



(10) **DE 11 2015 005 587 B4** 2021.10.21

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2015 005 587.8**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2015/064891**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2016/094609**  
(86) PCT-Anmeldetag: **10.12.2015**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **16.06.2016**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **19.10.2017**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **21.10.2021**

(51) Int Cl.: **H01S 3/10 (2006.01)**  
**G02B 1/10 (2015.01)**  
**G02B 27/30 (2006.01)**  
**H01S 3/0941 (2006.01)**  
**G02B 27/09 (2006.01)**  
**G02B 27/10 (2006.01)**  
**H01S 5/14 (2006.01)**

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**62/089,839**                      **10.12.2014**      **US**

(73) Patentinhaber:  
**Teradiode, Inc., Wilmington, Mass., US**

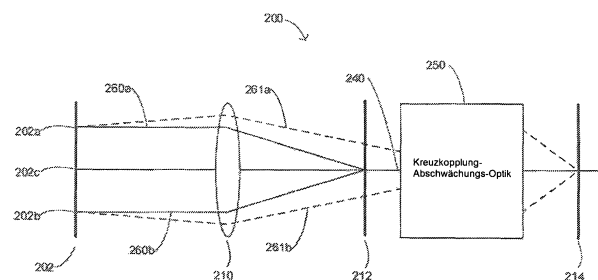
(74) Vertreter:  
**Maiwald Patentanwalts- und  
Rechtsanwalts-gesellschaft mbH, 80335 München,  
DE**

(72) Erfinder:  
**Chann, Bien, Merrimack, N.H., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US**                                      **6 665 471**      **B1**  
**US**                                      **2013 / 0 208 361**      **A1**

(54) Bezeichnung: **OPTISCHE KREUZKOPPLUNG-ABSCHWÄCHUNGSSYSTEME FÜR WELLENLÄNGE-STRAHL-KOMBINIERENDE LASERSYSTEME**

(57) Hauptanspruch: Lasersystem, umfassend:  
eine Anordnung von Strahl-Sendern (102), die jeweils einen Strahl senden;  
Abbildungsoptik (110) zum Fokussieren der Strahlen auf ein streuendes bzw. dispersives Element (112);  
ein streuendes bzw. dispersives Element (112) zum Empfangen und Streuen der fokussierten Strahlen, wodurch ein Multiwellenlängenstrahl gebildet wird; und  
eine optische Faser zum Empfangen des Multiwellenlängenstrahls, wobei die optische Faser umfasst (i) einen Kern (650) zum Empfangen des Multiwellenlängenstrahls, der einen ersten Bereich davon zurück auf das streuende bzw. dispersive Element (112) reflektiert und einen zweiten Bereich davon als einen aus vielen Wellenlängen zusammengesetzten Ausgabestrahle sendet, wobei der Kern (650) eine teilweise reflektierende Oberfläche aufweist, und (ii) umgebend den Kern, einen Mantel (640), der ein Reflexionsvermögen für den Multiwellenlängenstrahl von weniger als 1% aufweist, wobei das streuende bzw. dispersive Element (112) ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus einem Beugungsgitter, einem streuenden Prisma, einem Grisma (Prisma/Gitter), einem Übertragungsgitter oder einem Echelle-Gitter.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** In verschiedenen Ausführungsformen betrifft die vorliegende Erfindung Lasersysteme, insbesondere Wellenlänge-Strahl-kombinierende Lasersysteme, die Systeme zur abschwächenden optischen Kreuzkopplung zwischen Strahl-Sendern einbeziehen.

### Hintergrund

**[0002]** Hochleistungs-Lasersysteme werden für eine Vielfalt von unterschiedlichen Anwendungen, wie Schweißen, Schneiden, Bohren und Verarbeitung von Materialien, genutzt. Solche Lasersysteme umfassen im Allgemeinen einen Laser-Sender bzw. Laser-Emitter, der Laserlicht daraus in eine optische Faser (oder einfach eine „Faser“) koppelt, und ein optisches System, das das Laserlicht der Faser auf das zu verarbeitende Werkstück fokussiert. Das optische System ist im Allgemeinen konzipiert, um einen Laserstrahl mit der höchsten Qualität oder gleichwertig den Strahl mit dem niedrigsten Strahl-Parameter-Produkt (BPP) zu erzeugen. Das BPP ist das Produkt des Laserstrahl-Divergenzwinkels (Halb-Winkel) und der Radius des Strahls bei seinem engsten Punkt (d.h. die Strahleinschnürung, die minimale Fleckgröße). Das BPP quantifiziert die Qualität des Laserstrahls und wie gut er zu einem kleinen Fleck fokussiert werden kann und wird im Allgemeinen in Einheiten von Millimeter-Milliradians (mm-mrad) ausgedrückt. Ein Gaußscher Strahl hat das geringste mögliche BPP, angegeben durch die Wellenlänge des Laserlichts geteilt durch  $\pi$ . Das Verhältnis des BPP von einem tatsächlichen Strahl zu jenem von einem idealen Gaußschen Strahl bei der gleichen Wellenlänge wird  $M^2$  bezeichnet, oder der „Strahl-Qualitätsfaktor“, der ein Wellenlänge-unabhängiges Maß der Strahlqualität ist, wobei die „beste“ Qualität dem „niedrigsten“ Strahl-Qualitätsfaktor von 1 entspricht.

**[0003]** Wellenlänge-Strahl-Kombinieren (WBC) ist eine Technik zum Skalieren der Ausgangsleistung und Helligkeit von Laserdiodenbarren, Stapeln von Diodenbarren oder anderen Lasern, angeordnet in einer ein- oder zwei-dimensionalen Anordnung bzw. Array. WBC-Verfahren wurden konzipiert, um Strahlen zusammen mit einer oder beiden Dimensionen einer Anordnung von Sendern zu kombinieren. Typische WBC-Systeme schließen eine Vielfalt von Sendern, wie einen oder mehrere Diodenbarren, ein, die unter Verwendung eines streuenden bzw. dispersiven Elements kombiniert werden, um einen Multiwellenlängenstrahl zu bilden. Jeder Sender in dem WBC-System schwingt individuell mit und wird durch Wellenlänge-spezifische Rückkopplung von einem üblichen teilweise reflektierten Ausgangskoppler stabilisiert, der durch

das streuende bzw. dispersive Element entlang einer Strahl-kombinierenden Abmessung gefiltert wird. Beispielhafte WBC-Systeme werden im Einzelnen in US 6 192 062 B1, US 6 208 679 B1, US 8 670 180 B2 und US 8 559 107 B2 angegeben, wobei die gesamte Offenbarung von jedem hierin durch diesen Hinweis einbezogen ist. In der US 6,665,471 B1 und der US 2013/0208361 A1 werden ein Wellenlängenstrahl-Kombinationssystem mit mehreren Emittlern, wie beispielsweise Diodenelementen, unter Verwendung eines dispersiven Elements kombiniert, um einen Mehrfachwellenlängenstrahl zu bilden.

**[0004]** Eine Vielfalt von WBC-Techniken wurde genutzt, um Hoch-Leistungs-Laser für viele unterschiedliche Anwendungen zu bilden. Jedoch kann optische Kreuzkopplung zwischen Strahl-Sendern übliche WBC-Systeme mit sub-optimaler Helligkeit ergeben. Somit gibt es einen Bedarf für Kreuzkopplungs-Abschwächungs-Anordnungen für WBC-Lasersysteme.

### Kurzdarstellung

**[0005]** Gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kennzeichnen Wellenlänge-Strahl-Kombinierungs- (WBC) Lasersysteme Mehrfach-Sender (oder „Strahl-Sender“), z.B. Diodenbarren oder die Einzel-Dioden-Sender von einem Diodenbarren, die kombiniert werden, um einen Multiwellenlängenstrahl zu bilden. Jeder Sender in dem Lasersystem schwingt einzeln mit und wird über Wellenlänge-spezifische Rückkopplung von einem üblichen teilweise reflektierten Ausgangskoppler stabilisiert, der durch ein streuendes bzw. dispersives Element (z.B. ein Beugungsgitter, ein streuendes Prisma, ein Grisma (Prisma/Gitter), ein Übertragungsgitter oder ein Echelle-Gitter) entlang einer Strahl-kombinierenden Abmessung gefiltert wird. Vorteilhafterweise wird die Übersprechdämpfung zwischen Rückkopplungsstrahlen unter Verwendung eines nicht-Schlitz-basierenden Kreuzkopplungsabschwächenden optischen Systems abgeschwächt. In verschiedenen Ausführungsformen ist das Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem oder mindestens ein Bereich davon in dem Rayleigh-Bereich des durch das streuende bzw. dispersive Element übertragenen Multiwellenlängenstrahls positioniert und der Ausgangskoppler ist in dem Rayleigh-Bereich des durch das Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem (oder mindestens einen Bereich davon) übertragenen Multiwellenlängenstrahls positioniert. In dieser Weise erzeugen Lasersysteme gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Multiwellenlängen-Ausgabestrahlen mit hoher Helligkeit und hoher Stärke.

**[0006]** In verschiedenen Ausführungsformen umfasst das Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem erste und zweite optische Elemente (z.B. Linsen) oder besteht im Wesentlichen daraus und die foka-

le Länge des ersten optischen Elements ist größer (oder auch im Wesentlichen größer) als die fokale Länge des zweiten optischen Elements. In solchen Ausführungsformen kann das erste optische Element in dem Rayleigh-Bereich des durch das streuende bzw. dispersive Element übertragenen Multiwellenlängenstrahls positioniert werden und der Ausgangskoppler kann in dem Rayleigh-Bereich des durch das zweite optische Element übertragenen Multiwellenlängenstrahls positioniert werden.

**[0007]** In verschiedenen Ausführungsformen wird die optische Kreuzkopplung auch vermindert oder im Wesentlichen beseitigt über die Verwendung von konzipierten Ausgangskopplern, die Rückstrahlung von Streu-Wellenlängen minimieren, welche zu den einzelnen Strahl-Sendern zurück reflektieren könnten. Solche Ausgangskoppler können mit oder ohne andere hierin beschriebene Kreuzkopplung-Abschwächungssysteme angewendet werden. In verschiedenen Ausführungsformen bauen die teilweise reflektierenden Ausgangskoppler eine Anti-Reflexions-Beschichtung auf ihrer Oberfläche in Regionen, anders als ein teilweise reflektierender Bereich, ausgelegt und positioniert, um nur den Multiwellenlängenstrahl abzufangen, ein. Der teilweise reflektierende Bereich kann aus dem verbleibenden Bereich des Ausgangskopplers herausragen oder der teilweise reflektierende Bereich kann mit dem verbleibenden Bereich im Wesentlichen coplanar sein.

**[0008]** In verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung kann der Ausgangskoppler eine optische Faser, deren Kern bemessen und positioniert ist, um nur den Multiwellenlängenstrahl abzufangen, einschließen oder im Wesentlichen daraus bestehen. Die Oberfläche des Kerns kann teilweise reflektierend sein und/oder der Kern kann darin ein Faser-Bragg-Gitter einschließen, um die eine Rückkopplung ermöglichende Reflexion des Strahls bereitzustellen. Der Mantel der optischen Faser kann mit einer Anti-Reflexions-Beschichtung beschichtet werden, um Streu-Reflexion und optische Kreuzkopplung, die sich daraus ergibt, zu verhindern. Eine Abschlusskappe kann über der optischen Faser z.B. zum Umweltschutz vorliegen und/oder um die Stromdichte an dem Ende der Faser zu vermindern. In verschiedenen Ausführungsformen kann die optische Faser einen Modenabstreifer beinhalten und/oder in Verbindung mit einem Modenabstreifer, der im Wesentlichen unerwünschte Modi von Licht am Fortschreiten in der optischen Faser entfernt, angewendet werden.

**[0009]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung koppeln Multiwellenlängen-Ausgabestrahlen in eine optische Faser. In verschiedenen Ausführungsformen weist die optische Faser Mehrfach-Mantel-Schichten, die einen Einzel-Kern umgeben, mehrfach diskrete Kernregionen (oder „Kerne“) in einer Ein-

zel-Mantel-Schicht oder mehrfache Kerne, umgeben von Mehrfach-Mantel-Schichten, auf. In verschiedenen Ausführungsformen können die Ausgabestrahlen für Anwendungen, wie Schneiden, Schweißen, usw., an ein Werkstück abgegeben werden.

**[0010]** Hierin kann sich „optische Elemente“ auf beliebige von Linsen, Spiegel, Prismen, Gittern und dergleichen, welche elektromagnetische Strahlung umleiten, reflektieren, beugen oder in jeder anderen Weise optisch manipulieren, beziehen. Hierin schließen Strahl-Sender, Sender oder Laser-Sender oder Laser eine beliebige elektromagnetische Strahl-erzeugende Vorrichtung, wie Halbleiterelemente, ein, die einen elektromagnetischen Strahl erzeugen, jedoch selbst mitschwingend sein können oder nicht sein können. Diese schließen auch Faser-Laser, Scheiben-Laser, Laser im nicht festen Zustand, oberflächenemittierende Diodenlaser (VCSELs), usw. ein. Im Allgemeinen schließt jeder Sender eine zurück reflektierende Oberfläche, mindestens ein optisches Verstärkungsmedium und eine vordere reflektierende Oberfläche ein. Das optische Verstärkungsmedium erhöht die Zunahme von elektromagnetischer Strahlung, die nicht auf einen besonderen Bereich des elektromagnetischen Spektrums begrenzt ist, die aber sichtbares, infrarotes und/oder ultraviolettes Licht sein kann. Ein Sender kann mehrfache Strahl-Sender, wie einen Diodenbarren, ausgelegt zum Senden von mehrfachen Strahlen einschließen oder besteht im Wesentlichen daraus. Die in den Ausführungsformen hierin empfangenen zugeführten Strahlen können Einzel-Wellenlängen- oder Multiwellenlängenstrahlen, kombiniert unter Verwendung verschiedener auf dem Fachgebiet bekannter Techniken, sein.

**[0011]** Laserdioden-Anordnungen, Stäbe und/oder Stapel, wie jene in der nachstehenden allgemeinen Beschreibung beschrieben, können in Verbindung mit Ausführungsformen der hierin beschriebenen Innovationen verwendet werden. Laserdioden können einzeln oder in Gruppen, im Allgemeinen in ein-dimensionalen Reihen/Anordnungen (Diodenbarren) oder zwei-dimensionalen Anordnungen (Dioden-Barren-Stapel) verpackt werden. Ein Dioden-Anordnungs-Stapel ist im Allgemeinen ein vertikaler Stapel von Diodenbarren. Laserdiodenbarren oder Anordnungen erreichen im Allgemeinen eine wesentlich höhere Stärke und Kosteneffektivität als eine äquivalente Einzel-Breitflächendiode. Hoch-Leistungs-Diodenbarren enthalten im Allgemeinen eine Anordnung von Breitflächen-Sendern unter Erzeugen von zig Watt mit relativ schlechter Strahlqualität; trotz der höheren Stärke ist die Helligkeit häufig geringer als jene von einer Breitflächen-Laserdiode. Hoch-Leistungs-Diodenbarren können gestapelt werden, zur Erzeugung von Hoch-Leistungs-gestapelten Diodenbarren von extrem hohen Stärken von hundert oder tausenden von Watt. Laserdioden-Anord-

nungen können zum Senden eines Strahls in den freien Raum oder in eine Faser ausgelegt sein. Fasergekoppelte Dioden-Laser-Anordnungen können üblicherweise als eine Pumpquelle für Faser-Laser und Faser-Verstärker verwendet werden.

**[0012]** Ein Dioden-Laser-Stab ist ein Typ von Halbleiter Laser, der eine ein-dimensionale Anordnung von Breitflächen-Sendern enthält, oder alternativ Sub-Anordnungen, die z.B. 10-20 enge Streifen-Sender enthalten, enthält. Ein Breitflächen-Diodenbarren enthält im Allgemeinen zum Beispiel 19-49 Sender, jeden mit Abmessungen in der Größenordnung von z.B.  $1\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ . Die Strahlqualität entlang der  $1\ \mu\text{m}$  Abmessung oder Fast-Axis ist im Allgemeinen Beugungs-begrenzt. Die Strahlqualität entlang der  $100\ \mu\text{m}$  Abmessung oder Slow-Axis oder Anordnungsdimension ist im Allgemeinen vielfach Beugungs-begrenzt. Im Allgemeinen weist ein Diodenbarren für kommerzielle Anwendungen eine Laserresonatorlänge der Größenordnung von 1 bis 4 mm auf, ist etwa 10 mm breit und erzeugt zig Watt Ausgangsleistung. Die meisten Diodenbarren werden in der Wellenlängenregion von 780 bis 1070 nm betrieben, wobei die Wellenlängen von 808 nm (zum Pumpen von Neodym-Lasern) und 940 nm (zum Pumpen Yb:YAG) am vorherrschendsten sind. Der Wellenlängenbereich von 915-976 nm wird zum Pumpen von Erbium-dotierten oder Ytterbium-dotierten Hochleistungs-Faser-Lasern und Verstärkern verwendet.

**[0013]** Ein Dioden-Stapel ist einfach eine Anordnung von mehrfachen Diodenbarren, die sehr hohe Ausgangsleistung abgeben können, auch Diodenlaser-Stapel, Mehrfach-Barren-Modul oder zwei-dimensionale Laser-Anordnung genannt, wobei die üblichste Dioden-Stapel-Anordnung jene von einem vertikalen Stapel ist, der effektiv eine zwei-dimensionale Anordnung von Rand-Sendern ist. Ein solcher Stapel kann durch Befestigen von Diodenbarren an dünnen Kühlkörpern und Stapeln dieser Aufbauten so erzeugt werden, um eine periodische Anordnung von Diodenbarren und Kühlkörpern zu erhalten. Es gibt auch horizontale Dioden-Stapel und zwei-dimensionale Stapel. Für die hohe Strahlqualität sollten die Diodenbarren im Allgemeinen so nahe zueinander wie möglich sein. Andererseits erfordert effizientes Kühlen eine gewisse minimale Dicke des zwischen den Stäben befestigten Kühlkörpers. Dieser Kompromiss der Diodenbarren-Beabstandung ergibt eine Strahlqualität von einem Dioden-Stapel in der vertikalen Richtung (und folglich seine Helligkeit), die viel geringer ist als jene von einem Einzel-Diodenbarren. Es gibt jedoch unterschiedliche Techniken, um dieses Problem signifikant abzuschwächen, z.B. durch räumliches Verschachteln der Ausgaben von verschiedenen Dioden-Stapeln durch Polarisations-Koppeln oder durch Wellenlängen-Vervielfachen. Verschiedene Typen von Hoch-Leistungs-Strahlformern und verwandten Vorrichtungen wurden für solche Zwe-

cke konzipiert. Dioden-Stapel können extrem hohe Ausgangsleistungen (z.B. Hunderte oder Tausende Watt) bereitstellen.

**[0014]** In einem Aspekt kennzeichnen Ausführungsformen der Erfindung ein Lasersystem, das eine Anordnung (z.B. eine ein-dimensionale Anordnung oder eine zwei-dimensionale Anordnung) von Strahl-Sendern, die jeweils einen Strahl senden, Abbildungsoptik zum Fokussieren der Strahlen auf ein streuendes bzw. dispersives Element, ein streuendes bzw. dispersives Element zum Empfangen und Streuen der fokussierten Strahlen, wodurch ein Multiwellenlängenstrahl gebildet wird und eine optische Faser zum Empfangen des Multiwellenlängenstrahls einschließt oder im Wesentlichen daraus besteht. Die optische Faser umfasst (i) einen Kern zum Empfangen des Multiwellenlängenstrahls, Reflektieren eines ersten Bereichs davon zurück auf das streuende bzw. dispersive Element und Übertragen eines zweiten Bereichs davon als einen Ausgabestrahls, zusammengesetzt aus vielen Wellenlängen, wobei der Kern eine teilweise reflektierende Oberfläche aufweist, und (ii) der Kern, ein Mantel mit einem Reflexionsvermögen für den Multiwellenlängenstrahl von weniger als 1% umgibt oder besteht im Wesentlichen daraus, wobei das streuende bzw. dispersive Element ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus einem Beugungsgitter, einem streuenden Prisma, einem Gristma (Prisma/Gitter), einem Übertragungsgitter oder einem Echelle-Gitter.

**[0015]** Ausführungsformen der Erfindung können einen oder mehrere der Nachstehenden in jeder von einer Vielfalt von Kombinationen einschließen. Ein Bereich des Kerns kann aus dem Mantel herausragen. Eine Oberfläche des Kerns kann im Wesentlichen coplanar mit einer Oberfläche des Mantels sein. Die optische Faser kann derart positioniert sein, dass an der teilweise reflektierenden Oberfläche des Kerns ein Durchmesser (oder andere laterale Abmessung, z.B. Breite) des Kerns nicht weniger als ein Durchmesser (oder andere laterale Abmessung, z.B. Breite) des Multiwellenlängenstrahls ist. Der Durchmesser des Kerns kann im Wesentlichen gleich oder größer als der Durchmesser des Multiwellenlängenstrahls sein. Eine Abschlusskappe kann an der optischen Faser befestigt und optisch stromaufwärts der teilweise reflektierenden Oberfläche des Kerns angeordnet sein. Eine Antireflex-Beschichtung kann über dem Mantel der optischen Faser angeordnet sein. Ein Modenabstreifer kann um mindestens einen Bereich des Kerns der optischen Faser angeordnet sein. Der Modenabstreifer kann um mindestens einen Bereich des Mantels der optischen Faser angeordnet sein. Die Abbildungsoptik kann eine oder mehrere zylindrische Linsen, eine oder mehrere kugelförmige Linsen, einen oder mehrere kugelförmige Spiegel und/oder einen oder mehrere zylindrische Spiegel einschließen oder besteht im Wesentlichen daraus. Das streuen-

de bzw. dispersive Element kann ein Beugungsgitter (z.B. ein transmissives Beugungsgitter oder ein reflektierendes Beugungsgitter) einschließen oder besteht im Wesentlichen daraus.

**[0016]** Das Lasersystem kann ein Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem zum Empfangen und Übertragen des Multiwellenlängenstrahls unter Verändern der Kreuzkopplung davon einschließen. Die teilweise reflektierende Oberfläche des Kerns der optischen Faser kann in einem Rayleigh-Bereich des Multiwellenlängenstrahls, übertragen durch das Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem, angeordnet sein. Mindestens ein Bereich des Kreuzkopplungs-Abschwächungssystems kann in einem Rayleigh-Bereich des Multiwellenlängenstrahls, übertragen durch das streuende bzw. dispersive Element, angeordnet sein. Das Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem kann afokal sein. Das Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem kann ein afokales Teleskop einschließen oder besteht im Wesentlichen daraus. Das Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem kann ein erstes optisches Element mit einer ersten fokalen Länge und ein zweites optisches Element mit einer zweiten fokalen Länge einschließen oder besteht im Wesentlichen daraus. Das erste optische Element kann optisch stromaufwärts des zweiten optischen Elements angeordnet sein. Die erste fokale Länge kann mindestens zwei, mindestens drei, mindestens fünf, mindestens sieben, mindestens zehn oder mindestens 100 Mal größer als die zweite fokale Länge sein. Jedes der ersten und zweiten optischen Elemente kann eine Linse (z.B. eine zylindrische Linse oder eine kugelförmige Linse) einschließen oder besteht im Wesentlichen daraus. Das erste optische Element kann in einem Rayleigh-Bereich des Multiwellenlängenstrahls, übertragen durch das streuende bzw. dispersive Element, angeordnet sein. Die teilweise reflektierende Oberfläche des Kerns der optischen Faser kann in einem Rayleigh-Bereich des Multiwellenlängenstrahls, übertragen durch das zweite optische Element, angeordnet sein. Die optische Entfernung zwischen den ersten und zweiten optischen Elementen kann ungefähr gleich einer Summe der ersten und zweiten fokalen Längen sein.

**[0017]** Diese und andere Aufgaben zusammen mit Vorteilen und Merkmalen der hierin offenbarten vorliegenden Erfindung werden deutlicher durch den Bezug auf die nachstehende Beschreibung, die beigefügten Zeichnungen und die Ansprüche. Weiterhin ist es verständlich, dass die Merkmale der hierin beschriebenen verschiedenen Ausführungsformen sich nicht gegenseitig ausschließen und in verschiedenen Kombinationen und Permutationen vorliegen können. Wenn hierin verwendet, bedeuten die Begriffe „im Wesentlichen“ und „ungefähr“  $\pm 10\%$ , und in einigen Ausführungsformen  $\pm 5\%$ . Der Begriff „besteht im Wesentlichen aus“ bedeutet ausschließlich

andere Materialien, die zur Wirkung beitragen, sofern nicht anders hierin definiert. Trotzdem können solche anderen Materialien insgesamt oder einzeln in Spuren Mengen vorliegen. Hierin werden die Begriffe „Strahlung“ und „Licht“ untereinander austauschbar angewendet, sofern nicht anders angezeigt. Hierin wird „stromabwärts“ oder „optisch stromabwärts“ angewendet, um den relativen Ersatz von einem zweiten Element anzuzeigen, das einen Lichtstrahl nach Aussetzen einem ersten Element trifft, wobei das erste Element „stromaufwärts“ oder „optisch stromaufwärts“ des zweiten Elements ist. Hierin ist „optische Entfernung“ zwischen zwei Komponenten der Abstand zwischen zwei Komponenten, der tatsächlich von Lichtstrahlen durchquert wird; die optische Entfernung kann, muss jedoch nicht gleich dem physikalischen Abstand zwischen zwei Komponenten sein auf Grund von z.B. Reflexionen von Spiegel oder anderen Änderungen in fortschreitender Richtung, erfahren von dem Licht, das von einer der Komponenten zu der anderen gelenkt wird.

#### Figurenliste

**[0018]** In den Zeichnungen beziehen sich Bezugszeichen im Allgemeinen auf die gleichen Teile über die gesamten verschiedenen Ansichten. Auch sind die Zeichnungen nicht notwendigerweise maßstabgetreu, stattdessen wird der Schwerpunkt im Allgemeinen auf die Veranschaulichung der Prinzipien der Erfindung gelegt. In der nachstehenden Beschreibung werden verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die nachstehenden Zeichnungen beschrieben, in welchen:

**Fig. 1A** ist ein Schema von einem Wellenlänge-Strahl-Kombinations (WBC)-Verfahren in der Nicht-Strahl-kombinierenden Abmessung gemäß des Standes der Technik;

**Fig. 1B** ist ein Schema von einem Wellenlänge-Strahl-Kombinations (WBC)-Verfahren in der Strahl-kombinierenden Abmessung gemäß des Standes der Technik;

**Fig. 2** ist ein Schema von einem WBC-Lasersystem, das ein optisches Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem gemäß des Standes der Technik einbezieht;

**Fig. 3** ist ein Schema von einem beispielhaften optischen Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem für ein WBC-Lasersystem gemäß des Standes der Technik;

**Fig. 4** ist ein Schema von einem optischen Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem und einem Ausgangskoppler für ein WBC-Lasersystem gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

**Fig. 5** ist ein Schema von einem optischen Element und einem Ausgangskoppler für ein WBC-

Lasersystem gemäß Ausführungsformen der Erfindung; und

**Fig. 6-8** sind Schemata von Bereichen von optischen Fasern, angewendet als Ausgangskoppler für WBC-Lasersysteme gemäß Ausführungsformen der Erfindung.

#### Beschreibung im Einzelnen

**[0019]** Aspekte und Ausführungsformen betreffen im Allgemeinen das Gebiet des Skalierens von Laserquellen für hohe Leistung und hohe Helligkeit unter Verwendung eines äußeren Resonators und insbesondere Verfahren und Einrichtung für äußeren Resonator-Strahl unter Kombinieren der Verwendung von sowohl ein-dimensionalen als auch zwei-dimensionalen Laserquellen. In einer Ausführungsform schließt das äußere Resonator-System ein-dimensionale oder zwei-dimensionale Laserelemente, ein optisches System, ein streuendes bzw. dispersives Element und ein teilweise reflektierendes Element ein. Ein optisches System besteht aus einem oder mehreren optischen Elementen, die zwei Basisfunktionen ausführen. Die erste Funktion ist, alle Laserelemente entlang der Strahl kombinierenden Dimension auf ein streuendes bzw. dispersives Element zu überlappen. Die zweite Funktion ist, zu sichern, dass alle Elemente entlang der Nicht-Strahl kombinierenden Abmessung normal zu dem Ausgangskoppler fortschreiten. In verschiedenen Ausführungsformen führt das optische System möglichst wenig Verlust ein. Als solches werden diese zwei Funktionen einen Einzel-Resonanzhohlraum für alle Laserelemente ermöglichen.

**[0020]** In einer anderen Ausführungsform schließt das äußere WBC-Resonator-System Wellenlänge stabilisierte ein-dimensionale oder zwei-dimensionale Laserelemente, ein optisches System und ein streuendes bzw. dispersives Element ein. Ein-dimensionale oder zwei-dimensionale Wellenlänge stabilisierte Laserelemente mit gleicher Wellenlänge können unter Verwendung verschiedener Mittel, wie Laserelemente mit Rückkopplung von Wellenlänge gechirptem Volumen-Bragg-Gitter, verteilten Rückkopplungs (DFB)-Laserelementen oder verteilten Bragg-Reflektor (DBR)-Laserelementen, ausgeführt werden. Hier ist die Hauptfunktion des optischen Systems, alle Strahlen auf einem streuenden bzw. dispersiven Element zu überlappen. Wenn es keinen Ausgangskoppler-Spiegel außerhalb des Wellenlängestabilisierten Laserelements mit parallelen Strahlen entlang der Nicht-Strahl-kombinierenden Abmessung gibt, ist es wenig wichtig. Aspekte und Ausführungsformen betreffen weiterhin Hochleistungs- und/oder Hoch-Helligkeits-Mehrfach-Wellenlänge-äußere Resonator-Laser, die ein Überlappen oder koaxialen Strahl von sehr geringer Ausgangsleistung bis Hunderte und auch bis Megawatt von Ausgangsleistung erzeugen.

**[0021]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schwächen den Grad an unbeabsichtigter und/oder unerwünschter Rückkopplung von nicht-ursprünglichen Sendern in WBC-Lasersystemen ab. Zum Beispiel gibt es in einem WBC-System, in dem zwei einzelne Strahl-Sender einen üblichen teilweise-reflektierenden Spiegel (wie ein Ausgangskoppler) teilen, das Potenzial für die Rückkopplung des Lichts von einem Sender, um in den anderen Sender einzudringen. Diese unerwünschte Rückkopplung (oder „Übersprechdämpfung“ oder „Kreuzkopplung“) von einem „nicht-ursprünglichen“ Sender vermindert die Effizienz des Systems. Die hierin beschriebenen Ansätze und Ausführungsformen können auf ein- und zwei-dimensionale Strahl kombinierende Systeme entlang der langsam-divergierenden Dimension (oder „Richtung“), schnell-divergierende Dimension oder andere Strahl kombinierende Dimensionen angewendet werden. Für Zwecke dieser Anmeldung weisen emittierte Strahlen Profile auf, in denen eine Dimension nahe zu oder vollständige Beugungs-begrenzt ist, während die andere Dimension viele Male Beugungs-begrenzt ist. Ein anderer Weg des Beschreibens davon kann in Bezug auf Achse und/oder Dimension erfolgen. Zum Beispiel kann ein Ausgabestrahler eine langsam und eine schnell divergierende Achse oder Dimension aufweisen.

**[0022]** Wenn der Begriff im Wesentlichen größer verwendet wird, beim Beziehen auf die fokale Länge von einem optischen Element, verglichen mit der fokalen Länge von einem anderen optischen Element ( $f_1 \gg f_2$ ), ist es so zu verstehen, dass ein Faktor von mindestens 2, 3, 4, 5, 7 Male oder größer sein muss. Zum Beispiel kann die fokale Länge von  $f_1$  100mm oder mehr sein, während die fokale Länge von  $f_2$  50mm oder weniger ist. In einem anderen Beispiel kann die fokale Länge von  $f_1$  200mm oder mehr sein, während  $f_2$  20mm oder weniger ist. Der Begriff „angularer Filter“ bezieht sich auf eine Vielfalt von optischen Elementen, die eine ausgewiesene Anzahl von Öffnungen für Rückkopplungsstrahlen erzeugt. Die Größe von dieser Anzahl von Öffnungen kann die erlaubte Rückkopplung auf nur jene begrenzen, die dem ursprünglich emittierten Strahl entspricht. Das bedeutet, dass der angularer Filter benachbarte oder nahe emittierte Strahlen am Rückkehren in den ursprünglichen Sender (d.h. Übersprechdämpfung) hindert. Stabilisierung von Sendern bezieht sich auf Rückkopplung, die durch jeden Sender empfangen wurde, der zu einer merklichen Wellenlänge verengt wurde. Dies kann in Form von Seeding der Sender mit einer besonderen Wellenlänge erfolgen, unter Veranlassung, dass ein Bereich des emittierten Strahls zurück in den Sender umgeleitet wird, und Eingreifen bei der Rückkopplung, wie Platzieren eines optischen Gitters in der Weise, um eine in die Sender als Rückkopplung zu richtende individuelle Wellenlänge zu erzeugen. Häufig wird Rückkopplung zurück auf die ursprüngliche Emissionsfläche reflektiert, wo sie

durch ein streuendes bzw. dispersives Element oder Beugungsgitter gelangt vor dem Eintreten zurück in den optischen Verstärkungsmedium-Bereich des ursprünglichen Senders. In einigen WBC-Ausführungsformen kann die Rückkopplungsquelle eine übliche reflektierende Oberfläche sein, die Rückkopplung für mehrfache Sender bereitstellt, wobei jeder der Rückkopplungsstrahlen einzeln auf eine bestimmte Wellenlänge abgestimmt wird.

**[0023] Fig. 1A-1B** veranschaulichen ein ein-dimensionales (1-D) WBC-System des Standes der Technik mit äußerem Resonator einschließlich oder bestehend im Wesentlichen aus einem ein-dimensionalen Strahl-Sender **102** (z.B. ein Diodenbarren) mit einer zurück reflektierenden Oberfläche **104**, einem Verstärkungsmedium **106** mit z.B. zwei oder mehreren Diodensendern **105**, einer vorderen reflektierenden Oberfläche **108**, einer kombinierenden Optik **110**, einem streuenden bzw. dispersiven Element **112** und einem teilweise reflektierenden Ausgangskoppler **114**. In dieser Ausführungsform wird die kombinierende Optik oder Linse **110** in einem fokalen Abstand **120a** entfernt von der vorderen reflektierenden Oberfläche **108** des Diodenbarrens **102** angeordnet, während auf der Rückebene oder anderen Seite von Linse **110** streuendes bzw. dispersives Element **112** in einem fokalen Abstand **120b** entfernt angeordnet wird. Der Ausgangskoppler **114** wird bei einem bestimmten Abstand von dem streuenden bzw. dispersiven Element **112** angeordnet und reflektiert einen Bereich des erzeugten Strahls (Rückkopplung **116**) zurück auf streuendes bzw. dispersives Element **112**.

**[0024]** In dieser Ausführungsform übt die Anordnung der kombinierenden Linse **110** zwei Funktionen aus. Die erste Funktion ist, alle Hauptstrahlen von allen Diodenelementen auf das streuende bzw. dispersive Element **112** zu überlappen. Die zweite Funktion ist, jeden Strahl in beiden Achsen zu sammeln. **Fig. 1A** und **Fig. 1B** veranschaulichen eine schematische Ansicht der nicht-Strahl-kombinierenden Abmessung 130-Ansicht (**Fig. 1A**) und der Strahl-kombinierenden Abmessung 140-Ansicht (**Fig. 1B**). Sender **102** schließt mehrfache Sender (z.B. Diodensender) **105**, eine zurück reflektierende Oberfläche **104**, Verstärkungsmedium **106** und eine Vorderfläche/Facetten **108** ein oder besteht im Wesentlichen daraus.

**[0025]** In WBC-Resonatoren ist es für benachbarte Sender möglich, miteinander optisch zu kreuzkoppeln. Dies kann die Ausgabe-Strahlqualität stark abbauen. **Fig. 2** ist ein Schema von einem WBC-Resonator des Standes der Technik mit zwei benachbarten Sendern **202a** und **202b**, die deren nominale Auf-Achse-Hauptstrahlen **260a** und **260b** (gezeigt als durchgezogene Linien) zu Linse **210** senden, was dieselben auf die Mitte des streuenden bzw. dispersiven Elements (z.B. Beugungsgitter) **212** fokussiert. Von dort werden beide Hauptstrahlen an deren ei-

genen einzigartigen Wellenlängen gebeugt, um sich entlang der gleichen Achse **240** auszubreiten, durch die Kreuzkopplungs-Abschwächungs-Optik **250**, die beliebige und alle Linsen oder optische Elemente zwischen dem Gitter **212** und dem teilweise-reflektierenden Koppler **214** wiedergibt. Beide Strahlen werden dann teilweise auf sich selbst zurück reflektiert, unter Ausbreiten rückwärts zum Selbst-koppeln zu deren entsprechendem Sender. Die Punktlinien **261a** und **261b** in **Fig. 2** zeigen die Hauptstrahlen, die optische Kreuzkopplung zwischen den zwei Sendern ergeben würden - d.h. ein Hauptstrahl, der von einem Sender entammt, koppelt zurück in einen anderen Sender.

**[0026]** Die nachstehenden Parameter werden wie nachstehend definiert:

$d$  = Abstand zwischen den zwei Sendern (symmetrisch verschoben oberhalb und unterhalb der Achse um  $\pm (d/2)$ ).

$\epsilon$  = Ablenkungswinkel (der Winkel zwischen den Hauptstrahlen mit durchgezogener Linie und den Hauptstrahlen mit Punktlinie an den Sendern).

$\theta_{1/2}$  = Semi-Divergenz-Fernfeld-Winkel von einem Sender in der WBC-Richtung.

$L_0$  = Abstand der Sender zur Linse L1.

$f_1$  = fokale Länge von Linse L1.

**[0027]** In **Fig. 2** wird das Gitter gezeigt, wie es bei normalem Vorkommen funktioniert. Hier wird angenommen, dass das System in der Littrow-Konfiguration betrieben wird, wobei der Einfallswinkel und der Beugungswinkel gleich (und nicht-Null) sind. In der Littrow-Konfiguration passt eine geringe Änderung in dem Einfallswinkel zu erster Ordnung durch eine gleiche Änderung in dem Beugungswinkel. In dem Horizontal-Schema scheint dann jeder Strahl, der mit Littrow betrieben wird, sich gerade durch das Gitter auszubreiten. Es ist klar, dass nur der Mittelstrahl **202c** (derjenige, der von einem imaginären Sender auf halbem Wege zwischen zwei Sendern **202a** und **202b** ausstrahlen würde) bei Littrow selbst-koppelt.

**[0028]** Die Symmetrie in **Fig. 2** ist vorbedacht, da sie für einige wichtige Vereinfachungen bei der Analyse des eindeutigen Ablenkungswinkels  $\epsilon$ , bei welchem ein Hauptstrahl von einem Sender austreten und zu dem anderen zurückkehren könnte, sorgt. Die erste Symmetrie-basierte Vereinfachung ist, dass der abgelenkte (Punktlinie) Hauptstrahl den Koppler an seiner Mitte treffen muss. Die zweite Vereinfachung ist, dass die Kreuzkopplungs-Wellenlänge der Durchschnitt der zwei selbst-koppelnden Wellenlängen sein muss. Dies würde wiederum die Wellenlänge von einem imaginären Sender auf halbem Wege zwischen den zwei Sendern sein, welche, wie vorstehend ausgewiesen, bei Littrow selbst-koppelnd sein würden. Deshalb müssen die Punktlinien-Haupt-

strahlen in **Fig. 2** das Gitter bei Littrow durchqueren, in der Bedeutung, dass sie sich scheinbar gerade durch das Gitter ausbreiten würden, wie gezeigt. Unter Verwendung dieser Vereinfachung kann eine übliche „y / y-bar“ (Hauptstrahl-Höhe / Hauptstrahl-Anstieg)-Analyse angewendet werden, um den oberen Punktklinie-Hauptstrahl zu verfolgen:

**[0029]** Verlassen des oberen Senders bzw. Emitters:

$$y_{Emitter} = \frac{d}{2} \quad (1)$$

$$\bar{y}_{Emitter} = \varepsilon \quad (2)$$

**[0030]** Eindringen in Linse L1:

$$y_{L1\_ein} = y_{Emitter} + L_0 \bar{y}_{Emitter} = \frac{d}{2} + L_0 \varepsilon \quad (3)$$

$$\bar{y}_{L1\_ein} = \bar{y}_{Emitter} = \varepsilon \quad (4)$$

**[0031]** Austreten aus Linse L1:

$$y_{L1\_aus} = y_{L1\_ein} = \frac{d}{2} + L_0 \varepsilon \quad (5)$$

$$\bar{y}_{L1\_aus} = \bar{y}_{L1\_ein} - \frac{y_{L1\_ein}}{f_1} = \varepsilon - \frac{\frac{d}{2} + L_0 \varepsilon}{f_1} = \varepsilon \left( \frac{f_1 - L_0}{f_1} \right) - \frac{d}{2f_1} \quad (6)$$

**[0032]** Eindringen in das und Austreten aus dem Gitter (Es wird an die vorstehende Erörterung erinnert, dass der Punktklinie-Hauptstrahl die Richtung bei dem Gitter nicht ändert):

$$y_{Gitter} = y_{L1\_aus} + f_1 \bar{y}_{L1\_aus} = \frac{d}{2} + L_0 \varepsilon + \varepsilon (f_1 - L_0) - \frac{d}{2} = \varepsilon f_1 \quad (7)$$

$$\bar{y}_{Gitter} = \bar{y}_{L1\_aus} = \varepsilon \left( \frac{f_1 - L_0}{f_1} \right) - \frac{d}{2f_1} \quad (8)$$

**[0033]** Um die Berechnungen an dem Koppler zu beenden, die das Ausbreiten durch die Kreuzkopplungs-Abschwächungs-Optik beinhalten, wird daran erinnert, dass der Punktklinien-Hauptstrahl den Koppler an seiner Mitte kreuzt. Deshalb ist nur der Strahlanstieg an dem Koppler nicht-Null, und angemerkt sein, dass die Strahlhöhe und der Strahlanstieg an dem Gitter beide proportional sein müssen. Dies im-

pliziert, dass das Verhältnis der Höhe zu dem Anstieg an dem Gitter konstant sein muss. Und man kann konstant sehr intuitiv als das Negative des effektiven Abstands des Kopplers von dem Gitter interpretieren, wie durch die Kreuzkopplungs-Abschwächungs-Optik bestimmt. In anderen Worten

$$\frac{y_{Gitter}}{\bar{y}_{Gitter}} \equiv -L_{cplr\_eff} \quad (9)$$

Worin  $L_{cplr\_eff}$  der effektive Abstand des Kopplers über (nach rechts von) das Gitter hinausgeht.

**[0034]** Konkret kann  $L_{cplr\_eff}$  entweder mit einer Strahlenspur oder mit einer y/y-bar-Analyse der Post-Gitter-Linsen berechnet werden. Aber in jedem Fall erlaubt Gleichung 9, Gleichungen 7 und 8 für den Ablenkungswinkel  $\varepsilon$  mit dem nachstehenden Ergebnis zu lösen:

$$\varepsilon = \frac{\left( \frac{d}{2f_1} \right)}{\left[ \left( \frac{f_1 - L_0}{f_1} \right) + \left( \frac{f_1}{L_{cplr\_eff}} \right) \right]} \quad (10)$$

**[0035]** Nun, da der Ablenkungswinkel  $\varepsilon$ , der Kreuzkopplung ergibt, bestimmt wurde, kann der Grad an Kreuzkopplung berechnet werden. Eine zweckmäßige Definition der Kreuzkopplung ist das Integral über Raumwinkel an dem Sender des Produkts der selbst-gekoppelten Intensität und der kreuz-gekoppelten Intensität, normalisiert durch das Integral des Quadrats der selbst-gekoppelten Intensität. Vor dem Berechnen des Integrals ist es wichtig, anzumerken, dass im Namen der vereinfachenden Symmetrie angenommen wird, dass sowohl die herausgehenden und hereinkommenden Strahlen an den Kreuzkopplungs-Sendern gleich abweichen. Somit betrachtet man für das Überlappungsintegral einen Strahl (der selbst-gekoppelte Strahl), der nicht-abgelenkt ist, und der andere Strahl (der kreuz-gekoppelte Strahl), um durch Verdoppeln durch Winkel  $\varepsilon$  abgelenkt zu sein. Einsetzen dieses Abschnitts in Gleichungsform liefert:

$$\text{Überlappen} = \frac{\int \exp \left[ -2 \left( \frac{\theta}{\theta_{1/2}} \right)^2 \right] \exp \left[ -2 \left( \frac{\theta - 2\varepsilon}{\theta_{1/2}} \right)^2 \right] d\theta}{\int \exp \left[ -2 \left( \frac{\theta}{\theta_{1/2}} \right)^2 \right] \exp \left[ -2 \left( \frac{\theta}{\theta_{1/2}} \right)^2 \right] d\theta} \quad (11)$$

**[0036]** (Angemerkt sei, dass Gleichung 11 ein-dimensionale Integrale über einen Einzel-Winkel anstelle von zwei-dimensionalen Integralen über Raumwinkel beinhaltet. Dies erfolgt, weil die Integration



über Winkel in die Richtung orthogonal zu der Strahlabweichung eine Konstante ergibt, die aus dem Verhältnis in Gleichung 11 herausfällt.) Gleichung 11 kann vereinfacht werden, um zu ergeben:

$$\text{Überlappen} = \exp \left[ -2 \left( \frac{2\varepsilon}{\theta_{1/2}} \right)^2 \right] \quad (12)$$

**[0037]** Zusammenfassend kann man den relevanten Ablenkungswinkel  $\varepsilon$  hinsichtlich der bekannten Parameter gemäß Gleichung 10 berechnen. Das erhaltene Überlappen kann dann gemäß Gleichung 12 berechnet werden. Dies ergibt das Verhältnis von kreuzgekoppelter Intensität zu selbst-gekoppelter Intensität, unter der Annahme, dass es in dem selbst-gekoppelten Fall eine perfekte Einschnürung an dem Koppler gibt.

**[0038]** Es gibt eine sehr interessante Möglichkeit, um einen großen Einfluss auf die Kreuzkopplung auszuüben, wenn nahe, jedoch nicht sehr, an der gewöhnlichen Konfiguration von Anordnen der Sender eine fokale Länge zurück von L1. Wenn wir die Sender dort genau platziert haben, dann würde der erste Term in dem Nenner von Gleichung 10 null sein, und Gleichung 10 würde sich reduzieren auf:

$$\varepsilon_{(L_0=f_1)} = \frac{(d)(L_{cplr\_eff})}{2f_1^2} \quad (13)$$

**[0039]** Unter Substitution von Gleichung 13 in Gleichung 12 ergibt sich:

$$\text{Überlappen} = \exp \left[ -4 \left( \frac{d^* (L_{cplr\_eff})}{d^{**} Zr} \right)^2 \right].$$

**[0040]** Hier ist  $d'$  der Sender-Durchmesser an dem nahen Feld, und  $Zr$  ist der Rayleigh-Bereich des Strahls. Um somit Kreuz-Koppeln zu vermindern, sollte der Nahfeld-Füllfaktor ( $d/d'$ ) hoch sein, die optische Weglänge zwischen dem Gitter und Koppler sollte lang sein und der Rayleigh-Bereich sollte kurz sein. Im Allgemeinen ist der Nahfeld-Füllfaktor festgelegt. Als ein Beispiel, wenn angenommen wird, dass das WBC-System **20** Diodenbarren und ein Umbildobjektiv mit einer fokalen Länge von 2000 mm enthält, dann ist die Strahlgröße an dem Gitter grob 40 mm (unter der Annahme von 20 milli-radian voller Strahl-Divergenz). Der Rayleigh-Bereich von einem solchen Strahl (1  $\mu$ m Wellenlänge und Beugung begrenzt) ist etwa 160 m. Der Abstand zwischen dem Gitter und Ausgangskoppler sollte mit dem Rayleigh-Bereich zur Kreuzkopplungs-Abschwächung vergleichbar sein. Solche Länge würde das WBC-System im Wesentlichen nicht ausführ-

bar machen. Wenn jedoch der Strahl um 40 $\times$  zwischen dem Gitter und dem Ausgangskoppler verkleinert wird, wird die optische Weglänge um 160 $\times$  oder auf etwa 1 m verkürzt. Weiterhin kann die Verminderung der optischen Weglänge unter Verwendung größerer Verminderung in der Strahlgröße erreicht werden. Die Strahl-Verkleinerung kann unter Verwendung verschiedener Mechanismen, wie Linsen, Prismen oder einer Kombination von beiden, ausgeführt werden. Sorgfältiger Aufbau muss beachtet werden, so dass selbst-koppeln von jedem Sender nicht abgebaut, so dass der Resonator in der Leistung leidet.

**[0041]** Wenn die Sender jedoch etwas von dieser Position heraus sind, dann kann man in dem ersten Term in dem Nenner von Gleichung 10 tatsächlich den zweiten Term streichen, was den erforderlichen Ablenkungswinkel unendlich macht und die Kreuzkopplung null überlappt. Insbesondere geschieht dies, wenn:

$$L_0 = f_1 + \left( \frac{f_1^2}{L_{cplr\_eff}} \right) \quad (14)$$

**[0042]** In anderen Worten, wenn der effektive Abstand zu dem Koppler  $L_{cplr\_eff}$  sehr groß ist, gibt uns Gleichung 14 ein potenzielles Rezept zum Ziehen der Sender etwas zurück von dem vorderen Brennpunkt von L1, um Kreuzkopplung zu zerstören.

**[0043]** Fig. 3 veranschaulicht ein Beispiel von einem Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem **250** des Standes der Technik, erläutert durch einen Kasten in Fig. 2. Hier kann optisches Element **302** eine Linse mit einer fokalen Länge  $F_1$  **304** aufweisen. Ein zweites optisches Element **306** kann auch eine Linse sein und eine fokale Länge  $F_2$  **308** aufweisen. Der Abstand zwischen **302** und **306** ist exakt oder ungefähr die Summe der fokalen Längen  $F_1$  und  $F_2$ . Wie vorstehend erörtert, ist es bevorzugt, dass das Verhältnis von  $F_1$  zu  $F_2$  ( $F_1/F_2$ ) mindestens zweifach oder größer ist. Das System **250** kann ein afokales Teleskop-System sein. In anderen Ausführungsformen können mehrfache optische Elemente verwendet werden, wobei die Wirkung des Systems noch die Eigenschaften von einem afokalen Teleskop-System mit einem großen Verhältnis beibehält.

**[0044]** In verschiedenen Ausführungsformen ist es erwünscht, Linse **302** in dem Rayleigh-Bereich von Strahlen anzuordnen, die von einem streuenden bzw. dispersiven Element (z.B. Beugungsgitter) übertragen werden, während auch ein teilweise-reflektierender Ausgangskoppler oder eine andere reflektierende Oberfläche in den Rayleigh-Bereich von Strahlen, die aus Linse **306** herauskommen, platziert wird. Durch geeignetes Platzieren von Linsen mit einer  $F_1 \gg F_2$  Beziehung in diesen Positionen wird ein effektives System erzeugt, um jegliche Kreuzkopplungs-Rück-

kopplung am Eindringen der nicht-abstammenden Sender oder Quelle zu vermindern und in einigen Fällen ganz zu entfernen.

**[0045] Fig. 4** veranschaulicht ein Stabilisierungssystem **400** (das ein Bereich von einem WBC-Lasersystem sein kann) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in welchem ein optisches Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem (welche optische Elemente **410**, **420** einschließen können oder im Wesentlichen daraus bestehen) in Verbindung mit einem teilweise reflektierenden Ausgangskoppler **430** angewendet wird, konzipiert, um Reflexionen zu minimieren, die unerwünschte Rückkopplung ergeben könnten. Wie gezeigt, schließt der Ausgangskoppler **430** einen teilweise reflektierenden Strahl-Empfangs-Bereich **434**, ausgelegt und positioniert zum Aufnehmen des Strahls von optischem Element **420**, ein. Insbesondere weist der Strahl-Empfangs-Bereich **434** im Allgemeinen einen Durchmesser (oder andere seitliche Abmessung) ungefähr von der gleichen Größe wie der Durchmesser (oder andere seitliche Abmessung) des Strahls, der aufnimmt, auf. Der Strahl-Empfangs-Bereich **434**, der ungefähr zentriert auf einer Oberfläche des Ausgangskopplers **430** sein kann, ist von einem nicht-reflektierenden Bereich (oder Oberfläche) **432** umgeben, der ein Reflexionsvermögen von 1% oder weniger zu den Wellenlängen des empfangenden Strahls aufweist. Zum Beispiel kann der nicht-reflektierende Bereich **432** mit einer Anti-Reflexions-Beschichtung beschichtet sein, um unerwünschte Rückstrahlung zu verhindern, die optische Übersprechdämpfung ergeben könnte. Somit wird beliebiges Streulicht unter Ausbreiten zu dem Ausgangskoppler **430** außerhalb des Strahl-Empfangs-Bereichs **434** nicht zurück zu den Strahl-Sendern des WBC-Systems reflektieren. Der Strahl-Empfangs-Bereich **434** kann aus dem Rest der Oberfläche von Koppler **430** herausragen (d.h. kann hinsichtlich des nicht-reflektierenden Bereichs **432** erhöht sein), wie in **Fig. 4** gezeigt, oder der Strahl-Empfangs-Bereich **434** kann ungefähr coplanar mit nicht-reflektierendem Bereich **432** sein.

**[0046]** Der Strahl-Empfangs-Bereich **434** kann ein Reflexionsvermögen für die Wellenlängen des Strahls von weniger als ungefähr 15%, z.B. in dem Bereich von ungefähr 2% bis ungefähr 10%, aufweisen, um so die erwünschte Wellenlängenstabilisierung des Strahls von den verbundenen Sendern bereitzustellen. Es wird Wert darauf gelegt, dass der Rest des empfangenen Strahls durch den Ausgangskoppler **430** gelangen wird und zu optischen Systemkomponenten (z.B. eine optische Faser oder ein Werkstück) stromabwärts übertragen wird.

**[0047] Fig. 5** veranschaulicht ein Stabilisierungssystem **500** (welches ein Bereich von einem WBC-Lasersystem sein kann) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in dem ein opti-

sches Element **510** (z.B. eine zylindrische oder kugelförmige Linse) einfach den Strahl auf den teilweise reflektierenden Ausgangskoppler **430** fokussiert, und kein zweites sammelndes optisches Element dazwischen vorliegt. In dieser Weise kann der Ausgangskoppler **430** in einem WBC-Lasersystem ohne die Verwendung von einem optischen Kreuzkopplungs-Abschwächungssystem (z.B. eines einschließlich oder bestehend im Wesentlichen aus zwei oder mehreren optischen Elementen, wie Linsen) angewendet werden.

**[0048] Fig. 6** veranschaulicht einen Bereich von einem WBC-Lasersystem **600**, in dem ein optisches Element **610** Licht direkt in den Kern **650** von einer optischen Faser fokussiert, das ein oder mehrere Merkmale, die als der teilweise reflektierende Ausgangskoppler wirken, einschließt. Wie gezeigt, kann die optische Faser auch einen Mantel **640** aufweisen, der den Kern **650** umgibt; im Allgemeinen weist der Mantel **640** einen Brechungsindex geringer als jener des Kerns **650** auf, so dass Licht in dem Kern **650** eingeschränkt wird. Die Endfläche des Kerns **650** kann im Wesentlichen coplanar mit der Endfläche **642** des Mantels sein oder der Kern **650** kann leicht von Oberfläche **642** herausragen. Um die Wellenlängenstabilisierung bereitzustellen, kann die Endfläche des Kerns **650** teilweise reflektierend für die Wellenlängen des Strahls (z.B. zwischen ungefähr 2% und ungefähr 10% reflektierend oder zwischen ungefähr 4% und ungefähr 10% reflektierend) sein. In verschiedenen Ausführungsformen kann das teilweise Reflexionsvermögen durch eine Beschichtung auf der Endfläche des Kerns bereitgestellt werden.

**[0049]** In verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung kann anstelle von oder zusätzlich zu einer teilweise reflektierenden Beschichtung ein Faser-Bragg-Gitter **654** in dem Kern **650** bereitgestellt werden, um das erwünschte teilweise Reflexionsvermögen bereitzustellen. Wie dem Fachmann bekannt, schließt das Faser-Bragg-Gitter eine periodische Variation des Brechungsindex von einem Bereich der Faser (z.B. in dem Kern **650**) ein oder besteht im Wesentlichen daraus. Die Periodenvariation kann z.B. von der Größenordnung von einer Hälfte der Wellenlänge (oder einer der Wellenlängen) des empfangenen Strahls sein und das Gitter leitet somit Fresnel-Reflexion ein. Die Wellenlängenabhängigkeit und/oder die Höhe der Reflexion können durch das besondere Gittermuster und die Brechungsindexvariation darin ausgewählt werden. In verschiedenen Ausführungsformen können mehrfache Faser-Bragg-Gitter **654** in dem Kern **650** angeordnet sein und jedes Gitter **654** kann eine andere Brechungsindexvariation und/oder Wellenlängenselektivität aufweisen.

**[0050]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Oberfläche **642** des Mantels **640** mit einer anti-reflektierenden Beschichtung beschichtet sein, um so

jedes abweichende Licht zu verhindern, das von dem Strahl vom Reflektieren zurück in benachbarte Sender oder Strahlen streut. Zum Beispiel kann die Oberfläche **642** beschichtet sein, um so ein Reflexionsvermögen von weniger als 1% für die Wellenlängen des Strahls aufzuweisen.

**[0051]** Fig. 7 veranschaulicht ein Wellenlängen-Stabilisierungssystem **700** (das ein Bereich von einem WBC-Lasersystem sein kann), in dem ein optisches Element **710** Licht in den Kern **650** der optischen Faser fokussiert. In System **700** ist eine Abschlusskappe **720** über und in Kontakt mit Kern **650** (und in einigen Ausführungsformen Oberfläche **642** dem Mantel **640**) angeordnet; in einigen Ausführungsformen ist die Abschlusskappe **720** an der optischen Faser mit einem Index-passenden Material dazwischen befestigt. In anderen Ausführungsformen ist mindestens ein Bereich der optischen Faser (z.B. Kern **650**) direkt mit der Abschlusskappe **720** verbunden. Wie in Fig. 7 gezeigt, ermöglicht das Vorliegen der Abschlusskappe **720** die effektive Grenzfläche zwischen der optischen Faser und dem ankommenden Strahl (d.h. der Punkt, an dem der Strahl in die Abschlusskappe eindringt), um den Strahl aufzunehmen, wenn er einen größeren Durchmesser (oder Breite) aufweist, wodurch die Stromdichte des Strahls nach Eintritt an der optischen Faser vermindert wird. Das Vorliegen der Abschlusskappe **720** kann auch andere Bereiche der optischen Faser vor Wärme, Feuchtigkeit und/oder anderen Umweltverunreinigungen schützen.

**[0052]** Fig. 8 veranschaulicht ein Wellenlängen-Stabilisierungssystem **800** (das ein Bereich von einem WBC-Lasersystem sein kann), in dem ein optisches Element **810** Licht in den Kern **650** der optischen Faser fokussiert. System **800** beinhaltet einen Modenabstreifer **820**, um weiterhin die Reinheit und Übertragungsfähigkeiten der optischen Faser hinsichtlich des Strahls zu erhöhen. Es wird Wert darauf gelegt, dass wie Strahlen Übertragungsmedien ändern, die verschiedenen Brechungsindizes und Lichteinfallswinkel in eine optische Faser einen Mantelmodus ergeben können, d.h. Licht, das in dem Material des Mantels ausgelenkt wird. Dieser Mantelmodus kann unerwünscht sein, da solches Licht Wellenlängenstörung und Verunreinigung des primären Strahls ergeben kann. Wie dem Fachmann bekannt, kann der Modenabstreifer **820** einschließen, besteht im Wesentlichen daraus oder besteht aus einem Material mit einem Brechungsindex von nicht weniger als (d.h. gleich oder größer als) jener des Mantels **640**; in dieser Weise wird Licht, das sich im Allgemeinen als ein Mantelmodus in dem Mantel ausbreiten könnte, vorzugsweise in den Modenabstreifer eindringen und aus der optischen Faser herausstrahlen. In verschiedenen Ausführungsformen wird der Modenabstreifer **820** einen Brechungsindex von größer als jener des Mantels **640** aufweisen. Wie in Fig. 8 gezeigt, kann ein Index-passendes Material **830** zwi-

schen dem Kern **650** (oder in einigen Ausführungsformen der Mantel **640**) und dem Modenabstreifer **820** angeordnet sein. (Wenn hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „Index-passendes Material“ auf ein Material, angeordnet zwischen zwei anderen Materialien und mit einem Brechungsindex zwischen den Brechungsindizes der zwei Materialien oder ungefähr gleich dem Brechungsindex von einem oder beiden der Materialien.) Obwohl Fig. 8 den Modenabstreifer **820** als direkt unter Umgeben des Kerns **650** anführt, ist in verschiedenen Ausführungsformen mindestens ein Bereich des Mantels **640** zwischen dem Kern **650** und dem Modenabstreifer **820** angeordnet.

**[0053]** In beliebigen der vorstehend erwähnten Wellenlängen-Stabilisierungssysteme wird Wert darauf gelegt, dass der Strahl auf verschiedenen Wegen über die Zugabe von optischen und/oder streuenden bzw. dispersiven Elementen, ausgelegt zum Erreichen der erwünschten Strahlqualitäten, manipuliert werden können. Zum Beispiel können optische Elemente, wie Gitter und/oder Kollimatoren, in dem WBC-System und/oder dem Stabilisierungssystem vorliegen. Es wird auch Wert darauf gelegt, dass die teilweise reflektierenden Elemente mit teilweise reflektierenden Eigenschaften durch eine beliebige Anzahl von Mitteln bereitgestellt werden können, einschließlich, jedoch nicht auf das Bereitstellen von Gittern, Beschichtungen usw. begrenzt, um so die erwünschte Übertragung und erwünschte Reflexionsqualitäten zu erreichen.

**[0054]** Die hierin angewendeten Begriffe und Ausdrücke werden als Begriffe der Beschreibung und nicht der Begrenzung verwendet, und es gibt keine Absicht bei der Verwendung von solchen Begriffen und Ausdrücken, irgendwelche Äquivalente der gezeigten und beschriebenen Merkmale oder Bereiche davon auszuschließen, jedoch wird erkannt, dass verschiedene Modifizierungen in dem beanspruchten Umfang der Erfindung möglich sind.

## Patentansprüche

1. Lasersystem, umfassend:  
eine Anordnung von Strahl-Sendern (102), die jeweils einen Strahl senden;  
Abbildungsoptik (110) zum Fokussieren der Strahlen auf ein streuendes bzw. dispersives Element (112);  
ein streuendes bzw. dispersives Element (112) zum Empfangen und Streuen der fokussierten Strahlen, wodurch ein Multiwellenlängenstrahl gebildet wird; und  
eine optische Faser zum Empfangen des Multiwellenlängenstrahls, wobei die optische Faser umfasst (i) einen Kern (650) zum Empfangen des Multiwellenlängenstrahls, der einen ersten Bereich davon zurück auf das streuende bzw. disperse Element (112) reflektiert und einen zweiten Bereich davon als einen aus vielen Wellenlängen zusammengesetzten

Ausgabestrahle sendet, wobei der Kern (650) eine teilweise reflektierende Oberfläche aufweist, und (ii) umgebend den Kern, einen Mantel (640), der ein Reflexionsvermögen für den Multiwellenlängenstrahl von weniger als 1% aufweist, wobei das streuende bzw. dispersive Element (112) ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus einem Beugungsgitter, einem streuenden Prisma, einem Gristma (Prisma/Gitter), einem Übertragungsgitter oder einem Echelle-Gitter.

2. Lasersystem nach Anspruch 1, wobei ein Bereich des Kerns (650) aus dem Mantel (640) herausragt.

3. Lasersystem nach Anspruch 1, wobei die optische Faser derart positioniert ist, dass an der teilweise reflektierenden Oberfläche des Kerns (650) ein Durchmesser des Kerns (650) nicht weniger als ein Durchmesser des Multiwellenlängenstrahls ist.

4. Lasersystem nach Anspruch 1, weiterhin umfassend eine Abschlusskappe (720), die an der optischen Faser befestigt und optisch stromaufwärts von der teilweise reflektierenden Oberfläche des Kerns (650) angeordnet ist.

5. Lasersystem nach Anspruch 1, weiterhin umfassend eine Antireflex-Beschichtung, angeordnet über dem Mantel (640) der optischen Faser.

6. Lasersystem nach Anspruch 1, weiterhin umfassend einen Modenabstreifer (820), der um mindestens einen Bereich des Kerns (650) der optischen Faser angeordnet ist.

7. Lasersystem nach Anspruch 1, weiterhin umfassend ein Kreuzkopplung-Abschwächungssystem (250) zum Empfangen und Übertragen des Multiwellenlängenstrahls unter Vermindern der Kreuzkopplung davon.

8. Lasersystem nach Anspruch 7, wobei die teilweise reflektierende Oberfläche des Kerns (650) der optischen Faser in einem Rayleigh-Bereich des durch das Kreuzkopplung-Abschwächungssystem (250) übertragenen Multiwellenlängenstrahls angeordnet ist.

9. Lasersystem nach Anspruch 7, wobei mindestens ein Bereich des Kreuzkopplung-Abschwächungssystems (250) in einem Rayleigh-Bereich des durch das streuende bzw. dispersive Element (112) übertragenen Multiwellenlängenstrahls angeordnet ist.

10. Lasersystem nach Anspruch 7, wobei das Kreuzkopplung-Abschwächungssystem (250) ein afokales Teleskop umfasst.

11. Lasersystem nach Anspruch 7, wobei das Kreuzkopplung-Abschwächungssystem (250) ein erstes optisches Element (410) mit einer ersten fokalen Länge (304) und ein zweites optisches Element (420) mit einer zweiten fokalen Länge (308) umfasst, wobei das erste optische Element (410) optisch stromaufwärts von dem zweiten optischen Element (420) angeordnet ist.

12. Lasersystem nach Anspruch 11, wobei die erste fokale Länge (304) mindestens zweifach größer als die zweite fokale Länge (308) ist.

13. Lasersystem nach Anspruch 11, wobei die erste fokale Länge (304) mindestens siebenfach größer als die zweite fokale Länge (308) ist.

14. Lasersystem nach Anspruch 11, wobei jedes von den ersten und zweiten optischen Elementen (410, 420) eine Linse (110) umfasst.

15. Lasersystem nach Anspruch 11, wobei das erste optische Element (410) in einem Rayleigh-Bereich des durch das dispersive Element (112) übertragenen Multiwellenlängenstrahls angeordnet ist.

16. Lasersystem nach Anspruch 11, wobei die teilweise reflektierende Oberfläche des Kerns (650) der optischen Faser in einem Rayleigh-Bereich des durch das zweite optische Element (420) übertragenen Multiwellenlängenstrahls angeordnet ist.

17. Lasersystem nach Anspruch 11, wobei eine optische Entfernung zwischen den ersten und zweiten optischen Elementen (410, 420) ungefähr gleich einer Summe der ersten und zweiten fokalen Längen (304, 308) ist.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

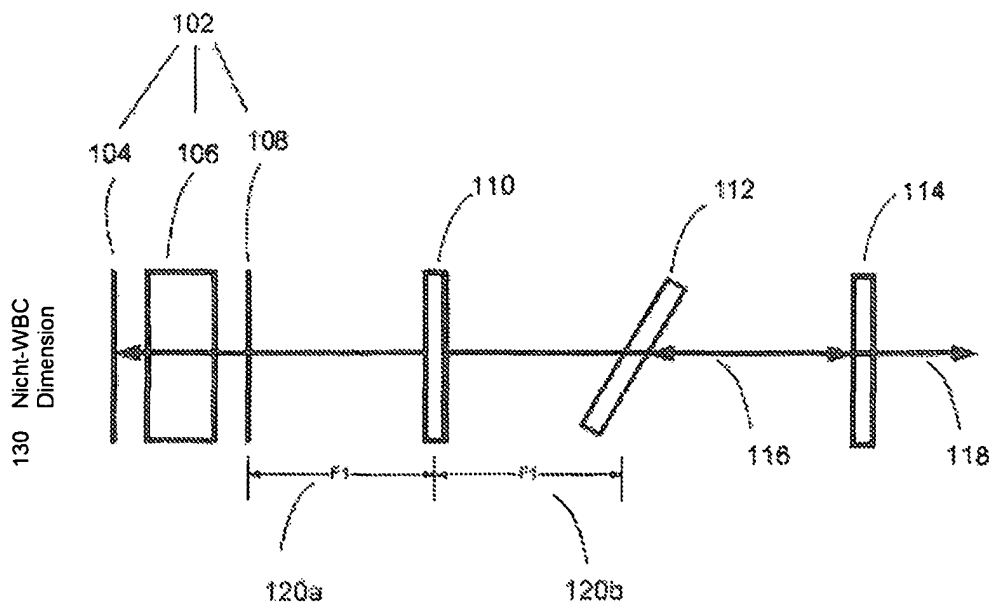
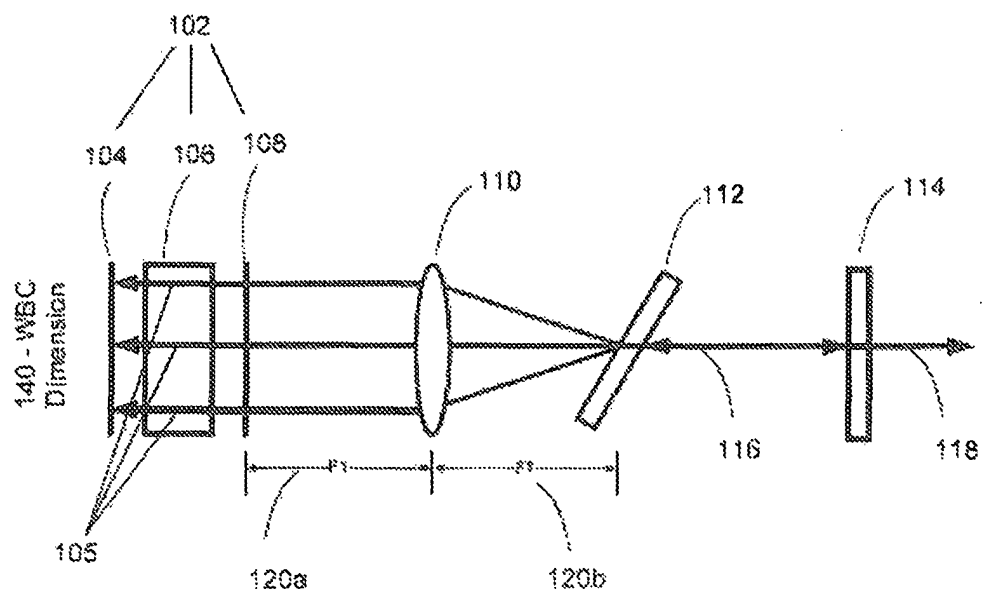


Fig. 1A Stand der Technik



Stand der Technik  
Fig. 1B

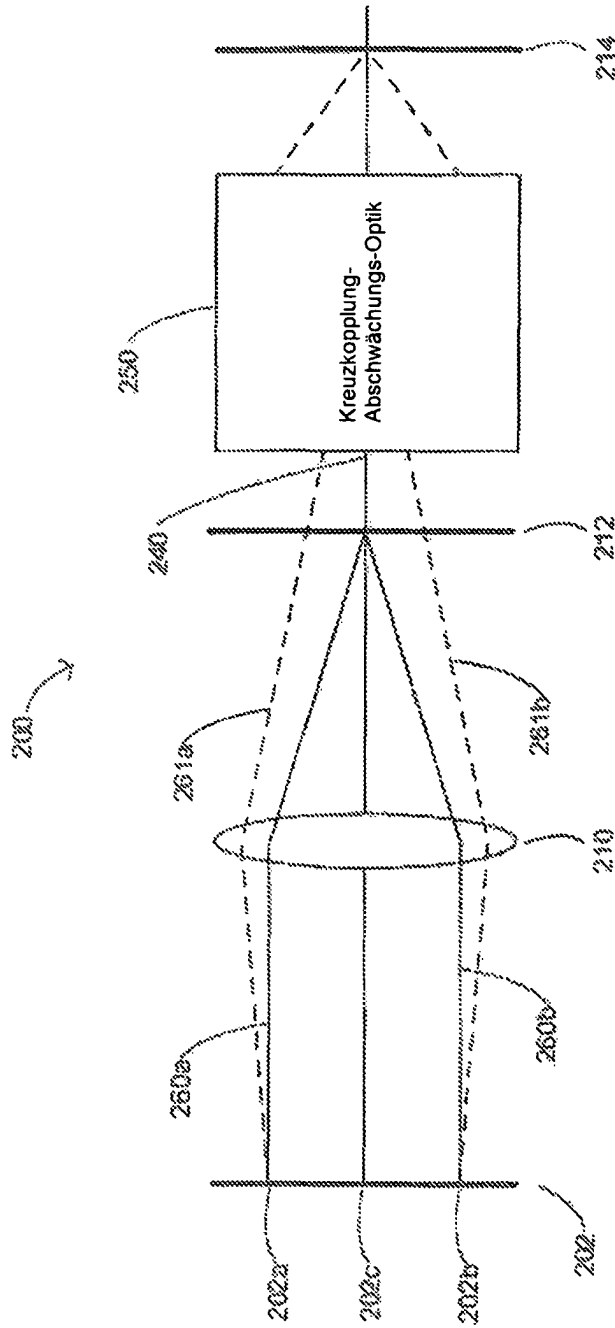


Fig. 2 Stand der Technik

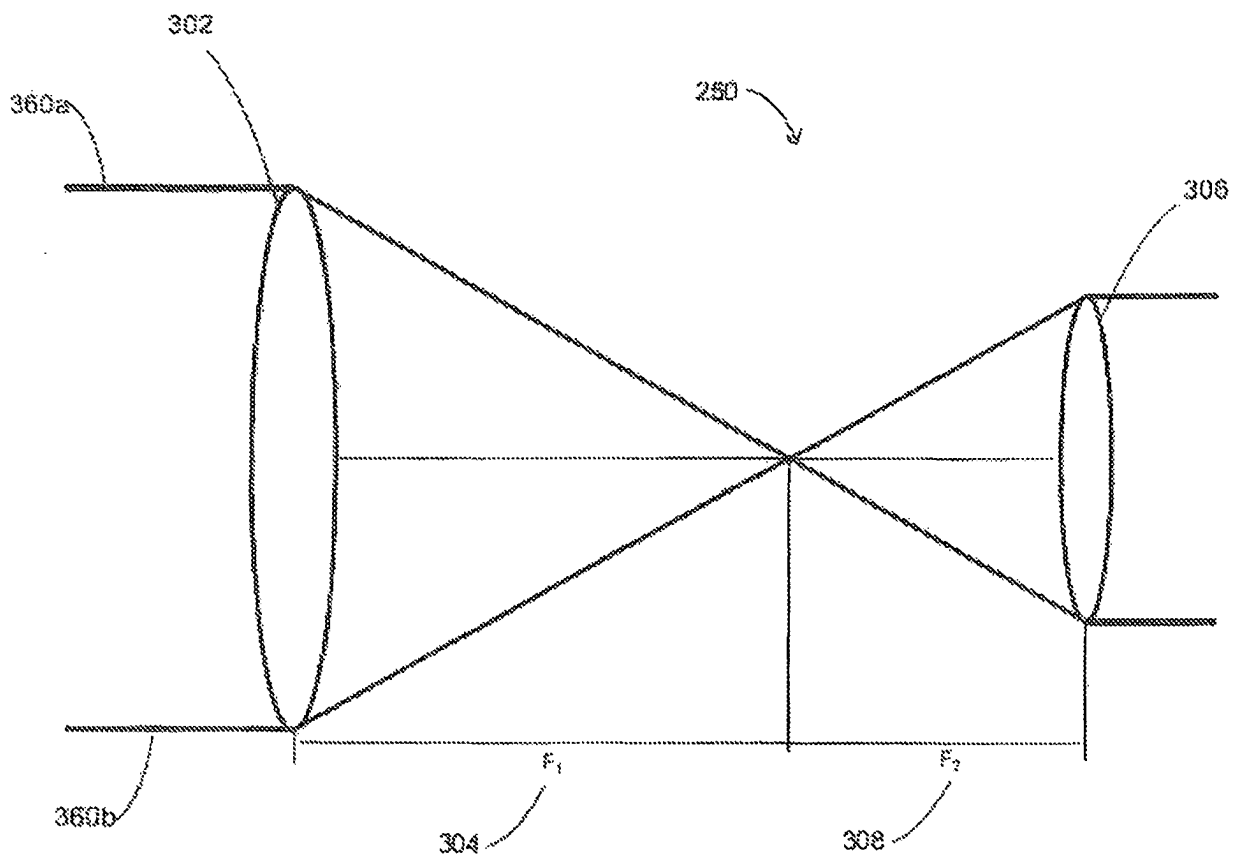


Fig. 3 Stand der Technik



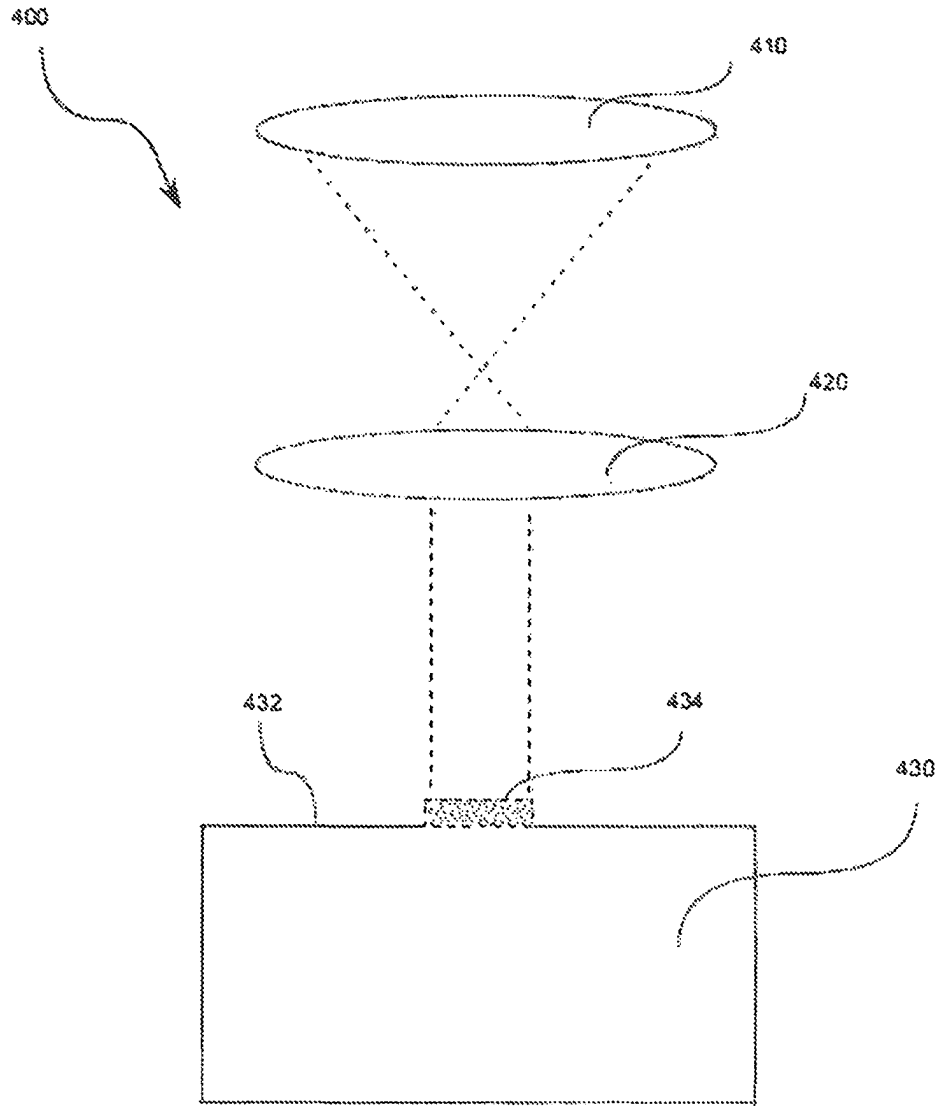


FIG. 4

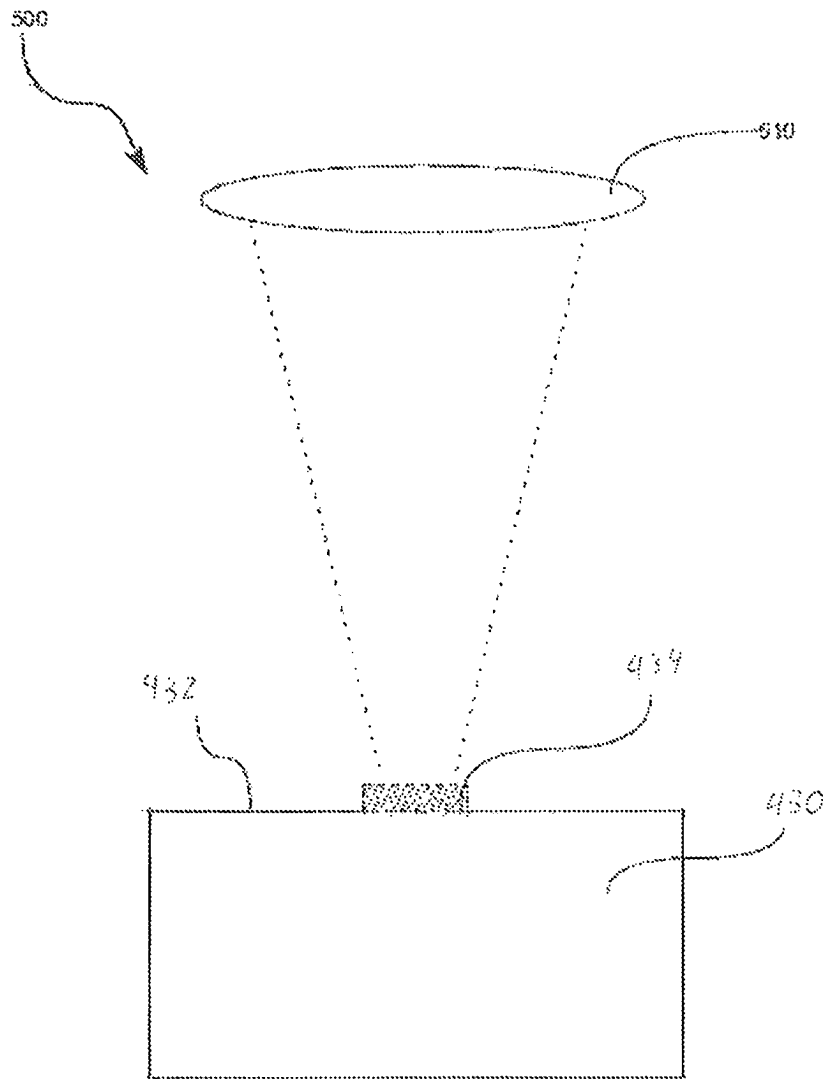


FIG. 5

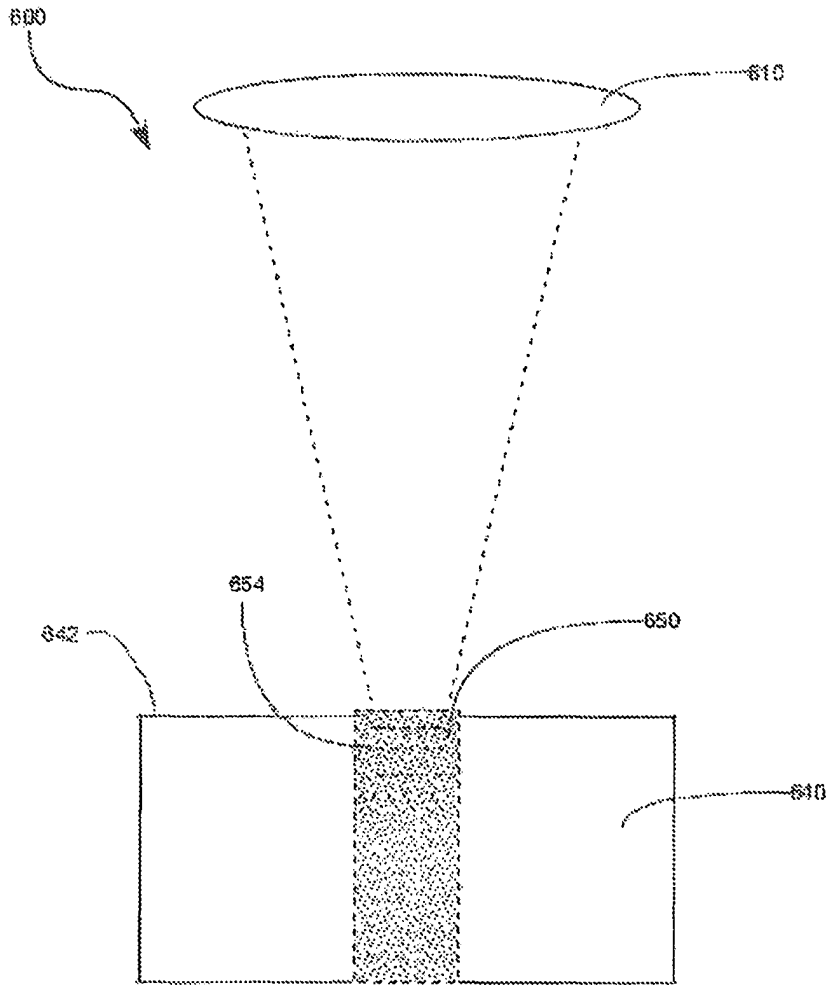


FIG. 6

