(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2008 年9 月18 日 (18.09.2008)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2008/111407 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/01 (2006.01) *G02B 6/13* (2006.01)
G02B 6/122 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2008/053608

(22) 国際出願日: 2008 年2 月29 日 (29.02.2008)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2007-060167 2007 年3 月9 日 (09.03.2007) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五丁目７番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高橋 森生 (TAKAHASHI, Morio) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 渡邊 真也 (WATANABE, Shinya) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五丁目７番１号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山下 穣平 (YAMASHITA, Johei); 〒1050001 東京都港区虎ノ門五丁目１３番１号虎ノ門４０ＭＴビル 山下国際特許事務所 Tokyo (JP).

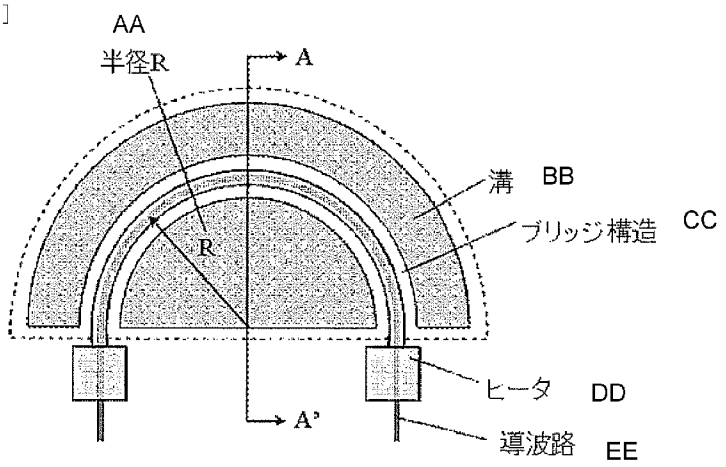
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) **Title:** THERMO-OPTICAL PHASE SHIFTER

(54) **発明の名称:** 熱光学位相シフタ

［図1］



AA RADIUS R
BB GROOVE
CC BRIDGE STRUCTURE
DD HEATER
EE WAVEGUIDE

(57) **Abstract:** Provided is a thermo-optical phase shifter including a composite body having an optical waveguide formed by a core and a clad and having a ratio Δ of a difference between a core refractivity and a clad refractivity against the core refractivity which is 4% or above and a heater attached to the optical waveguide. The composite body has: a bridge structure portion arranged along a substrate surface and separate from the substrate surface via a void; and a fixed portion which supports the bridge structure portion with respect to the substrate and is continuous to the both ends of the bridge structure portion. The bridge structure has a half-circle-arc shape in the plane along the surface of the substrate.

(57) 要約: コアおよびクラッドからなり且つコア屈折率とクラッド屈折率との差のコア屈折率に対する比Δが４％以上の光導波路と、それに付されたヒータとを含んでなる複合体を備えた熱光学位相シフタ。複合

[続葉有]

WO 2008/111407 A1

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

体は、空隙により基板の表面から隔てられ基板表面に沿って配置されたブリッジ構造部と、基板に対してブリッジ構造部を支持しその両端部に連なる固定部とからなる。ブリッジ構造部は、基板の表面に沿った面内の形状が半円弧形状をなす。

明 細 書

熱光学位相シフタ

技術分野

[0001] 本発明は、熱光学位相シフタに関し、特に低消費電力化のために採用されるブリッジ構造を有する熱光学位相シフタに関する。

背景技術

[0002] 光通信分野における多チャンネル化は、波長分割多重(WDM:Wavelength Division Multiplexing)通信方式の出現により急速に促進されている。それに伴い、チャンネル毎の機能的な制御、例えば各チャンネルのパワーを一定に揃えたり、経路スイッチングを行ったりといったことを実現しようとすると、チャンネル数に応じた数の光素子が必要となってくる。

[0003] このため、近時、光スイッチ等に適用でき、高密度集積が可能な小型光回路部品の必要性が高まっている。その中でも、熱光学位相シフタを利用した平面光波回路型デバイス(PLC:Planer Lightwave Circuit)は、その作製プロセスに半導体回路の作製技術を利用できることから、作製の容易さ及び集積性が極めて優れており、高機能化・大規模化にも有利であるという特長をもつ。

[0004] 通常、熱光学位相シフタは次のようにして作製される。先ず、基板上にクラッド層及びコアからなる光導波路を作製する。そして、この光導波路上に金属薄膜等を成膜し、これを光導波路に沿った細線形状に加工し、得られた細線状金属薄膜に通電できるようにする。この細線状金属薄膜に外部電源から電力を投入すると、細線状金属薄膜の電気抵抗により熱が発生する。すなわち、細線状金属薄膜は光導波路の加熱のためのヒータとして動作する。このヒータにおいて発生した熱は、光導波路のクラッド層を伝わりコアに達する。その結果、光導波路におけるヒータで加熱された部分の屈折率が増加し、この屈折率変化を利用して光スイッチ等の機能性光デバイスを実現することができる。

[0005] しかしながら、多チャンネル化に対応するために、1つの光回路内に複数の熱光学位相シフタを配置する場合には、1つの熱光学位相シフタが消費する電力が大きい

と、光回路全体の消費電力が極めて大きくなってしまう。これまでに実用化された熱光学位相シフタにおいては、例えばマッハツェンダ型光スイッチの場合、1チャンネルの光をスイッチングさせるために必要な消費電力は400mW程度であった。従って、例えば40チャンネルの光通信回路を制御するために、各チャンネルに、前述の熱光学位相シフタを利用した光スイッチを設けたとすると、最大で40×400mW＝16000mW＝16Wもの電力を必要とする。実際には全てのチャンネルの経路設定などを行うため、チャンネル数の2乗程度の光スイッチ規模が必要となることも少なくない。この場合は最大40×40×400mW＝640Wもの消費電力に達してしまう。

[0006] そこで、熱光学位相シフタの消費電力を低減するために、ヒータが発した熱が基板に逃げるのを防止することを目的として、光導波路の下方に位置する犠牲層を除去し、光導波路をブリッジ構造にすることが提案されている(例えば、特開2004－37524号公報[特許文献1]参照)。このような技術により、ヒータで発生させた熱を効率よく光導波路に閉じ込めて利用することができ、熱光学位相シフタの消費電力を大幅に低減することが可能である。

[0007] さらに、最近では、より小型で高密度な集積光デバイスの実現を目指して、高Δ光導波路技術の進展が目覚しい。すなわち、光導波路コア内への光の閉じ込めを一層強め、曲げ損失を極限まで低減することにより、これまでの光導波路デバイスで冗長であった曲がり導波路を大幅に削減ないし短縮することができる。この高Δ光導波路を実現するにあたり、これまでの光導波路コア材料では限界があり、新たなコア材料としてSiONやSiなどが用いられている。

[0008] 以上のように、装置性能として低消費電力かつ小型集積化が現在強く求められており、上記2つの技術、すなわちブリッジ構造による断熱化技術と、高Δ光導波路技術とが重要な技術として注目されている。

[0009] しかし、これらの技術の組み合わせには、以下に示すような技術的課題がある。

[0010] 高Δ光導波路を実現するための光導波路コア材料は、クラッド材料とは熱膨張係数が大きく異なり、また作製プロセスもこれまでとは大きく異なる。例えば屈折率調整範囲が広く、高屈折率化に適したSiONを光導波路コア材料として用いる場合、光通信で利用される赤外波長域1500nm近辺にO－H結合やSiONに特有のN－H結

合に起因する赤外吸収が存在し、吸収損失が大きくなってしまう。このような吸収損失を低減するためには、1000℃を超える温度でアニール処理を行う必要がある。このような高温アニールを行うことによりガラス膜が密になり、信頼性に優れたデバイスを作製することが可能になる。しかし、異種材料が接触する状態で高温アニールを行うために、熱膨張係数差に応じた非常に大きな残留応力が光導波路内部に発生してしまう。そのため、従来の低Δ導波路と同様のブリッジ構造を形成しても、ブリッジ化と同時に基板にて支えられていた光導波路部が自由に応力変形できるようになり、その結果、光導波路ブリッジ構造が破壊されるという問題点が発生する。破壊される部分はブリッジ構造部とそれを両端にて基板に支える固定部との接続箇所が多く、この破壊は、応力変形をしようとするブリッジ構造の力が接続箇所に集中してしまうことによるものである。しかも、上記特許文献1に実施例として具体的に記載されているように、光導波路およびヒータを含むブリッジ構造部が直線形状であると、応力変形の方向が基板に近づく方になるか離れる方になるか、または基板に平行な方向に変形するかどうかが予測できず、ブリッジ構造部が基板から分離された瞬間の周囲の状況や構造のバランスによって変形方向が異なる。したがって、たとえブリッジ構造が破壊されずに残留したとしても、低消費電力性能および高い光学特性を持つ熱光学位相シフタを安定して作製することが困難である。

[0011] 特許文献1には、ブリッジ構造部の上下方向の自由度を低減するために、ブリッジ構造部を支柱で支持することが記載されている(図3他)。

[0012] 尚、特許文献1には、光導波路コアを所望の温度に上昇させ屈折率変化を誘起できる熱が発生できれば、ヒータが曲線形状であってもよいとの記載がある(段落[0095])。また、特許文献1には、光導波路コアを曲線状にするとの記載がある(請求項1他))。しかしながら、特許文献1には、ブリッジ構造部を曲線形状とすることについての記載とくに高Δ光導波路を用いたブリッジ構造部を曲線形状とすることについての記載、およびブリッジ構造部の形状を特定することで残留応力の低減および構造破壊の防止を図ること特に高Δ光導波路を用いたブリッジ構造部の残留応力の低減および構造破壊の防止を図ることについての記載はない。

[0013] 一方、光通信で用いられる光導波路において、曲がり部分をリッジ構造にすること

で、曲がり部分の曲率半径を小さくしても光損失が抑えられるようにすることが提案されている(例えば、特開2004－287093号公報[特許文献2]参照)。しかしながら、特許文献2には、光導波路およびヒータを含むブリッジ構造を形成することおよび該ブリッジ構造の形状を特定することで残留応力の低減および構造破壊の防止を図ること特に高Δ光導波路を用いたブリッジ構造部の残留応力の低減および構造破壊の防止を図ることについての記載はない。

特許文献1:特開2004－37524号公報

特許文献2:特開2004－287093号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0014] 上記特許文献1に記載されているようにブリッジ構造部を支柱で支持することで、構造破壊抑制の機能は発揮される。しかし、更なるブリッジ構造安定化とくに高Δ光導波路を用いたブリッジ構造に好適な安定化の手法が求められている。

[0015] 本発明は、かかる技術的課題に鑑みてなされたものであって、安定した構造で、光学特性や低消費電力性能に対する悪影響が少なく、とくに高Δ光導波路を用いたブリッジ構造に好適で、作製が容易なブリッジ構造型の熱光学位相シフタを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0016] 本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、

コアおよびクラッドからなる光導波路と該光導波路に付されたヒータとを含んでなる複合体を備えた熱光学位相シフタであって、

前記複合体は、空隙により基板の表面から隔てられ該基板表面に沿って配置されたブリッジ構造部と、前記基板に対して前記ブリッジ構造部を支持し該ブリッジ構造部の両端部に連なる固定部とからなり、

前記ブリッジ構造部は、前記基板の表面に沿った面内の形状が曲線形状をなすことを特徴とする熱光学位相シフタ、

が提供される。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、光導波路とヒータとを含んでなる複合体をブリッジ構造部とその両端部に連なる固定部とからなるものとし、ブリッジ構造部の基板表面に沿った面内の形状が曲線形状をなすようにしたことで、基板の束縛から解放されたブリッジ構造部が内部応力で変形した場合でも、その曲線形状の曲率半径が若干変化することによりブリッジ構造部全体で分散して変形力を吸収することが可能になる。その結果、安定な構造で低消費電力の熱光学位相シフタを実現することができる。

[0018] 本発明の一態様においては、前記ブリッジ構造部の曲線形状が円弧形状又はその組み合わせの形状である。このようにブリッジ構造部を曲率半径が一定の円弧形状またはその組み合わせからなるものとすることで、変形力をブリッジ構造部全体に亘って良好な均一性をもって分散させることができ、より安定な構造を実現することができる。

[0019] 本発明の一態様においては、前記ブリッジ構造部の円弧形状は曲率中心に対して張る角度が45～180° である。この角度範囲内であれば、円弧形状が直線から十分且つ適度に離れたものとなり、構造安定化を簡素化された構成で達成することができる。

[0020] 本発明の一態様においては、前記ブリッジ構造部の曲線形状は曲率半径が0．05～1mmである。この範囲内であれば、ブリッジ構造部が高Δ光導波路を用いたものであっても、適度に小型化され且つ構造安定化された熱光学位相シフタを容易に作製することができる。

[0021] 本発明の一態様においては、前記光導波路は、前記コアの屈折率と前記クラッドの屈折率との差の前記コアの屈折率に対する比（Δ）が4％以上である。本発明は、このような特に高いΔの光導波路を用いた熱光学位相シフタにおいても、十分に上記目的を達成することができる。

[0022] 本発明の一態様においては、前記光導波路のクラッドがガラス材料からなる。ガラスとしては、BPSG（ボロンリンドープシリカガラス）、PSG（リンドープシリカガラス）およびNSG（ノンドープシリカガラス）が例示される。ガラス材料は、緻密で安定性に優れているが、内部応力や変形力に対して脆いという難点がある。しかし、本発明は、この

ようなガラス材料を使用したものに対しての構造安定化の改善効果が顕著である。かくして、本発明によれば、構造安定性を確保することで、優れた点を有するガラス材料の応用範囲が広がり、低消費電力熱光学位相シフタの機能性を十分に発揮することができる。

[0023] 本発明の一態様においては、前記光導波路のコアがSiONまたはSiからなる。特にシリコン系高Δ光導波路コア材料は、半導体電子デバイスにおける技術的蓄積が多く、光導波路のデバイス作製においても多くの製造技術とノウハウが生かされている。

[0024] 以上のように、光導波路には、電子デバイスにはない特有の問題もある。光導波路においてはガラス膜の膜厚が電子デバイスのそれと比較して非常に厚く、また、ブリッジ構造においては、基本的には、その両端のみで基板に対する支持を行うため、高温熱処理時に熱膨張係数差により生じる内部応力をガラス膜内部の形状変化をもって相殺する必要がある。本発明はそのような内部応力の大きな光導波路において特に有効であり、安定性・信頼性に優れた低消費電力熱光学位相シフタを実現することができる。

[0025] 本発明の一態様においては、前記ブリッジ構造部をその両端部の間において前記基板に対して支持する少なくとも1つの支持部を備える。この支持部は、ブリッジ構造部の形成のための空隙形成の際に使用される犠牲層の一部を残留させることで、容易に形成することができる。本発明の一態様においては、前記固定部と前記支持部との間または互いに隣接する2つの前記支持部の間の前記光導波路の長さが0．5～2mmである。このような支持部を設けることにより、ブリッジ構造部の長さが2mmを超えて長い場合であっても、ブリッジ構造部の過度な変形を抑制して、安定な構造を維持することが可能になる。すなわち、曲がり導波路の損失を減らすために高Δ化を進めると、より光導波路内部のコア部とクラッド部との熱膨張率差および光導波路部と基板との熱膨張率差が拡大し、ブリッジ化した際に応力により破壊される可能性が高くなるが、上記支持部を設けることで、高Δ化を進めることで変形力が大きくなってもブリッジ構造を安定して保つことができ、信頼性に優れた低消費電力熱光学位相シフタを実現することができる。また、基板から光導波路部が分離しているブリッジ構

造部は、その長さが長すぎると、自重などにより基板に接触する可能性が高まるが、ブリッジ構造部の長さ2mm以下の如何なる部分も支持部または固定部により直接支持されるようにすれば、ブリッジ構造部を良好に支えることができる。かくして、ブリッジ構造部が基板に接触することがなくなり、低消費電力構造を維持した熱光学位相シフタを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第1の実施形態の上面図である。

[図2]図1のA－A'断面図である。

[図3]第1の実施形態の熱光学位相シフタの作製方法の一例を説明するための工程断面図である。

[図4]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第2の実施形態の上面図である。

[図5]図4のB－B'断面図である。

[図6]第2の実施形態に関連する低消費電力熱光学位相シフタの上面図である。

[図7]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第3の実施形態の上面図である。

[図8]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第4の実施形態の上面図である。

[図9]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第5の実施形態の上面図である。

[図10]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第6の実施形態の上面図である。

[図11]第6の実施形態の低消費電力熱光学位相シフタを適用した第1のマッハツェンダ干渉計光回路を示す上面図である。

[図12]第6の実施形態の低消費電力熱光学位相シフタを適用した第2のマッハツェンダ干渉計光回路を示す上面図である。

[図13]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第7の実施形態の上面図である。

[図14]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第8の実施形態を適用した第1のリング光共振器回路の上面図である。

[図15]第8の実施形態を適用した第2のリング光共振器回路の上面図である。

[図16]第8の実施形態を適用した第3のリング光共振器回路の上面図である。

[図17]本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第9の実施形態の断面図である。

符号の説明

[0027] 1 基板

2 犠牲層

3 下側クラッド層

4 コア層

5 上側クラッド層

6 ヒータ

7 レジスト

8 溝

発明を実施するための最良の形態

[0028] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。

[0029] (実施形態1)

図1は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第1の実施形態の上面図である。図2は、図1のA－A'断面図である。図3は、本実施形態の熱光学位相シフタの作製方法の一例を説明するための工程断面図である。

[0030] 本実施形態の熱光学位相シフタの作製に際しては、まず、図3(a)で示されるように、Si基板1上に、ブリッジ構造部の形成のための空隙形成の際に使用される犠牲層(たとえばPSG;リンドープシリカガラス等のガラス材料からなる)2を成膜する。ここで、基板1は、光導波路の材料や最終製品スペック等により適宜その材質を変更することができ、例えばガラス基板やポリマー基板であってもよい。犠牲層2の成膜後、その上に光導波路を形成するために、下側クラッド層[下クラッド](たとえばBPSG;ボロンリンドープシリカガラスからなる)3および光導波路コア層[コア](たとえばSiONまたはSiからなる)4を成膜する。コア層4は実現したい光回路に合わせてフォトリソグラフィと反応性イオンエッチング(RIE)とによりパターニングされる。コア層4は、ブリッジ構造の部分[ブリッジ構造部]においては、図1に示すような半円弧形にパターニングされる。光導波路コア4のパターニング後、上側クラッド層[上クラッド](たとえばBPSG等のガラス材料からなる)5を成膜する。これにより、光回路の作製が完了する。

[0031] 例えば、Δ5%程度(上下クラッド層屈折率1．45に対してSiONコア層屈折率1．53程度)の高Δ光導波路を形成する場合、上下クラッド層3，5は膜厚8μm、コア層4

は膜厚2μmおよび幅2μm(すなわち光導波路の延在方向と直交する断面における寸法が2μm角)に設定される。上記半円弧形の曲率半径は例えば600μmとする。これによれば、曲がり損失はほとんど発生しない。犠牲層2の膜厚は、低消費電力性能に大きく影響を与えるが、例えば3μmに設定される。これにより、この熱光学位相シフタを例えばマッハツェンダ型光スイッチに適用した場合、必要な消費電力を従来の約1／20(約20mW)にすることができる。

[0032] また、上側クラッド層5の表面には、光導波路コア加熱用の薄膜金属ヒータ6が光導波路コア層4に沿って形成される。これにより、コア層4および上下クラッド層3，5からなる光導波路と該光導波路に付されたヒータ6とを含んでなる複合体が形成される。ヒータ6として、コア層4に対応する曲率半径の半円弧形状で、長さ約1．9mm、幅5μm、厚さ0．3μmのものを形成することができる。尚、ヒータ6の金属材料としては、例えばクロムやチタン、白金、金、アルミニウム、TiN、TaNなどの半導体デバイスに通常良く用いられる材料を単独で又は任意に組み合わせて用いることができる。

[0033] さらに、図3(b)で示されるように、上側クラッド層5の表面に薄膜金属ヒータ6をも覆うようにレジスト7を付与し、これをパターニングすることでエッチングマスクを形成する。このマスクを用いてRIE(反応性イオンエッチング)を行うことで、半円弧形状の光導波路コア層4の両脇に、上側クラッド層5および下側クラッド層3を貫通して犠牲層2にまで届くような溝8を形成する。溝の幅は例えば100μm以上あればよく、これにより両脇の溝8に挟まれて残留する光導波路の熱が空気伝熱により隣接するクラッド層部分に伝達され吸収されるのを十分に阻止することができる。光導波路部の幅は、狭いほど消費電力低減に有利であるが、パターニングエラーの影響等や犠牲層エッチングプロセスの影響等も考慮して、例えば15μmに設定する。

[0034] 引き続いて、図3(b)および図3(c)で示されるように、溝8に対応する領域及び光導波路部直下の領域の犠牲層2を除去する。本実施形態では、犠牲層2の材料としてPSGを用い、上下クラッド層3，5の材料としてBPSGを用いる場合には、犠牲層エッチングのエッチング液としては緩衝フッ化水素酸水溶液(BHF)が最適である。

[0035] 以上のようにしてBHFでの犠牲層2のエッチングが完了すると、光導波路および該光導波路に付されたヒータ6を含んでなる複合体は、空隙により基板1の表面から隔

てられ該基板表面に沿って配置されたブリッジ構造(ブリッジ構造部)を形成する。該ブリッジ構造部は、基板1の表面に沿った面内の形状が曲線形状とくに円弧形状とくに半円弧形状をなす。図3(c)は、図2と実質的に同一である。

[0036] 一方、図1に示されているように、円弧形状のブリッジ構造部の両端部は、光導波路および該光導波路に付されたヒータ6を含んでなる複合体の他の部分である固定部に連なっている。この固定部は、基板1に対してブリッジ構造部を支持している。円弧形状ヒータ6の両端部は、固定部にまで延長しており、ここで矩形の電極パッドの形態に形成されている。

[0037] 以上のようにして作製される熱光学位相シフタにおいては、ブリッジ構造部が基板1の表面に沿った面内の形状が半円弧形状であるので、その作製の際にブリッジ構造部が空隙により基板1の表面から隔てられた時にも、応力は半円弧形状のブリッジ構造部の全体に亘って均等に分散して開放され、かくしてブリッジ構造部の破壊が抑制される。また、その作製の際の洗浄工程後の乾燥工程においても、既に応力開放がされているため高い応力が発生し難く、かくして十分に所要の構造を維持したままでブリッジ化することができる。

[0038] これに対して、上記特許文献1のように、ブリッジ構造部が直線形状であると、その作製の際にブリッジ構造部が空隙により基板の表面から隔てられた時に、ブリッジ構造部の両端部すなわち基板に支えられている部分に大きな力が加わり、ブリッジ構造部が破壊されることがある。また、一部のブリッジ構造部が破壊されずに残ったとしても、その後の洗浄工程を経て空隙から液体を除去し乾燥する際に、液体の表面張力でブリッジ構造部に変形力がさらに加わることで破壊されることがある。かくして、高Δ光導波路の場合には安定してブリッジ構造を形成することができない。

[0039] (実施形態2)

図4は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第2の実施形態の上面図である。図5は、図4のB－B'断面図である。

[0040] 本実施形態は、上記第1の実施形態と同様なブリッジ構造部を、その両端部の間において基板に対して支持する支持部(柱構造)を備えている。すなわち、ブリッジ構造部の一部が柱構造を介して基板と接続されている。このような柱構造は、図4に示さ

れているように、半円弧形状のブリッジ構造部の中央部に幅広の部分を形成しておき、犠牲層エッチング時間を適宜選択することで、この幅広部分の直下に形成することができる。この柱構造は、次のような理由で設けられる。すなわち、高Δ光導波路の熱光学位相シフタにおいて、設計上の理由などからブリッジ構造部を連続して2mmより長く形成したい場合に、そのまま形成するとブリッジ構造部の自重や乾燥工程時の液体の表面張力などで、ブリッジ構造部が基板に接触してしまうことがある。これを回避するために柱構造を設ける。例えば、図4に示す半円弧形状のブリッジ構造部の曲率半径が1mmである場合には、ブリッジ構造部の長さは約3mmになる。そこで、ブリッジ構造部において、如何なる長さ2mmの部分も少なくとも1つの支持部により直接支持されるように、長手方向に関する中央(すなわち両端から約1．5mmの位置)に柱構造を設けてブリッジ構造部を支持する。これは、ブリッジ構造部の支持という観点からは、仮想的に、図6に示すような1／4円弧形状のブリッジ構造部を2つ組み合わせたものと同等である。ただし、断熱性を考慮すると柱構造を用いた方が最小限の消費電力増加で済むため、本実施形態の構造を用いることが好ましい。

[0041] (実施形態3)

図7は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第3の実施形態の上面図である。

[0042] 図1の実施形態のブリッジ構造部の形状に関しては、十分に構造上の安定性が得られるが、光導波路の曲率半径が変化する部分であるブリッジ構造部の両端部において変形力が若干集中する現象が発生する。特に内部応力の大きい高Δ光導波路における構造破壊リスクを最小限にとどめるために、図7に示すように、ブリッジ構造部の両端部を中央部の方に向かって幅が細くなるようなテーパー形状にすることが好ましい。このテーパー形状は、図7に示すような定率幅減少型のもの以外にも、指数関数的幅減少型のものや、階段的幅減少型のものなどであってもよい。いずれのテーパー形状も、構造安定化の効果がある。

[0043] (実施形態4)

図8は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第4の実施形態の上面図である。

[0044] 本実施形態では、ブリッジ構造部が半円弧形状の曲線形状部分とその両端にそれぞれ連なる2つの直線形状部分(直線部)とからなる。曲線形状部分で十分に応力変形を吸収できる場合には、ブリッジ構造部に直線部が含まれていても変形力が両端部に集中することはなく、十分な構造安定性を実現することができる。これは特に、熱光学位相シフタの長さを長くし、かつ曲率半径が小さな曲線形状の光導波路を用いて光回路サイズを小さくしたい場合に適しており、小型・高集積光デバイスを実現するのに好ましい形態である。

[0045] (実施形態5)

図9は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第5の実施形態の上面図である。

[0046] 本実施形態では、曲線形状のブリッジ構造部は、曲率半径が一定ではなく、光導波路の光伝搬の方向すなわちブリッジ構造部の延在方向に沿って変化(図9には互いに異なる曲率半径R, R'が示されている)していく形状となっている。本実施形態では、応力分散はブリッジ構造部の部位で異なるため、図1の実施形態に比較すれば、破壊のリスクが増加することとなるが、光回路の高集積化を進めるためには設計に自由度がある方が好ましく、本実施形態のような設計をすることも可能である。但し、上記特許文献1のものと比較すれば、飛躍的に構造安定性が高められている。

[0047] (実施形態6)

図10は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第6の実施形態の上面図である。

[0048] 本実施形態では、曲線形状のブリッジ構造部は、一定の曲率半径Rの円弧形状であり、その曲率中心に対して張る角度θは上記の実施形態のもの(例えば180°または90°)より小さい。この角度θは、例えば45°とすることができる。ある曲率半径を有しているため、基板との応力関係によって変わるが、十分な弧の長さがあれば、円弧の中心に向かう方向あるいは逆方向に応力変形を分散することが可能である。本実施形態の構造は、特に図11や図12に示すような光スイッチや可変光減衰器に用いられるマッハツェンダ干渉計において有効である。すなわち、大規模光スイッチマトリックスを実現する際には、多数のマッハツェンダ干渉計を並列配置する。そのた

めには、単に配置上の効率のみを考えれば、マッハツェンダ干渉計の2つのアーム導波路は直線形状であるほうが好ましい。しかし、直線形状では応力変形による構造破壊を防止した所要長さのブリッジ構造部の形成には限界があるため、応力変形を分散できる本実施形態のような円弧形状のブリッジ構造部からなるアーム構造とするのが好ましい。全てのマッハツェンダ干渉計を緩やかな円弧形状のブリッジ構造部を用いたものとすることで、直線形状アーム導波路を用いたマッハツェンダ干渉計に比べて遜色のない小型・集積化を実現することができる。

[0049] （実施形態7）

図13は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第7の実施形態の上面図である。

[0050] 本実施形態では、円弧形状ブリッジ構造部を2つ接続したS字形状をとっており、S字中間部の変曲点にブリッジ構造部を支持する上記のような柱構造を形成している。これは、実施例6におけるマッハツェンダ干渉計の光伝搬方向に対する幅方向のサイズを縮小するのに有用な構造である。デバイスサイズの設計指針によって、図11のように長手方向のサイズを縮小するか、図13のように幅方向のサイズを縮小するかの、選択の範囲を広げることができ、より適切な小型化・高集積化を実現することが可能になる。

[0051] （実施形態8）

図14は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第8の実施形態の上面図である。

[0052] 本実施形態では、高Δ光導波路の機能性光回路として非常に有用なリング共振器導波路への適用が示されている。半円形状導波路部の長さを適切に設計することで、応力変形をリング導波路部で吸収することができ、安定した構造と光特性とを実現することができる。例えば、リングのFSR(Free Spectral Range)＝c／(n_{eff}×L)、(c:光速、n_{eff}:導波路実効屈折率、L:リング導波路全長)を100GHzに設計した場合、光導波路の実効屈折率が1．5とすると、半円分のリング導波路長さは約1mm(リング導波路全長は約2mm)となる。この実施形態によれば、半円部の長さが2mm以下であれば、十分な変形応力開放が行われ、かつブリッジ形状も安定して保つことができ

る。また、本実施形態において、FSR＝25GHzのリング共振器を作りたい場合などは、半円部のブリッジ形状導波路長が約4mm(リング導波路全長は約8mm)となる。この場合、ブリッジ構造部を良好に支持するために、図15に示すように各半円部の中央に上記のような柱構造を設けることができる。また、図16に示すように、各半円部の2箇所に柱構造を形成することも可能である。但し、なるべく柱構造による支持部の数を減らした方が低消費電力性能の観点からは、好ましい。

[0053] (実施形態9)

図17は、本発明の低消費電力熱光学位相シフタの第9の実施形態の断面図である。

[0054] 本実施形態では、光導波路コア層の材料としてSiを用いている。図17(a)は、チャネル型光導波路を用いたものであり、コアへの光閉じ込めが非常に強く、小型・高集積光デバイスに適している。図17(b)は、リブ型光導波路を用いたものであり、SiONと同等の光閉じ込め効果に留まるが、伝搬損失はチャネル型光導波路に比べて小さい。また、Siの屈折率温度依存性はSiONの屈折率温度依存性より10倍以上大きいため、本実施形態のような低消費電力構造を取り入れることで非常に優れた低消費電力性能を実現することができる。Siコア導波路は結晶欠陥が少ないSOI(Silicon on Insulator)基板を用いて作製される。この場合、犠牲層はシリコン基板からなり、下側クラッドはBOX(Buried Oxide)層からなり、コア層の光回路パターニング後に上側クラッド層を成膜して埋め込み導波路を形成する。その後、金属細線ヒータを形成する。ブリッジ構造形成方法は図3の実施形態と同様であり、光導波路パターンの両脇にシリコン基板にまで到達する溝をRIEにて形成し、シリコン基板の選択エッチングを行う。選択エッチングは基板水平方向にもエッチングが進む等方性である必要があり、例えばフッ硝酸酢酸溶液によるウェットエッチングなどが利用できる。

[0055] 本願は、2007年3月9日に日本国特許庁に出願された日本国特許出願である特願2007－60167号を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

請求の範囲

[1] コアおよびクラッドからなる光導波路と該光導波路に付されたヒータとを含んでなる複合体を備えた熱光学位相シフタであって、

前記複合体は、空隙により基板の表面から隔てられ該基板表面に沿って配置されたブリッジ構造部と、前記基板に対して前記ブリッジ構造部を支持し該ブリッジ構造部の両端部に連なる固定部とからなり、

前記ブリッジ構造部は、前記基板の表面に沿った面内の形状が曲線形状をなすことを特徴とする熱光学位相シフタ。

[2] 前記ブリッジ構造部の曲線形状が円弧形状又はその組み合わせの形状であることを特徴とする、請求項1に記載の熱光学位相シフタ。

[3] 前記ブリッジ構造部の円弧形状は曲率中心に対して張る角度が45～180°であることを特徴とする、請求項2に記載の熱光学位相シフタ。

[4] 前記ブリッジ構造部の曲線形状は曲率半径が0．05～1mmであることを特徴とする、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の熱光学位相シフタ。

[5] 前記光導波路は、前記コアの屈折率と前記クラッドの屈折率との差の前記コアの屈折率に対する比が4％以上であることを特徴とする、請求項1乃至4のいずれか一項に記載の熱光学位相シフタ。

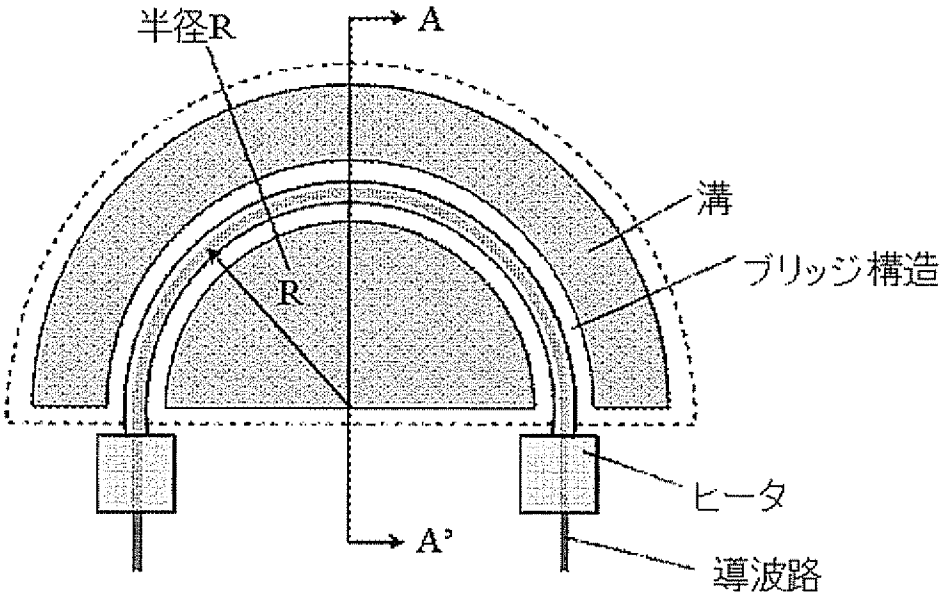
[6] 前記光導波路のクラッドがガラス材料からなることを特徴とする、請求項1乃至5のいずれか一項に記載の熱光学位相シフタ。

[7] 前記光導波路のコアがSiONまたはSiからなることを特徴とする、請求項1乃至6のいずれか一項に記載の熱光学位相シフタ。

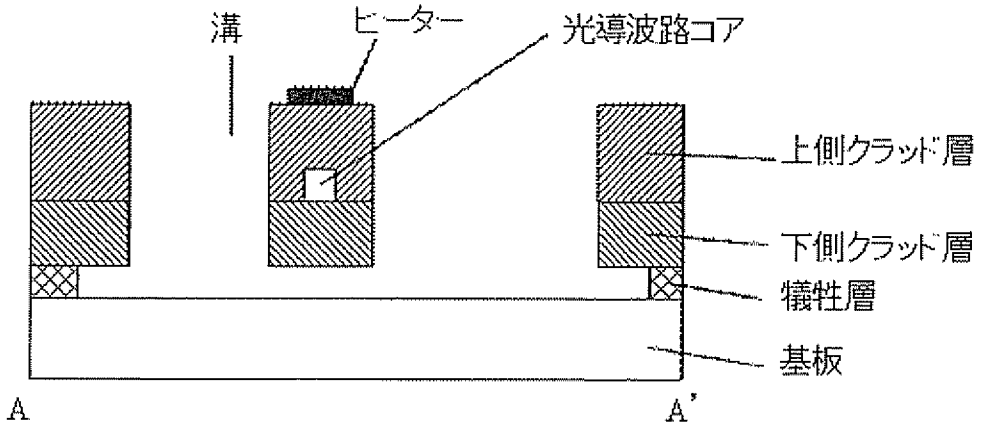
[8] 前記ブリッジ構造部をその両端部の間において前記基板に対して支持する少なくとも1つの支持部を備えることを特徴とする、請求項1乃至7のいずれか一項に記載の熱光学位相シフタ。

[9] 前記固定部と前記支持部との間または互いに隣接する2つの前記支持部の間の前記光導波路の長さが0．5～2mmであることを特徴とする、請求項8に記載の熱光学位相シフタ。

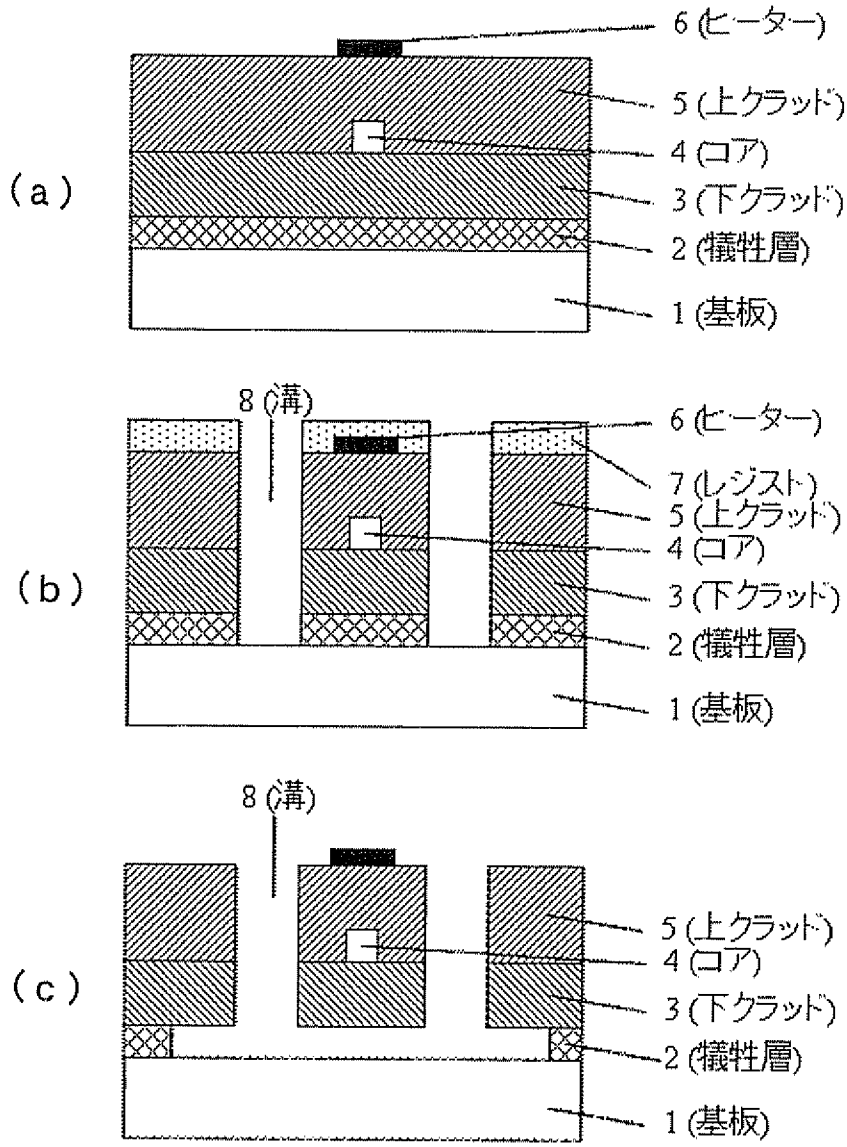
[図1]


半径R
A
溝
ブリッジ構造
R
ヒータ
A'
導波路

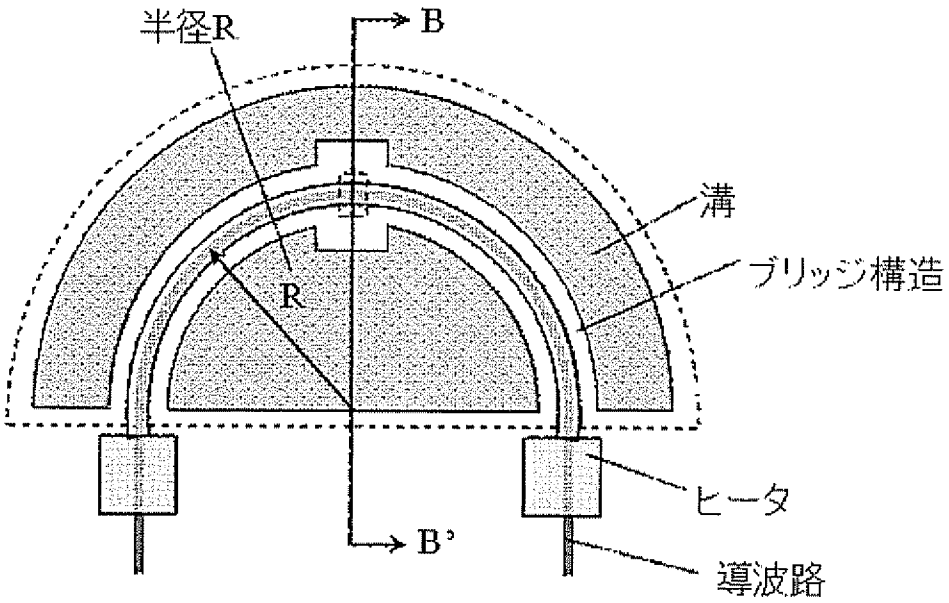
[図2]


溝
ヒーター
光導波路コア
上側クラッド層
下側クラッド層
犠牲層
基板
A
A'

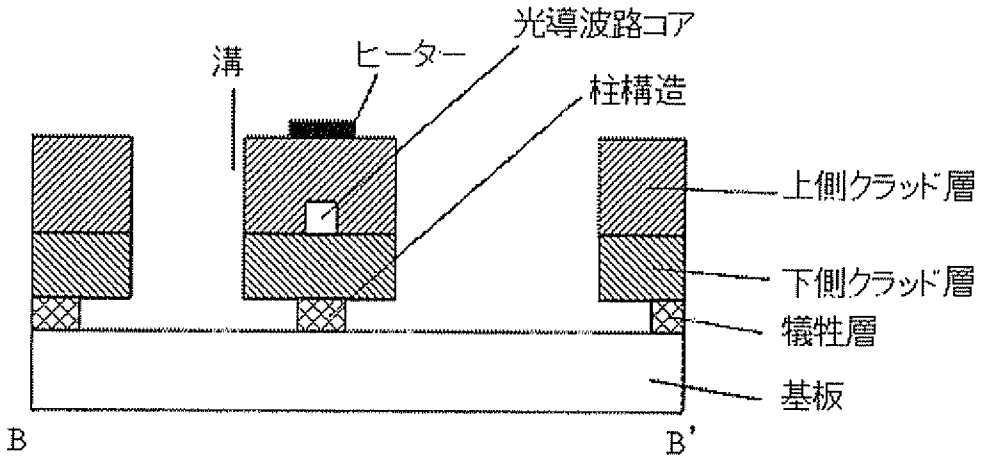
[図3]


(a)
6 (ヒーター)
5 (上クラッド)
4 (コア)
3 (下クラッド)
2 (犠牲層)
1 (基板)
(b)
8 (溝)
6 (ヒーター)
7 (レジスト)
5 (上クラッド)
4 (コア)
3 (下クラッド)
2 (犠牲層)
1 (基板)
(c)
8 (溝)
5 (上クラッド)
4 (コア)
3 (下クラッド)
2 (犠牲層)
1 (基板)

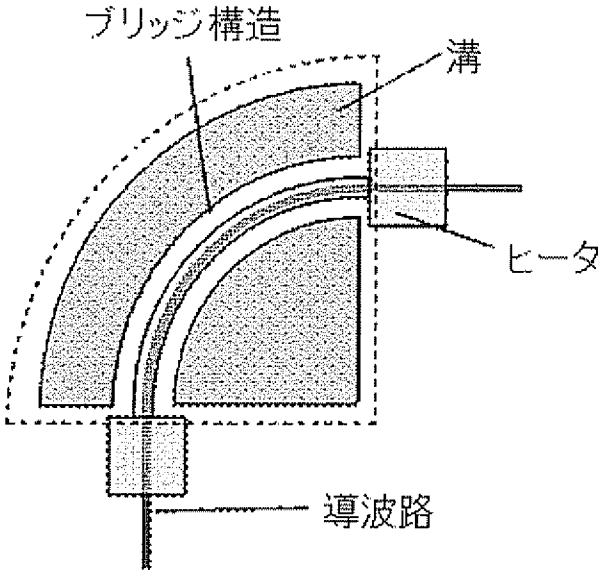
[図4]


半径R
B
溝
ブリッジ構造
R
ヒータ
B'
導波路

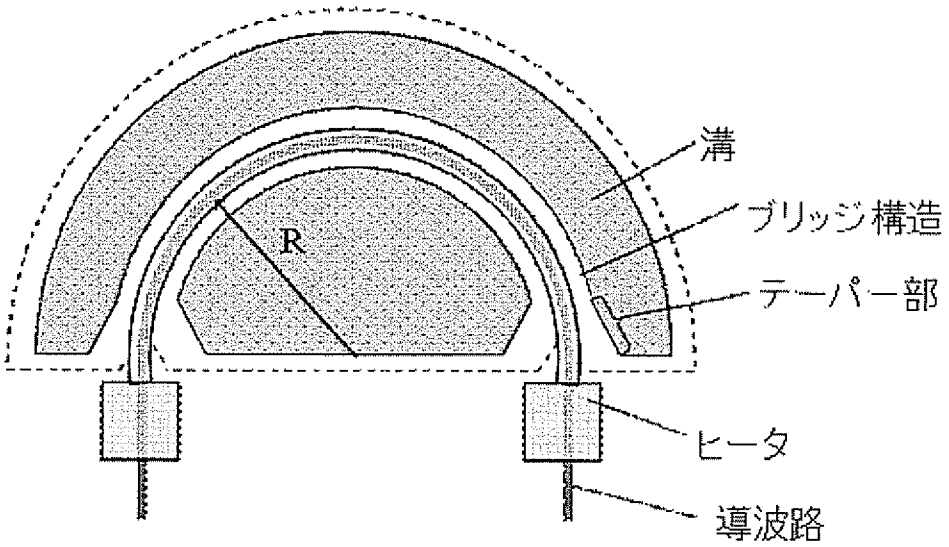
[図5]


光導波路コア
溝
ヒーター
柱構造
上側クラッド層
下側クラッド層
犠牲層
基板
B
B'

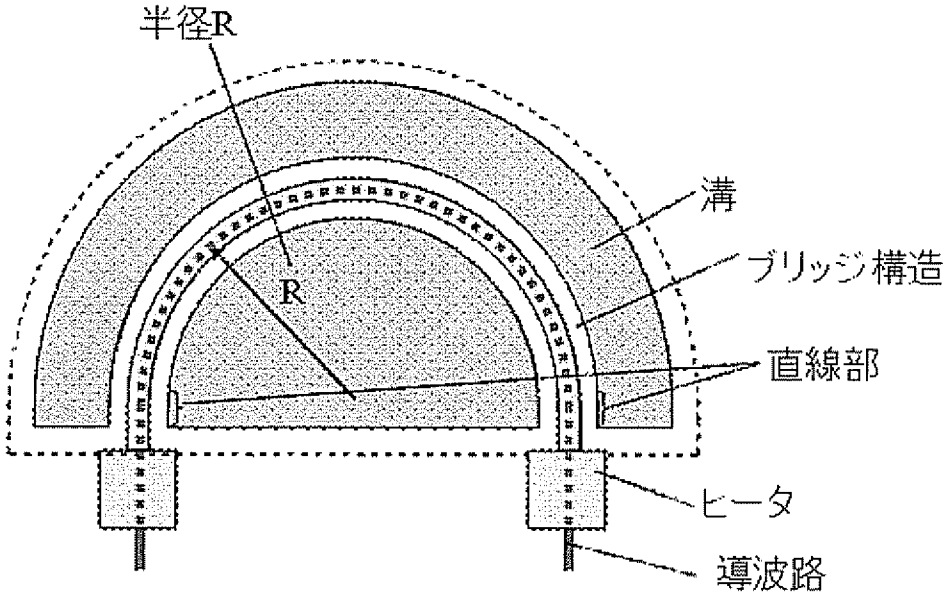
[図6]


ブリッジ構造
溝
ヒータ
導波路

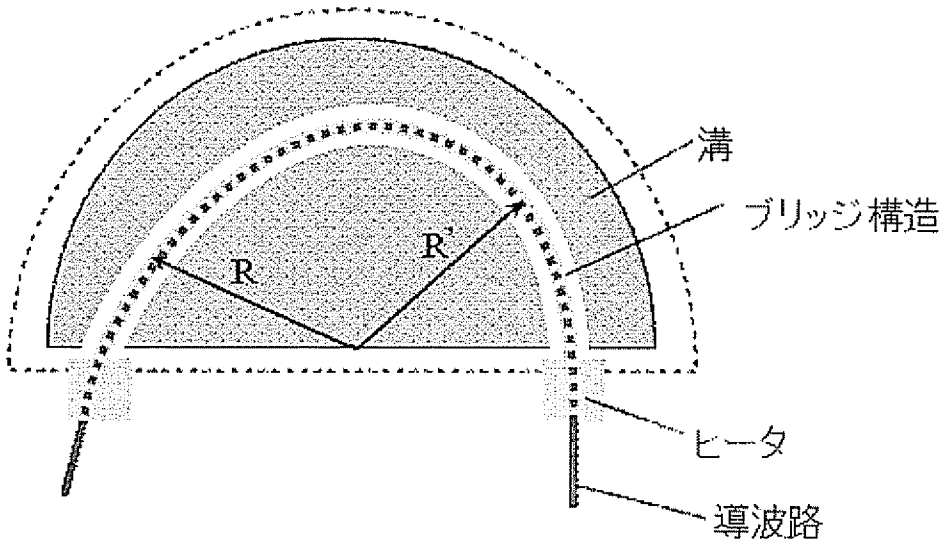
[図7]


溝
ブリッジ構造
テーパー部
R
ヒータ
導波路

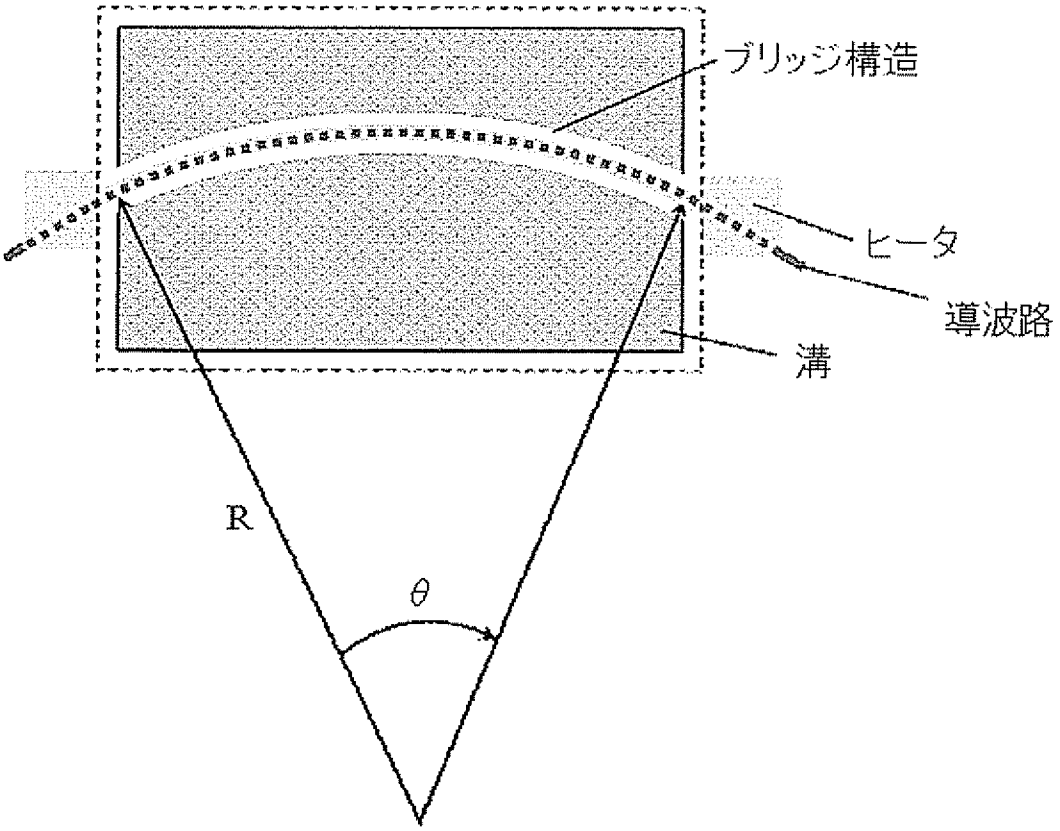
[図8]


半径R
溝
ブリッジ構造
R
直線部
ヒータ
導波路

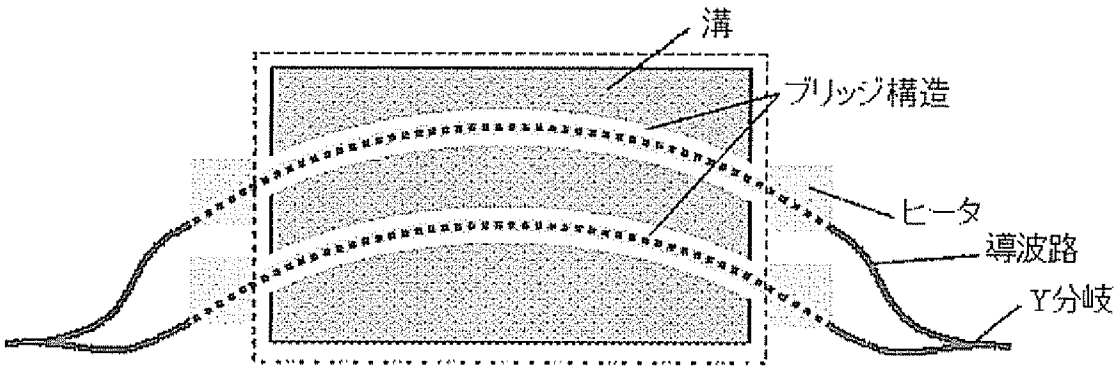
[図9]


溝
ブリッジ構造
R
R'
ヒータ
導波路

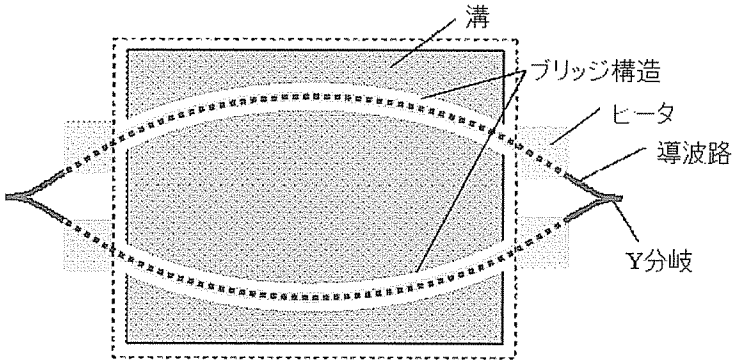
[図10]



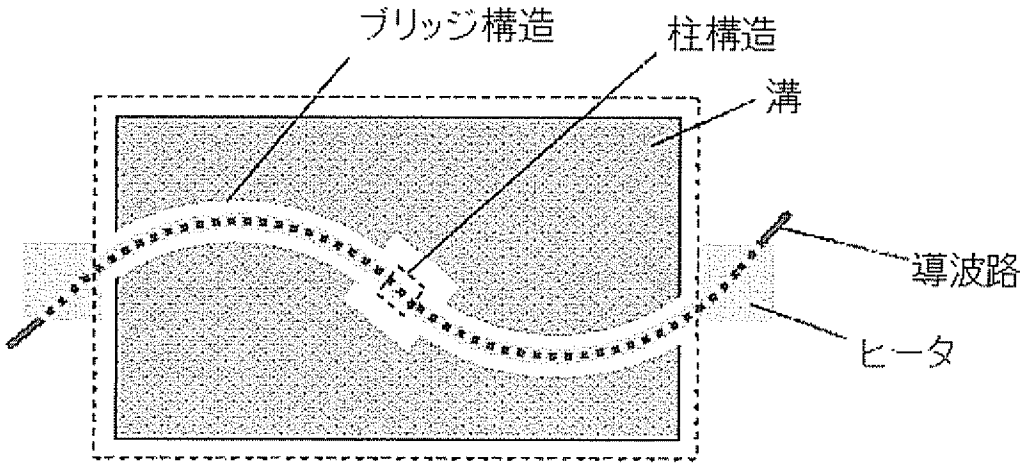
[図11]



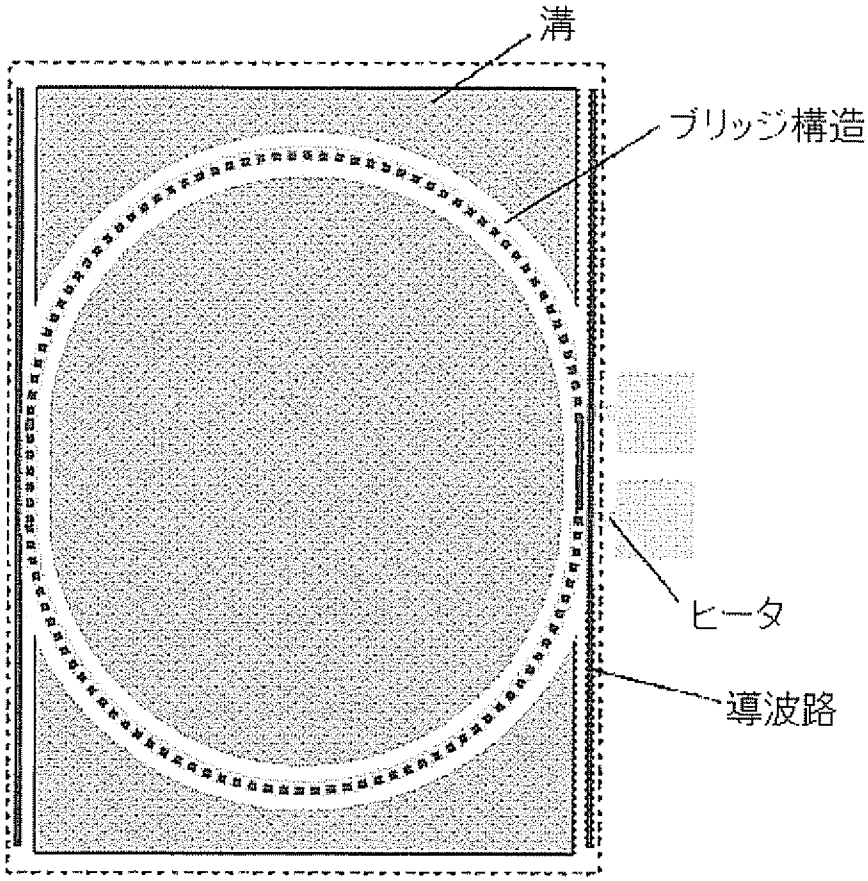
[図12]



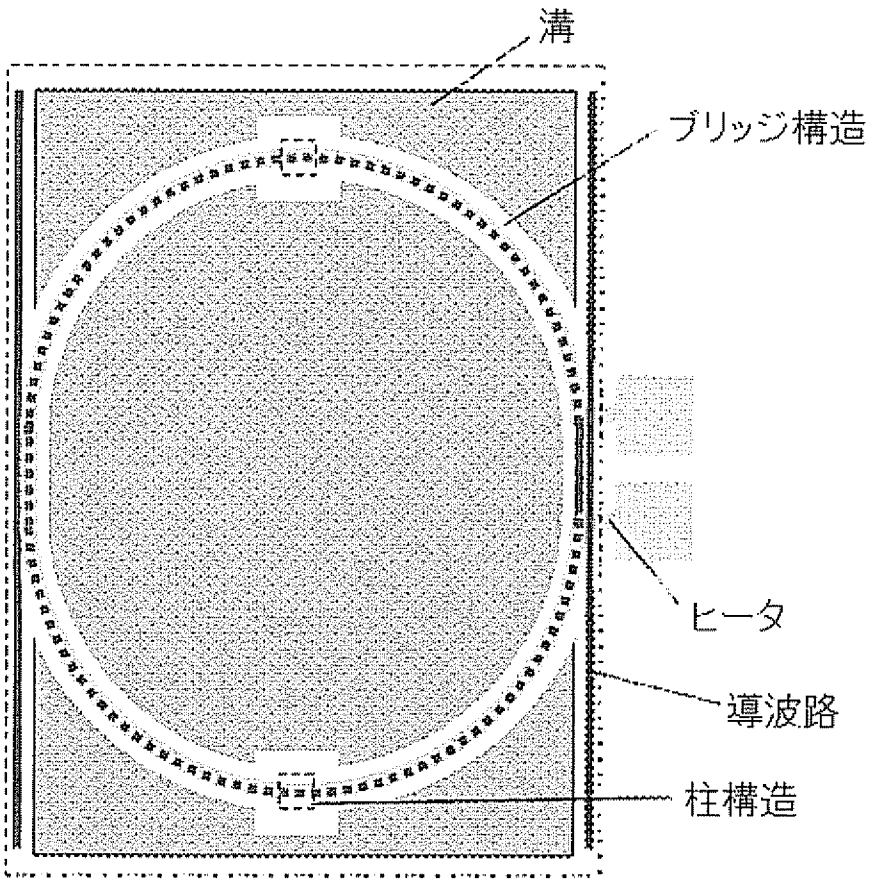
[図13]



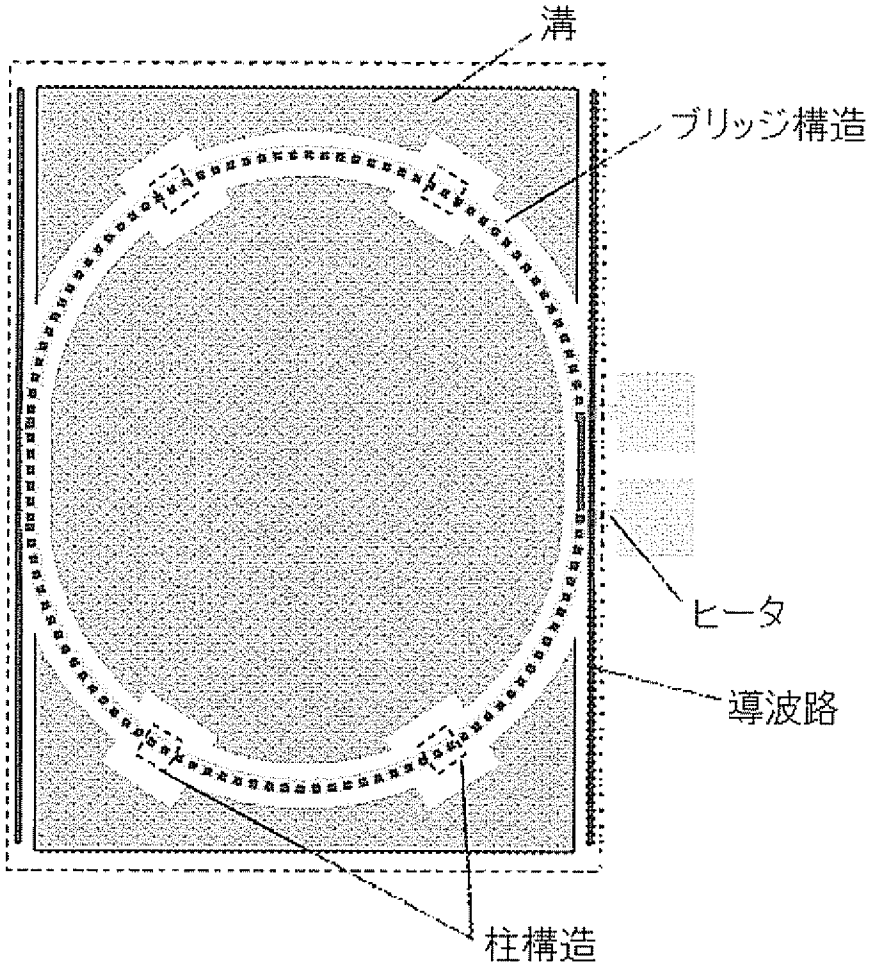
[図14]



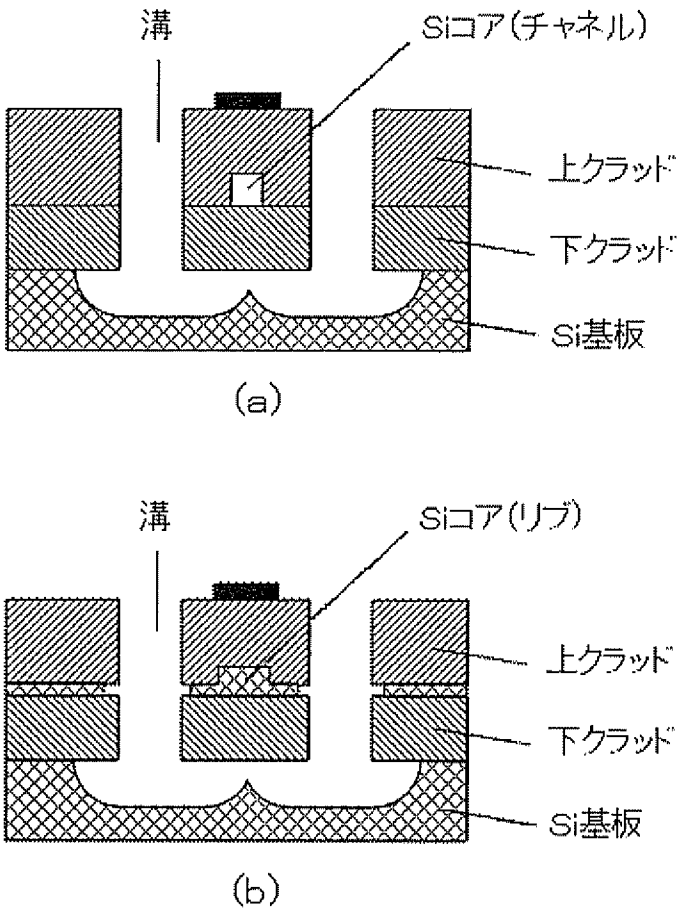
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/053608

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/01(2006.01)i, *G02B6/122*(2006.01)i, *G02B6/13*(2006.01)i

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)
G02F1/01, G02B6/122, G02B6/13

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 64-77002 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 23 March, 1989 (23.03.89), Page 8, lower right column, line 1 to page 9, upper left column, line 1; Figs. 5A, 5B & US 4900112 A1 & US 4978188 A1 & EP 297851 A2 & DE 3877842 T & CA 1317135 A	1-9
Y	JP 2005-55882 A (NEC Corp.), 03 March, 2005 (03.03.05), Par. Nos. [0033] to [0074]; Figs. 1 to 12 & US 2005/0013538 A1	1-9

☒ 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 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	Date of mailing of the international search report
03 June, 2008 (03.06.08)	17 June, 2008 (17.06.08)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/053608

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Hiroyuki YAMAZAKI et al., "Doharo Ring Kyoshinki to Handotai Hikari Zofukuki ni yoru Hacho Kahen Laser", 2005 Nen IEICE Electronics Society Taikai, 07 September, 2005 (07.09.05), C-3-89, page 233	1-9
Y	JP 2004-37524 A (NEC Corp.), 05 February, 2004 (05.02.04), Full text; all drawings & US 2005/0169566 A1 & WO 2004/003639 A1 & CN 1659469 A	1-9
Y	JP 3-267902 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 28 November, 1991 (28.11.91), Page 8, lower left column, line 1 to lower right column, line 20; Figs. 9 to 11 & US 5117470 A1 & EP 444582 A2	1-9
Y	JP 2004-287093 A (Fujitsu Ltd.), 14 October, 2004 (14.10.04), Full text; all drawings & US 2004/0184755 A1 & EP 1460458 A1	4-9

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００８／０５３６０８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02F1/01(2006.01)i, G02B6/122(2006.01)i, G02B6/13(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02F1/01, G02B6/122, G02B6/13

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００８年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Ｙ	ＪＰ　６４－７７００２　Ａ（日本電信電話株式会社）１９８９．０３．２３，８頁右下欄１行－９頁左上欄１行，図５Ａ，図５Ｂ &ＵＳ　４９００１１２　Ａ１　&ＵＳ　４９７８１８８　Ａ１ &ＥＰ　２９７８５１　Ａ２　&ＤＥ　３８７７８４２　Ｔ &ＣＡ　１３１７１３５　Ａ	１－９

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ０３．０６．２００８	国際調査報告の発送日 １７．０６．２００８
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｘ　９０１７ 河原　正 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９４

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Ｙ	ＪＰ　２００５－５５８８２　Ａ（日本電気株式会社）２００５．０３．０３，【００３３】－【００７４】，図１－１２ ＆ＵＳ　２００５／００１３５３８　Ａ１	１－９
Ｙ	山崎　裕幸　他，‘導波路リング共振器と半導体光増幅器による波長可変レーザ’，２００５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，２００５．０９．０７，Ｃ―３－８９，ｐ．２３３	１－９
Ｙ	ＪＰ　２００４－３７５２４　Ａ（日本電気株式会社）２００４．０２．０５，全文，全図 ＆ＵＳ　２００５／０１６９５６６　Ａ１ ＆ＷＯ　２００４／００３６３９　Ａ１ ＆ＣＮ　１６５９４６９　Ａ	１－９
Ｙ	ＪＰ　３－２６７９０２　Ａ（日本電信電話株式会社）１９９１．１１．２８，８頁左下欄１行－右下欄２０行，図９－１１ ＆ＵＳ　５１１７４７０　Ａ１　＆ＥＰ　４４４５８２　Ａ２	１－９
Ｙ	ＪＰ　２００４－２８７０９３　Ａ（富士通株式会社）２００４．１０．１４，全文，全図 ＆ＵＳ　２００４／０１８４７５５　Ａ１ ＆ＥＰ　１４６０４５８　Ａ１	４－９