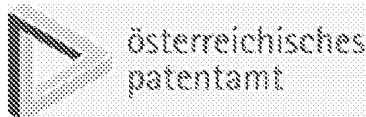


(19)



(10)

AT 516729 A4 2016-08-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50239/2015
 (22) Anmeldetag: 25.03.2015
 (43) Veröffentlicht am: 15.08.2016

(51) Int. Cl.: **F21S 8/10** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 US 2014313754 A1
 DE 102012223857 A1

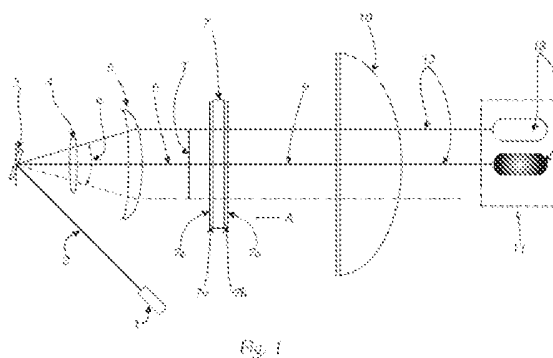
(71) Patentanmelder:
 Zizala Lichtsysteme GmbH
 3250 Wieselburg (AT)

(72) Erfinder:
 Kieslinger Dietmar
 2604 Theresienfeld (AT)

(74) Vertreter:
 Patentanwaltskanzlei Matschnig & Forsthuber
 OG
 1010 Wien (AT)

(54) Scheinwerfer für Fahrzeuge

(57) Ein Scheinwerfer für Fahrzeuge mit zumindest einer, mittels einer Ansteuerung und einer Recheneinheit modulierbaren Laserlichtquelle (1), deren Laserstrahl (2) über ein von einer Laserablenksteuerung angesteuertes Strahlablenmittel (3) scannend auf zumindest ein Lichtkonversionsmittel (7) gelenkt wird, und mit einem Abbildungssystem (10) zur Projektion des durch das Lichtkonversionsmittel (7) erzeugten Leuchtbildes (8) als Lichtbild (11) auf die Fahrbahn, wobei das zumindest eine Lichtkonversionsmittel (7) als optischer Resonator ausgebildet ist, der modulierte, scannende Laserstrahl (6) als primärer Laserstrahl (2) die Pumpenergie mit der Pumpwellenlänge liefert und der Resonator ein Konversionsmaterial mit zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff enthält und an einer Austrittsoberfläche (7a) einen Austrittsstrahl (9) abgibt, der über das Abbildungssystem (10) das Lichtbild (11) auf der Fahrbahn liefert.



Zusammenfassung

Ein Scheinwerfer für Fahrzeuge mit zumindest einer, mittels einer Ansteuerung und einer Recheneinheit modulierbaren Laserlichtquelle (1), deren Laserstrahl (2) über ein von einer Laserablenksteuerung angesteuertes Strahlablenkmittel (3) scannend auf zumindest ein Lichtkonversionsmittel (7) gelenkt wird, und mit einem Abbildungssystem (10) zur Projektion des durch das Lichtkonversionsmittel erzeugten Leuchtbildes (8) als Lichtbild (11) auf die Fahrbahn, wobei das zumindest eine Lichtkonversionsmittel (7) als optischer Resonator ausgebildet ist, der modulierte, scannende Laserstrahl (6) als primärer Laserstrahl die Pumpenergie mit der Pumpwellenlänge liefert und der Resonator ein Konversionsmaterial mit zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff enthält und an einer Austrittsoberfläche (7a) einen Austrittsstrahl (9) abgibt, der über das Abbildungssystem (10) das Lichtbild (11) auf der Fahrbahn liefert.

Fig. 1

SCHEINWERFER FÜR FAHRZEUGE

Die Erfindung bezieht sich auf einen Scheinwerfer für Fahrzeuge mit zumindest einer, mittels einer Ansteuerung und einer Recheneinheit modulierbaren Laserlichtquelle, deren Laserstrahl über ein von einer Laserablenksteuerung angesteuertes Strahlablenkmittel scannend auf zumindest ein Lichtkonversionsmittel gelenkt wird, und mit einem Abbildungssystem zur Projektion des durch das Lichtkonversionsmittel erzeugten Leuchtbildes als Lichtbild auf die Fahrbahn.

Scheinwerfer mit scannenden, modulierten Laserlichtquellen erzeugen üblicherweise ein Leuchtbild auf einem Lichtkonversionsmittel, oft kurz „Phosphor“ genannt, auf welchem durch Fluoreszenz das z.B. blaue Laserlicht in im Wesentlichen „weißes“ Licht umgewandelt wird. Das erzeugte Leuchtbild wird dann mit Hilfe des Abbildungssystems, z.B. einer Linsenoptik, auf die Fahrbahn projiziert. Das Strahlablenkmittel ist im Allgemeinen ein Mikrospiegel, der um eine oder um zwei Achsen schwingen kann, sodass z.B. ein zeilenweises Leuchtbild „geschrieben“ wird. Die Modulation der Laserlichtquelle bestimmt für jeden Punkt oder jede Zeile des Leuchtbildes die gewünschte Leuchtdichte, die einerseits gesetzlichen Vorgaben für das projizierte Lichtbild entsprechen muss und andererseits der jeweiligen Fahrsituation angepasst werden kann. Ein Scheinwerfer dieser Art ist beispielsweise Gegenstand der noch nicht veröffentlichten Patenanmeldung A 50435/2014 der Anmelderin vom 23. Juni 2014.

Eines der Probleme bekannter Scheinwerfer der gegenständlichen Art liegt in der Abstrahlcharakteristik des Lichtkonversionsmittels, das meist als Plättchen ausgebildet ist, wobei der scannende Laserstrahl bezüglich der Abstrahlrichtung des Leuchtbildes entweder von hinten oder von vorne auf dieses Plättchen auftrifft. Das Fluoreszenz- bzw. Phosphoreszenzlicht wird allerdings nicht gerichtet abgestrahlt, sondern auf Grund der spontanen Emission im gesamten 4π -Raum abgestrahlt, was insbesondere bei Verwendung einer Optik des Abbildungssystems mit kleinem wirksamen Durchmesser zu hohen Lichtverlusten führt. Auch die thermische Belastung des Lichtkonversionsmittels ist problematisch und kann zur dessen vorzeitigen Zerstörung führen. Daher besteht eine Aufgabe der Erfindung in der Lösung der genannten Probleme.

Diese Aufgabe wird mit einem Scheinwerfer der eingangs genannten Art gelöst, bei welchem erfindungsgemäß das zumindest eine Lichtkonversionsmittel als optischer Resonator ausgebildet ist, wobei der modulierte, scannende Laserstrahl als primärer Laserstrahl die Pumpenergie mit der Anregungswellenlänge liefert und der Resonator zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff enthält und an einer Austrittsoberfläche einen Austrittsstrahl abgibt, der über das Abbildungssystem das Lichtbild auf der Fahrbahn liefert.

Ein Vorteil der Erfindung liegt in der gerichteten Emission, denn die Fluoreszenzstrahlung wird in einem eng gebündelten Strahl normal zur Austrittsoberfläche des Resonators abgegeben. Es ergibt sich auch keine laterale Lichtdiffusion, sondern der Durchmesser des emittierten Lichtstrahls hängt ausschließlich von dem Durchmesser des primären Laserstrahls, des Pumplichtstrahls, ab. Im Gegensatz zu den Lösungen nach dem Stand der Technik, bei welchen die Fluoreszenz in allen Richtungen abstrahlt, kann man eine kleinere und daher nicht zuletzt kostengünstigere Optik zur Erzeugung des Lichtbildes auf der Straße verwenden. Da der Anregungslichtstrahl stärker in Ausbreitungsrichtung gestreut wird, entstehen in unterschiedlichen Richtungen unterschiedliche Farbeindrücke, die für eine additive Farbmischung mit den Blaulichtanteilen zur Verfügung stehen.

Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das Lichtkonversionsmittel/der optische Resonator als Farbstofflaser ausgebildet ist.

Falls das Lichtkonversionsmittel ein optischer Resonator ist, der an seiner Eintritts- und/oder an seiner Austrittsoberfläche eine reflektierende Oberflächenbeschichtung besitzt, können beispielsweise Verluste an im Resonator erzeugten Strahlung verringert werden.

Bei zweckmäßigen Ausführungsformen besteht das Lichtkonversionsmittel/der optische Resonator aus einem Konverterplättchen. Dabei kann die Dicke des Konverterplättchens bevorzugt im Bereich von 100 µm bis 1 mm liegen.

Falls die Oberflächenbeschichtung zumindest der Eintrittsoberfläche dichromatisch ist und bei der Emissionswellenlänge des optischen Resonators einen höheren Reflexionsgrad aufweist als bei der Pumpwellenlänge, ist eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrades möglich.

Praxisgerechte Ausführungsformen zeichnen sich dadurch aus, dass das aktive Konversionsmaterial des Lichtkonversionsmittels/Resonators eine Brechzahl von 1 bis 2, bevorzugt von 1,4 bis 1,8 besitzt.

Es hat sich auch als zweckmäßig gezeigt, wenn die Wellenlänge der zumindest einen modulierbaren Laserlichtquelle im blauen bis ultravioletten Bereich liegt.

Eine vorteilhafte Beeinflussung der Farbe des abgegebenen Lichts erhält man, wenn das Lichtkonversionsmittel/der Resonator zumindest zwei unterschiedliche Fluoreszenzfarbstoffe enthält. Dabei kann es vorteilhaft sein, wenn die Wellenlänge des primären Laserstrahls im sichtbaren Blau liegt und der Resonator zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff für Gelb/Grün enthält.

Andererseits können Ausbildungen zweckmäßig sein, bei welchen die Wellenlänge des primären Laserstrahls im Ultravioletten liegt und das Lichtkonversionsmittel/der Resonator zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff für Blau sowie zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff für Gelb/Grün enthält.

In vielen Fällen ist es jedoch sinnvoll, wenn die Reflexions- und Transmissionseigenschaften des Lichtkonversionsmittels/Resonators so gewählt sind, dass an seiner Austrittsseite ein modulierter und scannender Austrittsstrahl vorliegt, der einen Anteil aus dem primären Laserstrahl sowie einen Anteil aus zumindest einem sekundären, im Resonator erzeugten Laserstrahl besitzt.

Bei praxisgerechten Weiterbildungen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass zwischen dem Strahlablenmittel und dem Lichtkonversionsmittel/optischen Resonator eine Optik vorgesehen ist, welche für einen senkrechten Eintrittswinkel des Primärlaserstrahls auf die Eintrittsoberfläche des Resonators sorgt.

Dabei ist es angebracht, wenn die Optik eine Linsenanordnung zum Erzeugen eines telezentrischen Strahlenganges ist.

Falls das Lichtkonversionsmittel/der Resonator eine Oberflächenbeschichtung aufweist, die kleinräumig so strukturiert ist, dass benachbarte Bereiche unterschiedliche Wellenlängen reflektieren, kann eine Verbesserung der Farbwiedergabe erhalten werden.

Auch kann es vorteilhaft sein, wenn das Lichtkonversionsmittel/der Resonator ein gewinngeführter Laser ist. Bei einem solchen schwingen nämlich nur Moden geringer Ordnung an, so dass die Abstrahlung auf einen kleinen lateralen Bereich des Verstärkungsmediums beschränkt ist. Dies führt bei klassischen Laseranordnungen zu einer besseren Strahlqualität, d.h. einem Parameter M^2 nicht wesentlich größer als 1. Bei einem Scheinwerfer mit scannendem Laserstrahl wird das sogenannte "spatial hole burning" vermieden. Dabei werden unterschiedliche Bereiche des Konvertervolumens genutzt, so dass keine lokalen Absorptions-Sättigungseffekte auftreten.

Die Erfindung samt weiterer Vorteile ist im Folgenden an Hand beispielsweise Ausführungsformen näher erläutert, die in der Zeichnung veranschaulicht sind. In dieser zeigen

Fig. 1 in schematischer Ansicht eine erste Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 den prinzipiellen, schematisierten Strahlenverlauf bei einem Lichtkonversionsmittel nach dem Stand der Technik,

Fig. 3 den prinzipiellen, schematisierten Strahlenverlauf bei einem als optischer Resonator ausgebildeten Lichtkonversionsmittel gemäß der Erfindung,

Fig. 4 ein Detail der Fig. 3,

Fig. 5, 6 und 7 Ausführungsformen optischer Resonatoren mit unterschiedlicher Spiegelkrümmung und

Fig. 8 in einer der Fig. 1 ähnlichen Darstellung eine weitere Ausführungsform der Erfindung.

Unter Bezugnahme auf Fig. 1 wird nun ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert. Insbesondere sind die für einen erfindungsgemäßen Scheinwerfer wichtigen Teile dargestellt, wobei es klar ist, dass ein KFZ-Scheinwerfer noch viele andere Teile enthält, die seinen sinnvollen Einsatz in einem Kraftfahrzeug, wie insbesondere einem PKW, LKW oder

Motorrad, ermöglichen. Lichttechnischer Ausgangspunkt des Scheinwerfers ist eine Laserlichtquelle 1, die einen Laserstrahl 2 abgibt, und welcher eine hier nicht gezeigte Laseransteuerung zugeordnet ist, welche zur Stromversorgung sowie zur Überwachung der Laseremission oder z.B. zur Temperaturkontrolle dient und auch zum Modulieren der Intensität des abgestrahlten Laserstrahls eingerichtet ist. Unter "Modulieren" wird in Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung verstanden, dass die Intensität der Laserlichtquelle geändert werden kann, sei es kontinuierlich oder im Sinne eines Ein- und Ausschaltens gepulst. Wesentlich ist, dass die Lichtleistung analog dynamisch geändert werden kann, je nachdem, an welcher Winkelposition ein später näher beschriebener Spiegel steht. Zusätzlich gibt es noch die Möglichkeit des Ein- und Ausschaltens für eine gewisse Zeit, um definierte Stellen nicht zu beleuchten oder auszublenden. Ein Beispiel eines dynamischen Ansteuerungskonzepts zur Erzeugung eines Bildes durch einen scannenden Laserstrahl ist etwa in dem Dokument AT 514633 der Anmelderin beschrieben.

Die Laserlichtquelle enthält in der Praxis oft mehrere Laserdioden, beispielsweise vier zu z.B. je 1 Watt, um die gewünschte Leistung bzw. den geforderten Lichtstrom zu erreichen.

Die Laseransteuerung erhält ihrerseits wiederum Signale von einer zentralen Recheneinheit, welcher verschiedene Sensorsignale zugeführt werden können, z.B. Schaltbefehle zum Umschalten von Fernlicht auf Abblendlicht oder Signale, die beispielsweise von Sensoren, wie Kameras, aufgenommen werden, welche die Beleuchtungsverhältnisse, Umweltbedingungen und/oder Objekte auf der Fahrbahn erfassen. Auch können die Signale von einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikationsinformation stammen.

Die Laserlichtquelle 1, die im Allgemeinen bereits eine Kollimatoroptik (nicht gezeigt) enthält, gibt beispielsweise blaues Licht ab. Der Laserstrahl 2 trifft auf ein Strahlablenkmittel, der hier als Mikrospiegel 3 ausgebildet ist, und wird über eine Fokussieroptik 4 und eine Optik 5 zum Erzeugen eines telezentrischen Strahlengangs als scannender Laserstrahl 6 auf ein Lichtkonversionsmittel 7 gelenkt, an bzw. in dem ein Leuchtbild 8 mit einer vorgegebenen Lichtverteilung erzeugt wird. Das Lichtkonversionsmittel 7 besitzt eine vordere Eintrittsfläche 7e und eine dazu beispielsweise planparallele hintere Austrittsfläche 7a für die Lichtstrahlung, ebenso wie eine vordere Beschichtung 7v und eine hintere Beschichtung 7h. Auf den näheren Aufbau und die Funktion des Lichtkonversionsmittels 7, das als optischer

Resonator ausgebildet ist und dessen Austrittsstrahl mit 9 bezeichnet ist, wird weiter unten eingegangen.

Der Mikrospiegel 3 kann um eine oder um zwei Achsen verschwenkbar sein, wobei er den Laserstrahl 2 scannend über das Lichtkonversionsmittel 7 führt, auf dem dadurch das Leuchtbild 8, z.B. zeilenweise geschrieben wird. Schematisch ist das Leuchtbild 8 in Fig. 1A, welche eine Ansicht des Lichtkonversionsmittels 7 in Richtung des Pfeiles A der Fig. 1 zeigt, dargestellt. Das Leuchtbild 8 wird über ein Abbildungssystem, im vorliegenden Fall eine Linse 10, als Lichtbild 11 auf die Fahrbahn (nicht gezeigt) projiziert. In Fig. 1 sind zwei Lichtstrahlen nach der Linse 10 mit 12 bezeichnet und die von ihnen erzeugten Leuchtflecke auf der Fahrbahn mit 13. Dabei entspricht ein Lichtstrahl der Mittellage des maximalen Scanbereiches, dessen Scanwinkel mit α bezeichnet und links in Fig. 1 eingezeichnet ist, und der andere, in Fig. 1 oben eingezeichnete Lichtstrahl einer maximalen Auslenkung des Mikrospiegels 3. Der Bereich des telemetrischen Strahlenganges (in einer Auslenkrichtung) ist mit T bezeichnet.

Die Laserlichtquelle 1 wird mit hoher Frequenz gepulst oder kontinuierlich angesteuert, sodass entsprechend der Position des Mikrospiegels 3 beliebige Lichtverteilungen nicht nur einstellbar sind – beispielsweise Fernlicht/Abblendlicht – sondern auch rasch änderbar sind, wenn dies eine besondere Gelände- oder Fahrbahnsituation erfordert, beispielsweise wenn Fußgänger oder entgegenkommende Fahrzeuge durch Sensoren erfasst werden und dementsprechend eine Änderung der Geometrie und/oder Intensität des Leuchtbildes 8 der Fahrbahnausleuchtung erwünscht ist. Es sei angemerkt, dass auch andere Strahlablenkmittel, wie z.B. bewegbare Prismen, Verwendung finden können, wenngleich die Verwendung eines Mikrospiegels bevorzugt wird. Der Begriff „Fahrbahn“ wird hier zur vereinfachten Darstellung verwendet, denn selbstverständlich hängt es von den örtlichen Gegebenheiten ab, ob sich das Lichtbild 11 tatsächlich auf der Fahrbahn befindet oder auch darüber hinaus erstreckt. Prinzipiell entspricht das Lichtbild 11 einer Projektion auf eine vertikale Fläche entsprechend der einschlägigen Normen, die sich auf die KFZ-Beleuchtungstechnik beziehen.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird zunächst auf Fig. 2 Bezug genommen, welche schematisch und beispielsweise die Lichtumwandlung mittels eines herkömmlichen Lichtkonversionsmittels 14 nach dem Stand der Technik zeigt. Eine Laserlichtquelle 15 enthält

mehrere Laserdioden 16, welche bevorzugt blaues Licht abgeben und deren Licht mit Hilfe eines Optikelements 17, worunter auch eine Kombination mehrerer Optikelemente zu verstehen ist, zu einem kollimierten Laserstrahl 18 zusammengeführt wird. Bei Verwendung "blauer" Laser kommen beispielsweise Halbleiterlaser auf InGaN-Basis bei Wellenlängen von 405 und 450 nm in Frage, im UV-Bereich z.B. 365 bis 375 nm. Der Strahl 18 trifft auf die vordere Fläche 19 des Lichtkonversionsmittels 14 und durchsetzt das in dem Lichtkonversionsmittel 14 enthaltene Lichtkonversionsmaterial 20, kurz „Phosphor“ genannt. Der Phosphor wandelt beispielsweise blaues oder UV-Licht in "weißes" Licht um. Unter "Phosphor" wird in Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ganz allgemein ein Stoff oder eine Stoffmischung verstanden, welche Licht einer Wellenlänge in Licht einer anderen Wellenlänge oder eines Wellenlängengemisches, insbesondere in "weißes" Licht, umwandelt, was unter dem Begriff "Wellenlängenkonversion" subsumierbar ist. Man verwendet Lumineszenz-Farbstoffe, wobei die Ausgangswellenlänge im Allgemeinen kürzer und damit energiereicher als das emittierte Wellenlängengemisch ist. Der gewünschte Weißlichteindruck entsteht dabei durch additive Farbmischung. Dabei wird unter "weißes Licht" Licht einer solchen Spektralzusammensetzung verstanden, welches beim Menschen den Farbeindruck "weiß" hervorruft. Der Begriff "Licht" ist natürlich nicht auf für das menschliche Auge sichtbare Strahlung eingeschränkt. Für das Lichtkonversionsmittel kommen beispielsweise Optokeramiken in Frage, das sind transparente Keramiken, wie beispielsweise YAG:Ce (ein Yttrium-Aluminium-Granat mit Cer dotiert). Alternativ können Halbleitermaterialien mit eingebetteten Quantenpunkten genutzt werden.

An der hinteren Fläche 21, der Lichtaustrittsfläche des Lichtkonversionsmittels 14, tritt außer dem leicht gestreuten blauen Lichtstrahl 22 die konvertierte Strahlung 23, einer Lambert-schen Abstrahlcharakteristik folgend, aus. Durch additive Farbmischung des blauen Anregungs-Lichtstrahls 22 und der konvertierte Fluoreszenzstrahlung 23 entsteht dann der Eindruck eines „weißen“ Lichts, wobei der Farbeindruck zufolge der bevorzugten Ausbreitungsrichtung des blauen Lichts inhomogen ist. Dies stellt neben den bereits erwähnten offensichtlichen Lichtverlusten einen Nachteil des Standes der Technik dar.

Die Erfindung wird nun an Hand der Fig. 3 und 4, welche eine ihrer beispielsweise Ausführungen zeigen, näher erläutert, wobei gleiche oder vergleichbare Elemente hier und in den folgenden Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen sind. Fig. 4 zeigt dabei den Bereich des optischen Resonators bzw. des Lichtkonversionsmittels 7 in näherem Detail. Der

Laserlichtquelle 15 ist eine zusätzliche Fokussiereinheit 24, eingezeichnet als einfache Linse, nachgeordnet, welche den kollimierten blauen Laserstrahl 18 so fokussiert, dass der fokussierte primäre Laserstrahl 25 im Bereich der Mittenebene 26 des Lichtkonversionsmittels 7, das als optischer Resonator ausgebildet ist, seinen geringsten Strahldurchmesser, d.h. die kleinste Strahlentaille, aufweist. Genauer gesagt sollte der Anregungsstrahl im Volumen des Lichtkonversionsmittels seine höchste Intensität erreichen, wobei dieser Bereich der höchsten Intensität nicht zwingend in der Mittenebene liegen muss.

Ein in den Figuren bloß angedeutete Lichtkonversionsmaterial 27, das auch als Verstärkungsmedium bezeichnet werden kann, enthält zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff. An der Lichtaustrittsfläche 7a liegt der Austrittsstrahl 9 vor, dessen Licht aus einem z.B. blauen Anteil 28 des primären Laserstrahls 25, der auch als Pumpstrahl oder Anregungs-Lichtstrahl bezeichnet werden kann, und einem Anteil 29 des in dem optischen Resonator erzeugten Konversionslichtes, beispielsweise grüner oder gelber Farbe, zusammengesetzt ist. Die Konversion in dem Lichtkonversionsmaterial kann auf Fluoreszenz und/oder Phosphoreszenz beruhen, wobei im Folgenden vereinfachend von Fluoreszenz gesprochen wird.

Um einen optischen Resonator im Sinne der vorliegenden Erfindung zu erhalten, ist eine ausreichend intensive Anregung erforderlich, um eine Besetzungsinversion zu erzeugen. Dazu muss der Pumplichtstrahl, hier der Laserstrahl 25 ausreichend fokussiert sein. Weiters muss eine Rückkopplung im Sinne eines Resonators vorliegend, was hier bedeutet, dass der Reflexionsgrad der Vorder- und Rückseite des plättchenförmigen Resonators mit einer typischen Dicke bzw. Resonatorlänge L im Bereich von $100\text{ }\mu\text{m}$ bis 1 mm hinreichend groß sein muss. Im Bedarfsfall kann der Reflexionsgrad für die Emissionswellenlänge durch eine geeignete Beschichtung erhöht werden. Dabei ist eine dichroitische Beschichtung der Eintrittsfläche 7e, welche für die Anregungswellenlänge eine möglichst niedrige, für die Emissionswellenlänge hingegen eine sehr hohe Reflexion besitzt, besonders zweckmäßig. Hier ist die Rede von der Beschichtung 7v. Andererseits kann auch die Austrittsfläche 7a beschichtet sein. Bei typischen Geometrien ist größenordnungsmäßig mit etwa zehn Resonatorumläufen zu rechnen, was zum Anschwingen des durch den Resonator gebildeten Lasers hinreichend ist. Transversale Lasermoden werden durch die Intensitätsverteilung des Pumplichts und damit die räumliche Verteilung der Besetzungsinversion bestimmt. Der optische Resonator kann im Prinzip als Farbstofflaser ausgebildet sein, wobei allerdings der Begriff "Farbstofflaser" in einem weiteren Sinn als üblicherweise verwendet zu verstehen ist. Bei herkömmli-

chen Farbstofflasern werden in einer Flüssigkeit gelöste Farbstoffe benutzt und zusätzlich ein wellenlängenselektives optisches Element im Strahlengang, um über einen bestimmten Wellenlängenbereich eine durchstimmbare Laserquelle zu schaffen. Im vorliegenden Fall fehlt diese Funktionalität und das Verstärkermedium ist in der Regel fest, wobei Festkörper-Farbstofflaser bekannt sind, siehe z.B. DE 101 56 842 A1.

Um eine Nettoverstärkung zu ermöglichen, bei welcher die Verluste im Konversionsmaterial 27, insbesondere durch Streuung und Absorption, geringer sind, als der Signalzuwachs durch stimulierte Emission, muss ein möglichst verlustarmes Material gewählt werden, wobei in erster Linie keramische Materialien in Frage kommen. Eine große Auswahl von Konversionsmaterial und Leuchtstoffen findet sich beispielsweise in "Optimale Leuchtstoffe für LED-Applikationen", Thomas Jüstel, 2. Tagung: LED in der Lichttechnik, Essen, 12. - 13. März 2013 (www.fh-muenster.de/juestel) und in der DE 10 2008 021 438 A1.

In Fig. 4 erkennt man die Einhüllende 30 des primären Laserstrahls 25 mit einer Divergenz Θ_b sowie die Einhüllende 31 des Konversionslichtanteils 29 mit einer Divergenz Θ_g . Die gerichtete Abstrahlung des Konversionslichtes auf Grund stimulierter Emission ist mit 32 bezeichnet. Pfeile 33 sollen die Resonatorumläufe des konvertierten Lichtes andeuten.

Die Fig. 5, 6 und 7 zeigen beispielsweise drei der möglichen Geometrien optischer Resonatoren 34, 35, 36 der Länge L , wobei an dieser Stelle anzumerken ist, dass zum Zwecke der besseren Sichtbarkeit insbesondere der optische Resonator des Lichtkonversionsmittels 7 nicht maßstäblich sondern hinsichtlich seiner Dicke, genauer gesagt der Länge L , stark vergrößert dargestellt ist. Im Prinzip sind die Resonatoren als Fabry-Perot Resonatoren anzusehen.

Der Resonator 34 nach Fig. 5 weist zwei planparallele (teildurchlässige) Spiegel 34v, 34h auf, welche den vorderen bzw. hinteren Flächen 7a, 7e bzw. deren Beschichtungen 7v, 7h des Lichtkonversionsmittels (Resonators) der Fig. 1, 3 und 4 entsprechen. Die Krümmungsradien R_v , R_h der Spiegel 34v, 34h sind dementsprechend unendlich und die Einhüllende der sich ausbildenden Intensitätsverteilung einer stehenden Plan-Welle ist mit 37 bezeichnet.

Bei dem Resonator 35 der Fig. 6 entspricht der Krümmungsradius R_v , R_h der Spiegel 35v, 35h der Länge L des Resonators; die Einhüllende der sich ausbildenden Intensitätsverteilung einer stehenden Kugel-Welle ist mit 38 bezeichnet.

Bei dem Resonator 36 der Fig. 7 entspricht der Krümmungsradius R_v , R_h der Spiegel 36v, 36h der Länge L des Resonators; die Einhüllende der sich ausbildenden Intensitätsverteilung einer stehenden Kugel-Welle ist mit 39 bezeichnet.

Für Laser-Resonatoren gilt das Stabilitätskriterium: $0 \leq g_1 \cdot g_2 \leq 1$,
mit $g_1 = 1 - L/R_v$ und $g_2 = 1 - L/R_h$

Man erkennt, dass plan-parallele Resonatorausführungen zwar pseudo-stabil sind, sodass nur eine geringe Anzahl von Resonatorumläufen möglich ist und kleine Verkippungen bzw. Unebenheiten dazu führen, dass sich im Resonator keine stabile stehende Welle ausbildet und die Kohärenz somit gering ist. Für die vorliegende Anwendung ist dieser Umstand jedoch unproblematisch, da die bevorzugte Ausbreitungsrichtung mit eingeschränkter Divergenz für das Konversionslicht entscheidend ist.

Es ist anzumerken, dass man eine Verbesserung der Farbwiedergabe erzielen kann, falls der Resonator eine Oberflächenbeschichtung aufweist, die, beispielsweise im Sinne eines Bayer-Farbfilters kleinräumig so strukturiert ist, dass benachbarte Bereiche unterschiedliche Wellenlängen reflektieren. Ist die Strukturierung kleiner als der Durchmesser des primären (Pump)Laserstrahls, so werden gleichzeitig verschiedene Wellenlängen emittiert, sodass eine gezielte Verbesserung der Farbwiedergabe möglich ist.

Eine der anderen möglichen Ausführungen eines Lichtkonversionsmittels bzw. optischen Resonators ist der in Fig. 8 dargestellten Ausführungsform eines Scheinwerfers nach der Erfindung zu entnehmen. Hier liegt ein Lichtkonversionsmittel/Resonator 40 vor, der im Gegensatz zu den weiter oben beschriebenen Ausführungsformen nicht Plättchenform aufweist, sondern dessen Geometrie etwa der eines Dreiecksprismas entspricht. Das gleichfalls als optischer Resonator ausgebildete Lichtkonversionsmittel 40 besitzt drei optisch wirksame Flächen, eine vordere Eintrittsfläche 40e und einer dazu unter rechtem Winkel liegende hintere Austrittsfläche 40a mit einer vorderen Beschichtung 40v und einer hinteren Beschichtung 40h, sowie eine zu diesen beiden Flächen unter etwa 45° verlaufende Reflexi-

onsfläche 40r. Letztere Fläche 40r besitzt eine Beschichtung 40t, wobei diese Beschichtung – im Gegensatz zu den Beschichtungen 40h und 40v – einen möglichst hohen Reflexionsgrad sowohl für das blaue Licht der Laserlichtquelle 1 als auch für das durch stimulierte Emission im Inneren des Lichtkonversionsmittels/Resonators 40 erzeugte, z.B. gelb/grüne oder rote Licht aufweisen soll. Bei der dargestellten Ausführungsform wird der eintretende Strahl zwischen den Flächen 40a und 40e gefaltet. Zum Begriff der Reflexionsfläche sei noch angemerkt, dass die Lichtumlenkung auch über Totalreflexion realisiert werden kann.

Liste der Bezugszeichen

- 1 Laserlichtquelle
- 2 Laserstrahl
- 3 Mikrospiegel, Strahlablenkmittel
- 4 Fokussieroptik
- 5 Optik
- 6 scannender Laserstrahl
- 7 Lichtkonversionsmittel / Resonator
- 7a Austrittsfläche
- 7e Eintrittsfläche
- 7h Beschichtung, hintere
- 7v Beschichtung, vordere
- 8 Leuchtbild
- 9 Austrittsstrahl
- 10 Linse; Abbildungssystem
- 11 Lichtbild
- 12 Lichtstrahl
- 13 Leuchtfleck
- 14 Lichtkonversionsmittel
- 15 Laserlichtquelle
- 16 Laserdioden
- 17 Optikelement
- 18 Laserstrahl, kollimierter
- 19 vordere Fläche von 14
- 20 Lichtkonversionsmaterial, Phosphor
- 21 hintere Fläche von 14
- 22 gestreuter Lichtstrahl, blau
- 23 konvertierte Strahlung
- 24 Fokussiereinheit
- 25 primärer Laserstrahl
- 26 Mittenebene von 7
- 27 Konversionsmaterial
- 28 blauer Anteil

29	Anteil
30	Einhüllende von 25
31	Einhüllende von 29
32	Abstrahlung
33	Pfeile
34	optischer Resonator
34h	Spiegel
34v	Spiegel
35	optischer Resonator
35h	Spiegel
35v	Spiegel
36	optischer Resonator
36h	Spiegel
36v	Spiegel
37	Einhüllende
38	Einhüllende
39	Einhüllende
40	Lichtkonversionsmittel / Resonator
40a	Austrittsfläche
40e	Eintrittsfläche
40h	Beschichtung, hintere
40v	Beschichtung, vordere
41	Beschichtung
α	Scanwinkel
Θ_b	Divergenz
Θ_g	Divergenz
L	Länge
T	Bereich

PATENTANSPRÜCHE

1. Scheinwerfer für Fahrzeuge mit zumindest einer, mittels einer Ansteuerung und einer Recheneinheit modulierbaren Laserlichtquelle (1), deren Laserstrahl (2) über ein von einer Laserablenksteuerung angesteuertes Strahlablenkmittel (3) scannend auf zumindest ein Lichtkonversionsmittel (7, 40) gelenkt wird, und mit einem Abbildungssystem (10) zur Projektion des durch das Lichtkonversionsmittel erzeugten Leuchtbildes (8) als Lichtbild (11) auf die Fahrbahn,

dadurch gekennzeichnet, dass

das zumindest eine Lichtkonversionsmittel (7) als optischer Resonator ausgebildet ist, wobei der modulierte, scannende Laserstrahl (6) als primärer Laserstrahl die Pumpenergie mit der Pumpwellenlänge liefert und der Resonator ein Konversionsmaterial (27) mit zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff enthält und an einer Austrittsoberfläche (7a) einen Austrittsstrahl (9) abgibt, der über das Abbildungssystem (10) das Lichtbild (11) auf der Fahrbahn liefert.

2. Scheinwerfer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der optische Resonator/Lichtkonversionsmittel (7, 40) als Farbstofflaser ausgebildet ist.

3. Scheinwerfer nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtkonversionsmittel (7, 40) ein optischer Resonator ist, der an seiner Eintritts- und/oder an seiner Austrittsoberfläche eine reflektierende Oberflächenbeschichtung (7v, 7h) besitzt.

4. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtkonversionsmittel (7)/der optische Resonator aus einem Konverterplättchen besteht.

5. Scheinwerfer nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke des Konverterplättchens im Bereich von 100 µm bis 1 mm liegt.

6. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberflächenbeschichtung zumindest der Eintrittsoberfläche dichromatisch ist und bei der Emissionswellenlänge des optischen Resonators einen höheren Reflexionsgrad aufweist als bei der Pumpwellenlänge.

7. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aktive Konversionsmaterial des Lichtkonversionsmittels (7, 40)/Resonators eine Brechzahl von 1 bis 2, bevorzugt von 1,4 bis 1,8 besitzt.
8. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wellenlänge der zumindest einen modulierbaren Laserlichtquelle im blauen bis ultravioletten Bereich liegt.
9. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtkonversionsmittel (7, 40)/der Resonator zumindest zwei unterschiedliche Fluoreszenzfarbstoffe enthält.
10. Scheinwerfer nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wellenlänge des primären Laserstrahls (6) im sichtbaren Blau liegt und das Lichtkonversionsmittel (7, 40)/der Resonator zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff für Gelb/Grün enthält.
11. Scheinwerfer nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wellenlänge des primären Laserstrahls im Ultravioletten liegt und das Lichtkonversionsmittel (7, 40)/der Resonator zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff für Blau sowie zumindest einen Fluoreszenzfarbstoff für Gelb/Grün enthält.
12. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reflexions- und Transmissionseigenschaften des Lichtkonversionsmittels (7, 40)/Resonators so gewählt sind, dass an seiner Austrittsseite ein modulierter und scannender Austrittsstrahl (9) vorliegt, der einen Anteil aus dem primären Laserstrahl sowie einen Anteil aus zumindest einem sekundären, im Resonator erzeugten Laserstrahl besitzt.
13. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem Strahlablenkmittel (3) und dem optischen Resonator (7, 40) eine Optik (5) vorgesehen ist, welche für einen senkrechten Eintrittswinkel des Primärlaserstrahls (9) auf die Eintrittsoberfläche (7e) des Lichtkonversionsmittels (7, 40)/Resonators sorgt.
14. Scheinwerfer nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Optik (5) eine Linsenanordnung zum Erzeugen eines telezentrischen Strahlenganges ist.

15. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtkonversionsmittel (7, 40)/der Resonator eine Oberflächenbeschichtung aufweist, die kleinräumig so strukturiert ist, dass benachbarte Bereiche unterschiedliche Wellenlängen reflektieren.

16. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtkonversionsmittel (7, 40)/der Resonator ein gewinngeführter Laser ist.

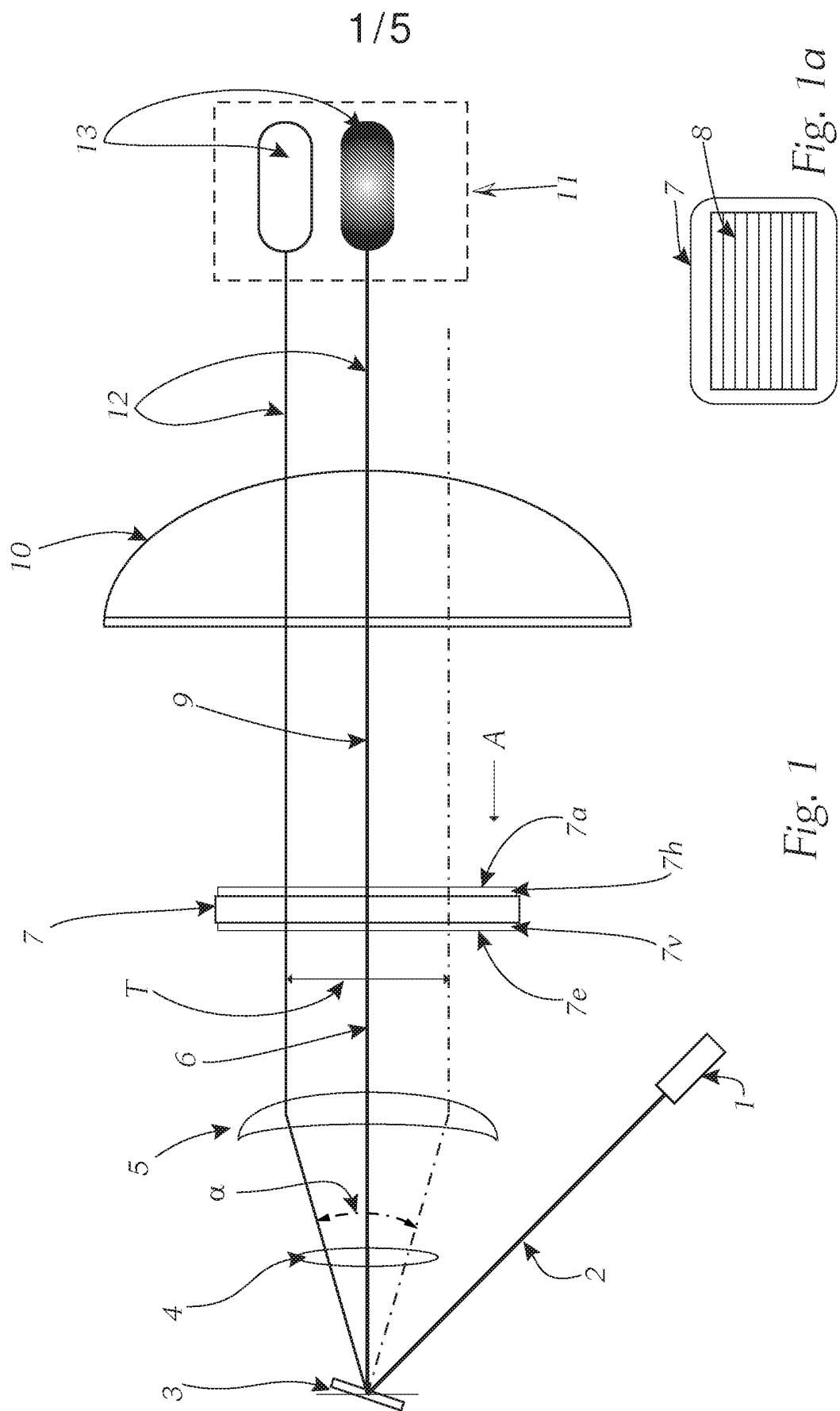


Fig. 1

Fig. 1a

2/5

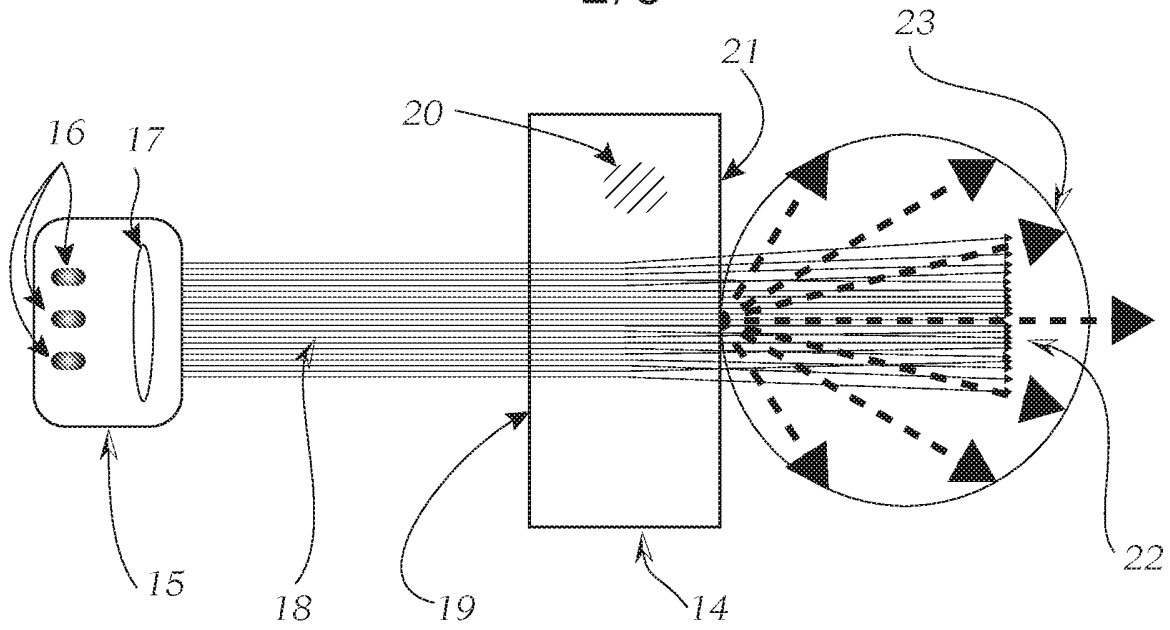


Fig. 2 (Stand der Technik)

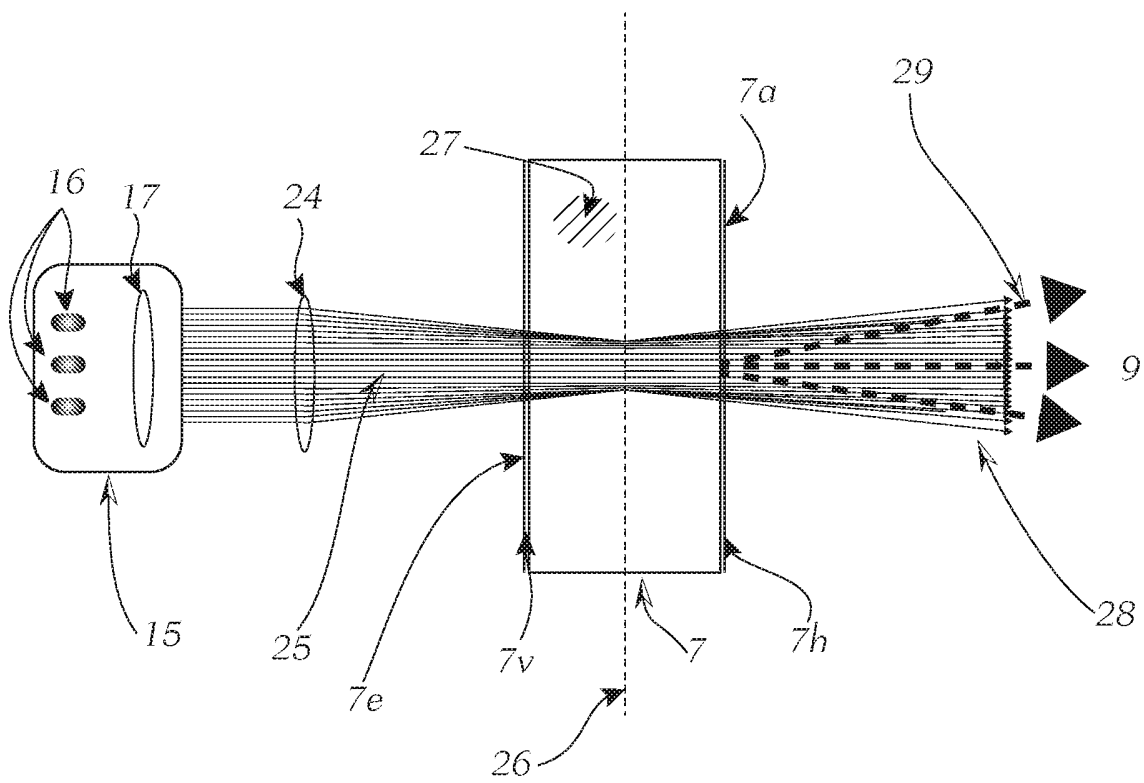


Fig. 3

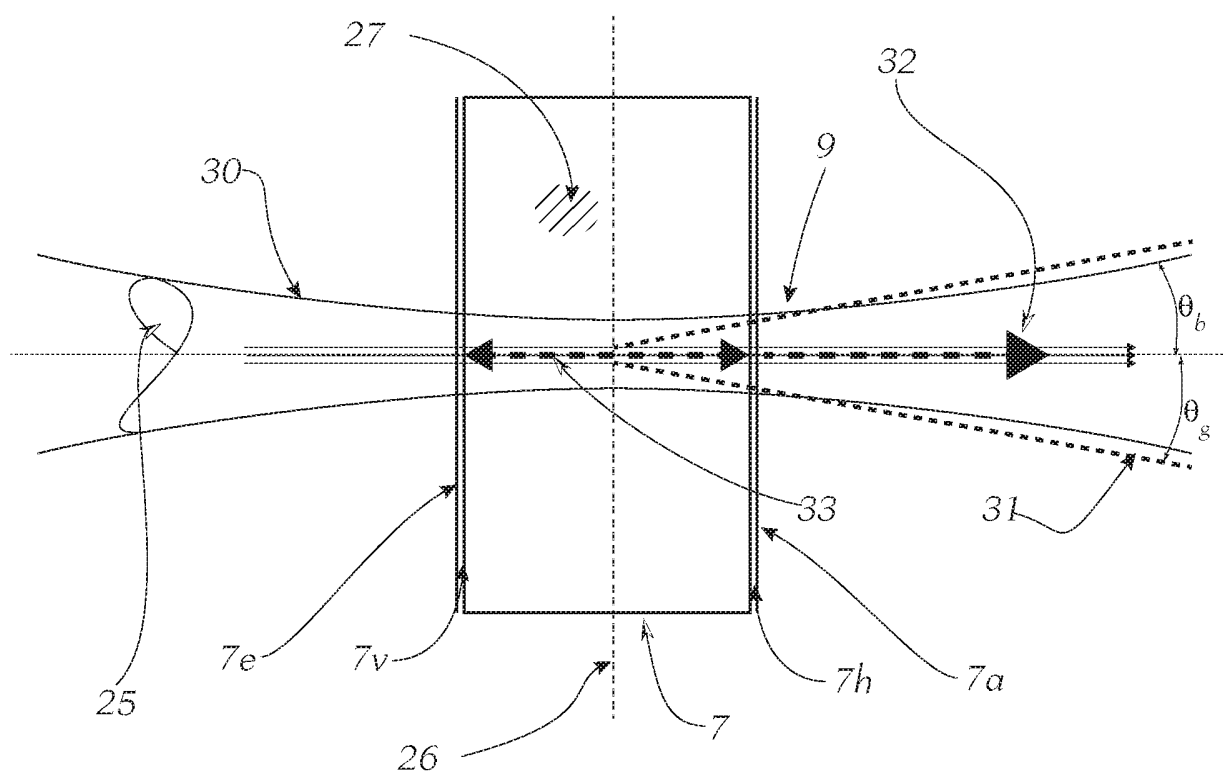


Fig. 4

4/5

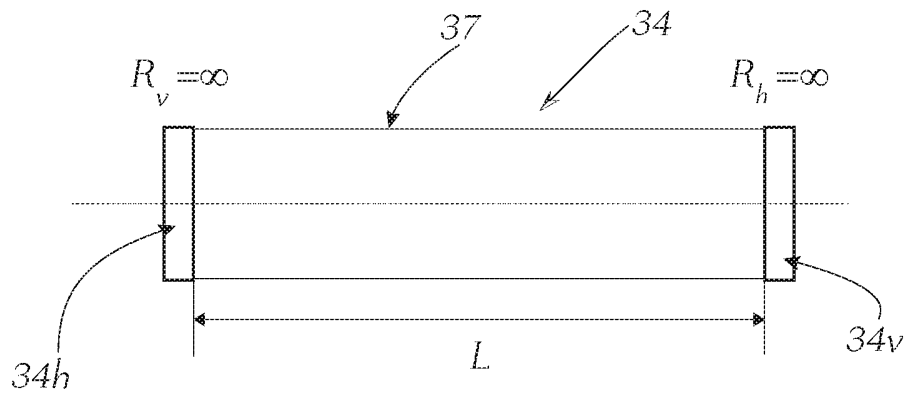


Fig. 5

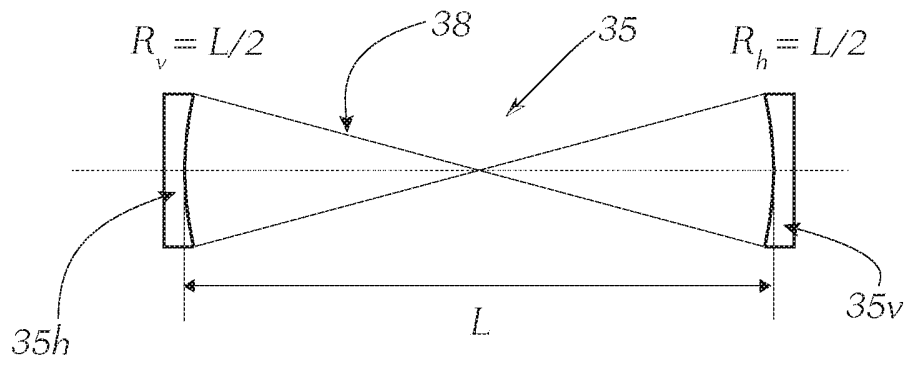


Fig. 6

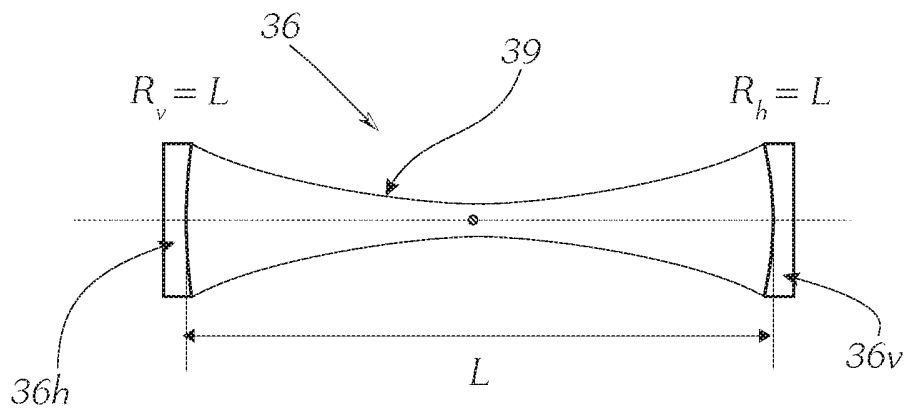


Fig. 7

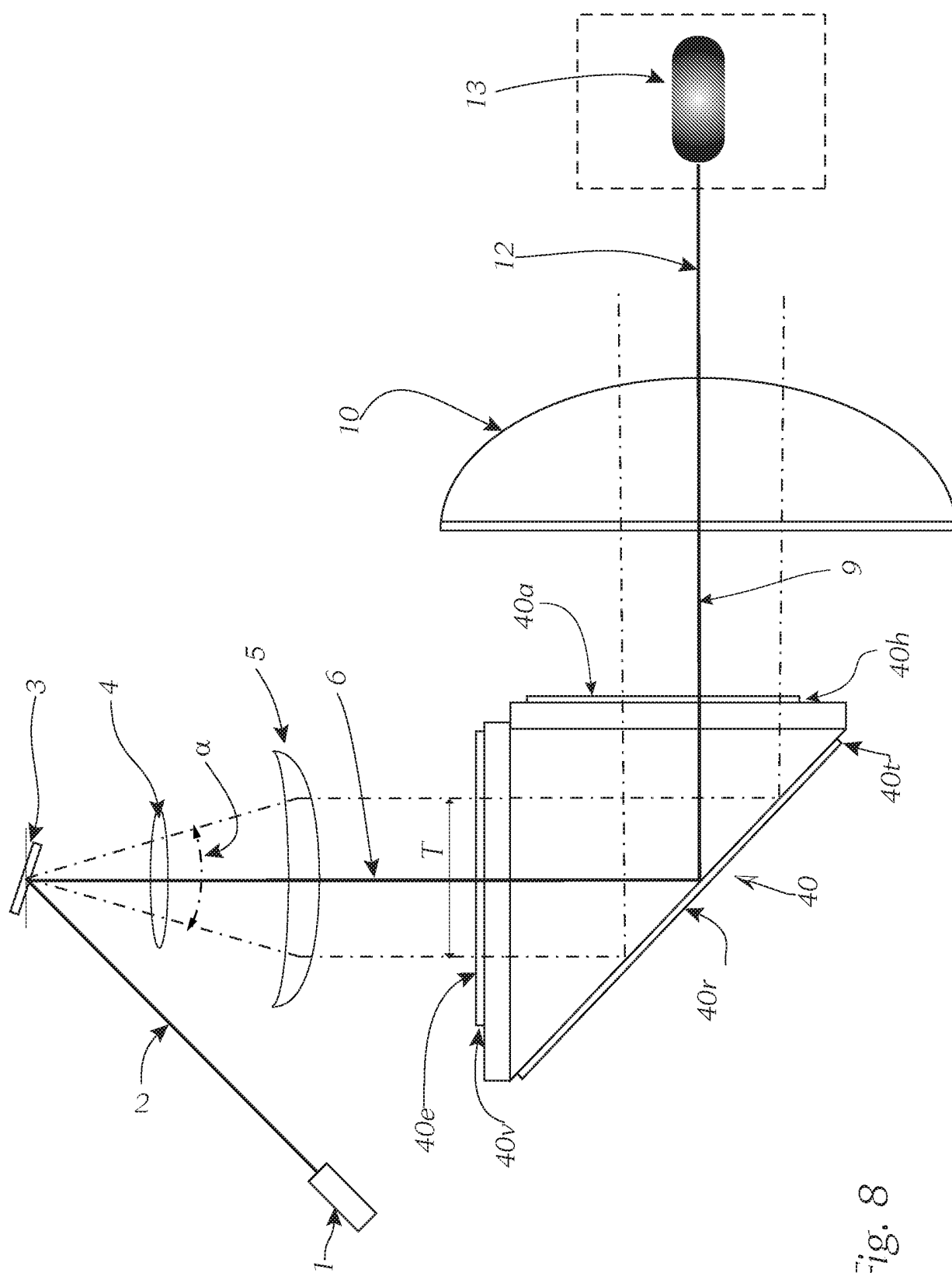


Fig. 8