

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3909500号  
(P3909500)

(45) 発行日 平成19年4月25日(2007.4.25)

(24) 登録日 平成19年2月2日(2007.2.2)

(51) Int.C1.

F 1

G 02 B 6/42 (2006.01)

G 02 B 6/42

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平9-212902  
 (22) 出願日 平成9年8月7日(1997.8.7)  
 (65) 公開番号 特開平10-82932  
 (43) 公開日 平成10年3月31日(1998.3.31)  
 審査請求日 平成16年5月7日(2004.5.7)  
 (31) 優先権主張番号 705,867  
 (32) 優先日 平成8年8月28日(1996.8.28)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 506076606  
 アバゴ・テクノロジーズ・ジェネラル・ア  
 イピー(シンガポール)プライベート・リ  
 ミテッド  
 シンガポール国シンガポール768923  
 , イーシュン・アベニュー・7・ナンバー  
 1  
 (74) 代理人 100087642  
 弁理士 古谷 聰  
 (74) 代理人 100076680  
 弁理士 溝部 孝彦  
 (74) 代理人 100121061  
 弁理士 西山 清春

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学素子および光学素子の製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

表面を有する基板と、  
 前記基板の前記表面に設けられたほぼ角錐形または角錐台形の第1の空洞と、  
 前記第1の空洞の開口部を二分し、前記開口部の対角線と垂直な線上に整列した光学軸  
 を備え、前記第1の空洞から所定の距離をあけて前記基板に取り付けられたフォトニクス  
 素子と、  
 光ビームを遮ることなく、前記フォトニクス素子と所定の関係をなすように、前記第1  
 の空洞の側壁によって収容された球面レンズとを備えた光学素子。

## 【請求項2】

前記第1の空洞の側壁が、前記基板の結晶面により画定されていることを特徴とする請  
 求項1記載の光学素子。

## 【請求項3】

前記基板が結晶シリコン材料から造られ、前記第1の空洞が、主として前記基板の結晶  
 面に沿って前記空洞の側壁を有することを特徴とする請求項1または2に記載の光学素子

○

## 【請求項4】

前記基板が<100>表面を備え、かつ、前記第1の空洞の側壁が<111>結晶面で  
 あることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の光学素子。

## 【請求項5】

10

20

前記フォトニクス素子が、半導体レーザ及び半導体光検出器の一方であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の光学素子。

**【請求項 6】**

前記第 1 の空洞と互いに重なり合う、角錐形または角錐台形の第 2 の空洞をさらに備え、前記第 2 の空洞が、前記線に沿って前記フォトニクス素子から離れた前記第 1 の空洞の角に切り欠きを形成することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の光学素子。

**【請求項 7】**

前記第 1 の空洞が、前記線に沿って前記フォトニクス素子から離れた前記第 1 の空洞の角に V 字形状の切り欠きを有することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の光学素子。

**【請求項 8】**

前記第 1 の空洞が、さらに、前記線に沿って前記フォトニクス素子に隣接した切頭角を有することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の光学素子。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、光ファイバまたはフォトニクス・モジュールに関し、とりわけ、光ビームを遮らないように、コストを最小限に抑えて高精度で製造される改良形フォトニクス・モジュールに関するものである。

**【0002】**

**【従来の技術】**

光通信システムは、歪みの少ない、低成本による、極めて多量の情報の長距離伝送において広く利用されている。このため、フォトニクス・パッケージまたはモジュールといった光通信システムの部品が、かなり開発されてきた。フォトニクスは、一般に、電子属性と光学属性の両方を共有する素子を表している。これらの素子は、電子信号に応答してコヒーレントな光を発生するレーザ素子、及び、光に応答して、電子信号を発生する光検出器とすることが可能である。

**【0003】**

一般に、フォトニクス・モジュールは、縁発光半導体レーザ及び表面検出光検出器を利用している(図1A及び図1B参照)。図1Aから明らかなように、縁発光レーザ11は、放射角度が比較的広いので、送信モジュール10は、一般に、光学結合の効率を高めるため、レーザ11と光ファイバ13の間に挿入されたレンズ12を備えている。図1Bから明らかなように、結合効率を高めるため、光ファイバ13と受信モジュール14の光検出器15の間にも、レンズ17が挿入されている。これによって、異なる素子間の結合効率及び距離を設計目的に応じて変更することが可能になる。

**【0004】**

送信モジュール10を製造する場合、レーザ11、レンズ12、及び、光ファイバ13は、互いに正確に所定の整列状態になければならない。同様に、受信モジュール14を製造する場合、光ファイバ13、レンズ17、及び、光検出器15(特にその活性領域16)は、互いに正確に所定の整列状態になければならない。これを実現するため、図2A及び図2Bに示すように、部品を所定位置に互いに整列した状態で保持するのに、一般に、3次元固定具及び/または取り付け具が必要になる。

**【0005】**

図2Aは、図1Aの送信モジュール10のパッケージに関する側断面図である。図2Bは、受信モジュール14のパッケージに関する側断面図である。図2Aから明らかなように、固定具18aは、レンズ12を所定の位置に、かつ、やはり固定具18aに取り付けられるレーザ11と所定の整列状態で保持するために用いられる。この固定具18aは、さらに、光ファイバ13を所定位置に保持するもう1つの固定具18bに結合され、これによって、モジュール10が形成される。レーザ11、レンズ12、及び、光ファイバ13の整列は、固定具18a及び18bによって実現する。図2Bの場合、固定具19aが、

10

20

30

40

50

レンズ 17 を保持し、光検出器 15 と整列させるために利用され、固定具 19b が、光ファイバ 13 を保持するために利用される。次に、光ファイバ 13 とレンズ 17 とが整列するように、固定具 19b と固定具 19a が結合される。

#### 【0006】

こうしたフォトニクス・モジュールまたはパッケージの欠点の 1 つは、比較的高い精度を必要とするため、固定具の製造が高くつくということである。もう 1 つの欠点は、固定具を用いて、フォトニクス・モジュールの部品を正確な位置に組立てるのに時間がかかるので、スループットが低くなるということである。さらに、フォトニクス・モジュールの組立時における整列及び調整には、かなりの時間と注意も必要になる可能性がある。これは、並みの技能レベルを備えたオペレータによるフォトニクス・モジュールの大量生産を妨げ、同時に、必要な整列基準の維持を妨げることになる。これらの要素は、一般に、フォトニクス・モジュールのコスト削減を制限する。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

従って、本発明の目的は、高い精度のマイクロフォトニクス・モジュールを廉価に製造する方法を開示することにある。

#### 【0008】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明によれば、マイクロフォトニクス・モジュールを高い精度で製造することが可能になる。

#### 【0009】

本発明によれば、マイクロフォトニクス・モジュールが頑健な機械特性を備えるようになることが可能になる。

#### 【0010】

本発明によれば、マイクロフォトニクス・モジュールを最小限のコストで製造することが可能になる。

#### 【0011】

本発明によれば、また、フォトニクス素子（例えば、レーザまたは光検出器）とレンズの間ににおいて光ビームを遮ることがないようにして、改良形マイクロフォトニクス・モジュールが得られる。

#### 【0012】

以下では、光学素子の製造方法について述べることにする。該方法には、基板に傾斜した側壁を備えた空洞を形成するステップが含まれている。フォトニクス素子が、空洞から所定の距離をあけ、フォトニクス素子の光学軸と空洞の対角線とが整列するようにして、基板に取り付けられる。球面レンズが、光ビームを遮ることなく、フォトニクス素子と所定の関係をなすように、空洞の側壁に接触した状態で収容される。

#### 【0013】

また、基板、及び、基板に形成された空洞を含む光学素子についても述べることにする。空洞は、傾斜した側壁を備えている。フォトニクス素子は、空洞から所定の距離をあけ、その光学軸と空洞の対角線とが整列するようにして、基板に取り付けられる。球面レンズは、光ビームを遮ることなく、フォトニクス素子と所定の関係をなすように、空洞の側壁に接触した状態で収容される。

#### 【0014】

本発明の他の特徴及び利点については、本発明の原理を例示した、添付の図面に関連して記述される以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

#### 【0015】

##### 【発明の実施の形態】

図 3 は、フォトニクス素子 23 と球面レンズ 25（図 4 に示す）を取り付けるためのフォトニクス・モジュール 20 の取り付け部材 21 を示す透視図である。図 4 は、フォトニクス素子 23 及び球面レンズ 25 が取り付けられた、取り付け部材 21 の平面図である。図

10

20

30

40

50

5は、図4の光学軸41に沿った、取り付け部材21、フォトニクス素子23、及び、球面レンズ25の側断面図である。

【0016】

本発明の実施例の1つによれば、フォトニクス素子23及び球面レンズ25は、2つの部品23と25の間において光ビームを遮ることなく、その光学軸が取り付け部材21の上部表面に近接するようにして、取り付け部材21に取り付けられる。これは、(1)取り付け部材21に精密形成された、ほぼ角錐形の空洞22(図3～図5)に球面レンズ25を収容し、(2)フォトニクス素子23の光学軸と角錐形空洞22の対角線とが整列するように、フォトニクス素子23を取り付け部材21に取り付けることによって実施される。さらに、球面レンズ25の出力側に光ビームの逃げを設けるため、角錐形空洞22の対角線に沿った、フォトニクス素子23から遠隔の角錐形空洞22の角に、(V字)切り欠きが形成される。

【0017】

取り付け部材21に精密形成された角錐形空洞22によれば、比較的低コストで、フォトニクス素子23と球面レンズ25の間における高度の整列精度及び光学結合効率も得られる。これは、精密形成された角錐形空洞22によって、能動整列を必要とせずに、フォトニクス素子23に対する軸方向と横方向の両方において正確な位置につくように、球面レンズ25の取り付けを行うことが可能になるためである。次に、フォトニクス・モジュール20と光ファイバ(不図示)を光学的に結合して、通信システムを形成する際に、光ファイバについてのみ能動的に整列がとられる。能動整列は、整列させるために調整が必要か否かを示す何らかの帰還を伴う、部品の整列を意味している。

【0018】

さらに、球面レンズ25は、角錐形空洞22内に収容されている時には、角錐形空洞22の傾斜する側壁に接触しているので、フォトニクス・モジュール20は、頑健な機械特性を備えている。さらに、角錐形空洞22によって、球面レンズ25に対する追加固定を必要とせずに、球面レンズ25を取り付け部材21に2次元で固定することが可能になる。さらに、1つの取り付け具(すなわち、取り付け部材21)だけしか用いずに、球面レンズ25とフォトニクス素子23の両方の取り付けまたは固定が行われる。球面形状レンズは角錐形空洞によって簡単に捕らえられるので、取り付け部材21によって、最小限の組立時間で球面レンズ25を取り付けることが可能になる。

【0019】

図3～図5を参照すると、取り付け部材21がシリコンで造られている。取り付け部材21のサイズは、フォトニクス素子23及び球面レンズ25のサイズによって決まる。フォトニクス素子23は、長さ300ミクロン～1ミリメートルとすることが可能であり、球面レンズ25は、300ミクロン～3ミリメートルの範囲とすることが可能であるので、取り付け部材21のサイズは、わずか約600ミクロン×600ミクロンとすることも可能である。一般に、サイズが小さくなるほど、関連する総コストは低下する。

【0020】

取り付け部材21にシリコンを用いることによって、取り付け部材21に対して、半導体集積回路の製造に広く用いられているフォトリソグラフィック・マスキング及びエッチング・プロセスを適用することが可能になる。これによって、取り付け部材21の処理をかなり正確に行うことが可能になる。さらに、バッチ処理を利用して、単一のシリコン・ウェーハから多数の取り付け部材21を製造することができるので、取り付け部材21の製造コストが低減される。

【0021】

実施例の1つでは、取り付け部材21は、両方とも、<100>結晶面である対向表面(例えば、上部表面21aと下部表面)を備えるシリコンから造られている。以下では、このタイプのシリコンを<100>シリコンと呼ぶことにする。もう1つの実施例では、取り付け部材21の上部表面及び下部表面が<100>平面上になく、所定の角度(例えば、)で<100>平面と交差しない。シリコンの代わりに、他の結晶半導体材料を用い

10

20

30

30

40

50

て、取り付け部材 2 1 を形成することも可能である。

【0022】

フォトリソグラフィック・マスキング・プロセスを利用して、<100>シリコン取り付け部材 2 1 に角錐形空洞 2 2 の開口部 3 0 を形成する場合、開口部 3 0 の形状及び位置が、かなりの精度で正確に決まる。取り付け部材 2 1 は、<100>シリコンで造られるので、取り付け部材 2 1 の開口部 3 0 に異方性エッチングを施して、角錐形空洞 2 2 を形成することが可能である。異方性エッチングの速度は、例えば、条件によっては 1000 対 1 にすることが可能である。これは、シリコン取り付け部材 2 1 に対する垂直方向のエッチング速度が、シリコン取り付け部材 2 1 の <111> 結晶面に向かうエッチング速度より 1000 倍速いということを表している。換言すれば、<111> 結晶面が、エッチング・ストップの働きをする。異方性エッチングによって、角錐形空洞 2 2 のエッチングを施された側壁（例えば、側壁 3 2 及び 3 3）が、取り付け部材 2 1 の <111> 結晶面上に位置することになる。既知のように、<111> 結晶面は、取り付け部材 2 1 の <100> 結晶面と約 54.7° の角度で交差する。従って、取り付け部材 2 1 の上部表面と下部表面が <100> 結晶面上に位置する場合、空洞 2 2 の側壁は、取り付け部材 2 1 の下部表面と 54.7° の角度で交差する。取り付け部材 2 1 の上部表面と下部表面が <100> 結晶面と角度で交差する場合、空洞 2 2 の各側壁は、取り付け部材 2 1 の上部表面及び下部表面と 54.7° ± の角度で交差する。

【0023】

角錐形空洞 2 2 の <111> 結晶面の側壁によって、角錐形空洞 2 2 の内部が正確に形成されるので、角錐形空洞 2 2 は、ミクロン領域、それどころか、サブミクロン領域内の精度で、精密形成されることになる。球面レンズ 2 5 が、角錐形空洞 2 2 内に収容されると、球面レンズ 2 5 の 3 次元位置が、角錐形空洞と同じく標準的なフォトリソグラフィック・プロセスに基づく精度で決定される。

【0024】

実施例の 1 つでは、水酸化カリウム (KOH) エッチング液を用いて、異方性エッチングが実施される。代わりに、他のタイプのエッチング液を用いて、角錐形空洞のエッチングを行うことも可能である。

【0025】

角錐形空洞 2 2 の開口部 3 0 は、ほぼ正方形である。開口部の縁（例えば、開口部縁 3 5）は、側壁と取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a の交差部分で形成される。さらに、側壁縁（例えば、側壁縁 3 6）は、やはり、2 つの隣接する側壁の交差部分に形成される。

【0026】

一実施例では、角錐形空洞 2 2 の開口部 3 0 のサイズは、図 4 に示すように、球面レンズ 2 5 が角錐形空洞 2 2 内に収容された時、角錐形空洞 2 2 の開口部縁ではなく、側壁と接触するように、球面レンズ 2 5 よりも大きいことが望ましい。この場合、角錐形空洞 2 2 の傾斜した側壁によって、球面レンズ 2 5 のための頑健な接点（すなわち、接点 5 0 ~ 5 3）が得られる。既知のように、平面は、縁よりも頑健である。縁は脆く、形成が困難である。縁が適正に形成されていないか、あるいは、欠けている場合、球面レンズとの接点が移動する可能性がある。このため、球面レンズの位置が所定の位置からずれる可能性がある。さらに、縁接点では、一般に、球面形状の物体を拘束することはできない。これらの問題は、平面を利用して、接点を形成すれば解消される。さらに、角錐形空洞 2 2 の傾斜した側壁によって、球面レンズ 2 5 が正確に接点に位置決めされる。代わりに、角錐形空洞 2 2 に対して、球面レンズ 2 5 が、角錐形空洞 2 2 に収容されると、角錐形空洞 2 2 の開口部縁に接触するようなサイズを付与することもある。

【0027】

角錐形空洞 2 2 が取り付け部材 2 1 に形成された後、フォトニクス素子 2 3 は、取り付け部材 2 1 に取り付けられる。フォトニクス素子 2 3 は、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a に配置された金属パッド 2 4 に取り付けられる。金属パッド 2 4 を介して取り付け部材 2 1 に直接フォトニクス素子 2 3 を取り付けることによって、フォトニクス素子 2 3 の光

10

20

40

50

学軸 4 1 は、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a に近接する。このため、フォトニクス素子 2 3 の光学軸 4 1 は上部表面 2 1 a からの高さが比較的低くなる。

【0028】

一実施例では、光学軸 4 1 は、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a から約 90 ミクロンである。代わりに、光学軸 4 1 の取り付け部材の高さが、2 1 の上部表面 2 1 a から 90 ミクロンを超えるか、または、90 ミクロン未満になるようにすることも可能である。

【0029】

フォトリソグラフィック・プロセス（すなわち、マスキング及びマスクを介した金属被着）を利用して、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a における所定の領域に、金属パッド 2 4 が形成される。これによって、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a における所定の位置に金属パッド 2 4 が形成される。金属パッド 2 4 によって、フォトニクス素子 2 3 のための電気接点が得られる。

10

【0030】

光学軸 4 1 の高さは、フォトニクス素子 2 3 と球面レンズ 2 5 の間のビーム逃げに影響する。光学軸 4 1 の高さが比較的低ければ、2 つの部品 2 3 及び 2 5 間にビーム逃げがなくなる可能性がある。もちろん、光学軸 4 1 の高さを上げて、この問題を解決しようすることは可能である。しかし、このために他の多くの問題が生じる可能性がある。

【0031】

フォトニクス素子 2 3 の光学軸 4 1 の高さが比較的低い場合に、フォトニクス素子 2 3 と球面レンズ 2 5 の間にビーム逃げを設けるため、フォトニクス素子 2 3 は、図 4 に示すように、フォトニクス素子 2 3 の前部ファセット 2 3 a が角錐形空洞 2 2 の角（すなわち、角 4 5 ）に向き合うように取り付け部材 2 1 に配置される。角錐形空洞 2 2 の開口部 3 0 の対角線の一方は、フォトニクス素子 2 3 の光学軸 4 1 と整列する、すなわち、光学軸 4 1 と同一線上に位置するが、開口部 3 0 のもう一方の対角線は、光学軸 4 1 に対してほぼ垂直になる（図 4 参照）。このため、フォトニクス素子 2 3 と球面レンズ 2 5 の間の光ビーム経路 4 3 は、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a の下の角錐形空洞 2 2 内に延び、ビームが取り付け部材 2 1 によって遮られることはない。換言すれば、光ビーム経路 4 3 のための光ビーム・チャネルが、角 4 5 に形成される（図 4 及び図 5 参照）。このため、光ビームは、ビーム遮断を被ることなく、フォトニクス素子 2 3 から球面レンズ 2 5 に達することが（あるいは、その逆が）可能になるので、光学結合の効率が高くなる。

20

【0032】

しかし、留意しておくべきは、開口部 3 0 が、角でなく、フォトニクス素子 2 3 の前部ファセット 2 3 a に向かい合った辺を備えている場合には、光ビーム・チャネルは形成されず、ビームの遮断が生じる可能性があるということである。図 1 1 A 及び図 1 1 B には、こうした事例が示されている。図 1 1 A 及び図 1 1 B から明らかなように、取り付け部材 1 3 1 の角錐形空洞 1 3 5 は、やはり、取り付け部材 1 3 1 に取り付けられたフォトニクス素子 1 3 2 に向かい合った辺を備えている。光ビームの発散のため、球面レンズ 1 3 3 とフォトニクス素子 1 3 2 の間の光ビーム経路 1 3 6 が、取り付け部材 1 3 1 の上部表面の下方に延びており、部分的に光ビームが遮断される。シリコン基板は、光に対し不透明であるので、取り付け部材 1 3 1 は、取り付け部材 1 3 1 に入射する光を遮断する。同様に、角錐形空洞 1 3 5 に収容されるた球面レンズ 1 3 3 の反対側でも、図 1 1 A 及び図 1 1 B に示すように、光ビームの遮断が起こる。

30

【0033】

しかし、図 3 ~ 図 5 から明らかなように、その光学軸 4 1 と角錐形空洞 2 2 の対角線とが整列するように、フォトニクス素子 2 3 を配置することによって、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a からの光学軸 4 1 の高さが、比較的低い場合であっても、フォトニクス素子 2 3 と球面レンズ 2 5 の間に光ビーム・チャネルが形成される。図 3 ~ 図 5 から明らかなように、光ビーム経路 4 3 は、取り付け部材 2 1 の上部表面 2 1 a の下方に延びるが、角錐形空洞 2 2 によって設けられる開放スペースを通るので、取り付け部材 2 1 に当たらない。

40

50

## 【0034】

球面レンズ25にたいして角錐形空洞22の他の側部にビーム逃げを設けるため、角錐形空洞22の角45の反対側の角にV字形切り欠き31が形成される(図3及び図4参照)。取り付け部材21が、その角に沿ってウェーハから分離される時、切り欠き31が形成される。取り付け部材21がシリコン・ウェーハで造られる場合、角が除去され、切り欠きが形成されるように、ウェーハを切断またはへき開することが可能である。V字形切り欠き31を形成する目的は、図4及び図5に示すように、光学軸41に沿って妨げるものない、遮断されずにすむ光ビーム経路40を形成することにある。代わりに、他のメカニズムを利用して、ビーム逃げを設けることも可能である。例えば、角錐形空洞22に隣接して別の空洞を形成し、図12～図14に示すように、2つの空洞が互いに重なり合って、V字形切り欠きが形成されるようにすることも可能である。図12は、平面図であり、図13は、側断面図である。図14には、KOHエッチング液で、フォトリソグラフィック・パターンにエッチングを施すことにより、もう一方の空洞に重なって、切り欠き31を生じることになる空洞を形成する実施例の1つが示されている。

## 【0035】

図12～図14から明らかなように、角錐形空洞204が、角錐形空洞203に重なって、切り欠き206を形成する。空洞204の形状は、空洞203の形状とほぼ同じである。重なり合う角錐形空洞は、独立した「三角形のような」フォトリソグラフィック開始パターンから形成される。KOHエッチングが進むにつれて、開始パターンが、アンダーカットされて、重なり始めるが、この重なり合う程度は、開始パターンの形状及びエッチングの長さによって制御することが可能である。ある実施例では、空洞204のサイズは、空洞203のサイズよりわずかに小さめである。代わりに、空洞204のサイズを空洞203のサイズより大きくしたり、あるいは、小さくすることも可能である。

## 【0036】

図13から明らかなように、切り欠き206によって、ビーム経路212のビーム逃げが得られる。図14から明らかなように、最初に、異方性エッチングによって、取り付け部材201に空洞204が形成され、次に、空洞204に向かって異方性エッチングを施すことによって、空洞203が形成され、2つの空洞203、204が重なり合うことによって、切り欠き206が形成される。代わりに、最初に、空洞203を形成して、切り欠き206を形成することも可能である。次に、空洞203に重なるように、空洞204が形成される。

## 【0037】

図4にもどり、フォトニクス素子23は、角錐形空洞22から所定の距離をあけ、開口部30の中心30aがフォトニクス素子23の焦点にくるように位置決めされる。換言すれば、フォトニクス素子23の前部ファセット23aと角錐形空洞22との距離は、球面レンズ25からフォトニクス素子23に、または、フォトニクス素子23から球面レンズ25に、光学的に光を結合することができるよう設定される。開口部30の4つの縁は、フォトニクス素子23の前部ファセット23aに対して平行でもなく、垂直でもない。それどころか、各縁は、フォトニクス素子23の前部ファセット23aに対して約45°の角度をなしている。代替案として、角度が45°を超えるか、45°未満になるようにすることも可能である。

## 【0038】

一実施例では、所定の距離は、球面レンズ25の最も近接した表面からフォトニクス素子23の前部ファセット23aまでが、フォトニクス素子23の前部ファセット23aから60ミクロン以内になるように設定される。この距離は、多くの用途、とりわけ、光が平行化されることになる用途に当てはまる。別の実施例では、この距離は10ミクロン以内にすることができる。代替案として、この距離をもっと短くしたり、もっと長くすることも可能である。

## 【0039】

一実施例では、フォトニクス素子23は、半導体レーザである。もう1つの実施例の場合 50

、フォトニクス素子23は、端面発光半導体レーザである。もう1つの実施例の場合、フォトニクス素子23は、光検出器である。この場合、光検出器は、面検出光検出器または端面検出光検出器とすることが可能である。

【0040】

一実施例では、金属パッド24は、金またはアルミニウム層である。代替実施例の場合、他の導電性材料を用いて、金属パッド24を形成することも可能である。

【0041】

フォトニクス素子23は、既知の手段によって金属パッド24に固定される。例えば、フォトニクス素子23は、ハンダ・ボンディングによって金属パッド24に接合される。代替案として、導電性エポキシを利用して、フォトニクス素子23を金属パッド24に接合することも可能である。さらに、最初に、フォトニクス素子23を金属パッド24にハンダ・ボンディングすることも可能である。その後、フォトニクス素子23と金属パッド24との間の空隙を導電性エポキシによって充填することが可能である。既知のテクスチャ-冷間熔接技術を利用して、フォトニクス素子23と金属パッド24を接合することも可能である。

10

【0042】

球面レンズ25は、角錐形空洞22に収容された後、角錐形空洞22に接合される。実施例の1つでは、グルーを用いて、球面レンズ25が角錐形空洞22に接合される。代わりに、他のタイプの接着剤を利用して、球面レンズ25を空洞22に接合することも可能である。例えば、エポキシを利用することができる。

20

【0043】

実施例の1つでは、球面レンズ25の屈折率は約1.5である。他の実施例では、球面レンズ25の屈折率は1.5を超える可能性がある。例えば、球面レンズ25の屈折率は2.0とすることができます。

【0044】

一実施例の場合、角錐形空洞22は、ほぼ四角錐形である(図3及び図4に示す)。代替案として、角錐形空洞22は、他の形状にすることも可能である。例えば、角錐形空洞22は、四角錐台とすることも可能である(図6に示すように)。図6には、角錐台形空洞22aを備えた取り付け部材21が示されている。図6から明らかなように、フラットな底部表面32aによって、角錐形空洞22の全ての側壁(例えば、側壁32a及び33a)が接続されている。球面レンズ25が空洞22a内に収容されている時、底部表面32aは、球面レンズ25とは接触しない。この場合、角錐形空洞22の側壁は、三角形の側壁ではない。代わりに、これらの側壁は、台形であり、平坦な底部表面32aによって接続されている。

30

【0045】

さらに、図3～図5に示す角錐形空洞22の開口部30は、他の形状にすることも可能である。例えば、開口部30は、角錐形空洞22の1つ以上の角を切断した正方形の開口部にすることが可能である。

【0046】

さらに、空洞22の形状は、角錐形である必要がない場合もある。例えば、空洞22は、図15に示すように、ビーム逃げを設けるため、円形または橢円形開口部が1対の対角線傾斜溝に結合された、円錐形にすることが可能である。図15は、円形開口部302、及び、円形開口部302に結合された1対の対角線傾斜溝303及び304を備えた円錐形空洞301を含む、取り付け部材300の平面図である。

40

【0047】

図7及び図8には、本発明のもう1つの実施例に基づいて、フォトニクス素子23と球面レンズ25を取り付けるための取り付け部材71に形成された、別のタイプの角錐形空洞72が示されている。図7は、取り付け部材71の平面図であり、図8は、フォトニクス素子23の光学軸81に沿った側断面図である。図4～図5及び図7～図8から明らかなように、角錐形空洞72は、角75と平坦な底面73を備える点を除けば、角錐形空洞2

50

2と同じである。この形状は、焦点距離がレンズ・角間の距離より短い場合に有利である。代わりに、角錐形空洞72は、切頭角75しか備えることができない。切頭角75によって、角錐形空洞22の場合よりも球面レンズ25に近接してフォトニクス素子23を配置することが可能になる。角錐形空洞22及び72によって得られるフォトニクス素子23と球面レンズ25間の距離が異なるのは、球面レンズ25が備える可能性のある異なる屈折率及びサイズを利用した、異なる設計目的に適応するためである。

【0048】

図3～図8に、フォトニクス・モジュール20の部品の全てが示されているわけではないという点に留意されたい。これは、フォトニクス・モジュール20の部分をより明確に示すことができるようとするためである。例えば、図3には、光ファイバに光学的に結合された球面レンズ25が示されていない。

10

【0049】

図9及び図10には、本発明の実施例の1つに基づき、<100>結晶基板90にエッチングを施して、角錐形空洞91を形成するプロセスが示されている。図9は、半導体基板90の平面図であり、図10は、図9のライン10-10に沿った断面図である。図9及び図10から分かるように、半導体基板90の<100>上部表面が、角錐形空洞91のエッチングに備えて、感光層100(図10に示す)のほぼ三角形の開口部92aによって露光される。三角形の開口部92aは、フォトリソグラフィ法によって、基板90の<100>結晶軸120に沿って感光層100上に形成される。三角形開口部92aの2つの縁93及び94は、基板90の2つの<111>結晶面上に位置する。代わりに、ほぼ三角形の開口部92aが、角の切頭により、四辺形に見えるようにすることも可能である。

20

【0050】

次に、例えば、KOHエッチング液を利用し、開口部92aを介して、基板90に異方性エッチングが施される。異方性エッチングの速度は、例えば、1000対1とすることが可能であり、この結果、三角形の開口部92aの斜辺に平行な、感光層100の下を水平方向に延びる垂直壁部(例えば、図10の壁部112～112b)が生じることになる。垂直壁部に食い込むエッチング速度は、垂直方向のエッチング速度とほぼ同じである。エッチングは、最終的には、垂直壁部112が消失すると、空洞91内で自己停止する。この時点で、角錐形空洞91は、その4つの側壁の全てが、<111>結晶面によって形成された、正方形の開口部92を備えている。異方性エッチングが、エッチング・プロセスの初期段階で停止すると、垂直壁部112(図10に示す)によって形成された切頭角を備える角錐形空洞91が形成される。さらに、角錐形空洞91にエッチングを施すことによって、平坦な底部表面111を備えることが可能である。図10には、異方性エッチングの異なる段階が示されている。

30

【0051】

図9及び図10から明らかなように、角錐形空洞91は、エッチング条件によって、図3～図5の角錐形空洞22の形状、図6の角錐形空洞22aの形状、あるいは、図7及び図8の角錐形空洞72の形状を備えることができる。角錐形空洞91は、完全にエッチングが行われると、図3～図5の角錐形空洞22の形状になる。完全にエッチングが済む前に、エッチングを中止すると、角錐形空洞91は、図7及び図8の角錐形空洞72の形状を呈する可能性がある。

40

【0052】

上記明細書では、特定の実施例に関連して本発明の説明を行ってきた。しかし、当該技術の熟練者には明らかなように、本発明のより一般的な精神及び範囲を逸脱することなく、さまざまな修正及び変更を加えることが可能である。従って、明細書及び図面は、制限ではなく、例示を意味するものとみなすべきである。以下に本発明の実施態様を例示する。

【0053】

(実施態様1)：

(A) 基板と、

50

(B) 基板内に形成された傾斜した側壁を備える空洞と、  
 (C) 空洞の対角線と整列した光学軸を備え、空洞から所定の距離をあけて基板に取り付けられたフォトニクス素子と、  
 (D) 光ビームを遮ることなく、フォトニクス素子と所定の関係をなすように、空洞の側壁によって収容された球面レンズとが含まれている、  
 光学素子。

## 【0054】

(実施態様2) :

空洞が角錐形空洞であることを特徴とする実施態様1に記載の光学素子。

(実施態様3) :

基板が、結晶シリコン材料から造られることと、角錐形空洞が、主として基板の結晶面に沿って角錐形空洞の側壁が得られるように、所定の領域にマスキング及び異方性エッチングを施すことによって形成されることを特徴とする、実施態様2に記載の光学素子。

(実施態様4) :

基板が&lt;100&gt;表面を備えており、角錐形空洞の側壁が、&lt;111&gt;結晶面であることを特徴とする、実施態様3に記載の光学素子。

## 【0055】

(実施態様5) :

フォトニクス素子が半導体レーザ及び半導体光検出器の一方であることを特徴とする、実施態様1に記載の光学素子。

(実施態様6) :

さらに、前記角錐形空洞に重畳して切り欠きを形成する、フォトリソグラフィ法で形成された第2の角錐形空洞が含まれることを特徴とする、実施態様2に記載の光学素子。

## 【0056】

(実施態様7) :

角錐形空洞に、さらに、対角線に沿ってフォトニクス素子から遠隔の角錐形空洞の角に位置するV字形切り欠きが含まれていることを特徴とする、実施態様2に記載の光学素子。

(実施態様8) :

角錐形空洞に、さらに、対角線に沿ってフォトニクス素子に隣接した切頭角が含まれることを特徴とする、実施態様2に記載の光学素子。

(実施態様9) :

空洞が、光ビームのクリアランスが得られるように1対の傾斜溝を備えた、四辺形の角錐形空洞及び円錐形空洞の一方であることを特徴とする、実施態様1に記載の光学素子。

## 【0057】

(実施態様10) :

基板が、結晶シリコン材料から造られており、その上部表面と下部表面が所定の角度で基板の&lt;100&gt;結晶面と交差することと、空洞の側壁が、基板の&lt;111&gt;結晶面上に位置することを特徴とする、実施態様1に記載の光学素子。

(実施態様11) :

球面レンズが、空洞内において基板に結合されていることを特徴とする、実施態様1に記載の光学素子。

## 【0058】

(実施態様12) :

(A) 基板に、傾斜した側壁を備える空洞を精密形成するステップと、  
 (B) 空洞から所定の距離をあけて、その光学軸が空洞の対角線と整列して、フォトニクス素子を基板に取り付けるステップと、

(C) 空洞内に球面レンズを納め、球面レンズが、光ビームを遮ることなく、フォトニクス素子と所定の関係をなすように、空洞の側壁と接触している状態にするステップが含まれている、

光学素子の製造方法。

10

20

30

40

50

## (実施態様 13) :

さらに、空洞内において、納められた球面レンズと基板を結合するステップが含まれることを特徴とする、実施態様 12 に記載の方法。

## 【0059】

## (実施態様 14) :

基板が、結晶シリコン材料から造られることと、ステップ (A) が、フォトリソグラフィ法によって実施されることを特徴とする、実施態様 12 に記載の方法。

## (実施態様 15) :

空洞が、基板の結晶面によって形成される空洞の側壁が得られるように、基板にマスキング及び異方性エッチングを施すことによって形成されることを特徴とする、実施態様 14 10 に記載の方法。

## (実施態様 16) :

基板が、 $<100>$  表面を備えており、角錐形空洞の側壁が、 $<111>$  結晶面であることを特徴とする、実施態様 15 に記載の方法。

## 【0060】

## (実施態様 17) :

ステップ (A) に、さらに、

(a) 空洞の正方形の開口部のほぼ半分を形成する基板のパターンを露光させるステップと、

(b) 露光パターンにエッチングを施すステップが含まれることと、該エッチングが、異方性で、空洞が形成されるように、主として基板の結晶面に沿って行われることを特徴とする、実施態様 14 20 に記載の方法。

## (実施態様 18) :

さらに、正方形の開口部が形成される前にエッチングを中止することによって、空洞の切頭角を形成し、フォトニクス素子を球面レンズから最短化された距離に配置できるようにするステップが含まれることを特徴とする、実施態様 17 に記載の方法。

## 【0061】

## (実施態様 19) :

ステップ (B) に、さらに、対角線に沿ってフォトニクス素子から遠隔の空洞の角に V 字形状の切り欠きを形成するステップが含まれることを特徴とする、実施態様 14 30 に記載の方法。

## (実施態様 20) :

さらに、空洞に重なって、切り欠きを形成する第 2 の空洞を精密形成するステップが含まれることを特徴とする、実施態様 12 に記載の方法。

## 【0062】

## (実施態様 21) :

空洞が、光ビームのクリアランスが得られるように 1 対の傾斜溝を備えた、四辺形の角錐形空洞及び円錐形空洞の一方であることを特徴とする、実施態様 12 に記載の方法。

## (実施態様 22) :

基板が、結晶シリコンから造られており、その上部表面と下部表面が所定の角度で基板の $<100>$  結晶面と交差することと、空洞の側壁が、基板の $<111>$  結晶面上に位置することを特徴とする、実施態様 12 に記載の方法。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1A】先行技術によるフォトニクス・モジュールの概略図である。

【図 1B】先行技術によるフォトニクス・モジュールの概略図である。

【図 2A】図 1A のフォトニクス・モジュールのパッケージを示す断面図である。

【図 2B】図 1B のフォトニクス・モジュールのパッケージを示す断面図である。

【図 3】本発明の実施例の 1 つに基づき、フォトニクス素子に関連して球面レンズを取り付けるための角錐形空洞を備えた取り付け部材の透視図である。

【図 4】フォトニクス素子及び球面レンズが取り付けられ、光学的光路が形成された図 3 50

の取り付け部材の平面図である。

【図 5】取り付け部材に取り付けられたフォトニクス素子及び球面レンズの光学軸に沿った図 3 の取り付け部材の側断面図である。

【図 6】図 3 ~ 図 5 の先端が切断された底面を備える角錐形空洞を示す図である。

【図 7】図 3 ~ 図 6 の角錐形空洞のもう 1 つの構成を示す平面図である。

【図 8】図 7 のライン 8 1 に沿った取り付け部材の側断面図である。

【図 9】本発明の実施例の 1 つに従って取り付け部材に角錐形空洞を形成するプロセスを説明するための図である。

【図 10】本発明の実施例の 1 つに従って取り付け部材に角錐形空洞を形成するプロセスを図 9 とともに説明するための図である。

【図 11 A】フォトニクス素子を取り付けるためのもう 1 つの構成に関する光ビームの遮断を示す図である。

【図 11 B】フォトニクス素子を取り付けるためのもう 1 つの構成に関する光ビームの遮断を図 11 A とともに示す図である。

【図 12】角錐形空洞に収容された時に、球面レンズの出力側にビーム逃げが得るもう 1 つの実施例を示す図である。

【図 13】角錐形空洞に収容された時に、球面レンズの出力側にビーム逃げが得られるようにするもう 1 つの実施例を示す図である。

【図 14】角錐形空洞に収容された時に、球面レンズの出力側にビーム逃げが得られるようにするもう 1 つの実施例を図 13 とともに示す図である。

【図 15】図 3 ~ 図 4 の空洞のもう 1 つの形状を示す図である。

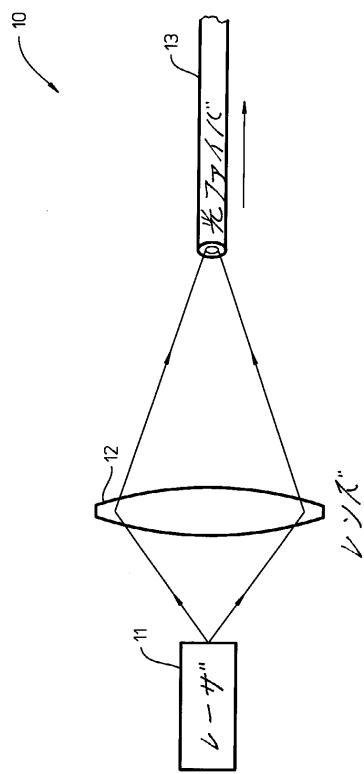
【符号の説明】

4	光学軸	
2 0	フォトニクス・モジュール	
2 1	取り付け部材	
2 1 a	上部表面	
2 2	角錐形空洞	
2 3	フォトニクス素子	
2 4	金属パッド	
2 5	球面レンズ	30
3 0	開口部	
3 2	側壁	
3 3	側壁	
3 5	開口部縁	
3 6	側壁縁	
4 0	光ビーム経路	
4 1	光学軸	
4 3	光ビーム経路	
4 5	角錐形空洞の角	
7 1	取り付け部材	40
7 2	角錐形空洞	
7 3	底面	
7 5	角	
8 1	光学軸	
9 0	基板	
9 1	角錐形空洞	
9 2	正方形の開口部	
9 2 a	三角形の開口部	
9 3	縁	
9 4	縁	50

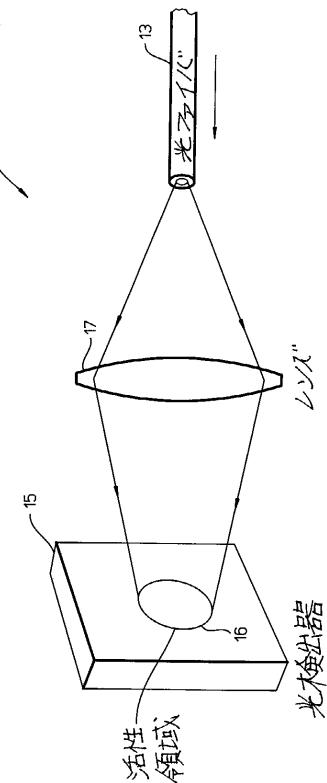
- 1 0 0 感光層  
 1 1 1 底部表面  
 1 1 2 垂直壁部  
 1 2 0 結晶軸  
 1 3 1 取り付け部材  
 1 3 2 フォトニクス素子  
 1 3 3 球面レンズ  
 1 3 5 角錐形空洞  
 1 3 6 光ビーム経路  
 2 0 1 取り付け部材  
 2 0 3 角錐形空洞  
 2 0 4 角錐形空洞  
 2 0 6 切り欠き  
 2 1 2 ビーム経路  
 3 0 0 取り付け部材  
 3 0 1 円錐形空洞  
 3 0 2 円形開口部  
 3 0 3 対角線傾斜溝  
 3 0 4 対角線傾斜溝

10

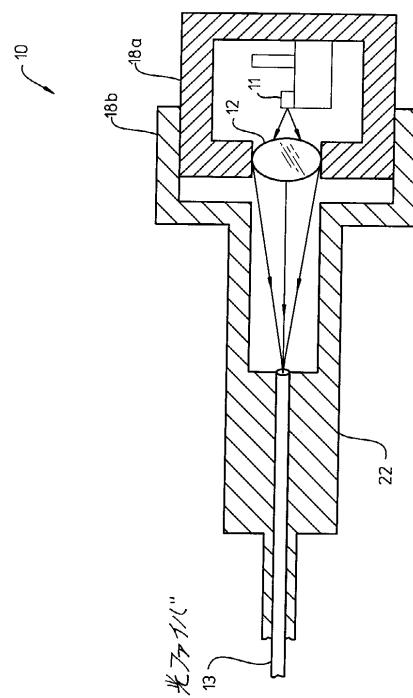
【図1A】



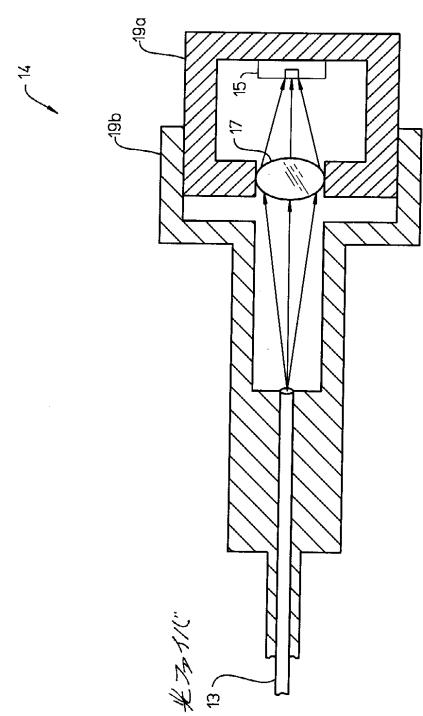
【図1B】



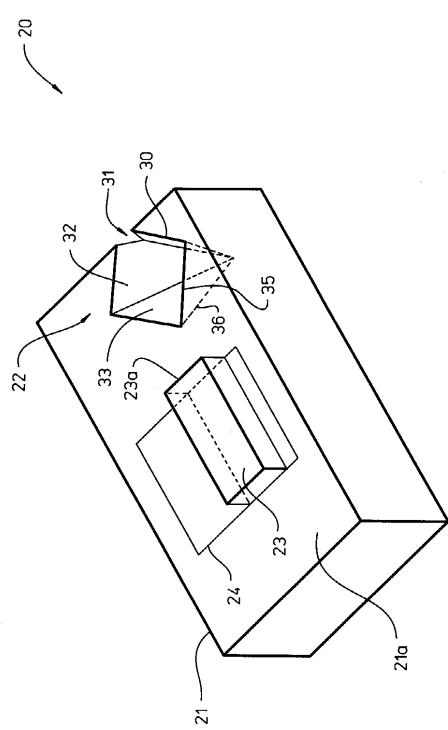
【図2A】



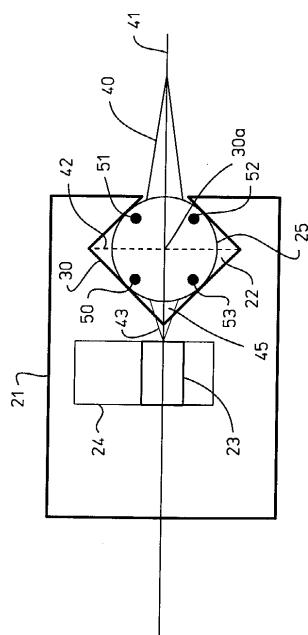
【図2B】



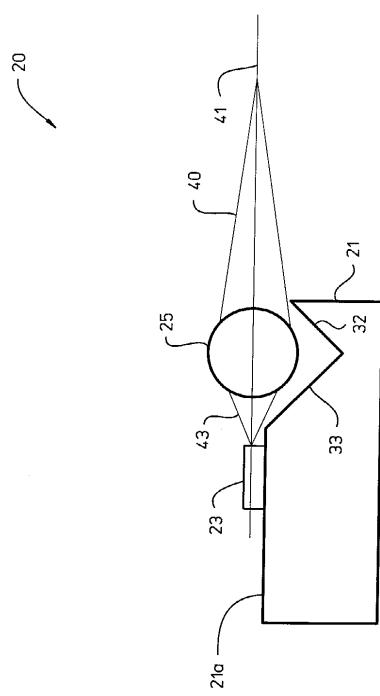
【図3】



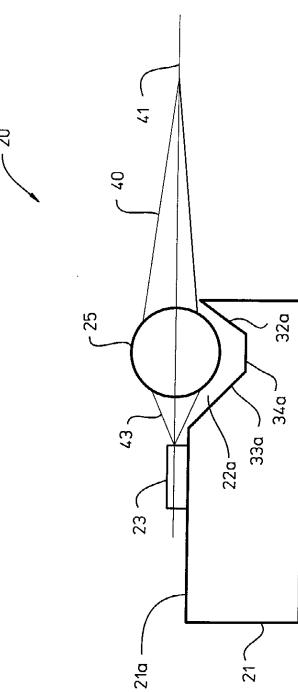
【図4】



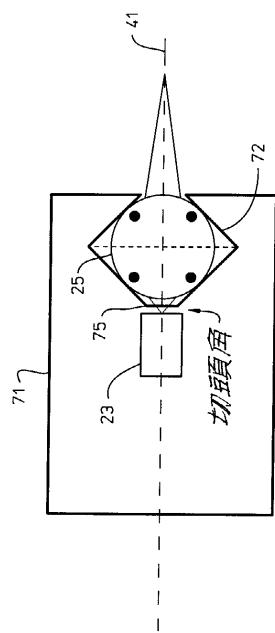
【図5】



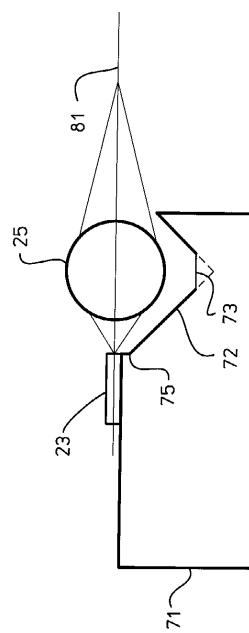
【図6】



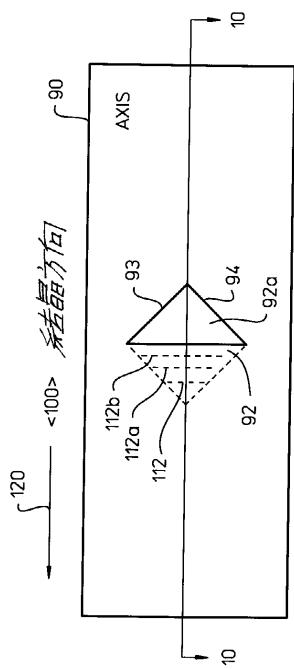
【図7】



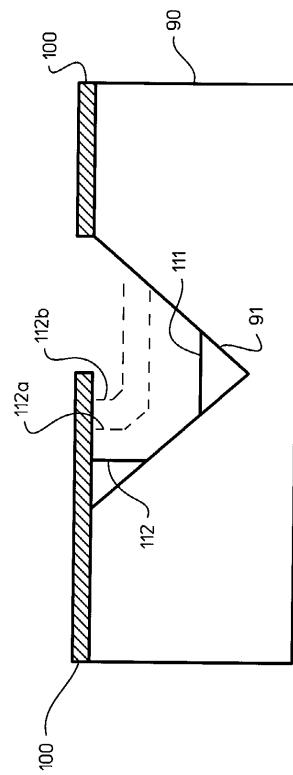
【図8】



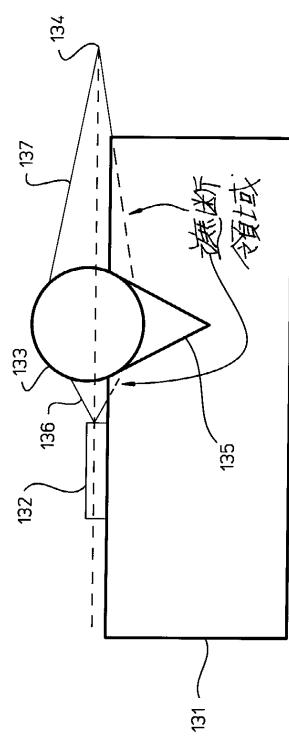
【図9】



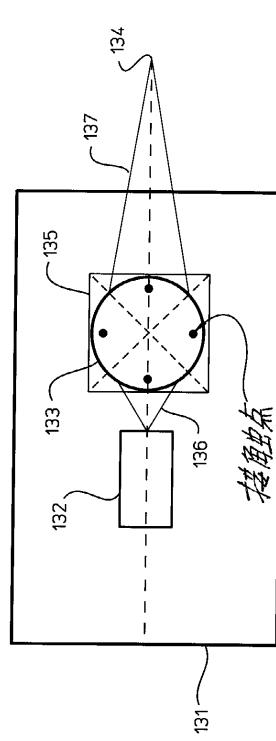
【図10】



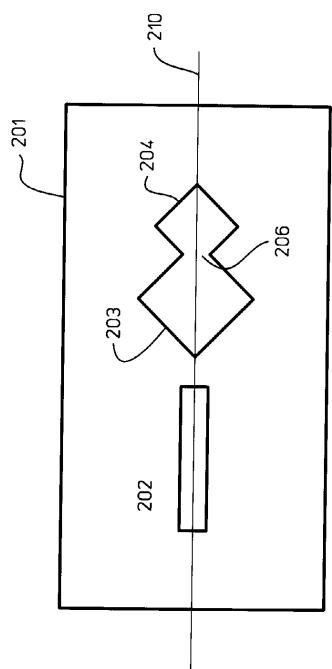
【図11A】



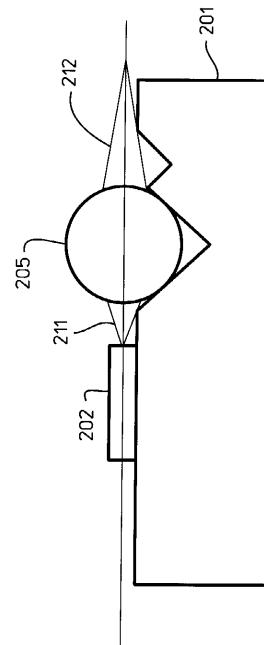
【図11B】



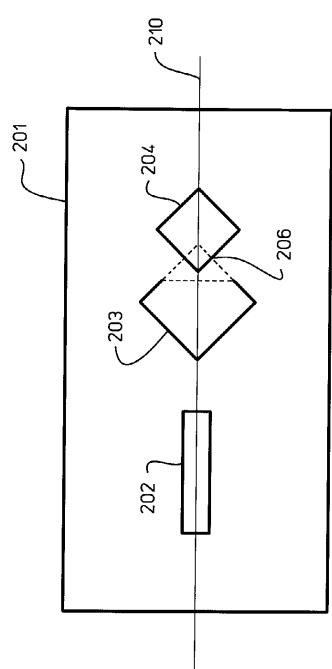
【図12】



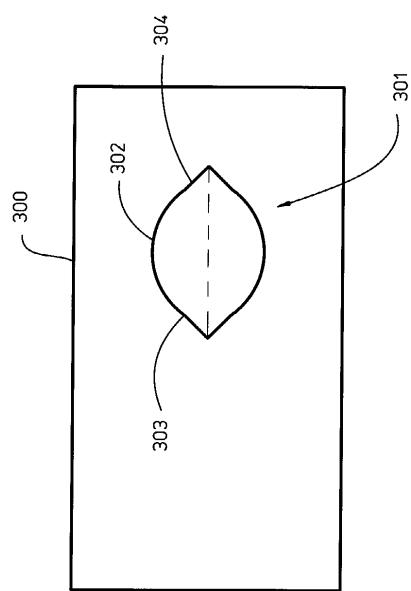
【図13】



【図14】



【図15】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ギャリー・アール・トロット  
アメリカ合衆国カリフォルニア州サン・マテオ、パロット・ドライブ1215

審査官 吉田 英一

(56)参考文献 特開平08-201660(JP,A)  
特開平07-199006(JP,A)  
特開平09-222540(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/42