrate 1922 in Fig. 19D). Optical modes at/near the junction regions 1924/1934 may resemble superpositions of isolated waveguide modes 1921/1931 or may be system modes that may not particularly resemble isolated waveguides modes or superpositions thereof.

[0155] The optical junction segment 1924 of the transmission waveguide 1920 may be positioned relative to the optical junction segment 1934 of the external-transfer optical waveguide 1930 so as to achieve transverse-transfer of optical power between optical mode 1931 of the external-transfer optical waveguide 1930 and the optical mode 1921 of transmission optical waveguide 1920. The structure, dimensions, material(s), and/or positions of the optical junction segment(s) 1924 and/or 1934 may be chosen to achieve substantially modal-index-matched transverse transfer by providing the correct combination of coupling coefficient κ and interaction length L for efficient transfer of optical power. Alternatively, the structure, dimensions, material(s), and/or positions of the optical junction segment(s) 1924 and/or 1934 may be chosen to achieve substantially adiabatic transverse transfer by providing the correct longitudinal variations of coupling coefficient $\kappa(z)$ and modal-index mismatch $\Delta\beta(z)$. Alignment structures may be provided on the optical device for enabling passive alignment of the optical junction segment of the transmission optical waveguide relative to the optical junction segment of the external-transfer optical waveguide.

[0156] The embodiments of Figs. 20A and many subsequent Figures generally depict configurations suitable for optical power transverse-transfer between an optical device and a transmission optical waveguide through an external-transfer optical waveguide. Any of the embodiments depicted in these Figures may be adapted for mode-interference-coupled or substantially adiabatic transverse-transfer between the external-transfer optical waveguide and the transmission

optical waveguide, and should be considered to encompass both configurations unless specifically stated otherwise.

[0157] Examples of an optical device connected to a transmission optical waveguide by an external-transfer optical waveguide are shown in Figs. 20A through 20H. A standard edge-emitting semiconductor laser 2010 is shown having a device optical mode defined by an active layer 2016 and cladding layers 2018. The laser is terminated by faces 2013 and 2014, preferably formed by etching of the device. An external-transfer optical waveguide 2030 is fabricated on the same substrate 2002 as the semiconductor laser 2010. The external-transfer waveguide 2030 may be configured and positioned so as to support an optical mode that is substantially spatial-mode-matched with the spatial mode of the semiconductor laser output. Highly precise material processing techniques (such as lithography, deposition, masking, etching, and so forth) may be employed for aligning the external-transfer optical waveguide 2030 to the laser output far more accurately than could be achieved by active alignment of separate components. Such techniques, which may include self-aligned processes, are often the same as or similar to techniques used to fabricate the semiconductor laser 2010, and may be scaled to simultaneously fabricate numerous optically integrated and precision-aligned laser/waveguide devices during wafer-scale processing.

[0158] The laser 2010 and external-transfer optical waveguide 2030 may be fabricated during a single multi-step fabrication process, or during distinct laser- and waveguide-fabrication processes. Laser 2010 and 2030 may be fabricated with similar materials (both semiconductor-based, for example), or with dissimilar materials (semiconductor-based laser and silica-based waveguide, for example). The demarcation between laser 2010 and waveguide 2030 may be sharp or gradual. It should be noted that the distinction between the optical device and the external-transfer optical waveguide may be functional and/or structural. In any of these cases, optical power emitted by the laser 2010 is efficiently end-transferred through face 2014 (equivalently, end-facet 2014) of the semiconductor laser 2010 into the external-transfer optical waveguide 2030. Etching may be employed to form face 2014. Alternatively, any other suitable spatially-selective material processing techniques (such as spatially-selective quantum-well inter-mixing, for example) may be employed to form face 2014 adapted for end-transfer of optical

power therethrough. It may be desirable to provide one or more optical coating layers on laser end facet 2013 and/or between laser end facet 2014 and the external-transfer waveguide 2030. Such optical coatings on the end facets of the laser may serve to modify and/or control reflectivity of the end facets and operational properties of the laser. Any optical coating layers on end facet 2014 may be applied before fabrication of the external-transfer waveguide 2030, or may be formed between end facet 2014 and waveguide 2030 after fabrication thereof. It may be desirable to provide face 2014 as an angled end facet, and to provide external-transfer waveguide 2030 with an angled end face angled in a complementary fashion, for reducing feedback into laser 2010 while enabling efficient end-transfer between laser 2010 and external-transfer waveguide 2030.

[0159] Alternatively, an optical device and a corresponding external-transfer optical waveguide may be positioned and adapted for transverse-transfer of optical power therebetween. Precision manufacturing techniques as described hereinabove may be employed for achieving efficient optical power transverse-transfer between the optical device and the external-transfer optical waveguide.

[0160] Once optical power has been transferred to the external-transfer optical waveguide 2030, it may be transferred to a transmission optical waveguide 2020 (a fiber-optic taper segment in these examples) by transverse-transfer (shown adapted for mode-interference-coupled transverse-transfer in Figs. 20A-20D; shown adapted for adiabatic transverse-transfer in Figs. 20E-20H) at respective optical junction segments 2024/2034 of the transmission and external-transfer optical waveguides 2020/2030. In these exemplary devices, the external-transfer optical waveguide 2030 may preferably comprise a low-index optical waveguide including a core 2036 surrounded by lower-index cladding layers 2038 (including silica, germanosilicate, silicon nitride, silicon oxynitride, other glasses, polymers, and so forth). Such a low-index waveguide may be passively modal-index-matched (typically through proper design of the transverse shape/dimensions of the optical junction segment) to a fiber-optic-taper segment 2020 of a silica-based optical fiber for modal-index-matched transverse transfer (Figs. 20A-20D). If the transverse shape/dimensions of the external-transfer optical waveguide 2030 required for spatial-mode-matching with the laser 2010 and modal-index-matching with the fiber-optic-taper segment 2020 differ substantially, the external-transfer optical

waveguide 2030 may be made sufficiently long so as to enable a substantially adiabatic transition between the differing shapes/dimensions. The external-transfer optical waveguide may alternatively be adapted for active modal-index-matching by employing electro-active and/or non-linear optical materials and electrical and/or optical control signals. The fiber-optic-taper segment 2020 may be positioned relative to the external-transfer optical waveguide 2030 to achieve mode-interference-coupled transverse-transfer characterized by a coupling coefficient κ (also determined in part by the transverse shape/dimensions of the optical junction segment 2034 of the external-transfer optical waveguide 2030). The optical junction segments 2034 and 2024 of the external-transfer optical waveguide 2030 and the fiber-optic-taper segment 2020, respectively, may preferably be configured to yield a coupling coefficient κ and an interaction length L such that $\kappa L \approx \pi/2$, thereby resulting in substantially complete transfer of optical power from the external-transfer optical waveguide to the optical fiber.

[0161] In the exemplary embodiments of Figs. 20E-20H, substantially adiabatic transverse-transfer may be employed between optical junction regions 2024/2034, in any of the ways described hereinabove. In other exemplary embodiments, a transmission optical waveguide of another type may be employed instead of fiber-optic-taper segment 2020. Optical power transverse-transfer may be established between external-transfer optical waveguide 2030 and a planar waveguide, for example.

[0162] The accuracy with which the optical junction segments 2024/2034 of the transmission optical waveguide 2020 and external-transfer optical waveguide 2030 must be positioned to achieve a desired degree of optical power transfer therebetween (usually substantially complete transfer is desired) employing mode-interference-coupled or substantially adiabatic transverse-transfer is described in detail hereinabove. Accurate transverse positioning may be facilitated or enabled by providing alignment structures in and/or on the substrate such as grooves, flanges, posts, tabs, slots, yokes, solder/metal surface tension, and the like for guiding the optical junction segment of the transmission optical waveguide (the fiber-optic-taper segment of the optical fiber in this example) to the properly aligned position relative to the optical junction segment of the external-transfer optical waveguide and maintaining the alignment thus achieved. Segments of optical fiber

(separate from optical fiber carrying the optical signal) may be employed as structural elements for aligning and supporting a fiber-optic taper or other transmission waveguide, and may have fabricated thereon rings, grooves, flanges, and/or knife-edges therefor. Exemplary alignment structures 2060 are shown in Figs. 20C/20D and 20G/20H for positioning fiber-optic taper segment 2020 relative to external-transfer waveguide 2030. Other similar alignment structures are disclosed in earlier-cited application A9.

[0163] For mode-interference-coupled transverse-transfer, the optical junction segment 2034 of the external-transfer optical waveguide 2030 may be configured to yield the appropriate interaction length L for substantially complete optical power transfer (or other desired optical power transfer level) from the external-transfer optical waveguide 2030 to the transmission optical waveguide 2020. The interaction length may be determined by providing a bend in the external-transfer optical waveguide 2030 between the laser 2010 and the optical junction segment 2034, with the portion of the external-transfer optical waveguide beyond the bend being of the appropriate interaction length (Figs. 20A-20H). Alternatively, an optical junction segment 2134 of an external-transfer optical waveguide 2130 may be provided with a raised portion of length L and the desired value of κ modal-index-matched transverse-transfer to/from an optical junction segment 2124 of fiber-optic-taper segment 2120 (Fig. 21). In either case, precise longitudinal positioning of the fiber-optic-taper segment relative to the external-transfer optical waveguide is not required. Sufficiently precise alignment of the optical fiber (i.e., the transmission waveguide in this example) and the fiber-optic-taper segment thereof with the external-transfer optical waveguide (and hence with the semiconductor laser) may therefore be achieved by passive alignment techniques. The optical fiber carrying the laser output power may be connected, spliced, or otherwise coupled to a fiber-optic-based optical system by any suitable technique. Alignment precision and the length tolerance for the optical junction segment are further relaxed if adiabatic transverse-transfer is employed instead of mode-interference-coupled transverse-transfer.

[0164] An optical device (a semiconductor laser in the preceding example) including an optically integrated external-transfer optical waveguide as described hereinabove enables significant economies of manufacturing to be realized. The

use of passive alignment techniques for relative positioning of the transmission optical waveguide and the optical device while achieving high-efficiency optical power transfer therebetween is a significant improvement over the prior art. An additional benefit is the ability to pre-test and pre-qualify numerous devices/waveguides simultaneously fabricated on a single wafer. With cleaved-and-end-coupled devices, the wafer must be cleaved prior to testing of the devices thereon. Substantial processing time, effort, and cost are therefore expended on devices that may be subsequently discarded. According to the present invention, however, each device is provided with an external-transfer optical waveguide prior to any cleaving of the wafer, and the external-transfer optical waveguide enables optical coupling to the device for testing and characterization prior to any division of the wafer. The devices themselves may also be used for diagnosis of neighboring devices using electrical probes and contacts. On a wafer of laser diodes, for example, a diode may be reverse-biased to function as a photodetector for monitoring laser output power from a neighboring device. Alternatively, diagnostic devices may be specifically designed into the fabrication process that results in the optical devices.

[0165] The description of a semiconductor laser including an optically integrated external-transfer waveguide set forth in the preceding paragraphs provides only one exemplary implementation of the present invention. The present invention may be generalized to virtually any other optical device that may be fabricated on a substrate. For any such device, an external-transfer optical waveguide may be fabricated on the device substrate as an integral device component, adapted for optical power transfer by end-transfer and/or transverse-transfer between the external-transfer optical waveguide and the optical device. An optical junction segment of the external-transfer optical waveguide may be used to provide efficient transfer of optical power between the device and a transmission optical waveguide. The present invention may be implemented for single-ended or single-port devices such as the semiconductor laser of the preceding examples, and also for multi-port devices such as modulators, filters, switches, multiplexers, splitters/combiners, and so forth. Once a device has been fabricated with the appropriate number of input/output segments, these may be appropriately adapted for optical power transfer (end- or transverse-transfer) and an external-transfer optical waveguide

provided for each. Each of these external-transfer optical waveguides may then provide optical power transverse-transfer between the optical device and respective transmission waveguides for connection to an optical system. Optical power transverse-transfer between each external-transfer optical waveguide and its respective transmission optical waveguide may be adiabatic or mode-interference-coupled (active or passive modal-index-matched), and need not be the same for all external-transfer waveguides associated with the optical device.

[0166] A specific two-port example is shown in Figs. 22A and 22B, which show a semiconductor electro-absorption modulator 2210 having input and output external-transfer optical waveguides 2230 and 2231 end-coupled to input and output faces 2214 and 2215, respectively. Modulator 2210 and external-transfer optical waveguides 2230/2231 are preferably fabricated on a common substrate 2202. The external-transfer optical waveguides 2230/2231 may be substantially spatial-mode-matched and aligned with an optical mode defined by the modulator 2210. Input and output external-transfer optical waveguides 2230/2231 enable optical power transverse-transfer between the modulator 2210 and input and output transmission optical waveguides 2220/2221, respectively (fiber-optic-taper segments of optical fibers in this example; other transmission optical waveguides, such as planar waveguides, could equivalently be employed, as in Figs. 13A through 15B). An optical signal to be modulated may be received from an optical system through the input transmission optical waveguide 2220, transferred by transverse-transfer into the input external-transfer optical waveguide 2230, transferred by end-transfer into the modulator 2210, modulated as it propagates through the modulator, transferred by end-transfer into the output external-transfer optical waveguide 2231, transferred by transverse-transfer into the output transmission waveguide 2221, and transmitted to the optical system. Alternatively, optical power transverse-transfer could be employed between modulator 2210 and external-transfer optical waveguides 2230/2231. High efficiency for each transfer of optical power yields a modulator having low insertion loss. Manufacturing and fabrication economies and wafer-scale pre-testing and pre-qualification capabilities described hereinabove would be realized for any device fabricated according to the present invention.

[0167] A variety of waveguide types may be employed as an external-transfer optical waveguide (adapted for adiabatic or mode-interference-coupled transverse-transfer) while remaining within the scope of the present invention. A low-index dielectric waveguide including a core and lower-index cladding layers may be a preferred external-transfer waveguide. Such waveguides may be fabricated using silica, germanosilicate, other doped silicas, silicon nitride, silicon oxynitride, other glasses, polymers, and so forth using precision material processing techniques. The resulting waveguide may be readily modal-index-matched to planar waveguides fabricated using similar materials or a silica-based fiber-optic-taper segment. Other waveguide materials and/or configurations may be equivalently employed, and varying waveguide properties exploited to modify and/or enhance the functionality of the optical device. A suitable external-transfer optical waveguide for a preferred embodiment of the present invention may: 1) be adapted at an end thereof for optical power end-transfer between the external-transfer optical waveguide and an optical device; 2) be adapted for optical power transverse-transfer between the external-transfer optical waveguide and an optical device (adiabatic, active modal-index-matched, or passive modal-index-matched); 3) be adapted at an optical junction segment thereof so as to yield suitable values of κ, L, and/or $\Delta\beta$ with a transmission optical waveguide for mode-interference-coupled transverse-transfer (active or passive modal-index-matched); and/or 4) be adapted at an optical junction segment thereof for substantially adiabatic transverse-transfer with the transmission optical waveguide. Waveguides may be employed wherein confinement of waveguide optical modes is effected by: one or more waveguide cores surrounded by lower-index cladding layers, distributed Bragg reflectors, other multi-layer reflectors, photonic crystal/photonic bandgap techniques, metal reflector coatings, dielectric reflector coatings, and/or internal reflection at an air/waveguide interface. A waveguide with a core may include a single core or multiple-cores, the latter which may be employed for altering the field distribution of a supported isolated or system mode (so-called "field-flattening", thereby further reducing alignment sensitivity of an assembled optical device). Waveguide materials may include (but are not limited to) one or more of: silica, germanosilicate, and/or other silica-based materials, silicon nitride, silicon oxynitride, organic materials, inorganic materials, crystalline materials, glassy or amorphous materials, polymeric materials, semiconductor materials, electro-optic

materials, and so forth. Low-index dielectric waveguides (silica-based, for example) may be passively modal-index-matched to a transmission waveguide of similar index. Such waveguides may exhibit little or no dependence of transverse-coupling efficiency on wavelength or polarization, and this may be desirable for a variety of optical devices employing external-transfer optical waveguides according to the present invention.

[0168] It may be desirable (particularly when employing mode-interference-coupled transverse-transfer) to modify the distal end of the external-transfer optical waveguide (the end that is not coupled to the optical device) in a variety of ways. It may be preferable to substantially eliminate optical feedback to the optical device arising from optical power back-reflected from the distal end of the external-transfer optical waveguide. The distal end may be modified to substantially eliminate such feedback by providing an optical loss element (an optical absorber and/or optical scatterer), and/or by intentionally fabricating a mis-aligned end face of the external-transfer optical waveguide so that back-reflected optical power does not propagate back through the waveguide. Such a canted end-face may provide additional utility for testing and/or monitoring the optical device. A substantially planar (or suitably curved, if focusing properties are desired) canted or beveled end-face may serve to reflect optical power transversely out of the external-transfer optical waveguide (down toward the substrate, substantially parallel to the substrate, or up away from the substrate). Optical power directed out of the external-transfer optical waveguide in this way may be detected and/or analyzed for testing/characterization/monitoring of the optical device. For a waveguide end-face canted or beveled to direct optical power up and away from the wafer, an external detector may be employed for device testing and qualification during the manufacturing process. Alternatively, detectors may be integrated into/onto the wafer along with the optical devices and external-transfer optical waveguides, and may remain as part of the finished optical devices to serve as *in situ* monitors of device performance in addition to enabling testing during manufacturing.

[0169] It may be desirable to provide wider tolerances for modal-index-matching near a given wavelength. In an alternative embodiment shown in Fig. 23, external-transfer optical waveguide 2330 may be fabricated with multiple distinct optical junction segments 2334a-2334d, each designed to modal-index-match

transmission optical waveguide 2320 at differing wavelengths. Preferably, the modal-index-matched wavelength varies monotonically from segment 2334a to 2334d, and the respective modal-index-matched bandwidths for segments 2334a-d should preferably overlap somewhat to provide substantially continuous wavelength coverage. During assembly of an optical device, transmission waveguide 2320 may be sequentially coupled to each of segments 2334a-d until a substantially modal-index-matched segment is found. Four segments 2334 are shown, but any suitable number of separate optical junction segments 2334 may be provided.

[0170] Under certain circumstances it may be desirable to provide wavelength- or polarization-dependent transfer of optical power to/from an optical device. For example, the device of Fig. 24 shows multiple semiconductor laser sources 2410a-d each coupled to a single transmission waveguide 2420 through corresponding optrically integrated external-transfer optical waveguides 2430a-d to form a wavelength-mulitplexer. Lasers 2410a-d and external-transfer optical waveguides 2430a-d are preferably fabricated on a common substrate 2402. However, unless the transverse-transfer between the transmission waveguide 2420 and each external-transfer optical waveguide 2430a-d is wavelength dependent, optical power transferred to the transmission waveguide 2420 from the first laser 2410a will be at least partially transferred from the transmission waveguide 2420 into subsequent external-transfer optical waveguides 2430b-d and be lost. By providing wavelength-specific transverse-transfer between the transmission waveguide 2420 and the optical junction segments 2434a-d of external-transfer optical waveguides 2430a-d, optical power transferred to the transmission waveguide from one laser will pass subsequent external-transfer optical waveguides substantially undisturbed.

[0171] Wavelength-dependent transverse optical coupling may be most readily achieved by manipulating modal-index-matching between the transmission waveguide and the external-transfer optical waveguide adapted for mode-interference-coupled transverse-transfer. Dispersive properties and the transverse size and/or shape of the optical junction segment of the external-transfer optical waveguide may be exploited to yield transverse-transfer only over a desired wavelength range. Material dispersion alone may not be sufficient to yield a suitably narrow wavelength range for transverse-transfer. Multi-layer reflector

waveguides (referred to as DBR waveguides in applications A1 and A2, as MLR waveguides in application A10) typically exhibit significantly greater wavelength dispersion in the modal index of supported optical modes, and may be preferred for implementing wavelength-dependent external-transfer optical waveguides for optical devices according to the present invention. Such waveguides are described in detail in earlier-cited applications A1, A2, and A10, and typically comprise a core layer between upper and lower λ/4 stacks of materials having differing refractive indices (these stacks are also referred to as multi-layer mirrors or multi-layer reflectors). The upper and lower stacks may be the same or may differ in materials and/or number of layers, depending on the desired waveguide characteristics (in some implementations the upper stack and even the core may be missing entirely). Transverse-transfer to a MLR waveguide may be achieved from the side of the waveguide (substantially perpendicular to the MLR stack grating wavevector) or from the surface of the waveguide (substantially along the MLR stack grating wavevector). The stacks serve to confine the waveguide optical modes, and give rise to the dispersive properties of the MLR waveguide. Suitable MLR waveguides for use in the present invention may be fabricated using dielectric and/or semiconductor layers, and may be designed to exhibit the desired dispersive properties.

[0172] Sufficiently accurate design and fabrication of such MLR waveguides may enable passively-modal-index-matched mode-interference-coupled transverse-transfer between the transmission optical waveguide and external-transfer optical waveguide over a desired wavelength range. Alternatively, electro-optic properties of the MLR waveguide (either inherent in the materials used or specifically incorporated into one or more electro-optic material layers) may be employed to enable actively-modal-index-matched mode-interference-coupled transverse-transfer. As shown in Fig. 25, control electrodes or contacts 2536 and 2538 may be provided on the optical junction segment 2534 of the external-transfer optical waveguide 2530, and a control voltage applied to achieve modal-index-matching with the optical junction segment 2524 of fiber-optic taper 2520 over the desired wavelength range. Device 2510 and external-transfer optical waveguide 2530 may preferably be fabricated on common substrate 2502 to achieve substantially spatial-mode-matched end-coupling therebetween. Such an actively modal-index-matched

implementation enables selection of a desired transverse-transfer wavelength even if the MLR waveguide cannot be sufficiently accurately designed and fabricated, or if there are manufacturing tolerances for the design wavelength of device 2510. Such active modal-index-matching also enables construction of optical devices having dynamically re-configurable wavelength-dependent properties.

[0173] Alternatively, a multi-layer dispersion-engineered optical waveguide may be employed as an external-transfer optical waveguide adapted for adiabatic optical power transverse-transfer. Optical properties of the multi-layer reflector waveguide may be varied along the length thereof in a variety of ways to achieve adiabatic transverse-transfer. Variation of refractive index, thickness, and width of one or more layers may be employed for providing an external-transfer optical waveguide adapted for adiabatic transverse-transfer according to the present invention. This multi-layer reflector implementation may enjoy the relaxed alignment tolerances typical of adiabatic transverse-transfer, while still enabling active control over optical power transverse-transfer.

[0174] MLR waveguides typically exhibit polarization-dependent modal indices for supported optical modes. This property may be most readily exploited to enable polarization-selective mode-interference-coupled transverse-transfer between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide. Such polarization-selective transverse-transfer may be desirable in a variety of circumstances, including polarization-dependent beam combining for delivering pump laser power to doped-fiber gain media, among other examples. A variety of polarization-dependent apparatus and methods for optical power transverse-transfer are disclosed in earlier-cited application A4, along with various circumstances in which polarization-dependent transverse-transfer may be employed to advantage.

[0175] It should be noted that, in addition to being used as an external-transfer optical waveguide according to the present invention, MLR waveguides may also be used as all or part of an optical device such as a modulator, filter, NxN switch, multiplexer/demultiplexer, and so on. Optical devices thus implemented may be provided with one or more external-transfer optical waveguides according to the present invention, and these external-transfer optical waveguides may include any of the external-transfer optical waveguide types disclosed herein, including MLR

waveguides. The external-transfer optical waveguides may be actively or passively modal-index-matched for mode-interference-coupled transverse-transfer to/from the transmission optical waveguide, and may or may not exhibit wavelength- and/or polarization-dependent transverse-coupling to the transmission waveguide. Alternatively, external-transfer optical waveguides may be implemented for adiabatic transverse-transfer according to the present invention. It should be noted that for optical devices according to the present invention employing a MLR waveguide for both the device portion as well as the external-transfer optical waveguide, each may comprise substantially the same type of MLR structure, or each may comprise a distinct type of MLR structure.

[0176] Examples of MLR-based optical devices with an optically integrated external-transfer optical waveguide according to the present invention are shown in Figs. 26A/26B and 27A/27B, each of which illustrate a single port device based on a MLR waveguide and incorporating an external-transfer optical waveguide according to the present invention. In Figs. 26A and 26B, MLR device 2610 is end-coupled to external-transfer optical waveguide 2630 (both fabricated on substrate 2602), which is in turn adapted for transverse-transfer to/from transmission optical waveguide 2620, in these examples a fiber-optic taper segment. In the example of Fig. 26A, external-transfer optical waveguide 2630 is shown surface-joined to the fiber-optic taper segment and adapted for mode-interference-coupled transverse-transfer with active modal-index-matching provided by contacts 2632/2634. In the example of Fig. 26B, external-transfer optical waveguide 2630 is shown side-joined to the fiber-optic taper segment and adapted for mode-interference-coupled transverse-transfer with passive modal-index-matching. Contacts 2612/2614 provide electronic access to device 2610 (examples: to provide drive current for a laser; to provide bias voltage and/or signal output for a detector; to provide a drive signal for a modulator; and so on). External-transfer optical waveguide 2630 may serve to transfer optical signal power between MLR device 2610 and transmission optical waveguide 2620 in either or both directions as needed.

[0177] In Figs. 27A and 27B, MLR device 2710 is end-coupled to external-transfer optical waveguide 2730 (both fabricated on substrate 2702), which is in turn adapted for transverse-transfer to/from transmission optical waveguide 2720, in these examples a planar waveguide (waveguide substrate omitted from the Figures

for clarity). In the example of Fig. 27A, external-transfer optical waveguide 2730 is shown surface-joined to the planar waveguide and adapted for adiabatic transverse-transfer therebetween. In the example of Fig. 27B, external-transfer optical waveguide 2730 is shown side-joined to the planar waveguide and adapted for adiabatic transverse-transfer with active control of the adiabatic condition provided by contacts 2732/2734. Contacts 2712/2714 provide electronic access to device 2710

[0178] Many other device combinations and/or configuration may be implemented while remaining within the scope of inventive concepts disclosed herein, and examples are shown in Figs. 28A/B and subsequent Figures. The device configurations shown are exemplary and do not represent an exhaustive set of device configurations that may be implemented according to the present invention. These devices may include any suitable device type or construction (including MLR-based devices) and may employ any suitable external-transfer optical waveguide type. These devices with external-transfer waveguides may be adapted for forming optical junctions with any suitable transmission optical waveguide types, including but not limited to fiber-optic taper segments and planar waveguides. Optical power transfer between external-transfer optical waveguides and transmission optical waveguides may employ mode-interference-coupled and/or adiabatic transverse-transfer, as desired for a particular situation. An optical device with one or more optically integrated external-transfer optical waveguides may be advantageously implemented in a flip-chip geometry (as in Figs. 15A/15B), particularly when intended to be used with planar transmission optical waveguides.

[0179] Figs. 28A and 28B show an exemplary two-port optical device 2810 optically integrated with external-transfer optical waveguides 2830/2831 on substrate 2802 according to the present invention. The transmission optical waveguide 2820 in these examples is a fiber-optic taper segment. Electrodes or contacts 2812/2814 provide electronic access to device 2810. In the example of Fig. 28A, optical power transverse-transfer between external-transfer optical waveguides 2830/2831 and surface-joined transmission optical waveguide 2820 is active modal-index-matched mode-interference-coupled, with contacts 2832/2833/2834/2835 provided for modal-index-matching. In the example of Fig. 28B, optical power transverse-transfer between external-transfer optical

waveguides 2830/2831 and side-joined transmission optical waveguide 2820 is passive modal-index-matched mode-interference-coupled. The devices of Figs. 28A/28B may be operated with substantially complete transfer of optical power from the transmission waveguide 2820 to the device through one of the external-transfer waveguides 2830/2831 and back to the transmission waveguide through the other external-transfer waveguide after manipulation by device 2810. Alternatively, device 2810 and the segment of transmission waveguide 2820 between the two external-transfer waveguides may function as the two arms of a Mach-Zender interferometer. Device 2810 may function as a phase modulator for one arm of the interferometer thus formed, thereby enabling modulation of transmission of optical power though transmission waveguide 2820 past external-transfer waveguides 2830/2831.

[0180] Figs. 29A through 29D show Mach-Zender interferometer modulators 2910 fabricated on substrate 2902 along with external-transfer optical waveguides 2930/2931. Optical power may be substantially completely transferred from transmission waveguide 2920 into external-transfer waveguide 2930 and into Mach-Zender interferometer 2910. Contacts or electrodes 2911/2912/2913/2914 are employed to control transmission through interferometer 2910, and optical power transmitted therethrough is transferred into transmission waveguide 2920 through external-transfer waveguide 2931. Mach-Zender interferometer 2910 may be constructed using waveguides of any suitable type (including multi-layer waveguides) incorporating electro-active materials of any suitable type. Instead of electrodes and electro-active materials, nonlinear optical materials may be employed in Mach-Zender interferometer 2910 and optical control signals used to control transmission therethrough. Fig. 29A shows transmission waveguide 2920 as a fiber-optic taper segment surface-joined to external-transfer waveguides 2930/2931 and employing passive modal-index-matched mode-interference-coupled transverse-transfer. Fig. 29B shows transmission waveguide 2920 as a fiber-optic taper segment side-joined to external-transfer waveguides 2930/2931 and employing active modal-index-matched mode-interference-coupled transverse-transfer controlled by electrodes 2932/2933/2934/2935. Fig. 29C shows transmission waveguides 2920/2921 as planar waveguides (waveguide substrate omitted from Fig. 29C for clarity) surface-joined to external-transfer waveguides

2930/2931 and employing adiabatic transverse-transfer. Fig. 29D shows transmission waveguides 2920/2921 as planar waveguides (waveguide substrate omitted from Fig. 29D for clarity) side-joined to external-transfer waveguides 2930/2931 and employing adiabatic transverse-transfer.

[0181] Fig. 30 illustrates a 2x2 optical switch 3010 fabricated on substrate 3002 along with external-transfer waveguides 3030/3031/3032/3033. Corresponding transmission waveguides 3020/3021/3022/3023 are shown surface-joined to the external-transfer waveguides, and are shown as planar optical waveguides (waveguide substrate omitted from Fig. 30 for clarity). Other transmission waveguide types (including fiber-optic taper segments) may be equivalently employed, and side-joining may be equivalently employed. Transverse-transfer of optical power between each transmission waveguide and the corresponding external-transfer waveguide may be adiabatic, active-modal-index-matched mode-interference-coupled, or passive-modal-index-matched mode-interference-coupled. The nature of the transverse-transfer need not be the same for all transmission waveguide/external-transfer waveguide pairs. Control signals applied to electrodes or contacts 3011/3012/3013/3014 control optical transmission through the 2x2 switch 3010, which may be constructed using waveguides of any suitable type (including multi-layer waveguides) incorporating electro-active materials of any suitable type. Instead of electrodes and electro-active materials, nonlinear optical materials may be employed in 2x2 switch 3010 and optical control signals used to control transmission therethrough.

[0182] Fig. 31 illustrates a resonant optical modulator including resonator 3110, optical loss element 3117, and waveguide 3118 all fabricated on substrate 3102 along with external-transfer waveguides 3130/3131. Corresponding transmission waveguides 3120/3121 are shown surface-joined to the external-transfer waveguides, and are shown as planar optical waveguides (waveguide substrate omitted from Fig. 31 for clarity). Other transmission waveguide types (including fiber-optic taper segments) may be equivalently employed, and side-joining may be equivalently employed. Transverse-transfer of optical power between each transmission waveguide and the corresponding external-transfer waveguide may be adiabatic, active-modal-index-matched mode-interference-coupled, or passive-modal-index-matched mode-interference-coupled. The nature of the transverse-

transfer need not be the same for both transmission waveguide/external-transfer waveguide pairs. Control signals applied to electrodes or contacts 3111/3112 (waveguide/resonator coupling), 3113/3114 (resonator loss), and 3115/3116 (resonator frequency) control optical transmission through the resonant modulator, which may be constructed using waveguides of any suitable type (including multi-layer waveguides) incorporating electro-active materials of any suitable type. Instead of electrodes and electro-active materials, nonlinear optical materials may be employed in the resonant modulator and optical control signals used to control transmission therethrough. The device of Fig. 31 may be employed to modulate only a specific band of wavelengths transmitted through transmission waveguides 3120/3121 and waveguide 3118.

[0183] Fig. 32 illustrates a resonant optical filter including resonator 3210 and waveguides 3217/3218 all fabricated on substrate 3202 along with external-transfer waveguides 3230/3231/3232/3233. Corresponding transmission waveguides 3220/3221/3222/3223 are shown surface-joined to the external-transfer waveguides, and are shown as planar optical waveguides (waveguide substrate omitted from Fig. 32 for clarity). Other transmission waveguide types (including fiber-optic taper segments) may be equivalently employed, and side-joining may be equivalently employed. Transverse-transfer of optical power between each transmission waveguide and the corresponding external-transfer waveguide may be adiabatic, active-modal-index-matched mode-interference-coupled, or passive-modal-index-matched mode-interference-coupled. The nature of the transverse-transfer need not be the same for both transmission waveguide/external-transfer waveguide pairs. Control signals applied to electrodes or contacts 3111/3112 (waveguide/resonator coupling), 3113/3114 (waveguide/resonator coupling), and 3115/3116 (resonator frequency) control optical power transmission through the resonant filter, which may be constructed using waveguides of any suitable type (including multi-layer waveguides) incorporating electro-active materials of any suitable type. Instead of electrodes and electro-active materials, nonlinear optical materials may be employed in the resonant modulator and optical control signals used to control transmission therethrough. The device of Fig. 32 may be employed to switch only a specific band of wavelengths between transmission waveguides 3217/3218.

[0184] In the examples of Figs. 28A/28B and 29A/29B, the transmission optical waveguide is shown as a single waveguide adapted and positioned for transverse-transfer to both external-transfer optical waveguides. In any device configuration wherein complete transfer of optical power from the transmission waveguide is desired for subsequent manipulation by the optical device and transfer back into the same transmission waveguide, it may be desirable to provide an optical loss mechanism on the intermediate portion of the single transmission waveguide. Such a loss mechanism may take the form of an additional optical waveguide positioned between the external-transfer waveguides and adapted for transverse-transfer, an absorbing or scattering coating, an absorbing or scattering transverse-coupled optical element, an absorbing or scattering structural element, a Bragg grating, doping, or other optical loss mechanism. In this way the two ends of the transmission waveguide would be de-coupled optically, while being mechanically coupled for facilitating device fabrication and/or assembly. Fig. 33A shows an example of a two-port device 3310 fabricated on a substrate 3302 with external-transfer optical waveguides 3330/3331 with transmission waveguide 3320 positioned and adapted for transverse-transfer with the external-transfer waveguides. An additional optical waveguide 3380 provides optical loss by transverse-transfer from transmission waveguide 3320 between the external-transfer waveguides. Fig. 33B shows similar example in which a structural transmission-waveguide-alignment member 3370 also provides optical loss between the external-transfer waveguides.

[0185] Most examples disclosed to this point have employed planar optical waveguides or fiber-optic taper segments as transmission waveguides. Side-etched fiber-optic segments as disclosed in earlier-cited application A6 may also be employed in conjunction with a suitably arranged segment of an external-transfer waveguide for transverse-transfer. Similarly, any optical waveguide that may be suitably configured for transverse-transfer adiabatic or mode-interference-coupled) may be employed for implementing the present invention.

[0186] Planar waveguides and planar waveguide circuits comprise an important class of transmission optical waveguides used to implement the present invention. A planar waveguide may often comprise a low-index core/cladding-type dielectric waveguide fabricated on a substantially planar substrate, often silica or silica-based

waveguides fabricated on an oxide-coated silicon substrate. Silicon is a desirable waveguide substrate material for a variety of reasons, including but not limited to: relatively easy and well-understood material processing techniques; mature industry standards; ability to exploit economies of scale through large wafer sizes, highly planar single crystal faces obtainable; amenable to selective dry- and/or wet-etching; highly rigid; desirable thermal characteristics. The silicon substrate is often provided with a silica over-layer, with one or more planar waveguides on the silica over-layer. Silica and silica-based materials are nearly ideal and well-understood optical materials. Alternatively, planar waveguides may instead comprise one or more high-index waveguides (semiconductor waveguides, for example) formed on a quartz, silica, or other low-index or insulating substrate (or over-layer on a semiconductor substrate). Such high-index waveguides may offer the advantage of more readily achieved transverse-transfer to other high-index optical components. Silica-based planar waveguides have previously been used in end-coupled configurations with optical devices and/or optical fibers, but typically exhibit high insertion losses due to poor spatial-mode-matching, particularly with semiconductor-based optical devices. External-transfer waveguides implemented according to the present invention may offer significant reduction in insertion losses for such optical devices by enabling transverse-transfer to/from the planar waveguide. An example has already been shown in Figs. 13A/13B, 14A/14B, and 15A/15B adapted for adiabatic transverse-transfer between planar transmission waveguides and external-transfer waveguides optically integrated with a two-port optical device.

[0187] Another example is shown in Figs. 34A and 34B including a two-port optical devices 3410 (an electro-absorption modulator, for example) with optically integrated input and output external-transfer waveguides 3430/3431. The external-transfer waveguides may be of any type suitable for spatial-mode-matched end-coupling to an optical mode defined by the optical device and for transverse-transfer to the planar transmission waveguides 3420/3421. The transverse-transfer may be: adiabatic, active-modal-index-matched mode-interference-coupled, or passive-modal-index-matched mode-interference-coupled. As with fiber-optic-taper-based transmission waveguides, the degree of alignment precision required for achieving efficient transverse-transfer between the planar transmission

waveguides and the external-transfer waveguides may be as much as an order-of-magnitude less than the precision required for end-transfer between spatial-mode-matched planar transmission waveguide and optical device, thereby enabling passive alignment techniques for positioning the optical device relative to the planar transmission waveguide. In the exemplary embodiment of Figs. 34A/34B, optical device 3410 and external-transfer waveguides 3430/3431 are fabricated on a common substrate 3402. Planar transmission waveguides 3430/3421 are fabricated on substrate 3422. The two components are assembled in a so-called "flip-chip" geometry in order to establish transverse-transfer between external-transfer waveguides 3430/3431 and planar transmission waveguides 3420/3421, and electronic coupling between electrode 3414 and contact 3424. An optical signal to be manipulated may be received from an optical system through a planar transmission waveguide 3420, transferred by transverse-transfer into external-transfer waveguide 3430, transferred by end-transfer into device 3410, manipulated as it propagates through the device 3410, transferred by end-transfer into the other external-transfer waveguide 3431, transferred by transverse-transfer into the other planar transmission waveguide 3421, and transmitted to the optical system. High efficiency for each transfer of optical power yields a device having low insertion loss. This type of planar waveguide implementation may be applied with any suitable optical device.

[0188] Planar waveguide implementations of the present invention offer the possibility of high levels of integration of multiple optical components to form hybrid or composite optical devices. Multiple planar transmission waveguides forming an optical network of any desired topology may be fabricated on a substrate with a gap at each point where an optical component might be located. The transmission planar waveguides may be adapted near each potential device location for optical power transverse-transfer (adiabatic and/or mode-interference-coupled; both types may be mixed on a single planar waveguide substrate). Each optical component may be an optical device with one or more optically integrated external-transfer waveguides according to the present invention, each positioned relative to the component device for efficient end- or transverse-transfer to/from the optical device. Each external-transfer waveguide may be positioned and adapted so as to enable transverse-transfer to/from a corresponding planar transmission waveguide

when the component is positioned on the planar waveguide substrate. A so-called "flip chip" geometry may be employed to establish transverse-transfer between each external-transfer waveguide and its corresponding planar waveguide(s) on the substrate. Mating alignment structures may be provided on the component and/or on the planar waveguide substrate for establishing suitably precise relative positioning of the external-transfer waveguides and the respective planar transmission waveguides.

[0189] Examples of an optical device with multiple transverse-coupled sub-components are shown in Figs. 35A/35B, 36A/36B, and 37A/37B, in which a laser/waveguide hybrid component and a modulator/waveguide hybrid component, each having one or more optically integrated external-transfer waveguides, are flip-chip mounted onto a planar waveguide substrate 3522. One planar transmission waveguide 3524 transmits optical power from the laser 3542 to the modulator 3552, while a second planar transmission waveguide 3526 may terminate in a transverse-transfer segment 3528 for transverse-transfer of modulated optical power to a fiber-optic taper 3520 (Fig. 35A). Optical power from the laser 3542 is: transferred by end-transfer into an external-transfer waveguide 3546 (optically integrated with laser 3542 on substrate 3544); transferred by transverse-transfer to the first planar transmission waveguide 3524; transferred by transverse-transfer to an input external-transfer waveguide 3556 (optically integrated with modulator 3552 on substrate 3554); transferred by end-transfer to the modulator 3552; modulated as it propagates through the modulator 3552; transferred by end-transfer to an output external-transfer waveguide 3557 (optically integrated with modulator 3552 on substrate 3554); transferred by transverse-transfer to the second planar transmission waveguide 3526; transferred by transverse-transfer to the fiber-taper-segment 3520 of the optical fiber (Fig 35A). The transverse-transfer steps may be adiabatic (Figs. 36A/36B) or mode-interference-coupled (active or passive; Figs. 37A/37B), and need not be of the same type for each transverse-transfer optical junction in the assembly.

[0190] Instead of transverse-transfer to a fiber-optic taper, transmission waveguide 3526 may instead be adapted to serve as a spatial-mode expander for end-transfer to an optical fiber 3529 (Fig. 35B; see discussion below) or other large-mode optical waveguide. High overall optical power throughput (i.e., low insertion

loss) may be achieved for the hybrid device. In a manner similar to that shown in Fig. 35A, the wavelength multiplexed example of Fig. 24 may be constructed using planar transmission waveguides on a substrate for optical power transmission to a fiber-optic taper, while each laser source comprises a flip-chip mounted laser having an integrated external-transfer waveguide for transverse-transfer to the planar transmission waveguides. Any optical device may be coupled to one or more planar transmission waveguides as described hereinabove using one or more external-transfer waveguides according to the present invention. While a fiber-optic taper segment 3520 is shown in Fig. 35A for transferring optical power to/from the planar waveguide substrate by transverse-transfer from/to planar transmission waveguide 3528, other methods and/or configurations may be equivalently employed. Planar transmission optical waveguide 3526 may include a spatial-mode expander segment so that the propagating optical power is end-transferred to an optical fiber 3529. The spatial-mode expansion should preferably be substantially adiabatic to minimize undesirable optical loss.

[0191] Apparatus and methods according to the present invention may be further applied to enable an optical "breadboard" approach for assembling complex optical devices. A substrate may be provided with a plurality of locations provided for flip-chip mounting of modular optical devices, each of the devices incorporating one or more external-transfer waveguides according to the present invention. These flip-chip mounting locations may be provided on the substrate in an array pattern (square, rectangular, trigonal/hexagonal, or other) and a plurality of planar transmission waveguides may be provided on the substrate connecting each flip-chip mounting location to one or more of its neighbors. Individual modular optical devices of any desired type may be provided with external-transfer waveguide(s) positioned so as to establish transverse-transfer to/from corresponding planar transmission waveguide(s) when the device is flip-chip mounted at a mounting location on the substrate. Additional flip-chip components may be provided having only an external-transfer waveguide thereon (with no additional device) for optically "bridging" an otherwise vacant flip-chip mounting location (a single external-transfer waveguide would establish transverse-transfer with two of the planar transmission waveguides). Any desired combination of these modular optical devices may then be optically coupled in virtually any combination and in virtually any topology to

construct complex hybrid optical devices. The optical breadboard may be further provided with planar waveguides adapted for transverse-transfer to fiber-optic-taper segments or other waveguides, or end-transfer to an optical fiber or other waveguide, thereby enabling transfer of optical power to and/or from the breadboard device. Such a modular breadboard approach may be useful for device prototyping and/or for flexible device manufacture.

[0192] Alternatively, methods and apparatus according to the present invention may be employed for even higher degrees of optical device integration. A single planar waveguide substrate with multiple planar waveguides, multiple optical junction segments, and multiple device locations may be fabricated in any desired planar waveguide circuit topology. Multiple devices with multiple corresponding external-transfer waveguides may be fabricated on a single device substrate. The multiple devices and external-transfer optical waveguides may be positioned on the device substrate in positions corresponding to the arrangement of the device locations on the waveguide substrate. Similarly, the optical junction regions of the multiple external-transfer waveguides may be positioned to correspond to the optical junction regions of the planar waveguides. A single assembly step, assembling the waveguide substrate and the device substrate, may then serve to simultaneously establish optical junctions between the multiple planar waveguides and the multiple external-transfer waveguides to form a composite optical device of any desired degree of complexity. A majority of the precise alignment required may be accomplished during fabrication of the substrates and structures thereon using precision, highly parallel material processing techniques.

[0193] Optical devices and optically integrated external-transfer waveguides may be fabricated on a common substrate for modifying and/or controlling device performance or characteristics or otherwise providing device functionality. In the example of Fig. 38, a laser 3810 is fabricated on a substrate 3802 along with optically integrated external-transfer waveguides 3830 and 3831. Waveguide 3830 may provide optical power transfer between laser 3810 and transmission waveguide 3820. Waveguide 3831 may serve to alter the optical properties and/or performance of laser 3810. For example, a grating structure in waveguide 3831 may serve to define a lasing wavelength for laser 3810. Alternatively, spatial optical modes supported by waveguide 3831 may define transverse spatial mode

characteristics of the laser output. External-transfer waveguides of varying structure and characteristics may be employed according to the present invention for providing various optical device functionalities for a variety of optical devices, including but not limited to: wavelength selectivity, spatial mode selectivity, optical filtering, polarization selectivity, thermal compensation, power monitoring, reflectivity, modulation, and so on. Selectivity may refer to tuning, stabilization, and/or modulation of the relevant optical property. The external-transfer optical waveguide may include a grating structure, a thermo-optic element, or other suitable functional component. End facets of devices may be manipulated during fabrication and/or processing to alter optical characteristics of devices implemented according to the present invention. For example, the end facets may be coated for wavelength specificity, polarization specificity, and so on. A device end facet may be fabricated with a curvature so as to act as a lens, thereby altering the propagation characteristics of optical input to and/or output from the device. A canted or beveled end facet may serve to direct optical power transversely out of the external-transfer waveguide (acting as a turning mirror) for device monitoring or to reduce optical feedback.

[0194] An alternative embodiment is shown in Fig. 39 wherein a portion of the optical device functionality is provided in a transmission optical waveguide, and/or the optical device is not fully functional until transfer of optical power between the device and transmission waveguide is enabled (through an external-transfer optical waveguide). A planar waveguide substrate 3922 is shown with planar transmission waveguides 3920 and 3921. Laser diode 3910 is provided on substrate 3902 with integral external-transfer optical waveguides 3930 and 3931. Transverse-transfer between external-transfer waveguide 3930 and transmission waveguide 3920 provides an output optical path for the output of laser 3910. Transfer of optical power between laser 3910 and transmission waveguide 3921 (through external-transfer waveguide 3931) may enable control, modification, and/or manipulation of the output of laser 3910 by making transmission waveguide 3921 in effect part of the laser cavity. Control or manipulation of optical/spectral characteristics of transmission waveguide 3921 would have a corresponding effect on the output of laser 3910. For example, a grating structure may be provided in transmission waveguide 3921 to stabilize the wavelength of laser 3910, or the spatial-mode

characteristics of transmission waveguide 3921 may control the spatial-mode characteristic of the output of laser 3910. Other devices and schemes may be readily devised while remaining within the scope of the present invention. It may be the case that a device may not become functional until optical power transfer is established between the device and a transmission optical waveguide providing a portion of the device functionality. Transmission waveguides of varying structure and characteristics may be employed according to the present invention for providing various optical device functionalities for a variety of optical devices, including but not limited to: wavelength selectivity, spatial mode selectivity, optical filtering, polarization selectivity, thermal compensation, power monitoring, reflectivity, modulation, and so on. The transmission optical waveguide may include a grating structure, a thermo-optic element, or other suitable functional component. In some examples the transmission waveguide may only modify the operation of the optical device, while in other examples the transmission waveguide may be required for the device to function at all.

[0195] In light of the discussion of the preceding two paragraphs, the term "optical device" may require some clarification. As used herein, "optical device" may denote an independently functioning component, such as a laser, modulator, filter, switch, and so forth. Alternatively, "optical device" may also denote a component that may not operate independently, but must be used in conjunction with another component to function. An example may comprise an semiconductor gain medium with an anti-reflection coated end facet and an external-transfer waveguide. Alone such a component may not function as a laser source. If a reflector were provided in the external-transfer waveguide, or in a transmission waveguide forming an optical junction with the external-transfer waveguide, then the reflector and semiconductor might together form a functioning laser. Many other similar examples may fall within the scope of inventive concepts disclosed and/or claimed herein.

[0196] Figs. 40 and 41 are process flow diagrams (transverse cross section and plan views, respectively) showing fabrication of a preferred planar transmission waveguide according to the present invention. Dimensions and material compositions are exemplary and may be altered while remaining within the scope of the present invention. A silicon substrate 4002 is prepared with a 5 μm thick

buffer layer of silica 4004, a 10 μm thick layer of germanosilica 4006, and a 70 nm thick layer of silicon nitride 4008 (Si_xN_y). The silicon nitride is patterned and etched to form a waveguide core 4124 about 6 μm wide and of the desired geometry, shown in Fig. 41 laterally tapered at each end. The germanosilica layer is then etched to form a ridge waveguide 4120 about 10 μm wide and about 6 μm high, as well as the top portions of alignment/support structures 4170. Then both the remaining germano-silica 4006 and the silica buffer 4004 are patterned and removed, leaving ridge waveguide 4120 supported by a somewhat wider buffer ridge 4126 comprising the germano-silica layer (about 4 μm remaining thickness) and the silica layer. The lower portions of alignment/support structures 4170 are also formed by these steps. Ridges 4120 and 4126 are then covered with a 0.5 μm thick deposited overlayer of germano-silica. The underlying silicon is patterned and etched to form a v-groove 4150 for eventually receiving the end of a single-mode optical fiber. A groove 4152 is provided (by saw-cut or any other suitable method) to terminate the v-groove and allow an optical fiber to reach the end of waveguide 4120. Contacts/electrodes 4160 and other desired elements may then be provided using suitable spatially selective material processing techniques. While patterning/etching is recited for various processing steps herein, any suitable spatially selective material processing technique(s) may be equivalently employed. Similar processing sequences may be employed to produce various configurations, such as the exemplary embodiments shown in Figs. 42A/42B, 43A/43B, and 44A/44B.

[0197] These planar waveguide components (equivalently, PLC-like components) may then receive an optical device with one or more integral external-transfer waveguides according to the present invention, preferably in a flip-chip geometry or in any suitable assembly geometry. One tapered end of the silicon nitride core of the ridge waveguide 4120 is adapted for adiabatic optical power transverse-transfer with an external-transfer optical waveguide of the optical device, with the ridge waveguide 4120 serving as the transmission optical waveguide. Alternatively, the ridge waveguide 4120 may be configured with the external-transfer optical waveguide for mode-interference-coupled optical power transverse-transfer. The other tapered end of the silicon nitride core of ridge waveguide 4120 serves as a mode expander for enabling end-transfer of optical power between the ridge

waveguide 4120 and an optical fiber positioned in v-groove 4150 (fiber not shown). As the width of core 4122 decreases, the optical mode supported by core/waveguide 4122/4120 expands into waveguide 4120. Preferably, tapering of core 4122 should be sufficiently gradual so that the mode expansion satisfies the adiabatic condition (as defined earlier herein). By selecting the appropriate transverse dimension for ridge waveguide 4120, a desired degree of spatial-mode matching between waveguide 4120 and the optical fiber may be attained for enabling optical power end-transfer between waveguide 4120 and the optical fiber.

[0198] In Fig. 42A and 42B, a planar waveguide substrate 4222 is shown with a planar transmission waveguide 4220 thereon adapted at a first end for adiabatic optical power transverse-transfer with an external-transfer optical waveguide of a diode laser. The diode laser and external-transfer waveguide are optically integrated on laser substrate 4202, shown flip-chip mounted onto substrate 4222 in Fig. 42B. A v-groove 4250 in substrate 4222 serves to position an optical fiber 4290 (shown in Fig. 42B) for end-transfer with waveguide 4220. Waveguide 4220 may be adapted at a second end for mode expansion and a degree of spatial-mode matching with the fiber 4290. Substrate 4222 may be provided with an auxiliary waveguide 4240 positioned and adapted at a first end thereof for transfer of a fraction of the optical output power of the diode laser from waveguide 4220. A second end of waveguide 4240 may be adapted for delivering optical power to a monitor photodiode. Contacts/electrodes 4224/4244 are provided for electronic access to the diode laser and the photodiode, respectively. Alignment/ support members 4270/4272 are provided for alignment and support of the flip-chip mounted diode laser and photodiode, respectively.

[0199] The monitor photodiode may be integrated onto planar waveguide substrate 4222, or may preferably be provided as a separate component on a photodiode substrate 4242, shown flip-chip mounted onto planar waveguide substrate 4222 in Fig. 42B. The first end of waveguide 4240 may preferably be adapted for transverse-transfer of optical power from waveguide 4220 (as shown in Figs. 42A/42B), or may alternatively be adapted in any other suitable way for optical power transfer from waveguide 4220. The second end of waveguide 4240 may preferably be adapted to function as a turning mirror for directing optical power upward and away from substrate 4222 and onto the monitor photodiode. This may

be accomplished during processing of substrate 4222 by providing a beveled end-facet at the second end of waveguide 4222. Alternatively, any suitable means may be employed for delivering optical signal power from waveguide 4240 to the monitor photodiode. For example, the second end of waveguide 4240 may be provided with an optical scatterer, with a portion of the scattered optical power detected by the photodiode. In another example, the photodiode may be provided with an external-transfer optical waveguide according to the present invention adapted for transverse-transfer (adiabatic or mode-interference-coupled) of optical power from waveguide 4240 and delivery of the optical power to the photodiode. Other means may be equivalently employed.

[0200] Figs. 43A/43B show a planar waveguide substrate 4322 with planar transmission optical waveguides 4320 and 4321 thereon. A diode laser may be provided with an external-transfer optical waveguide on laser substrate 4302, shown flip-chip mounted onto substrate 4322 in Fig. 43B. An optical modulator may be provided with two external-transfer optical waveguides on modulator substrate 4303, shown flip-chip mounted onto substrate 4322 in Fig. 43B. Waveguide 4320 may be adapted at a first end for transverse-transfer of optical power (adiabatic or mode-interference-coupled) with the external-transfer waveguide of the diode laser, and may be adapted at a second end for transverse-transfer of optical power (adiabatic or mode-interference-coupled) with a first of the external-transfer waveguides of the modulator. Waveguide 4321 may be adapted at a first end for transverse-transfer of optical power with a second of the external-transfer waveguides of the modulator (adiabatic or mode-interference-coupled), and adapted at a second end for mode-expansion and end-transfer with an optical fiber 4390, shown positioned in v-groove 4350 in Fig. 43B. Auxiliary waveguides 4340 and 4341 are provided on substrate 4322 positioned and adapted at the first ends thereof for transfer of a fraction of the optical power from waveguides 4320 and 4321, respectively. The fractions diverted are directed to photodiodes, preferably provided on separate photodiode substrates 4344/4345 and shown in Fig. 43B flip-chip mounted onto substrate 4322. Waveguides 4340/4341 and the photodiodes may be adapted as described in the preceding paragraphs. Contacts/electrodes 4370/4371/4372/4373 are provided for electronic access to the diode laser, modulator, and photodiodes. Alignment/support members 4380/4381/4382/4383

may be provided on substrate 4322 for alignment on support of the diode laser, modulator, and photodiodes. The foregoing embodiments are exemplary. Many other configurations of optical devices (with external-transfer waveguides) and transmission waveguides may fall within the scope of the present invention as disclosed and/or claimed herein.

[0201] In Fig. 44A and 44B, a planar waveguide substrate 4422 is shown with a planar transmission waveguide 4420 thereon adapted at a first end for adiabatic optical power transverse-transfer with an external-transfer optical waveguide of a diode laser. The diode laser and external-transfer waveguide are optically integrated on laser substrate 4402, shown flip-chip mounted onto substrate 4422 in Fig. 44B. A v-groove 4450 in substrate 4422 serves to position an optical fiber 4490 (shown in Fig. 44B) for end-transfer with waveguide 4420. Waveguide 4420 may be adapted at a second end for mode expansion and a degree of spatial-mode matching with the fiber 4290 in conjunction with ball lens 4494, shown received in a recessed portion of substrate 4422. Substrate 4422 may have an additional recessed portion for receiving an optical isolator 4496 inserted between ball lens 4494 and optical fiber 4490. Substrate 4422 may be provided with an auxiliary waveguide 4440 positioned and adapted at a first end thereof for transfer of a fraction of the optical output power of the diode laser from waveguide 4420. A second end of waveguide 4440 may be adapted for delivering optical power to a monitor photodiode provided on flip-chip mounted substrate 4444. Contacts/ electrodes 4470/4472 are provided for electronic access to the diode laser and the photodiode, respectively. Alignment/ support members 4480/4482 are provided for alignment and support of the flip-chip mounted diode laser and photodiode, respectively.

[0202] Various of the exemplary embodiments shown herein include support/alignment members for accurately positioning and supporting an optical device (on a substrate with an external-transfer waveguide) on a planar waveguide substrate. It may be desirable to provide support and/or alignment structures on the device substrate as well. Such support structures may serve to protect the external-transfer optical waveguide (often a protruding structure) from damage during assembly of the device and the waveguide substrate. Exemplary support members are shown in Figs. 45A and 45B. An optical device (not shown) and

external-transfer optical waveguide 4530 are optically integrated on device substrate 4502, along with support members 4560 (in the form of elongated protruding ridges substantially parallel to waveguide 4530 in the example; other configurations may be implemented). Upon assembly of the device with a planar transmission waveguide 4520 on waveguide substrate 4522 (omitted from Fig. 45A for clarity), the ridges 4560 engage the surface of the waveguide substrate to provide mechanical support and protection for external-transfer waveguide 4530.

[0203] The present invention has been set forth in the forms of its preferred and alternative embodiments. It is nevertheless intended that modifications to the disclosed optical junction apparatus and methods employing optical power transverse transfer may be made while remaining within the scope of inventive concepts disclosed and/or claimed herein.

CLAIMS

What is claimed is:

1. An optical apparatus, comprising:
   an optical device on a substrate;
   an external-transfer optical waveguide, the external-transfer optical waveguide including an optical junction region; and
   a transmission optical waveguide, the transmission optical waveguide including an optical junction region,
   the optical device and the external-transfer optical waveguide being optically integrated for enabling transfer of optical power therebetween,
   at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power therebetween at the respective optical junction regions.
2. The apparatus of Claim 1, the transmission optical waveguide being assembled with at least one of the substrate, the optical device, and the external-transfer optical waveguide so as to position the respective optical junction regions for enabling transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
3. The apparatus of Claim 1, further comprising a joining element, the joining element securing the transmission optical waveguide to at least one of the substrate, the optical device, and the external-transfer optical waveguide so as to position the respective optical junction regions for enabling transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
4. The apparatus of Claim 1, the optical junction region of at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling mode-interference-coupled transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
5. The apparatus of Claim 4, at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween below about 0.5 dB

for transverse offsets at least as large as about ±0.5 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.

6. The apparatus of Claim 1, the optical junction region of at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
7. The apparatus of Claim 6, at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween below about 0.5 dB for transverse offsets at least as large as about ±1.0 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
8. The apparatus of Claim 6, at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween below about 0.5 dB for transverse offsets at least as large as about ±1.5 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
9. **IB0'a.** The apparatus of Claim 6, at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween within about ±0.5 dB of a nominal optical power transfer loss level for transverse offsets at least as large as about ±0.7 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
10. **IB0'b.** The apparatus of Claim 6, at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween within about ±0.5 dB of a nominal optical power transfer loss level for transverse offsets at least as large as about ±1.0 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.

11. The apparatus of Claim 6, at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween within about ±0.5 dB of a nominal optical power transfer loss level for transverse offsets at least as large as about ±1.5 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.
12. The apparatus of Claim 1, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
13. The apparatus of Claim 12, the optical device having an etched end face, the etched end face serving at least in part to adapt the optical device for enabling end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
14. The apparatus of Claim 12, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling substantially spatial-mode-matched end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
15. The apparatus of Claim 12, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being formed by quantum-well inter-mixing of a portion of the optical device.
16. The apparatus of Claim 1, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
17. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.
18. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.
19. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a core and lower-index cladding.
20. The apparatus of Claim 19, at least a portion of the cladding including a metal film.

21. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
22. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the transmission optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.
23. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the transmission optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.
24. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the transmission optical waveguide including a core and lower-index cladding.
25. The apparatus of Claim 24, at least a portion of the cladding including a metal film.
26. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the transmission optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
27. The apparatus of Claim 1, the transmission optical waveguide being adapted at an end thereof for enabling end-transfer of optical power to a single-mode optical fiber.
28. The apparatus of Claim 1, the transmission optical waveguide being a planar waveguide on a waveguide substrate.
29. The apparatus of Claim 28, the transmission optical waveguide being one of multiple planar waveguides on the waveguide substrate, the multiple planar waveguides forming a planar waveguide circuit.
30. The apparatus of Claim 1, the transmission optical waveguide being an optical fiber, the optical fiber having a fiber-optic-taper segment, the optical junction region of the optical fiber including at least a portion of the fiber-optic-taper segment.
31. The apparatus of Claim 1, the transmission optical waveguide being an optical fiber, at least a portion of the optical junction region thereof having cladding transversely asymmetrically removed therefrom.
32. The apparatus of Claim 1, the transmission optical waveguide being an optical fiber, the optical junction region thereof being a beveled end thereof.
33. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of the optical device.

34. The apparatus of Claim 1, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of the optical device.

35. An optical junction apparatus, comprising:
a first optical waveguide, the first optical waveguide including an optical junction region;
a second optical waveguide, the second optical waveguide including an optical junction region; and
a joining element,
at least one of the first and second optical waveguides being adapted for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power therebetween at the respective optical junction regions thereof,
the joining element arranged to secure the first optical waveguide with the second optical waveguide so as to position the respective optical junction regions thereof for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power therebetween.

36. An optical junction apparatus, comprising:
a first optical waveguide, the first optical waveguide including an optical junction region; and
a second optical waveguide assembled with the first optical waveguide, the second optical waveguide including an optical junction region,
at least one of the first and second optical waveguides being adapted for and positioned for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power therebetween at the respective optical junction regions thereof.

37. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween below about 0.5 dB for transverse offsets at least as large as about ±1.0 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the first and second optical waveguides.

38. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween below about 0.5 dB for transverse offsets at least

as large as about ±1.5 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the first and second optical waveguides.

39. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween within about ±0.5 dB of a nominal optical power transfer loss level for transverse offsets at least as large as about ±0.7 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the first and second optical waveguides.
40. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween within about ±0.5 dB of a nominal optical power transfer loss level for transverse offsets at least as large as about ±1.0 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the first and second optical waveguides.
41. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being adapted for maintaining transverse-offset optical power transfer loss therebetween within about ±0.5 dB of a nominal optical power transfer loss level for transverse offsets at least as large as about ±1.5 times a corresponding transverse optical mode size characteristic of the first and second optical waveguides.
42. The apparatus of Claim 36, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including a core and lower-index cladding.
43. The apparatus of Claim 42, at least one transverse dimension of at least one of the core and the cladding varying longitudinally along at least a portion of the optical junction region.
44. The apparatus of Claim 42, a refractive index of at least one of the core and the cladding varying longitudinally along at least a portion of the optical junction region.
45. The apparatus of Claim 42, at least a portion the optical junction region of at least one of the first and second optical waveguides being beveled.
46. The apparatus of Claim 42, at least a portion of at least one of the core and cladding including silica-based material.
47. The apparatus of Claim 42, at least a portion of at least one of the core and cladding including silicon oxyntride.

48. The apparatus of Claim 42, at least a portion of the core including silicon nitride.
49. The apparatus of Claim 42, at least a portion of at least one of the core and cladding including polymer-based material.
50. The apparatus of Claim 42, at least a portion of at least one of the core and cladding including semiconductor-based material.
51. The apparatus of Claim 42, at least a portion of at least one of the core and cladding including silicon semiconductor-based material.
52. The apparatus of Claim 42, at least a portion of at least one of the core and cladding including III/V semiconductor-based material.
53. The apparatus of Claim 42, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including multiple cores and lower-index cladding.
54. The apparatus of Claim 42, at least a portion of the cladding including a metal film.
55. The apparatus of Claim 36, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides being a low-modal-index optical waveguide.
56. The apparatus of Claim 55, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including silica-based material.
57. The apparatus of Claim 55, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including polymer-based material.
58. The apparatus of Claim 36, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides being a high-modal-index optical waveguide.
59. The apparatus of Claim 58, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including semiconductor-based material.
60. The apparatus of Claim 58, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including silicon semiconductor-based material.
61. The apparatus of Claim 58, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including III/V semiconductor-based material.
62. The apparatus of Claim 36, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
63. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being a planar waveguide on a waveguide substrate.

64. The apparatus of Claim 63, the planar waveguide being one of multiple planar waveguides on the waveguide substrate, the multiple planar waveguides forming a planar waveguide circuit.
65. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being adapted at an end thereof for enabling end-transfer of optical power with a single-mode optical fiber.
66. The apparatus of Claim 65, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides being adapted for spatial mode expansion.
67. The apparatus of Claim 65, the optical junction region of at least one of the first and second optical waveguides being adapted for spatial mode expansion and for adiabatic transverse-transfer of optical power.
68. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being an optical fiber, the optical fiber having a fiber-optic-taper segment, the optical junction region of the optical fiber including at least a portion of the fiber-optic-taper segment.
69. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being an optical fiber, at least a portion of the optical junction region thereof having cladding transversely asymmetrically removed therefrom.
70. The apparatus of Claim 36, at least one of the first and second optical waveguides being an optical fiber, the optical junction region thereof being a beveled end thereof.
71. An optical apparatus, comprising:
an optical device on a substrate;
a first external-transfer optical waveguide, the first external-transfer optical waveguide including an optical junction region;
a second external-transfer optical waveguide, the second external-transfer optical waveguide including an optical junction region;
a first transmission optical waveguide, the first transmission optical waveguide including an optical junction region; and
a second transmission optical waveguide, the second transmission optical waveguide including an optical junction region,
the optical device and the first external-transfer optical waveguide being optically integrated for enabling transfer of optical power therebetween,

the optical device and the second external-transfer optical waveguide being optically integrated for enabling transfer of optical power therebetween,

at least one of the first transmission optical waveguide and the first external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power therebetween at the respective optical junction regions thereof,

at least one of the second transmission optical waveguide and the second external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power therebetween at the respective optical junction regions thereof.

72. The apparatus of Claim 71, at least one of the first and second transmission optical waveguides being assembled with at least one of the substrate, the optical device, and the first and second external-transfer optical waveguides so as to position the respective optical junction regions for enabling transverse-transfer of optical power between at least one of the first and second transmission optical waveguides and the corresponding at least one of first and second external-transfer optical waveguides.

73. The apparatus of Claim 71, further comprising a joining element, the joining element securing at least one of the first and second transmission optical waveguides to at least one of the substrate, the optical device, and the first and second external-transfer optical waveguides so as to position the respective optical junction regions for enabling transverse-transfer of optical power between at least one of the first and second transmission optical waveguides and the corresponding at least one of the first and second external-transfer optical waveguides.

74. The apparatus of Claim 71, at least one of the optical device and the first and second external-transfer optical waveguides being adapted for and positioned for enabling end-transfer of optical power between the optical device and at least one of the first and second external-transfer optical waveguides.

75. The apparatus of Claim 71, at least one of the optical device and the first and second external-transfer optical waveguides being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power between the optical device and at least one of the first and second external-transfer optical waveguides.

76. The apparatus of Claim 71, at least one of the first and second transmission optical waveguides and the first and second external-transfer optical waveguides being adapted for and positioned for enabling mode-interference-coupled transverse-transfer of optical power between at least one of the first and second transmission optical waveguides and the corresponding at least one of the first and second external-transfer optical waveguides at the respective optical junction regions.
77. The apparatus of Claim 71, at least one of the first and second transmission optical waveguides and the first and second external-transfer optical waveguides being adapted for and positioned for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power between at least one of the first and second transmission optical waveguides and the corresponding at least one of the first and second external-transfer optical waveguides at the respective optical junction regions.
78. The apparatus of Claim 71, at least one of the first and second transmission optical waveguides being a planar waveguide on a waveguide substrate.
79. The apparatus of Claim 71, the first and second transmission optical waveguides being parts of a common component, the common component being provided initially mechanically separate from the substrate and subsequently assembled with the substrate.
80. The apparatus of Claim 79, the first and second transmission optical waveguides being planar waveguides on a common waveguide substrate.
81. The apparatus of Claim 71, at least a portion of at least one of the first and second transmission optical waveguides being adapted for providing a portion of functionality of the optical device.
82. The apparatus of Claim 71, at least a portion of at least one of the first and second external-transfer optical waveguides being adapted for providing a portion of functionality of the optical device.
83. An optical apparatus, comprising:
a planar transmission optical waveguide on a waveguide substrate, the transmission optical waveguide including an optical junction region,
the transmission optical waveguide being adapted for enabling transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and a second optical waveguide at the optical junction region,

at least one of the waveguide substrate and the transmission optical waveguide being adapted for receiving and positioning the second optical waveguide relative to the optical junction region of the transmission optical waveguide so as to enable transverse-transfer of optical power therebetween.

84. The apparatus of Claim 83, the transmission optical waveguide being adapted for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.
85. The apparatus of Claim 84, at least a portion of the transmission optical waveguide including a core and lower-index cladding, at least one transverse dimension of at least one of the core and the cladding varying longitudinally along at least a portion of the optical junction region thereof.
86. The apparatus of Claim 84, at least a portion of the transmission optical waveguide including a core and lower-index cladding, a refractive index of at least one of the core and the cladding varying longitudinally along at least a portion of the optical junction region thereof.
87. The apparatus of Claim 84, at least a portion of the optical junction region of the transmission optical waveguide being beveled.
88. The apparatus of Claim 84, transverse-transfer of optical power being wavelength-dependent.
89. The apparatus of Claim 84, transverse-transfer of optical power being polarization-dependent.
90. The apparatus of Claim 83, the transmission optical waveguide being adapted for enabling mode-interference-coupled transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.
91. The apparatus of Claim 90, modal-index-matching being achieved passively.
92. The apparatus of Claim 90, modal-index-matching being achieved actively.
93. The apparatus of Claim 90, transverse-transfer of optical power being polarization-dependent.
94. The apparatus of Claim 90, transverse-transfer of optical power being wavelength-dependent.

95. The apparatus of Claim 83, at least a portion of the transmission optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.
96. The apparatus of Claim 95, at least a portion of the transmission optical waveguide including a silica-based material.
97. The apparatus of Claim 95, at least a portion of the transmission optical waveguide including a polymer-based material.
98. The apparatus of Claim 83, at least a portion of the transmission optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.
99. The apparatus of Claim 98, at least a portion of the transmission optical waveguide including semiconductor-based material.
100. The apparatus of Claim 98, at least a portion of the transmission optical waveguide including silicon semiconductor-based material.
101. The apparatus of Claim 98, at least a portion of the transmission optical waveguide including III/V semiconductor-based material.
102. The apparatus of Claim 83, at least a portion of the transmission optical waveguide including a core and lower-index cladding.
103. The apparatus of Claim 102, at least a portion of at least one of the core and the cladding including silica-based material.
104. The apparatus of Claim 102, at least a portion of at least one of the core and the cladding including silicon oxynitride.
105. The apparatus of Claim 102, at least a portion of the core including silicon nitride.
106. The apparatus of Claim 102, at least a portion of at least one of the core and the cladding including polymer-based material.
107. The apparatus of Claim 102, at least a portion of at least one of the core and the cladding including semiconductor-based material.
108. The apparatus of Claim 102, at least a portion of at least one of the core and the cladding including silicon semiconductor-based material.
109. The apparatus of Claim 102, at least a portion of at least one of the core and the cladding being III/V semiconductor-based material.
110. The apparatus of Claim 102, at least a portion of the transmission optical waveguide including multiple cores and lower-index cladding.
111. The apparatus of Claim 102, at least a portion of the cladding including a metal film.

112. The apparatus of Claim 83, at least a portion of the transmission optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
113. The apparatus of Claim 83,
the transmission optical waveguide being adapted at an end thereof for enabling end-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and a single-mode optical fiber,
at least one of the waveguide substrate and the transmission optical waveguide being adapted for positioning an end of the single-mode optical fiber relative to the transmission optical waveguide so as to enable end-transfer of optical power therebetween.
114. The apparatus of Claim 113, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for spatial mode expansion.
115. The apparatus of Claim 113, the optical junction region of transmission optical waveguide being adapted for spatial mode expansion and for adiabatic transverse-transfer of optical power with the external transfer optical waveguide.
116. The apparatus of Claim 83, the transmission optical waveguide being one of multiple planar waveguides on the waveguide substrate, the multiple planar waveguides forming a planar waveguide circuit.
117. The apparatus of Claim 83, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of an optical device, the second optical waveguide providing optical power transfer between the transmission optical waveguide and the optical device.
118. The apparatus of Claim 117, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing at least a portion of wavelength-specific functionality of the optical device.
119. The apparatus of Claim 117, the transmission optical waveguide including a waveguide grating.
120. The apparatus of Claim 117, the transmission optical waveguide including a thermo-optic element.
121. The apparatus of Claim 117, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing at least a portion of polarization-specific functionality of the optical device.

122. The apparatus of Claim 117, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing optical power monitoring for the optical device.
123. The apparatus of Claim 117, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing at least a portion of spatial-mode-specific functionality of the optical device.
124. The apparatus of Claim 117, the transmission optical waveguide including a thermal compensator.
125. The apparatus of Claim 117, the optical device including a laser source.
126. The apparatus of Claim 125, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing at least a portion of wavelength selectivity of the laser source.
127. The apparatus of Claim 125, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing at least a portion of spatial-mode selectivity of the laser source.
128. The apparatus of Claim 125, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing at least a portion of polarization selectivity of the laser source.
129. An optical apparatus, comprising:
an optical device on a device substrate; and
an external-transfer optical waveguide, the external-transfer optical waveguide including an optical junction region,
the optical device and the external-transfer optical waveguide being optically integrated for enabling transfer of optical power therebetween,
the optical junction region of the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling transverse-transfer of optical power between the external-transfer optical waveguide and a second optical waveguide at the optical junction region,
at least one of the device substrate, the optical device, and the external-transfer optical waveguide being adapted for receiving and positioning the second optical waveguide relative to the optical junction region of the external-transfer optical waveguide so as to enable transverse-transfer of optical power therebetween.

130. The apparatus of Claim 129, the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power between the external-transfer optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.
131. The apparatus of Claim 130, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a core and lower-index cladding, at least one transverse dimension of at least one of the core and the cladding varying longitudinally along at least a portion of the optical junction region thereof.
132. The apparatus of Claim 130, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a core and lower-index cladding, a refractive index of at least one of the core and the cladding varying longitudinally along at least a portion of the optical junction region thereof.
133. The apparatus of Claim 130, at least a portion of the optical junction region of the external-transfer optical waveguide being beveled.
134. The apparatus of Claim 130, transverse-transfer of optical power being wavelength-dependent.
135. The apparatus of Claim 130, transverse-transfer of optical power being polarization-dependent.
136. The apparatus of Claim 129, the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling mode-interference-coupled transverse-transfer of optical power between the external-transfer optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.
137. The apparatus of Claim 136, modal-index-matching being achieved passively.
138. The apparatus of Claim 136, modal-index-matching being achieved actively.
139. The apparatus of Claim 136, transverse-transfer of optical power being polarization-dependent.
140. The apparatus of Claim 136, transverse-transfer of optical power being wavelength-dependent.
141. The apparatus of Claim 129, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
142. The apparatus of Claim 141, the optical device having an etched end face, the etched end face serving at least in part to adapt the optical device for enabling

end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.

143. The apparatus of Claim 141, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling substantially spatial-mode-matched end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
144. The apparatus of Claim 141, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being formed by quantum-well inter-mixing of a portion of the optical device.
145. The apparatus of Claim 129, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
146. The apparatus of Claim 129, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.
147. The apparatus of Claim 146, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a silica-based optical waveguide.
148. The apparatus of Claim 146, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a polymer-based optical waveguide.
149. The apparatus of Claim 129, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.
150. The apparatus of Claim 149, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a semiconductor-based optical waveguide.
151. The apparatus of Claim 149, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a silicon semiconductor-based optical waveguide.
152. The apparatus of Claim 149, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a III/V semiconductor-based optical waveguide.
153. The apparatus of Claim 129, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a core and lower-index cladding.
154. The apparatus of Claim 153, at least a portion of at least one of the core and the cladding including silica-based material.
155. The apparatus of Claim 153, at least a portion of at least one of the core and the cladding including silicon oxynitride.

156. The apparatus of Claim 153, at least a portion of the core including silicon nitride.
157. The apparatus of Claim 153, at least one of the core and the cladding including polymer-based material.
158. The apparatus of Claim 153, at least one of the core and the cladding including semiconductor-based material.
159. The apparatus of Claim 153, at least one of the core and the cladding including silicon semiconductor-based material.
160. The apparatus of Claim 153, at least one of the core and the cladding including a III/V semiconductor-based material.
161. The apparatus of Claim 153, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including multiple cores and lower-index cladding.
162. The apparatus of Claim 153, at least a portion of the cladding including a metal film.
163. The apparatus of Claim 129, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
164. The apparatus of Claim 129, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for spatial mode expansion.
165. The apparatus of Claim 129, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of the optical device.
166. The apparatus of Claim 165, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing at least a portion of wavelength-specific functionality of the optical device.
167. The apparatus of Claim 165, the external-transfer optical waveguide including a waveguide grating.
168. The apparatus of Claim 165, the external-transfer optical waveguide including a thermo-optic element.
169. The apparatus of Claim 165, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing at least a portion of polarization-specific functionality of the optical device.

170. The apparatus of Claim 165, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing optical power monitoring for the optical device.
171. The apparatus of Claim 165, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing at least a portion of spatial-mode-specific functionality of the optical device.
172. The apparatus of Claim 165, the external-transfer optical waveguide including a thermal compensator.
173. The apparatus of Claim 165, the optical device including a laser source.
174. The apparatus of Claim 173, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing at least a portion of wavelength selectivity of the laser source.
175. The apparatus of Claim 173, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing at least a portion of spatial-mode selectivity of the laser source.
176. The apparatus of Claim 173, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing at least a portion of polarization selectivity of the laser source.
177. A method for fabricating an optical apparatus, the method comprising the steps of:
fabricating an optical device on a substrate;
fabricating an external-transfer optical waveguide on at least one of the substrate and the optical device, the external-transfer optical waveguide including an optical junction region; and
assembling a transmission optical waveguide with the optical device and the external-transfer optical waveguide, the transmission optical waveguide including an optical junction region,
at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide,
at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the

external-transfer optical waveguide at the respective optical junction regions,

the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being positioned, upon assembly of the transmission optical waveguide with the substrate and the external-transfer optical waveguide, so as to position the respective optical junction regions for enabling transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.

178. The method of Claim 177, the optical junction region of at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling mode-interference-coupled transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.

179. The method of Claim 177, the optical junction region of at least one of the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the external-transfer optical waveguide.

180. The method of Claim 177, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.

181. The method of Claim 180, further including the step of etching an end face of the optical device so as to at least in part adapt the optical device for enabling end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.

182. The method of Claim 180, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling substantially spatial-mode-matched end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.

183. The method of Claim 180, further including the step of forming at least a portion of the external-transfer optical waveguide by quantum-well inter-mixing of a portion of the optical device.

184. The method of Claim 177, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
185. The method of Claim 177, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.
186. The method of Claim 177, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.
187. The method of Claim 177, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a core and lower-index cladding.
188. The method of Claim 187, at least a portion of the cladding including a metal film.
189. The method of Claim 177, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
190. The method of Claim 177, at least a portion of the transmission optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.
191. The method of Claim 177, at least a portion of the transmission optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.
192. The method of Claim 177, at least a portion of the transmission optical waveguide including a core and lower-index cladding.
193. The method of Claim 192, at least a portion of the cladding including a metal film.
194. The method of Claim 177, at least a portion of the transmission optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
195. The method of Claim 177, the transmission optical waveguide being adapted at an end thereof for enabling end-transfer of optical power to a single-mode optical fiber.
196. The method of Claim 177, the transmission optical waveguide being a planar waveguide on a waveguide substrate.
197. The method of Claim 196, the transmission optical waveguide being one of multiple planar waveguides on the substrate, the multiple planar waveguides forming a planar waveguide circuit.

198. The method of Claim 177, the transmission optical waveguide being an optical fiber, the optical fiber having a fiber-optic-taper segment, the optical junction region of the optical fiber including at least a portion of the fiber-optic-taper segment.
199. The method of Claim 177, the transmission optical waveguide being an optical fiber, at least a portion of the optical junction region thereof having cladding transversely asymmetrically removed therefrom.
200. The method of Claim 177, the transmission optical waveguide being an optical fiber, the optical junction region thereof being a beveled end thereof.
201. The method of Claim 177, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of the optical device and for enabling operation of the optical device.
202. The method of Claim 177, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of the optical device and for enabling operation of the optical device.
203. A method for fabricating an assembled optical apparatus, the method comprising the steps of:
    fabricating a first optical waveguide, the first optical waveguide including an optical junction region;
    fabricating a second optical waveguide, the second optical waveguide including an optical junction region, at least one of the first and second optical waveguides being adapted for substantially adiabatic transverse-transfer of optical power therebetween at the respective optical junction regions; and
    assembling the first and second optical waveguides so as to position the respective optical junction regions for enabling substantially adiabatic optical power transfer therebetween.
204. The method of Claim 203, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including a core and lower-index cladding.
205. The method of Claim 204, at least a portion of the cladding including a metal film.
206. The method of Claim 203, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides being a low-modal-index optical waveguide.

207. The method of Claim 203, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides being a high-modal-index optical waveguide.
208. The method of Claim 203, at least a portion of at least one of the first and second optical waveguides including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.
209. The method of Claim 203, at least one of the first and second optical waveguides being a planar waveguide on a waveguide substrate.
210. The method of Claim 209, the planar waveguide being one of multiple planar waveguides on the waveguide substrate, the multiple planar waveguides forming a planar waveguide circuit.
211. The method of Claim 203, further including the step of positioning an end of a single mode optical fiber for enabling end-transfer of optical power between the planar waveguide and the optical fiber, the planar waveguide being adapted at an end thereof for enabling end-transfer of optical power to the single-mode optical fiber.
212. The method of Claim 203, at least one of the first and second optical waveguides being an optical fiber, the optical fiber having a fiber-optic-taper segment, the optical junction region of the optical fiber including at least a portion of the fiber-optic-taper segment.
213. The method of Claim 203, at least one of the first and second optical waveguides being an optical fiber, at least a portion of the optical junction region thereof having cladding transversely asymmetrically removed therefrom.
214. The method of Claim 203, at least one of the first and second optical waveguides being an optical fiber, the optical junction region thereof being a beveled end thereof.
215. A method for fabricating an optical apparatus, comprising the step of fabricating at least one planar transmission optical waveguide on a waveguide substrate, the transmission optical waveguide including an optical junction region,
the transmission optical waveguide being adapted for enabling transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and a second optical waveguide at the optical junction region,

at least one of the waveguide substrate and the transmission optical waveguide being adapted for receiving and positioning the second optical waveguide relative to the optical junction region of the transmission optical waveguide so as to enable transverse-transfer of optical power therebetween, the second optical waveguide being provided initially as a mechanically separate component and subsequently assembled with at least one of the transmission optical waveguide and the waveguide substrate.

216. The method of Claim 215, the transmission optical waveguide being adapted for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.

217. The method of Claim 215, the transmission optical waveguide being adapted for enabling mode-interference-coupled transverse-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.

218. The method of Claim 215, at least a portion of the transmission optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.

219. The method of Claim 215, at least a portion of the transmission optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.

220. The method of Claim 215, at least a portion of the transmission optical waveguide including a core and lower-index cladding.

221. The method of Claim 220, at least a portion of the cladding including a metal film.

222. The method of Claim 215, at least a portion of the transmission optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.

223. The method of Claim 215,

the transmission optical waveguide being adapted at an end thereof for enabling end-transfer of optical power between the transmission optical waveguide and a single-mode optical fiber,

at least one of the waveguide substrate and the transmission optical waveguide being adapted for positioning an end of the single-mode

optical fiber relative to the transmission optical waveguide so as to enable end-transfer of optical power therebetween.

224. The method of Claim 215, the transmission optical waveguide being one of multiple planar waveguides on the substrate, the multiple planar waveguides forming a planar waveguide circuit.

225. The method of Claim 215, at least a portion of the transmission optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of an optical device and for enabling operation of the optical device when coupled thereto.

226. A method for fabricating an optical apparatus, comprising the steps of:
fabricating an optical device on a device substrate;
fabricating an external-transfer optical waveguide on at least one of the device substrate and the optical device, the external-transfer optical waveguide including an optical junction region,
at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling transfer of optical power therebetween,
the external-transfer optical waveguide being positioned relative to the optical device so as to enable transfer of optical power therebetween,
the optical junction region of the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling transverse-transfer of optical power between the external-transfer optical waveguide and a second optical waveguide,
at least one of the device substrate, the optical device, and the external-transfer optical waveguide being adapted for receiving and positioning the second optical waveguide relative to the optical junction region of the external-transfer optical waveguide so as to enable transverse-transfer of optical power therebetween, the second optical waveguide being provided initially as a mechanically separate component and subsequently assembled with at least one of the device substrate, the optical device, and the external-transfer optical waveguide.

227. The method of Claim 226, the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling substantially adiabatic transverse-transfer of optical power between the external-transfer optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.

228. The method of Claim 226, the external-transfer optical waveguide being adapted for enabling mode-interference-coupled transverse-transfer of optical

power between the external-transfer optical waveguide and the second optical waveguide at the optical junction region.

229. The method of Claim 226, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
230. The method of Claim 229, further including the step of etching an end face of the optical device so as to at least in part adapt the optical device for enabling end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
231. The method of Claim 229, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling substantially spatial-mode-matched end-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
232. The method of Claim 229, further including the step of forming at least a portion of the external-transfer optical waveguide by quantum-well inter-mixing of a portion of the optical device.
233. The method of Claim 226, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being adapted for and positioned for enabling transverse-transfer of optical power between the optical device and the external-transfer optical waveguide.
234. The method of Claim 226, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a low-modal-index optical waveguide.
235. The method of Claim 226, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being a high-modal-index optical waveguide.
236. The method of Claim 226, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a core and lower-index cladding.
237. The method of Claim 236, at least a portion of the cladding including a metal film.
238. The method of Claim 226, at least a portion of the external-transfer optical waveguide including a multi-layer waveguide structure, the multi-layer waveguide structure including at least one multi-layer reflector stack.

239. The method of Claim 226, at least a portion of the external-transfer optical waveguide being adapted for providing a portion of functionality of the optical device.

240. An optical apparatus, comprising:
multiple optical devices fabricated on a common device substrate;
multiple external-transfer optical waveguides, each fabricated on at least one of the device substrate and the multiple optical devices; and
multiple planar transmission optical waveguides fabricated on a common waveguide substrate, the multiple planar transmission optical waveguides forming a planar optical waveguide circuit, the waveguide substrate being assembled with the device substrate,
at least one of the multiple optical devices and at least one of the multiple external-transfer optical waveguides being adapted for and positioned for optical power transfer therebetween,
at least two of the multiple external-transfer optical waveguides and at least two corresponding planar transmission optical waveguides among the multiple planar transmission optical waveguides being adapted for transverse-transfer of optical power therebetween,
assembly of the device substrate with the waveguide substrate serving to position at least two of the multiple external-transfer optical waveguides relative to the corresponding planar transmission optical waveguides for enabling transverse-transfer of optical power therebetween, thereby establishing at least two optical connections between the planar optical waveguide circuit and the multiple optical devices.

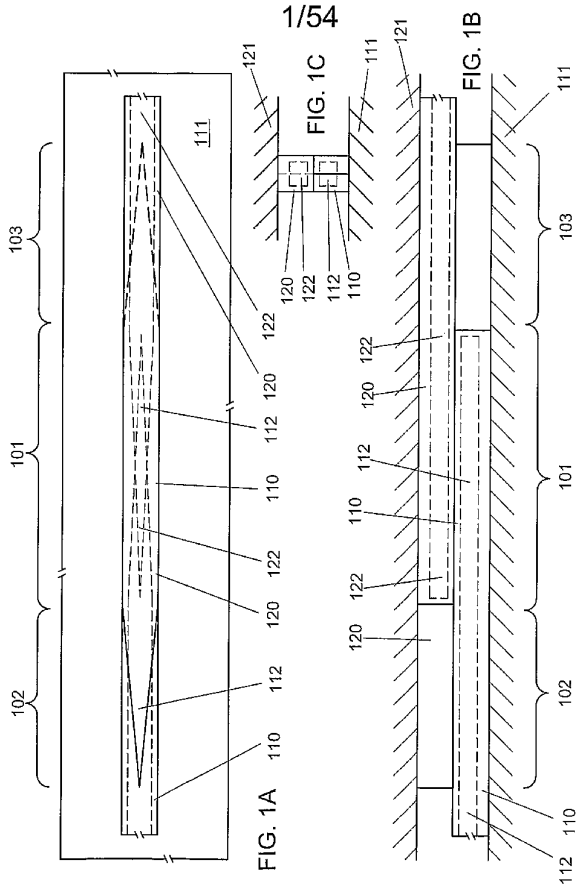
241. An optical apparatus, comprising:
multiple device substrates, each device substrate having fabricated thereon at least one optical device, at least one device substrate having fabricated thereon an external-transfer optical waveguide, at least one of the optical device and the external-transfer optical waveguide being positioned for and adapted for enabling optical power transfer therebetween; and
multiple planar transmission optical waveguides fabricated on a common waveguide substrate, the multiple planar transmission optical waveguides forming a planar optical waveguide circuit, the planar optical waveguide

circuit being adapted at multiple device locations thereof for receiving a corresponding one of the multiple device substrates,

for each of the multiple device locations, at least one of the multiple planar transmission optical waveguides, the optical device, and the external-transfer optical waveguides being adapted for enabling optical power transfer between the optical device and the planar optical waveguide circuit,

at least one of the multiple device locations and the external-transfer optical waveguide on the corresponding one of the multiple device substrates being adapted for enabling transverse-transfer of optical power between the planar optical waveguide circuit and the external-transfer optical waveguide on the corresponding one of the multiple device substrates,

assembly of the corresponding one of the device substrates at the at least one of the multiple device locations serving to enable transverse-transfer of optical power between the planar optical waveguide circuit and the external-transfer optical waveguide on the corresponding one of the device substrates.


103
101
102
111
121
122
120
112
110
FIG. 1A
FIG. 1C
FIG. 1B

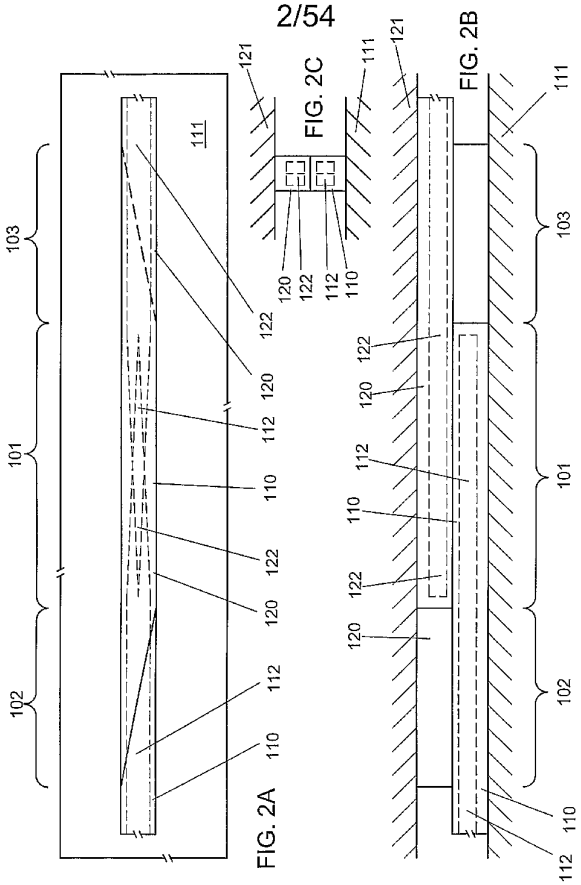


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

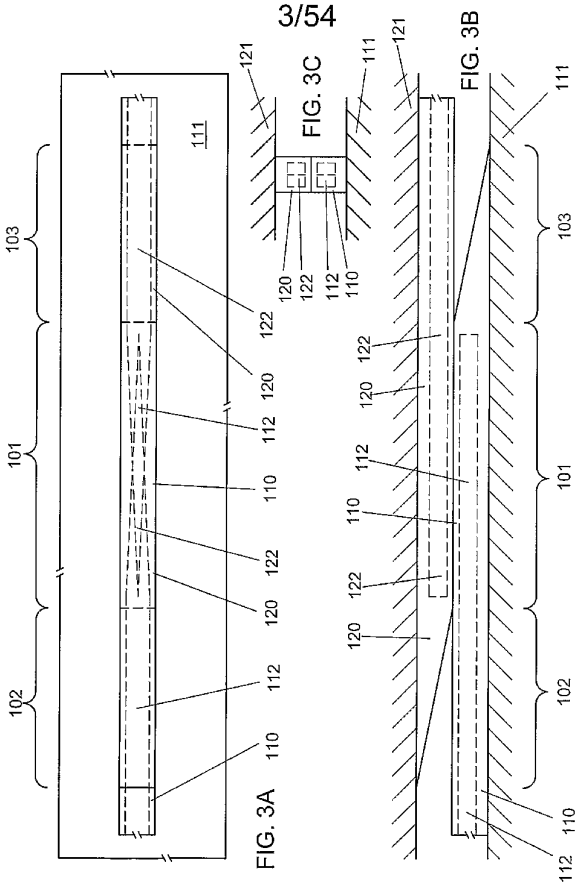


FIG. 3A

FIG. 3C

FIG. 3B

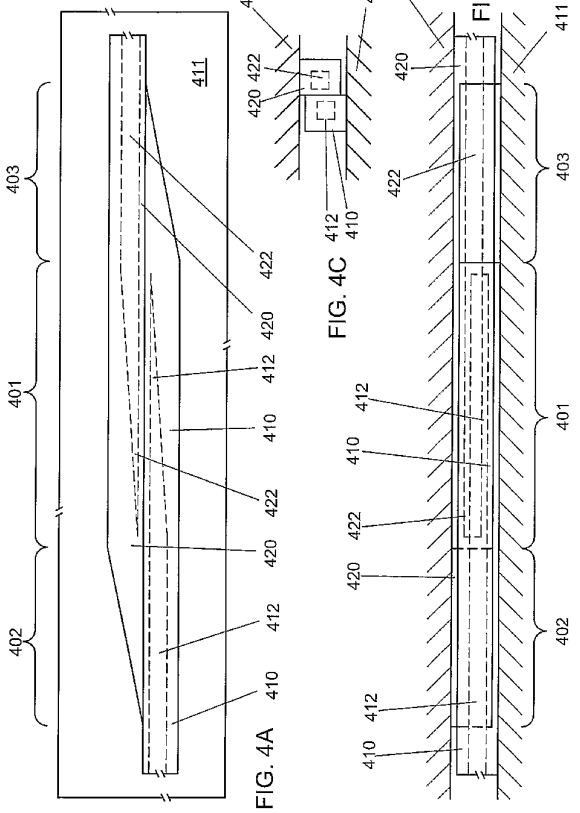


FIG. 4A

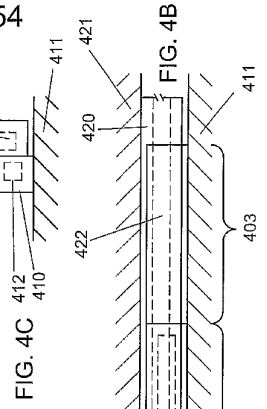
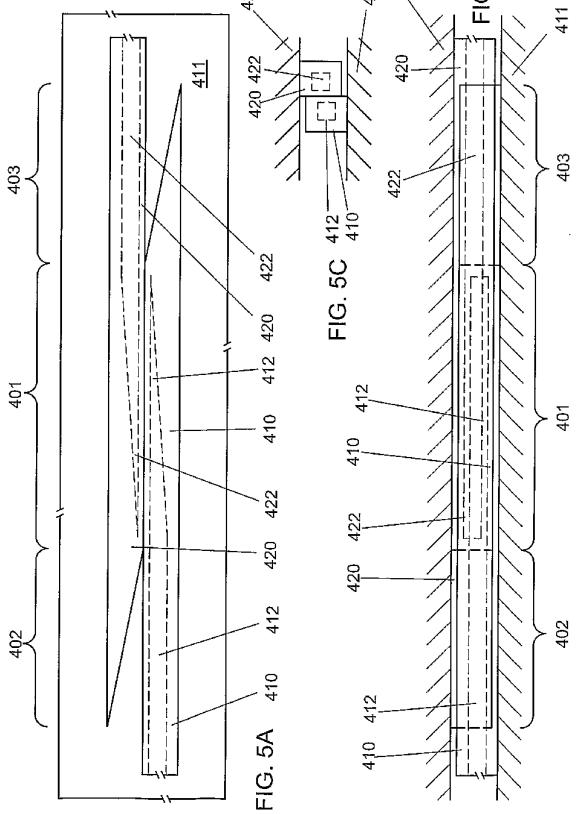


FIG. 4C

FIG. 4B


403
401
402
411
422
420
412
410
421
FIG. 5A
FIG. 5C
FIG. 5B

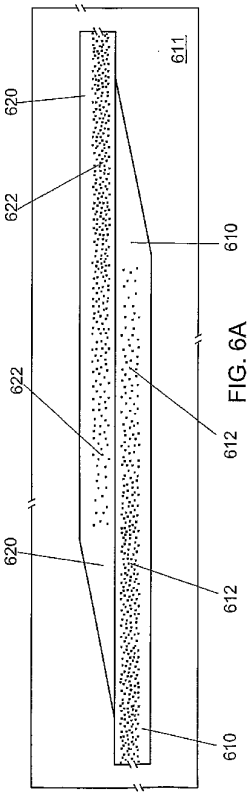

611
620
622
610
622
612
620
612
610

FIG. 6A

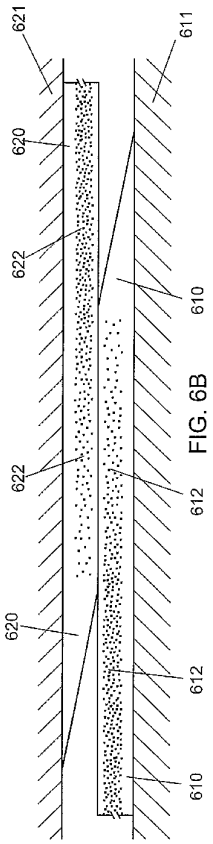
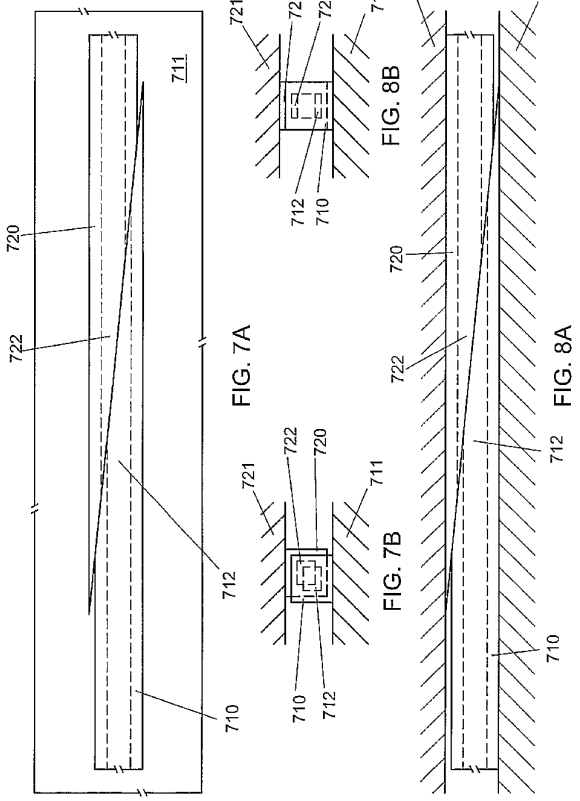

621
611
620
622
610
622
612
620
612
610

FIG. 6B


711
720
722
712
710
FIG. 7A
721
720
722
711
712
710
FIG. 8B
722
720
721
711
710
712
FIG. 7B
721
711
720
722
712
710
FIG. 8A

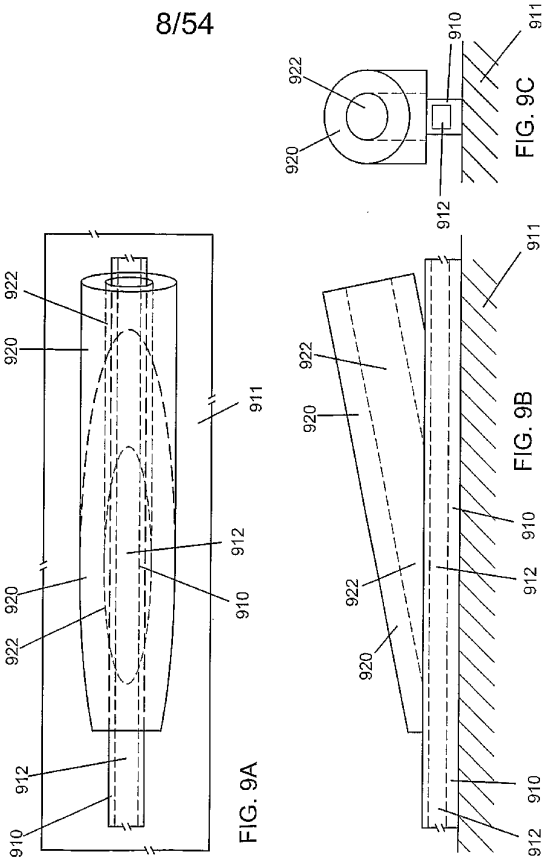


FIG. 9A

FIG. 9B

FIG. 9C

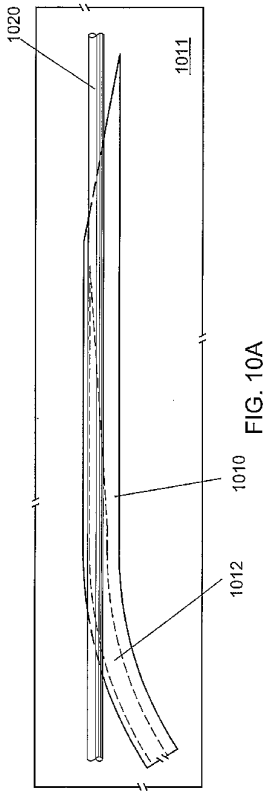


FIG. 10A

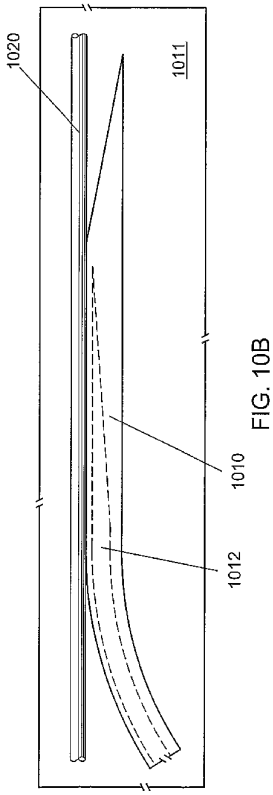


FIG. 10B

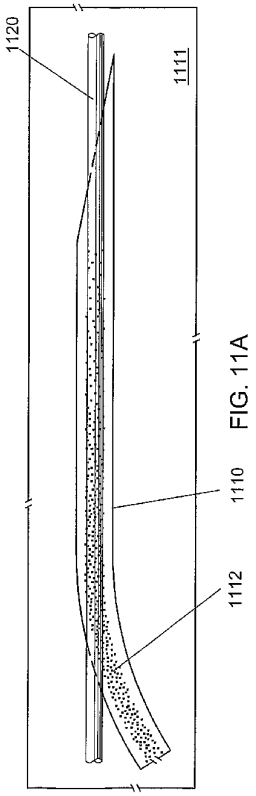


FIG. 11A

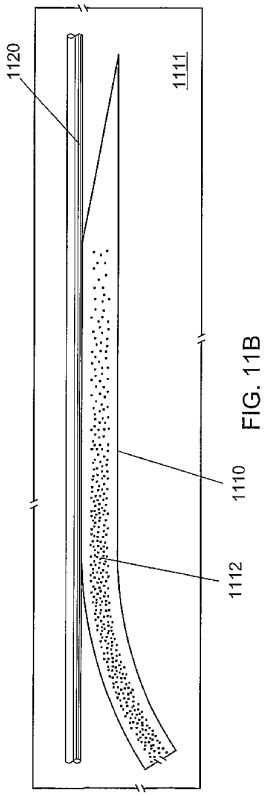


FIG. 11B

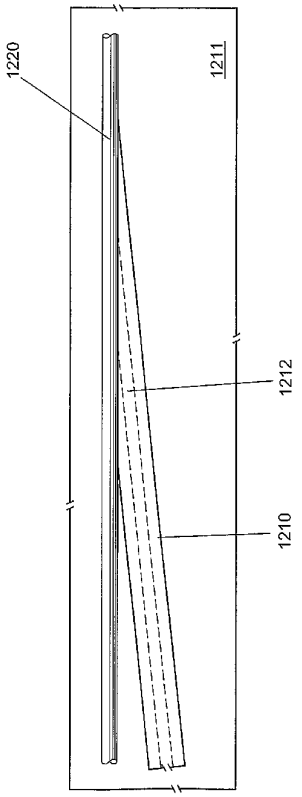


FIG. 12

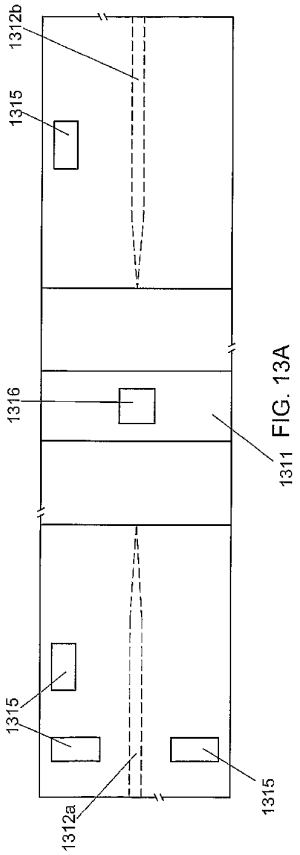


FIG. 13A

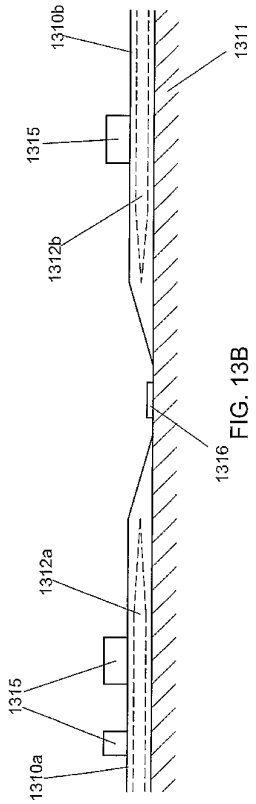


FIG. 13B

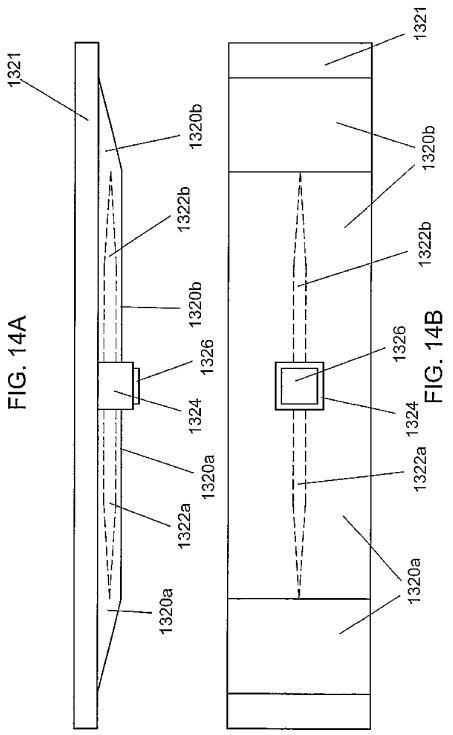


FIG. 14A

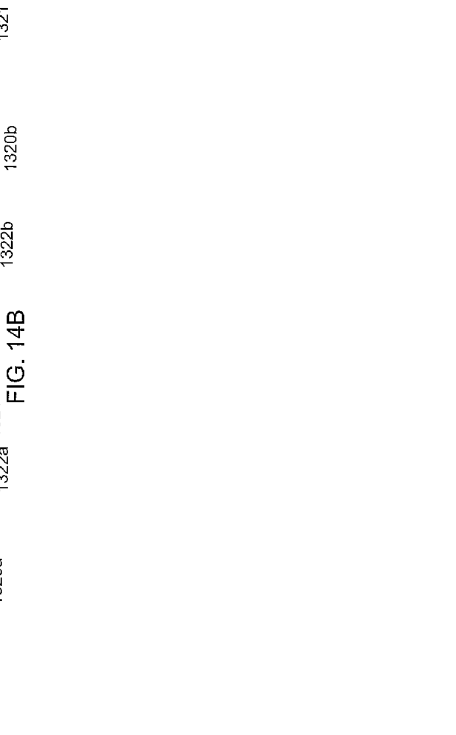


FIG. 14B

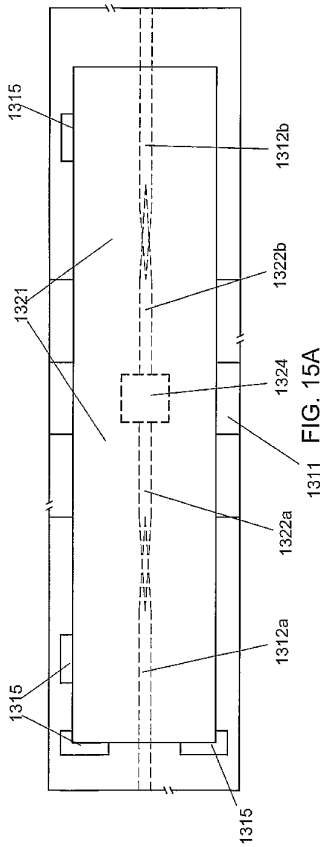


FIG. 15A

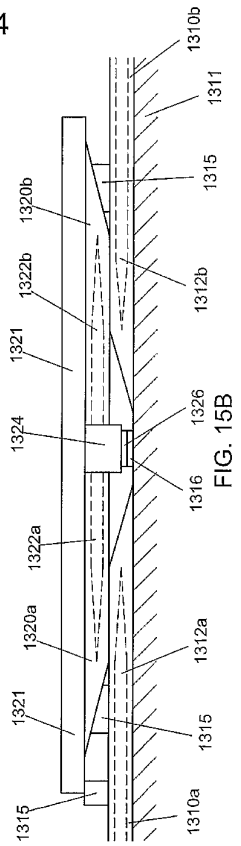


FIG. 15B

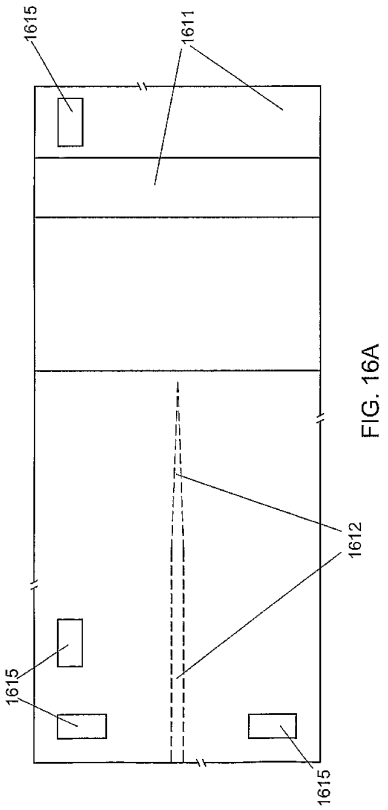


FIG. 16A

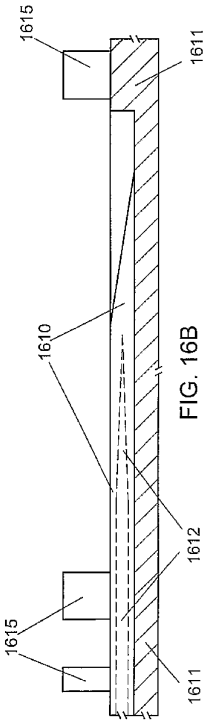


FIG. 16B

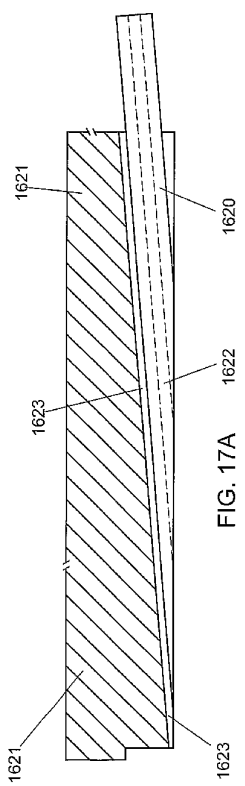


FIG. 17A

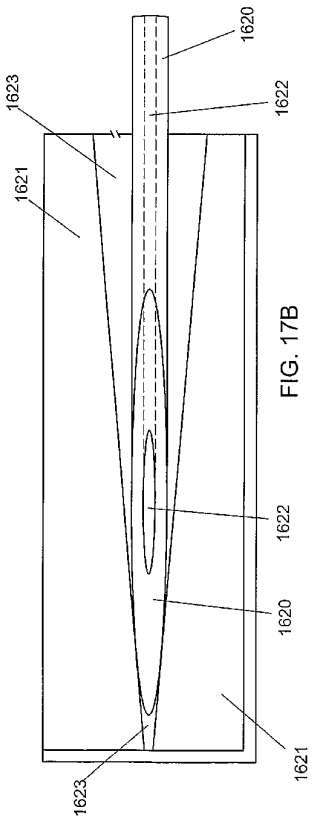


FIG. 17B

FIG. 18A

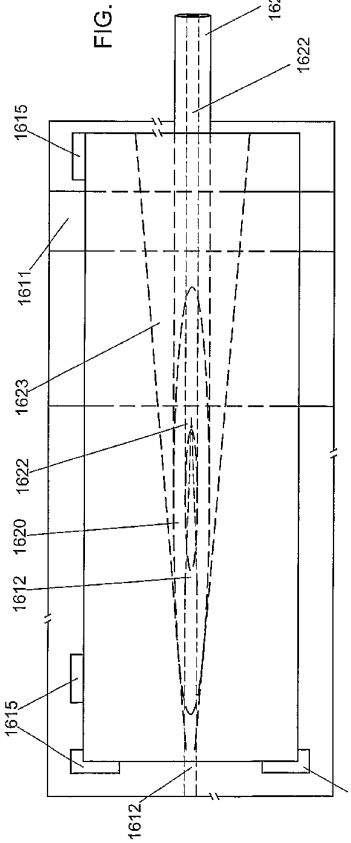
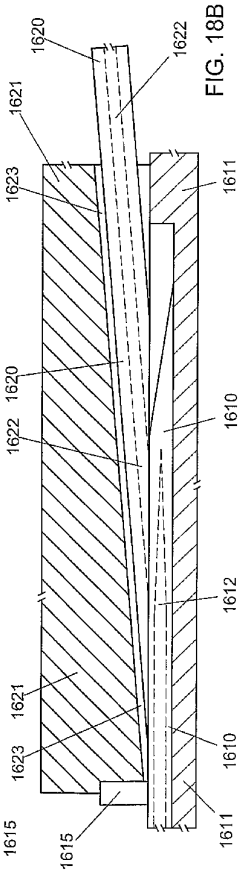


FIG. 18B



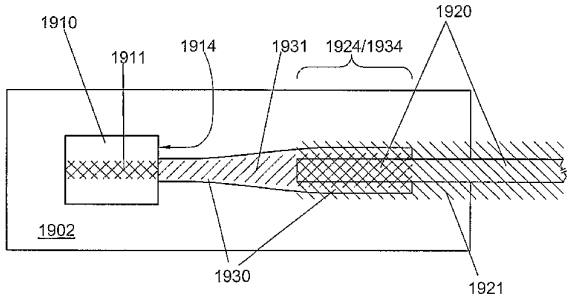


FIG. 19A

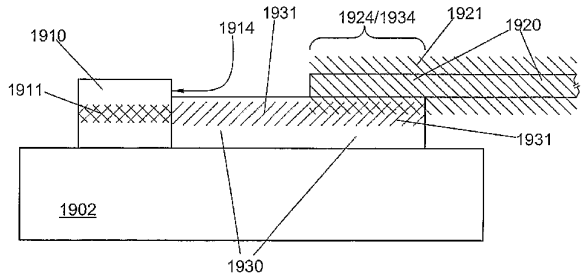


FIG. 19B

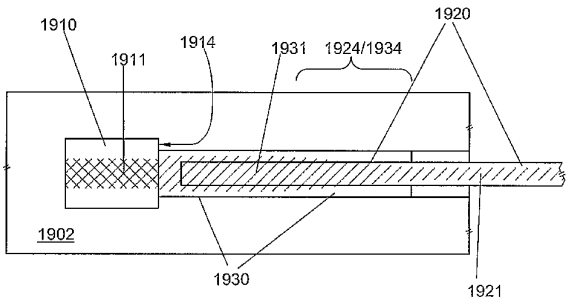


FIG. 19C

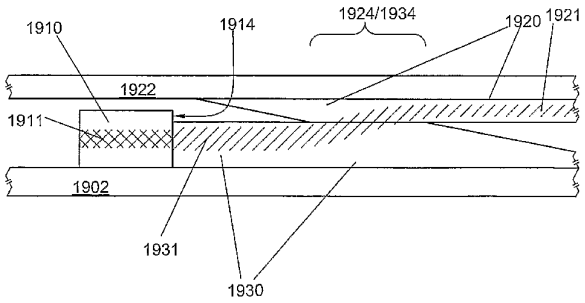


FIG. 19D

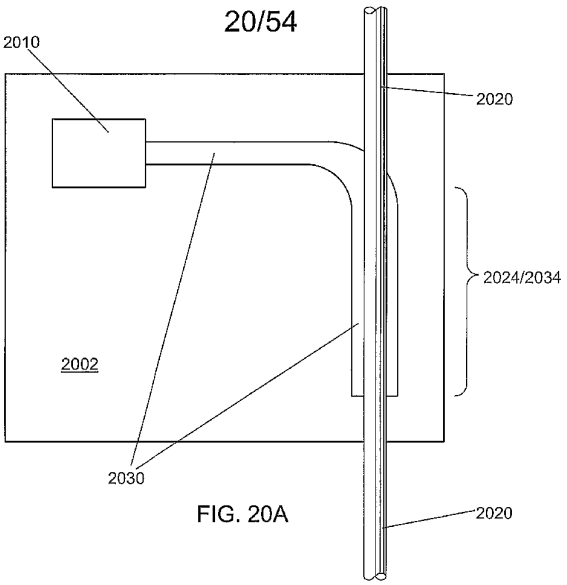


FIG. 20A

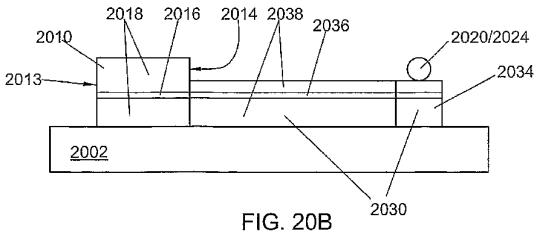


FIG. 20B

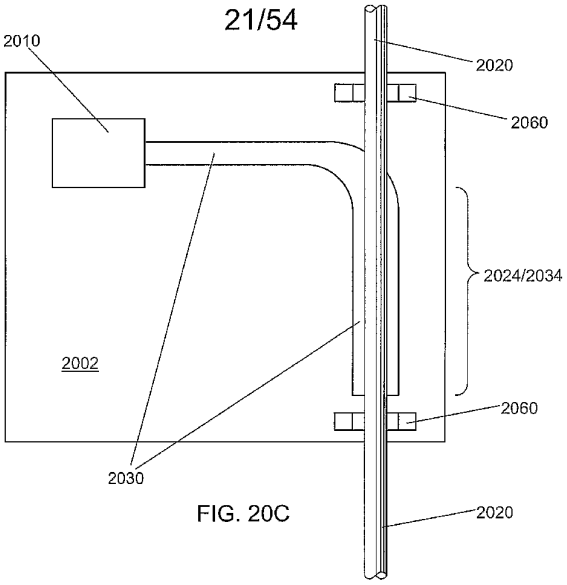


FIG. 20C

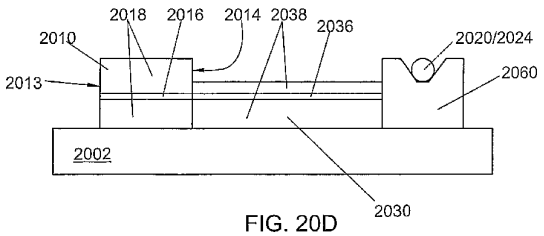


FIG. 20D

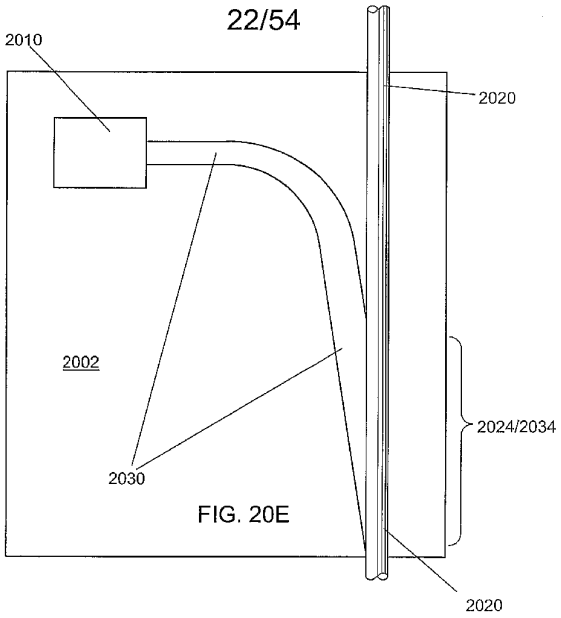


FIG. 20E

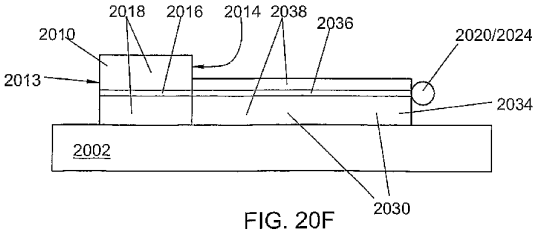


FIG. 20F

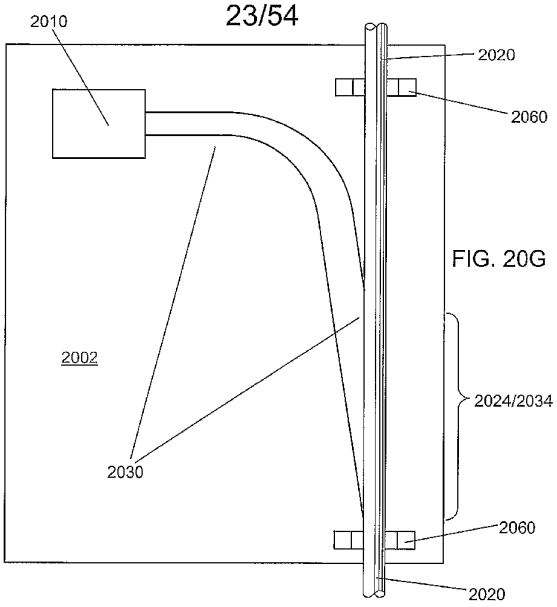


FIG. 20G

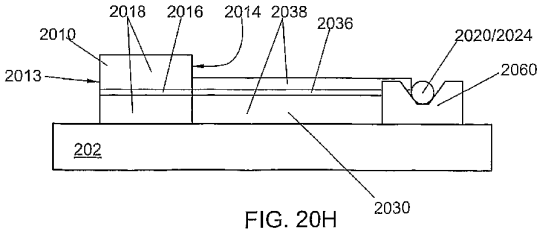


FIG. 20H

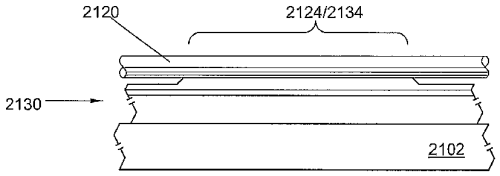

2120
2124/2134
2130
2102

FIG. 21

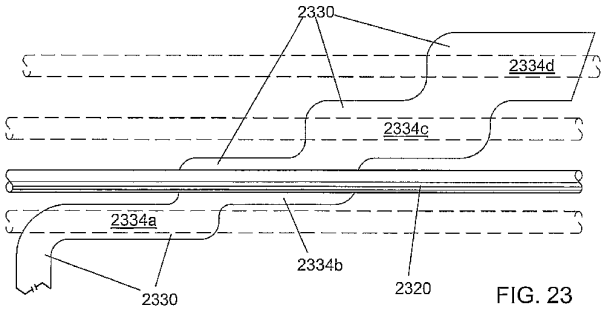

2330
2334d
2334c
2334a
2334b
2320
2330

FIG. 23

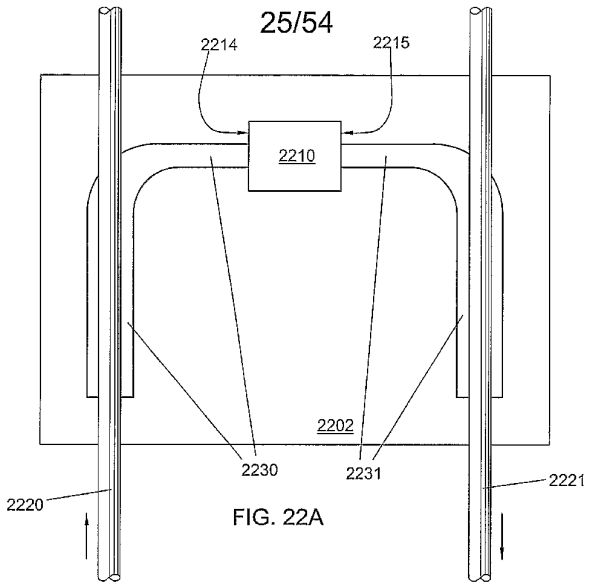


FIG. 22A

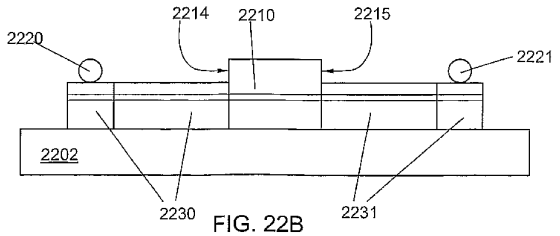


FIG. 22B

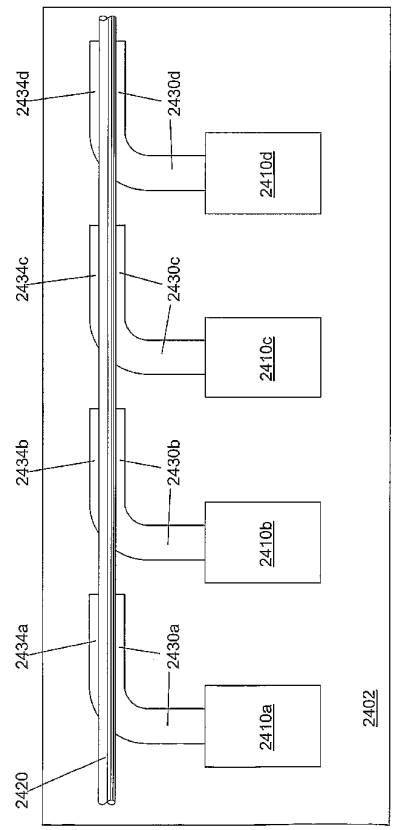

2434d
2430d
2410d
2434c
2430c
2410c
2434b
2430b
2410b
2434a
2430a
2410a
2420
2402

FIG. 24

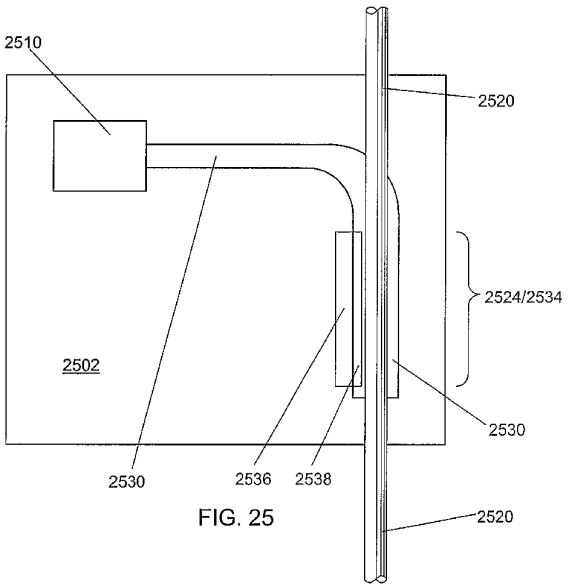
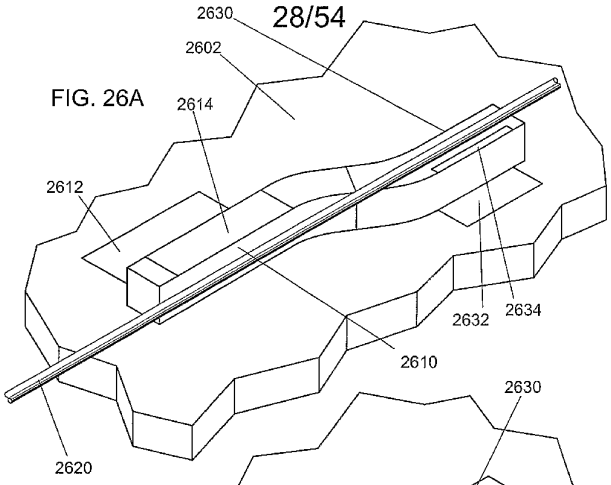


FIG. 25

FIG. 26A



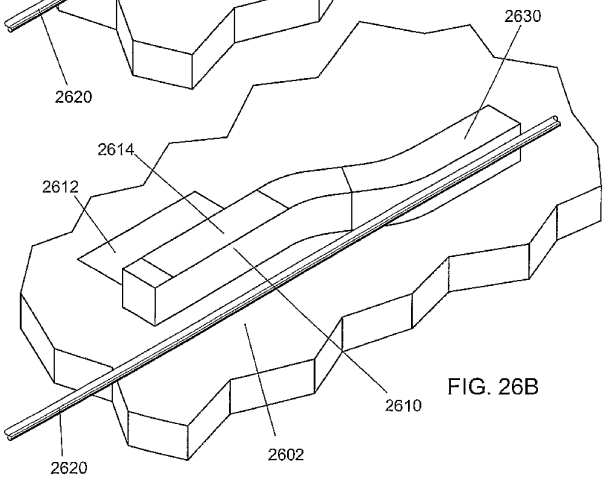


FIG. 26B

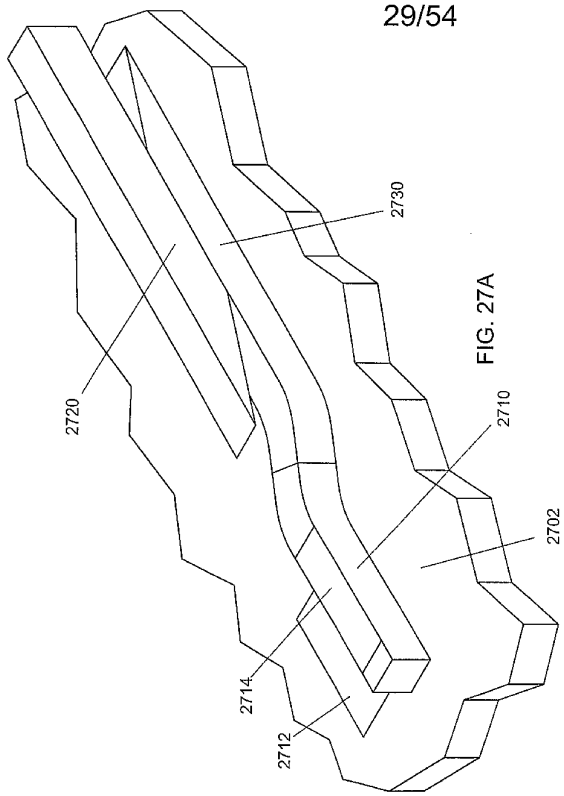


FIG. 27A

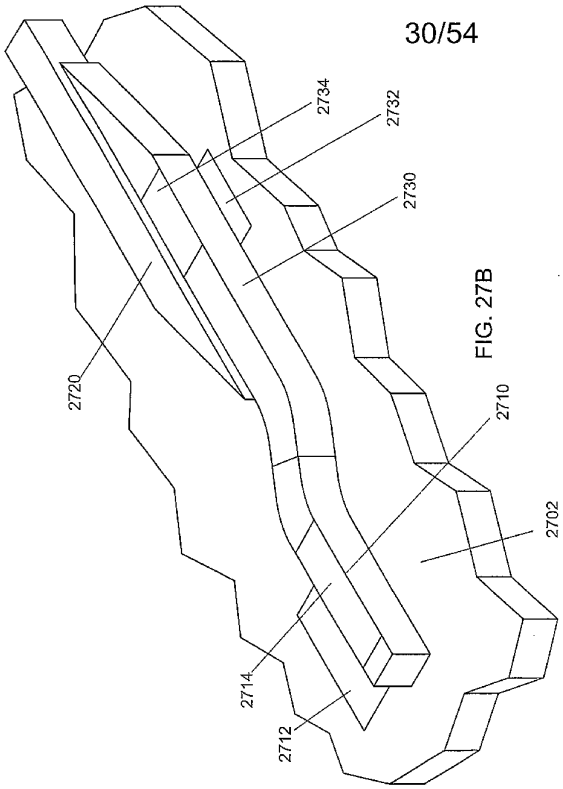


FIG. 27B

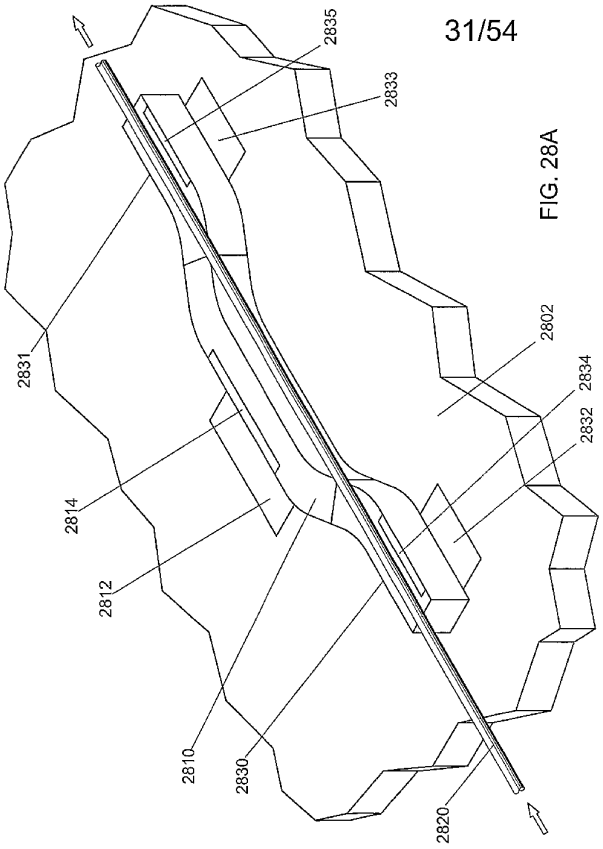


FIG. 28A

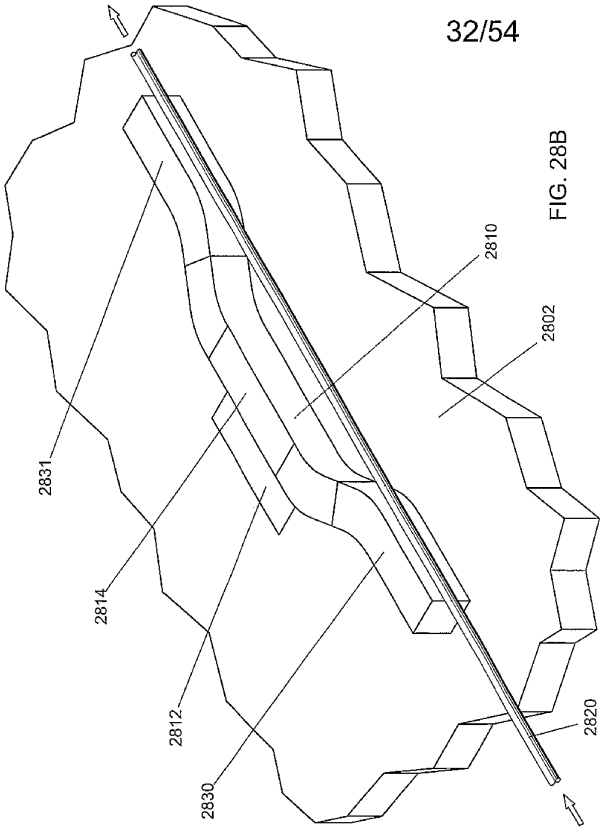


FIG. 28B

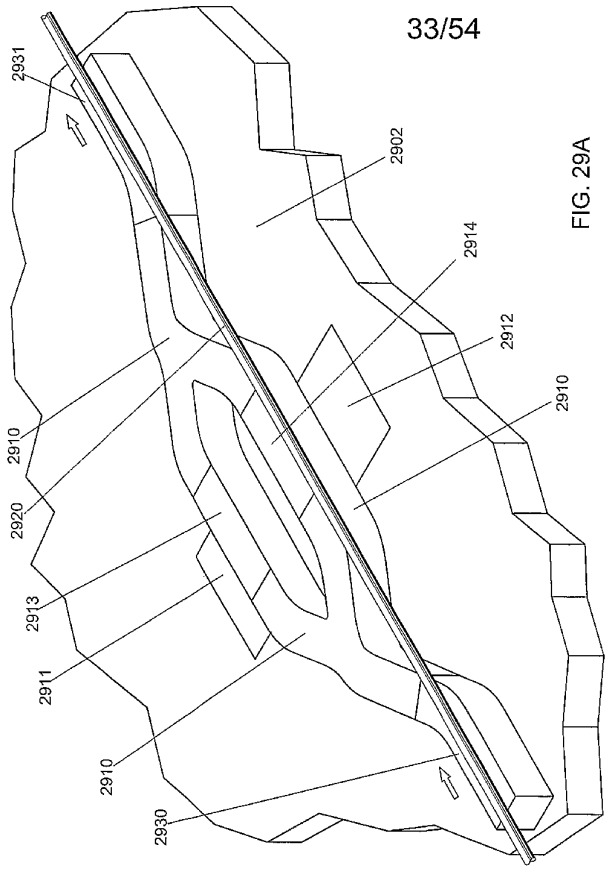


FIG. 29A

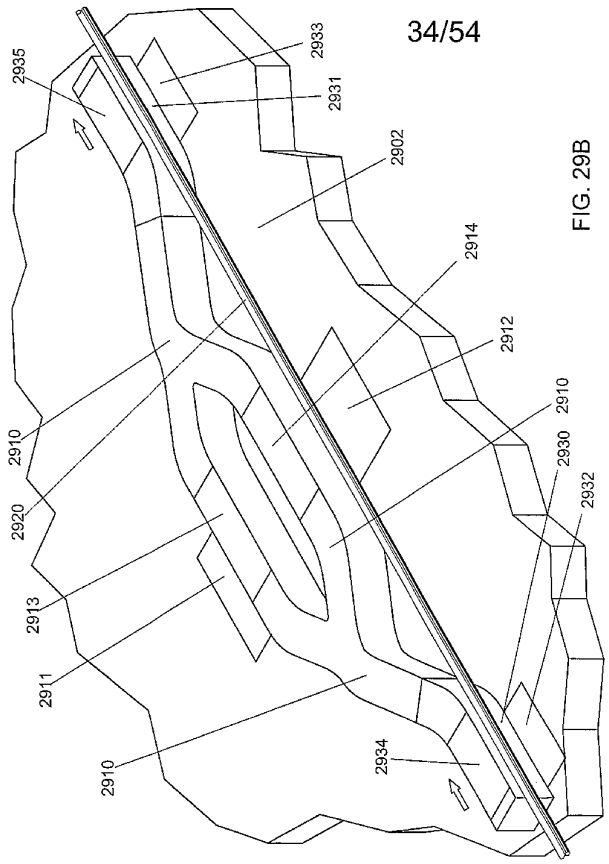

2935
2933
2931
2902
2914
2912
2910
2930
2932
2910
2910
2920
2913
2911
2910
2934

FIG. 29B

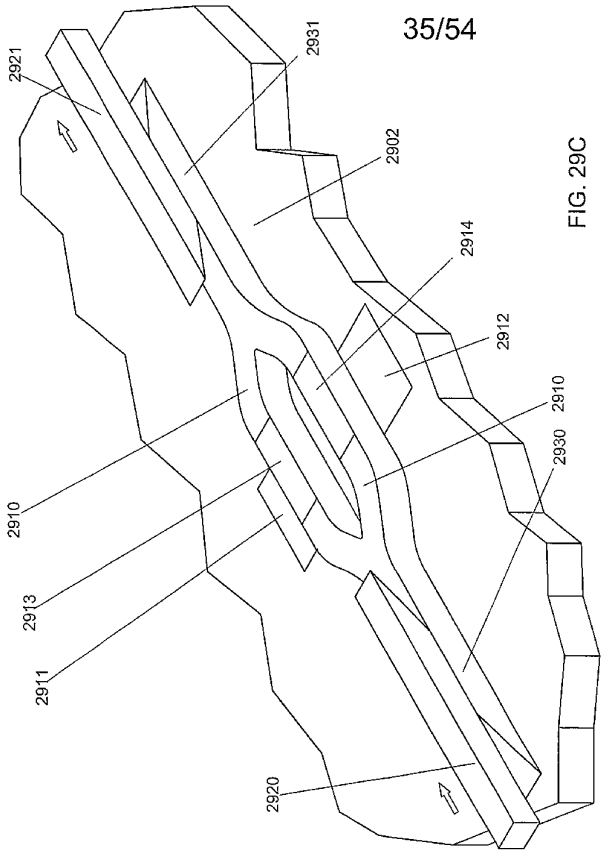


FIG. 29C

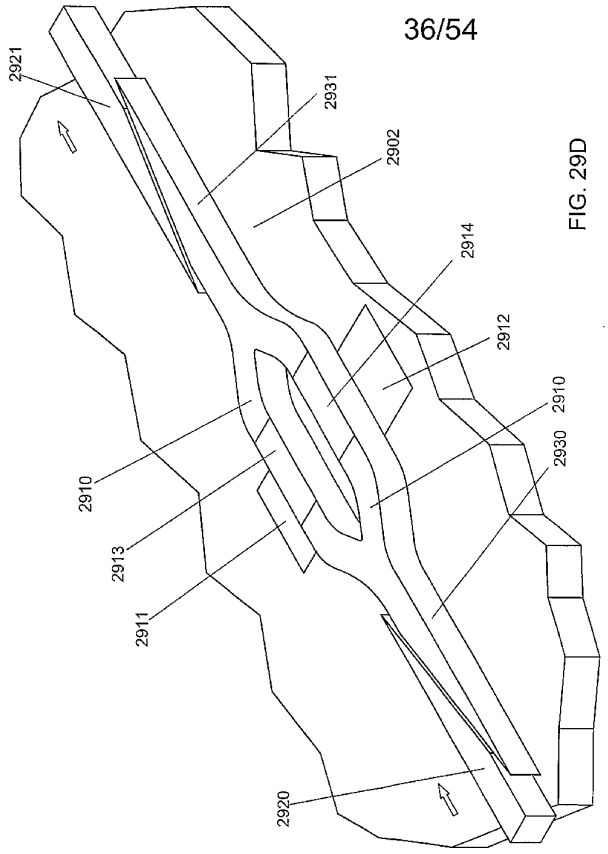


FIG. 29D

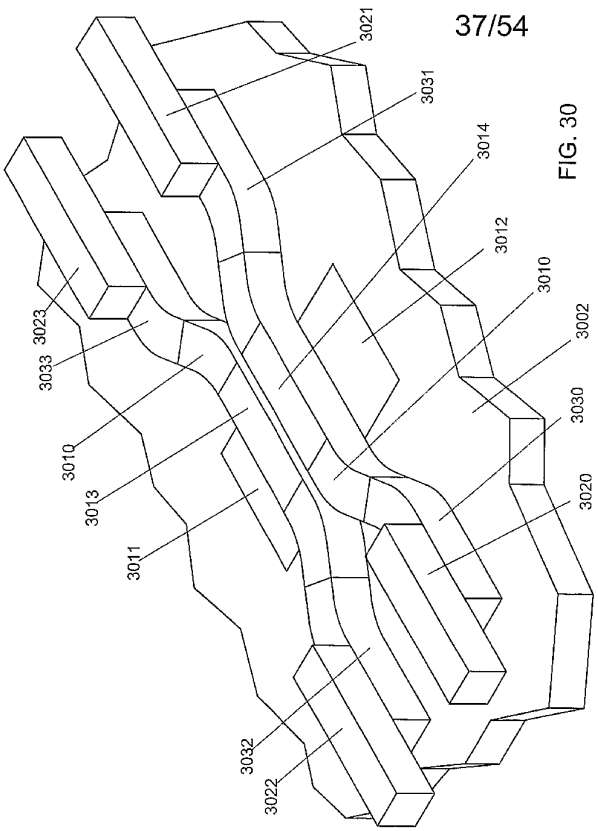

3021
3031
3014
3012
3010
3002
3030
3020
3023
3033
3010
3013
3011
3032
3022

FIG. 30

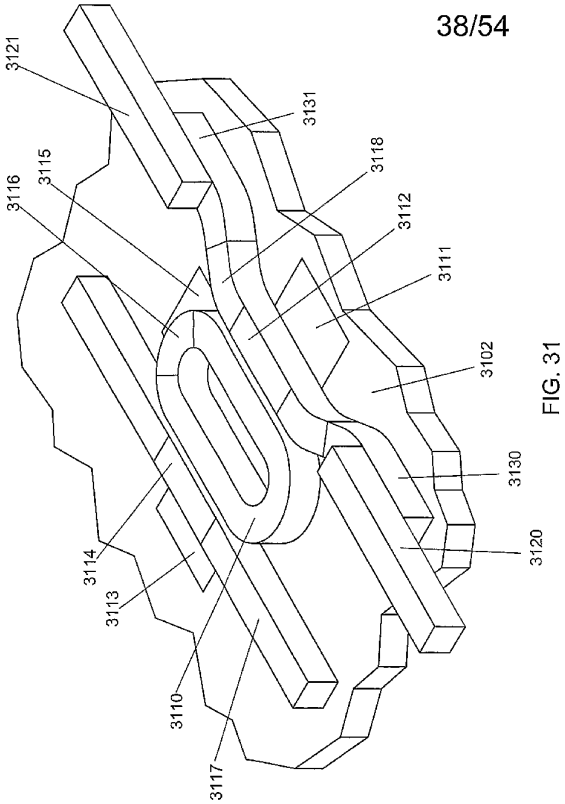

3121
3131
3118
3115
3116
3112
3111
3102
3130
3120
3114
3113
3110
3117

FIG. 31

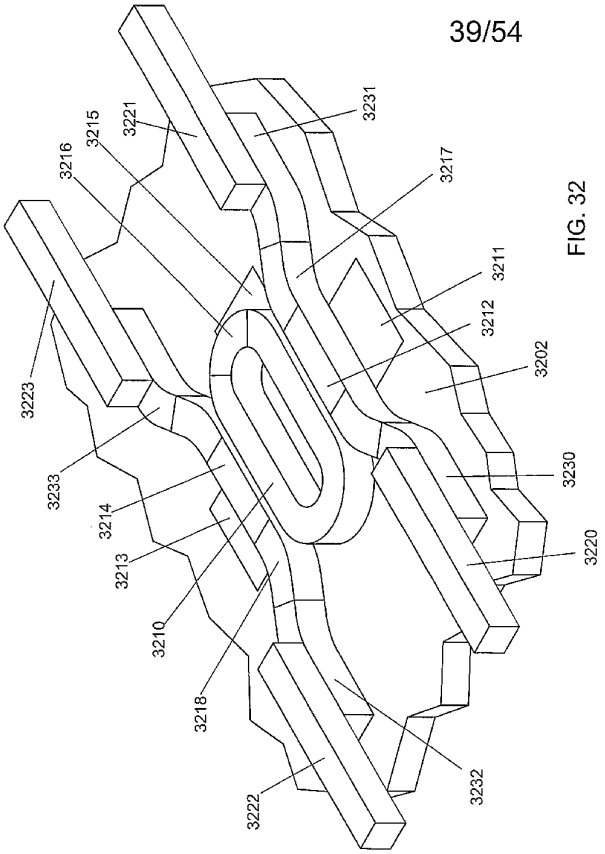

3231
3221
3215
3216
3217
3211
3212
3202
3223
3230
3233
3214
3220
3213
3210
3218
3232
3222

FIG. 32

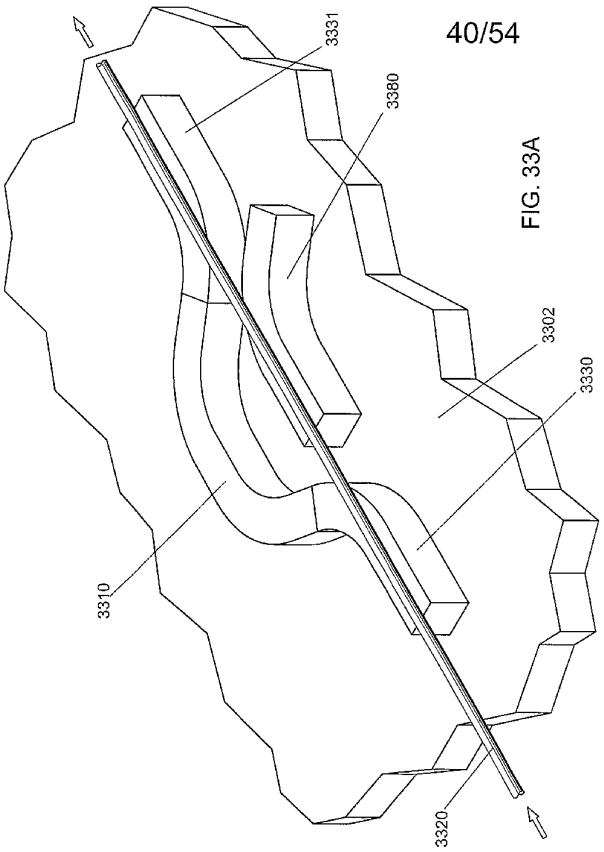


FIG. 33A

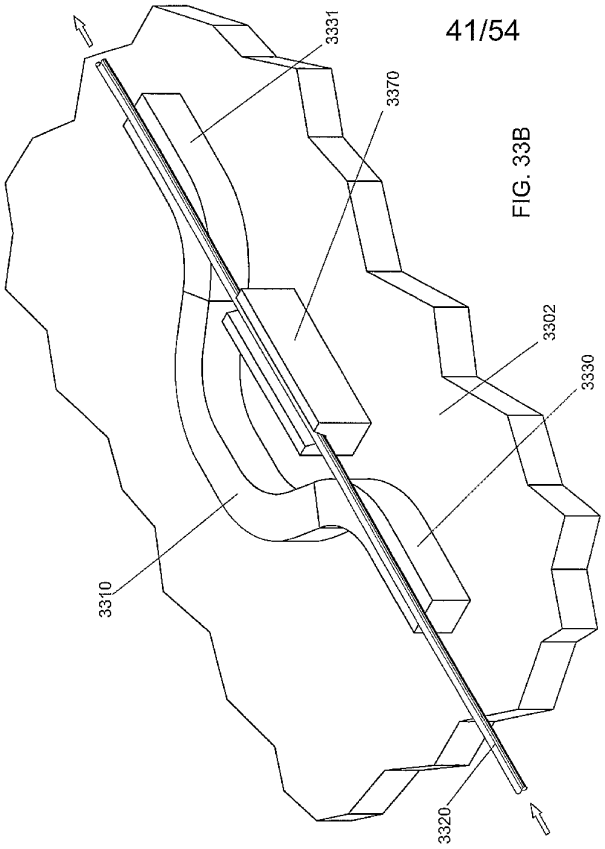


FIG. 33B

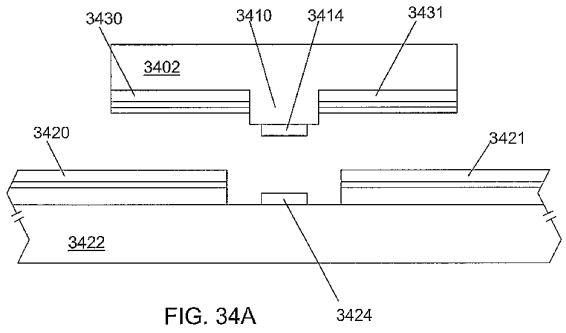


FIG. 34A

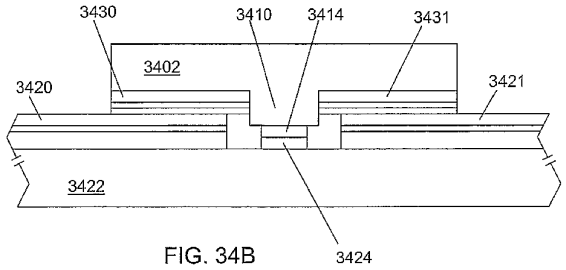


FIG. 34B

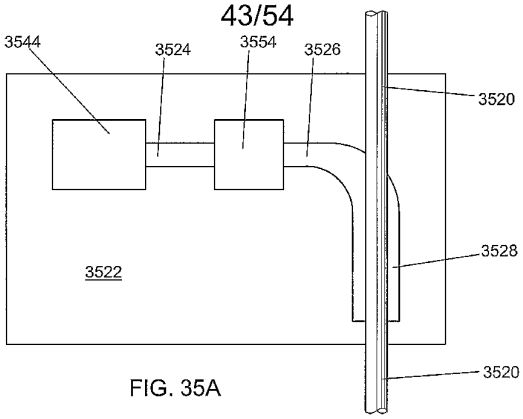


FIG. 35A

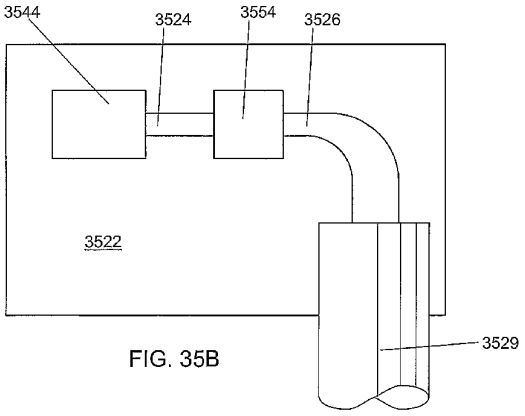


FIG. 35B

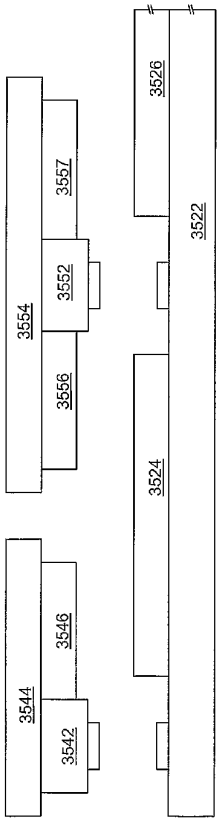


FIG. 36A

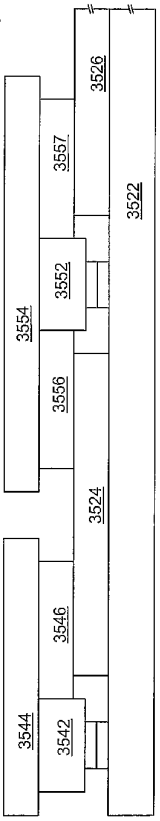


FIG. 36B

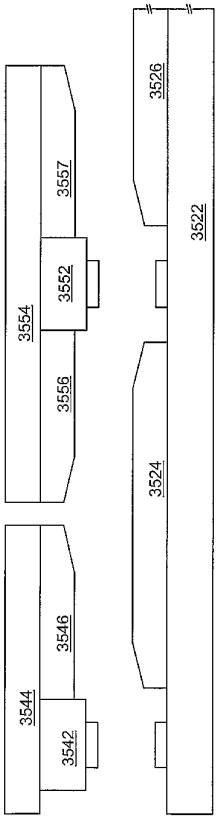


FIG. 37A

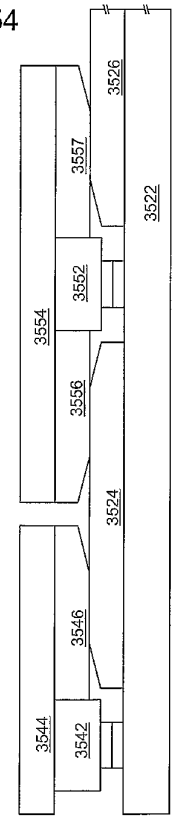


FIG. 37B

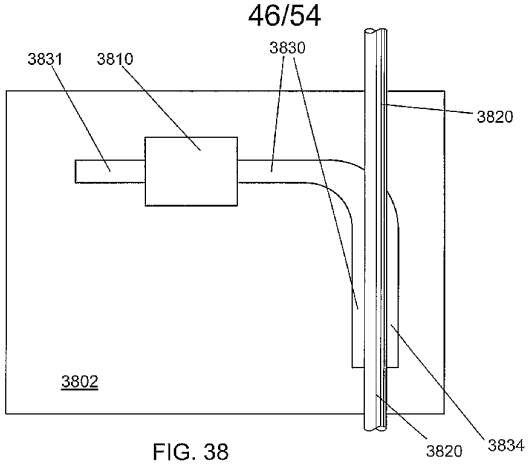

3831
3810
3830
3820
3802
3820
3834

FIG. 38

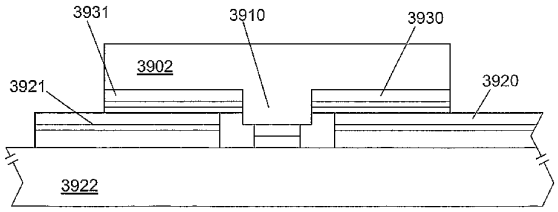

3931
3910
3930
3902
3921
3920
3922

FIG. 39

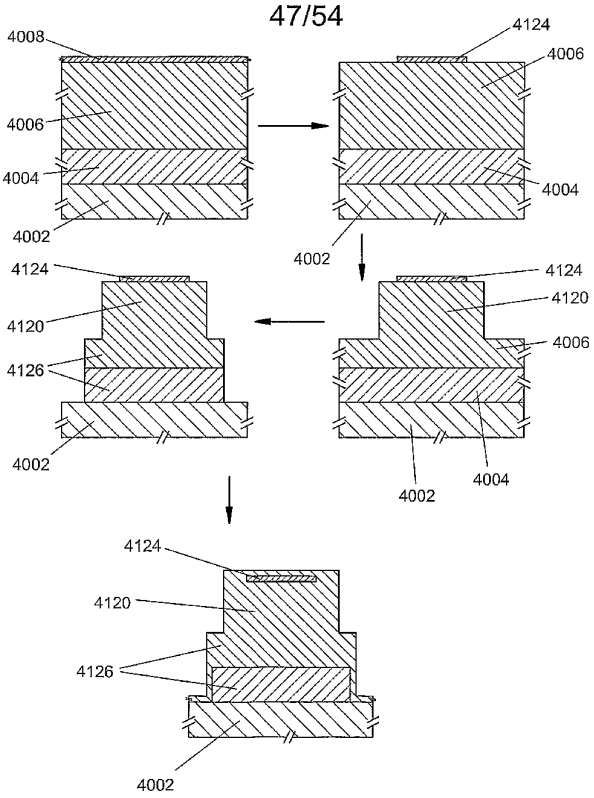

4008
4124
4006
4006
4004
4004
4002
4002
4124
4124
4120
4120
4006
4126
4002
4002
4004
4124
4120
4126
4002

FIG. 40

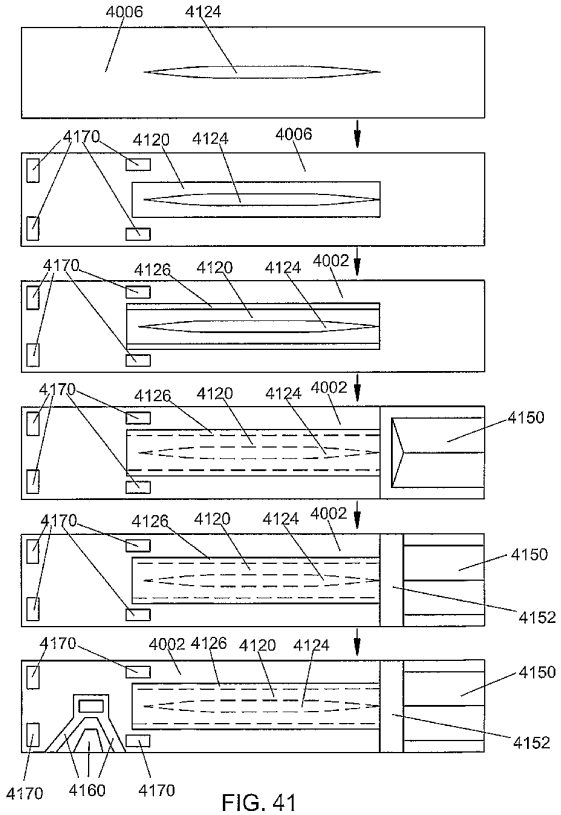

4006
4124
4170
4120
4124
4006
4170
4126
4120
4124
4002
4170
4126
4120
4124
4002
4150
4170
4126
4120
4124
4002
4150
4152
4170
4002
4126
4120
4124
4150
4152
4170
4160
4170

FIG. 41

FIG. 42A

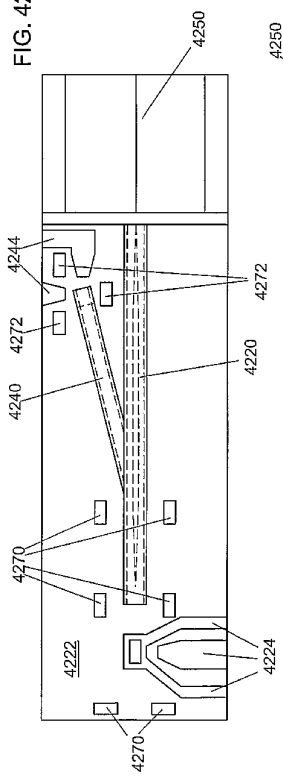


FIG. 42B

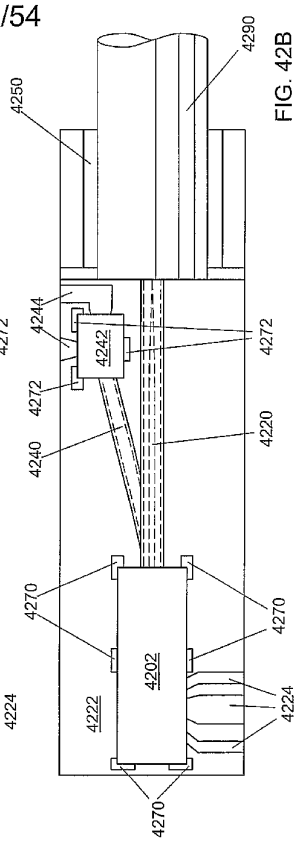


FIG. 43A

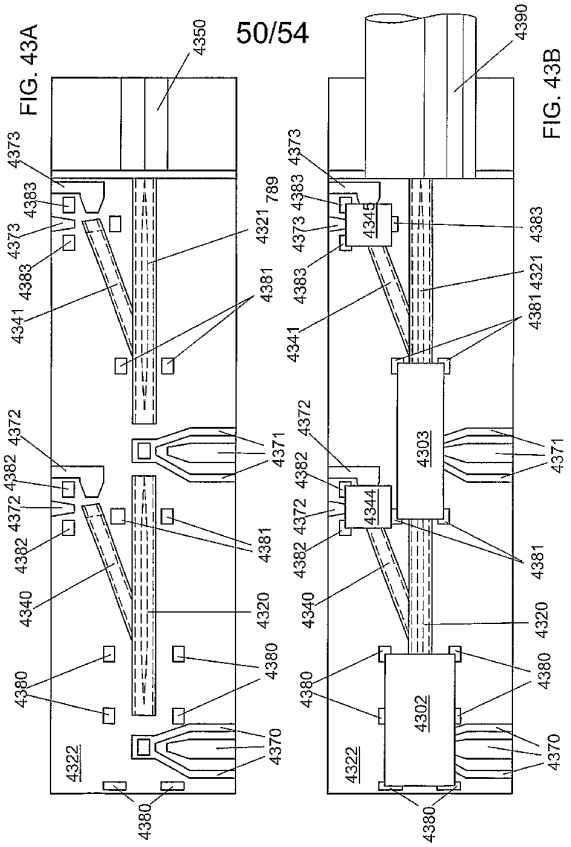


FIG. 43B

FIG. 44A

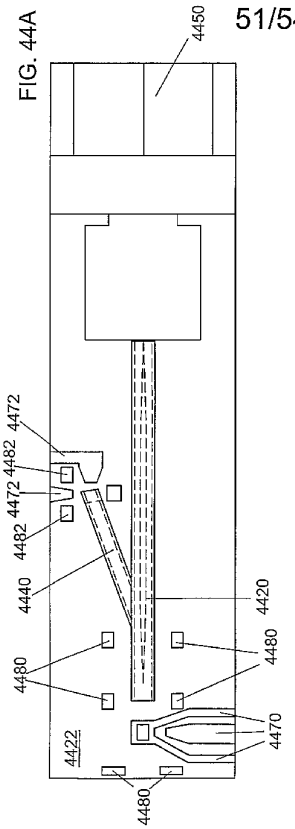
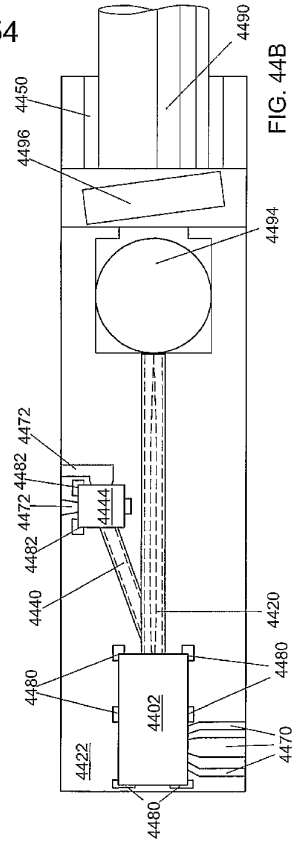


FIG. 44B



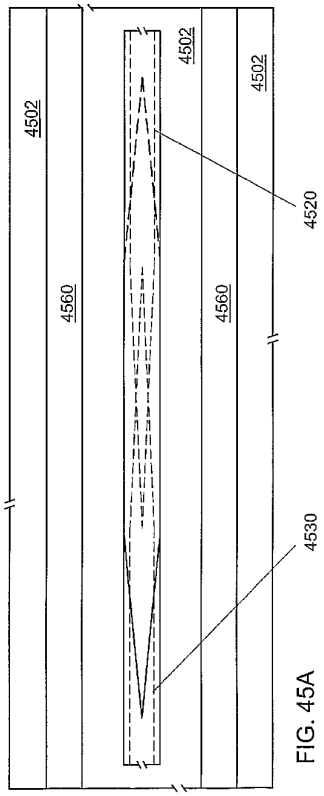


FIG. 45A

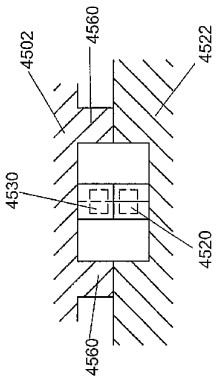


FIG. 45B

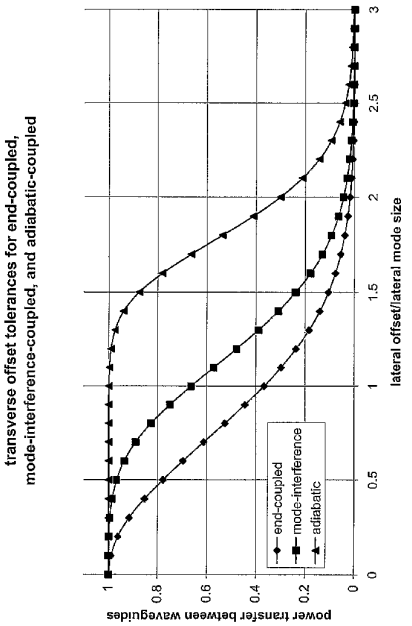

transverse offset tolerances for end-coupled, mode-interference-coupled, and adiabatic-coupled
power transfer between waveguides
lateral offset/lateral mode size
end-coupled
mode-interference
adiabatic
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3

FIG. 46

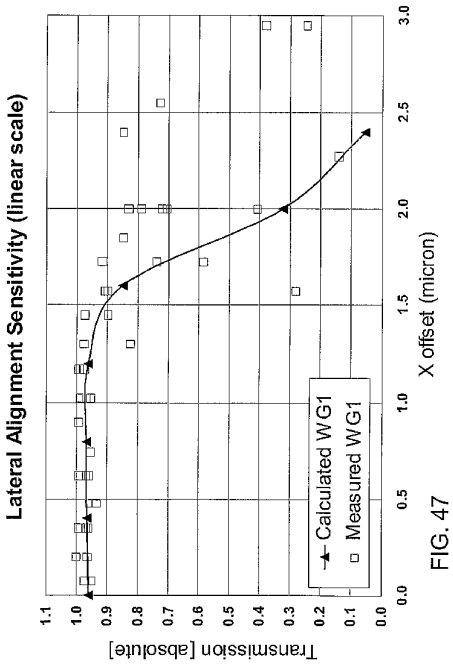

Lateral Alignment Sensitivity (linear scale)
Transmission [absolute]
X offset (micron)
Calculated WG1
Measured WG1
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0

FIG. 47

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US02/20668

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(7) : G02B 6/26, 6/36, 6/42
US CL : 385/14, 28, 30, 43, 48, 49, 50, 89, 131
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
U.S. : 385/14, 27, 28, 29, 30, 43, 48, 49, 50, 88, 89, 129, 131

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
NONE

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
USPTO APS EAST

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6,065,881 A (OKADA et al) 23 May 2000 (23.05.2000), Figures 17B, 19, 21.	1-3,12,13,17-19,22-24,28,29,83,95-99,102
X,P	US 2002/0064345 A1 (KIKUCHI et al) 30 May 2002 (30.05.2002), see entire document.	1-29,33-67,71-197, 201-211,215-241
A,P	US 6,385,376 B1 (BOWERS et al) 07 May 2002 (07.05.2002), see entire document.	1-241
A	US 5,568,579 A (OKANIWA) 22 October 1996 (22.10.1996), Figure 3; column 4.	1-241
A	US 6,064,783 A (CONGDON et al) 16 May 2000 (16.05.2000), Figure 5A; column 4, lines 24-35.	1-241
A	US 4,097,177 A (NEIL et al) 27 June 1978 (27.06.1978), see entire document.	1-241

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 October 2002 (25.10.2002)	28 MAR 2003
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-3230	Authorized officer Hemang Sanghavi Telephone No. (703) 308-0956

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

フロントページの続き

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

(74)代理人 100082898
弁理士 西山 雅也
(72)発明者 ブローベルト, ヘンリー エー.
アメリカ合衆国, カリフォルニア ９１０１６, モンロビア, イースト ハンティントン ドライブ ４２５, イクスポーネント フォトニクス, インコーポレイティド
(72)発明者 バハラ, ケリー ジェイ.
アメリカ合衆国, カリフォルニア ９１０１６, モンロビア, イースト ハンティントン ドライブ ４２５, イクスポーネント フォトニクス, インコーポレイティド
(72)発明者 バーヌーイ, デイビッド ダブリュ.
アメリカ合衆国, カリフォルニア ９１０１６, モンロビア, イースト ハンティントン ドライブ ４２５, イクスポーネント フォトニクス, インコーポレイティド
(72)発明者 パスラスキ, ジョエル エス.
アメリカ合衆国, カリフォルニア ９１０１６, モンロビア, イースト ハンティントン ドライブ ４２５, イクスポーネント フォトニクス, インコーポレイティド

Ｆターム(参考) 2H137 AA00 AB09 AB12 BA21 BA45 BA48 BB03 BB12 BC31 EA04
EA05 FA00
5F173 MA02 MB10 MC15 ME23 MF03 MF04 MF05 MF24 MF26