

(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. Cl.

G O 2 B 6/42 (2006.01)

F I

G O 2 B 6/42

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平9-212902	(73) 特許権者	506076606
(22) 出願日	平成9年8月7日(1997.8.7)		アバゴ・テクノロジーズ・ジェネラル・ア
(65) 公開番号	特開平10-82932		イビー(シンガポール)プライベート・リ
(43) 公開日	平成10年3月31日(1998.3.31)		ミテッド
審査請求日	平成16年5月7日(2004.5.7)		シンガポール国シンガポール768923
(31) 優先権主張番号	705,867		, イーシュン・アベニュー・7・ナンバー
(32) 優先日	平成8年8月28日(1996.8.28)		1
(33) 優先権主張国	米国(US)	(74) 代理人	100087642
			弁理士 古谷 聡
		(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リソ素子と、

光ビームを遮ることなく、前記フォトリソ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

前記フォトリソグラフィ素子が、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リソグラフィ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リソグラフィ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リソグラフィ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リソグラフィ・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リソグラフィ・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、低コストによる、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、フォトリソグラフィ・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。フォトリソグラフィは、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ตอบสนองしてコヒーレントな光を発生するレーザ素子、及び、光にตอบสนอง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、フォトリソグラフィ・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 1 A 及び図 1 B 参照）。図 1 A 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 1 B 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 2 A 及び図 2 B 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 2 A は、図 1 A 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 2 B 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 2 A から明らかなように、固定具 18 a は、レンズ 12 を所定の位置に、かつ、やはり固定具 18 a 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 18 a 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 18 b 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 18 a 及び 18 b によって実現する。図 2 B の場合、固定具 19 a 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。

10

【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。

20

【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す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。

30

【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げ、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げ、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。

40

【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

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。

10

【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。

20

【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を正確に取り付けることが可能になる。

30

【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。

40

【0021】

実施例の1つでは、取り付け部材21は、両方とも、 $\langle 100 \rangle$ 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 $\langle 100 \rangle$ 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 $\langle 100 \rangle$ 平面上になく、所定の角度(例えば、 $\theta$ )で $\langle 100 \rangle$ 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

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、 $\langle 100 \rangle$ 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、 $\langle 100 \rangle$ 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  $\langle 111 \rangle$  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、 $\langle 111 \rangle$  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  $\langle 111 \rangle$  結晶面上に位置することになる。既知のように、 $\langle 111 \rangle$  結晶面は、取り付け部材 2 1 の  $\langle 100 \rangle$  結晶面と約  $54.7^\circ$  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  $\langle 100 \rangle$  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  $54.7^\circ$  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  $\langle 100 \rangle$  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  $54.7^\circ \pm$  の角度で交差する。

10

【0023】

角錐形空洞 2 2 の  $\langle 111 \rangle$  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。

20

【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。

30

【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。

40

【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

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。

【 0 0 2 8 】

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 9 0 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 9 0 ミクロンを超えるか、または、9 0 ミクロン未満になるようにすることも可能である。

【 0 0 2 9 】

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 のための電気接点を得られる。

10

【 0 0 3 0 】

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と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。

【 0 0 3 1 】

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

30

【 0 0 3 2 】

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。

40

【 0 0 3 3 】

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。

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がない、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

10

## 【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。

20

## 【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

30

## 【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

40

## 【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ミクロン以内になることができる。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。既知のテクスチャー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 とすることができる。

【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、円形または楕円形開口部が 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 を取り付けす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に近接してフォトンクス素子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ンクス素子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應するためである。

#### 【0048】

図3～図8に、フォトンクス・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、フォトンクス・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にするためである。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、 $\langle 100 \rangle$ 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 $\langle 100 \rangle$ 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 $\langle 100 \rangle$ 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 $\langle 111 \rangle$ 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、 $\langle 111 \rangle$ 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、所定の領域にマスク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。

10

(実施態様4) :  
基板が $\langle 100 \rangle$ 表面を備えており、角錐形空洞の側壁が、 $\langle 111 \rangle$ 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。

20

(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。

30

(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 $\langle 100 \rangle$ 結晶面と交差することと、空洞の側壁が、基板の $\langle 111 \rangle$ 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。

40

【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。

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 に記載の方法。 10

(実施態様 16) :

基板が、 $\langle 100 \rangle$  表面を備えており、角錐形空洞の側壁が、 $\langle 111 \rangle$  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 に記載の方法。 20

(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 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 に記載の方法。 30

(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  $\langle 100 \rangle$  結晶面と交差することと、空洞の側壁が、基板の  $\langle 111 \rangle$  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。 40

【図面の簡単な説明】

【図 1 A】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 1 B】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 2 A】図 1 A 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 2 B】図 1 B 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８１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１１Ａ】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１１Ｂ】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１１Ａ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
- ２０ フォトニクス・モジュール
- ２１ 取り付け部材
- ２１ａ 上部表面
- ２２ 角錐形空洞
- ２３ フォトニクス素子
- ２４ 金属パッド
- ２５ 球面レンズ
- ３０ 開口部
- ３２ 側壁
- ３３ 側壁
- ３５ 開口部縁
- ３６ 側壁縁
- ４０ 光ビーム経路
- ４１ 光学軸
- ４３ 光ビーム経路
- ４５ 角錐形空洞の角
- ７１ 取り付け部材
- ７２ 角錐形空洞
- ７３ 底面
- ７５ 角
- ８１ 光学軸
- ９０ 基板
- ９１ 角錐形空洞
- ９２ 正方形の開口部
- ９２ａ 三角形の開口部
- ９３ 縁
- ９４ 縁

10

20

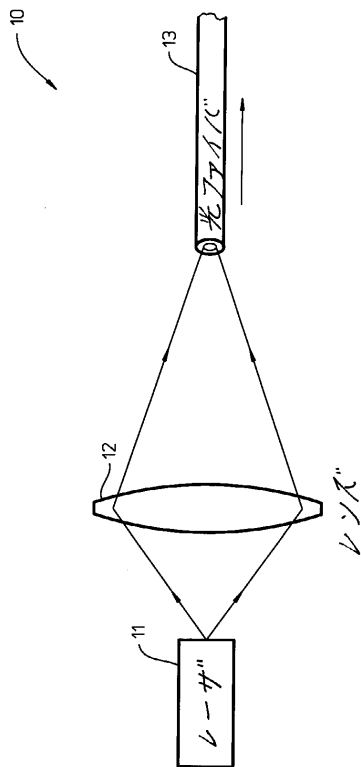
30

40

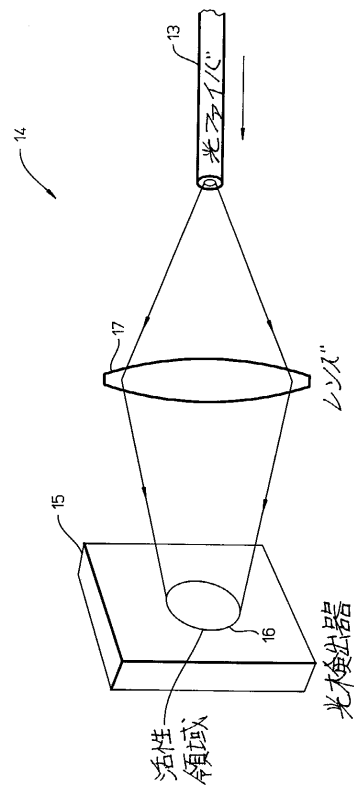
50

- 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

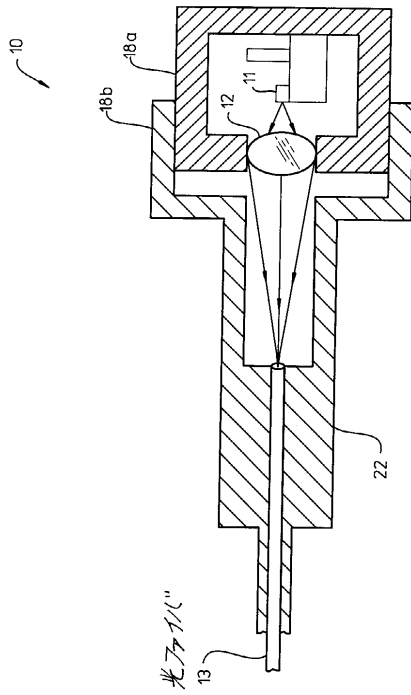
【図 1 A】



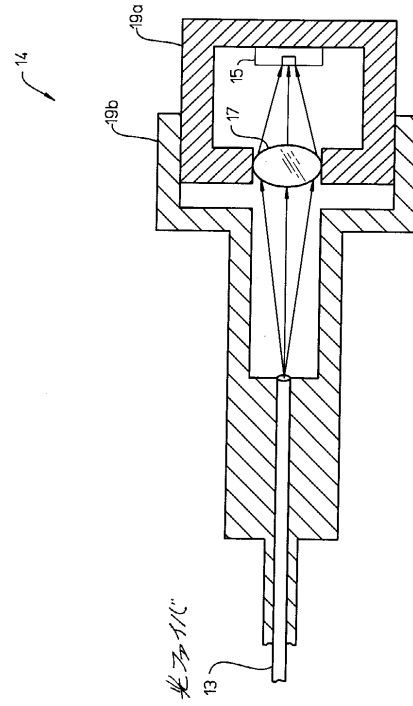
【図 1 B】



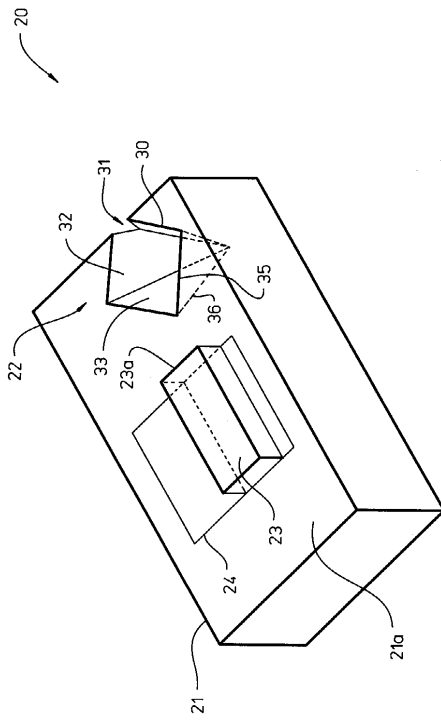
【図 2 A】



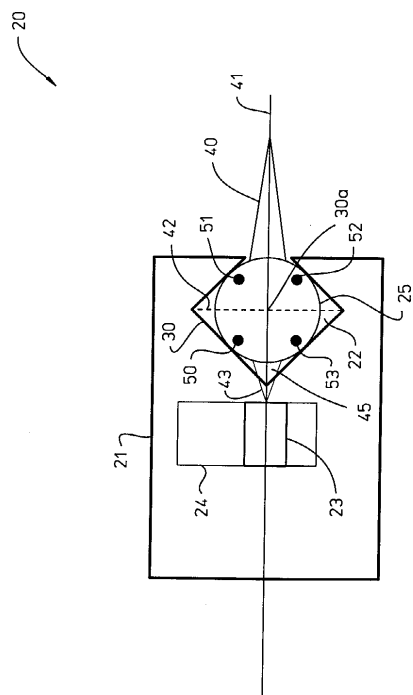
【図 2 B】



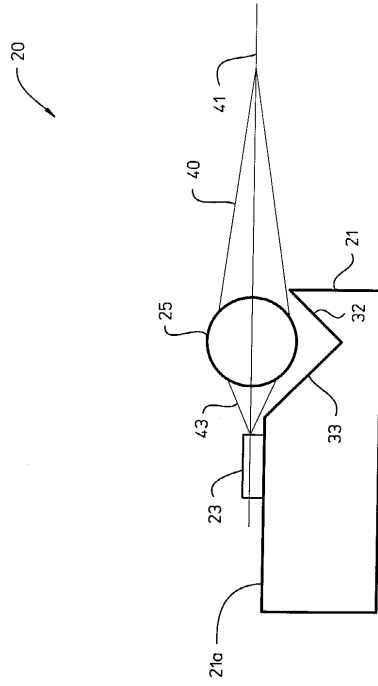
【図 3】



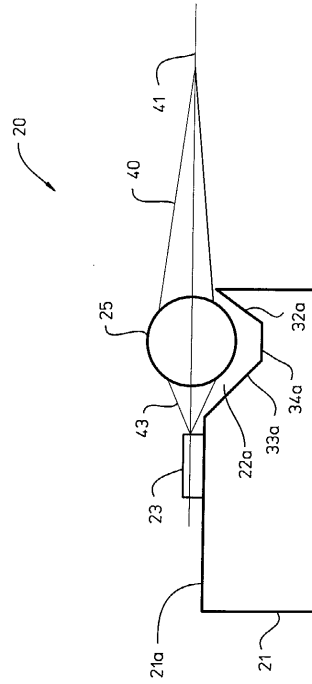
【図 4】



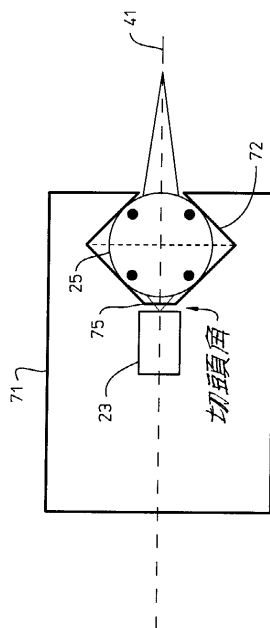
【図 5】



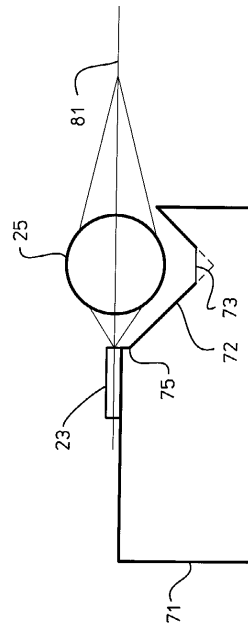
【図 6】



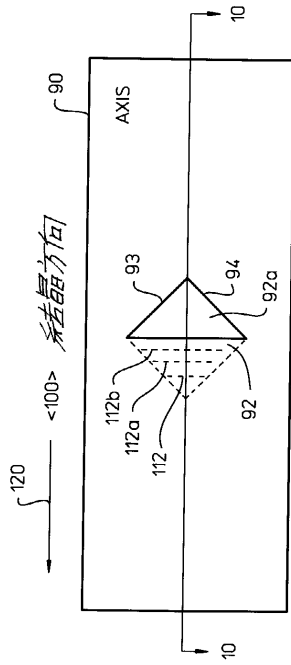
【図 7】



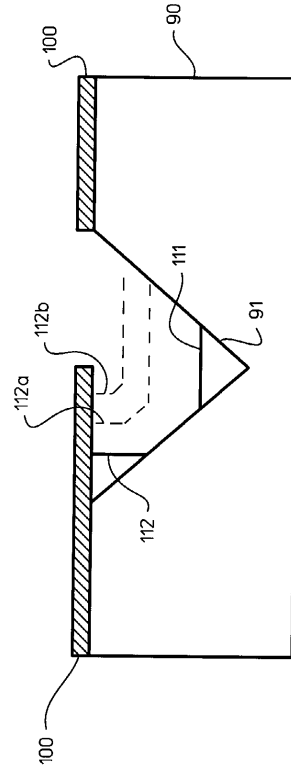
【図 8】



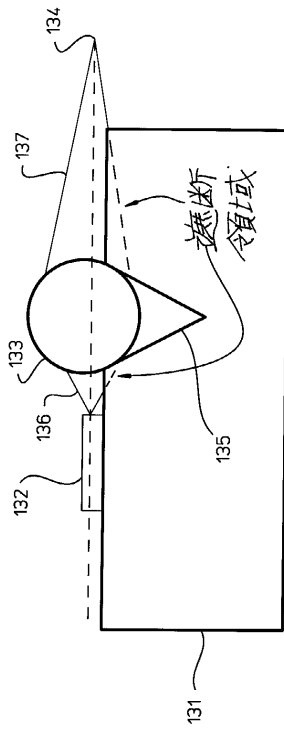
【 図 9 】



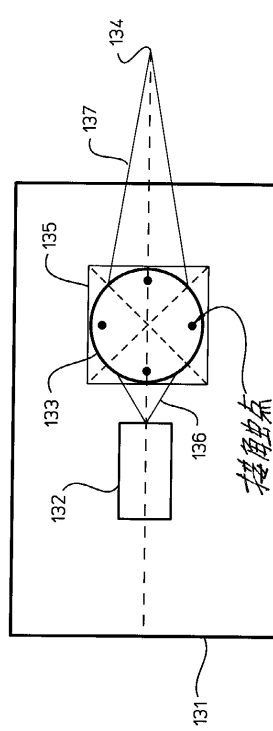
【 図 10 】



【 図 11 A 】

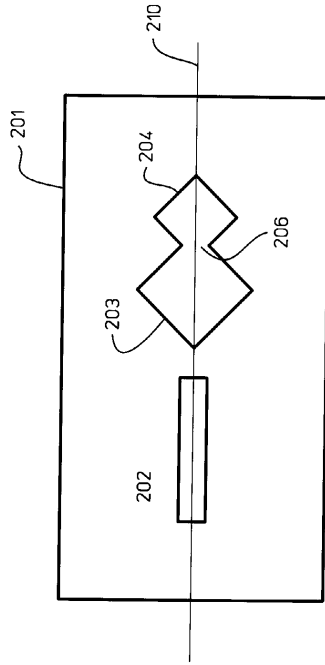


【 図 11 B 】

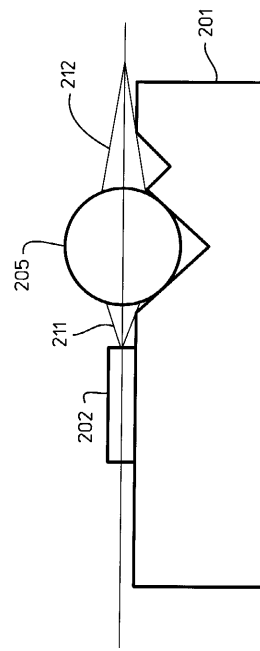




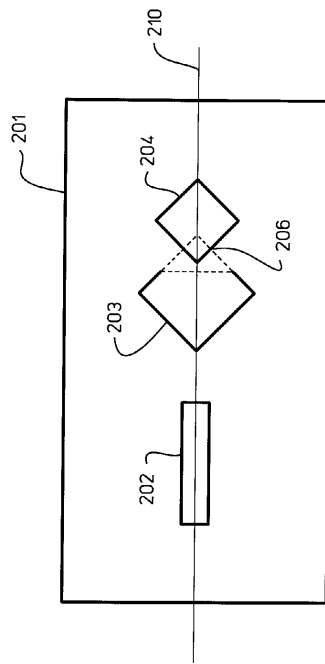
【図 1 2】



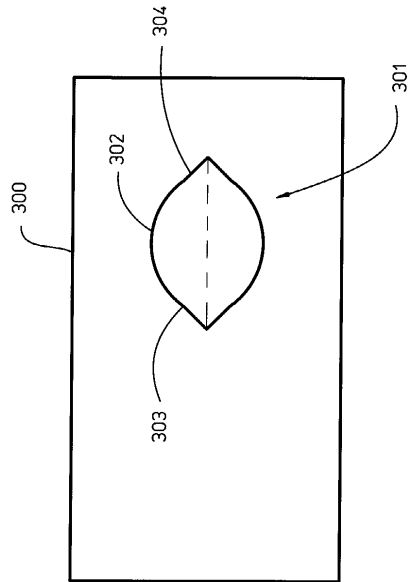
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



---

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