



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 203 572.1**

(22) Anmeldetag: **01.03.2013**

(43) Offenlegungstag: **04.09.2014**

(51) Int Cl.: **F21V 9/10** (2006.01)

F21K 2/00 (2006.01)

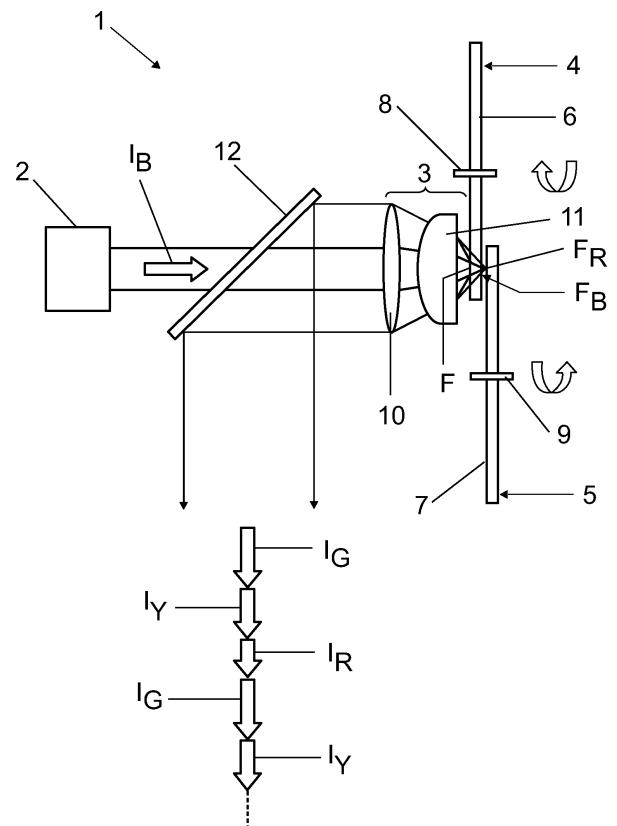
G03B 21/14 (2006.01)

(71) Anmelder:
OSRAM GmbH, 80807, München, DE

(72) Erfinder:
Mehl, Oliver, 14167, Berlin, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungsanordnung mit Pumplichtquelle und mindestens zwei Leuchtstoffröhren**



(57) Zusammenfassung: Die Erfindung schlägt eine Beleuchtungsanordnung (1) mit einer Pumplichtquelle (2) und zwei oder mehr unmittelbar hintereinander angeordneten Leuchtstoffröhren (4, 5) vor. Dadurch kann einerseits die Verlustwärme über die zwei Leuchtstoffröhren (4, 5) abgeführt werden. Andererseits ist für das Sammeln des von dem ersten Leuchtstoffrad (4) und dem zweiten Leuchtstoffrad (5) emittierten Konversionslicht nur eine einzige gemeinsame Sammeloptik (3) erforderlich.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung geht aus von einer Beleuchtungsanordnung mit einer Pumplichtquelle und einem Leuchtstoffrad zur Umwandlung zumindest eines Teils des Pumplichts in Konversionslicht. Eine derartige Beleuchtungsanordnung ist insbesondere einsetzbar als Licht erzeugende Einheit in einem Projektor, z.B. für Videoprojektoren oder Datenprojektoren.

Stand der Technik

[0002] Aus dem Stand der Technik, beispielsweise dem Dokument US 2010/0245777 A1, sind Beleuchtungsanordnungen für Projektionsanwendungen bekannt, welche ein Leuchtstoffrad mit einem oder mehreren Leuchtstoffen aufweisen. Diese Beleuchtungsanordnungen umfassen dabei eine Pumplichtquelle, die den Leuchtstoff zur Emission von Licht mit einer von der Pumplichtwellenlänge verschiedenen Wellenlänge anregt (Wellenlängenkonversion des Pumplichts mittels Leuchtstoff). Üblicherweise sind die Leuchtstoffe in Rotationsrichtung des Leuchtstoffrads aufeinander folgend angeordnet, so dass das von dem jeweiligen Leuchtstoff emittierte Licht (Konversionslicht) zeitlich sequentiell erzeugt und dem bildgebenden System zugeführt wird.

[0003] Als Pumplichtquelle werden vorzugsweise Laser, beispielsweise Laserdioden, eingesetzt. In diesem Fall ist die Technologie auch unter der Bezeichnung LARP ("Laser Activated Remote Phosphor") bekannt. Um die Laserleistung im zeitlichen Mittel auf eine größere Fläche zu verteilen und damit u.a. thermisches Quenchen des Leuchtstoffes zu verringern, ist der mindestens eine Leuchtstoff üblicherweise auf ein im Betrieb rotierendes Rad aufgebracht. In diesem Leuchtstoffrad wird eine mit der Pumpleistung zunehmende Verlustleistung deponiert, die zum größten Teil auf der Energiedifferenz der Photonen zwischen der absorbierten und der emittierten Strahlung beruht (Stokes-Shift). Da das Pumplicht üblicherweise im kurzwelligen Spektralbereich ist, beispielsweise im blauen, ist die Verlustleistung bei im roten Spektralbereich emittierenden Leuchtstoffen (Rotleuchtstoffe) höher als bei im grünen Spektralbereich emittierenden Leuchtstoffen (Grünleuchtstoffe). Diese Verlustleistung führt zu einer Erwärmung des Leuchtstoffrades. Die Wärme wird durch Oberflächenstrahlung, durch Konvektion des Umgebungsmediums (z.B. Luft) und durch Wärmeleitung, z.B. über die Rotationsachse abgeführt, so dass sich eine stabile Betriebstemperatur einstellt. Die Konversionseffizienz vieler Leuchtstoffe, z.B. nitridischer Leuchtstoffe für den roten Spektralbereich (nitridische Rotleuchtstoffe), verringert sich mit steigender Betriebstemperatur. Die für höhere Ausgangsleistung

gen (Lichtleistung) nötige Steigerung der Pumpleistung bzw. Leistungsdichte hat eine höhere Verlustwärme bzw. Wärmekonzentration zur Folge. Dies kann zum Teil durch eine Vergrößerung des Durchmessers des Leuchtstoffrades kompensiert werden, da dann eine größere Fläche für die Wärmeabfuhr zur Verfügung steht (ursprünglicher Durchmesser 33 mm, dann 40mm, jetzt 55mm, zukünftig bis 85mm). Aufgrund der Anforderungen an den Platzbedarf und auch an die Leistung des Radmotors sind diesem Leistungsskalierungskonzept Grenzen gesetzt.

Darstellung der Erfindung

[0004] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Beleuchtungsanordnung, insbesondere eine Beleuchtungsanordnung für Projektionsanwendungen, anzugeben, die auch für höhere Pumpleistungen geeignet ist.

[0005] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Beleuchtungsanordnung, umfassend eine Pumplichtquelle, ein erstes Leuchtstoffrad, wobei das erste Leuchtstoffrad mindestens einen ersten Leuchtstoffbereich aufweist, der mit dem Pumplicht der Pumplichtquelle bestrahlbar ist und dieses Pumplicht zumindest teilweise wellenlängenumgewandelt wieder abstrahlt, und wobei das erste Leuchtstoffrad mindestens einen ersten Durchlichtbereich aufweist, ein zweites Leuchtstoffrad, wobei das zweite Leuchtstoffrad mindestens einen zweiten Leuchtstoffbereich aufweist, der mit dem Pumplicht der Pumplichtquelle bestrahlbar ist und dieses Pumplicht zumindest teilweise wellenlängenumgewandelt wieder abstrahlt, wobei die beiden Leuchtstoffräder für eine Rotation um ihre Rotationsachse ausgelegt sind und wobei die beiden Leuchtstoffräder unmittelbar hintereinander und so zueinander und zu einem Strahlengang der Pumplichtquelle angeordnet sind, dass der erste Leuchtstoffbereich des ersten Leuchtstoffrades durch den Strahlengang der Pumplichtquelle hindurch drehbar ist, der erste Durchlichtbereich des ersten Leuchtstoffrades durch den Strahlengang der Pumplichtquelle hindurch drehbar ist und der zweite Leuchtstoffbereich des zweiten Leuchtstoffrades hinter dem ersten Durchlichtbereich des ersten Leuchtstoffrades, also diesem nachgelagert, durch den Strahlengang der Pumplichtquelle hindurch drehbar ist.

[0006] Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

[0007] Der Grundgedanke der vorliegenden Erfindung besteht also darin, den mit dem Pumplicht zu bestrahlenden Leuchtstoff auf zwei oder mehr unmittelbar hintereinander angeordnete Leuchtstoffräder aufzuteilen. Dadurch kann einerseits die Verlustwärme über mehrere Leuchtstoffräder abgeführt werden. Dies ermöglicht die Leistungsskalierung des

LARP-Konzeptes bis weit in den Multikilolumen-Bereich hinein. Besonders geeignet erscheint dieses Konzept aus derzeitiger Sicht für mehr als 10 Kilolumen (10 klm). Durch einen für das Pumplicht transparenten Bereich (Durchlichtbereich), beispielsweise einen Schlitz oder einen transparenten Materialbereich, im vorherigen Leuchtstoffrad kann das Pumplicht ohne Wellenlängenänderung auf das nachfolgende Leuchtstoffrad gelangen. Die Leuchtstoffräder drehen also durch den gleichen Pumpstrahlengang. Andererseits hat diese erfindungsgemäße Anordnung den Vorteil, dass keine zusätzliche strahlformende optische Bauteile zum Betrieb mehrerer Leuchtstoffräder benötigt werden. Insbesondere sind im Zwischenraum zwischen den Leuchtstoffrädern keine weiteren separate Sammel- oder Fokussieroptiken vorgesehen.

[0008] Außerdem können Leuchtstoffe auf unterschiedliche Leuchtstoffräder aufgeteilt werden, insbesondere unter Berücksichtigung einer unterschiedlichen Temperaturabhängigkeit dieser Leuchtstoffe. Dazu kann ein erster Leuchtstoffbereich mit mindestens einem Leuchtstoff aus einer Gruppe vom Typ I auf einem ersten Leuchtstoffrad vorgesehen sein. Außerdem kann ein zweiter Leuchtstoffbereich mit mindestens einem Leuchtstoff aus einer Gruppe vom Typ II auf einem zweiten Leuchtstoffrad vorgesehen sein. Die Leuchtstoffe aus der Gruppe vom Typ I weisen eine geringere Temperaturabhängigkeit der Konversionseffizienz auf als die Leuchtstoffe aus der Gruppe vom Typ II. Dadurch wird der temperaturempfindlichere Leuchtstoff (Typ II) nicht von der Verlustwärme der anderen Leuchtstoffe (Typ I) aufgeheizt. Der Gruppe vom Typ I können etliche Gelb-, Grün und Blauleuchtstoffe zugeordnet werden, beispielsweise Cer-dotierte Granatleuchtstoffe sowohl im gelben als auch grünen Spektralbereich. Der Gruppe vom Typ II können die meisten Rotleuchtstoffe, insbesondere nitridische Rotleuchtstoffe, aber auch Grün- und Blauleuchtstoffe, beispielsweise auf Orthosilikat- und Barium-Aluminium-Magnesium-Basis, zugeordnet werden.

[0009] Das von den Leuchtstoffen sowohl des ersten als auch des zweiten Leuchtstoffrads emittierte Konversionslicht wird erfindungsgemäß mit einer zwischen Pumplichtquelle und dem ersten Leuchtstoffrad angeordneten Sammeloptik eingesammelt. Damit die Effizienz der Sammeloptik für das Sammeln des Konversionslichts nicht inakzeptabel absinkt, sind das erste und das zweite Leuchtstoffrad sehr dicht hintereinander in der Nähe der Brennweite der Sammeloptik angeordnet. Typischerweise beträgt der Abstand zwischen erstem und zweitem Leuchtstoffrad wenige Millimeter, insbesondere weniger als 10 mm, bevorzugt weniger als 5 mm, besonders bevorzugt weniger als 2 mm.

[0010] Vorzugsweise ist die Sammeloptik als chromatisches Objektiv ausgelegt ist, dessen Brennweite für Licht längerer Wellenlänge länger ist. Um die Effizienz für das Sammeln des Konversionslichts zu optimieren, ist ein Leuchtstoff mit dem längerwelligeren Konversionsspektrum, also insbesondere ein Rotleuchtstoff (R), deshalb bevorzugt auf dem zweiten Leuchtstoffbereich des „hinteren“ zweiten Leuchtstoffrads angeordnet, ein Leuchtstoff mit kürzerwelligerem Konversionsspektrum, also beispielsweise Gelb-(Y), Grün-(G) oder Blauleuchtstoffe (B), auf dem ersten Leuchtstoffbereich des „vorderen“ ersten Leuchtstoffrads.

[0011] Die erfindungsgemäße Beleuchtungsvorrichtung wird also im Kern mit den folgenden Verfahrensschritten betrieben:

Erzeugen eines ersten Konversionslichts durch Drehen des ersten Leuchtstoffrads durch den Pumplichtstrahl,

Erzeugen eines zweiten Konversionslichts durch Drehen des zweiten Leuchtstoffrads durch den Pumplichtstrahl,

Sammeln des ersten und zweiten Konversionslichts mittels der zwischen Pumplichtquelle und erstem Leuchtstoffrad angeordneten Sammeloptik.

[0012] Da der Pumplichtstrahl beim Erzeugen des zweiten Konversionslichts durch den Durchlichtbereich des ersten Leuchtstoffrads hindurchtritt, werden das erste Konversionslicht und das zweite Konversionslicht zeitlich versetzt erzeugt.

[0013] Das mittels der Sammeloptik gesammelte Konversionslicht kann mit Hilfe eines geeigneten wellenlängenselektiven, optischen Elements, beispielsweise eines zwischen der Pumplichtquelle und der Sammeloptik angeordneten dichroitischen Spiegels, aus dem Pumplichtstrahlengang ausgekoppelt und beispielsweise einer bildgebenden Einheit zugeführt werden.

[0014] Durch geeignete Wahl der Brennweite der Sammeloptik kann auch die Lage des Brennflecks des Pumplichts zwischen dem ersten Leuchtstoffrad und dem zweiten Leuchtstoffrad eingestellt werden. Dadurch lässt sich auch gezielt eine gewünschte Größe des Pumplichtflecks und/oder die Intensitätsverteilung auf dem jeweiligen Leuchtstoffrad einstellen, z.B. gleiche oder unterschiedliche Größen der Pumplichtflecke auf den beiden Leuchtstoffrädern.

[0015] Der erste Leuchtstoffbereich und der erste Durchlichtbereich sind auf dem ersten Leuchtstoffrad vorzugsweise in Rotationsrichtung aufeinander folgend angeordnet, beispielsweise in Form von Kreisringsegmenten, um eine zeitlich sequentielle Abfolge verschiedener Leuchtstoffkonversionsphasen zu erzielen. Der erste Leuchtstoffbereich auf dem ersten Leuchtstoffrad kann auch mehrere Segmente mit un-

terschiedlichen Leuchtstoffen vom Typ I umfassen. Außerdem kann auf dem ersten Leuchtstoffrad auch ein zweiter Durchlichtbereich vorgesehen sein. Der zweite Durchlichtbereich kann sich unmittelbar an den ersten anschließen oder durch ein lichtundurchlässiges Segment, insbesondere ein Leuchtstoffsegment, vom ersten Durchlichtbereich getrennt sein. Im letzteren Fall ist der erste Leuchtstoffbereich also nicht zusammenhängend sondern in separate Teilbereiche getrennt.

[0016] Außerdem kann es vorgesehen sein, dass ein oder mehrere oder alle Leuchtstoffräder in Richtung ihrer jeweiligen Drehachse bzw. in Richtung der Strahlachse des auftreffenden Pumplichtstrahls, falls die Achsen nicht kollinear sind, verschiebbar sind. Dadurch kann beispielsweise der zuvor angesprochene Durchmesser des jeweiligen Pumplichtflecks auf dem Leuchtstoffrad und/oder die Effizienz der Sammeloptik für das Sammeln des jeweiligen Konversionslichts variiert werden.

[0017] Damit das Pumplicht durch den Durchlichtbereich des ersten Leuchtstoffrads hindurch auf den Leuchtstoffbereich des zweiten Leuchtstoffrads treffen kann, können die Leuchtstoffräder einander teilweise überlappend angeordnet sein. Die Rotationsachsen der beiden Leuchtstoffräder sind dabei parallel versetzt zueinander orientiert. In Richtung der Rotationsachsen betrachtet überlappen die Leuchtstoff- bzw. Durchlichtbereiche beider Räder, letzteres im Wrap-Around-Fall, in dem Bereich des auftreffenden Pumplichtstrahls.

[0018] Alternativ können die beiden Leuchtstoffräder auf einer gemeinsamen Rotationsachse angeordnet sein. Wenn die beiden Räder mit der gemeinsamen Rotationsachse starr verbunden sind, muss der Leuchtstoffbereich auf dem zweiten Leuchtstoffrad so angeordnet ist, dass zumindest ein Teil davon in geradliniger Projektion des Durchlichtbereichs des ersten Leuchtstoffrads liegt. Nur dann trifft der Pumplichtstrahl auch auf den Leuchtstoffbereich des zweiten Leuchtstoffrads, wenn der Durchlichtbereich des ersten Leuchtstoffrads durch den Pumplichtstrahl hindurch dreht. Um die Effizienz für das Sammeln des Konversionslichts nicht inakzeptabel zu verringern, sind die beiden Leuchtstoffräder vorzugsweise relativ dicht hintereinander und zumindest in der Nähe der wellenlängenabhängigen Foki angeordnet. Aufgrund der realisierbaren wellenlängenabhängigen Brennweitendifferenzen des chromatischen Objektivs sind die beiden Leuchtstoffräder typischerweise im Abstand von einigen mm angeordnet. Um die Abfuhr der Verlustwärme, insbesondere des hinteren Leuchtstoffrads (vom auftreffenden Pumplichtstrahl aus betrachtet), zu verbessern, kann eine Innenbelüftung zwischen den beiden Leuchtstoffrädern vorteilhaft sein.

[0019] Im Fall separater Rotationsachsen kann auch ein zusätzliches drittes Leuchtstoffrad vorgesehen sein. Die Rotationsachsen der drei Leuchtstoffräder sind parallel versetzt zueinander so orientiert, dass die drei Leuchtstoffräder unmittelbar hintereinander in einem gemeinsamen Teilbereich überlappen und in diesem Überlappbereich durch den Pumplichtstrahl hindurch drehen.

[0020] Außerdem kann das erste Leuchtstoffrad auch einen Filterbereich mit einer spektralen Filterwirkung für das vom zweiten Leuchtstoffrad emittierte Konversionslicht aufweisen. Dieser Filterbereich muss natürlich für das gleichzeitig hindurchtretende Pumplicht transparent sein. Mit anderen Worten ist ein Durchlassbereich als Spektralfilter ausgebildet, der einerseits das Konversionslicht spektral filtert, andererseits das Pumplicht unverändert passieren lässt.

[0021] Beispielsweise kann das zweite Leuchtstoffrad mit einem Gelbleuchtstoff versehen sein und das erste Leuchtstoffrad mit einem anderen Leuchtstoff, z.B. Grünleuchtstoff, und einem als Kombinationsfilter ausgelegten Durchlassbereich. Das Kombinationsfilter vereint einen Langpassfilter mit einem zusätzlichen Transmissionsband bei der Pumplichtwellenlänge (beispielsweise 450+/-10nm). Dadurch kann einerseits das Pumplicht den Filterbereich spektral unverändert passieren, andererseits lässt das Langpassfilter nur den langwelligen, also roten Spektralanteil des vom Gelbleuchtstoff emittierten Konversionslichts passieren. Eine derartige Konfiguration hat den Vorteil, dass auf einen temperaturempfindlichen Rotleuchtstoff verzichtet werden kann. Es hat sich gezeigt, dass damit unter realen Bedingungen ein höherer Lichtstrom erzeugt werden kann als mit einem Rotleuchtstoff, wegen dessen deutlich höherer Temperaturabhängigkeit der Konversionseffizienz.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0022] Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Figuren zeigen:

[0023] Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Beleuchtungsvorrichtung mit zwei Leuchtstoffrädern,

[0024] Fig. 2a-c eine erste Ausführungsform für die beiden Leuchtstoffräder gemäß der Beleuchtungsvorrichtung aus Fig. 1,

[0025] Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Beleuchtungsvorrichtung mit zwei Leuchtstoffrädern,

[0026] Fig. 4a–c eine Ausführungsform für die beiden Leuchtstoffräder gemäß der Beleuchtungsvorrichtung aus Fig. 3,

[0027] Fig. 5 ein Ausführungsform zweier Leuchtstoffräder mit gemeinsamer Drehachse,

[0028] Fig. 6 eine Ausführungsform dreier überlappender Leuchtstoffräder.

Bevorzugte Ausführung der Erfindung

[0029] Gleiche oder gleichartige Merkmale können im Folgenden der Einfachheit halber auch mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sein.

[0030] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Beleuchtungsvorrichtung 1 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0031] Die Beleuchtungsvorrichtung 1 weist eine Laservorrichtung 2 als Pumplichtquelle auf. Die Laservorrichtung 2 ist dazu ausgelegt, Laserlicht im blauen Spektralbereich zu emittieren, da dies einerseits für die meisten Leuchtstoffe eine geeignete Anregungswellenlänge darstellt. Andererseits ermöglicht dies die Nutzung des unkonvertierten blauen Laserlichts als Blaulichtkanal (B), beispielsweise für eine RGB-Projektionseinheit. Für weitere Details hierzu wird auf das in Fig. 3 dargestellte weitere Ausführungsbeispiel verwiesen. Die Emissionswellenlänge der blauen Laserstrahlung I_B liegt vorzugsweise im Bereich von z.B. ca. 400–470 nm.

[0032] Das blaue Laserlicht I_B (= Pumplicht) wird mittels eines optischen Linsensystems 3 auf ein erstes Leuchtstoffrad 4 und ein unmittelbar dahinter angeordnetes zweites Leuchtstoffrad 5 abgebildet. Die beiden Leuchtstoffräder 4, 5 weisen jeweils eine kreisförmige Trägerplatte 6, 7 und eine mittig angeordnete Drehachse 8, 9 auf. Ein jeweiliger Motor zum Drehen der beiden Leuchtstoffräder sowie eine Steuereinheit zum Synchronisieren der Drehungen der beiden Leuchtstoffräder sind der besseren Übersicht wegen nicht dargestellt.

[0033] Im Folgenden wird nun auch Bezug auf die Fig. 2a–Fig. 2c genommen, die die beiden Leuchtstoffräder 4, 5 in schematischer Darstellung zeigen, und zwar in drei verschiedenen Drehstellungen. Die der Laservorrichtung 2 zugewandte Seite der jeweiligen Trägerplatte 6, 7 jedes Leuchtstoffrads 4, 5 weist einen kreisringförmigen Bereich auf. Beim ersten Leuchtstoffrad 4 ist dieser kreisringförmige Bereich in drei Segmente unterteilt. Das erste Segment G ist mit einem Grünleuchtstoff beschichtet, das zweite Segment Y ist mit einem Gelbleuchtstoff beschichtet und das dritte Segment D ist als Durchlichtsegment konzipiert, lässt das Pumplicht I_B also passieren. Dazu ist das Durchlichtsegment D bspw. als

Durchgangsöffnung ausgebildet. Die Durchgangsöffnung kann auch mit einem für das Pumplicht I_B transparenten Material ausgefüllt sein. Das erste Leuchtstoffrad 4 ist so angeordnet, dass sein segmentierter kreisringförmiger Bereich durch den Pumplichtstrahl I_B hindurch drehen kann (erkennbar am schematisierten Pumplichtstrahl b). Die Segmente G, Y, D werden also zeitlich sequentiell von dem Pumplicht I_B angestrahlt. Dabei werden die beiden Leuchtstoffsegmente G, Y zur Emission von wellenlängenkonvertiertem Licht angeregt und zwar von grünem bzw. gelbem Licht. Die Grünlichtphase der Leuchtstoffräder 4, 5 ist in Fig. 2a dargestellt, die Gelblichtphase in Fig. 2b. Die Dauer und Abfolge der Farblichtphasen bzw. Farblichtströme ist durch die Reihenfolge und Länge der Leuchtstoffsegmente festgelegt und durch die zugehörigen Pfeile I_G und I_Y symbolisiert.

[0034] Der kreisringförmige Bereich R des zweiten Leuchtstoffrads 5 ist durchgehend, also unsegmentiert, mit einem Rotleuchtstoff beschichtet. Außerdem ist das zweite Leuchtstoffrad 5 so angeordnet, dass ein Teil seines kreisringförmigen Rotleuchtstoffbereich R im Bereich des Pumplichtflecks b mit einem Teil des segmentierten kreisringförmigen Bereichs des ersten Leuchtstoffrads 4 überlappt. Während sich das erste Leuchtstoffrad 4 in der Durchlichtphase dreht, d.h. das Pumplicht I_B durch das Durchlichtsegment D hindurchtritt, trifft das Pumplicht I_B auf den hinter dem Durchlichtsegment D vorbeidrehenden Rotleuchtstoffbereich R des zweiten Leuchtstoffrads 5. Dabei wird der Rotleuchtstoff von dem Pumplicht I_B zur Emission von rotem Licht angeregt. Diese Rotlichtphase der Leuchtstoffräder 4, 5 ist in Fig. 2c dargestellt und durch den Pfeil I_R symbolisiert. In Fig. 1 ist die Abfolge und Dauer der Farblichtströme ebenfalls durch entsprechende Pfeile symbolisiert, nämlich abwechselnd Licht der Farben Grün (I_G), Gelb (I_Y), Rot (I_R), Grün (I_G), Gelb (I_Y), Rot (I_R) usw.. Vorzugsweise ist das Linsensystem 3 so ausgelegt, dass es den Fokus F_B des Pumplichts I_B (= die Laserstrahltaile) in dem engen Spalt zwischen den beiden Leuchtstoffrädern 4, 5 erzeugt. Außerdem sammelt das Linsensystem 3 das von dem jeweiligen Leuchtstoff innerhalb des Pumplichtflecks b emittierte Farblicht ein, wirkt also auch als Sammelloptik für das Konversionslicht. Zu diesem Zweck weist das Linsensystem 3 eine Sammellinse 10 sowie ein chromatisches Objektiv 11 auf. Das chromatische Objektiv 11 ist aus Effizienzgründen vorzugsweise so ausgelegt, dass seine für rotes Licht längere Brennweite F_R ungefähr mit seinem Abstand zum Rotleuchtstoffbereich R des zweiten Leuchtstoffrads 5 zusammenfällt. Dadurch sammelt das chromatische Objektiv 11 das vom Rotleuchtstoffbereich R des zweiten Leuchtstoffrads 5 emittierte rote Licht besonders effizient ein. Aus entsprechendem Grund ist seine mittlere Brennweite F für das vom ersten Leuchtstoffrad 4 emittierte gelbe und grüne Licht vor-

zugsweise so ausgelegt, dass sie ungefähr mit seinem Abstand zum segmentierten Leuchtstoffbereich des ersten Leuchtstoffrads **4** zusammenfällt.

[0035] Das von dem jeweiligen unter dem Pumplichtfleck B vorbei drehenden Leuchtstoff zurückgestrahlte, wellenlängenumgewandelte Farblicht (= Konversionslicht) wird von dem Linsensystem **3** (chromatisches Objektiv **11** und Sammellinse **10**) kollimiert und über einen dichroitischen Spiegel **12** mittels Reflexion aus dem Pumplichtstrahlengang ausgekoppelt. Dazu ist der dichroitische Spiegel **12** zwischen der Pumplichtquelle **2** und dem Linsensystem **3** in 45°-Kippstellung zum Pumplicht- bzw. gegenläufigen Konversionslichtstrahlengang angeordnet. Außerdem ist der dichroitische Spiegel **12** dazu ausgelegt, zwar Licht im blauen Spektralbereich (also auch das blaue Pumplicht) zu transmittieren, hingegen Licht im nicht blauen Spektralbereich (also auch das Konversionslicht) zu reflektieren. Dadurch kann das blaue Pumplicht I_B einerseits durch den dichroitischen Spiegel **12** hindurch auf die beiden Leuchtstoffräder **4**, **5** gelangen, andererseits koppelt der dichroitische Spiegel **12** das zeitlich sequentiell auftreffende wellenlängenumgewandelte, also grüne I_G , gelbe I_Y bzw. rote Licht I_R (= Konversionslicht), senkrecht aus dem Pumplichtstrahlengang aus. Der dichroitische Spiegel **12** dient hier also als wellenlängenselektiver Strahlumlenker, der das Pumplicht transmittiert und das Konversionslicht reflektiert. Je nach Anforderung an die Geometrie des optischen Aufbaus kann die Position der Pumplichtquelle **2** auch mit dem Ausgang für das ausgekoppelte Licht vertauscht werden. Dazu ist lediglich der dichroitische Spiegel dergestalt abzuändern, dass er das blaue Pumplicht I_B reflektiert und das Konversionslicht transmittiert.

[0036] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Beleuchtungsvorrichtung **101** gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die Beleuchtungsvorrichtung **1** umfasst eine als Laserdiodenmatrix ausgebildete Pumplichtquelle **2**, welche eine Mehrzahl an Laserdioden **21** (hier jeweils einschließlich Primärlinse) aufweist. Über den Laserdioden **21** zugeordnete Umlenkspiegel **22** wird das blaue Laserlicht I_B dieser Laserdioden **21** in das optische Linsensystem **6** gelenkt (entspricht dem in Fig. 1 dargestellten Linsensystem) und von diesem auf ein erstes Leuchtstoffrad **104** und ein unmittelbar dahinter angeordnetes zweites Leuchtstoffrad **105** abgebildet.

[0037] Im Folgenden wird nun auch Bezug auf die Fig. 4a–Fig. 4c genommen, die die beiden Leuchtstoffräder **104**, **105** in schematischer Darstellung zeigen, und zwar in drei verschiedenen Drehstellungen.

[0038] Der kreisringförmige Bereich des ersten Leuchtstoffrads **104** weist ein Grünleuchtstoffsegment G und zwei Durchlichtsegmente D1, D2 auf.

Der kreisringförmige Bereich des zweiten Leuchtstoffrads **105** weist ein Rotleuchtstoffsegment G und ein Durchlichtsegment D3 auf. Die beiden Leuchtstoffräder **104**, **105** sind so miteinander synchronisiert, dass das erste Durchlichtsegment D1 des ersten Leuchtstoffrads **104** gleichzeitig mit dem dritten Durchlichtsegment D3 auf dem zweiten Leuchtstoffrads **105** durch den Laserstrahlfleck b hindurch drehen. Während das Grünleuchtstoffsegment G des ersten Leuchtstoffrads **104** durch den Pump Laserstrahl I_B dreht (erkennbar am schematisierten Laserstrahlfleck b), wird das blaue Laserlicht I_B von dem Grünleuchtstoff in grünes Licht I_G konvertiert. Diese Grünlichtphase der beiden Leuchtstoffräder **104**, **105** ist in Fig. 4a dargestellt und durch den Pfeil I_G symbolisiert.

[0039] Während das darauffolgende erste Durchlichtsegment D1 des ersten Leuchtstoffrads **104** durch den Pump Laserstrahl I_B hindurch dreht, dreht sich auch das Durchlichtsegment D3 des synchronisierten zweiten Leuchtstoffrads **105** durch den Pump Laserstrahl I_B . Folglich tritt der blaue Pumplichtstrahl I_B unverändert durch beide Leuchtstoffräder **104**, **105** hindurch. Diese Blaulichtphase der beiden Leuchtstoffräder **104**, **105** ist in Fig. 4b dargestellt und durch den Pfeil I_B symbolisiert. Das durch die Durchlichtsegmente D1, D3 der beiden Leuchtstoffräder **104**, **105** hindurchstrahlende blaue Pumplicht I_B wird mittels einer weiteren Optik **13** kollimiert, über drei Umlenkspiegel **14**, **15**, **16** in einen sogenannten "Wrap-Around"-Zweig umgelenkt und auf den dichroitischen Spiegel **12** zurückgeführt. Der während der Blaulichtphase vom "Wrap-Around"-Zweig kommende unkonvertierte blaue Pumplichtstrahl I_B passiert den dichroitischen Spiegel **12**. Der dazu zeitlich sequentiell auf die andere Seite des dichroitischen Spiegels **7** während der Grün- und Rotlichtphase auftreffende konvertierte (= wellenlängenumgewandelte) grüne bzw. rote Lichtstrahl I_G , I_R wird hingegen vom dichroitischen Spiegel **12** reflektiert. Da der Pumplichtstrahl I_B und zeitlich sequentiell der jeweilige Konversionslichtstrahl I_G , I_R (Abfolge: grün (G), blau (B), rot (R) usw.) senkrecht zueinander und jeweils unter 45° auf die beiden entgegengesetzten Seiten des dichroitischen Spiegels **12** treffen, werden auf diese Weise letztlich beide Strahlengänge kollinear zusammengeführt sowie über ein weiteres Fokussierlinsensystem **17** zur räumlichen Überlagerung (Durchmischung) beispielsweise in einen Integrator **18** eines RGB-Projektionsmoduls fokussiert.

[0040] Zwischen Fokussierlinsensystem **17** und Integrator **18** kann auch noch ein Filterrad angeordnet sein (nicht dargestellt), um das in der Regel sehr breite Spektrum des durch einen Leuchtstoff wellenlängenumgewandelten Lichts (Konversionslicht) spektral einzuengen bzw. zu verändern und so z.B. den Farbraum für die jeweilige Projektionsanwendung zu optimieren. Der Laserdiodenmatrix **2**

ist noch ein Homogenisator **19** nachgeschaltet, um eine möglichst gleichförmige Leistungsdichteverteilung der blauen Laserstrahlung I_B auf dem jeweiligen Leuchtstoff der beiden Leuchtstoffräder **104**, **105** zu erzielen. Dadurch soll das sogenannte Quenching möglichst vermieden bzw. minimiert werden. Quenching ist eine Verringerung der Konversionseffizienz des Leuchtstoffs aufgrund von erhöhter Leistungsdichte (intensity quenching) und/oder erhöhter Temperatur (thermal quenching). Ideal wäre eine plateauförmige Leistungsdichteverteilung des Pumplichts auf dem Leuchtstoff. Weiterhin ist ein zweiter Homogenisator **20** zwischen dem drittem Umlenkspiegel **16** und dem dichroitischen Spiegel **12** vorgesehen, um das blaue Pumplicht I_B des Wrap-Around-Zweigs vor der Kombination mit dem Konversionslicht I_G , I_R weiter zu homogenisieren bzw. um möglicherweise auftretende Speckle-Muster in der Anwendung zu reduzieren. Die Homogenisatoren können auch optische Elemente zur Strahlformung enthalten.

[0041] In den **Fig. 5a, b** ist eine Ausführungsform zweier Leuchtstoffräder **204**, **205** mit gemeinsamer starrer Drehachse **208** schematisch dargestellt und zwar in Draufsicht (**Fig. 5a**) und Schnittansicht (**Fig. 5b**). Das erste Leuchtstoffrad **204** weist auf der freien Vorderseite seiner kreisförmigen Trägerplatte **6** einen kreisringförmigen Bereich auf, der in ein Durchlichtsegment **D** und zwei Leuchtstoffsegmente **Y** und **G** unterteilt sind. Das Durchlichtsegment **D** ist als Durchgangsöffnung ausgebildet. Die Leuchtstoffsegmente **Y** und **G** sind mit einem Gelb- bzw. Grünleuchtstoff beschichtet. Hinter dem ersten Leuchtstoffrad **204** ist das zweite Leuchtstoffrad **205** so angeordnet, dass ein Spalt **209** mit einer Breite ℓ von typisch ca. 1 mm zwischen beiden Leuchtstoffrädern entsteht. Um die Wärmeabfuhr aus dem Spalt **209** zu verbessern, kann eine Innenkühlung vorgesehen sein (nicht dargestellt).

[0042] Auf der dem ersten Leuchtstoffrad **204** zugewandten Seite der kreisförmigen Trägerplatte **7** des zweiten Leuchtstoffrades **205** ist in der Projektion des Durchlichtsegments **D** ein Rotleuchtstoff **R** aufgetragen. Da beide Leuchtstoffräder **204**, **205** auf der gemeinsamen Drehachse **208** starr angeordnet sind, trifft der Pumplichtstrahl I_B jedes Mal auf den Rotleuchtstoff **R** wenn das Durchlichtsegment **D** durch den Pumplichtfleck **b** hindurch dreht. Bei der in **Fig. 5a** gezeigten Drehrichtung (im Uhrzeigersinn) ist die zeitlich sequentielle Farblichtabfolge also Gelb (**Y**), Rot (**R**), Grün (**G**) usw.. Insofern kann diese Ausführungsform zweier Leuchtstoffräder **204**, **205** mit gemeinsamer Starrachse bspw. ohne weiteres die in **Fig. 1** gezeigten beiden überlappenden Leuchtstoffräder **4**, **5** mit separaten Drehachsen ersetzen.

[0043] Die **Fig. 6** zeigt in schematischer Darstellung eine Ausführungsform dreier überlappender Leuchtstoffräder **31**, **32**, **33**. Die jeweiligen kreisförmigen

Trägerplatten **34**, **35**, **36** der Leuchtstoffräder **31**, **32**, **33** weisen jeweils auf ihrer dem einfallenden Pumplichtfleck **b** zugewandten Seite einen kreisringförmigen Bereich auf. Die Leuchtstoffräder **31**, **32**, **33** sind so angeordnet, dass die kreisringförmigen Bereiche in der Projektion des auf den kreisringförmigen Bereich des ersten Leuchtstoffrads **31** auftreffenden Pumplichtfleck **b** hintereinander überlappen. Dazu sind die jeweiligen Drehachsen **37**, **38**, **39** an den Eckpunkten eines gedachten gleichseitigen Dreiecks angeordnet, dessen Schwerpunkt im Mittelpunkt des Pumplichtflecks **b** liegt. Der kreisringförmige Bereich des ersten Leuchtstoffrads **31** ist in ein erstes Durchlichtsegment **D1**, ein daran anschließendes zweites Durchlichtsegment **D2** und ein Grünleuchtstoffsegment **G** unterteilt. Während das Grünleuchtstoffsegment **G** durch den Pumplichtfleck **b** hindurch dreht, emittiert der Grünleuchtstoff grünes Licht (Grünlichtphase). Während eines der beiden Durchlichtsegmente **D1**, **D2** durch den Pumplichtfleck **b** hindurch dreht, trifft das Pumplicht ungehindert auf das dahinter angeordnete zweite Leuchtstoffrad **32**. Der kreisringförmige Bereich des zweiten Leuchtstoffrads **31** ist in ein Durchlichtsegment **D3** und ein Gelbleuchtstoffsegment **Y** unterteilt. Außerdem ist das Durchlichtsegment **D3** mit dem ersten Durchlichtsegment **D1** des ersten Leuchtstoffrads **31** synchronisiert. Während das zweite Durchlichtsegment **D2** des ersten Leuchtstoffrads **31** durch den Pumplichtfleck **b** hindurch dreht, trifft das Pumplicht auf das Gelbleuchtstoffsegment **Y** und der Gelbleuchtstoff emittiert gelbes Licht (Gelblichtphase). Während das erste Durchlichtsegment **D1** des ersten Leuchtstoffrads **31** durch den Pumplichtfleck **b** hindurch dreht, passiert das Pumplicht auch das synchrone Durchlichtsegment **D3** des zweiten Leuchtstoffrads **32** und trifft ungehindert auf das dahinter angeordnete dritte Leuchtstoffrad **33**. Der kreisringförmige Bereich des dritten Leuchtstoffrads **33** ist als umlaufender Rotleuchtstoffring ausgebildet. Die zeitliche Abfolge des Konversionslichts ist somit Grün, Gelb, Rot usw.. Insofern kann diese Ausführungsform dreier überlappender Leuchtstoffräder **31–33** beispielsweise ohne weiteres die in **Fig. 1** gezeigten beiden überlappenden Leuchtstoffräder **4**, **5** ersetzen. Mit einem an geeigneter Stelle des dritten Leuchtstoffrads **33** angeordneten vierten Durchlichtsegment (nicht dargestellt) ließe sich sogar eine Wrap-Around-Lösung für blaues Licht realisieren. Diese Variante wäre dann für das in **Fig. 3** dargestellte Ausführungsbeispiel geeignet. Soweit technisch sinnvoll können Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele und Ausführungsformen auch miteinander kombiniert werden.

[0044] Die Anregungslichtquelle kann gleichartige und/oder unterschiedlichen Laserquellen, beispielsweise mit unterschiedlicher Laserwellenlänge oder Polarisationsrichtung, umfassen. Die Achsen der Farbräder müssen nicht zwangsweise kollinear angeordnet sein, sondern können auch verkippt sein. Au-

ßerdem können die Leuchtstoffräder auch beweglich angeordnet sein, beispielsweise um sie in den Pumplichtstrahl hinein bzw. herauszufahren. Die Oberflächen der Farbräder müssen nicht zwangsweise koplanar zueinander angeordnet sein, sondern können auch gegeneinander verkippt sein, um dadurch beispielsweise eine besser Belüftung zu erzielen. Die Oberfläche der Farbräder kann auch gebogen, insbesondere freiformig, ausgeführt sein. Die Farbräder können unterschiedliche Durchmesser aufweisen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2010/0245777 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Beleuchtungsanordnung (1), umfassend

- a. eine Pumplichtquelle (2),
- b. ein erstes Leuchtstoffrad (4),
- i. wobei das erste Leuchtstoffrad (4) mindestens einen ersten Leuchtstoffbereich (G, Y) aufweist, der mit dem Pumplicht der Pumplichtquelle (2) bestrahlbar ist und dieses Pumplicht zumindest teilweise wellenlängenumgewandelt wieder abstrahlt, und
- ii. wobei das erste Leuchtstoffrad (4) mindestens einen ersten Durchlichtbereich (D) aufweist,
- c. ein zweites Leuchtstoffrad (5),
- i. wobei das zweite Leuchtstoffrad (5) mindestens einen zweiten Leuchtstoffbereich (R) aufweist, der mit dem Pumplicht der Pumplichtquelle (2) bestrahlbar ist und dieses Pumplicht zumindest teilweise wellenlängenumgewandelt wieder abstrahlt,
- d. wobei die beiden Leuchtstoffräder (4, 5) für eine Rotation um ihre Rotationsachse (8, 9) ausgelegt sind und
- e. wobei die beiden Leuchtstoffräder (4, 5) unmittelbar hintereinander und so zueinander und zu einem Strahlengang der Pumplichtquelle (2) angeordnet sind, dass
- i. der erste Leuchtstoffbereich (G, Y) des ersten Leuchtstoffrads (4) durch den Strahlengang der Pumplichtquelle (2) hindurch drehbar ist,
- ii. der erste Durchlichtbereich (D) des ersten Leuchtstoffrads (4) durch den Strahlengang der Pumplichtquelle (2) hindurch drehbar ist und
- iii. der zweite Leuchtstoffbereich (R) des zweiten Leuchtstoffrads (5) hinter dem ersten Durchlichtbereich (D) des ersten Leuchtstoffrads (4) durch den Strahlengang der Pumplichtquelle (2) hindurch drehbar ist.

2. Beleuchtungsanordnung (1) nach Anspruch 1, wobei der erste Leuchtstoffbereich (G, Y) mindestens einen Leuchtstoff aus einer Gruppe vom Typ I und der zweite Leuchtstoffbereich (R) mindestens einen Leuchtstoff aus einer Gruppe vom Typ II umfasst und wobei die Leuchtstoffe (G, Y) aus der Gruppe vom Typ I eine geringere Temperaturabhängigkeit der Konversionseffizienz aufweisen als die Leuchtstoffe (R) aus der Gruppe vom Typ II.

3. Beleuchtungsanordnung (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das erste Leuchtstoffrad einen Filterbereich mit einer spektralen Filterwirkung für das Konversionslicht vom zweiten Leuchtstoffrad aufweist.

4. Beleuchtungsanordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche mit einer Sammeloptik (3), die zwischen der Pumplichtquelle und dem ersten Leuchtstoffrad (5) angeordnet ist, wobei die Sammeloptik (3) für das Sammeln des vom ersten Leuchtstoffrad (4) emittierten Konversionslichts und des vom zweiten Leuchtstoffrad (5) emittierten Konversionslichts vorgesehen ist.

5. Beleuchtungsanordnung (1) nach Anspruch 4, wobei die Sammeloptik (3) so ausgelegt ist, dass der Brennfleck (F_B) des Pumplichts zwischen dem ersten Leuchtstoffrad (4) und dem zweiten Leuchtstoffrad (5) liegt.

6. Beleuchtungsanordnung (1) nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Sammeloptik (3) ein chromatisches Objektiv (11) umfasst, dessen Brennweite (F_R) für das von dem zweiten Leuchtstoffbereich (R) des zweiten Leuchtstoffrads (5) wellenlängenumgewandelte Licht länger ist als dessen Brennweite (F) für das von dem ersten Leuchtstoffbereich (G, Y) des ersten Leuchtstoffrads (4) wellenlängenumgewandelte Licht.

7. Beleuchtungsanordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der erste Leuchtstoffbereich (G, Y) und der erste Durchlichtbereich (D) in Rotationsrichtung aufeinander folgend auf dem ersten Leuchtstoffrad (4) angeordnet sind.

8. Beleuchtungsanordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der erste Leuchtstoffbereich (G, Y) des ersten Leuchtstoffrads (4) segmentiert ist.

9. Beleuchtungsanordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die beiden Leuchtstoffräder (4, 5) so angeordnet sind, dass ihre Rotationsachsen (8, 9) parallel versetzt zueinander orientiert sind und in Richtung der Rotationsachsen (8, 9) betrachtet die Leuchtstoffräder (4, 5) einander teilweise überlappen.

10. Beleuchtungsanordnung (1) nach einem der Ansprüche 1–8 mit einem zusätzlichen dritten Leuchtstoffrad (33), wobei die Rotationsachsen (37–39) der drei Leuchtstoffräder (31–33) parallel versetzt zueinander orientiert sind und in Richtung der Rotationsachsen (37–39) betrachtet die drei Leuchtstoffräder (31–33) in einem gemeinsamen Teilbereich überlappen.

11. Beleuchtungsanordnung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 10, wobei mindestens eines der Leuchtstoffräder dazu ausgelegt ist, in den Pumplichtstrahl hinein- bzw. hinausbewegt werden zu können.

12. Beleuchtungsanordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das erste Leuchtstoffrad (204) und das zweite Leuchtstoffrad (205) auf einer gemeinsamen Rotationsachse (208) angeordnet sind.

13. Beleuchtungsanordnung (1) nach Anspruch 12, wobei die beiden Leuchtstoffräder (204, 205) jeweils starr mit der gemeinsamen Achse (208) verbunden sind und der zweite Leuchtstoffbereich (R) auf dem zweiten Leuchtstoffrad (205) so angeordnet ist,

dass zumindest ein Teil des zweiten Leuchtstoffbereichs (R) in geradliniger Projektion des Durchlichtbereichs (D) des ersten Leuchtstoffrads (**204**) liegt.

14. Beleuchtungsvorrichtung (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei mindestens eines der Leuchtstoffräder in Richtung seiner Drehachse verschiebbar ist.

15. Verfahren zum Betreiben einer Beleuchtungsvorrichtung (**1**) nach einem der vorstehenden Ansprüche mit den folgenden Verfahrensschritten:

- Erzeugen eines ersten Konversionslichts durch Drehen des ersten Leuchtstoffrads (**4**) durch den Pumplichtstrahl,
- Erzeugen eines zweiten Konversionslichts durch Drehen des zweiten Leuchtstoffrads (**5**) durch den Pumplichtstrahl,
- Sammeln des ersten und zweiten Konversionslichts mittels der zwischen Pumplichtquelle (**2**) und erstem Leuchtstoffrad (**4**) angeordneten Sammeloptik (**3**).

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

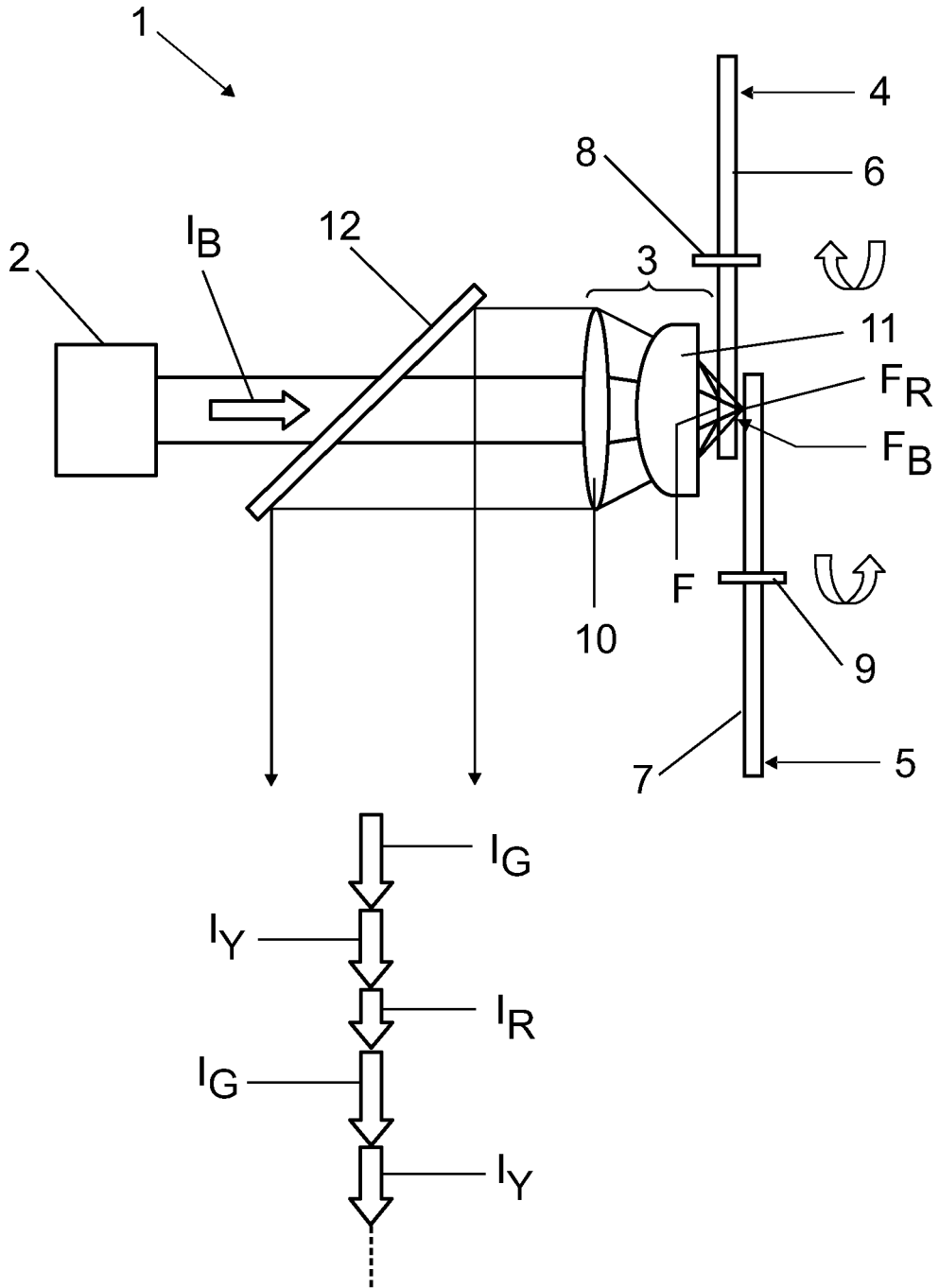


FIG 1

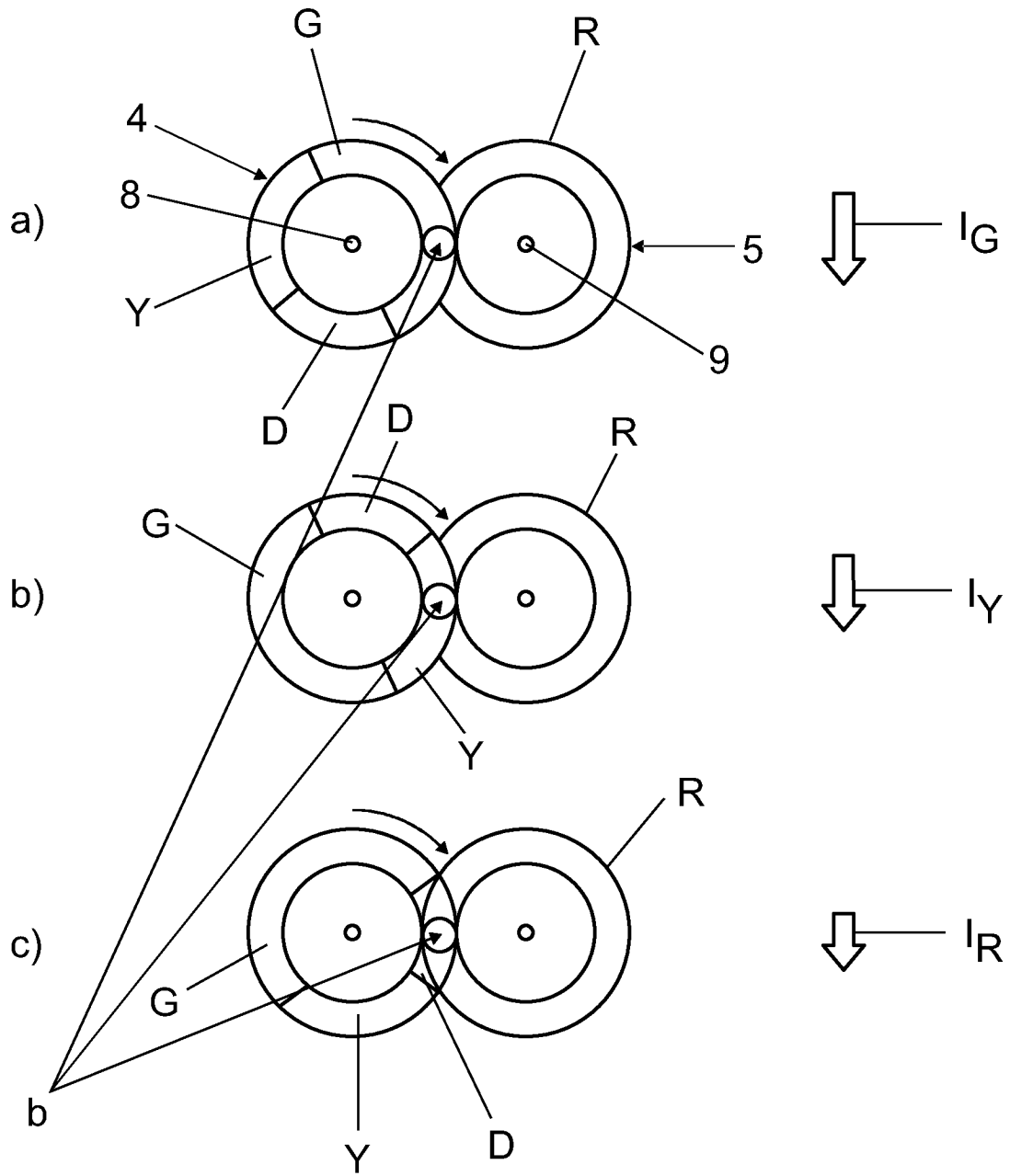


FIG 2

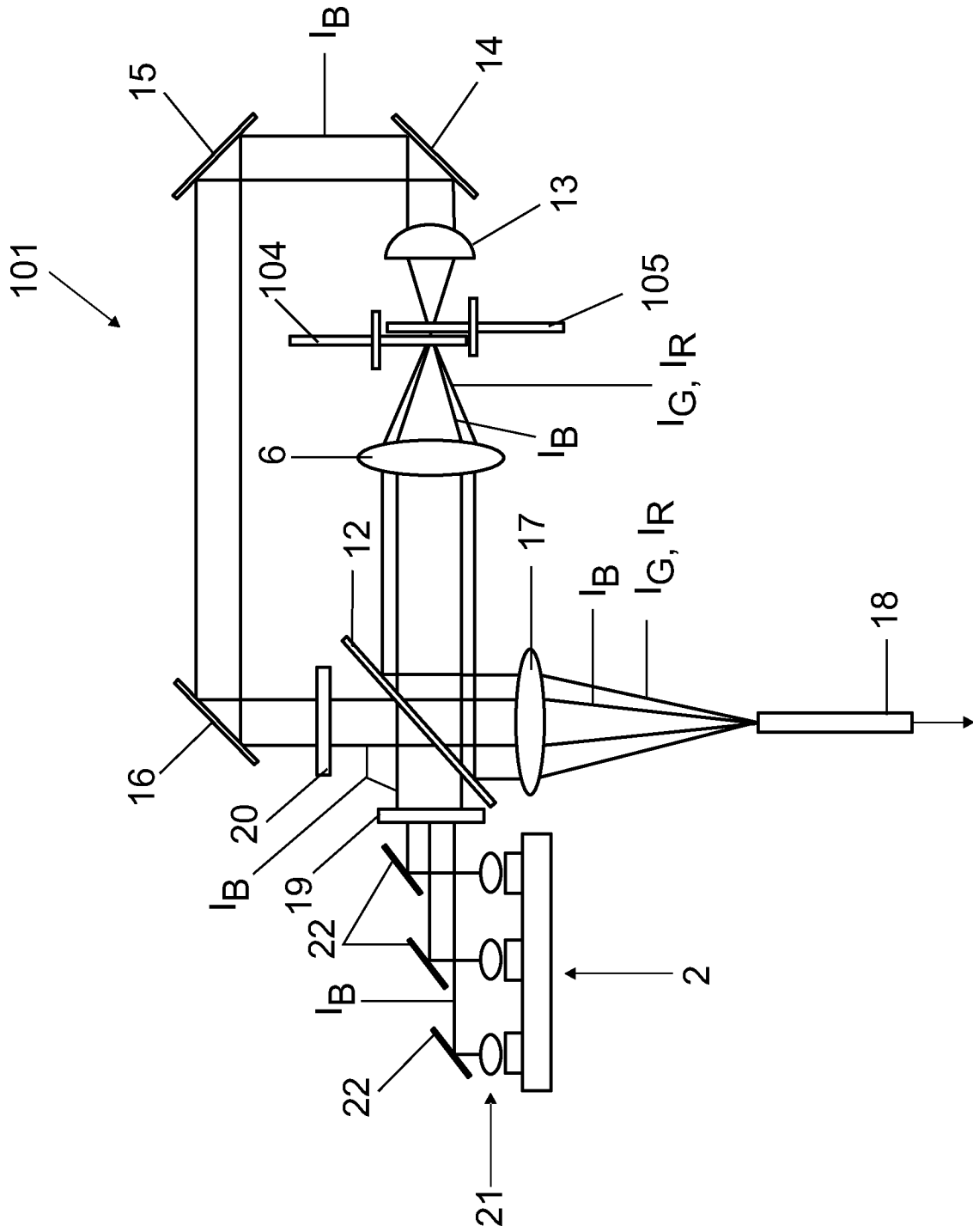


FIG 3

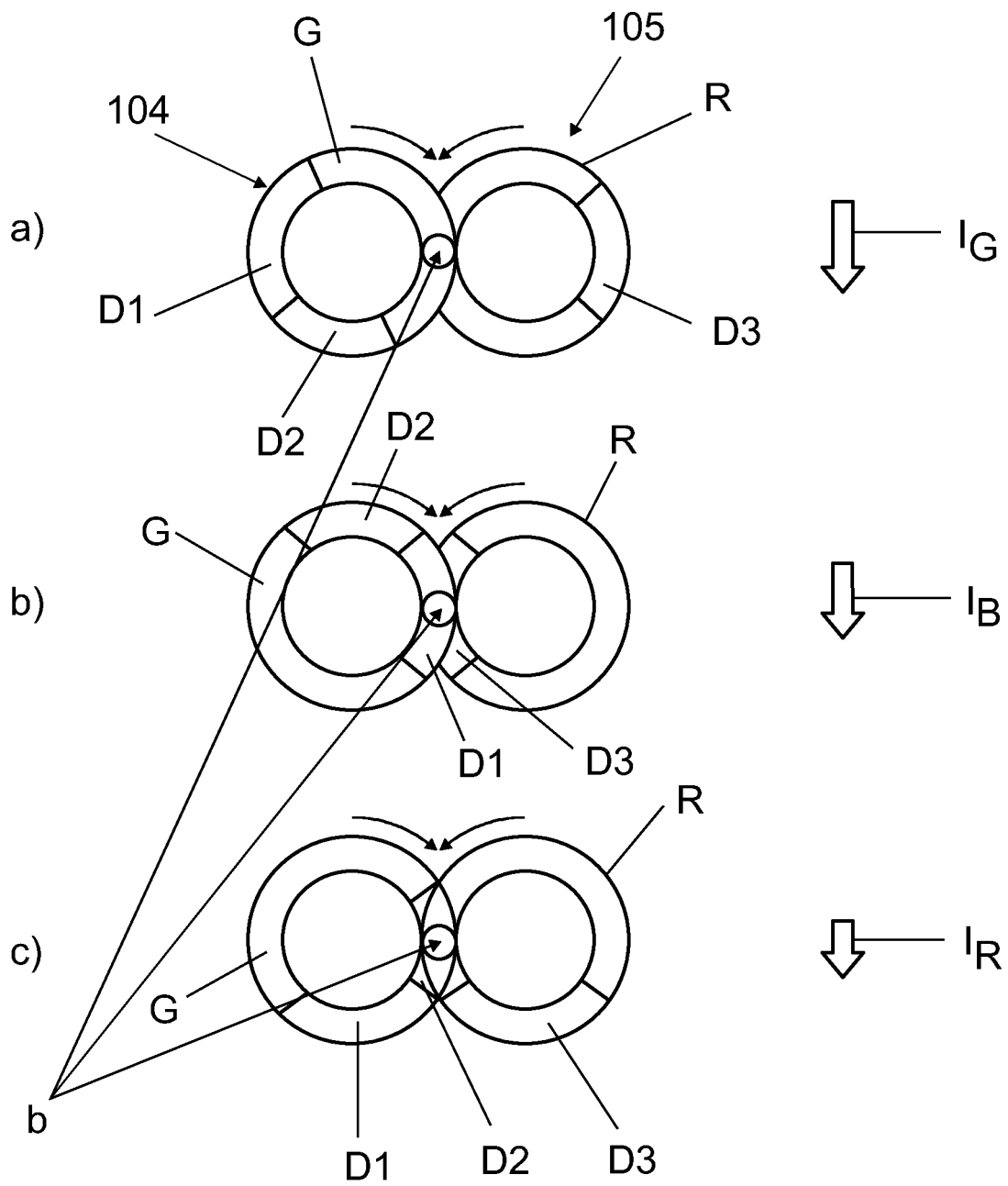


FIG 4

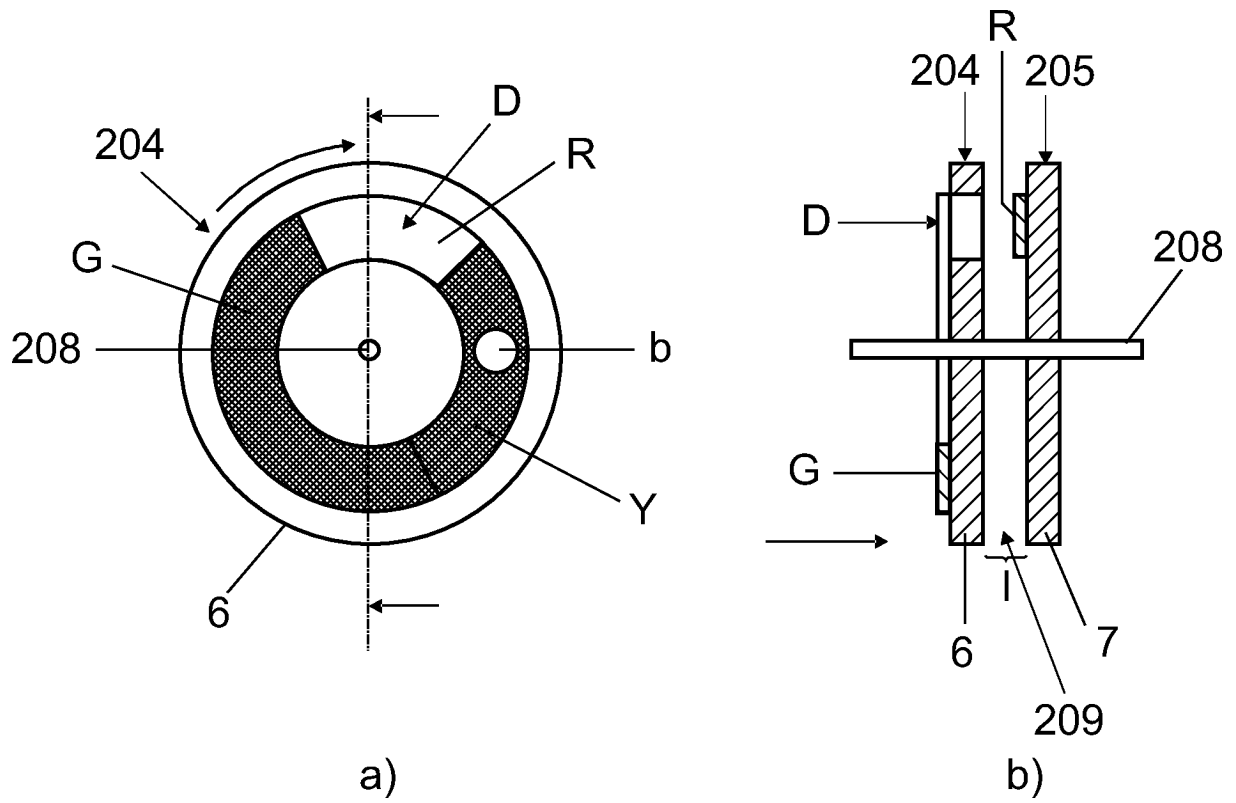


FIG 5

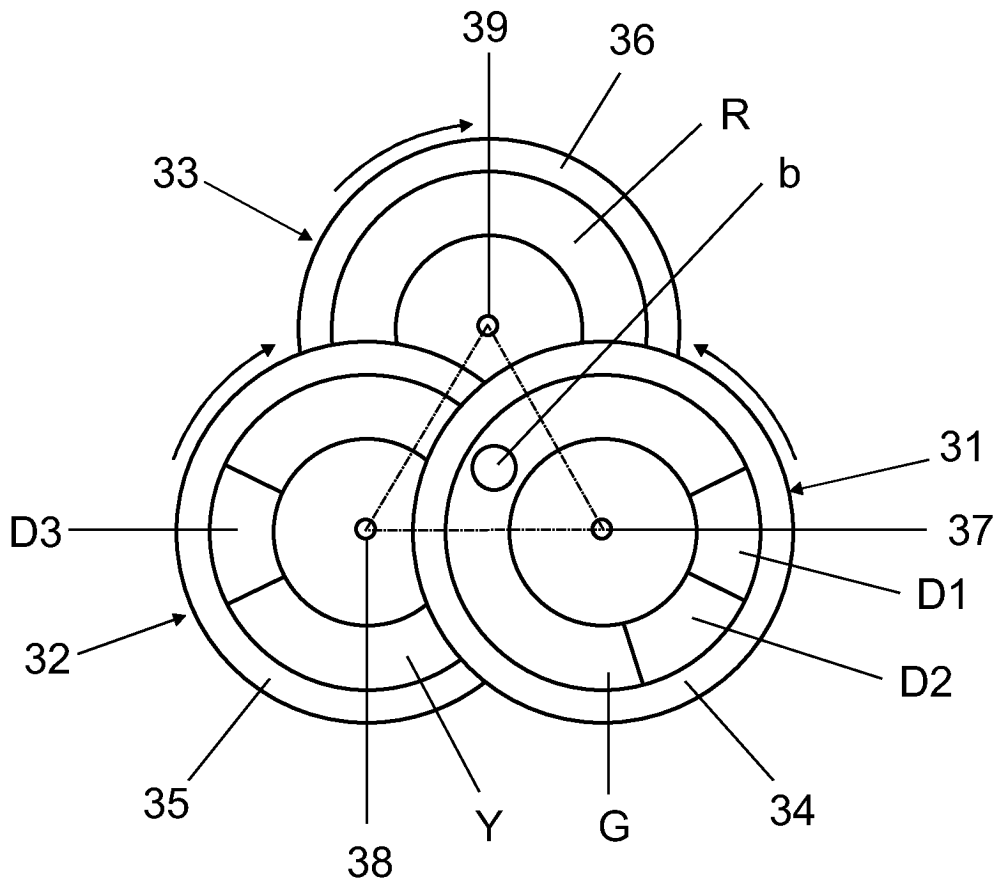


FIG 6