



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 20 152 B4 2006.07.13

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 20 152.1**  
(22) Anmelddatum: **06.05.2003**  
(43) Offenlegungstag: **26.02.2004**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.07.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 6/42 (2006.01)**  
**G02B 6/32 (2006.01)**  
**G02B 6/26 (2006.01)**  
**G02B 27/09 (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:  
**10/210598 31.07.2002 US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

**US 61 20 191 A**  
**US 61 12 002 A**  
**US 61 12 001 A**  
**US 56 80 493 A**  
**US 56 42 233 A**  
**US 55 11 140 A**

**Patent Abstracts of Japan: Abstract der JP 02101405 A;**

(73) Patentinhaber:  
**Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d.Staates Delaware), Palo Alto, Calif., US**

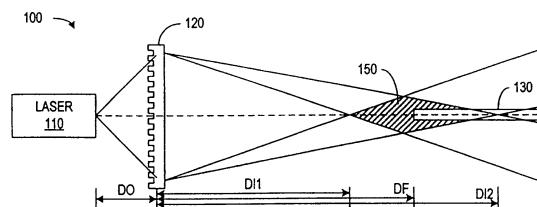
(74) Vertreter:  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach**

(72) Erfinder:  
**Colemann, Christopher L., Santa Clara, Calif., US**

(54) Bezeichnung: **Optikfaserkoppler mit erweiterter Ausrichtungstoleranz**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung, die folgende Merkmale umfaßt:

eine Lichtquelle (110);  
eine optische Faser (130) mit einer Fläche, die den Eintritt von Licht von der Lichtquelle in die optische Faser (130) erlaubt; und  
ein optisches System (120), das positioniert ist, um das Licht zu formen, wobei das optische System (120) eine erste Hälfte des Lichts auf eine erste Ebene fokussiert, die vor der Fläche der optischen Faser (130) ist, und eine zweite Hälfte des Lichts auf eine zweite Ebene fokussiert, die hinter der Fläche der optischen Faser (130) liegt.



## Beschreibung

**[0001]** Eine optische Einmodenfaser transportiert Licht bei kleinen Winkeln bezüglich der optischen Achse der Faser. Leider weisen Lichtquellen, wie z. B. Kantenemissionshalbleiterlaser, die optische Signale für die Übertragung auf optischen Fasern liefern, häufig Großwinkellichtstrukturen auf, wobei es schwierig ist, dieselben effizient in eine optische Einmodenfaser zu koppeln. Herkömmliche Lösungen zum Koppeln des Lichts von Kantenemissionshalbleiterlasern in optische Fasern umfassen direktes „Stoßkoppeln“ und die Verwendung einer Linse zum Abbilden des Laserlichts auf die Eingangsfläche der Faser.

**[0002]** Stoßkoppeln umfaßt das Plazieren der Eingangsfläche einer optischen Faser an oder in der Nähe der Laserausgangsöffnung ohne eine zusätzliche dazwischenliegende Optik. Dieser Lösungsansatz erfaßt häufig nur einen kleinen Bruchteil (typischerweise weniger als 10 %) der Laserleistung. Stoßkoppeln ist auch intolerant gegenüber kleinen relativen Bewegungen oder Fehlausrichtungen zwischen dem Laser und der Faser. Für eine optische Einmodenfaser mit einem Kern, der etwa 9 µm im Durchmesser aufweist, kann eine relative Bewegung in der Größenordnung von 1 µm große Änderungen bei der Menge der gekoppelten Leistung bewirken.

**[0003]** Eine Linse zwischen einem Laser und einer optischen Faser kann das Laserlicht auf den Faserkern abbilden, um einen größeren Bruchteil der Laserleistung zu erfassen. Mit einer starken Vergrößerung kann die Linse das Großwinkellichtmuster von dem Laser in ein Kleinwinkelmuster umwandeln, das eine beinahe 100%ige Kopplung in die optische Faser aufweist. Ein Bilderzeugungssystem mit starker Vergrößerung ist jedoch sehr empfindlich gegenüber relativen Fehlausrichtungen von Laser, Linse und optischer Faser. Für eine fünffache Vergrößerung verschiebt beispielsweise eine laterale Laser-zu-Linse-Verschiebung oder eine Fehlausrichtung um einen Abstand Y das abgebildete Licht um 5Y, und eine axiale Laser-zu-Linse-Verschiebung oder Fehlausrichtung um einen Abstand Z verschiebt das abgebildete Licht von der Faser um einen Abstand von 25Z.

**[0004]** Die starken Fehlausrichtungsempfindlichkeiten von optischen Faserkopplern für optische Einmodenfasern haben das Ausrichten des Lasers, der Linse und der Faser auf Genauigkeiten von weniger als 1 µm entlang allen drei Achsen erfordert. Um ferner eine gleichmäßige und angemessene Leistungs-kopplung beizubehalten, muß die genaue Ausrichtung in einem optischen Faserkoppler beibehalten werden, auch trotz einer Erschütterung, die während dem Zusammenbau, dem Einbau oder der Verwen-dung des optischen Faserkopplers auftreten kann, und trotz einer thermischen Ausdehnung der Ele-

mente und der Verpackung des optischen Faserkopplers. Das Erreichen und Beibehalten der notwendigen Ausrichtungsgenauigkeiten können zeitraubende und aufwendige Aufgaben sein. Für eine Herstellung in großen Mengen und mit geringen Kosten werden Kopplungsverfahren und Strukturen benötigt, die eine hohe und beständige Leistungskopplungseffizienz liefert, und gleichzeitig größere Ausrichtungsfehler toleriert.

## Stand der Technik

**[0005]** Die US 5,642,233 A betrifft eine Linse zum Fokussieren von Licht, wobei das Licht eine vorbestimmte Wellenlänge aufweist und durch eine Lichtquelle ausgegeben wird. Die Linse umfasst auf einer ersten Seite eine sphärische Oberfläche und auf einer zweiten Seite eine asphärische Oberfläche. Die Linse definiert eine optische Achse, die durch die sphärische Oberfläche und die asphärische Oberfläche verläuft. Die asphärische Oberfläche ist derart gebildet, dass, wenn die Lichtquelle um eine erste Entfernung von der asphärischen Oberfläche entfernt angeordnet ist, Licht, das von der Lichtquelle ausgegeben wird, auf einen ersten Punkt fokussiert wird, wobei der erste Punkt um eine zweite Entfernung von der sphärischen Oberfläche entfernt angeordnet ist, wobei die zweite Entfernung länger ist als die erste Entfernung. Die asphärische Oberfläche hat eine Aberration derart, dass das auf den ersten Punkt fokussierte Licht einen Aberrationswert von größer als 0,2 mal der Wellenlänge des Lichts hat. Die sphärische Oberfläche ist derart gebildet, dass, wenn die Lichtquelle um eine dritte Entfernung von der sphärischen Oberfläche entfernt angeordnet ist, Licht, das von der Lichtquelle ausgegeben wird, auf einen zweiten Punkt fokussiert wird, wobei der zweite Punkt um eine vierte Entfernung von der asphärischen Oberfläche entfernt angeordnet ist, wobei die dritte Entfernung kürzer ist als die vierte Entfernung. Das auf den zweiten Punkt fokussierte Licht hat einen Aberrationswert von weniger als 0,04 mal der Wellenlänge des Lichts.

**[0006]** Die US 5,511,140 A beschreibt eine optische Anordnung zum Übertragen von Licht zwischen einem optoelektronischen Wandler und einer optischen Faser unter Verwendung einer dazwischen angeordneten Linse, wobei eine der Faser zugewandte Oberfläche der Linse eine longitudinale sphärische Aberration bewirkt, um Ausrichtungsfehler zu kompensieren.

**[0007]** Die US 6,120,191 A beschreibt ein Laserdiodenmodul, das über eine Linse an eine optische Faser gekoppelt ist. Die Linse fokussiert das von der Diode abgegebene Licht auf das Eingangsende der Faser und umfasst einen sphärischen oder asphärischen Linsenabschnitt sowie Beugungszonen, um Wellenlängenänderungen des von der Laserdiode

ausgegebenen Lichts aufgrund von Temperaturschwankungen und eine damit einhergehende Fokussierung zu vermeiden.

**[0008]** JP 02101405 A beschreibt ein Halbleiterlasermodul bestehend aus einer Laserdiode, einer Linse und einer optischen Faser. Die Linse hat eine große Abberation mit einer Vielzahl von Fokusen entlang der optischen Achse, wobei das Ende der optischen Faser, in das das Licht einzukoppeln ist, mittig innerhalb des Bereichs der Fokusse angeordnet ist.

#### Aufgabenstellung

**[0009]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Koppeln von Licht in eine optische Faser mit verbesserten Charakteristika zu schaffen.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren gemäß Anspruch 14 gelöst.

**[0011]** Gemäß einem Aspekt der Erfindung enthält ein Optikfaserkoppler ein optisches Element oder System, wie z. B. eine Bifokuslinse, die eine optische Leistung über ein Volumen verteilt, anstatt die optische Leistung in eine einzige Bildebene zu fokussieren. Die Leistungsverteilung weist eine Kleinwinkelverteilung auf und ist im Volumen beinahe einheitlich, was eine Bewegung oder Fehlausrichtung der optischen Faser ermöglicht, während nach wie vor eine beständige und geeignete Effizienz zum Koppeln von Laserleistung in die optische Faser beibehalten wird. Dies ermöglicht eine Herstellung von Einmodenfasersendern, ohne daß aufwendige Komponenten oder hochgenaue Ausrichtungsausrüstung erforderlich ist. Im Vergleich zu Stoßkopplungslösungen können die Verteilte-Leistung-Kopplungssysteme sowohl eine höhere Effizienz als auch eine größere Toleranz gegenüber Ausrichtungsfehlern liefern. Im Vergleich zu herkömmlichen optischen Kopplungssystemen, die Linsen verwenden, können die Systeme gemäß der vorliegenden Erfindung Ausrichtungstoleranzen mit einer annehmbaren Reduzierung bei der Kopplungseffizienz im besten Fall stark verbessern.

**[0012]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eine Vorrichtung, die eine Lichtquelle, eine optische Faser und ein optisches System umfaßt, das positioniert ist, um das Bild von der Lichtquelle abzubilden. Die Lichtquelle kann ein Kantenemissionshalbleiterlaser oder eine andere Vorrichtung sein, die eine Großwinkelemissionslichtverteilung liefert. Das optische System reduziert die Winkeldivergenz der Lichtverteilung, aber verteilt das Licht von der Lichtquelle über ein Volumen, anstatt das Licht auf eine einzige Bildebene zu fokussieren.

**[0013]** Ein Beispiel des optischen Systems umfaßt

eine Beugungslinse und weist einen ersten Brennpunkt für eine erste Hälfte von Licht von der Lichtquelle auf, und einen zweiten Brennpunkt für die andere Hälfte des Lichts von der Lichtquelle. Die optische Faser weist eine Eingangsfläche zwischen zwei Bildebenen der Bifokuslinse auf. Die Leistungskopplungseffizienz ist unempfindlich gegenüber Fehlausrichtung, weil die Leistungsdichte in dem Volumen zwischen den beiden Bildebenen beinahe konstant ist. Außerdem reduziert das Bifokus- oder Multifokus-optiksystem die Winkelgröße der Lichtverteilung und liefert dadurch eine annehmbare Kopplungseffizienz, selbst für eine optische Einmodenfaser, die eine geringe numerische Apertur aufweist.

**[0014]** Die Vorrichtung kann eine entspannte Ausrichtungstoleranz für einen einzigen optischen Kanal oder für mehrere optische Kanäle liefern, die in die gleichen Strukturen integriert sind. Folglich liefert ein optischer Mehrkanalsender, dem die Freiheit einer getrennten Ausrichtung für jeden Kanal fehlt, selbst für die Kanäle eine hohe Kopplungseffizienz, die nicht ihre ideale Ausrichtung aufweisen.

**[0015]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Verfahren zum Koppeln von Licht in eine optische Faser. Das Verfahren umfaßt allgemein die Streuung des Lichts über ein Volumen, das in jeder Ausrichtung größer ist als die Ausrichtungsgenauigkeit der optischen Faser. Die Streuung des Lichts kann unter Verwendung eines Bifokusoptikelements durchgeführt werden, das eine beinahe einheitliche optische Bestrahlungsdichte durch jeden Querschnitt des Volumens liefert. Wenn eine Bifokuslinse verwendet wird, erstreckt sich das Volumen zwischen der ersten und der zweiten Bildebene der Bifokuslinse. Die Eingangsfläche der optischen Faser kann irgendwo innerhalb des Volumens platziert werden und kann nach wie vor eine beständige und annehmbare Kopplungseffizienz liefern.

#### Ausführungsbeispiel

**[0016]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0017]** [Fig. 1](#) einen optischen Sender gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, der ein Bifokusbeugungselement verwendet;

**[0018]** [Fig. 2](#) eine perspektivische Ansicht einer Beugungslinse;

**[0019]** [Fig. 3](#) eine perspektivische Ansicht einer Bifokusbeugungslinse gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

**[0020]** [Fig. 4](#) die Beziehung zwischen der Kopp-

lungseffizienz und der Position einer optischen Faser bei einem Ausführungsbeispiel des optischen Senders von [Fig. 1](#):

[0021] [Fig. 5](#) die Beziehung zwischen der Kopplungseffizienz und der Position einer Lichtquelle bei einem Ausführungsbeispiel des optischen Senders von [Fig. 1](#);

[0022] [Fig. 6](#) einen optischen Sender gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung, der ein Hybrid-Beugungs-/Brechungselement verwendet; und

[0023] [Fig. 7](#) einen optischen Mehrkanalsender gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0024] Die Verwendung gleicher Bezugszeichen in unterschiedlichen Figuren zeigt ähnliche oder identische Elemente an.

[0025] Gemäß einem Aspekt der Erfindung weist ein optischer Koppler ein optisches System auf, das Laserlicht in eine Kleinwinkelverteilung umwandelt, die einheitlich durch ein Volumen verteilt wird. Die Abmessungen des Volumens sind bezüglich der Größe der Eingangsfläche einer optischen Faser groß, und jedesmal, wenn sich die Eingangsfläche einer optischen Faser in dem Volumen befindet, ist die Menge der optischen Leistung, die in die optische Faser gekoppelt ist, etwa gleich. Das Volumen kann lateral vergrößert und ausgedehnt werden, um die Toleranz für laterale Bewegung oder Ausrichtungsfehler zu entspannen und/oder axial verlängert werden, um die Toleranz für axiale Bewegung oder Ausrichtungsfehler zu entspannen. Bei einem Ausführungsbeispiel umfaßt das Volumen einen Zylinder mit einem runden Querschnitt, so daß sich die Eingangsfläche der optischen Faser irgendwo innerhalb des Zylinders bewegen kann, ohne die Kopplungseffizienz wesentlich zu ändern.

[0026] Eine Bifokuslinse kann das Licht von einem Laser in eine Verteilung umwandeln, die das gewünschte Bildvolumen aufweist. Eine Bifokuslinse fokussiert vorzugsweise eine Hälfte des einfallenden Lichts auf eine erste Bildebene und die andere Hälfte des einfallenden Lichts auf eine zweite Bildebene. Die Verwendung einer hohen Vergrößerung reduziert die Winkelverteilung des konvergierenden Lichts in den jeweiligen Bildebenen. Im allgemeinen konvergiert die Hälfte des Laserlichts vor der Eingangsfläche der Faser und die verbleibende Hälfte der Laserleistung konvergiert hinter der Eingangsfläche der Faser. Folglich dehnt sich zwischen den Bildebenen die Hälfte des Laserlichts von der vorderen Bildebene aus und wird daher dunkler, und die andere Hälfte des Laserlichts konvergiert zu der zweiten Bildebene und wird daher heller. Der Nettoeffekt ist eine einheitliche oder beständige Leistungskopplung in die optische Faser an allen Positionen in einem zylindri-

schen Volumen zwischen den Bildebenen. Die numerischen Aperturen der Strahlen und die Trennung der Brennpunkte der Fokuslinse steuern den Durchmesser, die Länge und die Leistungsdichte des zylindrischen Volumens.

[0027] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm eines optischen Kopplers **100** gemäß einem beispielhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung. Der optische Koppler **100** umfaßt eine Lichtquelle **110**, ein Linsenelement **120** und eine optische Faser **130**. Der optische Koppler **100** umfaßt auch das Befestigen oder Verpacken von Strukturen (nicht gezeigt), wie sie für herkömmliche optische Sender verwendet werden. Die Befestigung hält die Lichtquelle **110**, das Linsenelement **120** und die optische Faser **130** in den richtigen Ausrichtungen und Positionen, wie sie nachfolgend näher beschrieben werden.

[0028] Beispiele einiger bekannter Befestigungs- oder Verpackungsstrukturen, die für einen optischen Koppler geeignet sind, sind offenbart in dem U.S.-Patent Nr. 6,112,002 mit dem Titel „Optical Coupler Optically Coupling a Light Beam of a Semiconductor Laser Source with a Single Mode Optical Waveguide or Fiber“, dem U.S.-Patent Nr. 6,112,001 mit dem Titel „Optical Coupler and Method of Producing It“ und dem U.S.-Patent Nr. 5,680,493 mit dem Titel „Optical Coupler“. Die speziellen Strukturen, die der optische Koppler **100** zum Halten der Lichtquelle **110**, des Linsenelements **120** und der optischen Faser **130** verwendet, sind für die vorliegende Erfindung nicht wesentlich, insbesondere weil Ausführungsbeispiele der Erfindung Ausrichtungstoleranzen entspannen und die Verwendung von Befestigungs- oder Verpackungssystemen ermöglichen, die eventuell nicht die Stabilität oder Präzision liefern, die für einige herkömmliche optische Koppler oder Sender erforderlich ist.

[0029] Die Lichtquelle **110** ist typischerweise eine Vorrichtung, wie z. B. ein Kantenemissionshalbleiterlaser, der eine relative Großwinkelverteilung für emittiertes Licht aufweisen kann, aber andere lichtemittierende Vorrichtungen, wie z. B. ein Vertikalhohlräumerflächenemissionsslaser (VCSEL; VCSEL = vertical cavity surface emitting laser) oder eine lichtemittierende Diode (LED), könnten ebenfalls verwendet werden. Alternativ kann die Lichtquelle **110** eine optische Faser oder einen Wellenleiter (nicht gezeigt) umfassen, der Licht von einem entfernten Laser oder einer anderen Lichtquelle liefert.

[0030] Das Linsenelement **120** in [Fig. 1](#) ist eine Beugungsbifokuslinse. Herstellungstechniken und Strukturen für ein Beugungslinsenelement mit einem einzigen Brennpunkt sind gut bekannt und können auch für die Bifokusbeugungslinse **120** verwendet werden. Die Beugungslinse **120**, wie sie in [Fig. 1](#) dargestellt ist, weist eine Oberfläche auf, die konturiert

und strukturiert ist, wie es erforderlich ist, um eine Bifokuslinse zu erzeugen. Beugungslinsen können alternativ auf gegenüberliegenden Oberflächen konturiert sein oder durch Bilden einer lichtundurchlässigen Struktur aufgebaut werden, die Aperturen aufweist, die wirken, einfallendes Licht auf die gewünschten Bildebenen zu beugen. Weitere Strukturen für Beugungslinsen umfassen, sind aber nicht beschränkt auf, räumliche Lichtmodulatoren mit einer elektrisch programmierbaren Struktur, ein Substrat, das dotiert ist, um eine abgestufte bzw. Gradienten-Indexstruktur aufzuweisen, oder eine Struktur mit einer Kombination aus beugenden und brechenden Merkmalen.

[0031] [Fig. 2](#) zeigt die Oberflächenkonturen einer herkömmlichen Beugungslinse **200** mit einer einzigen Brennweite  $f_1$  für monochromatisches Licht. Insbesondere weist die Beugungslinse **200** Stege **210** auf, mit Beabstandungen und Formen, die ausgewählt sind, so daß die Beugung von monochromatischem Licht, das parallel zu der Beugungslinse **200** einfällt, einen Bruchteil des einfallenden Lichts bei der Brennweite  $f_1$  der Beugungslinse **200** fokussiert. Die Höhen und Formen der Stege **210** können im allgemeinen eingestellt werden, um den Prozentsatz des einfallenden Lichts, das bei der Brennweite  $f_1$  fokussiert wird, und den Prozentsatz des Lichts, das durch die Beugungslinse **200** transmittiert wird, ohne fokussiert zu werden, auszuwählen.

[0032] [Fig. 3](#) stellt die Oberflächenkonturen einer Bifokusbeugungslinse **300** dar, die eine Oberfläche mit Stegen **310** aufweist, die zwei Brennweiten  $f_1$  und  $f_2$  aufweisen. Ein Entwurfsprozeß für eine Bifokusbeugungslinse **300** kann mit dem Bestimmen der ersten Phasenfunktion beginnen, die eine Oberflächenkontur für eine herkömmliche Beugungslinse **200** mit einer Brennweite  $f_1$  definiert. Jede herkömmliche Technik für den Entwurf einer Beugungslinse kann verwendet werden. Insbesondere kann handelsübliche Software, wie z. B. GLAD von Applied Optics Research Inc. oder DIFFRACT von MM Research Inc. die Phasenfunktionen von Beugungselementen analysieren. Eine zweite Phasenfunktion wird gleichartig dazu erzeugt, wobei die zweite Phasenfunktion derart ist, daß, falls die zweite Phasenfunktion mit der ersten Phasenfunktion zusammen multiplexiert wird, die Kombination eine Beugungslinse liefern würde, die die zweite Brennweite  $f_2$  aufweist. Die zweite Phasenfunktion wird dann skaliert, um eine teilweise effiziente Beugungslinse zu liefern, die einen Prozentsatz (z. B. 50 %) des einfallenden Lichts fokussiert, aber den Rest (z. B. 50 %) des einfallenden Lichts ungestört läßt. Die erste Phasenfunktion und die skalierte zweite Phasenfunktion werden zusammen multiplexiert, um einen endgültigen Bifokuslinsenentwurf zu bilden.

[0033] Herkömmliche photolithographische Ätz-

techniken können ein Substrat ätzen, um die gewünschten Oberflächenkonturen, die eine Bifokusbeugungslinse bilden, zu bilden oder zu nähern. Bei einem beispielhaften Ausführungsbeispiel des optischen Kopplers **100** von [Fig. 1](#) erzeugt eine Lichtquelle **110** Licht mit einer Wellenlänge von etwa 1.310 nm, und das Linsenelement **120** ist aus Silizium gebildet, das für 1.310-nm-Licht durchlässig ist. Verfahren zum genauen Ätzen von Siliziumsubstraten sind auf dem Gebiet der integrierten Schaltungsherstellung gut bekannt und können geneigte Konturen unter Verwendung von Stufenschrittpegeln nähern, falls dies notwendig ist.

[0034] [Fig. 4](#) stellt die Leistungsverteilung und die Kopplungseffizienz des optischen Kopplers **100** von [Fig. 1](#) als eine Funktion eines Axialabstandes  $DF$  zwischen der optischen Faser **130** und der Biofokuslinse **120** dar. Bei dem beispielhaften Ausführungsbeispiel weist die Biofokuslinse **120** eine erste Brennweite  $f_1$  von etwa 700 µm und eine zweite Brennweite  $f_2$  von 1.400 µm auf. Die Lichtquelle **110** ist bei einem Objektabstand  $D_0$  von etwa 200 µm bezüglich der Biofokuslinse **120**. Diese Konfiguration erreicht eine durchschnittliche Vergrößerung von etwa 5× und eine entsprechende Verringerung bei der Winkelverteilung des Lichts an beiden Bildebenen.

[0035] Das Volumen **150** in [Fig. 4](#) stellt einen Bereich von Positionen dar, an denen die Eingangsfläche der optischen Faser **130** plaziert werden kann, ohne eine unannehbare Schwankung bei der Kopplungseffizienz zu bewirken. In dem Volumen **150** variiert die optische Leistungsverteilung **410** zwischen scharf fokussiert an den Positionen  $DI_1$  und  $DI_2$  der Vorder- und Rückbildebene, zu breiter verteilt zwischen der Vorder- und Rückbildebene. Die Leistungsverteilungen **410** in [Fig. 4](#) stellen Querschnittsbereiche dar, die eine optische Bestrahlungsdichte über einem Schwellenwertpegel enthalten, der zumindest die minimale gewünschte Leistungskopplung in die optische Fase **130** liefert. Die Beugungslinse **120** filtert oder entfernt vorteilhafterweise die elliptische Asymmetrie von der Lichtverteilung, so daß die Leistungsverteilungen **410** weniger elliptisch sind als die ursprüngliche Lichtverteilung von der Lichtquelle **110**. Die Beugungslinse **120** reduziert somit Kopplungseffizienzvariationen weiter, die durch Lichtquellen bewirkt werden, wie z. B. Kantenemissionshalbleiterlaser, die dazu neigen, elliptische Lichtverteilungen zu erzeugen.

[0036] Die dargestellten Durchmesser der Verteilungen **410** entlang der optischen Achse zeigen die Tolleranzen für eine laterale (oder Außerachsen-) Fehlausrichtung oder Bewegung der optischen Faser **130** an. Die Fehlerbalken **422** in dem Diagramm **420** stellen ferner den Effekt dar, den eine laterale Verschiebung von ±5 µm auf die Kopplungseffizienz hat, wenn sich die optische Faser **130** an unterschiedli-

chen axialen Positionen befindet. Bei dem beispielhaften Ausführungsbeispiel weist die Lichtverteilung **410** eine langsam variiierende Intensität über einen Durchmesser von zumindest 25 µm für axiale Positionen in einem Bereich **425** zwischen den Brennpunkten auf.

**[0037]** Das Diagramm **420** zeigt, daß die Kopplungseffizienz durch weniger als etwa zwei Dezibel schwankt, wenn sich die axiale Position der Eingangsfläche der optischen Faser **130** auf der optischen Achse und innerhalb des Bereichs befindet. Die nominale Kopplungseffizienz in dem Bereich **425** ist etwa 17 %, was eine Verbesserung gegenüber der weniger als 10 % Kopplungseffizienz ist, die unter Verwendung herkömmlicher Stoßkopplungstechniken erreicht werden konnte. Die Kopplungseffizienz des optischen Kopplers **100** in dem beispielhaften Ausführungsbeispiel ist geringer als die beinahe 100 % Spitzenkopplungseffizienz, die theoretisch mit einer Linse erreichbar ist, die Licht scharf auf die Eingangsfläche einer optischen Faser fokussiert. Mit einem einzigen scharfen Fokus kann jedoch eine Fehlausrichtung oder Verschiebung der optischen Faser um 5 µm einen wesentlichen Abfall (z. B. -7 dB) bei der Kopplungseffizienz bewirken. Im Gegensatz dazu ist die Ausrichtungstoleranz für die optische Faser **130** bezüglich der Biofokuslinse **120** sehr viel höher als bei einem herkömmlichen optischen Koppler erlaubt wäre. Bei dem beispielhaften Ausführungsbeispiel verringert eine Fehlausrichtung oder Verschiebung der optischen Faser **130** um 5 µm die Kopplungseffizienz um nur etwa -0,7 dB.

**[0038]** [Fig. 5](#) zeigt, wie die Fehlausrichtung der Lichtquelle **110** die Kopplungseffizienz bei dem beispielhaften Ausführungsbeispiel des optischen Kopplers **100** von [Fig. 1](#) ändert. In [Fig. 1](#) zeigt ein Diagramm **510** die Abhängigkeit der Kopplungseffizienz von der axialen Fehlausrichtung der Lichtquelle **110** an, und Fehlerbalken **520** zeigen die Änderung bei der Kopplungseffizienz an, die laterale Fehlausrichtungen 5 µm der Faser **130** für jeweilige axiale Positionen der Lichtquelle **110** bewirken.

**[0039]** Eine Verschiebung oder Fehlausrichtung bei der Position der Lichtquelle **110** bewirkt im allgemeinen eine vergrößerte Verschiebung bei der Position des Volumens **150**, abhängig von der Vergrößerung bei dem optischen Koppler **100**. Für eine 5x Vergrößerung verschiebt eine laterale Verschiebung oder Fehlausrichtung der Lichtquelle **110** um einen Abstand Y bezüglich der optischen Achse das Volumen **150** lateral um einen Abstand von etwa 5Y, und eine axiale Verschiebung oder Fehlausrichtung der Lichtquelle **110** durch einen Abstand Z verschiebt das Volumen **150** axial um einen Abstand von etwa 25Z. Selbst mit dieser Vergrößerung ist die Länge des Volumens **150** derart, daß eine axiale Fehlausrichtung der Lichtquelle **110** um bis zu 5 µm die Kopplungsef-

fizienz um weniger als etwa 0,7 dB ändert. Ein aktiver Ausrichtungsprozeß, der die optische Faser **130** mit der Position der Lichtquelle **110** lateral ausrichtet, kann den Effekt der lateralen Position der Lichtquelle **110** entfernen, so daß Schwankungen bei der Kopplungseffizienz aufgrund der lateralen Fehlausrichtung durch die laterale Ausrichtungsgenauigkeit der optischen Faser **130** beschränkt sind. Folglich sind selbst mit einem aktiven lateralen Ausrichtungsprozeß, der nur auf ±5 µm genau ist, Schwankungen bei der Kopplungseffizienz geringer als etwa 0,7 dB.

**[0040]** Die entspannten Toleranzen für eine Fehlausrichtung ermöglichen die Herstellung des optischen Kopplers **100** unter Verwendung eines einfachen Hochvolumenprozesses. Insbesondere können die Lichtquelle **110**, das Linsenelement **120** und das optische Element **130** unter Verwendung von Ausrichtungsmarkierungen oder anderen sichtbaren Zeichen für eine Steuerung der relativen Plazierung der Elemente **110**, **120** und **130** mechanisch ausgerichtet werden. Nach der mechanischen Ausrichtung aktiviert ein aktiver Feinabstimmungsprozeß die Lichtquelle **110** und richtet die optische Faser **130** lateral aus, auf der Basis der beobachteten optischen Leistung, die auf der optischen Faser **130** übertragen wird. Die aktive Ausrichtung muß bei dem beispielhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung nur innerhalb ±5 µm liegen, statt innerhalb ±1 µm, was für die Ausrichtung von herkömmlichen optischen Kopplern für optische Einmodenfasern erforderlich sein kann. Ferner kann sich die axiale Ausrichtung der optischen Faser **130** allein auf visuelle oder mechanische Ausrichtungstechniken verlassen, ohne daß ein zeitraubender aktiver Prozeß erforderlich ist, der die optische Bestrahlungsdichte mißt, die in die optische Faser gekoppelt wird, und dann die axiale Position der optischen Faser gemäß den Messungen einstellt.

**[0041]** Das in [Fig. 1](#) gezeigte beispielhafte Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet ein Beugungsbifokuselement **120** zum Erzeugen des gewünschten Volumens **150**, das eine verengte Winkelverteilung, eine einheitliche Leistungskopplung in die optische Faser **130**, und entspannte Toleranzen für eine Fehlausrichtung liefert. Andere optische Elemente können gleichzeitig dazu das Licht von einer Lichtquelle streuen und ähnliche Entspannungen der Fehlausrichtungstoleranzen liefern. Beispielsweise kann eine Brechungsbifokus- oder Multifokuslinse auch in der Lage sein, die optische Bestrahlungsdichte von der Lichtquelle **110** einheitlich zu streuen. Eine Brechungslinse könnte beispielsweise eine runde Linse umfassen, die durch mehrere ringförmige Linsen mit Brennweiten umgeben ist, die von einer ringförmigen Linse zu der nächsten variieren. Alternativ könnte eine Brechungslinse obere und untere halbe Linsen oder einen Satz von Tortenstücklinsenabschnitten umfassen. Eine Störung zwischen kohärentem Licht von unterschiedlichen Linsenabschnitten

muß jedoch berücksichtigt werden, um Störungseffekte zu vermeiden, die unannehbare Schwankungen (d. h. bestimmte Störungsmaxima oder -minima) in dem Volumen erzeugen, das die Toleranz für die Fehlausrichtung definiert. Außerdem muß darauf geachtet werden, daß die Kopplungseffizienz nicht von Schwankungen bei der Größe oder Form der Lichtstruktur von der Lichtquelle **110** abhängig ist. Beugungslinsen haben die wünschenswerte Eigenschaft der gleichmäßigen Streuung allen einfallenden Lichts statt unterschiedlichen Fokussen für unterschiedliche Linsenabschnitte oder Bereiche.

**[0042]** [Fig. 6](#) stellt einen optischen Koppler **600** dar, der ein Hybrid-Beugungs-/Brechungselement **620** aufweist. Das Hybrid-Beugungs-/Brechungselement **620** streut das Licht von der Lichtquelle **110** über das Volumen **150**, um die Ausrichtungstoleranz für die optische Faser **130** auszudehnen, wie es oben beschrieben ist. Bei einem Ausführungsbeispiel weist die Hybrid-Beugungs-/Brechungslinse **620** zumindest eine Oberfläche mit einer Krümmung **622** für eine Brennweite auf, z. B. f2. Ferner sind Beugungsmerkmale **624** einer teilweise effizienten Beugungslinse auf einer oder beiden Oberflächen der Hybrid-Beugungs-/Brechungslinse **620** überlagert, so daß die Kombination zwei Brennweiten f1 und f2 für getrennte Bruchteile des einfallenden Lichts liefert. In [Fig. 6](#) sind die Beugungsmerkmale **624** auf der Krümmung **626**, aber viele alternative Konfigurationen sind möglich. Beispielsweise könnten die Beugungs- und Brechungsoberflächen einander gegenüber liegen, oder ein Beugungselement und ein Brechungselement, die getrennte Elemente sind, können zusammen eine Hybrid-Beugungs-/Brechungsbifokuslinse bilden.

**[0043]** Die Prinzipien der vorliegenden Erfindung, wie z. B. diejenigen, die bei dem optischen Einzelkanalkoppler **100** oder **600** dargestellt sind, sind auch von Vorteil für optische Mehrkanalsender und -kompiler. [Fig. 7](#) zeigt einen optischen Mehrkanalsender **700** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Der optische Sender **700** umfaßt ein integriertes Array **710**, das mehrere Kantenemissionshalbleiterlaser **715** auf einem monolithischen Chip umfaßt, einen optischen Chip **720**, der mehrere Bifokusbeugungslinsen **725** umfaßt, und eine Faseranordnung **730**, die mehrere optische Fasern **735** umfaßt. Halbleiterverarbeitungstechniken, die bei der Herstellung des integrierten Arrays **710** und des optischen Chips **720** verwendet werden, steuern die relativen Positionen oder den Abstand des Lasers **715** in dem integrierten Array **710** und der Bifokusbeugungslinsen **725** in dem optischen Chip **720** genau. Alternativ können die entspannten Ausrichtungstoleranzen einen Zusammenbau einzelner Chips (statt mehrere Komponenten auf einem monolithischen Chip zu haben) ermöglichen, um einen Mehrkanalsender zu bilden. Eine typische Struktur für eine Faseranordnung **730**

befestigt optische Fasern **735** in V-Rillen, die in einem Substrat gebildet werden können, mit genau gesteuerten Abständen unter Verwendung von photolithographischer Strukturierung und Ätzen oder Präzisionsbearbeitung.

**[0044]** Die Integration mehrerer Laser **715**, Linsen **725** und optischer Fasern **735** in optischen Mehrkanalsendern **700** erhöht Fehlausrichtungen aufgrund der Ausrichtung der Komponenten **710**, **720** und **730** und liefert höchstens eine durchschnittliche Ausrichtung für die Kanäle, und jeder Kanal umfaßt einen Laser **715**, eine Beugungsbifokuslinse **725** und eine optische Faser **735**, die eventuell nicht optimal ausgerichtet sind. Gemäß einem Aspekt der Erfindung ermöglicht es die Bifokuslinse **720**, die die Ausrichtungstoleranzen entspannt, jedem Kanal, eine beständige Leistungskopplung zu liefern, auch wenn die durchschnittliche Ausrichtung für einen oder mehrere der Kanäle nicht optimal sein kann.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung, die folgende Merkmale umfaßt:  
eine Lichtquelle (**110**);  
eine optische Faser (**130**) mit einer Fläche, die den Eintritt von Licht von der Lichtquelle in die optische Faser (**130**) erlaubt; und  
ein optisches System (**120**), das positioniert ist, um das Licht zu formen, wobei das optische System (**120**) eine erste Hälfte des Lichts auf eine erste Ebene fokussiert, die vor der Fläche der optischen Faser (**130**) ist, und eine zweite Hälfte des Lichts auf eine zweite Ebene fokussiert, die hinter der Fläche der optischen Faser (**130**) liegt.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, bei der das optische System (**120**) eine Multifokuslinse (**200**) umfaßt, die einen ersten Brennpunkt für die erste Hälfte des Lichts von der Lichtquelle (**110**) und einen zweiten Brennpunkt für die zweite Hälfte des Lichts von der Lichtquelle (**110**) umfaßt.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, bei der die Multifokuslinse eine Beugungslinse umfaßt.
4. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der das optische System (**120**) eine Beugungslinse (**300**) umfaßt.
5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der das optische System (**120**) eine Hybrid-Beugungs-/Brechungslinse (**620**) umfaßt.
6. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der die Lichtquelle (**110**) einen Kantenemissionshalbleiterlaser umfaßt.
7. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der die optische Faser (**130**) eine optische Ein-

modenfaser ist.

8. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, die ferner folgende Merkmale umfaßt:  
eine zweite Lichtquelle (**715**);  
eine zweite optische Faser (**735**), die eine Fläche aufweist, die den Eintritt von Licht von der zweiten Lichtquelle (**715**) in die zweite optische Faser (**735**) erlaubt; und  
ein zweites optisches System (**725**), das positioniert ist, um das Licht von der zweiten Lichtquelle (**715**) zu formen,  
wobei das optische System (**725**) für ein zweites Volumen, das die Fläche der zweiten optischen Faser (**735**) enthält, das Licht gleichmäßig über das zweite Volumen ausbreitet.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, bei der die Lichtquellen auf einem einzigen Chip integriert sind.

10. Vorrichtung gemäß Anspruch 9, bei der die optischen Systeme (**120**) ein Substrat umfassen, das eine erste Bifokuslinse und eine zweite Bifokuslinse aufweist.

11. Vorrichtung gemäß Anspruch 10, bei der die erste und die zweite Bifokuslinse Beugungslinsen umfassen.

12. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, bei der das optische System (**120**) eine Bifokuslinse umfaßt.

13. Vorrichtung gemäß Anspruch 12, bei der die Bifokuslinse eine Beugungslinse umfaßt.

14. Verfahren zum Koppeln von Licht in eine optische Faser, das folgende Schritte umfaßt:  
Fokussieren einer ersten Hälfte des zu koppelnden Lichtes auf eine erste Ebene;  
Fokussieren einer zweiten Hälfte des zu koppelnden Lichtes auf eine zweite Ebene; und  
Plazieren einer Eingangsfläche der optischen Faser (**130**) zwischen der ersten Ebene und der zweiten Ebene.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem das Fokussieren des Lichts das Richten des Lichts durch eine Bifokuslinse (**300, 620**) umfaßt.

16. Verfahren gemäß Anspruch 15, bei dem die Bifokuslinse (**300**) eine Beugungslinse umfaßt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

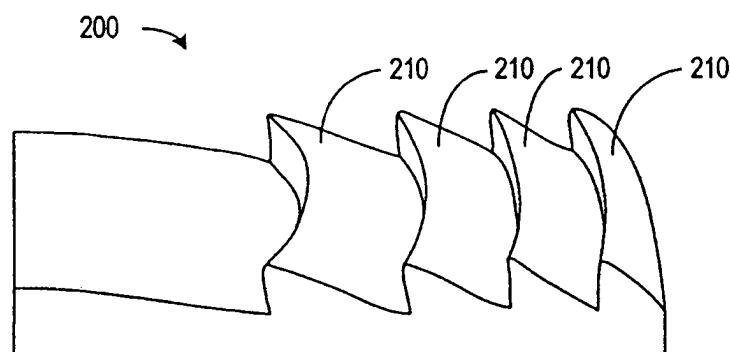
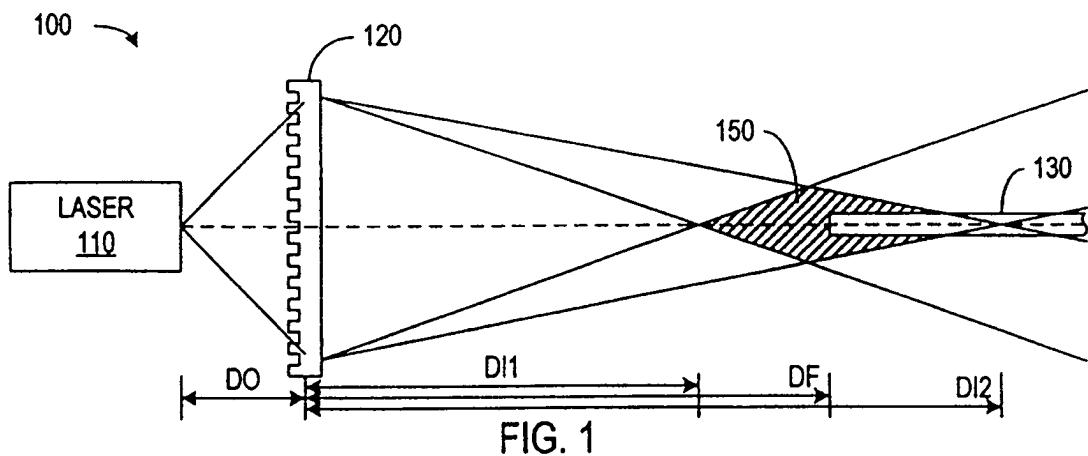


FIG. 2

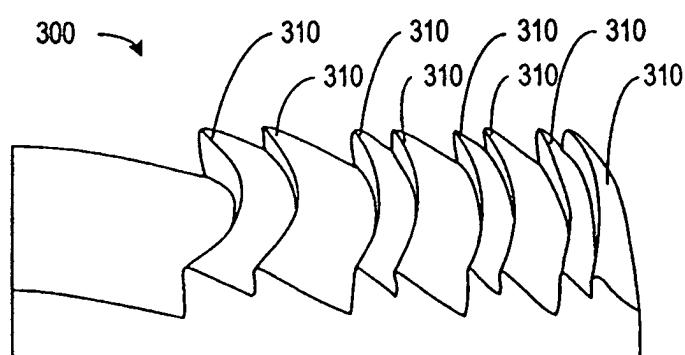


FIG. 3

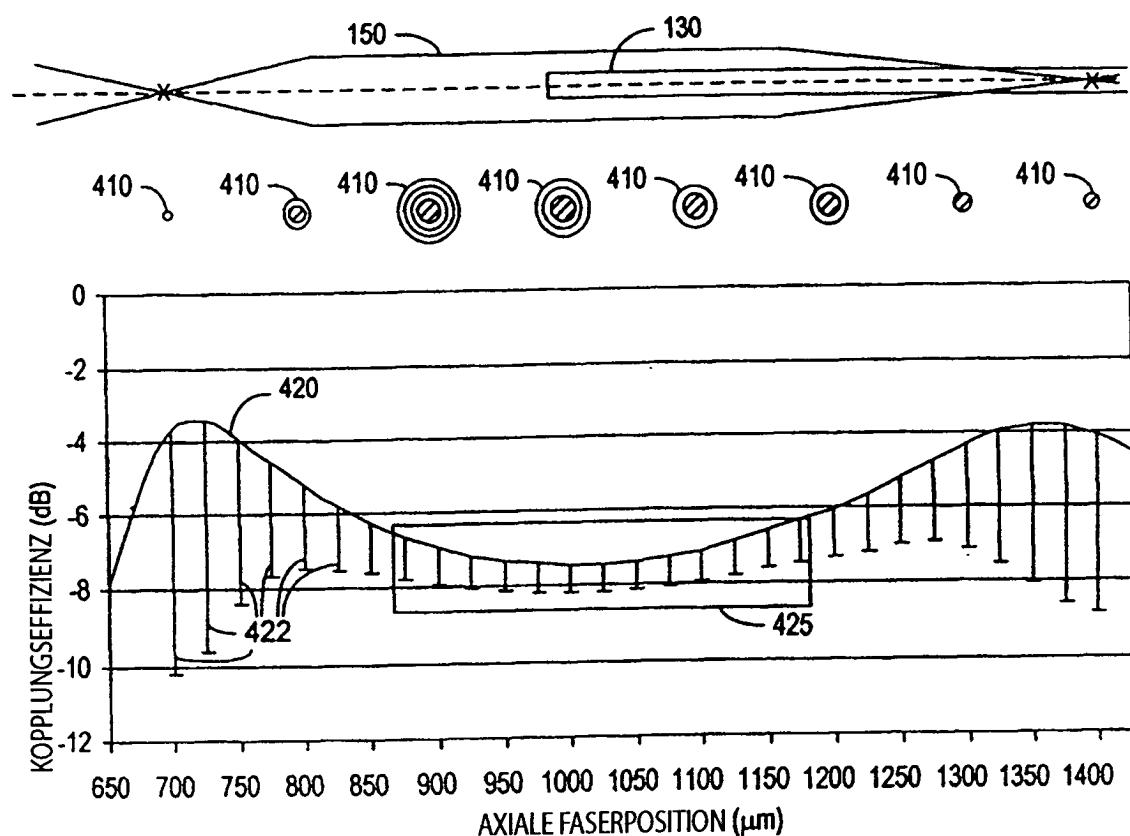


FIG. 4

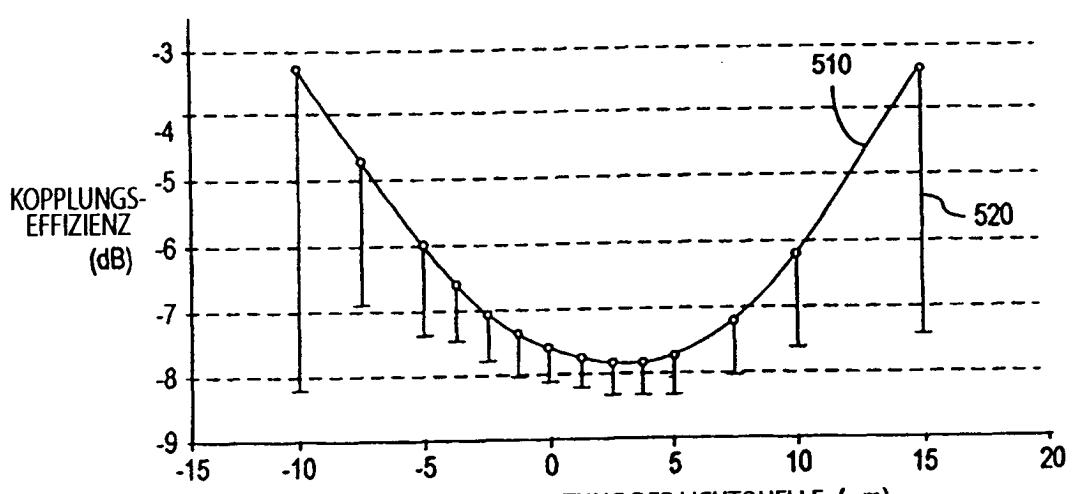


FIG. 5

