



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 27 343 T2 2004.12.02**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 826 993 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G02B 6/42**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 27 343.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 109 858.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **17.06.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.03.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **28.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.12.2004**

(30) Unionspriorität:

705867 28.08.1996 US

(74) Vertreter:

Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(73) Patentinhaber:

Agilent Technologies Inc., A Delaware Corp., Palo Alto, Calif., US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Trott, Gary R., San Mateo, US

(54) Bezeichnung: **Optoelektronisches Modul**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Faseroptik- oder Photonenmodule. Insbesondere bezieht sich diese Erfindung auf ein verbessertes Mikro-Photonenmodul, das mit einem hohen Präzisionsgrad, ohne Lichtstrahlbehinderung und bei minimierten Kosten hergestellt ist.

[0002] Optische Kommunikationssysteme werden weit verbreitet verwendet zum Befördern sehr großer Mengen an Informationen mit geringer Verzerrung und mit geringen Kosten über große Distanzen. Aus diesem Grund wurden wesentliche Entwicklungen von Komponenten von optischen Kommunikationssystemen durchgeführt, wie z. B. Photonengehäusen oder Modulen. Photonen beziehen sich allgemein auf Vorrichtungen, die sowohl elektronische als auch optische Eigenschaften aufweisen. Diese Vorrichtungen können Laservorrichtungen, die ansprechend auf ein elektronisches Signal kohärentes Licht erzeugen, und Photodetektoren sein, die ansprechend auf Licht ein elektronisches Signal erzeugen.

[0003] Typischerweise verwenden Photonenmodule kantenemittierende Halbleiterlaser und oberflächenerfassende Photodetektoren (siehe **Fig. 1A** und **1B**). Weil ein kantenemittierender Laser **11** einen relativ großen Drehwinkel aufweist, wie es aus **Fig. 1A** ersichtlich ist, weist ein Sendermodul **10** typischerweise eine Linse **12** auf, die zwischen den Laser **11** und eine optische Faser **13** eingefügt ist, um eine hohe Effizienz bei einer optischen Kopplung zu erhalten. Wie es aus **Fig. 1B** ersichtlich ist, ist eine Linse **17** ebenfalls zwischen die optische Faser **13** und einen Photodetektor **15** in einem Empfängermodul **14** eingefügt, um eine hohe Kopplungseffizienz zu erhalten. Dies ermöglicht es, daß die Kopplungseffizienz und der Abstand zwischen unterschiedlichen Elementen gemäß den Entwurfszielen variieren.

[0004] Beim Herstellen des Sendermoduls **10** müssen der Laser **11**, die Linse **12** und die optische Faser **13** in einer genauen und vorbestimmten Ausrichtung zueinander sein. Gleichartig dazu müssen die optische Faser **13**, die Linse **17** und der Photodetektor **15** ebenfalls in einer genauen vorbestimmten Ausrichtung zueinander sein, wenn das Empfängermodul **14** hergestellt wird. Um dies zu erreichen, werden typischerweise dreidimensionale Halterungen und/oder Befestigungen benötigt, um die Komponenten in Position und zueinander ausgerichtet zu halten, wie es in **Fig. 2A** und **2B** gezeigt ist.

[0005] **Fig. 2A** ist eine Seitenquerschnittansicht des Gehäuses des Sendermoduls **10** von **Fig. 1A**. **Fig. 2B** ist eine Seitenquerschnittansicht des Gehäuses des Empfängermoduls **14**. Wie aus **Fig. 2A** ersichtlich ist, wird eine Halterung **18a** verwendet, um die Linse **12** in Position und in einer vorbestimmter

Ausrichtung zu dem Laser **11** zu halten, der ebenfalls an der Halterung **18a** befestigt ist. Diese Halterung **18a** wird dann mit einer anderen Halterung **18b** gekoppelt, die die optische Faser **13** in Position hält und somit das Modul **10** bildet. Die Ausrichtung des Lasers **11**, der Linse **12** und der optischen Faser **13** wird durch die Halterungen **18a** und **18b** erreicht. In **Fig. 2B** wird die Halterung **19a** verwendet, um die Linse **17** zu halten und mit dem Photodetektor **15** auszurichten, und eine Halterung **19b** wird verwendet, um die optische Faser **13** zu halten. Die Halterung **19b** wird dann mit der Halterung **19a** gekoppelt, so daß die optische Faser **13** mit der Linse **17** ausgerichtet ist.

[0006] Ein Nachteil solcher Photonenmodule oder -gehäuse ist, daß die Halterungen aufwendig herzustellen sind, weil dieselben eine relativ hohe Präzision erfordern. Ein weiterer Nachteil ist, daß es zeitaufwendig ist, Komponenten der Photonenmodule unter Verwendung der Halterungen in genauen Positionen zusammenzubauen, wodurch ein geringer Durchsatz bewirkt wird. Außerdem kann auch viel Zeit und Sorgfalt benötigt werden für die Ausrichtung und Einstellung während dem Zusammenbau der Photonenmodule. Dies verhindert eine Massenproduktion der Photonenmodule durch Betreiber mit mittleren Fähigkeiten, wenn die erforderlichen Ausrichtungskriterien beibehalten werden. Diese Faktoren begrenzen typischerweise die Kostenreduktion der Photonenmodule.

[0007] Der Artikel von Gengenbach u. a. „Gefühlvoll und Präzise“, Technische Rundschau Transfer, Bd. 89, Nr. 27/28, 7. Juli 1995, S. 21–23 beschreibt einen Mikrooptikduplexer mit einem Gehäuse, in dem eine Befestigungsplatte vorgesehen ist, mit Kanälen und Ausnehmungen in der Oberfläche der Befestigungsplatte. In den Ausnehmungen sind Kugellinsen angeordnet, die Licht von einer Laserdiode aufnehmen, die an dem Gehäuse befestigt ist, dasselbe zu einem Filter und ferner an eine Photodiode übertragen, die an dem Gehäuse oder einem Fasernetzwerk befestigt ist.

[0008] Die EP 0 640 853 A1 beschreibt eine integrierte optische Hybridtypvorrichtung mit einem doppelschichtigen Substrat. Das zusammengesetzte Substrat umfaßt ein Tragesubstrat. Das zusammengesetzte Substrat umfaßt ein Tragesubstrat und eine laminierte obere Schicht, die auf dem Tragesubstrat gebildet ist. Erste optische Komponenten sind an der Oberfläche der oberen Schicht angeordnet, und Kugellinsen sind in Positionierlöchern in dem Tragesubstrat angeordnet.

[0009] Die DE 41 33 220 A1 beschreibt eine Anordnung zum Koppeln von Licht zwischen Wellenleiterfasern durch Linsen. Auf einem Tragesubstrat sind eine Mehrzahl von Fasern in Faserrillen angeordnet, und

zugeordnete Linsen sind in Ausnahmen angeordnet. Zwischen den Linsen und den Fasern sind lichtführende Rillen vorgesehen.

[0010] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte optische Vorrichtung zu liefern, die eine vereinfachte Kopplung von Licht zwischen einer Photonenvorrichtung, beispielsweise einem Laser oder einem Photodetektor, und einer Linse ermöglicht, ohne Lichtstrahlbehinderung zwischen denselben.

[0011] Diese Aufgabe wird durch eine optische Vorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0012] Die vorliegende Erfindung ist vorteilhaft darin, daß dieselbe ein Mikrophotonenmodul liefert, das mit einem hohen Präzisionsgrad hergestellt ist, das eine robuste mechanische Eigenschaft aufweist und das bei minimierten Kosten hergestellt werden kann.

[0013] Nachfolgend wird ein Verfahren zum Herstellen einer optischen Vorrichtung beschrieben. Das Verfahren umfaßt die Schritte des Bildens eines Hohlraums mit geneigten Seitenwänden in einem Substrat. Eine Photonenvorrichtung ist an dem Substrat an einem vorbestimmten Abstand von dem Hohlraum befestigt, wobei die optische Achse der Photonenvorrichtung mit einer Diagonale des Hohlraums ausgerichtet ist. Eine sphärische Linse sitzt in Kontakt mit den Seitenwänden des Hohlraums, um eine vordefinierte Beziehung mit der Photonenvorrichtung ohne Lichtstrahlbehinderung zu haben.

[0014] Außerdem ist eine optische Vorrichtung beschrieben, die ein Substrat und einen Hohlraum umfaßt, der in dem Substrat gebildet ist. Der Hohlraum hat geneigte Seitenwände. Eine Photonenvorrichtung ist an dem Substrat bei einem vordefinierten Abstand zu dem Hohlraum befestigt, mit der optischen Achse desselben ausgerichtet mit einer Diagonalen des Hohlraums. Eine sphärische Linse ist in Kontakt mit den Seitenwänden des Hohlraums in einer vordefinierten Beziehung mit der Photonenvorrichtung ohne Lichtstrahlbehinderung eingeschlossen.

[0015] Andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden von der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen offensichtlich, die die Prinzipien der Erfindung beispielhaft darstellen.

[0016] Fig. 1A und 1B sind schematische Darstellungen von herkömmlichen Photonenmodulen;

[0017] Fig. 2A eine Querschnittsansicht, die das Gehäuse des Photonenmoduls von Fig. 1A zeigt;

[0018] Fig. 2B ist eine Querschnittsansicht, die das Gehäuse des Photonenmoduls von Fig. 1B zeigt;

[0019] Fig. 3 ist eine perspektivische Ansicht eines Befestigungsbauglieds mit einem pyramidenförmigen Hohlraum zum Befestigen einer sphärischen Linse bezüglich einer Photonenvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0020] Fig. 4 ist eine Draufsicht des Befestigungsbauglieds mit der Photonenvorrichtung und der sphärischen Linse und dem optischen Lichtweg;

[0021] Fig. 5 ist eine Seitenquerschnittsansicht des Befestigungsbauglieds entlang der optischen Achse der Photonenvorrichtung und der sphärischen Linse, die auf dem Befestigungsbauglied befestigt ist;

[0022] Fig. 6 zeigt, daß der pyramidenförmige Hohlraum von Fig. 3 bis 5 eine abgeschnittene Unterseite aufweist;

[0023] Fig. 7 ist eine Draufsicht, die eine weitere Konfiguration des pyramidenförmigen Hohlraums von Fig. 3 bis 6 zeigt;

[0024] Fig. 8 ist eine Seitenquerschnittsansicht des Befestigungsbauglieds entlang einer Linie 81 von Fig. 7;

[0025] Fig. 9 und 10 zeigen den Prozeß des Herstellens des pyramidenförmigen Hohlraums in dem Befestigungsbauglied gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0026] Fig. 11A und 11B zeigen die Lichtstrahlbehinderung einer weiteren herkömmlichen Anordnung zum Befestigen der Photonenvorrichtung; und

[0027] Fig. 12 bis 14 zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel des Bereitstellens eines Strahlfreiraums an der Ausgangsseite der sphärischen Linse, wenn dieselbe in dem pyramidenförmigen Hohlraum sitzt.

[0028] Fig. 3 ist eine perspektivische Ansicht, die ein Befestigungsbauglied 21 eines Photonenmoduls 20 zum Befestigen einer Photonenvorrichtung 23 und einer sphärischen Linse 25 (in Fig. 4 gezeigt) zeigt. Fig. 4 ist eine Draufsicht des Befestigungsbauglieds 21, mit der Photonenvorrichtung 23 und der sphärischen Linse 25 befestigt. Fig. 5 ist eine Seitenquerschnittsansicht des Befestigungsbauglieds 21, der Photonenvorrichtung 23 und der sphärischen Linse 25 entlang der optischen Achse 41 von Fig. 4.

[0029] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung sind die Photonenvorrichtung 23 und die sphärische Linse 25 an dem Befestigungsbauglied 21 befestigt, mit ihrer optischen Achse nahe zu der oberen Oberfläche des Befestigungsbauglieds 21, ohne Lichtstrahlbehinderung zwischen den bei-

den Komponenten **23** und **25**. Dies wird erreicht durch (1) Setzen der sphärischen Linse **25** in einen präzisionsgebildeten und im wesentlichen pyramidenförmigen Hohlraum **22** (Fig. 3 bis 5) in dem Befestigungsbauglied **21** und (2) Befestigen der Photonenvorrichtung **23** an dem Befestigungsbauglied **21**, derart, daß die optische Achse der Photonenvorrichtung **23** mit einer Diagonalen des pyramidenförmigen Hohlraums **22** ausgerichtet ist. Außerdem ist eine Kerbe in einer Ecke des pyramidenförmigen Hohlraums **22** gebildet, entfernt von der Photonenvorrichtung **23** entlang der Diagonale des pyramidenförmigen Hohlraums **22** zum Liefern eines Lichtstrahlfreiraums an der Ausgangsseite der sphärischen Linse **25**.

[0030] Der präzisionsgebildete pyramidenförmige Hohlraum **22** in dem Befestigungsbauglied **21** liefert auch einen hohen Grad an Ausrichtungspräzision und optischer Kopplungseffizienz zwischen der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25** bei relativ geringen Kosten. Dies liegt daran, daß der präzisionsgebildete pyramidenförmige Hohlraum **22** das Befestigen der sphärischen Linse **25** mit einer akkuraten Plazierung sowohl in der axialen als auch der lateralen Richtung bezüglich der Photonenvorrichtung **22** erlaubt, ohne eine aktive Ausrichtung zu erfordern. Wenn das Photonenmodul **22** dann optisch mit einer optischen Faser gekoppelt ist (nicht gezeigt), um ein Kommunikationssystem zu bilden, ist nur die optische Faser aktiv ausgerichtet. Eine aktive Ausrichtung bedeutet das Ausrichten der Komponenten mit einer Rückkopplung, die anzeigt, ob eine Einstellung für die Ausrichtung benötigt wird.

[0031] Weil die sphärische Linse **25** die geneigten Seitenwände des pyramidenförmigen Hohlraums **22** kontaktiert, wenn dieselbe in dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** sitzt, weist das Photonenmodul **20** außerdem eine robuste mechanische Eigenschaft auf. Darüber hinaus ermöglicht es der pyramidenförmige Hohlraum **22**, daß die sphärische Linse **25** in dem Befestigungsbauglied **21** auf zweidimensionale Weise befestigt ist, ohne eine zusätzliche Befestigung für die sphärische Linse **25** zu erfordern. Ferner wird nur ein Befestigungsbauglied (d. h. das Befestigungsbauglied **21**) verwendet, um sowohl die sphärische Linse **25** als auch die Photonenvorrichtung **23** zu befestigen oder zu sichern. Das Befestigungsbauglied **21** ermöglicht auch eine minimierte Zusammenbauzeit zum präzisen Befestigen der sphärischen Linse **25**, weil eine sphärisch geformte Linse ohne weiteres durch einen pyramidenförmigen Hohlraum erfaßt wird.

[0032] Mit Bezugnahme auf Fig. 3 bis 5 ist das Befestigungsbauglied **21** aus Silizium hergestellt. Die Größe des Befestigungsbauglieds **21** hängt von der Größe der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25** ab. Weil die Photonenvorrichtung **23**

von 300 µm bis 1 mm lang sein kann, und die sphärische Linse **25** von 300 µm bis 3 mm reichen kann, kann die Größe des Befestigungsbauglieds **21** so klein wie etwa 600 µm × 600 µm sein. Allgemein gesagt, je kleiner die Größe, um so geringer die damit zusammenhängenden Gesamtkosten.

[0033] Die Verwendung von Silizium für das Befestigungsbauglied **21** ermöglicht es, daß das Befestigungsbauglied **21** einem photolithographischen Maskierungs- und Ätzprozeß unterworfen wird, der beim Herstellen von integrierten Halbleiterschaltungen weit verbreitet verwendet wird. Dies ermöglicht es, daß das Befestigungsbauglied **21** mit einem hohen Maß an Genauigkeit verarbeitet wird. Außerdem kann eine große Anzahl des Befestigungsbauglieds **21** aus einem einzelnen Siliziumwafer hergestellt werden, unter Verwendung von Stapelverarbeitung, und somit werden die Herstellungskosten des Befestigungsbauglieds **21** reduziert.

[0034] Bei einem Ausführungsbeispiel besteht das Befestigungsbauglied **21** aus einem Silizium mit gegenüberliegenden Oberflächen (z. B. einer oberen Oberfläche **21a** und einer unteren Oberfläche) die beide kristallographische <100> Oberflächen sind. Dieser Siliziumtyp wird nachfolgend als <100> Silizium bezeichnet. Bei anderen Ausführungsbeispielen liegen die obere und die untere Oberfläche des Befestigungsbauglieds **21** nicht auf den <100> Ebenen und schneiden die <100> Ebenen in einem vorbestimmten Winkel (z. B. α). Alternativ können andere kristalline Halbleitermaterialien verwendet werden, um das Befestigungsbauglied **21** zu bilden.

[0035] Wenn der photolithographische Maskierungsprozeß verwendet wird, um eine Öffnung **30** des pyramidenförmigen Hohlraums **22** auf dem <100> Siliziumbefestigungsbauglied **21** zu definieren, ist die Form und die Position der Öffnung **30** mit hoher Genauigkeit präzise definiert. Weil das Befestigungsbauglied **21** aus <100> Silizium hergestellt ist, kann das Befestigungsbauglied **21** dann an der Öffnung **30** anisotrop geätzt werden, um den pyramidenförmigen Hohlraum **22** zu bilden. Die Geschwindigkeit des anisotropen Ätzens kann beispielsweise unter einer gewissen Bedingung 1000 zu 1 sein. Dies bedeutet, daß die vertikale Ätzrate in das Siliziumbefestigungsbauglied **21** tausendmal schneller ist als die Geschwindigkeit des Ätzens zu den kristallographischen <111> Ebenen des Siliziumbefestigungsbauglieds **21**. Anders ausgedrückt, die kristallographischen <111> Ebenen dienen als Ätzstopps. Das anisotrope Ätzen bewirkt, daß die geätzten Seitenwände (z. B. die Seitenwände **32** und **33**) des pyramidenförmigen Hohlraums **22** auf den kristallographischen <111> Ebenen des Befestigungsbauglieds **21** liegen. Wie es bekannt ist, schneiden die kristallographischen <111> Ebenen die <100> Ebenen des Befestigungsbauglieds **21** bei ungefähr 54,7°. Wenn da-

her die obere und die untere Oberfläche des Befestigungsbauglieds **21** auf den $\langle 100 \rangle$ Ebenen liegen, schneiden die Seitenwände des Hohlraums **22** die obere und die untere Oberfläche des Befestigungsbauglieds **21** bei $54,7^\circ$. Wenn die obere und die untere Oberfläche des Befestigungsbauglieds **21** die $\langle 100 \rangle$ Ebenen in einem Winkel α schneiden, dann schneidet jede der Seitenwände des Hohlraums **22** die obere und die untere Oberfläche des Befestigungsbauglieds **21** bei einem Winkel von $54,7^\circ \pm \alpha$.

[0036] Die $\langle 111 \rangle$ Ebenenseitenwände des pyramidenförmigen Hohlraums **22** definieren das Innere des pyramidenförmigen Hohlraums **22** präzise und bewirken, daß der pyramidenförmige Hohlraum **22** präzisionsgebildet ist, mit Genauigkeiten, die innerhalb des Mikrometer- oder sogar Submikrometerbereichs liegen. Wenn die sphärische Linse **25** in dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** sitzt, dann ist die dreidimensionale Position der sphärischen Linse **25** mit der gleichen Genauigkeit definiert wie diejenige des pyramidenförmigen Hohlraums **22**, der auf Standard-photolithographieprozessen basiert.

[0037] Bei einem Ausführungsbeispiel wird das anisotrope Ätzen unter Verwendung eines Kaliumhydroxid- (KOH-) Ätzmittels durchgeführt. Alternativ können andere Ätzmitteltypen zum Ätzen des pyramidenförmigen Hohlraums verwendet werden.

[0038] Die Öffnung **30** des pyramidenförmigen Hohlraums **22** ist im wesentlichen quadratisch. Eine Öffnungskante (z. B. Öffnungskante **35**) ist an der Schnittstelle einer Seitenwand und der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21** gebildet. Außerdem ist eine Seitenwandkante (z. B. Seitenwandkante **36**) auch an der Schnittstelle von zwei benachbarten Seitenwänden gebildet.

[0039] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Größe der Öffnung **30** des pyramidenförmigen Hohlraums **22** wünschenswerterweise größer als diejenige der sphärischen Linse **25**, so daß die sphärische Linse **25** die Seitenwände und nicht die Öffnungskanten des pyramidenförmigen Hohlraums **22** kontaktiert, wenn dieselbe in dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** sitzt, wie es in **Fig. 4** gezeigt ist. In diesem Fall liefern die geneigten Seitenwände des pyramidenförmigen Hohlraums **22** robuste Kontaktpunkte (d. h. die Kontaktpunkte **50–53**) für die sphärische Linse **25**. Wie bekannt ist, ist eine Ebene robuster als eine Kante. Eine Kante ist zerbrechlich und schwierig zu bilden. Falls eine Kante nicht ordnungsgemäß gebildet ist oder abgebrochen ist, können sich die Kontaktpunkte mit der sphärischen Linse bewegen. Dies kann bewirken, daß die Position der sphärischen Linse von der vordefinierten Position verschoben wird. Außerdem können die Kantenkontaktpunkte typischerweise ein sphärisch geformtes Objekt nicht ein-

schließen. Diese Probleme verschwinden, wenn Ebenen verwendet werden, um die Kontaktpunkte zu liefern. Außerdem definieren die geneigten Seitenwände des pyramidenförmigen Hohlraums **22** genau die Position der sphärischen Linse **25** an den Kontaktpunkten. Alternativ ist die Größe des pyramidenförmigen Hohlraums **22** derart, daß die sphärische Linse **25** die Öffnungskanten des pyramidenförmigen Hohlraums **22** kontaktiert, wenn dieselbe in dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** sitzt.

[0040] Nachdem der pyramidenförmige Hohlraum **22** an dem Befestigungsbauglied **21** gebildet ist, wird die Photonenvorrichtung **23** dann an dem Befestigungsbauglied **21** befestigt. Die Photonenvorrichtung **23** ist auf einer Metallanschlußfläche **24** befestigt, die auf der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21** aufgebracht ist. Durch direktes Befestigen der Photonenvorrichtung **23** auf dem Befestigungsbauglied **21** über die Metallanschlußfläche **24** ist die optische Achse **41** der Photonenvorrichtung **23** nahe zu der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21**. Dies bewirkt, daß die optische Achse **41** der Photonenvorrichtung **23** eine relativ niedrige Höhe von der oberen Oberfläche **21a** aufweist.

[0041] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die optische Achse **41** etwa $90\text{ }\mu\text{m}$ von der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21**. Alternativ kann die optische Achse **41** höher oder niedriger als $90\text{ }\mu\text{m}$ von der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21** sein.

[0042] Die Metallanschlußfläche **24** ist auf einem vorbestimmten Bereich der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21** gebildet, das den photolithographischen Prozeß verwendet (d. h. Maskieren und Metallaufbringung durch die Maske). Dies bildet die Metallanschlußfläche **24** in einer vorbestimmten Position auf der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21**. Die Metallanschlußfläche **24** liefert einen elektrischen Kontakt für die Photonenvorrichtung **23**.

[0043] Die Höhe der optischen Achse **41** beeinträchtigt den Strahlfreiraum zwischen der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25**. Wenn die Höhe der optischen Achse **41** relativ niedrig ist, kann es sein, daß es keinen Strahlfreiraum zwischen den beiden Komponenten **23** und **25** gibt. Selbstverständlich kann man versuchen, dieses Problem zu lösen, durch Erhöhen der Höhe der optischen Achse **41**. Dies erzeugt jedoch viele andere Probleme.

[0044] Um einen Strahlfreiraum zwischen der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25** zu liefern, wenn die optische Achse **41** der Photonenvorrichtung **23** eine relativ niedrige Höhe aufweist, ist die Photonenvorrichtung **23** auf dem Befestigungsbauglied **21** plaziert, so daß eine Vorderfläche **23a** der

Photonenvorrichtung **23** einer Ecke (d. h. der Ecke **45**) des pyramidenförmigen Hohlraums **22** zugewandt ist, wie es in **Fig. 4** gezeigt ist. Eine Diagonale der Öffnung **30** des pyramidenförmigen Hohlraums **22** ist ausgerichtet oder kollinear mit der optischen Achse **41** der Photonenvorrichtung **23**, während die andere Diagonale **42** der Öffnung **30** im wesentlichen senkrecht zu der optischen Achse **41** ist (siehe **Fig. 4**). Dies bewirkt, daß sich der Lichtstrahlweg **43** zwischen der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25** in den pyramidenförmigen Hohlraum **22** unter der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21** erstreckt, ohne Strahlbehinderung durch das Befestigungsbauglied **21**. Anders ausgedrückt, ein Lichtstrahlkanal wird an der Ecke **45** für den Lichtstrahlweg **43** erzeugt (siehe **Fig. 4** und **5**). Dies ermöglicht es, daß der Lichtstrahl die sphärische Linse **25** von der Photonenvorrichtung **23** erreicht (oder umgekehrt), ohne irgendeine Strahlbehinderung, und somit eine hohe optische Kopplungseffizienz erreicht.

[0045] Es sollte jedoch angemerkt werden, daß kein Lichtstrahlkanal erzeugt wird, und eine Strahlbehinderung auftreten kann, falls eine Seite anstatt einer Ecke der Öffnung **30** der Vorderfläche **23a** der Photonenvorrichtung **23** zugewandt ist. **Fig. 11A** und **11B** zeigen einen solchen Fall. Wie es aus **Fig. 11A** und **11B** ersichtlich ist, weist ein pyramidenförmiger Hohlraum **135** in einem Befestigungsbauglied **131** eine Seite auf, die einer Photonenvorrichtung **132** zugewandt ist, die auch an dem Befestigungsbauglied **131** befestigt ist.

[0046] Aufgrund der Divergenz des optischen Strahls geht der Lichtstrahlweg **136** zwischen einer sphärischen Linse **133** und der Photonenvorrichtung **132** unter die obere Oberfläche des Befestigungsbauglieds **131** und behindert teilweise den Lichtstrahl. Weil das Siliziumsubstrat undurchlässig ist für Licht, behindert das Befestigungsbauglied **131** das Licht, das in das Befestigungsbauglied **131** verläuft. Gleichartig dazu, wenn die andere Seite der sphärischen Linse **131** in dem pyramidenförmigen Hohlraum **135** sitzt, erfährt dieselbe die gleiche Lichtstrahlbehinderung, wie es in **Fig. 11A** und **11B** gezeigt ist.

[0047] Wie es aus **Fig. 3** bis **5** ersichtlich ist, durch Plazieren der Photonenvorrichtung **23** derart, daß die optische Achse derselben **41** mit einer Diagonale des pyramidenförmigen Hohlraums **22** ausgerichtet ist, wird jedoch ein Lichtstrahlkanal zwischen der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25** erzeugt, selbst wenn die optische Achse **41** eine relativ niedrige Höhe von der oberen Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21** aufweist. Obwohl der Lichtstrahlweg **42** unter die obere Oberfläche **21a** des Befestigungsbauglieds **21** geht, wie es in **Fig. 3** bis **5** ersichtlich ist, trifft derselbe nicht das Befesti-

gungsbauglied **21**, weil derselbe durch den offenen Raum verläuft, der durch den pyramidenförmigen Hohlraum **22** bereitgestellt wird.

[0048] Um den Strahlfreiraum an der anderen Seite des pyramidenförmigen Hohlraums **22** für die sphärische Linse **25** zu liefern, ist eine V-förmige Kerbe **31** an der Ecke gegenüberliegend der Ecke **45** des pyramidenförmigen Hohlraums **22** gebildet (siehe **Fig. 3** und **4**). Die Kerbe **31** wird gebildet, wenn das Befestigungsbauglied **21** entlang dieser Ecke von dem Wafer getrennt wird. In dem Fall, in dem das Befestigungsbauglied **21** in einem Siliziumwafer hergestellt ist, kann der Wafer gesägt oder geritzt werden, so daß die Ecke entfernt wird und die Kerbe gebildet wird. Der Zweck des Bildens der V-förmigen Kerbe **31** ist das Erzeugen eines klaren und unbehinderten Lichtstrahlwegs **40** entlang der optischen Achse **41**, wie es in **Fig. 4** und **5** gezeigt ist. Alternativ können andere Mechanismen verwendet werden, um den Strahlfreiraum zu liefern. Beispielsweise kann ein anderer Hohlraum benachbart zu dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** gebildet werden, so daß die beiden Hohlräume einander überlappen, um die V-förmige Kerbe zu bilden, wie es in **Fig. 12** bis **14** gezeigt ist. **Fig. 12** ist eine Draufsicht und **Fig. 13** eine Querschnittseitenansicht. **Fig. 14** zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem eine photolithographische Struktur in einem KOH-Ätzmittel geätzt wird, um einen Hohlraum zu bilden, der einen anderen überlappt, um zu einer Kerbe **31** zu führen.

[0049] Wie es aus **Fig. 12** bis **14** ersichtlich ist, überlappt der pyramidenförmige Hohlraum **4** den pyramidenförmigen Hohlraum **203**, um die Kerbe **206** zu bilden. Die Form des Hohlraums **204** ist im wesentlichen identisch mit der des Hohlraums **203**. Überlappenden pyramidenförmigen Hohlräume werden erzeugt von getrennten „dreieckartigen“ photolithographischen Anfangsstrukturen. Während das KOH-Ätzen fortschreitet werden die Anfangsstrukturen unterätzt und beginnen, sich zu überlappen, wobei der Grad der Überlappung gesteuert werden kann durch die Form der Anfangsstruktur und die Länge des Ätzens. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Größe des Hohlraums **204** etwas kleiner als diejenige des Hohlraums **203**. Alternativ kann die Größe des Hohlraums **204** größer oder kleiner sein als diejenige des Hohlraums **203**.

[0050] Wie es aus **Fig. 13** ersichtlich ist, liefert die Kerbe **206** den Strahlfreiraum für den Strahlweg **212**. Wie aus **Fig. 14** ersichtlich ist, wird der Hohlraum **204** zuerst durch anisotropes Ätzen in dem Befestigungsbauglied **201** gebildet, und der Hohlraum **203** wird dann anisotrop zu dem Hohlraum **204** geätzt, was bewirkt, daß die beiden Hohlräume **203–204** überlappen, wodurch die Kerbe **206** gebildet wird. Alternativ kann die Kerbe **206** gebildet werden, indem zunächst der Hohlraum **203** gebildet wird. Der Hohlraum **204**

wird dann gebildet, um den Hohlraum **203** zu überlappen.

[0051] Die Photonenvorrichtung **23** ist an einem vorbestimmten Abstand von dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** positioniert, so daß die Mitte **30a** der Öffnung **30** an dem Brennpunkt der Photonenvorrichtung **23** liegt. Anders ausgedrückt, der Abstand zwischen der Vorderfläche **23a** der Photonenvorrichtung **23** und dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** ist eingestellt, so daß die sphärische Linse **25** das Licht zu oder von der Photonenvorrichtung **23** optisch koppeln kann. Die vier Kanten der Öffnung **30** sind weder parallel noch senkrecht zu der Vorderfläche **23a** der Photonenvorrichtung **23**. Statt dessen ist jede derselben in einem ungefähr 45°-Winkel mit der Vorderfläche **23a** der Photonenvorrichtung **23**. Alternativ kann der Winkel größer oder kleiner als 45° sein.

[0052] Bei einem Ausführungsbeispiel ist der vorbestimmte Abstand derart, daß die nächste Oberfläche der sphärischen Linse **25** zu der Vorderfläche **23a** der Photonenvorrichtung **23** innerhalb 60 µm von der Vorderfläche **23a** der Photonenvorrichtung **23** liegt. Dieser Abstand gilt für viele Anwendungen, insbesondere wo Licht kollimiert werden soll. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel kann der Abstand innerhalb 10 µm sein. Alternativ kann der Abstand kürzer oder länger sein.

[0053] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Photonenvorrichtung **23** ein Halbleiterlaser. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Photonenvorrichtung **23** ein kantenemittierender Halbleiterlaser. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist die Photonenvorrichtung **23** ein Photodetektor. In diesem Fall kann der Photodetektor ein oberflächenerfassender Photodetektor oder ein kantenerfassender Photodetektor sein.

[0054] Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Metallanschlußfläche **24** eine Gold- oder Aluminiumschicht. Bei alternativen Ausführungsbeispielen können andere elektrisch leitfähige Materialien verwendet werden, um die Metallanschlußflächen **24** zu bilden.

[0055] Die Photonenvorrichtung **23** ist durch bekannte Einrichtungen an der Metallanschlußfläche **24** befestigt. Beispielsweise kann die Photonenvorrichtung **23** durch Löten mit der Metallanschlußfläche **24** verbunden werden. Alternativ kann ein leitfähiges Epoxid verwendet werden, um die Photonenvorrichtung **23** auf der Metallanschlußfläche **24** zu verbinden. Darüber hinaus kann die Photonenvorrichtung **23** zuerst auf die Metallanschlußfläche **24** gelötet werden. Dann können die Luftzwischenräume zwischen der Photonenvorrichtung **23** und der Metallanschlußfläche **24** durch das leitfähige Epoxid gefüllt werden. Eine bekannte texturierte Kaltschweißtech-

nik kann auch verwendet werden, um die Photonenvorrichtung **23** mit der Metallanschlußfläche **24** zu verbinden.

[0056] Die sphärische Linse **25** ist in dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** verbunden, nachdem dieselbe in den pyramidenförmigen Hohlraum **22** gesetzt wurde. Bei einem Ausführungsbeispiel wird Klebstoff verwendet, um die sphärische Linse **25** in dem pyramidenförmigen Hohlraum **22** zu verbinden. Alternativ können andere Haftmaterialtypen verwendet werden, um die sphärische Linse **25** in dem Hohlraum **22** zu verbinden. Beispielsweise kann Epoxid verwendet werden.

[0057] Bei einem Ausführungsbeispiel ist der Brechungsindex der sphärischen Linse **25** etwa 1,5. Bei anderen Ausführungsbeispielen kann der Brechungsindex der sphärischen Linse **25** höher als 1,5 sein. Beispielsweise kann der Brechungsindex der sphärischen Linse **25** 2,0 sein.

[0058] Bei einem Ausführungsbeispiel ist der pyramidenförmige Hohlraum **22** im wesentlichen eine vierseitige Pyramide (in **Fig. 3** und **4** gezeigt). Alternativ kann der pyramidenförmige Hohlraum **22** andere Formen aufweisen. Beispielsweise kann der pyramidenförmige Hohlraum **22** eine abgeschnittene vierseitige Pyramide sein (wie es in **Fig. 6** gezeigt ist). **Fig. 6** zeigt das Befestigungsbauglied **21** mit einem abgeschnittenen pyramidenförmigen Hohlraum **22a**. Wie es aus **Fig. 6** ersichtlich ist, verbindet eine flache untere Oberfläche **32a** alle Seitenwände (z. B. die Seitenwände **32a** und **33a**) des pyramidenförmigen Hohlraums **22**. Die untere Oberfläche **32a** ist nicht in Kontakt mit der sphärischen Linse **25**, wenn die sphärische Linse **25** in dem Hohlraum **22a** sitzt. In diesem Fall sind die Seitenwände des pyramidenförmigen Hohlraums **22** keine dreieckigen Seitenwände. Statt dessen sind die Seitenwände trapezförmig und sind durch die flache Unter Oberfläche **32a** verbunden.

[0059] Außerdem kann die Öffnung **30** des pyramidenförmigen Hohlraums **22**, die in **Fig. 3** bis **5** gezeigt ist, andere Formen aufweisen. Die Öffnung **30** kann beispielsweise eine quadratische Öffnung sein, wobei eine oder mehrere Ecken des pyramidenförmigen Hohlraums **22** abgeschnitten sind.

[0060] **Fig. 7** und **8** zeigen einen anderen Typ von pyramidenförmigem Hohlraum **72**, der auf einem Befestigungsbauglied **71** gebildet ist, zum Befestigen der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25** gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. **Fig. 7** ist eine Draufsicht des Befestigungsbauglieds **71** und **Fig. 8** ist eine Seitenquerschnittsansicht entlang einer optischen Achse **81** der Photonenvorrichtung **23**. Wie es aus **Fig. 4** bis **5** und **7** bis **8** ersichtlich ist, ist der pyramidenförmige Hohlraum **72** identisch mit dem pyramidenfö-

migen Hohlraum **22**, außer daß der pyramidenförmige Hohlraum **72** eine abgeschnittene Ecke **75** und eine flache Unterseite **73** aufweist. Diese Form ist vorteilhaft, wenn der Brennpunkt kürzer ist als der Linsen-Ecke-Abstand. Alternativ kann der pyramidenförmige Hohlraum **72** nur die abgeschnittene Ecke **75** aufweisen. Die abgeschnittene Ecke **75** ermöglicht es, daß die Photonenvorrichtung **22** näher zu der sphärischen Linse **25** plaziert werden kann als der pyramidenförmige Hohlraum **22**. Die unterschiedlichen Abstände zwischen der Photonenvorrichtung **23** und der sphärischen Linse **25**, die durch die pyramidenförmigen Hohlräume **22** und **72** vorgesehen sind, sollen unterschiedliche Entwurfsziele unterbringen, die unterschiedliche Brechungsindizes und Größen verwenden, die die sphärische Linse **25** haben kann.

[0061] Es ist anzumerken, daß nicht alle der Komponenten des Photonenmoduls **20** in **Fig. 3** bis **8** gezeigt sind. Dies ermöglicht es, daß Teile des Photonenmoduls **20** klarer gezeigt werden. Beispielsweise zeigt **Fig. 3** nicht die sphärische Linse **25** optisch mit einer optischen Faser gekoppelt.

[0062] **Fig. 9** und **10** stellen den Prozeß des Ätzens eines kristallinen $\langle 100 \rangle$ Substrats **90** dar, um einen pyramidenförmigen Hohlraum **91** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu bilden. **Fig. 9** ist eine Draufsicht des Halbleitersubstrats **90** und **Fig. 10** ist eine Seitenquerschnittsansicht entlang der Linie 10-10 von **Fig. 9**. Wie es von **Fig. 9** und **10** ersichtlich ist, ist die obere $\langle 100 \rangle$ Oberfläche des Halbleitersubstrats **90** durch eine im wesentlichen dreieckige Öffnung **92a** in einer Photowiderstandsschicht **100** freigelegt (in **Fig. 10** gezeigt) zum Ätzen des pyramidenförmigen Hohlraums **91**. Die dreieckige Öffnung **92a** wird photolithographisch auf der photoresistiven Schicht **100** entlang der kristallographischen $\langle 100 \rangle$ Achse **120** des Substrats **90** gebildet. Die beiden Kanten **93** und **94** der dreieckigen Öffnung **92a** liegen auf den beiden kristallographischen $\langle 111 \rangle$ Ebenen des Substrats **90**. Alternativ kann die im wesentlichen dreieckige Öffnung **92a** wie ein Quadrat mit einer abgeschnittenen Ecke aussehen.

[0063] Das Substrat **90** wird dann durch die Öffnung **92a** anisotrop geätzt, beispielsweise unter Verwendung des KOH-Ätzmittels. Die Geschwindigkeit der anisotropen Ätzung kann beispielsweise 1000 zu 1 sein, um zu einer vertikalen Wand (z. B. den Wänden **112–112b** in **Fig. 10**) zu führen, die sich horizontal unter der photoresistiven Schicht **100** erstrecken, parallel zu der Hypotenuse der dreieckigen Öffnung **92a**. Die Ätzrate des Drückens der vertikalen Wand ist etwa gleich wie die vertikale Ätzrate. Das Ätzen wird schließlich von selbst in dem Hohlraum **91** angehalten, wenn die vertikale Wand **112** verschwindet. Zu diesem Zeitpunkt hat der pyramidenförmige Hohl-

raum **91** eine quadratische Öffnung **92** mit allen vier Seitenwänden definiert durch die kristallographischen $\langle 111 \rangle$ Ebenen. Wenn das anisotrope Ätzen bei einer früheren Stufe des Ätzprozesses angehalten wird, wird der pyramidenförmige Hohlraum **91** gebildet, um eine abgeschnittene Ecke aufzuweisen, die durch die vertikale Wand **112** (in **Fig. 10** gezeigt) gebildet wird. Außerdem kann der pyramidenförmige Hohlraum **91** geätzt werden, um eine flache untere Oberfläche **111** aufzuweisen. **Fig. 10** zeigt unterschiedliche Stufen des anisotropen Ätzens.

[0064] Wie es aus **Fig. 9** und **10** ersichtlich ist, kann abhängig von den Ätzbedingungen der pyramidenförmige Hohlraum **91** die Form des pyramidenförmigen Hohlraums **22** von **Fig. 3** bis **5** die Form des pyramidenförmigen Hohlraums **22a** von **Fig. 6** oder die Form des pyramidenförmigen Hohlraums **72** von **Fig. 7** und **8** aufweisen. Der pyramidenförmige Hohlraum **91** nimmt die Form des pyramidenförmigen Hohlraums **22** der **Fig. 3** bis **5** an, wenn der pyramidenförmige Hohlraum **91** vollständig geätzt ist. Wenn das Ätzen endet, bevor der pyramidenförmige Hohlraum **91** vollständig geätzt ist, kann der pyramidenförmige Hohlraum **91** die Form des pyramidenförmigen Hohlraums **72** von **Fig. 7** und **8** annehmen.

Patentansprüche

1. Eine optische Vorrichtung (**20**), die folgende Merkmale umfaßt:
 (A) ein Substrat (**21, 71, 90, 201**), das eine Oberfläche (**21a**) aufweist;
 (B) ein im wesentlichen vierseitiger oder abgeschnittener vierseitiger pyramidenförmiger Hohlraum (**22, 22a, 72, 91, 203**) in der Oberfläche (**21a**) des Substrats (**21, 71, 90, 201**);
 (C) eine Photonenvorrichtung (**23, 202**), die an dem Substrat (**21, 71, 90, 201**) in einem vordefinierten Abstand von dem vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraum (**22, 22a, 72, 91, 203**) befestigt ist, und zwar unter Ausrichtung der optischen Achse (**41, 81**) derselben mit einer Linie, die eine Öffnung (**30**) des vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraums (**22, 22a, 72, 91, 203**) teilt und senkrecht zu einer Diagonale der Öffnung ist;
 (D) eine sphärische Linse (**25, 205**), die durch Seitenwände (**32, 33, 32a, 33a**) des vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraums (**22, 22a, 72, 91, 203**), in einer vordefinierten Beziehung mit der Photonenvorrichtung (**23, 202**) ohne Lichtstrahlbehinderung begrenzt ist.

2. Die optische Vorrichtung (**20**) gemäß Anspruch 1, bei der die Seitenwände (**32, 33, 32a, 33a**) des vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraums (**22, 22a, 72, 91, 203**) durch kristallographische Ebenen des Substrats (**21, 71, 90, 201**) definiert sind.

3. Die optische Vorrichtung (20) gemäß Anspruch 1 oder 2, bei der das Substrat (21, 71, 90, 201) aus kristallinem Siliziummaterial hergestellt ist und der vierseitige oder abgeschnittene vierseitige pyramidenförmige Hohlraum (22, 22a, 72, 91, 203) die Seitenwände (32, 33, 32a, 33a) des Hohlraums (22, 22a, 72, 91, 203) überwiegend entlang den kristallographischen Ebenen des Substrats (21, 71, 90, 201) aufweist.

4. Die optische Vorrichtung (20) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der das Substrat (21, 71, 90, 201) <100>-Oberflächen aufweist und die Seitenwände (32, 33, 32a, 33a) des vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraums (22, 22a, 72, 91, 203) kristallographische <111>-Ebenen sind.

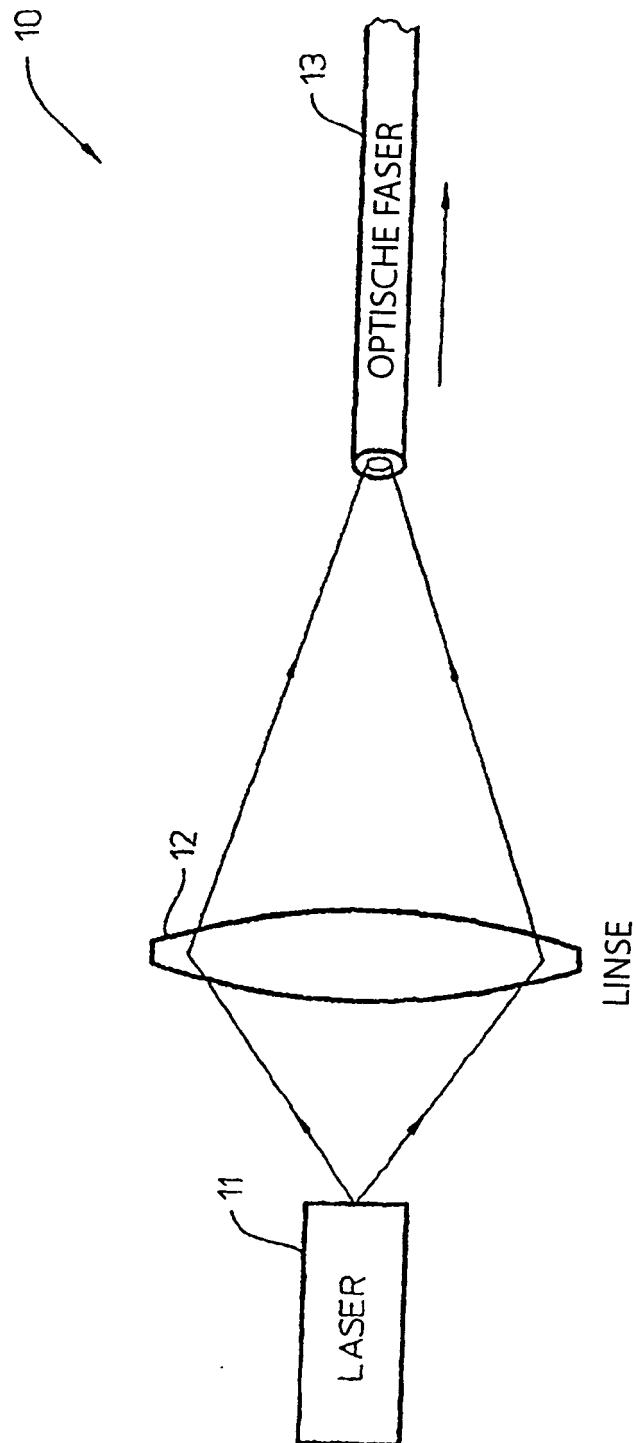
5. Die optische Vorrichtung (20) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Photonenvorrichtung (23, 202) entweder ein Halbleiterlaser oder ein Halbleiterphotodetektor ist.

6. Die optische Vorrichtung (20) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, die ferner einen kollidierenden vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraum (204) aufweist, der mit dem vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraum (203) kollidiert, um in einer Ecke des vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraums (203) entfernt von der Photonenvorrichtung (202) entlang der Linie eine Kerbe (206) zu bilden.

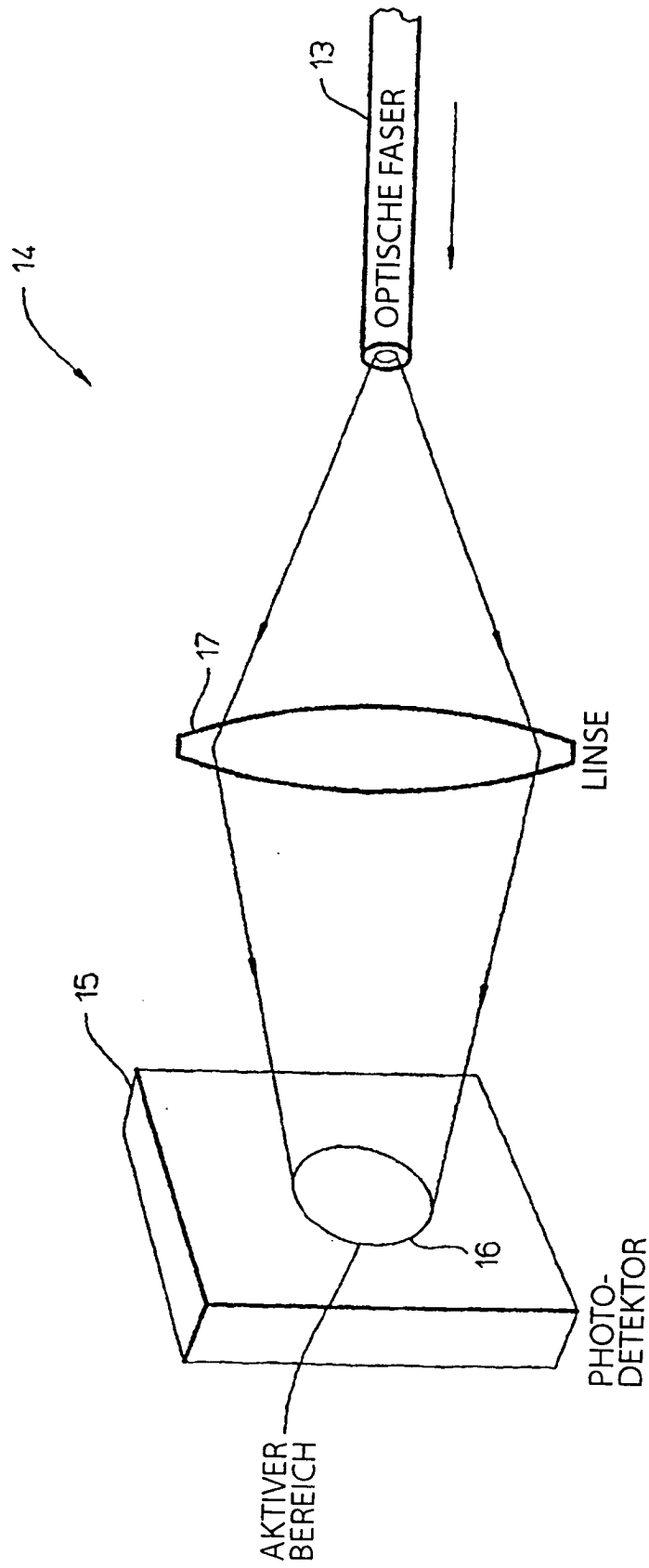
7. Die optische Vorrichtung (20) gemäß Anspruch 6, bei der der vierseitige oder abgeschnittene vierseitige pyramidenförmige Hohlraum (22, 22a, 72, 203) ferner eine V-förmige Kerbe (31, 206) in einer Ecke des vierseitigen oder abgeschnittenen vierseitigen pyramidenförmigen Hohlraums (22, 22a, 72, 203) umfaßt, entfernt von der Photonenvorrichtung (23) entlang der Linie.

8. Die optische Vorrichtung (20) gemäß Anspruch 6, bei der der vierseitige oder abgeschnittene vierseitige pyramidenförmige Hohlraum (72) ferner eine abgeschnittene Ecke (75) umfaßt, benachbart zu der Photonenvorrichtung (23) entlang der Linie.

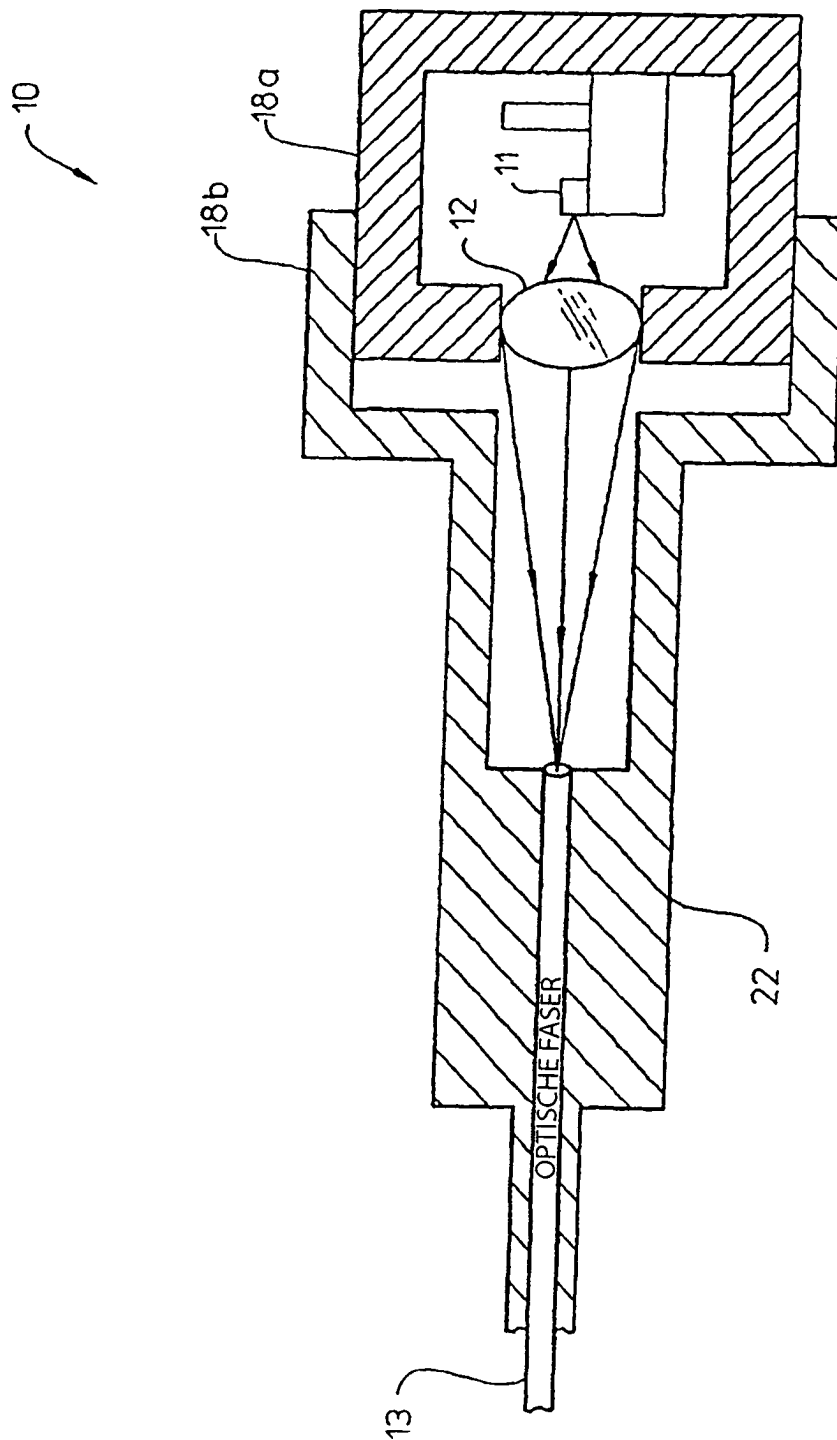
Es folgen 17 Blatt Zeichnungen



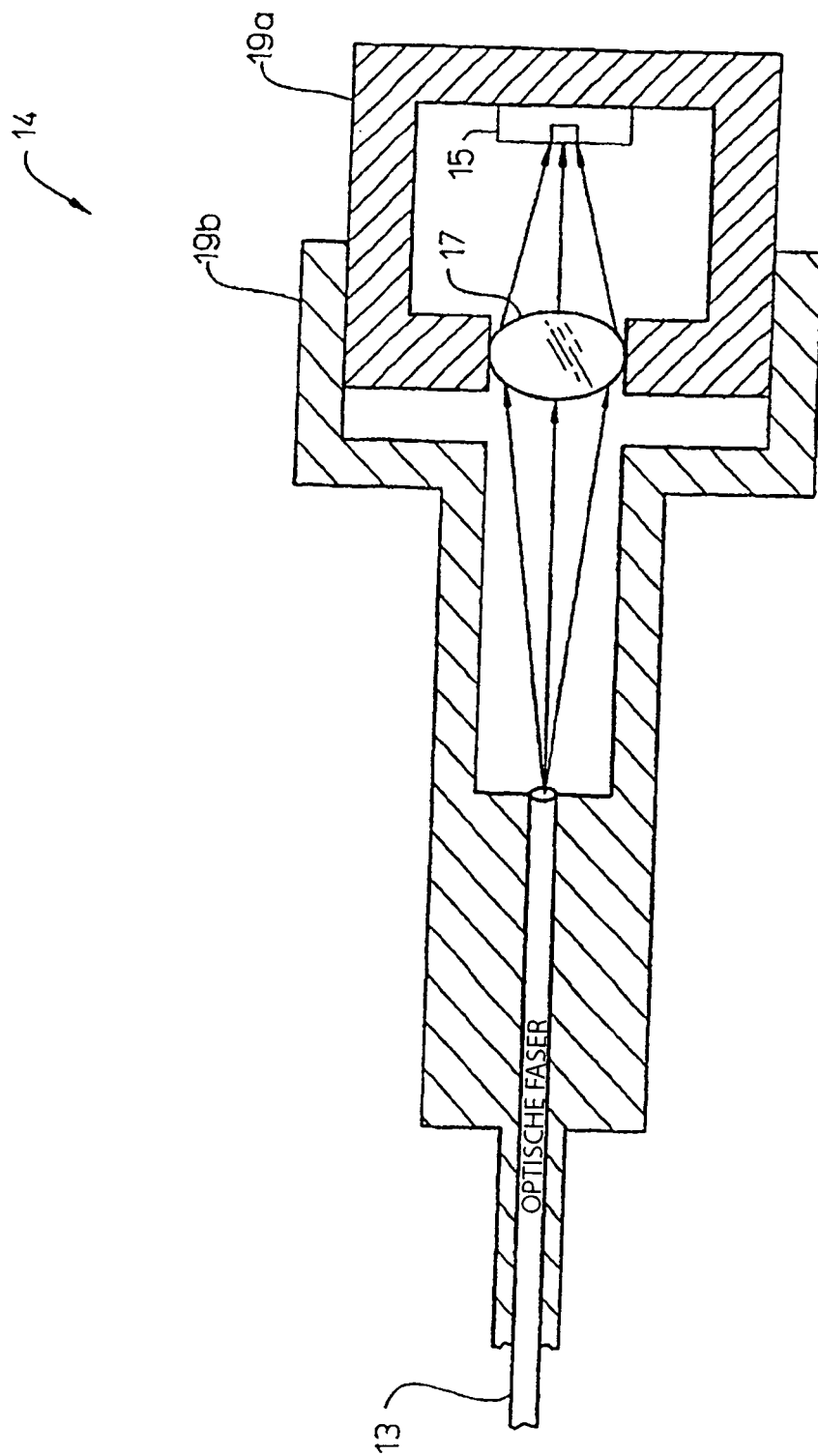
Figur 1A (STAND DER TECHNIK)



Figur 1B (STAND DER TECHNIK)



Figur 2A (STAND DER TECHNIK)



Figur 2B (STAND DER TECHNIK)

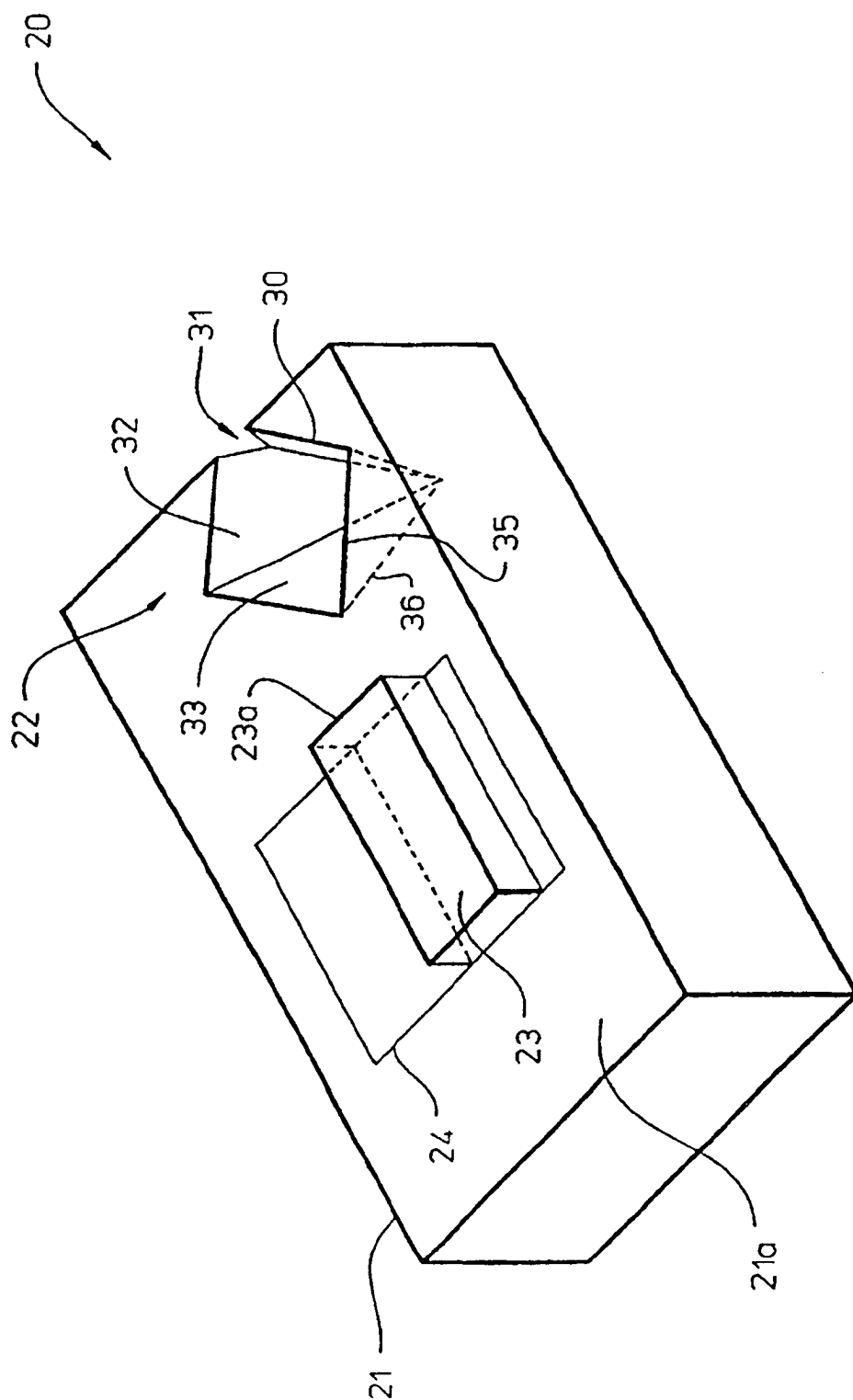
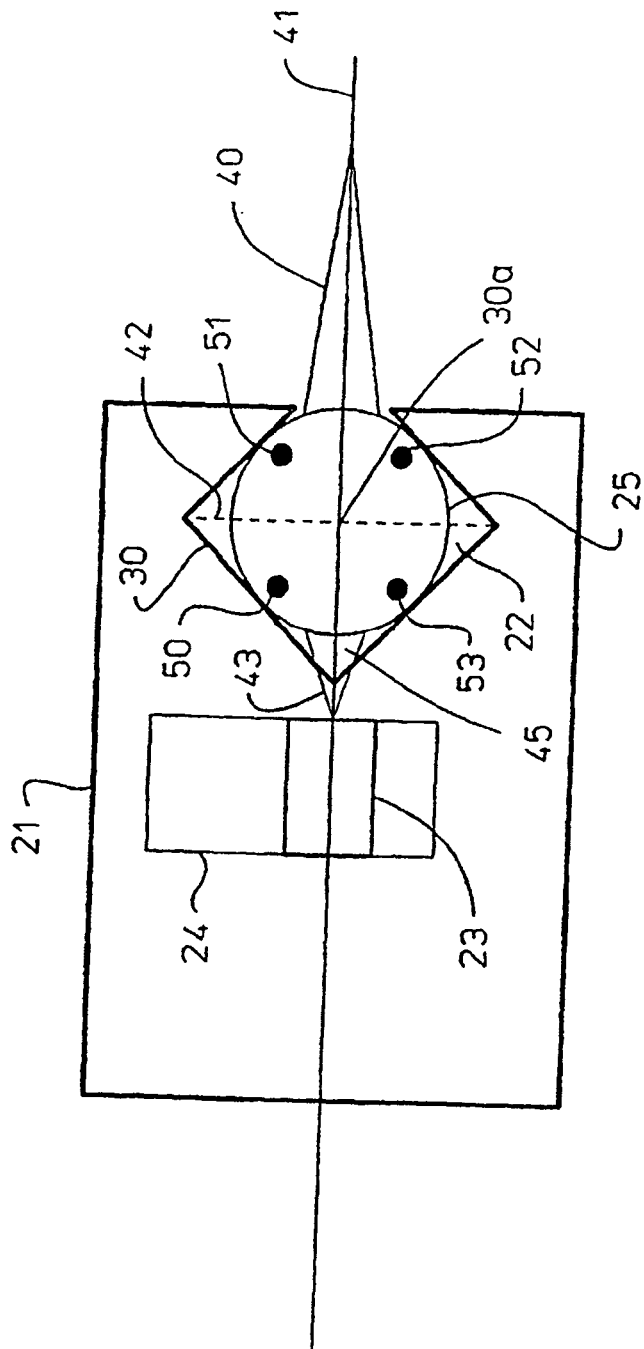


Figure 3

20



Figur 4

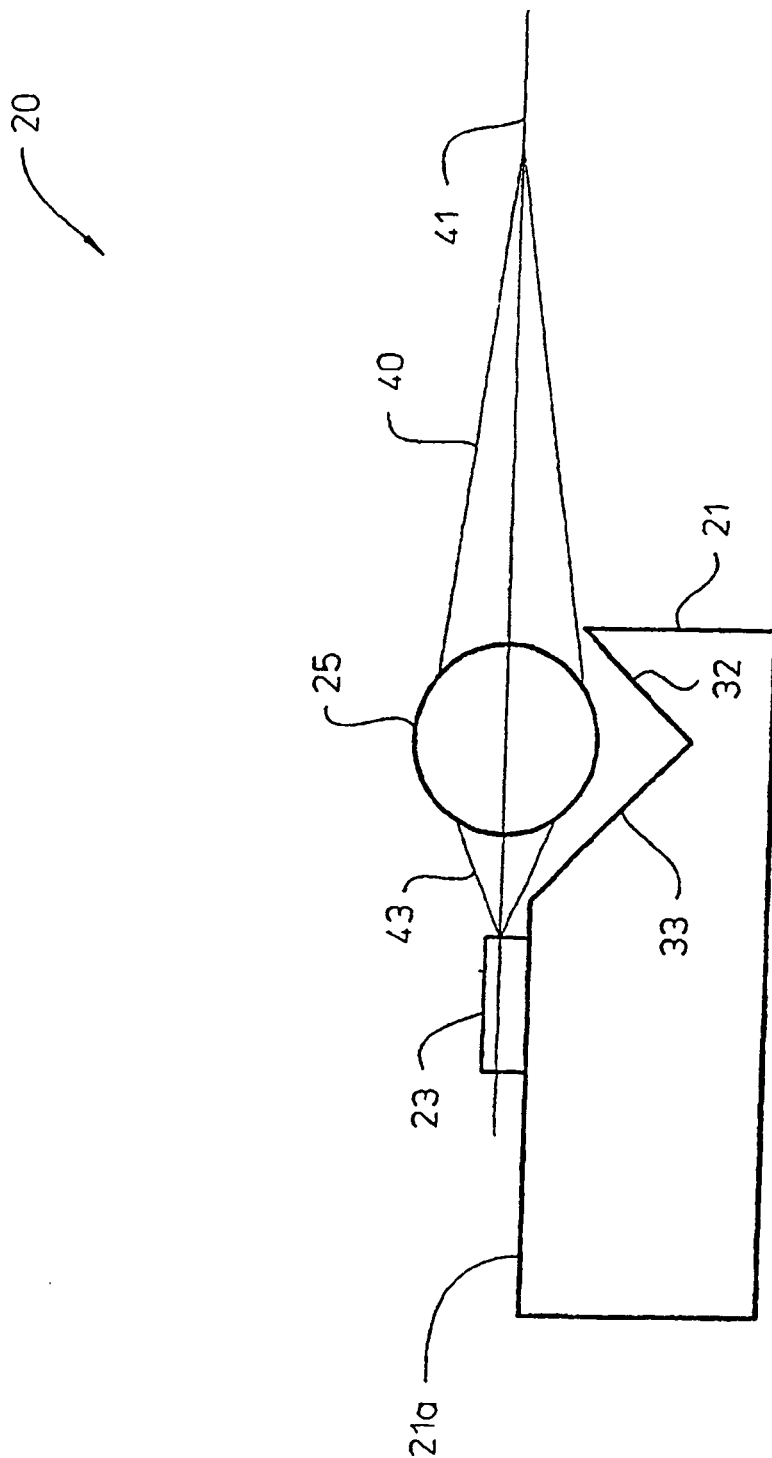
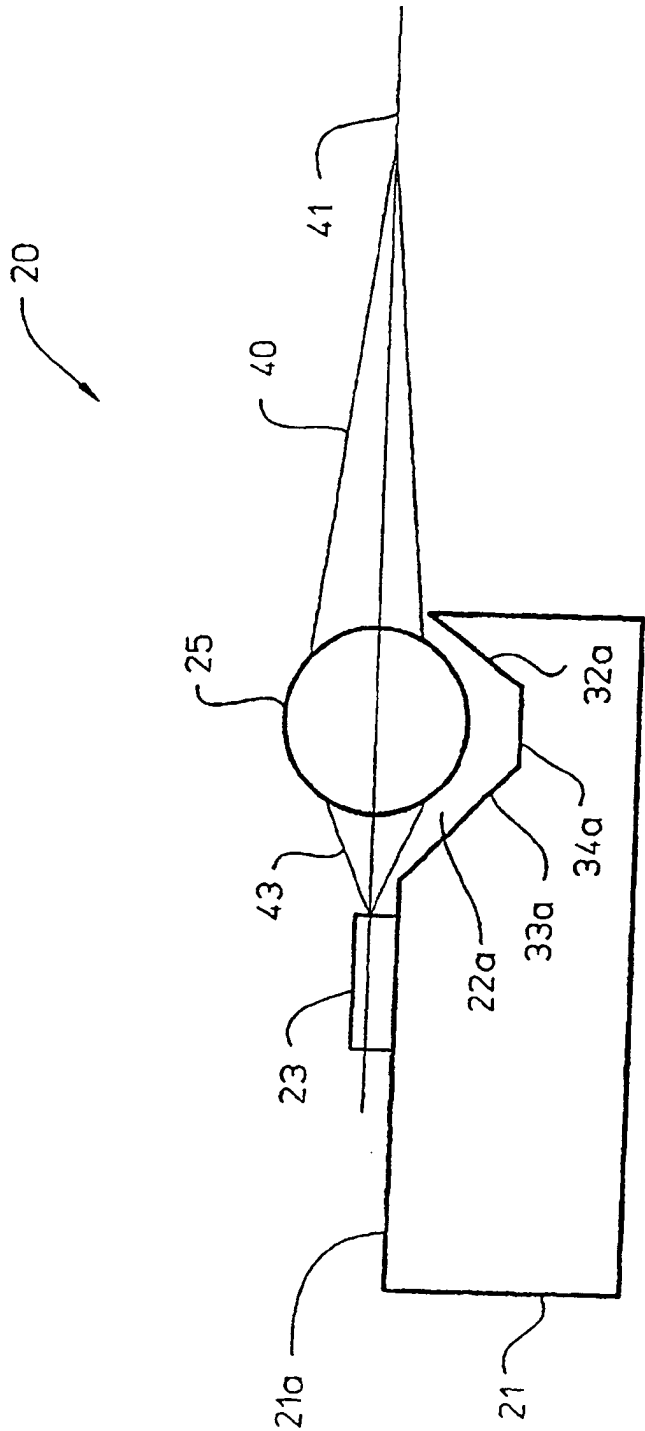
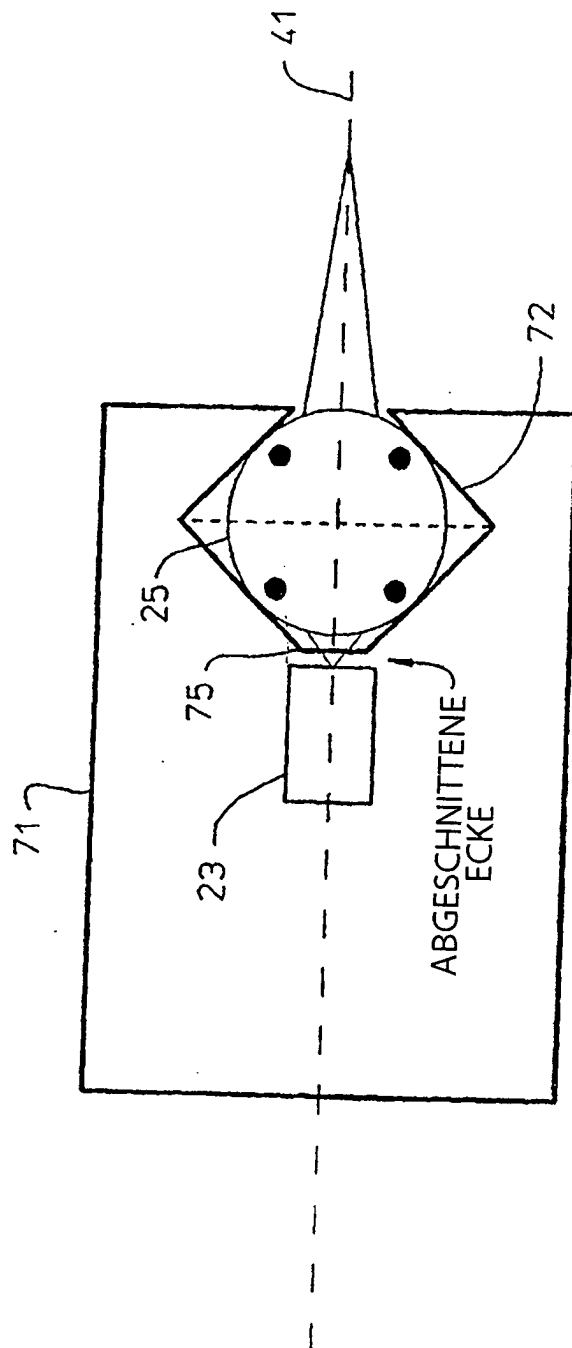


Figure 5



Figur 6



Figur 7

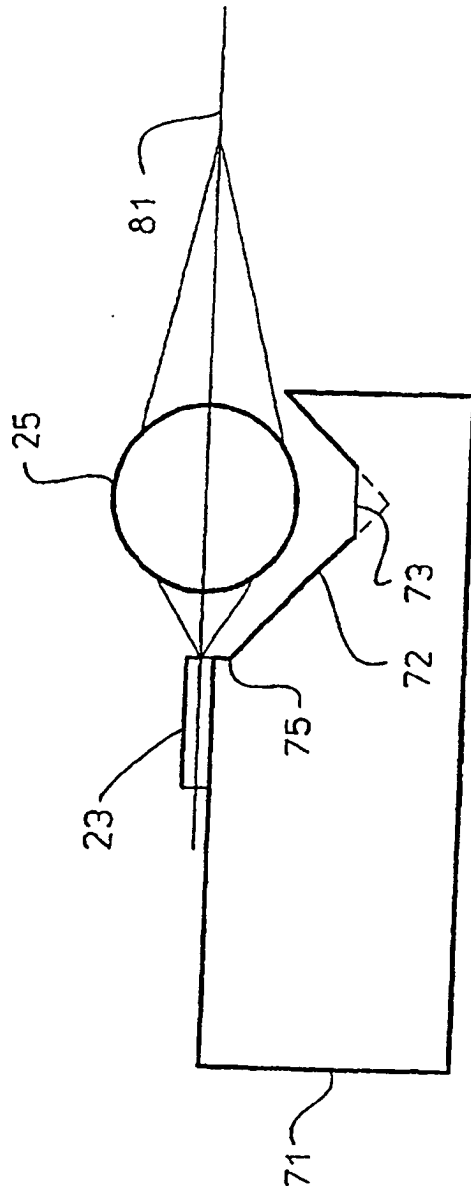
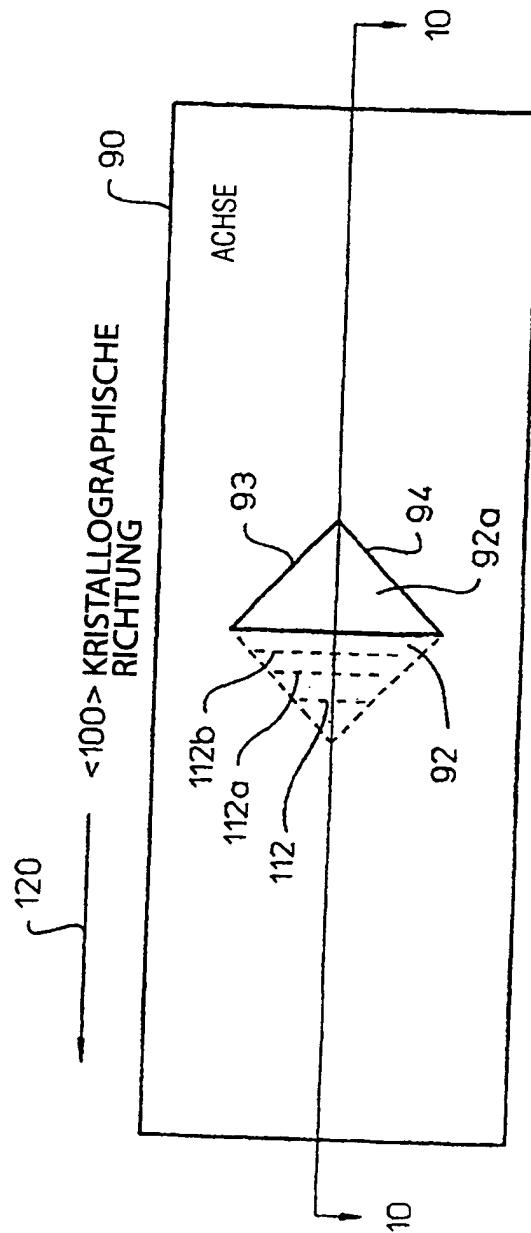


Figure 8



Figur 9

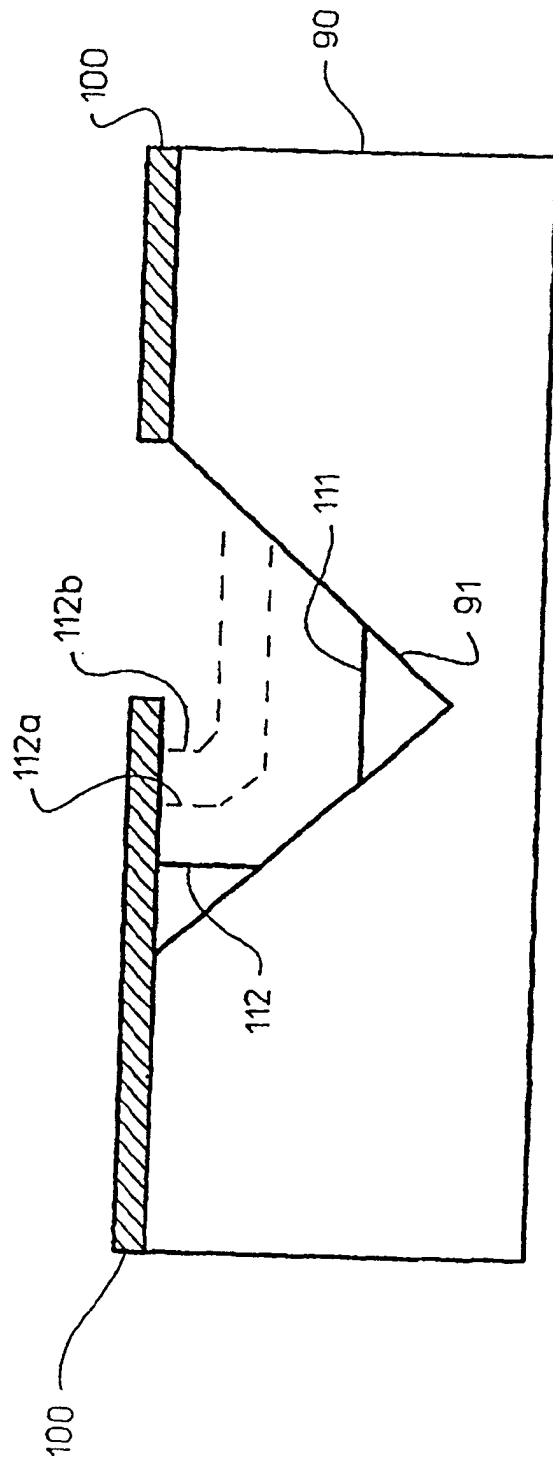
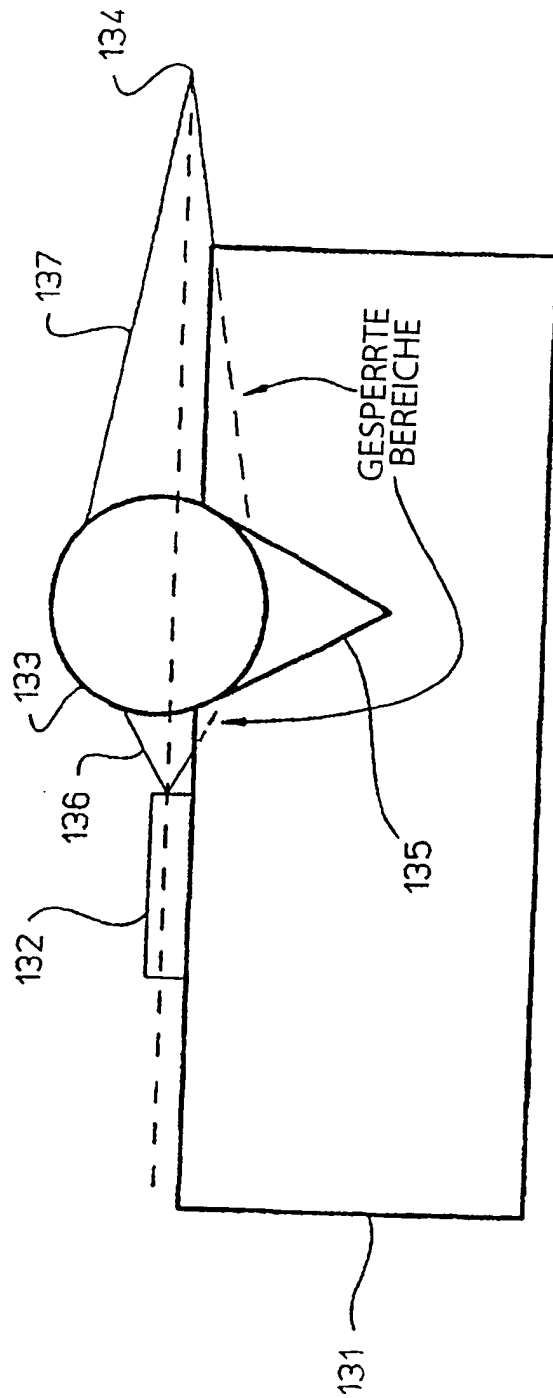
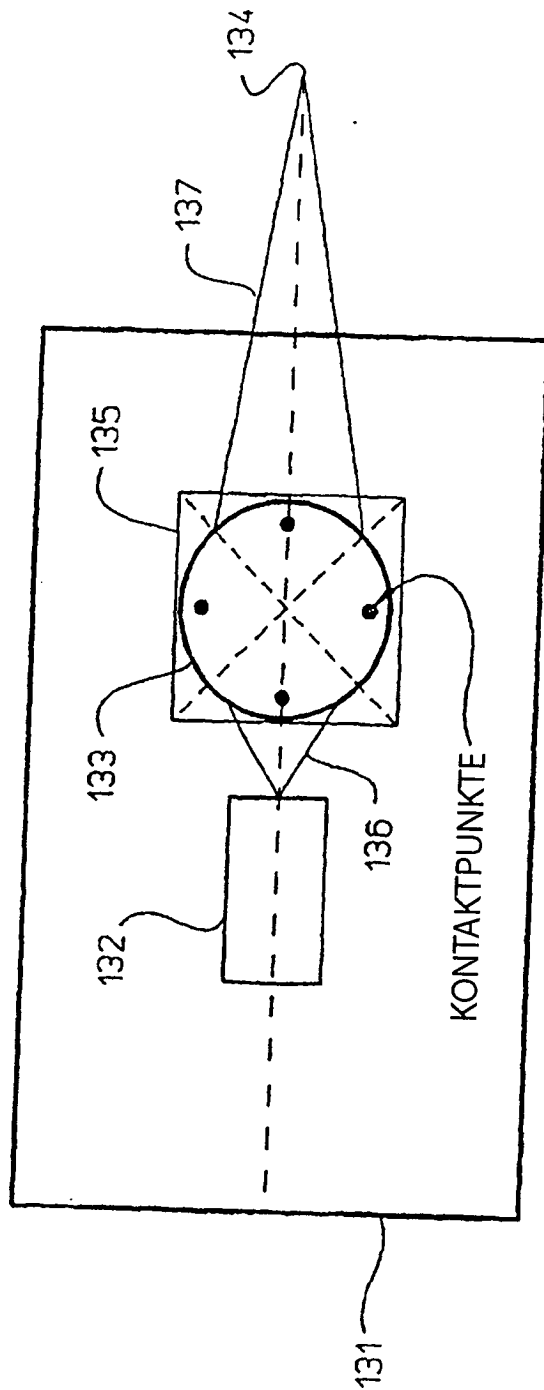


Figure 10



Figur 11A



Figur 11B

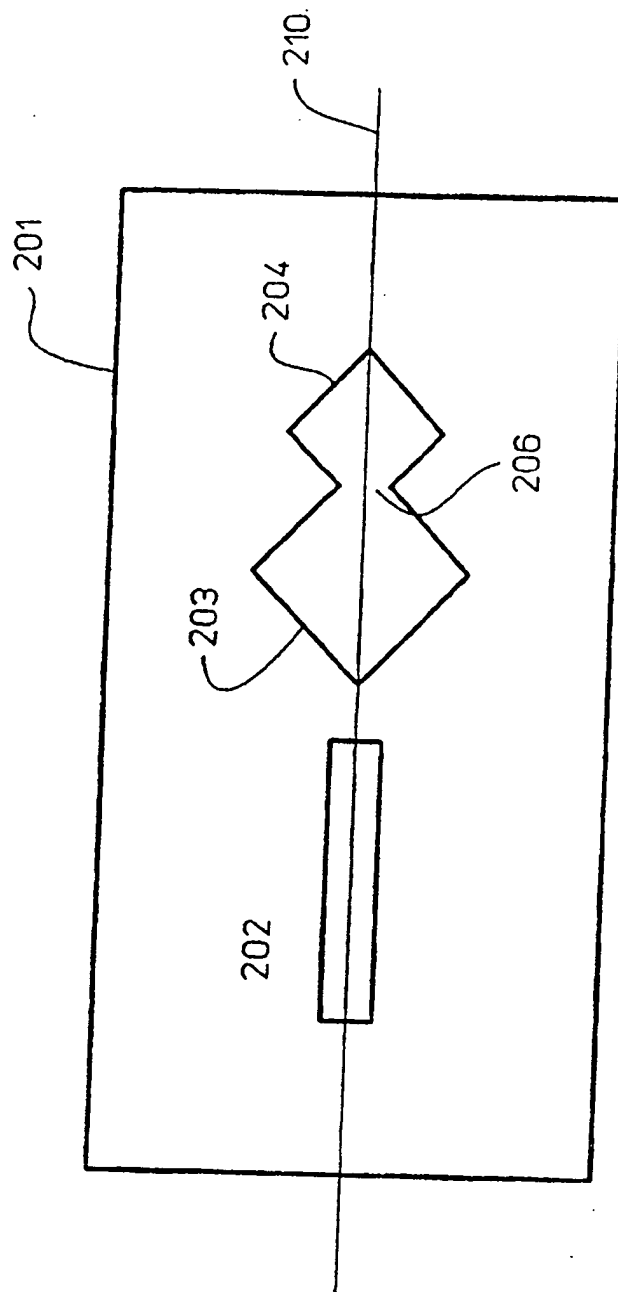


Figure 12

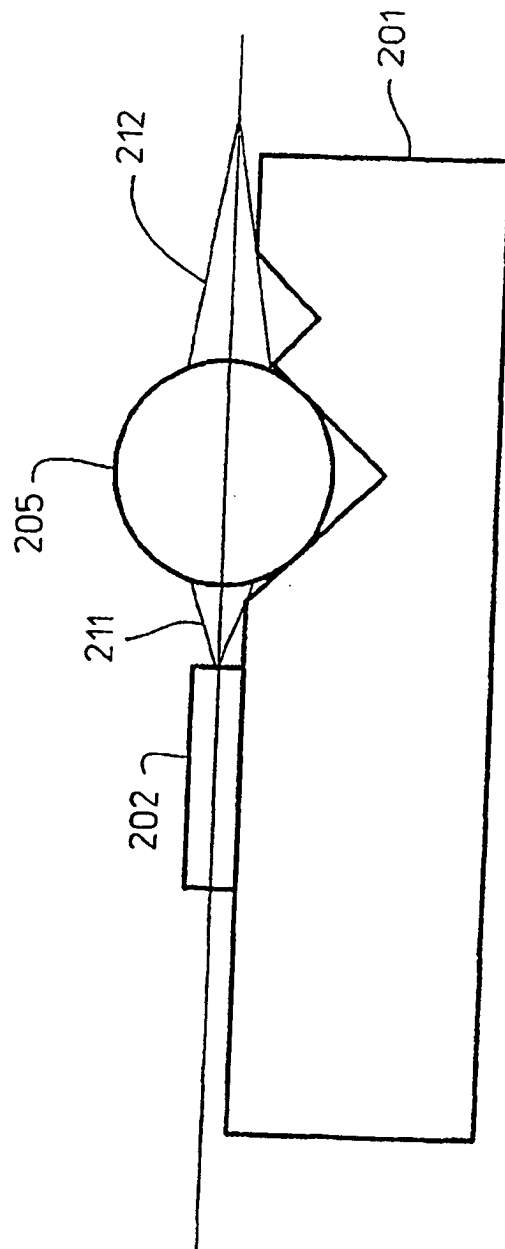
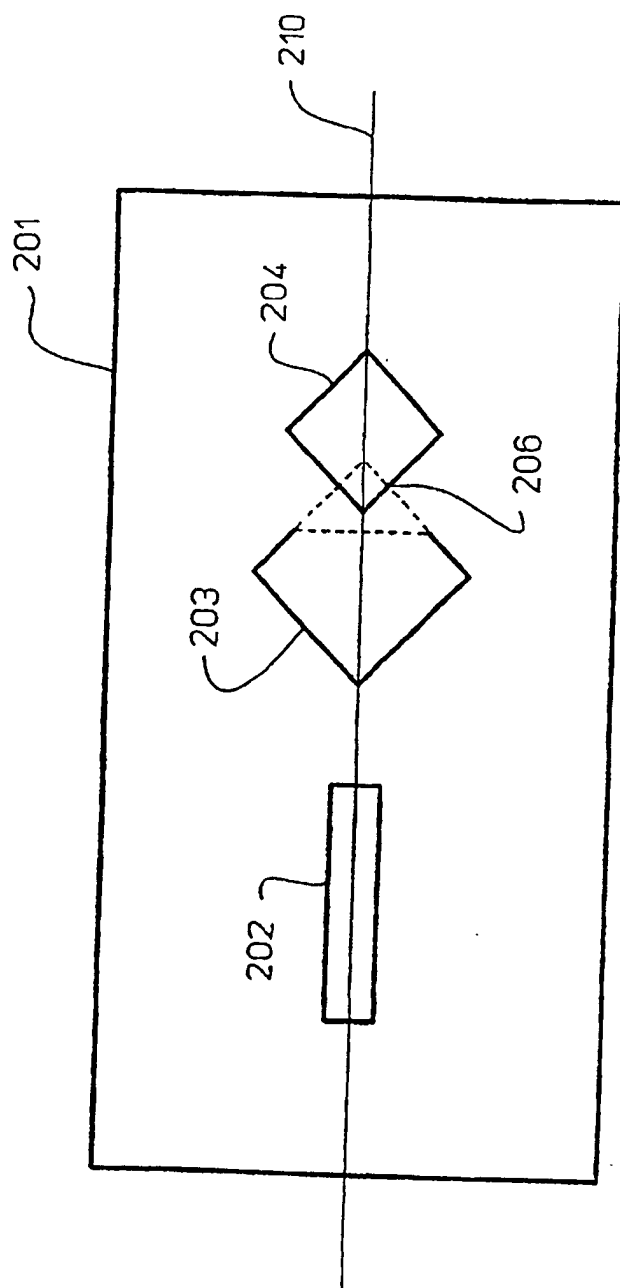


Figure 13



Figur 14