

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5772436号
(P5772436)

(45) 発行日 平成27年9月2日(2015.9.2)

(24) 登録日 平成27年7月10日(2015.7.10)

(51) Int.Cl.		F I	
G O 2 B	6/122	(2006.01)	G O 2 B 6/122
G O 2 B	6/42	(2006.01)	G O 2 B 6/42
G O 2 B	6/30	(2006.01)	G O 2 B 6/30

請求項の数 7 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2011-205648 (P2011-205648)
(22) 出願日	平成23年9月21日 (2011.9.21)
(65) 公開番号	特開2013-68692 (P2013-68692A)
(43) 公開日	平成25年4月18日 (2013.4.18)
審査請求日	平成26年5月15日 (2014.5.15)

(73) 特許権者	000000295 沖電気工業株式会社 東京都港区虎ノ門一丁目7番12号
(74) 代理人	100141955 弁理士 岡田 宏之
(74) 代理人	100085419 弁理士 大垣 孝
(72) 発明者	太繩 陽介 東京都港区虎ノ門一丁目7番12号 沖電気工業株式会社内

審査官 吉田 英一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光結合器及び光デバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

支持基板の第 1 主表面にクラッド及びコアが順次積層されて構成された光導波路と、
前記コアの上面上に設けられ、かつ前記光導波路を伝播する光の等価屈折率よりも屈折率が高い高屈折率層と

を具備、

前記高屈折率層の、前記コアの上面上に沿った平面形状は、前記光導波路から前記高屈折率層に入射する光の伝播方向に沿って幅が拡大するテーパ形状であり、

前記高屈折率層は、前記コアの上面上からの離間距離が、前記伝播方向に沿って連続的に狭まる反射面を有する

ことを特徴とする光結合器。

【請求項 2】

前記光導波路から前記高屈折率層に入射した光は、前記反射面によって反射され、前記支持基板を通過して、該支持基板の前記第 1 主表面と対向する第 2 主表面から出射され、

及び前記支持基板の前記第 1 主表面と対向する前記第 2 主表面から、該支持基板を通過して前記高屈折率層に入射する光は、前記反射面によって反射され、前記高屈折率層から前記光導波路に入射される

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光結合器。

【請求項 3】

前記光導波路から前記高屈折率層に入射した光の、前記反射面に対する入射角が臨界角

以上である

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光結合器。

【請求項 4】

前記反射面は、前記コアの上面に対して凹型の湾曲面であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の光結合器。

【請求項 5】

前記クラッドは、酸化シリコンを材料として形成され、
前記コアは、単結晶シリコンを材料として形成され、
前記高屈折率層は、アモルファスシリコン又は単結晶シリコンを材料として形成されている

10

ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の光結合器。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の光結合器の、前記支持基板の前記第 1 主表面と対向する前記第 2 主表面側に、該第 2 主表面から出射される光を受光する受光素子が設けられている

ことを特徴とする光デバイス。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の光結合器の、前記支持基板の前記第 1 主表面と対向する前記第 2 主表面側に、該第 2 主表面へ入射する光を発光する発光素子が設けられている

20

ことを特徴とする光デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、光導波路と、この光導波路の導波面から外れて設置された光学素子とを結合させる光結合器に関する。

【背景技術】

【0002】

種々の導波路型の光通信デバイスに、例えば光ファイバ、フォトダイオード（以下 PD）、又はレーザーダイオード（以下 LD）等の光学素子を光学的に結合させるために、例えば平面型の光導波路にグレーティングを形成する構造がある。グレーティングが形成された光導波路では、光導波路の導波面に沿って伝播する光を、導波面から外れた方向へ出射することができる。または、導波面から外れた方向から光導波路へ光を入射することができる。そのため、光導波路と、導波面から外れて設置された光学素子との間で、光の送受信を行うことができる。従って、上述した各光学素子を、光導波路の導波面に沿って設ける必要がない。そのため、光通信デバイスの小型化に有利である。

30

【0003】

ここで、グレーティングを利用した構造において、光学素子との結合効率を向上させるために、支持基板の主表面を Au（金）層で被覆し、この Au 層上に光導波路を形成した構造が知られている（例えば非特許文献 1）。

40

【0004】

また、結合効率を向上させる他の構造として、光導波路のグレーティングが形成されている領域を、Au 層で被覆した構造が知られている（例えば特許文献 1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2010 - 44290 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】“ Compact and Highly Efficient Gr

50

ating Couplers Between Optical Fiber and Nanophotonic Waveguides” Journal of Lightwave Technology, Vol. 25, No. 1, January 2007 pp. 151 - 156

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、非特許文献1に開示された光導波路を製造するためには、予め支持基板をAuで被覆しておく必要がある。そのため、製造プロセスが複雑化する。

【0008】

また、特許文献1及び非特許文献1に開示された光導波路では、いずれも高価なAuを利用するため、製造コストが増大する。

【0009】

この発明の目的は、平面型の光導波路と、この光導波路の導波面から外れて設置された光学素子とを結合させることができ、従来と比して、容易でかつ安価なコストで製造できる光結合器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上述の目的の達成を図るため、この発明による光結合器は、光導波路と高屈折率層とを具えている。

【0011】

光導波路は、支持基板の第1主表面にクラッド及びコアが順次積層されて構成されている。

【0012】

高屈折率層は、コアの上面上に設けられ、かつ光導波路を伝播する光の等価屈折率よりも屈折率が高く設定されている。また、高屈折率層の、コアの上面上に沿った平面形状は、光導波路から高屈折率層に入射する光の伝播方向に沿って幅が拡大するテーパ形状である。さらに、高屈折率層は、コアの上面上からの離間距離が、光導波路から高屈折率層に入射する光の伝播方向に沿って連続的に狭まる反射面を有する。

【発明の効果】

【0013】

この発明による光結合器では、高屈折率層の反射面で光を反射させることによって、光を光導波路の導波面から外れた方向へ出射することができる。または、光導波路の導波面から外れた方向から、光を光導波路に入射することができる。

【0014】

そして、この発明による光結合器では、上述した特許文献1及び非特許文献1に係る構造とは異なり、Au層を必要としない。従って、容易で、かつ安価なコストで製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】光結合器の斜視図である。

【図2】(A)は光結合器の平面図である。(B)及び(C)は光結合器の端面図である。

【図3】光結合器の端面図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図を参照して、この発明の実施の形態について説明するが、各構成要素の形状、大きさ及び配置関係については、この発明が理解できる程度に概略的に示したものに過ぎない。また、以下、この発明の好適な構成例につき説明するが、各構成要素の材質及び数値的条件などは、単なる好適例にすぎない。従って、この発明は以下の実施の形態に限定

10

20

30

40

50

されるものではなく、この発明の構成の範囲を逸脱せずにこの発明の効果を達成できる多くの変更又は変形を行うことができる。

【0017】

図1及び図2を参照して、この発明による光結合器について説明する。図1及び図2は、この発明による光結合器を示す模式図である。図1は、光結合器の斜視図である。また、図2(A)は、光結合器を、支持基板の第1主表面側から見た平面図である。また、図2(B)は、図2(A)に示すI-I線で切り取った切り口を示す端面図である。また、図2(C)は、図2(A)に示すI-I線で切り取った切り口を示す端面図であり、光結合部を拡大して示した図である。図2(C)では、切り口を示すハッチングを省略している。なお、ここでは、一例として、光が光結合器から出射する場合について説明する。

10

【0018】

光結合器10は、支持基板20と、光導波路30と、高屈折率層40とを具えている。

【0019】

支持基板20は、例えば単結晶シリコンを材料とした平板状体として構成されている。そして、支持基板20は、第1主表面20aと、この第1主表面20aに対向する第2主表面20bを有している。

【0020】

光導波路30は、支持基板20の第1主表面20aにクラッド31及びコア33が順次積層された、平面型の光導波路として形成されている。

【0021】

クラッド31は、支持基板20の第1主表面20aを被覆して形成されている。また、クラッド31は、例えば酸化シリコンを材料として形成されている。

20

【0022】

コア33は、クラッド31の上面31a上に、所望の平面形状にパターンニングされて形成されている。また、コア33は、後述する光結合部50を除く領域(以下、平面導波部)55では、上面33a及び側面33bが露出し、空気と接している。

【0023】

また、コア33は、クラッド31及び空気よりも高い屈折率を有する例えば単結晶シリコンを材料として形成されている。その結果、コア33が実質的な光の伝送路として機能し、光導波路30に入射された光がコア33の平面形状に応じた伝播方向に伝播する。なお、図中では、光導波路30を伝播する光の伝播方向を矢印100で示してある。また、平面導波部55を伝播する光を矢印51で示してある。

30

【0024】

高屈折率層40は、コア33の上面33a上に設けられている。そして、高屈折率層40が形成された領域では、光導波路30及び高屈折率層40の積層構造として光結合部50が構成されている。

【0025】

高屈折率層40は、光結合部50における光導波路30を伝播する光の等価屈折率よりも屈折率が高い材料で形成されている。すなわち、クラッド31の屈折率を n_1 、コア33の屈折率を n_2 、高屈折率層40の屈折率を n_3 、及び光結合部50における光の等価屈折率を n_{eff} としたとき、これら各屈折率の関係が、 $n_1 < n_{eff} < n_3 < n_2$ 、 $n_1 < n_{eff} < n_3 = n_2$ 、又は $n_1 < n_{eff} < n_2 < n_3$ のいずれかの条件を満たす。その結果、光導波路30を伝播する光は、光結合部50において、光導波路30から高屈折率層40へ入射される(図2(B)及び(C)において、高屈折率層40へ入射された光を矢印52で示す)。クラッド31を酸化シリコンで、及びコア33を単結晶シリコンでそれぞれ形成してある場合には、上述した条件を満たすために、高屈折率層40を例えばアモルファスシリコン又は単結晶シリコンで形成することができる。高屈折率層40をアモルファスシリコンで形成した場合には、各屈折率の関係は、 $n_1 < n_{eff} < n_3 < n_2$ となる。また、高屈折率層40を単結晶シリコンで形成した場合には、各屈折率の関係は、 $n_1 < n_{eff} < n_3 = n_2$ となる。なお、クラッド31、コア33、及び高

40

50

屈折率層 40 の各材料は、上述した条件を満たし、かつ光結合器 10 に入力される光の波長に対して透明であればよく、任意好適なものを用いることができる。

【0026】

また、高屈折率層 40 は、コア 33 の上面 33 a と対向する反射面 40 a を有している。

【0027】

反射面 40 a は、コア 33 の上面 33 a からの離間距離が光の伝播方向 100 に沿って連続的に狭まる傾斜面として設計されている。高屈折率層 40 へ入射された光 S2 は、この反射面 40 a によって反射され、支持基板 20 を通過して、支持基板 20 の第 2 主表面 20 b から出射される（図 2（B）及び（C）において、反射面 40 a によって反射された光を矢印 S3 で示す）。

10

【0028】

反射面 40 a は、例えばコア 33 の上面 33 a に対して凹型の湾曲面（すなわちレンズ面）、又は平坦面として形成されている。図 1 及び図 2 では、反射面 40 a をレンズ面とした構成例を示している。反射面 40 a をレンズ面とした場合には、第 2 主表面 20 b から出射される光 S3 を集光することができるため、結合効率を向上させることができる。

【0029】

また、反射面 40 a の曲率半径、又はコア 33 の上面 33 a の傾斜角を、高屈折率層 40 に入射した光 S2 の反射面 40 a に対する入射角（図 2（C）中に示す）が臨界角以上となるように設計するのが好ましい。入射角を臨界角以上に設定することによって、反射面 40 a へ入射する光 S2 を全反射させることができる。そのため、光 S2 に対する光 S3 の光欠損を防止することができ、結合効率を向上させることができる。なお、入射角は、光 S2 の入射点における、反射面 40 a に対する法線 43 と、光 S2 の光線とがなす角である。

20

【0030】

また、光結合部 50 では、コア 33 及び高屈折率層 40 の平面形状を、光の伝播方向 100 に沿って幅が拡大するテーパ形状とすることができる。そして、このテーパ形状における幅を調節することによって、第 2 主表面 20 b から出射される光 S3 の光界分布を調節することができる。

【0031】

第 2 主表面 20 b から出射された光 S3 は、受光素子 70 に受光される。受光素子 70 は、光 S3 の光路と交わる位置に位置決めされて第 2 主表面 20 b 側に設けられている。受光素子 70 として、例えば PD を用いることができる。

30

【0032】

また、光 S3 が第 2 主表面 20 b において反射するのを防止するために、第 2 主表面 20 b の、光 S3 の光路と交わる位置に反射防止膜 60 を形成するのが好ましい。

【0033】

反射防止膜 60 は、例えば単結晶シリコンと酸化シリコンとを交互に複数積層した多層膜とすることができる。

【0034】

なお、上述した例では、光 S3 を受光素子 70 によって受光する構成について説明したが、受光素子 70 の位置に例えば光ファイバを設置し、光ファイバに光 S3 を入射させることもできる。

40

【0035】

また、ここでは、光導波路 30 を伝播する光を、第 2 主表面 20 b から出射する場合について説明したが、光の伝播経路は可逆であるため、第 2 主表面 20 b から光結合器 10 へ入射した光を、光導波路 30 へ入射することもできる。

【0036】

図 3 は、光を光結合器 10 へ入射する場合の構成例を説明する図であり、図 2（B）に対応する端面図である。

50

【 0 0 3 7 】

第2主表面20bから光結合器10に光を入射する場合には、支持基板20の第2主表面20b側に、第2主表面20bへ入射する光を発光する発光素子80を設ける。発光素子80は、上述した受光素子70に対応する位置に設置される。発光素子80として、例えばLDを用いることができる。

【 0 0 3 8 】

発光素子80が発光した光は、第2主表面20bから、支持基板20を通過して、光結合部50の高屈折率層40に入射される(図3において、高屈折率層40に入射される光を矢印S4で示す)。

【 0 0 3 9 】

既に説明したように、光結合部50では、コア33及び高屈折率層40の平面形状がテーパ形状となっている。このテーパ形状における幅を、光S4の光界分布に対応して調節することによって、高屈折率層40に入射される光S4の光欠損を抑制することができる。

【 0 0 4 0 】

高屈折率層40に入射された光S4は、反射面40aによって反射される(図3において、反射面40aによって反射された光を矢印S5で示す)。

【 0 0 4 1 】

反射面40aによって反射された光S5は、高屈折率層40から光導波路30に入射される(図3において、光導波路30に入射された光を矢印S6で示す)。

【 0 0 4 2 】

なお、上述した例では、発光素子80から発光された光S5を第2主表面20bへ入射する構成について説明したが、発光素子80の位置に例えば光ファイバを設置し、光ファイバからの光S5を第2主表面20bへ入射することもできる。

【 0 0 4 3 】

図1～3を参照して説明した光結合器10は、周知のSOI(Silicon On Insulator)基板を利用することによって製造することができる。

【 0 0 4 4 】

すなわち、まず、支持基板層、酸化シリコン層、及び単結晶シリコン層(SOI層)が順次積層されて構成されたSOI基板を用意する。ここで、支持基板層を研磨することによって、予め厚さを調節しておくことができる。

【 0 0 4 5 】

次に、例えば周知のエッチング技術を用いて、SOI層を所望のコア33の平面形状にパターンニングする。このパターンニングされたSOI層をコア33とする。その結果、支持基板20としての支持基板層上に、クラッド31としての酸化シリコン層、及びコア33が積層されて構成された光導波路30を形成することができる。

【 0 0 4 6 】

次に、例えば周知のスパッタ法又はエピタキシャル成長法を用いて、コア33の上面33aに高屈折率層40の材料層を形成する。

【 0 0 4 7 】

次に、周知のエッチング技術を用いて、材料層をパターンニングする。このパターンニングにおいて、上述した反射面40aに対応した傾斜面を有するレジストマスクを用いることによって、傾斜面である反射面40aを有する高屈折率層40を形成することができる。なお、傾斜面を有するレジストマスクは、グレースケールの露光マスクを用いてレジストを露光することによって作成することができる。

【 0 0 4 8 】

このように、光結合器10は、周知のSOI基板を利用することによって、容易に製造することができる。

【 0 0 4 9 】

以上説明したように、光結合器10では、光結合部50において、高屈折率層40の反射面40aで光S2を反射させることによって、平面導波部55における光導波路30の

10

20

30

40

50

導波面から外れた方向へ、光を出射することができる。または、平面導波部 55 における導波面から外れた方向から、光を光導波路に入射することができる。

【0050】

また、上述した特許文献 1 及び非特許文献 1 に係る構造とは異なり、Au 層を形成せず、かつ周知の SOI 基板を利用することによって製造することができる。従って、製造が容易であり、また、安価なコストで製造することができる。

【0051】

ここで、発明者らは、光結合器 10 の特性を評価するために、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法を用いてシミュレーションを行った。

10

【0052】

このシミュレーションでは、光結合器 10 が送受信する光の波長を $1.5 \mu\text{m}$ とした。また、図 2 (A) 及び (B) の構成例に示す各構成要素の寸法を以下のように設定した。すなわち、支持基板 20 の厚さ $H1$ を $50 \mu\text{m}$ 、クラッド 31 の厚さ $H2$ を $2.1 \mu\text{m}$ 、コア 33 の厚さ $H3$ を $0.3 \mu\text{m}$ 、及び反射面 40a とコア 33 の上面 33a との最大離間距離 $H4$ を $3.3 \mu\text{m}$ とした。また、光の伝播方向 100 に沿った光結合部 50 の長さ $L1$ を $9.6 \mu\text{m}$ とした。また、支持基板 20 及びコア 33 を単結晶シリコン (屈折率: 3.52)、クラッド 31 を酸化シリコン (屈折率: 1.44)、及び高屈折率層 40 をアモルファスシリコン (屈折率: 3.48) でそれぞれ構成した。また、反射面 40a を、曲率半径が $27 \mu\text{m}$ の湾曲面とした。

20

【0053】

まず、光を光結合器 10 から出射する構成例 (図 2 (B)) の結合効率として、平面導波部 55 を伝播する光 S1 に対する、第 2 主表面 20b から出射される光 S3 の強度の割合を計算した。その結果、光 S1 に対する光 S3 の強度は約 90% となった。

【0054】

次に、光を光結合器 10 へ入射する構成例 (図 3) の結合効率として、高屈折率層 40 に入射される光 S4 に対する、光導波路 30 に入射された光 S6 の強度の割合を計算した。なお、直径 $5 \mu\text{m}$ のコアを有する光ファイバから、光 S4 を光結合器 10 へ入射する場合について計算した。その結果、光 S4 に対する光 S6 の強度は約 70% となった。

【0055】

30

ここで、例えば特許文献 1 では、上述したグレーティング及び Au 層を利用した構造によって、60% の結合効率を得られることが開示されている。従って、上述したシミュレーションから、この発明による光結合器 10 では、特許文献 1 に係る構造と比して、より優れた結合効率を得られることが明らかとなった。

【符号の説明】

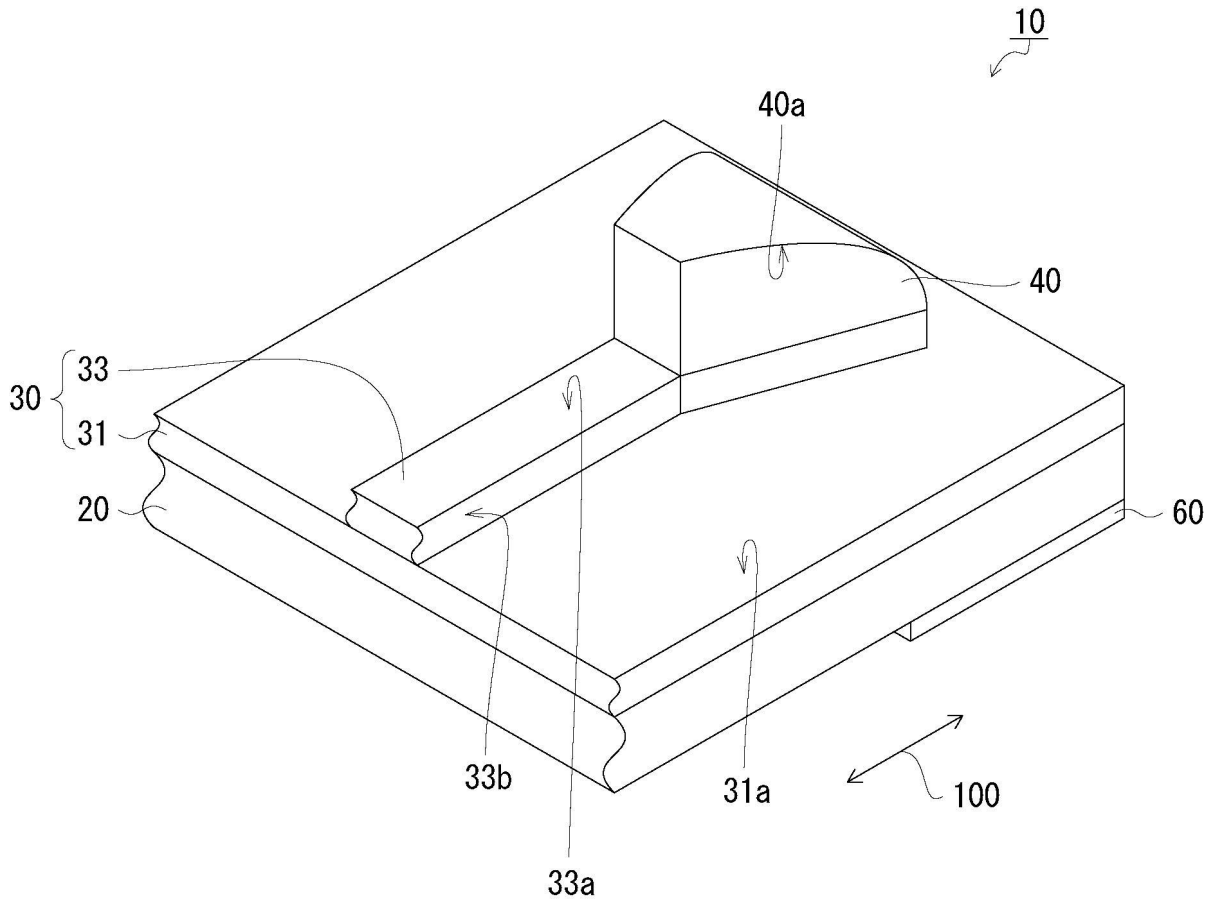
【0056】

- 10 : 光結合器
- 20 : 支持基板
- 20a : 第 1 主表面
- 20b : 第 2 主表面
- 30 : 光導波路
- 31 : クラッド
- 33 : コア
- 40 : 高屈折率層
- 40a : 反射面
- 50 : 光結合部
- 55 : 平面導波部
- 60 : 反射防止膜
- 70 : 受光素子
- 80 : 発光素子

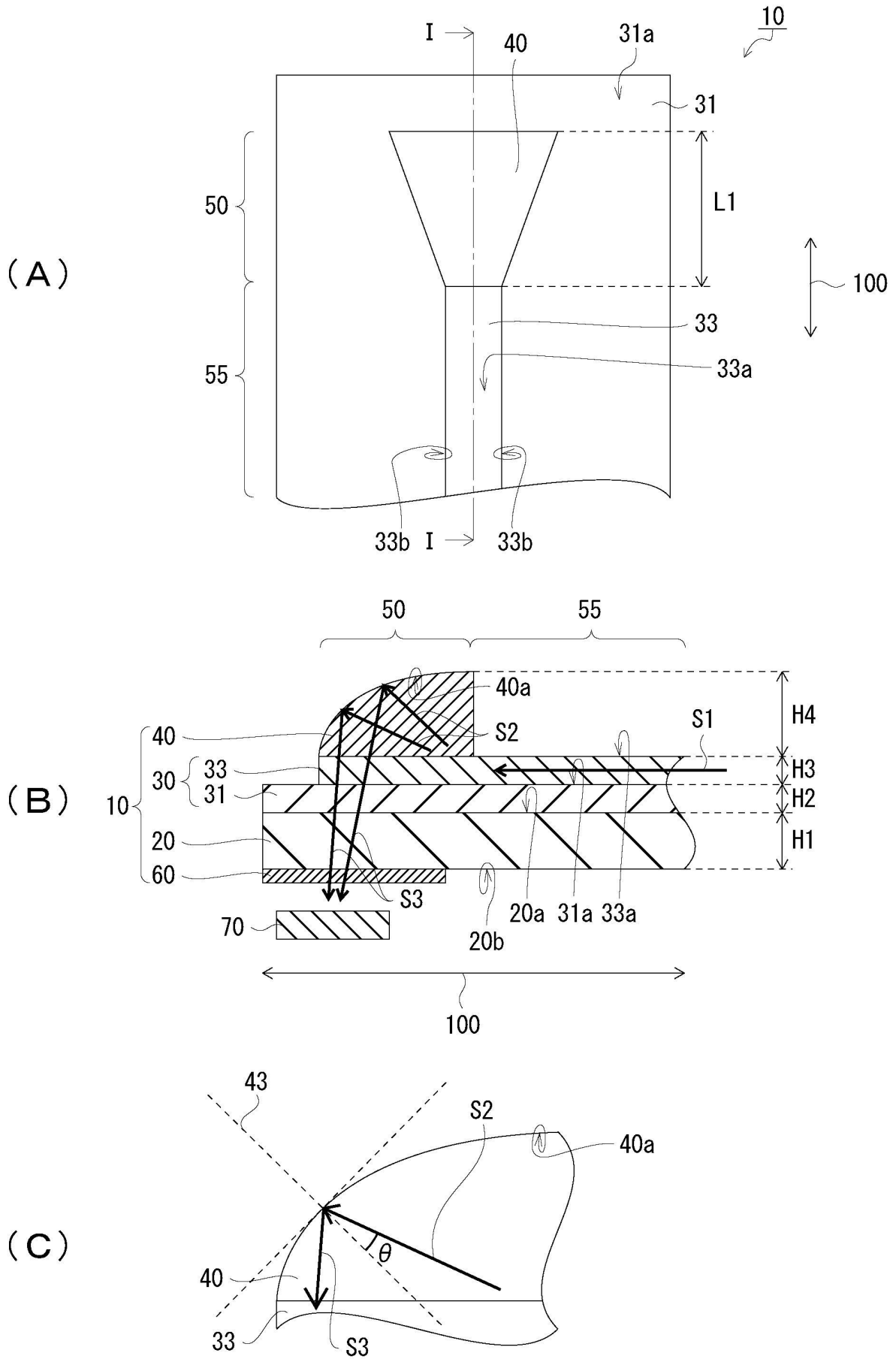
40

50

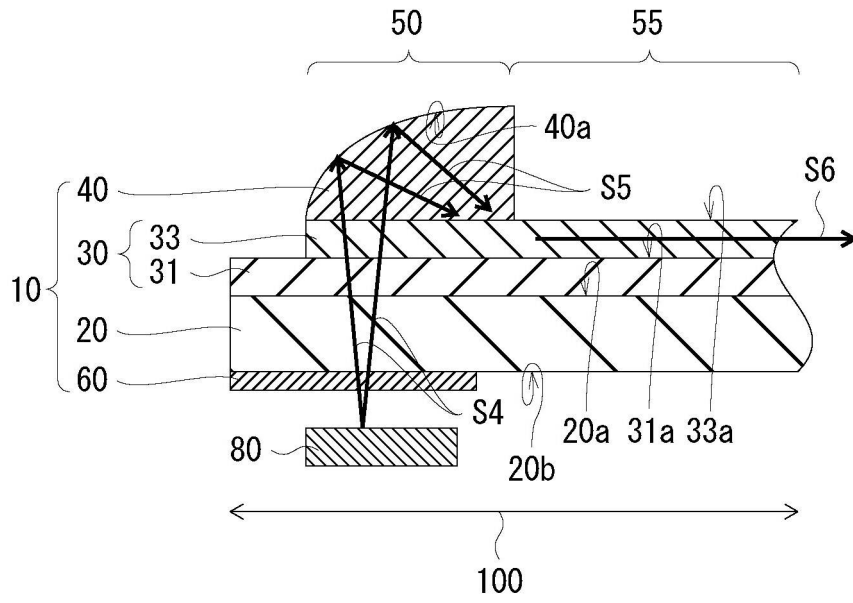
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-011046(JP,A)
特開2001-091794(JP,A)
特開平02-287411(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	6/122
G02B	6/12
G02B	6/30
G02B	6/42