



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 031 132 B4** 2007.07.26

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 031 132.6**

(22) Anmeldetag: **04.07.2005**

(43) Offenlegungstag: **20.04.2006**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.07.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 6/42 (2006.01)**
G02B 6/32 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
10/960,125 07.10.2004 US

(73) Patentinhaber:
**Avago Technologies Fiber IP (Singapore) Pte. Ltd.,
Singapore, SG**

(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049
Pullach**

(72) Erfinder:
Chen, Ye, San Jose, Calif., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 195 10 559 C1
DE 196 18 149 A1
EP 02 38 977 B1

(54) Bezeichnung: **Optoelektronisches Modul mit hohem Kopplungswirkungsgrad**

(57) Hauptanspruch: Optoelektronisches Modul, das folgende Merkmale aufweist:

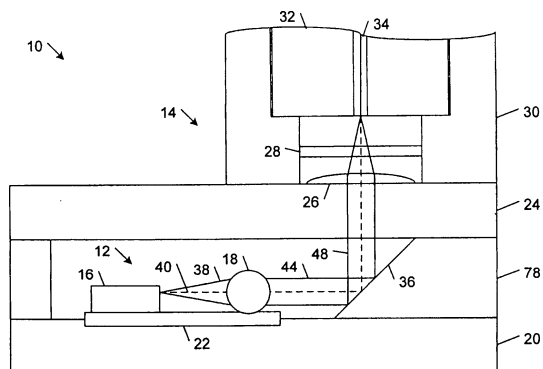
einen Laser (16), der wirksam ist, um einen divergierenden Lichtstrahl (38) entlang einer optischen Achse (40) zu erzeugen;

eine Kugellinse (18) mit einer Mitte;

ein Substrat (20) mit einer Oberfläche, die den Laser (16) trägt, und einer Ausrichtungsstruktur (22), die die Kugellinse (18) in einer Ebene parallel zu der Substratoberfläche und in einer Richtung normal zu der Substratoberfläche so ausrichtet, dass die Mitte der Kugellinse (18) im Wesentlichen mit der optischen Achse (40) ausgerichtet ist und die Kugellinse (18) den divergierenden Lichtstrahl in einen gebündelten Strahl (44) parallelisiert, wobei der Laser (16) und die Kugellinse (18) direkt an der Substratoberfläche angebracht sind;

einen Reflektor (36), der angeordnet ist, um den gebündelten Strahl (44) abzulenken, um einen abgelenkten, gebündelten Strahl (48) in einer Ebene zu erzeugen, die die Substratoberfläche schneidet; und

eine Fokussierungslinse (26), die angeordnet ist, um den abgelenkten,...



Beschreibung

[0001] Optoelektronische Module wurden zum Senden von optischen Informationen oder zum Empfangen optischer Informationen oder für beides entwickelt. Ein optoelektronisches Modul umfasst üblicherweise zumindest eine aktive Vorrichtung, wie z. B. einen optischen Empfänger oder einen optischen Sender, und eine Linse zum Koppeln von Licht zwischen der aktiven Vorrichtung und einer optischen Faser eines Faseroptikkabels. Ein optoelektronisches Modul umfasst üblicherweise einen Verbinder mit einer Bohrung, die konfiguriert ist, um eine Hülse aufzunehmen, die eine optische Faser des Faseroptikkabels hält. Die Bohrung positioniert ein Ende der optischen Faser an dem Fokal-Punkt der Linse des optoelektronischen Moduls.

[0002] Während der Herstellung eines optoelektronischen Moduls werden die optischen Komponenten miteinander und mit einer optischen Faser eines Faseroptikkabels ausgerichtet, um den Kopplungswirkungsgrad zwischen der aktiven Vorrichtung und der optischen Faser zu optimieren. Bei einem aktiven Ausrichtungsansatz wird der Verbinder, der die Hülse hält, mechanisch manipuliert, bis eine optimale Kopplung zwischen der optischen Faser, die durch die Hülse gehalten wird, und der aktiven Vorrichtung innerhalb des optoelektronischen Moduls, erreicht wird. Nachdem die optimale Kopplung erreicht wurde, ist der Verbinder mit dem optoelektronischen Modul verbunden. Dieser Prozess erfordert entweder eine menschliche Wechselwirkung oder eine teure Ausrüstung, die den Verbinder zittermäßig automatisch in die optimale Position bringt.

[0003] Einige Typen optoelektronischer Module verwenden bearbeitete Teile, um die aktiven Vorrichtungen und die Kopplungsoptik auszurichten. Die Ausrichtungsgenauigkeiten solcher bearbeiteten Teile sind niedrig. Um die großen angesammelten Ausrichtungsfehlanspassungen zu kompensieren, die solchen Entwürfen eigen sind, wird der Verbinder üblicherweise aktiv mit der Fokussierungslinse in drei Dimensionen ausgerichtet, um einen hohen Kopplungswirkungsgrad mit der optischen Faser zu erreichen. Eine aktive Ausrichtung in drei Dimensionen erhöht jedoch die Kosten und die Komplexität des Optische-Ausrichtung-Prozesses.

[0004] Planare optische Waferebenen-Anordnungen wurden entwickelt, um Licht zwischen einem externen Faseroptikkabel und den aktiven Komponenten optoelektronischer Module zu koppeln. Diese optischen Anordnungen vereinfachen die Aufgaben des Packens der aktiven Vorrichtungen und Ausrichtens der Kopplungsoptik mit dem externen Faseroptikkabel. Die Kopplungsoptik in den optischen Senderwegen dieser Entwürfe umfasst eine einzelne Linse zum Fokussieren eines divergierenden Lichtstrahls von einem Laser auf das Empfangsende einer optischen Faser. Die Verwendung einer solchen Fokussierungslinse erlegt dem Entwurf der optischen Komponenten entlang des optischen Senderwegs zwischen dem Laser und der Fokussierungslinse bedeutende Einschränkungen auf. Zusätzlich dazu, bei Entwürfen, die eine einzelne Kugellinse zum Fokussieren von Licht von einem Laser auf eine externe optische Faser verwenden, bringt die Kugellinse bedeutende Aberrationen ein, die den Kopplungswirkungsgrad zwischen dem Laser und der externen optischen Faser reduzieren.

[0005] Die DE 19510559 C1 befasst sich mit der Problematik des Aussendens und Empfangens von Laserlicht zwischen einem optischen Sender, der innerhalb eines TO-Gehäuses befestigt ist, und einer optischen Faser, die mit dem TO-Gehäuse verbunden ist. Hierzu wird eine optische Sende- und Empfangsanordnung mit einem Lichtwellenleiter, einem Sender, einem Empfänger und einer Koppeloptik zwischen Sender und Empfänger vorgeschlagen. In dieser Schrift wird davon ausgegangen, dass es bekannt ist, einzelne Komponentenaufträge zu fixieren, die Reflexionsflächen aufweisen und die durch anisotropes Ätzen hergestellte Nuten aufweisen, in denen die Komponenten befestigt sind. Gemäß der dortigen Lehre wird der Aufbau einer derartigen Anordnung erleichtert, wenn die optisch aktiven Komponenten auf einer Seite eines einzigen Trägers montiert werden.

[0006] Aus der DE 19618149 A1 ist eine optische Verbindungsleiste zum Vernetzen von Baugruppen innerhalb von Baugruppenträgern bekannt, bei der kombinierte Linsen/Spiegelelemente als Umlenkelemente in der Verbindungsleiste integriert sind, die das vom Baugruppenträger emittierte oder detektierte oder kollimierte Lichtstrahlenbündel umlenken, fokussieren und in einen Lichtwellenleiter einkoppeln. Das Umlenkelement kann als Halbkugellinse oder Hohlspiegel ausgebildet sein.

[0007] Aus der EP 238977 B1 ist ein optisches Sende- und Empfangsmodul für bidirektionale Kommunikationsnetze bekannt, das einen optischen Sender, zwei im Strahlengang des vom Sender divergent ausgesandten Lichts hintereinander angeordnete optische Linsen, eine im Strahlengang des Lichts zwischen den Linsen angeordnete Lichtstrahlentrenneinrichtung, einen Detektor und ein Gehäuse umfasst, in dem zumindest der Sender, die Sendernahe Linse, die Lichtstrahlentrenneinrichtung und der Detektor aufgenommen sind. Der Sender und die sendernahe Linse sind auf einem gemeinsamen, fest mit dem Gehäuse verbundenen Trägerkörper

fixiert.

[0008] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optoelektronisches Modul und ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Moduls mit verbesserten Charakteristika zu schaffen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Modul gemäß Anspruch 1 ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Moduls gemäß Anspruch 12 gelöst.

[0010] Die Erfindung weist ein optoelektronisches Modul, ein optoelektronisches Verfahren und ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Moduls auf.

[0011] Bei einem Aspekt weist die Erfindung ein optoelektronisches Modul auf, das einen Laser, eine Kugellinse, ein Substrat, einen Reflektor und eine Fokussierungslinse umfasst. Der Laser ist wirksam, um einen divergierenden Lichtstrahl entlang einer optischen Achse zu erzeugen. Die Kugellinse weist eine Mitte auf. Das Substrat weist eine Oberfläche auf, die den Laser und eine Ausrichtungsstruktur trägt. Die Ausrichtungsstruktur richtet die Kugellinse in einer Ebene parallel zu der Substratoberfläche in einer Richtung normal zu der Substratoberfläche aus, so dass die Mitte der Kugellinse im Wesentlichen mit der optischen Achse ausgerichtet ist und die Kugellinse den divergierenden Lichtstrahl in einen gebündelten Strahl parallelisiert. Der Reflektor ist angeordnet, um den gebündelten Strahl abzulenken, um einen abgelenkten gebündelten Strahl in einer Ebene zu erzeugen, die die Substratoberfläche schneidet. Die Fokussierungslinse ist angeordnet, um den abgelenkten gebündelten Strahl zu fokussieren.

[0012] Bei einem anderen Aspekt der Erfindung wird ein divergierender Lichtstrahl entlang einer optischen Achse erzeugt. Der divergierende Lichtstrahl wird in einen gebündelten Strahl parallelisiert. Der gebündelte Strahl wird entlang eines abgelenkten Strahlwegs abgelenkt. Der abgelenkte, gebündelte Strahl wird fokussiert.

[0013] Die Erfindung weist ferner ein Verfahren zum Herstellen des oben beschriebenen optoelektronischen Moduls auf.

[0014] Andere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden aus der nachfolgenden Beschreibung offensichtlich, die die Zeichnungen und die Ansprüche umfasst.

[0015] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0016] [Fig. 1](#) ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines optoelektronischen Moduls;

[0017] [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines optoelektronischen Verfahrens;

[0018] [Fig. 3](#) ein Flussdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Herstellen des optoelektronischen Moduls, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist;

[0019] [Fig. 4](#) ein Blockdiagramm einer Implementierung einer Laser-Teilordnung des optoelektronischen Moduls, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist;

[0020] [Fig. 5](#) ein Blockdiagramm einer anderen Implementierung einer Laser-Teilordnung des optoelektronischen Moduls, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist;

[0021] [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6C](#) schematische Ansichten des Lichtstrahlwegs durch das optoelektronische Modul, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist, mit unterschiedlichen Graden einer axialen Fehlausrichtung zwischen dem Laser und der Kugellinse und unterschiedlichen Graden einer lateralen Fehlausrichtung zwischen der Fokussierungslinse und dem gebündelten Strahl, der durch die Laser-Teilordnung des optoelektronischen Moduls erzeugt wird;

[0022] [Fig. 7A](#) einen Graphen des Kopplungswirkungsgrads (CE; CE = coupling efficiency), gezeichnet als eine Funktion einer axialen Fehlausrichtung zwischen dem Laser und der Kollimatorlinse bei einer Implementierung des optoelektronischen Moduls, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist; und

[0023] [Fig. 7B](#) einen Graphen des Kopplungswirkungsgrads (CE) gezeichnet als eine Funktion einer lateralen Fehlausrichtung zwischen einer externen optischen Faser und der Fokussierungslinse bei einer Implemen-

tierung des optoelektronischen Moduls, das in [Fig. 1](#) gezeigt ist.

[0024] Bei der nachfolgenden Beschreibung werden gleiche Bezugszeichen verwendet, um gleiche Elemente zu identifizieren. Ferner sollen die Zeichnungen Hauptmerkmale von exemplarischen Ausführungsbeispielen auf diagrammatische Weise darstellen. Die Zeichnungen sollen nicht jedes Merkmal der tatsächlichen Ausführungsbeispiele und auch keine relativen Abmessungen der gezeigten Elemente darstellen, und sie sind nicht maßstabsgetreu gezeichnet.

[0025] Die optoelektronischen Module, die nachfolgend detaillierter beschrieben werden, umfassen eine Laser-Teilordnung, die eine Ausrichtungsstruktur zum Ausrichten eines Lasers und einer Kollimator-Kugellinse mit hoher Genauigkeit aufweist. Eine separate Fokussierungslinse koppelt den gebündelten Strahl von der Laser-Teilordnung zu einer externen optischen Faser. Die hohe Ausrichtungsgenauigkeit zwischen dem Laser und der Kollimator-Kugellinse lockert die Ausrichtungstoleranzen zwischen dem gebündelten Laserlicht und der Fokussierungslinse, die benötigt werden, um einen hohen Kopplungswirkungsgrad mit einer externen optischen Faser zu erreichen. Zusätzlich dazu erhöht das Bündeln des Laserlichts in der Laser-Teilordnung die Flexibilität, mit der die Kopplungsoptik-Teilordnung dieser optoelektronischen Module entworfen sein kann. Zum Beispiel können bei einigen Implementierungen die Laser-Teilordnung und die Kopplungsoptik-Teilordnung als separate modulare Komponenten entworfen und optimiert sein, wodurch ein einzelner Laser-Teilordnungsentwurf mit unterschiedlichen Kopplungsoptik-Teilordnungen kombiniert werden kann, um unterschiedliche Anwendungsbedürfnisse zu erfüllen.

[0026] [Fig. 1](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel eines optoelektronischen Moduls **10**, das eine Laser-Teilordnung **12** und eine Kopplungsoptik-Teilordnung **14** umfasst. Die Laser-Teilordnung **12** umfasst einen Laser **16**, eine Kugellinse **18** und ein Substrat **20**. Das Substrat **20** weist eine Oberfläche auf, die den Laser **16** trägt, und eine Ausrichtungsstruktur **22**, die die Kugellinse **18** in Ausrichtung mit der optischen Achse **40** des Lichtstrahls **38** ausrichtet, der durch den Laser **16** erzeugt wird. Die Kopplungsoptik-Teilordnung **14** umfasst ein optisches Substrat **24**, eine Fokussierungslinse **26**, einen optischen Isolator **28** und einen Faseroptikverbinder **30**. Der Faseroptikverbinder **30** ist konfiguriert, um eine Hülse **32** aufzunehmen, die das Empfangsende einer optischen Faser **34** hält. Ein Reflektor **36** koppelt das Laserlicht von der Laser-Teilordnung **12** mit der Fokussierungslinse **26** der Kopplungsoptik-Teilordnung **14**.

[0027] [Fig. 2](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens, durch das das optoelektronische Modul **10** Licht von dem Laser **16** in das Empfangsende der optischen Faser **34** koppelt. Der Laser **16** erzeugt einen divergierenden Lichtstrahl **38** entlang einer optischen Achse **40** (Block **42**). Die Kugellinse **18** parallelisiert den divergierenden Lichtstrahl **38** in einem gebündelten Strahl **44** (Block **46**). Der Reflektor **36** lenkt den gebündelten Strahl **44** ab, um einen abgelenkten, gebündelten Strahl **48** zu erzeugen (Block **50**). Die Fokussierungslinse **26** fokussiert den abgelenkten, gebündelten Strahl **48** auf das Empfangsende der optischen Faser **34** (Block **52**).

[0028] [Fig. 3](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zum Herstellen des optoelektronischen Moduls **10**.

[0029] Die Laser-Teilordnung **12** wird wie folgt hergestellt. Anfänglich wird das Substrat **20** mit einer Oberfläche, die die Ausrichtungsstruktur **22** trägt, bereitgestellt (Block **60**). Im Allgemeinen kann das Substrat **20** aus einem beliebigen Materialtyp gebildet sein, auf dem die Ausrichtungsstruktur **22** gebildet werden kann, einschließlich aus einem Halbleitermaterial (z. B. Silizium), einem Keramikmaterial und aus bestimmten Kunststoffmaterialien (z. B. PTFE). Die Ausrichtungsstruktur **22** umfasst eines oder mehrere Ausrichtungsmerkmale, die mit hoher Präzision dimensioniert und angeordnet sind. Bei einigen Implementierungen werden die Ausrichtungsmerkmale unter Verwendung photolithographischer Prozesse mit einer Präzision von ± 5 Mikrometern (μm) dimensioniert und angeordnet.

[0030] [Fig. 4](#) zeigt eine Implementierung der Laser-Teilordnung **12**, bei der die Ausrichtungsstruktur **22** eine Ausrichtungsschicht **62** umfasst, die einen Positionierungshohlraum **64** und eine Stoppkante **66** definiert, die an das Laserlicht-Ausgangsende des Lasers **16** angrenzt. Die Ausrichtungsschicht **62** kann aus einem beliebigen Materialtyp gebildet sein, der auf die Oberfläche des Substrats **20** unter Verwendung von Dünnschicht-Aufbringungsverfahren aufgebracht werden kann und unter Verwendung photolithographischer Prozesse geätzt werden kann. Bei einer Implementierung ist die Ausrichtungsschicht **62** eine Polyimid-Photoresistschicht, die auf die Oberfläche des Substrats **20** gedrückt wird, das ultraviolettem Licht durch eine Maske ausgesetzt wird, die den Positionierungshohlraum **64** und die Stoppkante **66** definiert, und entwickelt ist, um den Positionierungshohlraum **64** und die Stoppkante **66** in den nicht-entwickelten Regionen der Ausrichtungs-

schicht **62** zu bilden.

[0031] [Fig. 5](#) zeigt eine Implementierung der Laser-Teilordnung **12**, bei der die Ausrichtungsstruktur **22** aus einem Positionierungshohlraum **70** besteht, der in dem Substrat **20** gebildet ist. Bei einer Implementierung wird eine Photoresist-Ätzmaske auf die Oberfläche des Substrats **20** aufgebracht. Die Ätzmaske wird photolithographisch entwickelt, um die Öffnung des Positionierungshohlraums **70** zu definieren. Der Bereich des Substrats **20**, das durch die Ätzmaske freiliegend ist, wird geätzt, um den Positionierungshohlraum **70** zu bilden. Bei einigen Implementierungen wird das Substrat **70** unter Verwendung eines isotropischen Ätzprozesses geätzt, wie z. B. mit reaktivem Ionenätzen, das Seitenwände bildet, die im Wesentlichen senkrecht zu der Oberfläche des Substrats **20** sind. Nachdem der Positionierungshohlraum **70** gebildet wurde, wird die Ätzmaske unter Verwendung eines Lösungsmittels entfernt.

[0032] Jeder der Positionierungshohlräume **64**, **70** weist eine Öffnung an der oberen Oberfläche der Ausrichtungsschicht **62** auf, die dimensioniert ist, um die Höhe der Mitte der Kugellinse **18** über der Oberfläche des Substrats **20** einzustellen, so dass dieselbe mit der Höhe der optischen Achse **40** zusammenfällt, so dass die Kugellinse vertikal in einer Richtung (Z) normal zu dem Substrat **20** ausgerichtet ist. Die Öffnungen der Positionierungshohlräume können eine geeignete Form aufweisen, einschließlich einem regulären Polygon, wie z. B. ein gleichseitiges Dreieck oder ein Quadrat und ein Kreis. Der Ort des Positionierungshohlraums **64** relativ zu dem Ort des Lasers **16** ist entworfen, um die Kugellinse **18** in Richtungen (X, Y) in einer Ebene parallel zu der Oberfläche des Substrats **20** auszurichten. Bei einer exemplarischen Implementierung ist die Mitte der Kugellinse **18** mit der optischen Achse **40** in einer lateralen Richtung (Z) innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von ± 10 Mikrometern ausgerichtet, die Mitte der Kugellinse **18** ist mit der optischen Achse **40** in einer lateralen Richtung (Y) in der Parallelebene senkrecht zu der optischen Achse **40** innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 10 \mu\text{m}$ ausgerichtet, und die Mitte der Kugellinse **18** ist mit der optischen Achse **40** in einer axialen Richtung (X) entlang der optischen Achse **40** innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 5 \mu\text{m}$ ausgerichtet. Wie hierin verwendet, bezieht sich der Ausdruck „axiale Richtung“ auf eine Richtung entlang der Achse eines Lichtstrahls, und der Ausdruck „laterale Richtung“ bezieht sich auf eine Richtung in einer Ebene normal zu der Achse eines Lichtstrahls.

[0033] Bezug nehmend wiederum auf [Fig. 3](#), nachdem das Substrat **20** bereitgestellt wurde (Block **60**), wird der Laser **16** an dem Substrat befestigt (Block **72**). Der Laser **16** kann ein Laser mit Kantenstrahlung sein, wie z. B. ein Fabry-Perot-Laser. Der Laser **16** kann mit der Oberfläche des Substrats **20** unter Verwendung eines Präzisionsform-Anbringverfahrens verbunden werden. Bei der Implementierung, die in [Fig. 4](#) gezeigt ist, ist das Laserlicht-Ausgangsende des Lasers **16** gegen die Stoppkante **66** der Ausrichtungsschicht **62** positioniert.

[0034] Nachdem der Laser **16** an dem Substrat **20** befestigt wurde (Block **72**), wird die Kugellinse **18** an die Ausrichtungsstruktur **22** angebracht (Block **74**). Die Kugellinse **18** kann aus einem optisch transparenten Material gebildet sein (z. B. Saphir oder Quarz), das einen gewünschten Brechungsindex aufweist. Bei den Implementierungen, die in [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigt sind, ist die Kugellinse **18** innerhalb der Positionierungshohlräume **64** bzw. **70** positioniert und die Kugellinse **18** ist mit dem Substrat **20** unter Verwendung eines Haftmittels verbunden, wie z. B. eines Epoxidhaftmittels. Die Öffnungen der Positionierungshohlräume **64**, **70** weisen Abmessungen auf, die straff gesteuert werden, so dass die Mitte der Kugellinse **18** mit der optischen Achse **40** des Strahls **38** mit hoher Genauigkeit ausgerichtet ist, wie oben erklärt wurde.

[0035] Nachdem die Kugellinse **18** an die Ausrichtungsstruktur **22** angebracht wurde (Block **74**), wird der Reflektor **36** bereitgestellt (Block **76**). Der Reflektor **36** umfasst eine planare, reflektierende Oberfläche, die den gebündelten Strahl **44** in den abgelenkten, gebündelten Strahl **48** ablenkt. Bei den dargestellten Implementierungen ist der Reflektor **36** eine dünne Schicht eines reflektierenden Materials (z. B. Gold), das auf eine Seitenwand eines Zwischenpositionierersubstrats **78** aufgebracht wird, das zwischen das Laser-Teilordnungssubstrat **20** und das optische Substrat **24** der Kopplungsoptik-Teilordnung **14** gekoppelt ist. Bei anderen Implementierungen kann der Reflektor **36** als Teil der Laser-Teilordnung **12** oder als Teil der Kopplungsoptik-Teilordnung **14** gebildet sein. Zum Beispiel sind bei einigen Implementierungen der Laser **16**, die Kugellinse **18** und die Ausrichtungsstruktur **22** innerhalb eines Hohlraums gebildet, der in dem Substrat **20** gebildet ist, und der Reflektor **36** ist als ein Teil der Laser-Teilordnung **12** gebildet, durch Aufbringen eines reflektierenden Materials (z. B. einer Schicht aus Gold) auf eine gewinkelte Seitenwand des Hohlraums.

[0036] Bei einigen Implementierungen ist die planare, reflektierende Oberfläche des Reflektors **36** in einem Winkel von 45° relativ zu der Achse des gebündelten Strahls **44** ausgerichtet, so dass die Achse des abgelenkten, gebündelten Strahls **48** senkrecht zu der Oberfläche des Substrats **20** ist. Bei anderen Implementierungen ist die planare, reflektierende Oberfläche des Reflektors **36** in einem anderen Winkel als 45° relativ zu

der Achse des gebündelten Strahls **44** ausgerichtet. Bei einer dieser Implementierungen ist die planare, reflektierende Oberfläche des Reflektors **36** z. B. in einem Winkel von 49° relativ zu der Achse des gebündelten Strahls **44** ausgerichtet, wobei in diesem Fall die Achse des abgelenkten gebündelten Strahls **48** in einem Winkel von 98° relativ zu der Oberfläche des Substrats **20** ist. Ein Neigen des abgelenkten, gebündelten Strahls **48** in einem anderen Winkel als 90° relativ zu der Oberfläche des Substrats **20** reduziert Rückreflektierungen, die anderweitig das Verhalten des Lasers **16** nachteilhaft beeinflussen könnten.

[0037] Jede der [Fig. 6A–Fig. 6C](#) zeigt einen jeweiligen Satz aus drei Simulierter-Laserstrahl-Wegen für unterschiedliche Grade einer axialen Fehlausrichtung zwischen dem Laser **16** und der Kugellinse **18**. Die simulierten Strahlwege, die in [Fig. 6A–Fig. 6C](#) gezeigt sind, werden basierend auf einer exemplarischen Implementierung des optoelektronischen Moduls **10** berechnet, bei dem der Laser **16** eine Öffnung mit einem Durchmesser von $2\ \mu\text{m}$ und eine numerische Apertur (NA) von 0,5 aufweist, die Kugellinse **18** aus Saphir hergestellt ist und einen Durchmesser von $300\ \mu\text{m}$ aufweist, das optische Substrat **24** eine Dicke von $500\ \mu\text{m}$ entlang der Achse des abgelenkten, gebündelten Strahls **48** aufweist, die Fokussierungslinse **26** aus Silizium hergestellt ist und eine Dicke von $650\ \mu\text{m}$ entlang der Achse des abgelenkten, gebündelten Strahls **48** aufweist und der optische Isolator **28** eine Dicke von $1.100\ \mu\text{m}$ entlang der Achse des abgelenkten, gebündelten Strahls **48** aufweist. Für jede der Simulationen, die in [Fig. 6A–Fig. 6C](#) gezeigt sind, ist der Reflektor **36** in einem Winkel von 49° relativ zu der Achse des gebündelten Strahls **44** ausgerichtet, so dass der resultierende, abgelenkte Strahl **48** in einem Winkel von 98° relativ zu der Oberfläche des Substrats **20** ausgerichtet ist.

[0038] In [Fig. 6A](#) entspricht der simulierte Strahlweg **82** dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** mit der Achse des Strahls **48** ausgerichtet ist und der Ausgang des Lasers **16** an dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** angeordnet ist; der simulierte Strahlweg **84** entspricht dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** mit der Achse des Strahls **48** ausgerichtet ist und der Ausgang des Lasers **16** von dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** um $+10\ \mu\text{m}$ versetzt ist; und der simulierte Strahlweg **86** entspricht dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** mit der Achse des Strahls **48** ausgerichtet ist und der Ausgang des Lasers **16** von dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** um $-10\ \mu\text{m}$ versetzt ist.

[0039] In [Fig. 6B](#) entspricht der simulierte Strahlweg **88** dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** von der Achse des Strahls **48** um $+30\ \mu\text{m}$ versetzt ist und der Ausgang des Lasers **16** an dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** angeordnete ist; der simulierte Strahlweg **90** entspricht dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** von der Achse des Strahls **48** um $+30\ \mu\text{m}$ versetzt ist und der Ausgang des Lasers **16** von dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** um $+10\ \mu\text{m}$ versetzt ist; und der simulierte Strahlweg **92** entspricht dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** von der Achse des Strahls **48** um $+30\ \mu\text{m}$ versetzt ist und der Ausgang des Lasers **16** von dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** um $-10\ \mu\text{m}$ versetzt ist.

[0040] In [Fig. 6C](#) entspricht der simulierte Strahlweg **94** dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** von der Achse des Strahls **48** um $-30\ \mu\text{m}$ versetzt ist und der Ausgang des Lasers **16** an dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** angeordnet ist; der simulierte Strahlweg **96** entspricht dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** von der Achse des Strahls **48** um $-30\ \mu\text{m}$ versetzt ist und der Ausgang des Lasers **16** von dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** um $+10\ \mu\text{m}$ versetzt ist; und der simulierte Strahlweg **98** entspricht dem Fall, in dem die Achse der Fokussierungslinse **26** von der Achse des Strahls **48** um $-30\ \mu\text{m}$ versetzt ist und der Ausgang des Lasers **16** von dem Fokalpunkt der Kugellinse **18** um $-10\ \mu\text{m}$ versetzt ist.

[0041] Die simulierten Kopplungswirkungsgrade, die den verschiedenen Anordnungen von Komponenten zugeordnet sind, die in [Fig. 6A–Fig. 6C](#) gezeigt sind, werden in Tabelle 1 unten präsentiert.

		Fokussierungslinse 26 - optische Faser 34 - Fehlausrichtung (μm)		
		-30	0	+30
Laser 16 - Kugellinse 18 - Fehlausrichtung (μm)	-10	-2,22	-1,91	-3,16
	0	-2,34	-1,62	-2,37
	10	-3,02	-1,99	-2,42

Tabelle 1

[0042] Basierend auf diesen Simulationen wurde bestimmt, dass zum Beibehalten eines Kopplungswirkungsgrad-Abfalls von 2 dB oder weniger bei der exemplarischen Implementierung des optoelektronischen Moduls **10**, das oben beschrieben wurde, der Laser **16** und die Kugellinse **18** innerhalb eines Toleranzbereichs von $\pm 4 \mu\text{m}$ ausgerichtet sein sollten und die Fokussierungslinse **26** und die optische Faser **34** innerhalb eines Toleranzbereichs von $\pm 3,5 \mu\text{m}$ ausgerichtet sein sollten. Zusätzlich dazu schlagen diese Simulationen vor, dass der rückreflektierte Leistungspegel am höchsten ist (-43 dB) für den Fall, in dem der Laser **16** und die Kugellinse **18** axial um $-10 \mu\text{m}$ falsch ausgerichtet sind. Es wird darauf hingewiesen, dass der rückreflektierte Leistungspegel -19 dB ist, wenn der Reflektor **36** in einem Winkel von 45° relativ zu der Achse des gebündelten Strahls **44** ausgerichtet ist.

[0043] Bezug nehmend zurück auf [Fig. 3](#) wird nachdem der Reflektor **36** bereitgestellt wurde (Block **76**) die Fokussierungslinse **26** bereitgestellt (Block **100**). Im Allgemeinen kann die Fokussierungslinse **26** ein beliebiger Linsentyp sein, einschließlich einem Typ einer Brechungslinse und einem Typ einer Beugungslinse. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Fokussierungslinse **26** eine Brechungs-Mikrolinse, die mit dem optischen Substrat **24** unter Verwendung eines Haftmittels verbunden ist. Bei anderen Ausführungsbeispielen ist die Fokussierungslinse **26** lithographisch in dem optischen Substrat **24** gebildet. Das optische Substrat **24** kann aus einem Material gebildet sein, das im Wesentlichen transparent für den abgelenkten, gebündelten Laserlichtstrahl **48** ist. Bei einer Implementierung ist das optische Substrat **24** aus Silizium gebildet. Bei einer anderen Implementierung sind das optische Substrat **24** und die Fokussierungslinse **26** aus Saphir gebildet.

[0044] Der Prozess des Bereitstellens der Fokussierungslinse **26** (Block **80**) umfasst das Ausrichten des Verbinders **30** mit dem abgelenkten, gebündelten Strahl **48**. Der Verbinder **30** ist mit der oberen Oberfläche des optischen Substrats **24** über die Fokussierungslinse **26** verbunden. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst der Verbinder **30** den optischen Isolator **28**. Bei anderen Ausführungsbeispielen kann der optische Isolator **28** an einem unterschiedlichen Ort entlang des Laserstrahlwegs durch das optoelektronische Modul **10** angeordnet sein. Einige Ausführungsbeispiele umfassen den optischen Isolator **28** möglicherweise nicht. Die Bündelung des abgelenkten Strahls **48** ermöglicht, dass der Verbinder **38** mit dem abgelenkten Strahl **48** ausgerichtet wird, einfach durch Einstellen der Position des Verbinders **30** in einer Ebene normal zu der oberen Oberfläche des optischen Substrats **24** (sogenannte „passive Z-Ausrichtung“), wodurch die Kosten und die Komplexität des Optische-Ausrichtung-Prozesses reduziert werden.

[0045] Ein Bündeln des Laserlichts in der Laser-Teilordnung **12** erhöht ferner die Flexibilität, mit der die Kopplungsoptik-Teilordnung **14** des optoelektronischen Moduls **10** entworfen werden kann. Zum Beispiel ermöglicht die Bündelung des abgelenkten Strahls **48**, dass die Dicke des optischen Substrats **24** und die Axialposition der Fokussierungslinse **26** separat von der Laser-Teilordnung **12** optimiert werden.

[0046] Zusätzlich dazu lockert die Bündelung des abgelenkten Strahls **48** die lateralen Ausrichtungstoleranzschränkungen für die Fokussierungslinse **26**, wie durch die Graphen nachgewiesen wird, die in [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) gezeigt sind. Diese Graphen wurden basierend auf einer exemplarischen Implementierung des optoelektronischen Moduls **10** berechnet, das eine Saphirkugellinse **18** mit einem Durchmesser von $300 \mu\text{m}$, einen Laser **16** mit Kantenstrahlung mit einer numerischen Apertur (NA) von 0,5, eine sphärische Fokussierungslinse **26** und eine Einmodenfaser (SFM-Faser; SFM = single mode fiber) **28** aufweist.

[0047] **Fig. 7A** zeigt einen Graphen des simulierten Kopplungswirkungsgrads für das optoelektronische Modul **10**, der als eine Funktion der Fehlausrichtung zwischen dem Laser **16** und der Kugellinse **18** entlang der axialen Richtung (X) entlang der optischen Achse **40** in der Ebene parallel zu der Oberfläche des Substrats **20** gezeichnet ist. **Fig. 7B** zeigt einen Graphen des simulierten Kopplungswirkungsgrads, der als eine Funktion der lateralen Fehlausrichtung zwischen der optischen Faser **34** und der Fokussierungslinse **26** entlang den lateralen Richtungen (Y, Z) in der normalen Ebene zu der Achse des abgelenkten gebündelten Strahls **48** gezeichnet ist. Wie in **Fig. 7A** und **Fig. 7B** gezeigt ist, ist der Kopplungswirkungsgrad viel empfindlicher gegenüber einer axialen Fehlausrichtung zwischen dem Laser **16** und der Kugellinse **18** als er es gegenüber der lateralen Fehlausrichtung zwischen der optischen Faser **34** und der Fokussierungslinse **26** ist. Somit ist bei einigen Implementierungen die Mitte der Kugellinse **18** axial mit der optischen Achse **40** innerhalb eines ersten Ausrichtungstoleranzbereichs ausgerichtet, und die Fokussierungslinse **26** ist lateral mit dem abgelenkten, gebündelten Strahl **48** innerhalb eines zweiten Ausrichtungstoleranzbereichs ausgerichtet, der größer ist als der erste Ausrichtungstoleranzbereich. Andere Ausführungsbeispiele liegen innerhalb des Schutzbereichs der Ansprüche.

Patentansprüche

1. Optoelektronisches Modul, das folgende Merkmale aufweist:
 einen Laser (**16**), der wirksam ist, um einen divergierenden Lichtstrahl (**38**) entlang einer optischen Achse (**40**) zu erzeugen;
 eine Kugellinse (**18**) mit einer Mitte;
 ein Substrat (**20**) mit einer Oberfläche, die den Laser (**16**) trägt, und einer Ausrichtungsstruktur (**22**), die die Kugellinse (**18**) in einer Ebene parallel zu der Substratoberfläche und in einer Richtung normal zu der Substratoberfläche so ausrichtet, dass die Mitte der Kugellinse (**18**) im Wesentlichen mit der optischen Achse (**40**) ausgerichtet ist und die Kugellinse (**18**) den divergierenden Lichtstrahl in einen gebündelten Strahl (**44**) parallelisiert, wobei der Laser (**16**) und die Kugellinse (**18**) direkt an der Substratoberfläche angebracht sind;
 einen Reflektor (**36**), der angeordnet ist, um den gebündelten Strahl (**44**) abzulenken, um einen abgelenkten, gebündelten Strahl (**48**) in einer Ebene zu erzeugen, die die Substratoberfläche schneidet; und
 eine Fokussierungslinse (**26**), die angeordnet ist, um den abgelenkten, gebündelten Strahl (**48**) zu fokussieren.
2. Optoelektronisches Modul gemäß Anspruch 1, bei dem die Mitte der Kugellinse (**18**) mit der optischen Achse (**40**) innerhalb eines ersten Ausrichtungstoleranzbereichs ausgerichtet ist und die Fokussierungslinse (**26**) mit dem abgelenkten, gebündelten Strahl (**48**) innerhalb eines zweiten Ausrichtungstoleranzbereichs ausgerichtet ist, der größer ist als der erste Ausrichtungstoleranzbereich.
3. Optoelektronisches Modul gemäß Anspruch 2, bei dem die Mitte der Kugellinse (**18**) mit der optischen Achse in der normalen Richtung innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 10 \mu\text{m}$ ausgerichtet ist, die Mitte der Kugellinse (**18**) mit der optischen Achse (**40**) in einer lateralen Richtung in der parallelen Ebene senkrecht zu der optischen Achse (**40**) innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 10 \mu\text{m}$ ausgerichtet ist und die Mitte der Kugellinse (**18**) mit dem Laser (**16**) in einer axialen Richtung entlang der optischen Achse (**40**) innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 5 \mu\text{m}$ ausgerichtet ist.
4. Optoelektronisches Modul gemäß Anspruch 3, bei dem der zweite Ausrichtungstoleranzbereich $\pm 30 \mu\text{m}$ beträgt.
5. Optoelektronisches Modul gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Ausrichtungsstruktur einen Positionierungshohlraum (**64**, **70**) aufweist, in dem die Kugellinse (**18**) teilweise angeordnet ist.
6. Optoelektronisches Modul gemäß Anspruch 5, bei dem der Positionierungshohlraum (**64**, **70**) Seitenwände im Wesentlichen normal zu der Substratoberfläche aufweist.
7. Optoelektronisches Modul gemäß Anspruch 5 oder 6, bei dem der Positionierungshohlraum (**70**) in dem Substrat (**20**) vorliegt.
8. Optoelektronisches Modul gemäß einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem der Positionierungshohlraum (**64**) in einer Schicht (**62**) aus Material auf der Substratoberfläche vorliegt.
9. Optoelektronisches Modul gemäß Anspruch 8, bei dem die Schicht (**62**) eine Stoppkante (**62**) aufweist, die an den Laser (**16**) angrenzt.

10. Optoelektronisches Modul gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem der Reflektor **(36)** angeordnet ist, um den gebündelten Strahl **(44)** in einer Ebene zu erzeugen, die die Substratoberfläche in einem Winkel von mehr als 90° schneidet.

11. Optoelektronisches Modul gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, das ferner ein zweites Substrat **(24)** über dem ersten Substrat **(20)** und das die Fokussierungslinse **(26)** trägt, aufweist.

12. Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Moduls, das folgende Schritte aufweist:
 Bereitstellen eines Substrats **(20)** mit einer Oberfläche;
 photolithographisches Verarbeiten des Substrats **(20)**, um eine Ausrichtungsstruktur **(22)** zu bilden, die durch das Substrat **(20)** getragen wird;
 Befestigen eines Lasers **(16)** an dem Substrat **(20)** in Ausrichtung mit der Ausrichtungsstruktur **(22)**, wobei der Laser **(16)** wirksam ist, um einen divergierenden Lichtstrahl **(38)** entlang einer optischen Achse **(40)** zu erzeugen;
 Anbringen einer Kugellinse **(18)** an der Ausrichtungsstruktur **(22)**, so dass die Kugellinse **(18)** in einer Ebene parallel zu der Substratoberfläche und in einer Richtung normal zu der Substratoberfläche ausgerichtet ist, wobei die Kugellinse **(18)** eine Mitte aufweist, die im Wesentlichen mit der optischen Achse **(40)** ausgerichtet ist, und die Kugellinse **(18)** den divergierenden Lichtstrahl **(38)** in einen gebündelten Strahl **(44)** parallelisiert;
 Bereitstellen eines Reflektors **(36)**, der angeordnet ist, um den gebündelten Strahl **(44)** abzulenken, um einen abgelenkten, gebündelten Strahl **(48)** in einer Ebene zu erzeugen, die die Substratoberfläche schneidet; und
 Bereitstellen einer Fokussierungslinse **(26)**, die angeordnet ist, um den abgelenkten, gebündelten Strahl **(48)** zu fokussieren.

13. Verfahren gemäß Anspruch 12, bei dem das Anbringen ein Ausrichten der Mitte der Kugellinse **(18)** mit der optischen Achse **(40)** innerhalb eines ersten Ausrichtungstoleranzbereichs aufweist und das Bereitstellen der Fokussierungslinse **(26)** ein Ausrichten der Fokussierungslinse **(26)** mit dem abgelenkten, gebündelten Strahl **(38)** innerhalb eines zweiten Ausrichtungstoleranzbereichs aufweist, der größer ist als der erste Ausrichtungstoleranzbereich.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem die Mitte der Kugellinse **(18)** mit der optischen Achse **(40)** in der Normalenrichtung innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 10 \mu\text{m}$ ausgerichtet wird, die Mitte der Kugellinse **(18)** mit der optischen Achse **(40)** in einer lateralen Richtung in der parallelen Ebene senkrecht zu der optischen Achse **(40)** innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 10 \mu\text{m}$ ausgerichtet wird, und die Mitte der Kugellinse **(18)** mit dem Laser **(16)** in einer axialen Richtung entlang der optischen Achse **(40)** innerhalb eines Ausrichtungstoleranzbereichs von $\pm 5 \mu\text{m}$ ausgerichtet wird.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem der zweite Ausrichtungstoleranzbereich $\pm 30 \mu\text{m}$ beträgt.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 15, bei dem das Bereitstellen des Substrats **(20)** ein Bilden eines Positionierungshohlraums **(64, 70)** zum Aufnehmen eines Abschnitts der Kugellinse **(18)**, und der Seitenwände aufweist, die im Wesentlichen normal zu der Substratoberfläche sind, aufweist.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, bei dem das Bilden des Positionierungshohlraums **(64)** das Bilden einer Schicht **(62)** aus Material auf dem Substrat **(20)** und das Ätzen des Positionierungshohlraums **(64)** in die Schicht **(62)** aus Material aufweist.

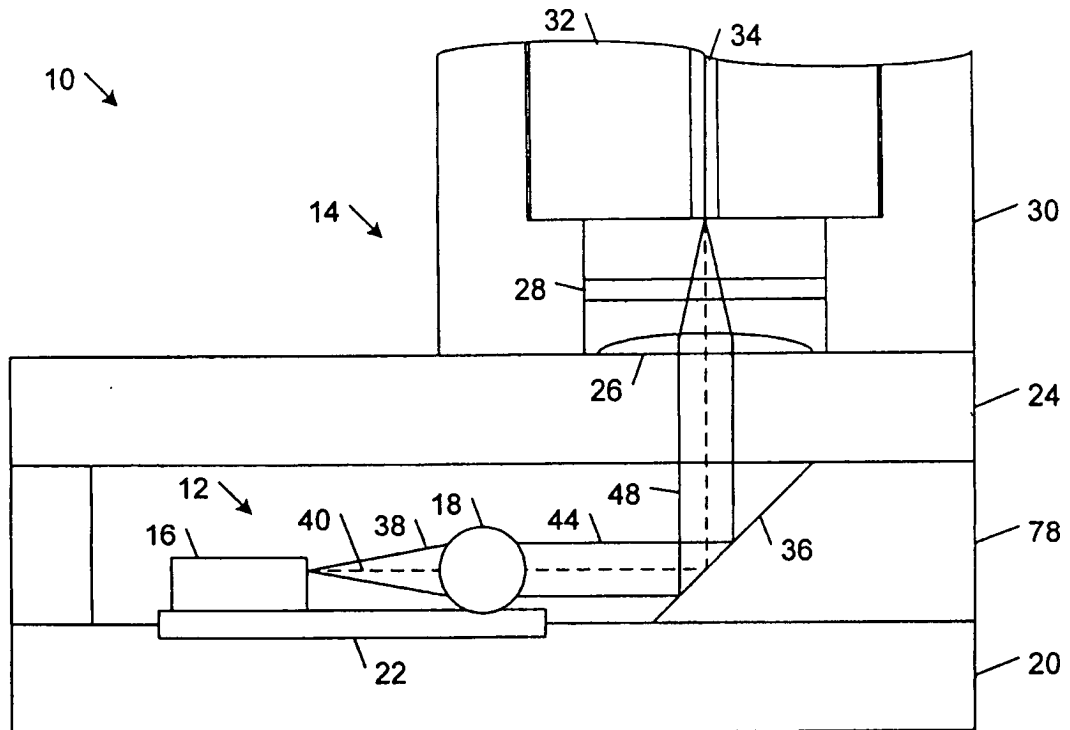
18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 17, bei dem das Bereitstellen des Reflektors **(36)** ein Anordnen des Reflektors **(36)** aufweist, um den gebündelten Strahl **(44)** in einer Ebene zu erzeugen, die die Substratoberfläche in einem Winkel von mehr als 90° schneidet.

19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 18, das ferner das Bereitstellen eines zweiten Substrats **(24)**, das die Fokussierungslinse **(26)** trägt, über dem ersten Substrat **(20)** aufweist.

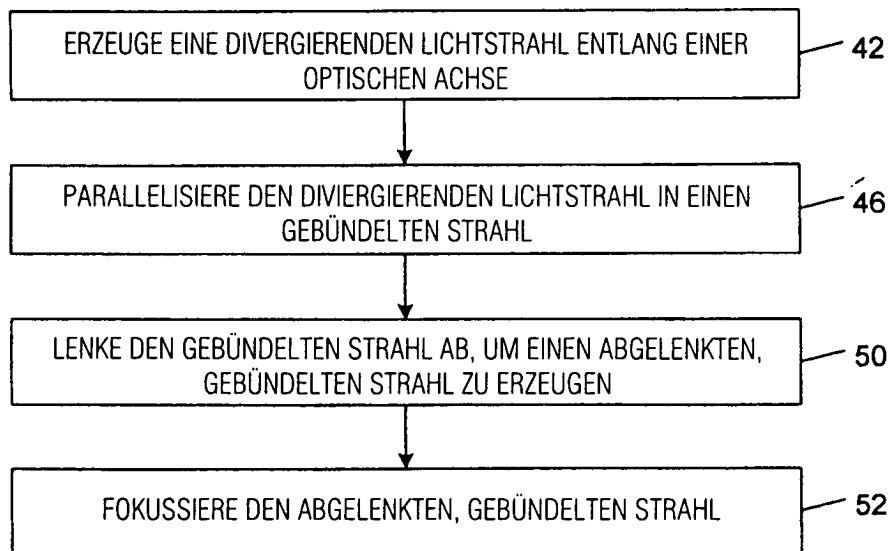
20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 19, bei dem das Befestigen ein Anbringen des Lasers **(16)** direkt an der Substratoberfläche aufweist und das Anbringen ein Anbringen der Kugellinse **(18)** direkt an der Substratoberfläche aufweist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

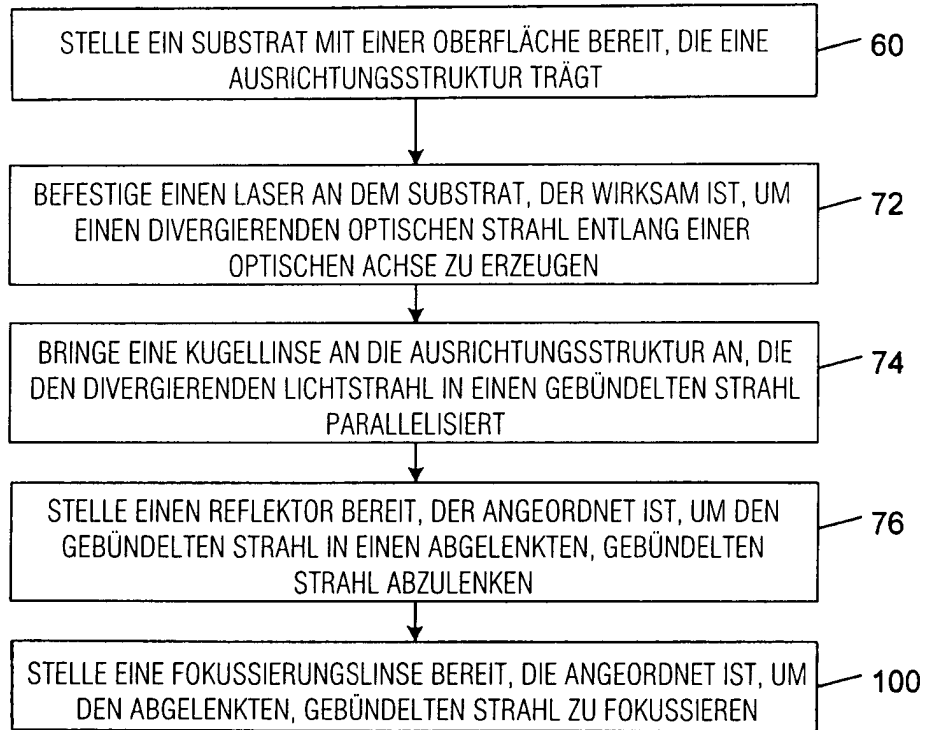
Anhängende Zeichnungen



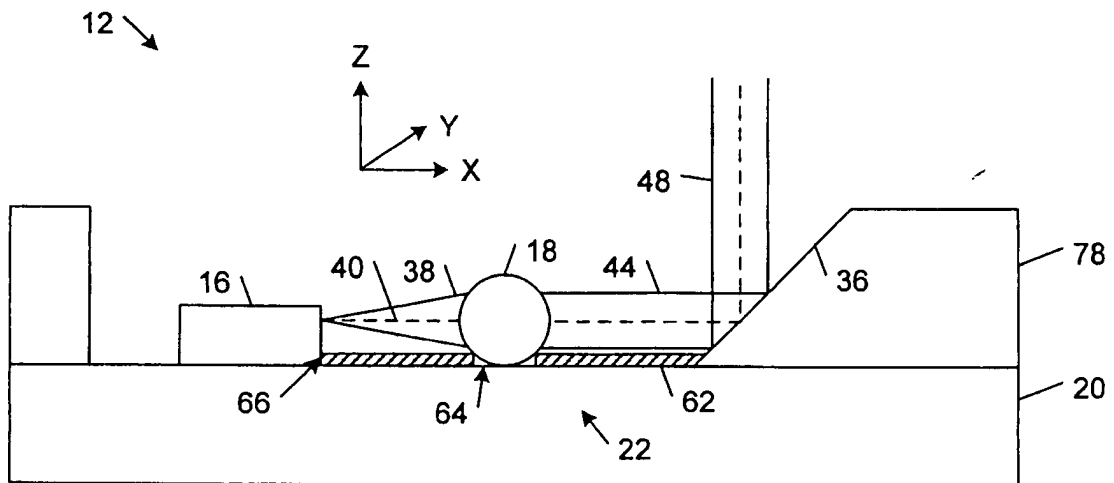
FIGUR 1



FIGUR 2



FIGUR 3



FIGUR 4

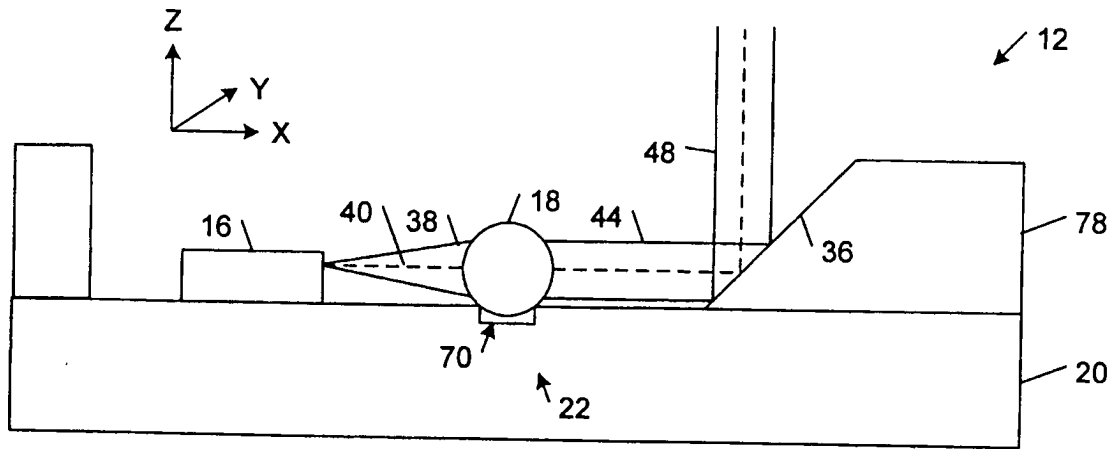


FIGURE 5

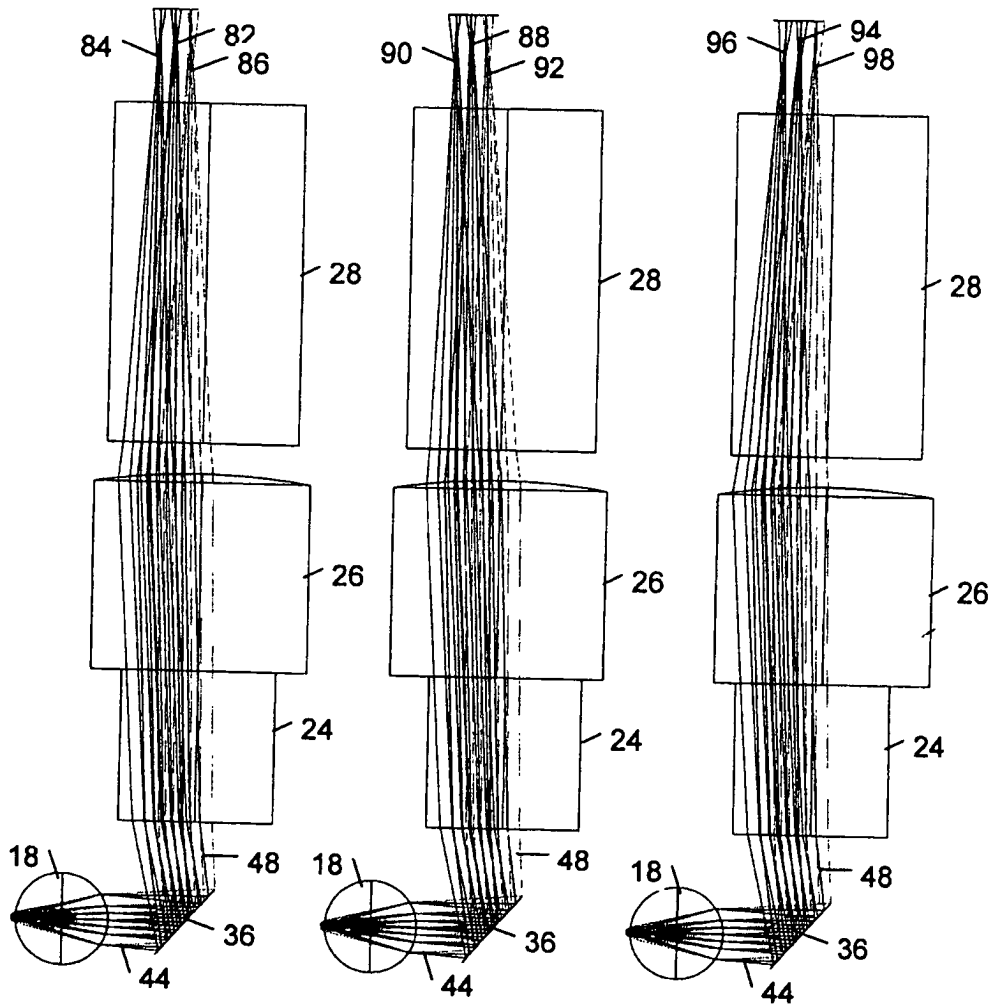
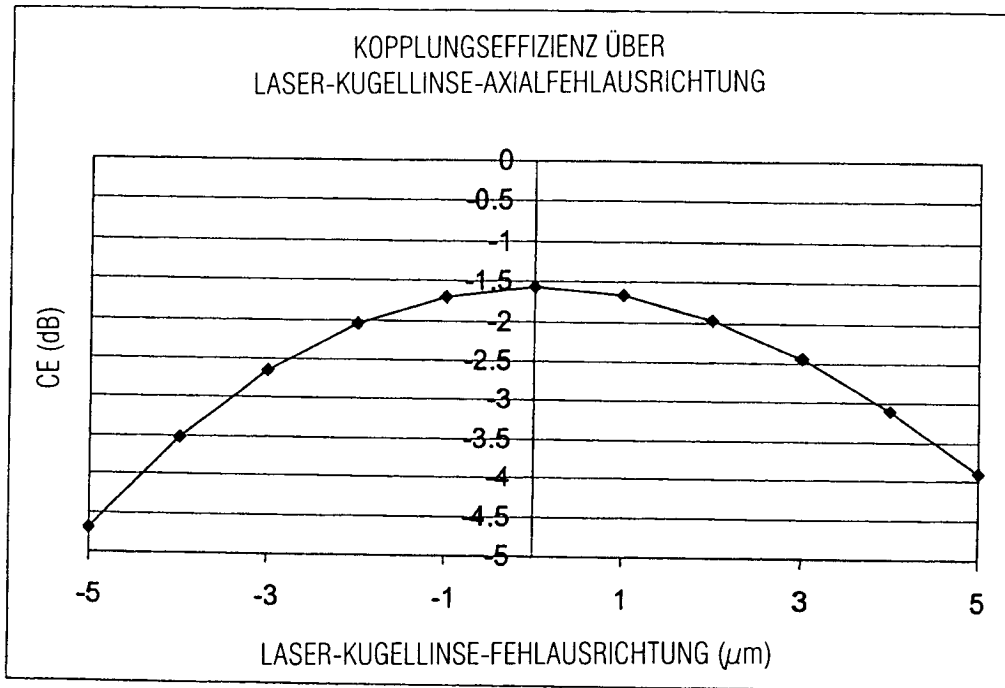


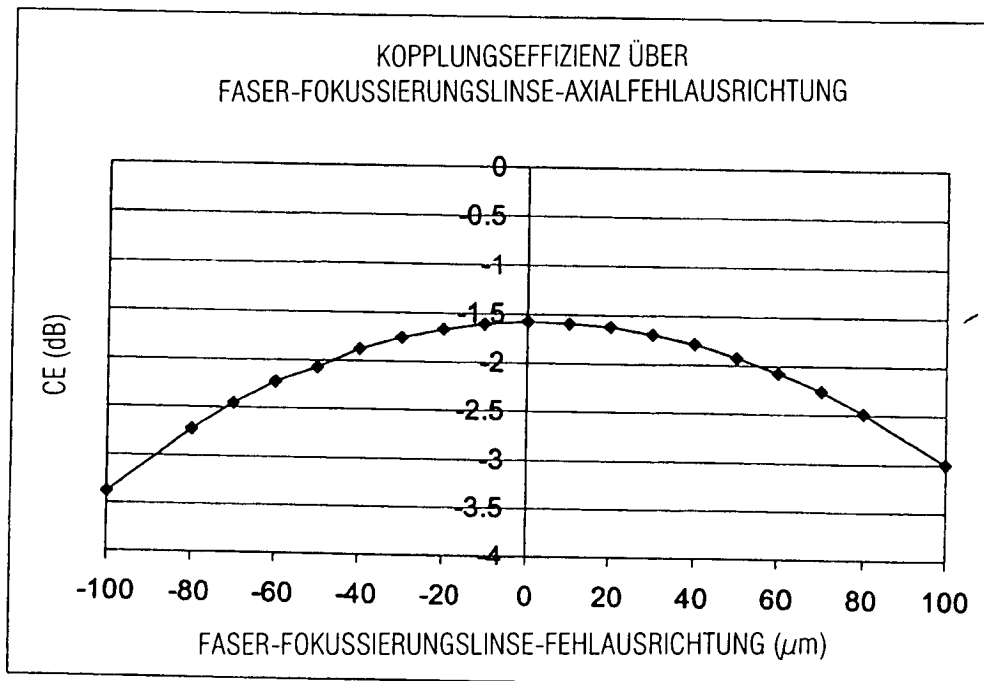
FIGURE 6A

FIGURE 6B

FIGURE 6C



FIGUR 7A



FIGUR 7B