

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5124666号
(P5124666)

(45) 発行日 平成25年1月23日(2013.1.23)

(24) 登録日 平成24年11月2日(2012.11.2)

(51) Int. Cl. F I
GO2B 6/12 (2006.01) GO2B 6/12 A
GO2B 6/30 (2006.01) GO2B 6/30

請求項の数 7 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2011-81371 (P2011-81371)	(73) 特許権者	596092698
(22) 出願日	平成23年4月1日(2011.4.1)		アルカテルルーセント ユーエスエー
(62) 分割の表示	特願2005-5798 (P2005-5798) の分割		インコーポレーテッド
原出願日	平成17年1月13日(2005.1.13)		アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
(65) 公開番号	特開2011-170368 (P2011-170368A)		ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
(43) 公開日	平成23年9月1日(2011.9.1)	(74) 代理人	100094112
審査請求日	平成23年4月1日(2011.4.1)		弁理士 岡部 譲
(31) 優先権主張番号	10/756522	(74) 代理人	100104352
(32) 優先日	平成16年1月13日(2004.1.13)		弁理士 朝日 伸光
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	クリスティ ケイ マドセン
			アメリカ合衆国 07080 ニュージャ
			ーシー, サウス プレーンフィールド, ジ
			ョン ストリート 436

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバとプレーナ光導波路とを高密度に結合する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ファイバをプレーナ導波路に光結合するための結合デバイスであって、
 前記プレーナ導波路に結合されるプレーナ導波路コア上に配置されたセグメント化された導波部分を備える光導波構造を備え、該セグメント化された導波部分がクラディング領域に配置され、該クラディング領域の材料の屈折率よりも高い屈折率の材料からなり、

前記セグメント化された導波部分が一連の離隔されたセグメントからなり、該セグメントの各々が前記光ファイバのファイバコアの光軸垂直断面と同等の大きさの光軸垂直断面を有し、該一連の離隔されたセグメントが、該光ファイバからの光に対して、該光が前記プレーナ導波路に向けて伝搬するにつれて該プレーナ導波路の有効屈折率に増加的に近づく有効屈折率を呈するように、該ファイバコアに隣接するセグメントから該ファイバコアから最も遠いセグメントに向けて減少する厚さを有する、結合デバイス。

【請求項 2】

光ファイバをプレーナ導波路に光結合するための結合デバイスであって、
 セグメント化された導波部分を備える光導波構造を備え、該セグメント化された導波部分が一連の離隔されたセグメントからなり、該セグメントの少なくとも一部が第1の屈折率の第1の材料及び第2の屈折率の第2の材料からなり、該第1の屈折率が該光ファイバの屈折率に適合し、該第2の屈折率が該プレーナ導波路の屈折率に適合するとともに該第1の屈折率よりも高く、該第2の屈折率からなるセグメントの部分が該プレーナ導波路の

寸法に一致するまで徐々に増加するものであり、

該一連の離隔されたセグメントが該ファイバコアに隣接するセグメントから該プレーナ導波路に最も近いセグメントに向けて減少する光軸垂直断面積を有するとともに、該一連の離隔されたセグメントが、該光ファイバからの光に対して、該光が前記プレーナ導波路に向けて伝搬するにつれて該プレーナ導波路の有効屈折率に増加的に近づく有効屈折率を呈するように、該ファイバコアに隣接するセグメントから該プレーナ導波路に最も近いセグメントに向けて増加する厚さを有する、結合デバイス。

【請求項 3】

請求項 2 記載の結合デバイスにおいて、該ファイバコアが該プレーナ導波路コアよりも大きい断面積を有する結合デバイス。

10

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 記載の結合デバイスにおいて、該プレーナ導波路が 4 % 以上の高デルタコアを有する結合デバイス。

【請求項 5】

請求項 1 又は 2 記載の結合デバイスにおいて、該プレーナ導波路が 6 % 以上の高デルタコアを有する結合デバイス。

【請求項 6】

請求項 1 又は 2 記載の結合デバイスにおいて、該光導波構造がプレーナ導波路を含む集積光デバイスにおいて配置された結合デバイス。

20

【請求項 7】

請求項 1 又は 2 に記載の結合デバイス、及び該結合デバイスによってプレーナ導波路に結合される前記光ファイバを備えた光デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光を光ファイバからプレーナ導波路及びその逆に高密度かつ高効率に結合するための方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

プレーナ導波路デバイスは光ファイバ通信システムにとって重要な部材である。通常、そのようなシステムは伝送のための長距離のファイバからなるとともに、フィルタリング、信号チャネルの多重化、多重化の解除、色彩分散の補償及び極性分散の補償のような種々の処理を行うためのプレーナ導波路デバイスを用いることが多い。

30

【0003】

光ファイバは通常、周囲を同心円状のクラディングガラスで覆われた円形断面の中心コアを有するガラスの薄い撚り線の形状をとる。コアはクラディングよりも高屈折率を有するので光は全反射してコア内にとどまり、ファイバモードにおいて伝搬する。長い距離の伝送のため、コアの寸法は通常、光が単一のサーキュラーモード(single circular mode)において伝搬するように選ばれる。

【0004】

40

それに対し、プレーナ導波路デバイスは通常、シリコン基板によって支持されたシリカの薄膜によって形成される。通常、コアは長方形の断面である。コア領域は、マスクされた表面のエッチング等によって、所望の機能を発揮するパターン化された構成に形成される。小さい半径の曲げ及びこれによる高密度な機能性を許容するため、プレーナ導波路コアの屈折率とクラディング屈折率の差は、通常光ファイバにおける対応する差よりも実質的に大きい。プレーナ導波路は高デルタであるといわれている。ここで、デルタ() はクラディングの屈折率よりもコアの屈折率によって与えられ、コアの屈折率で分配されている。

【0005】

しかしながら、光を伝送ファイバからプレーナ導波路に結合するにあたって問題が生ず

50

る。屈折率の不整に加えて、コアサイズにも不整がある。通常の光ファイバのコアサイズは単一モードプレーナ導波路の最適サイズよりも充分大きい。それゆえ、領域はファイバ内よりも導波路内の方においてより閉じているので、それらの光モードは一致しない。これらの不整の結果、ファイバからプレーナ導波路への直接の結合は光ビームの抑制的な挿入損失を招くことになる。

【 0 0 0 6 】

この問題に対する従来の手法は、ファイバを受けるための広げられた終端を持つプレーナ導波路を用いて、導波路コアを横方向に最適サイズにまで徐々に（断熱的に）テーパ化するものである。横方向のテーパは導波路の光回路と同じ面上にある。この手法は挿入損失を低減するが、あいにく断熱的な横方向のテーパ化が高デルタ導波路のために効率的でなく、相当の長さが必要となる。

10

【 0 0 0 7 】

処理をより工夫する手法は、ファイバ終端の拡張された高さの導波路に始まり、導波路回路レベルまで垂直方向にテーパの高さを落としていくものである。この技術は、Koch他によって提案された（“Tapered Waveguide InGaAs/InGaAsP Multiple-Quantum-well Lasers”, T.L.Koch, IEEE Photonics Letters 第12巻,第2号, 1990年2月; また、A. Mahapatra、J. M. Connorsによる “Thermal tapering of ion-exchanged channel guides in glass”, Opt. Letters, 第13巻, 第169-171ページ, 1988年, 及びShani他による “Efficient coupling of semiconductor laser to an optical fiber by means of a tapered waveguide on silicon”, Applied physics Letters 55(23), 1989年12月）。しかし、この場合、成長させるのに非常に長い時間を要するようなコア高さで始まる相当の長さの導波路が必要となる。

20

【 0 0 0 8 】

2次元でテーパ化されセグメント化された導波路はZ. Weissman及びA. Hardyによって実証された。この技術は、導波路のセグメント間のギャップを導入することにより2次元モードテーパ化を実現するものである。（Z. Weissman及びA. Hardy, “Modes of Periodically Segmented Waveguide” IEEE Journal of Lightwave Technology 11:1831-1838 (1993年)）。実際、導波領域の全有効屈折率は低減する。この手法は結合損失を低減するのに非常に有効である。しかし、高屈折率の導波路のために、コアの厚さがファイバと比較して小さくなり、それゆえ、セグメント化されたテーパを介したモードの一致性を得るのが難しく、まだファイバモードとの一致性の方が良い。

30

【 0 0 0 9 】

従って、光ファイバからプレーナ導波路に伝搬する光を高密度で高効率に結合するための改良された構成が必要とされている。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明によると、光ファイバがプレーナ導波路に（1）拡大された断面の一連のプレーナ導波路セグメント、及び（2）テーパ状の断面のセグメントを介して結合される。隔離されたセグメントとテーパ状のセグメントとの組み合わせが、従来の断熱的結合で必要とされていたよりも大幅に短縮された長さでの効率的な結合を提供する。

40

【 0 0 1 1 】

本発明の利点、性質及び種々の追加的な事項は、付随する図面に関連してその詳細が説明される実施形態を読めばより明確になる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図1】図1は本発明によるプレーナ導波路デバイスに結合された光ファイバの概略説明図である。

【図2】図2は図1の結合構成の第1の例を模擬的に示す図である。

【図3】図3は図1の結合構成の第2の例を模擬的に示す図である。

50

【図4】図4は、テーパ領域が連続的というよりも段階的にテーパ化された結合構成の例を模擬的に示す図である。

【図5】セグメントがプレーナ路上にある異なる屈折率の2つの材料からなる結合構成の代表的側面図を模擬的に示す図である。

【図6】テーパ化されセグメント化された部分が、異なる屈折率の2つの材料からなる結合構成の代表的側面図を模擬的に示す図である。これらの図面は本発明の概念を模擬的に図示するためのものであり、グラフを除き、実寸法ではないことが理解されるべきである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

図面を参照すると、図1は本発明の一実施形態によるプレーナ導波路デバイス11に結合された光ファイバ10からなるデバイス9の概略説明図である。具体的には、デバイス9は直径dのコア12を有する少なくとも1つの光ファイバ10、及びファイバコア12の直径よりも小さい各横方向寸法（高さh、幅w）のコア13を有し軸方向に延びる少なくとも1つのプレーナ導波路11を含む。ファイバコア12は、伸長した横方向断面のセグメント化された導波路部分14及びテーパ化された部分15によって、より小さい導波路コア13に結合される。セグメント部分14は好ましくはファイバコア12とほぼ同じ横方向断面を有し、コア12からの初段の結合をできるようにする。セグメントの厚さ及び/又はセグメントの間隔は、低屈折率のファイバコアから離れる光が高屈折率のプレーナ導波路コア付近まで徐々に増加する有効コア屈折率に遭遇するように、ファイバからプレーナ導波路にかけて変化する。これにより、セグメント部分14からテーパ部分15の拡張された領域の端部16にかけての最小の屈折率不整をもって結合できる。テーパ部分は、より小さい横方向断面のプレーナ導波路コア13付近までテーパの高さを落としていく。導波路コア13は、結合された光を処理するための（図示されない）幾何学的配置、他のコア、位相シフター、又はリング共振器によって構成される。

【0014】

図1の結合デバイスは光ファイバの一部という形で又はプレーナ導波路を含む集積された光デバイスの部分として実施することができる。

【0015】

同様に、プレーナ導波路デバイスからの光は、プレーナ導波路からファイバまでを通過することにより高効率かつ高密度に光ファイバに結合される。光は逆方向にテーパ部分15から拡張部分16にかけても通過する。そして、それはセグメント部分14から光ファイバの端部と一致する低有効端部にかけて結合する。

【0016】

縦方向テーパのセグメント化された部分はシリコン光微細加工技術において使用される標準的な技術を用いて製作できる。まず、低クラディング層が低圧蒸気酸化処理とその後のアニールによって形成される。そして、高屈折率のコア層がプラズマ・エンハンスド・蒸着（PECVD）によって、又は低圧化学蒸着（LPCVD）によって配置され、ガラスを流すためにアニールされる。そして、セグメント化された導波路は、クロムマスクコンタクトを用いて1:1のプロジェクションでのフォトリソグラフィによってパターン処理される。そして、マスク情報が反応性イオンエッチングを用いてコアにパターン処理される。ポリシリコン混合物又はハードベークされた（hard baked）フォトレジストがこの処理で使用される。0.7から32.5 μmの範囲のギャップサイズが達成される。次に、クラディング層がガラスを流すためのアニールによるいくつかの工程において定着される。

【0017】

シャドウ又はディザのマスクが構造の縦方向にテーパ化された部分をパターン処理するのに使用される。これらのマスクによって可変の光強度の伝送が可能となる。フォトレジストが高い光強度に曝される領域はより早く成長する。コア材料のエッチングスピードはどれだけレジストが成長したかに関係し、それゆえ、異なる高さの領域が製作される

10

20

30

40

50

【0018】

代替の実施形態では、テーパ部分15が図1に示すような連続的テーパではなく、図4に示すように段階的テーパとなっている。この手法の利点は製作が容易であることである。しかし、少ないステップ数が用いられると、損失の増大を招く高次のモードが誘発される。

【0019】

図5に示すように、他の代替の実施形態では、結合器構造は光をファイバからプレーナ光波回路(PLC)チップに結合するための2つの層からなる。屈折率 n_1 のセグメントは屈折率 n_2 のプレーナ導波路52に接触して配置される。コア51(n_1)は光をファイバから結合機のチップに効率的に結合する厚く低屈折率の材料である。コア52(n_2)はPLCデバイスと同じ材料の高屈折率のコアである。光は効率的に n_1 及び n_2 のコアに結合される。ここでは、低屈折率のコアはギャップとともにセグメント化されている。ギャップサイズはPLCチップに向かって増加し、それゆえ、低屈折率のコアの有効屈折率は徐々に減少する。結果として、光は断熱的に高屈折率のコアに結合される。(PLCチップ付近の)終端の幅は導波路の単一モードサイズにまで狭められる。

【0020】

図6に示すように、さらに他の代替の実施形態では、種々の高さのセグメントがファイバ12からプレーナ導波路62にかけてテーパ化されている。セグメント61は2つの材料からなり、一方の屈折率 n_1 はファイバに適合し、他方の屈折率 n_2 はプレーナ導波路の屈折率に適合する。屈折率 n_2 からなるセグメントの部分はプレーナ導波路62の寸法に一致するまで徐々に増加する。

【0021】

以下の例において、セグメントの寸法及び特にセグメントの厚さがプロメテウス(Prometheus)を用いて決められる。プロメテウスとは導波路シミュレーション及びデバイス最適化のための標準的技術を用いる3次元差分ビーム伝搬コンピュータプログラムである。プロメテウス・パッケージ(正式にはBBV Software, The Netherlands)は「Olymp10s」の一部である。Olymp10sは市販されている光学ソフトウエアパッケージであり、2次元有効屈折率ビーム伝搬法と同様にプロメテウスからなる。(C2V、私書箱318、7500AH、Enschede、The Netherlands)。本発明は以下の特定の例を考察してより明確に理解できる。

【0022】

例1:

図2は、 $1.9 \times 1.9 \mu\text{m}$ の高い6%デルタのプレーナ導波路とともに $8 \mu\text{m}$ のコアを有する光ファイバを結合するための構成を模擬的に図示するものである。セグメント部分14はファイバコアからテーパ部分15に結合される10個の高デルタ部分からなる。各セグメントは $8 \times 8 \mu\text{m}$ の断面を有し、連続するセグメントは周期的に(中心間が) $8 \mu\text{m}$ 離れている。ファイバからの光が連続する高デルタテーパ部分に近づくにつれて増大する有効屈折率を通過するように、連続するセグメントはファイバからテーパ部分にかけて長さ方向に増大する厚さを有する。テーパ部分は $110 \mu\text{m}$ の長さの非テーパ部及び $250 \mu\text{m}$ の非テーパ部並びにプレーナ導波路の寸法まで高さを落とす $250 \mu\text{m}$ の線形テーパ領域を含む。結合損失は入力セグメントから線形テーパの始端まで約 0.25 dB である。断熱テーパの損失は長さや形状に依存する。

【0023】

例2:

光ファイバを4%デルタのプレーナ導波路に結合するため、図3に示す同様の構成として周期的に $9 \mu\text{m}$ 隔てられた $7 \times 7 \mu\text{m}$ のセグメントとすることができる。全結合損失は約 0.18 dB である。

【0024】

例3:

図4は連続的テーパというよりは段階的にテーパ化されたテーパ部分15を用い

10

20

30

40

50

る構成を模擬的に図示するものである。ここでは、10個の $7 \times 7 \mu\text{m}$ のセグメントを用いて（図示されない）ファイバから段階的テーパ部分15にかけて結合するものである。部分15はテーパの高さを10個の各 $25 \mu\text{m}$ の段について $0.43 \mu\text{m}$ 落としている。4%デルタのプレーナ導波路に結合するため全結合損失は約 0.35 dB である。

【0025】

本発明は光ファイバをプレーナ導波路に光結合するためのデバイスを含むことが分かる。デバイスはセグメント化された導波部分及びテーパ化された導波部分からなる導波構造からなり、両導波部分はファイバとプレーナ導波路間の低屈折率のクラディング領域に配される。

【0026】

セグメント化された導波部分は高屈折率材料の一連の離隔されたセグメントからなる。セグメントはファイバコアの断面にほぼ等しい長さ方向の断面を有し、連続するセグメントは、ファイバコアの有効屈折率付近からプレーナ導波路の有効屈折率付近にかけて変化する有効屈折率を呈するために、増大する軸方向の厚さを有する。

【0027】

テーパ化された導波部分はセグメント化された導波部分付近の断面からプレーナ導波路コア付近の断面にかけて変化する長さ方向の断面を有する。テーパは連続的であっても段階的であってもよい。

【0028】

例4：

図5はコア51及び52からなる2層化アプローチを用いる構成を模擬的に図示するものである。ここで、ファイバコア12からの光は高さ $2.7 \mu\text{m}$ で幅 $8.0 \mu\text{m}$ の寸法のプレーナ導波路に結合される。10個のセグメントが用いられファイバからコア51を介してコア52に結合される。

【0029】

例5：

図6は、セグメントが n_1 及び n_2 の屈折率の2つの材料からなる構成を模擬的に図示するものであり、ここで $n_2 > n_1$ である。10個のセグメント61が用いられファイバ12からプレーナ光導波路63にかけて光を結合する。（セグメントの数は屈折率によって10から30の間で変えることができる。）セグメント61はファイバ12からプレーナ導波路62にかけて増大する厚さを有する。さらに、セグメント61はプレーナ導波路方向に増加する n_2 材料の部分からなる。プレーナ導波路において、最後のセグメントにおける n_2 材料の寸法はプレーナ導波路62の寸法、ここでは $2.7 \mu\text{m} \times 8 \mu\text{m}$ 、に一致する。

【0030】

なお、上記の実施形態は、数ある可能な特定の実施形態のうち本発明の応用例を代表するほんのわずかを図示したに過ぎない。当業者であれば多くの他の変更例は本発明の精神と範囲から逸脱することなく想到可能である。

【符号の説明】

【0031】

9 デバイス

10 光ファイバ

11 プレーナ導波路

12 ファイバコア

13 導波路コア

14 セグメント部分

15 テーパ部分

16 端部

51、52 導波路コア

61 セグメント部分

10

20

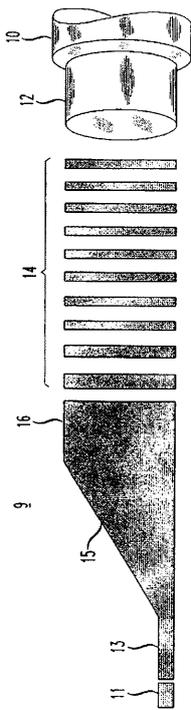
30

40

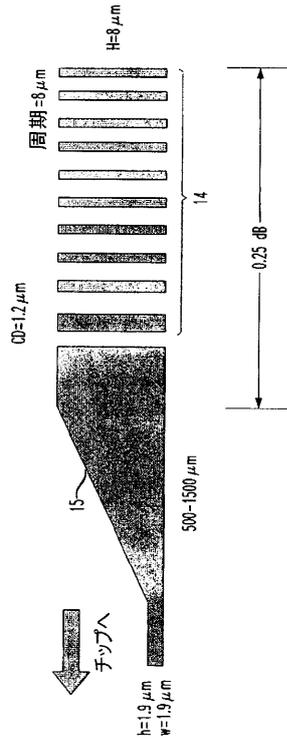
50

6 2 プレーナ導波路

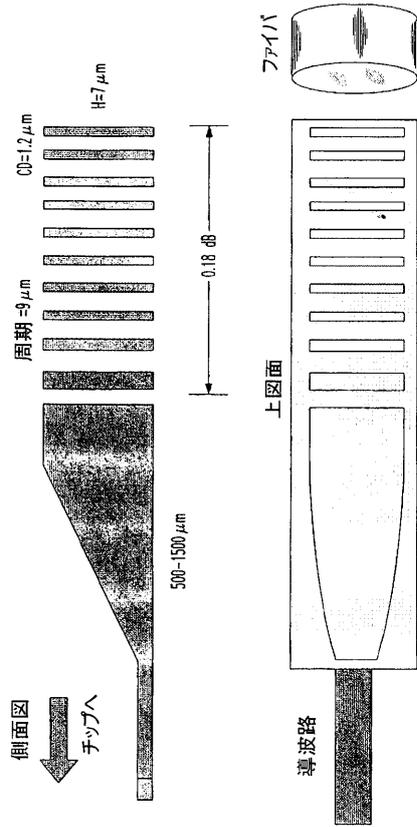
【図 1】



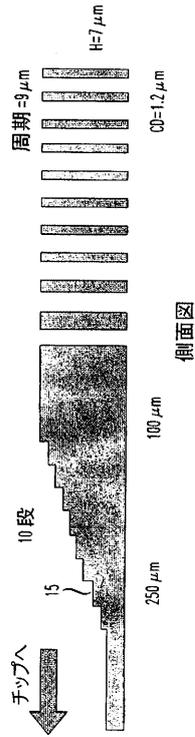
【図 2】



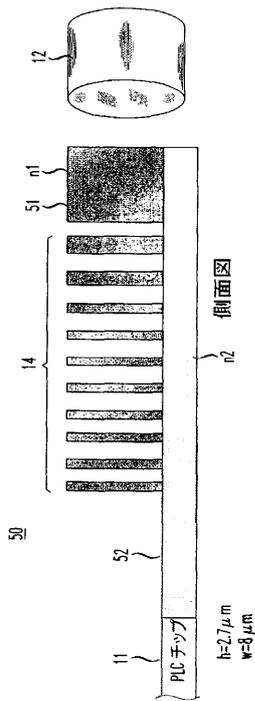
【図3】



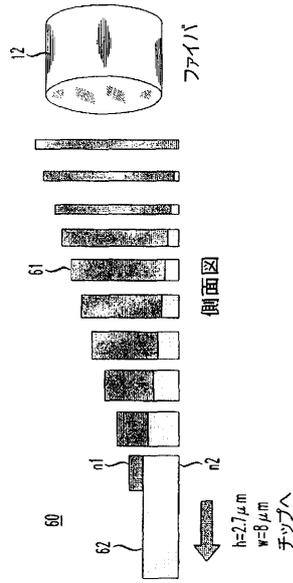
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 マーマウド ラスラス

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージー, ニュー プロヴィデンス, ゲイルズ ドライヴ
29, アパートメント 1

審査官 吉田 英一

- (56)参考文献 特開平08-262245(JP, A)
特開2004-240064(JP, A)
国際公開第02/005000(WO, A1)
特開平07-110415(JP, A)
特開2003-207684(JP, A)
特開平11-160556(JP, A)
特開2002-14243(JP, A)
特開2001-337252(JP, A)
特開2001-305366(JP, A)
特開平6-313817(JP, A)

Z. Weissman and I. Hendel, Analysis of Periodically Segmented Waveguide Mode Expanders
, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 1995年10月, Vol. 13, No. 10, pp. 2053 - 2058

日景正広、千葉貴史、上塚尚登、高 石英導波路用分割導波路型スポットサイズ変換器, 2002年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1, 日本, 社団法人電子情報通信学会, 2002年 8月20日, pp. 169

M. H. Chou, M. A. Arbore, and M. M. Fejer, Adiabatically tapered periodic segmentation
of channel waveguides for mode-size transformation and fundamental mode excitation, O
ptics Letters, 1996年 6月 1日, Vol. 21, No. 11, pp. 794 - 796

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/122

G02B 6/30

JSTPlus(JDreamII)

JST7580(JDreamII)