

(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2006-505016
(P2006-505016A)

(43) 公表日 平成18年2月9日(2006.2.9)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
G O 2 B 5/30 (2006.01) G O 2 B 5/30 2 H O 4 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁)

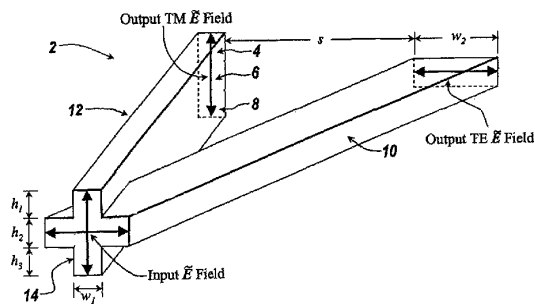
<p>(21) 出願番号 特願2005-502232 (P2005-502232)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成15年10月30日 (2003.10.30)</p> <p>(85) 翻訳文提出日 平成17年4月27日 (2005.4.27)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/US2003/034607</p> <p>(87) 国際公開番号 W02004/042430</p> <p>(87) 国際公開日 平成16年5月21日 (2004.5.21)</p> <p>(31) 優先権主張番号 60/422, 413</p> <p>(32) 優先日 平成14年10月30日 (2002.10.30)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国 (US)</p> <p>(31) 優先権主張番号 60/478, 767</p> <p>(32) 優先日 平成15年6月16日 (2003.6.16)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(71) 出願人 591013573 マサチューセッツ・インスティテュート・オブ・テクノロジー MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY アメリカ合衆国マサチューセッツ州02139, ケンブリッジ, マサチューセッツ・アベニュー 77</p> <p>(74) 代理人 100089705 弁理士 社本 一夫</p> <p>(74) 代理人 100076691 弁理士 増井 忠武</p> <p>(74) 代理人 100075270 弁理士 小林 泰</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長非反応性集積光偏光スプリッター

(57) 【要約】

集積光偏光スプリッターが一对の導波路要素を含み、第1の導波路要素が水平向きを有し、第2の導波路要素が、垂直向きを有し、複数の導波路コア層から形成される。第1の導波路要素と第2の導波路要素は、構造の一端で交差またはほぼ交差し、構造の他端では離隔され、要素間での遷移が断熱的になる。導波路要素は、TE成分とTM成分の両方を有する光信号を受信する。TE成分は水平向き導波路要素に沿って伝播し、TM成分は垂直向き導波路要素に沿って伝播する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

TE および TM 成分を有する光信号を入力する入力導波路要素と、
 複数のコア層を含み、前記入力導波路要素に結合され、前記光信号の前記 TM 成分を伝播させる垂直向き導波路要素と、
 前記入力導波路要素に結合され、前記光信号の前記 TE 成分を伝播させる水平向き導波路要素と、
 を備える集積光偏光スプリッター。

【請求項 2】

前記垂直向き導波路要素と前記水平向き導波路要素は、垂直向き導波路セクションと水平向き導波路セクションの分離の前に交差またはほぼ交差する、請求項 1 に記載の集積光偏光スプリッター。

10

【請求項 3】

前記コア層は 2 つのコア層を備える、請求項 1 に記載の集積光偏光スプリッター。

【請求項 4】

前記コア層は 3 つの層を備える、請求項 1 に記載の集積光偏光スプリッター。

【請求項 5】

TE および TM 成分を有する光信号を入力する入力導波路要素を提供するステップと、
 前記入力導波路要素に結合され、前記光信号の前記 TM 成分を伝播させる垂直向き導波路要素であって、複数のコア層を含む垂直向き導波路要素を形成するステップと、
 前記入力導波路要素に結合され、前記光信号の前記 TE 成分を伝播させる水平向き導波路要素を形成するステップと、
 を含む集積光偏光スプリッターを形成する方法。

20

【請求項 6】

前記垂直向き導波路要素と前記水平向き導波路要素は、垂直向き構成要素と水平向き構成要素の分離の前に交差またはほぼ交差する、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記コア層は 2 つの層を備える、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

前記コア層は 3 つの層を備える、請求項 5 に記載の方法。

30

【請求項 9】

一対の導波路要素を備える光導波路スプリッターであって、第 1 の導波路要素が水平向きを有し、第 2 の導波路要素が垂直向きを有し、複数の導波路コア層から形成され、前記第 1 の導波路要素と第 2 の導波路要素が、構造の一端で交差またはほぼ交差し、構造の他端では離隔され、要素間での遷移が断熱的になっており、

前記導波路要素は、TE 成分と TM 成分の両方を有する光信号を受信し、前記 TE 成分が水平向き導波路要素に沿って伝播し、前記 TM 成分が垂直向き導波路に沿って伝播する、光導波路スプリッター。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本出願は、参照として本明細書に全体を組み込む 2002 年 10 月 30 日出願の仮特許出願第 60 / 422413 号、および 2003 年 6 月 16 日出願の仮特許出願第 60 / 478767 号からの優先権を主張するものである。

【0002】

本発明は、集積光偏光スプリッターの分野に関し、特に、水平向き導波路と垂直向き導波路の交差またはほぼ交差したものに基づく集積光偏光スプリッターに関する。

【背景技術】

【0003】

ファイバ光通信が普及するにつれて、より複雑な光信号処理への要求が絶えず高まって

50

いる。集積光学デバイスがチップ上で多くの光学的機能の集積化を可能にするため、集積光学手法は、より複雑な光信号処理への要求を満たすように思われる。しかし、機能性を改善し、機能当たりの費用を低減するためには、チップ上の構成要素の密度を高めなければならない。

【0004】

所与の波長に関して、誘電体導波路内でのモードの閉じ込めは、コアとクラッドの屈折率のコントラストによって決定され、コントラストが大きければそれだけ閉じ込めが厳しくなる。より厳しい閉じ込めの結果、導波路をより近接させて充填することができ、より鋭い湾曲のまわりで実質的な放射損失なしで光を誘導することができる。これらは、デバイス密度に影響を与える2つの最も重要なパラメータであるため、一般に、屈折率コントラストが大きければそれだけデバイス密度が高くなると言うことができる。しかし、屈折率コントラストが大きくなると、導波路内を伝播するTE (transverse electric) モードとTM (transverse magnetic) モードが異なる特性を示し始める。正方形導波路の直線部では、TEモードとTMモードが同じ速度で伝播するが、湾曲部では、TEモードとTMモードが実質的に異なる速度で伝播する。さらに、一对の正方形高屈折率コントラスト(HIC)導波路が結合されるとき、TEモードとTMモードが異なる速度で結合する傾向がある。ほとんどの集積光学構成要素は、伝播速度と導波路間での結合との両方の影響を受けやすく、これらの影響により、性能が偏光に依存するようになり、その結果、電気通信の用途で使用される標準的なシングルモードファイバから発するランダムな偏光状態に適合しなくなる。

10

20

【0005】

これらの影響を補償する1つの方法は、長方形の導波路幾何形状を使用し、導波路の縦横比を変えて、湾曲部の周りでの伝播の自然な相違を補償し、かつ/または導波路間での結合を均一化するものである。しかし、特定のデバイスに関してはこの様式でこれらの影響の一方または他方を補償することができるが、屈折率コントラストが高まるにつれて、チップ上のすべてのデバイスに適用できる様式で両方を同時に補償することは不可能でないにせよ難しくなる。

【0006】

HIC集積光学系の偏光感受性を克服するための別の手法は、偏光ビームスプリッタ(PBS)を用いてシングルモード(SM)ファイバから発するランダムな入力偏光を分割し、出力を偏光保持(PM)ファイバに結合し、これらのPMファイバの1つを90度ねじって、集積光チップ上で別個の経路に2つのファイバを結合するものである。これらの経路それぞれで、同一の構造を使用して、2つの成分を独立して処理する。出力で、これらの成分は、別のPMファイバの対に結合し、前にねじられていない経路のPMファイバをねじり、SMファイバ出力を有する別のPBSに両方のファイバを結合することによって再結合される。一般に「偏波ダイバーシティ」法と呼ばれるそのような手法は、実現可能であるが、バルク光学系で実施する際にはやはり複雑である。PMファイバの位置合わせは難しく、高い費用がかかる。また、信号強度を保存するために、経路長を、ビット長の少なくとも10分の1範囲内に合致させなければならない(すなわち、屈折率を1.5と仮定すると、10Gb/sの信号に関して約2mm、40Gb/sの信号に関して約0.5mm)。

30

40

【0007】

より良い手法は、PBSのスプリッティング機能と、ねじられたPMファイバの回転機能とを集積光チップ上に集積化するものである。そうすることにより、PMファイバを位置合わせする必要がなくなり、リソグラフィによって経路長を簡単に合致させることができる。

【0008】

いくつかの集積光偏光スプリッターおよび回転器(または変換器)が提案されている。しかし、現在提案されているデバイスのほとんどが、一对の導波路モードの結合に依拠している。一般に、結合されたモードに基づくデバイスは、構造内を伝播するスーパーモー

50

ドの分散の相違による波長感受性を示す。さらに、そのような手法は、製造誤コントラストの影響を非常に受けやすい。導波路幾何形状または離隔距離のわずかな変化でさえ、デバイス性能に大きな影響を及ぼす可能性がある。

【0009】

偏光スプリッターまたは回転器を形成するためのより良い方法は、モード展開の原理を使用することである。導波路幾何形状を徐々に（または断熱的に）変化させることによって、導波路内のモードを調整し、偏光状態を分離または回転させることができる。そのような手法では、モードがパワーを交換しないことだけが必要であり、これは、導波路の適切な設計および構造のゆっくりした展開によって保証することができる。モード結合の防止は比較的緩い要件であるので、モード展開に基づくデバイスは、波長非反応性になり、製造許容性があるものになる傾向がある。モード展開に基づく偏光スプリッターを形成することができることはすでに提案され、実証されているが、この手法は、多数の導波路材料を必要とするという欠点を有する。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

一般に、本発明の目的は、モード展開の原理に基づく集積光学デバイスを用いて偏光状態を分割することである。

本発明のさらなる目的は、逆に動作するとき、デバイスが偏光コンバイナーとして機能することである。

20

【0011】

本発明のさらに別の目的は、デバイスを、波長非反応性であり、製造誤差に許容性があるものにし、構成に単一材料システムのみを必要とすることである。

本発明のこれらおよびその他の目的は、以下の詳細な説明および添付図面から当業者に明らかになる。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の一態様によれば、集積光偏光スプリッターが提供される。偏光スプリッターは、TEおよびTM成分を有する光信号を入力する入力導波路要素を含む。複数のコア層を含む垂直向き導波路要素が、入力導波路要素に結合され、光信号のTM成分を伝播させる。水平向き導波路要素が、入力導波路要素に結合され、光信号のTE成分を伝播させる。

30

【0013】

本発明の別の態様によれば、集積光偏光スプリッターを形成する方法が提供される。この方法は、TEおよびTM成分を有する光信号を入力する入力導波路要素を提供するステップを含む。さらに、この方法は、入力導波路要素に結合され、光信号のTM成分を伝播させる垂直向き導波路要素を形成するステップを含む。垂直向き導波路要素は、複数のコア層を含む。さらに、この方法は、入力導波路要素に結合され、光信号のTE成分を伝播させる水平向き導波路要素を形成するステップを含む。

【0014】

本発明の別の態様によれば、集積光偏光スプリッターが提供される。この集積光偏光スプリッターは、一对の導波路要素を含み、第1の導波路要素が水平向きを有し、第2の導波路要素が、垂直向きを有し、複数の導波路コア層から形成される。第1の導波路要素と第2の導波路要素は、構造の一端で交差またはほぼ交差し、構造の他端では離隔され、それにより遷移が断熱的になる。導波路要素は、TE成分とTM成分の両方を有する光信号を受信する。TE成分は、水平向き導波路要素に沿って伝播し、TM成分は、垂直向き導波路要素に沿って伝播する。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明の偏光スプリッターは、一对の導波路の交差またはほぼ交差したものによって構成されている。導波路が最も近接した区域がスプリッター入力であり、導波路が最も離れ

50

た区域がスプリッター出力である。デバイスが偏光状態を効果的に分離するためには、デバイス入力における合成構造の基本TE（または擬似TE）モードが、導波路の一方（TE導波路と呼ぶ）の基本モードに展開しなければならず、基本TM（または擬似TM）モードが、もう一方の導波路（TM導波路と呼ぶ）の基本モードに展開しなければならない。これが生じるためには、TM導波路のTMモードは、TE導波路のTMモードよりも強く導波されなければならない（より高い実効屈折率を有さなければならない）。同様に、TE導波路のTEモードは、TM導波路のTEモードよりも強く導波されなければならない。

【0016】

導波路の展開は、システム内でのモード間の結合を誘発するモード構造に対する摂動として働き、展開が速ければそれだけ結合が強くなる。構造が偏光スプリッターとして働くことを保証するために、システム内での基本モード間の結合、および基本モードと他のモードとの結合を阻止しなければならない。構造内でのモードの全スペクトルは、基本導波TEおよびTMモードと、非導波（または放射）モードと、横向きセクションと縦向きセクションが離隔するときに現れる2次導波TEおよびTMモードとからなる。非導波モードは、基本モードよりも実質的に速い速度で伝播する。したがって、遷移が十分に弱いとき、モードは、実質的なパワー交換が起こる前に位相をずらす機会を有する。したがって、基本モードと放射モードとのパワー交換は、遷移を遅く（または断熱的に）することによって実質的に低減することができる。同様に、基本モードと2次導波モードとの結合は、2次モードも実質的により速い速度で伝播することによって阻止することができる。これは、直交する向きの主軸を有する一对の導波路から構造を形成することによって行うことができる。電磁気的な意味では、主軸は、導波路の基本モードの電界偏光によって定義される。長方形埋込型導波路では、主軸は、長方形を画定する2つの寸法のより大きい方に沿っている。本記載では、導波路の向きを指定する際に、導波路の主軸を基準とする。例えば、「垂直向き導波路セクション」という表現は、導波路デバイスの主平坦面（基板表面など）に垂直な、すなわち直交する主軸を有する導波路セクションを表すものとし、「水平向き導波路セクション」という表現は、導波路デバイスの主平坦面（基板表面など）に水平な、すなわち平行な主軸を有する導波路セクションを表すものとする。

【0017】

最後に、各基本モードが異なる速度で伝播することを保証することによって、かつ/またはモード対称性による結合を防止するように導波路を位置決めすることによって、基本モード間の結合を阻止することができる。

【0018】

最後の一般論として、効果的な偏光スプリッターとして働くデバイスは、相反定理により、逆に動作するときには効果的な偏光コンバイナーとして働く。

デバイスの実際の実装では、典型的には、微細加工技法によってデバイスを形成することが必要であり、これは一般に、構造が積層プロセスによって形成され、フィーチャがリソグラフィによって画定されることを必要とする。したがって、できるだけ少数の層で構造を構築することが望ましい。本明細書では、層を、垂直方向で屈折率のばらつきを含まない導波路断面を通る水平スライスと定義する。

【0019】

本発明の偏光スプリッターを形成する光導波路は、典型的には、様々な屈折率の誘電体材料によって形成される。一般に、より高い屈折率の材料をコア材料とみなし、より低い屈折率の材料をクラッド材料とみなす。具体的には、本明細書では、クラッド材料を、層内で屈折率が最も低い材料と定義する。したがって、層内の他の材料はすべてコア材料である。コア層を、コア材料を含む層と定義する。

【0020】

構造が偏光スプリッターとして機能するための基本的な要件はかなり緩く、根本的な要件は、一对の直交する向きの導波路の交差またはほぼ交差したものによって構造が形成さ

10

20

30

40

50

れていることであり、導波路は分離し、それにより、直交する向きのモードを直交する向きの導波路セクションそれぞれに分割する。以下、いくつかの取り得る幾何形状を説明する。

【0021】

図1は、本発明による偏光スプリッター2の概略図である。スプリッター2は、一对の直交する向きの長方形導波路14として始まり、これらの導波路は、中央で交差しており、次いで一对の長方形導波路10、12へと徐々に分離され、一方の導波路10が水平向きであり、他方12が垂直向きであり、図1に示されるように最終的な離隔距離 s を有する。通常、コア層よりも低い屈折率を有するクラッドがコア層を取り囲み、光閉じ込めを提供する。図1の偏光スプリッターは、中央で交差する導波路を使用して基本導波モード間の結合を阻止する。したがって、構造は通常、最少で3つのコア層4、6、および8を必要とし、コア層の高さは h_1 、 h_2 、および h_3 であり、 h_1 と h_3 が等しくなるように設計されることが好ましい。水平向き導波路10は、幅が w_2 、高さが h_3 であり、垂直向き導波路12は、幅が w_1 であり、高さは h_1 、 h_2 、 h_3 の和である。偏光スプリッターの入力では、2つの導波モード、すなわち基本TEモードと基本TMモードのみが存在する。水平向きセクションと垂直向きセクションの離隔距離が大きいとき、基本TEモードは水平向きセクションにほぼ完全に閉じ込められ、基本TMモードは垂直向きセクションに閉じ込められる。したがって、基本モードの自然な展開が、TE成分とTM成分の分割をもたらす。

10

【0022】

説明した実施形態の多くの変形形態が可能であることに留意することが重要である。導波路は長方形の幾何形状である必要はなく、コア層は同じ屈折率または幾何形状を有する必要はない。

20

【0023】

図2A~2Bは、図1の偏光スプリッター内を伝播するTE場およびTM場のモード散乱シミュレーションの概略図である。モード散乱技法は、構造の長さに沿って各断面でローカルモード間の重なりを取り、断面間で場を伝播させる。計算時間を短縮するために、通常は縮小化したモード集合が使用されるので、モード散乱シミュレーションは、システムを表現するために導波路断面当たりで少数のモードが必要とされるときにのみ、特に有用なモデルリングツールとなる。放射モードは、モード展開に基づく手法の実施に実質的に影響を与えないので、モード散乱技法はこれらの問題に良く適している。このシミュレーションに使用される実施形態では、コア屈折率は2.2であり、クラッド屈折率は1.445である。水平および垂直向き導波路コアの寸法は、それぞれ $0.25 \times 0.75 \mu\text{m}$ および $0.75 \times 0.25 \mu\text{m}$ であり、 $0.25 \mu\text{m}$ の層厚さを示す。スプリッターの長さは $30 \mu\text{m}$ であり、水平向き長方形導波路22と垂直向き長方形導波路20を離隔する距離は、デバイス出力で $1 \mu\text{m}$ である。しかし、別の実施形態では別の寸法を用いることができる。

30

【0024】

図2Aに、スプリッター2内を伝播するTE場を示す。特に、TE場は、水平向き長方形導波路22内を伝播し、垂直向き長方形導波路20内は伝播しない。

40

図2Bに、スプリッター内を伝播するTM場を示す。TM場は、垂直向き長方形導波路20内を伝播し、水平向き長方形導波路22内は伝播しない。したがって、図2A~2Bは、スプリッターが、ランダムに偏光された入力信号のTE成分とTM成分を分離できることを示す。

【0025】

図3A~3Bは、図1に示される偏光スプリッターの性能を示すそれぞれモード散乱および完全3次元FDTD(有限差分時間領域)法シミュレーションのグラフである。ここでも、コア屈折率は2.2であり、クラッド屈折率は1.445である。導波路コアの寸法は、それぞれ $0.25 \times 0.75 \mu\text{m}$ および $0.75 \times 0.25 \mu\text{m}$ であり、 $0.25 \mu\text{m}$ の層厚さを示す。導波路要素は、出力で距離 $s = 1 \mu\text{m}$ 離隔される。図3Aに、TE

50

およびTMモードに関する、本発明の偏光スプリッターの長さとの正規化出力モードパワーとの関係を示す。特に、図3Aは、 $25\mu\text{m}$ よりも大きい長さでは、 TE_{11} （基本TE）モードと TM_{11} （基本TM）モードの両方に関する正規化出力モードパワーがほぼ1であり、 $1.45\mu\text{m} \sim 1.65\mu\text{m}$ の帯域全体にわたってクロストーク（ TE_{11} と TE_{21} の結合および TM_{11} と TM_{21} の結合）がほとんどないことを示す。本発明のスプリッターの性能は、遷移がより断熱的になるときに向上する。

【0026】

図3Bは、完全3次元FDTD法シミュレーションを用いて、電気通信波長を含む $1.45\mu\text{m} \sim 1.65\mu\text{m}$ でのデバイスの波長不感応性質を示す。FDTD法は、マクスウェルの式の数値的な実現であり、唯一の誤差は、格子離散化によって生じるものである。モード散乱技法とは対照的に、システムのすべてのモードが考慮される。このシミュレーションでは、デバイス長さは $25\mu\text{m}$ である。この範囲では、 TE_{11} モードと TM_{11} モードの両方に関する正規化出力モードパワーがほぼ1であり、 $1.45\mu\text{m} \sim 1.65\mu\text{m}$ の帯域全体にわたってクロストーク（ TE_{11} と TE_{21} の結合および TM_{11} と TM_{21} の結合）がほとんどない。これは、本発明のスプリッターデバイスが、電気通信波長様式で大きな波長感度を持たないことを示す。

10

【0027】

図4A～4Cは、垂直向き導波路106、108、および110と水平向き導波路112、114、および116とが交差点を有さない偏光スプリッター100、102、および104の図である。理論上、図1に示されるデバイスの性能はほぼ理想的であるが、製造時に、2つの導波路が交差する領域でいくらかの丸めが生じる場合がある。この丸めは、中間層118、120、および122でのみ生じ、光リソグラフィの有限の解像度によるものである。

20

【0028】

しかし、これが図1の導波路10と12でいくぶん急な接合をもたらすとき、性能への影響が重大になる場合がある。したがって、交差点をなくすことが望ましい。これは、垂直向き導波路106、108、および110の中間層118、120、および122を水平向き導波路112、114、および116から小さなギャップ s_1 だけ離隔しておくことによって達成することができる。ギャップ s_1 がリソグラフィシステムの解像限界よりも長い限り、製造誤コントラストが取り除かれる。垂直向き導波路106、108、および110と水平向き導波路112、114、および116の寸法は、図1の垂直向き導波路12および水平向き導波路10に関して説明したものと同様であることに留意されたい。垂直向き導波路106、108、および110と水平向き導波路112、114、および116は、距離 s_2 だけ離隔されることに留意されたい。

30

【0029】

図4A～4Cに、中間層118、120、および122で導波路の間にギャップを有する本発明の偏光スプリッターに遷移する多くの方法のうちいくつかを示す。特に、図4Aは、垂直向き導波路106にテーパを付けて、入力モードを断熱的に偏光スプリッター内に遷移させている。図4Bでは、垂直向き導波路108を形成する層130、120、134内の様々なコア部片が、個別に、かつ断熱的に水平向き導波路114の近傍に導かれ、それにより、基本TEモードと基本TMモードの両方が、水平向き導波路114内から発生することを保証する。最後に、図4Cでは、幅を狭められた垂直向き導波路110が水平向き導波路116の近傍に導かれ、その後、全幅の構造へとテーパを付けられ、やはり、基本モードが入力水平向き導波路116内から発生することを保証する。

40

【0030】

これらの手法はすべて同じ原理で作用する。入力導波路のモードは、直交する向きの導波路が近接している本発明の偏光スプリッター内に断熱的に遷移されなければならない。通常、取られる手法は、利用される製造技術に依存する。これらの幾何形状は、本発明の偏光スプリッターへの結合の多くの取り得る方法のうちいくつかのみを示す。導波路セクションは長方形の幾何形状である必要はなく、コア層は同じ屈折率または幾何形状を有す

50

る必要はない。

【0031】

図5に、製造に2つのコア層60、62のみを必要とする偏光スプリッター54を示す。この実施形態では、垂直向き導波路58と水平向き導波路56が、もはや中央で交差していない。そのため、基本TEモードと基本TMモードが互いに結合する。しかし、この結合は、ここでも、基本モードが異なる速度で伝播し、実質的なパワー交換が起こる前に位相をずらす機会を有することを保証することによって緩和することができる。これは、水平向き導波路56と垂直向き導波路58を異なるサイズにすることによって達成される。デバイスの性能は、層の順序(すなわち、どの層が一番上にあるか)の影響を受けない。2つのコア層60、62が高さ h_1 、 h_2 を有することに留意されたい。また、この構造は、製造を容易にするために、入力で、直交する向きの導波路の間にギャップ s_1 を残す。出力では、垂直向き導波路58と水平向き導波路56は、距離 s_2 だけ離隔されている。さらに、水平導波路56は、幅が w_2 、高さが h_2 であり、垂直導波路12は、幅が w_1 であり、高さは h_1 と h_2 の和である。

10

【0032】

説明した実施形態の多くの変形形態が可能であることに留意することが重要である。導波路セクションは長方形の幾何形状である必要はなく、コア層は同じ屈折率または幾何形状を有する必要はない。

【0033】

図6A~6Bは、図5に示されるデバイスの性能のそれぞれモード散乱およびFDTD法シミュレーションのグラフである。この特定の実施形態では、コア屈折率は2.2であり、クラッド屈折率は1.445である。垂直および水平向き導波路に関して、層の厚さはどちらも $0.4\mu\text{m}$ であり、導波路幅はそれぞれ $0.35\mu\text{m}$ および $0.8\mu\text{m}$ である。導波路の入力および出力での離隔距離は、それぞれ $s_1 = 0.25\mu\text{m}$ および $s_2 = 1.0\mu\text{m}$ となるように選択される。

20

【0034】

特に、図6Aに、波長 $1.55\mu\text{m}$ で、デバイス長さの関数として図5に示されるデバイスの性能を示す。このグラフは、 $150\mu\text{m}$ を超える長さに関して、この2つの積層偏光スプリッターの性能がほぼ理想的であることを示す。図6Bに、デバイス長さ $143\mu\text{m}$ に関して、波長の関数として図5に示されるデバイスの性能を示す。図6Bは、デバイスがおおむね波長不感応であり、 $1.45\mu\text{m} \sim 1.65\mu\text{m}$ の範囲全体にわたってクロストーク(TE₁₁とTE₂₁の結合およびTM₁₁とTM₂₁の結合)がほとんどないことを示す。

30

【0035】

図7A~7Bは、中間層82、84で導波路の間にギャップ s_1 を有する本発明の2層偏光スプリッターに遷移する多くの方法のうちいくつかを示す。この手法は、3層デバイスで取られる手法と類似している。図7Aでは、幅を狭められた垂直向き導波路68が水平向き導波路66の近傍に導かれ、その後、全幅構造へとテーパを付けられている。図7Bでは、垂直向き導波路76を形成する様々な層72、74が、個別に、かつ断熱的に水平向き導波路80の近傍に導かれる。ここでも、これらの手法はそれぞれ、製造に関する利点と欠点を有し、しかしすべて同じ原理で作用する。入力導波路のモードは、直交する向きの導波路を徐々に近接させることによって、本発明の偏光スプリッター内に断熱的に遷移されなければならない。通常、取られる手法は、使用される製造技術に依存する。これらの幾何形状は、本発明の偏光スプリッターへの結合の多くの取り得る方法のいくつかのみを示す。導波路セクションは長方形の幾何形状である必要はなく、コア層は同じ屈折率または幾何形状を有する必要はない。

40

【0036】

重要なことに、相反定理により、前述した実施形態はすべて、逆に動作するときには偏光コンバイナーとして働くことが保証される。

本発明を、そのいくつかの好ましい実施形態に関して図示し説明してきたが、本発明の

50

精神および範囲を逸脱することなく、本発明の形態および詳細に様々な変更、省略、および追加を施すことができる。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】本発明による偏光スプリッターの概略図である。

【図2】図2Aは、図1に示される偏光スプリッター内を伝播するTE場のモード散乱計算の概略図である。図2Bは、図1に示される偏光スプリッター内を伝播するTM場のモード散乱計算の概略図である。

【図3】図3Aは、図1に示される偏光スプリッターの性能を示すグラフである。図3Bは、図1に示される偏光スプリッターの性能を示すグラフである。

【図4A】垂直向きおよび水平向き導波路要素の中間コア層の間にギャップを有する3つのコア層を利用する偏光スプリッターの概略図である。

【図4B】垂直向きおよび水平向き導波路要素の中間コア層の間にギャップを有する3つのコア層を利用する偏光スプリッターの概略図である。

【図4C】垂直向きおよび水平向き導波路要素の中間コア層の間にギャップを有する3つのコア層を利用する偏光スプリッターの概略図である。

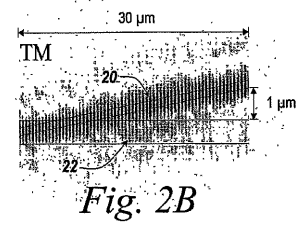
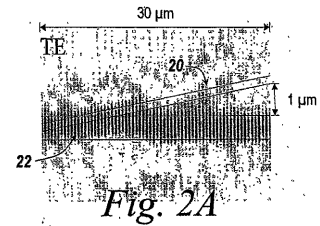
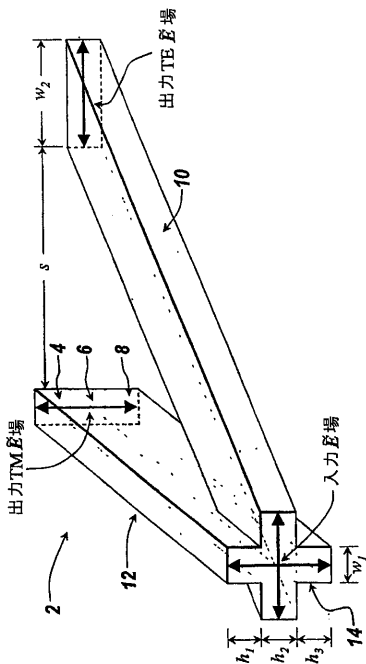
【図5】垂直向きおよび水平向き導波路要素の中間コア層の間にギャップを有する2つのコア層のみを利用する偏光スプリッターの概略図である。

【図6】図6Aは、図5に示される偏光スプリッターの性能を示すグラフである。図6Bは、図5に示される偏光スプリッターの性能を示すグラフである。

【図7A】構造への代替遷移領域を有する2つのコア層を利用する偏光スプリッターの概略図である。

【図7B】構造への代替遷移領域を有する2つのコア層を利用する偏光スプリッターの概略図である。

【図1】



10

20

【 図 3 】

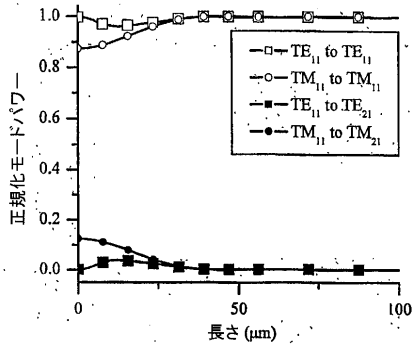


Fig. 3A

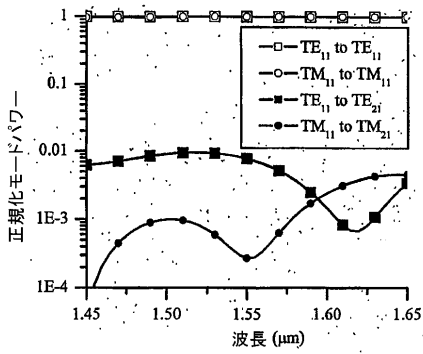
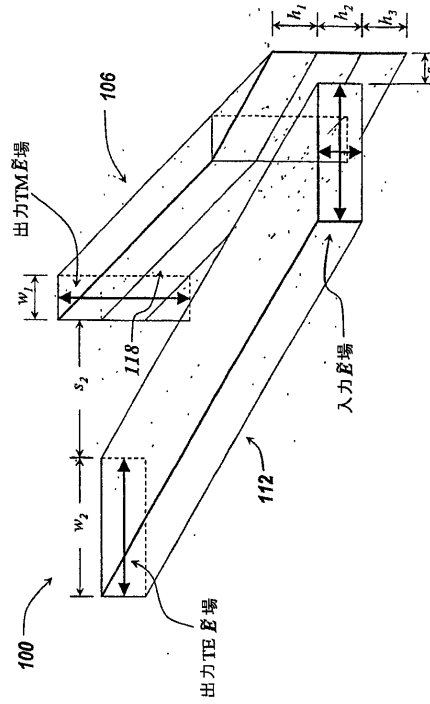
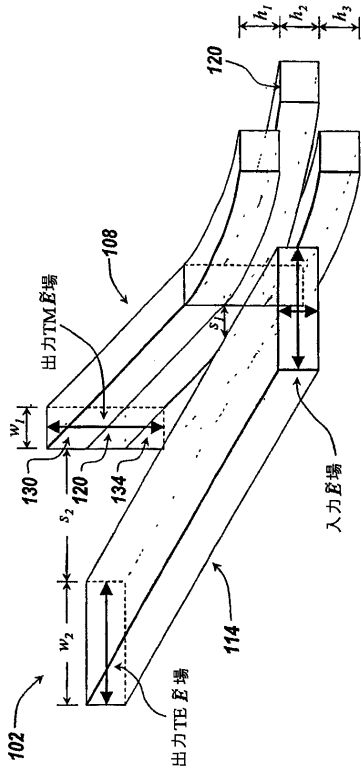


Fig. 3B

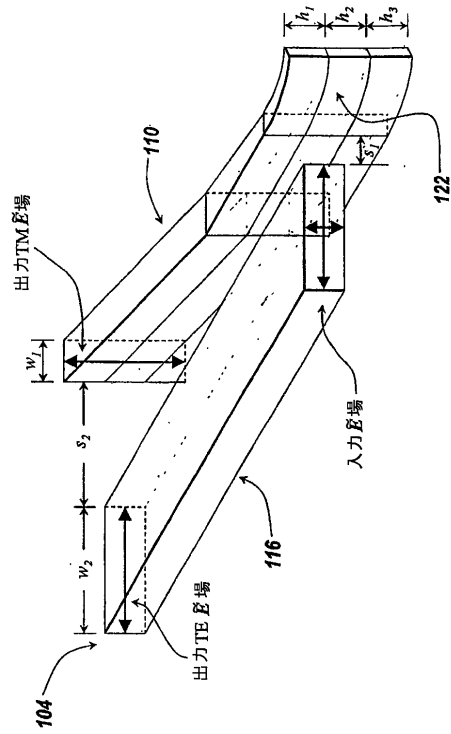
【 図 4 A 】



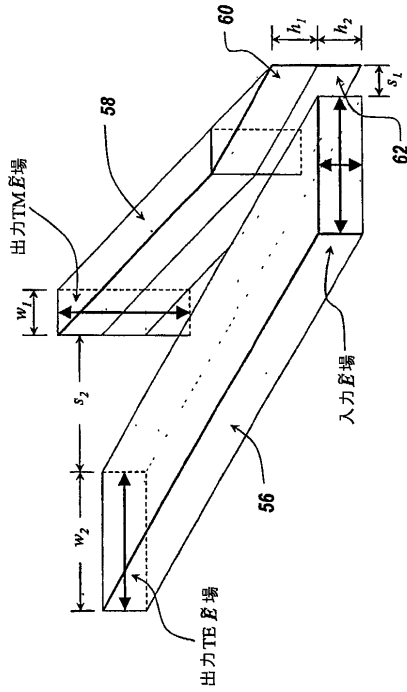
【 図 4 B 】



【 図 4 C 】



【 図 5 】



【 図 6 】

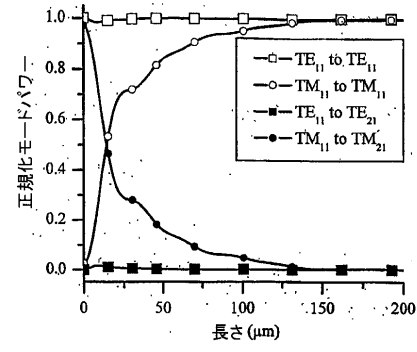


Fig. 6A

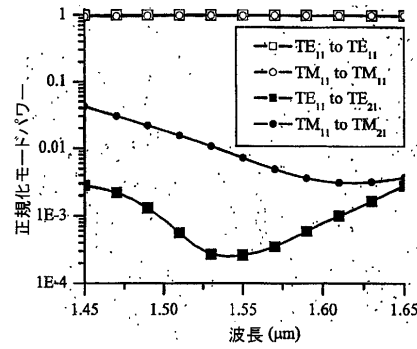
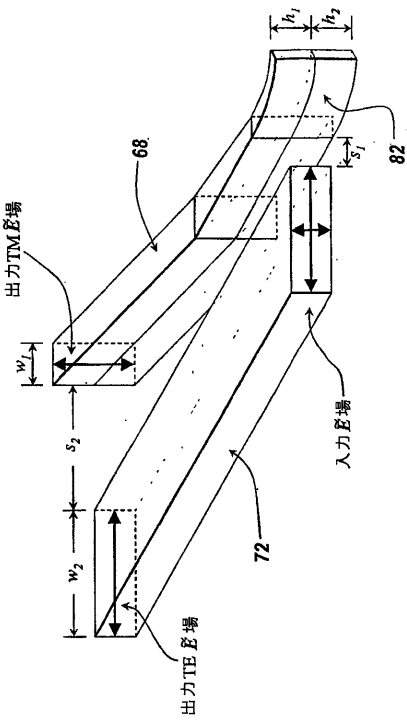
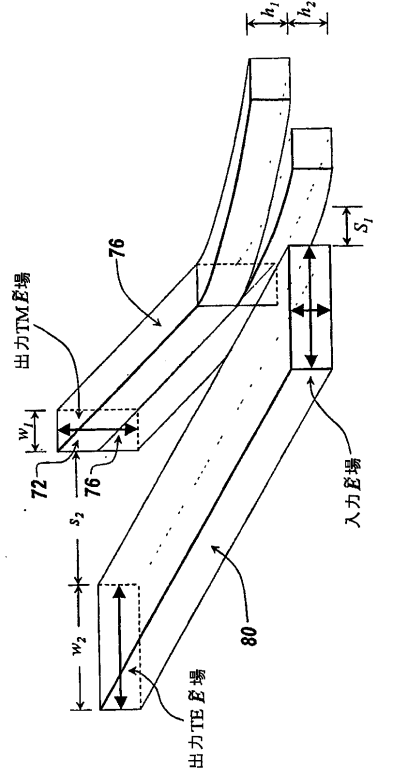


Fig. 6B

【 図 7 A 】



【 図 7 B 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 03/34607
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 602B6/10 602B6/12 602B6/28 602B27/28		
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) IPC 7 602B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 637 762 A (FUJIKURA LTD) 8 February 1995 (1995-02-08) page 12, line 29 -page 13, line 23; figures 11A-B, 20, 21	1-9
A	US 5 133 029 A (BARAN JANE E ET AL) 21 July 1992 (1992-07-21) the whole document	1-9
A	EP 0 202 629 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 26 November 1986 (1986-11-26) page 7 -page 9; figure 8	1,6,9
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the International filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the International search 28 April 2004		Date of mailing of the international search report 07/05/2004
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5816 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Andreassen, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/US 03/34607

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 387 (P-1576), 20 July 1993 (1993-07-20) -& JP 05 066362 A (KYOCERA CORP), 19 March 1993 (1993-03-19) abstract; figures 5A-D -----	1,6,9
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 167 (P-1031), 30 March 1990 (1990-03-30) -& JP 02 023306 A (SUMITOMO ELECTRIC IND LTD), 25 January 1990 (1990-01-25) abstract; figures 1-5 -----	3,7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 03/34607

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 0637762	A	08-02-1995	DE 69424606 D1	29-06-2000
			DE 69424606 T2	25-01-2001
			EP 0637762 A1	08-02-1995
			US 5689578 A	18-11-1997
			WO 9419714 A1	01-09-1994
US 5133029	A	21-07-1992	CA 2112387 A1	07-01-1993
			DE 69218772 D1	07-05-1997
			DE 69218772 T2	13-11-1997
			EP 0591381 A1	13-04-1994
			JP 6508937 T	06-10-1994
			WO 9300599 A1	07-01-1993
EP 0202629	A	26-11-1986	EP 0202629 A2	26-11-1986
			JP 61273509 A	03-12-1986
JP 05066362	A	19-03-1993	NONE	
JP 02023306	A	25-01-1990	NONE	

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, 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, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, 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, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74) 代理人 100080137

弁理士 千葉 昭男

(74) 代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74) 代理人 100107696

弁理士 西山 文俊

(72) 発明者 ワッツ, マイケル・アール

アメリカ合衆国マサチューセッツ州 0 2 0 4 3 , ヒンガム, イーストゲイト・レイン 2

Fターム(参考) 2H049 BA05 BA46 BC25