



(10) **DE 10 2012 211 837 A1** 2014.01.09

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 211 837.3**

(22) Anmeldetag: **06.07.2012**

(43) Offenlegungstag: **09.01.2014**

(51) Int Cl.: **F21K 2/00 (2012.01)**

H01L 33/50 (2012.01)

F21V 9/10 (2012.01)

F21V 7/08 (2012.01)

G02B 26/00 (2013.01)

G03B 21/00 (2013.01)

G03B 21/14 (2013.01)

F21V 13/00 (2013.01)

F21V 13/04 (2013.01)

F21Y 101/02 (2013.01)

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

(72) Erfinder:
Höhmann, Peter, 10245, Berlin, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

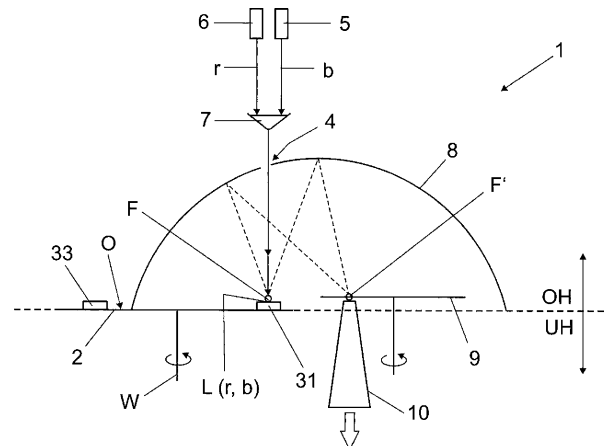
DE	10 2010 062 465	A1
DE	10 2011 003 665	A1
DE	10 2011 004 563	A1
DE	10 2011 004 574	A1
US	6 357 889	B1
US	2009 / 0 284 148	A1
WO	2009/ 112 961	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungsanordnung mit Leuchtstoffanordnung und Laser**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung schlägt vor, dem mittels Leuchtstoffkonversion erzeugten breitbandigen Farblicht mit einer dem verwendeten Leuchtstoff entsprechenden Lichtfarbe eine schmalbandige Laserstrahlung mit derselben Lichtfarbe simultan zu überlagern. Dadurch wird für die jeweilige Lichtfarbe ein, insbesondere für Projektionsanwendungen erforderlicher, hoher Lichtstrom sowie eine hohe Leuchtdichte erzielt. Beispielsweise wird das von einem Rotleuchtstoff (31) durch Bestrahlen mit einem blauviolett Laser (5) erzeugte breitbandige rote Licht mit schmalbandiger roter Laserstrahlung (r) in einem optischen Integrator (10) simultan überlagert.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungsanordnung mit mindestens einem Laser und einer Leuchtstoffanordnung, die von der Laserstrahlung des mindestens einen Lasers bestrahlt wird. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben dieser Beleuchtungsanordnung.

[0002] Die Erfindung ist insbesondere anwendbar für Projektionsvorrichtungen, beispielsweise für die Film- und Videoprojektion, in der industriellen und medizinischen Bilderkennung, in der technischen und medizinischen Endoskopie, für Lichteffekte in der Unterhaltungsindustrie, für medizinische Bestrahlungen sowie im Fahrzeugbereich, insbesondere für Scheinwerfer für Kraftfahrzeuge.

Stand der Technik

[0003] Lichtquellen mit hohem Lichtstrom und hoher Leuchtdichte finden in den verschiedensten Bereichen Anwendung, etwa in der Endoskopie ebenso wie bei Projektionsgeräten, wobei hierfür Gasentladungslampen gegenwärtig am weitesten verbreitet sind. Bei Beleuchtungsanwendungen, beispielsweise Projektion oder Endoskopie, auf Basis der grundsätzlich bekannten LARP ("Laser Activated Remote Phosphor")-Technologie wird ein Leuchtstoff von einem zu diesem entfernt angeordneten Laser angeregt. Dabei wird die auf den Leuchtstoff treffende Laserstrahlung von dem Leuchtstoff mittels Wellenlängenkonversion zumindest teilweise in ein wellenlängenumgewandeltes Nutzlicht umgewandelt. Der Begriff Laserstrahlung umfasst im Folgenden sowohl nicht sichtbare, z. B. ultraviolette (UV) oder infrarote (IR) Laserstrahlung, als auch sichtbare, z. B. blauviolette, blaue, rote etc. Laserstrahlung. Ein geeigneter Leuchtstoff oder ein Leuchtstoffgemisch wandelt die unsichtbare oder sichtbare Laserstrahlung in entsprechende sichtbare elektromagnetische Strahlung, d. h. Licht um. Im Folgenden charakterisiert der Begriff "Farbe" Leuchtstoff, wobei hier "Farbe" stellvertretend für eine konkrete Farbe, beispielsweise für eine der Primärfarben Rot, Grün, Blau, Gelb etc. oder eine Mischfarbe aus zwei oder mehr Primärfarben steht, einen Leuchtstoff, der bei Anregung mit geeigneter Laserstrahlung diese in Licht mit der betreffenden "Farbe" umwandelt, d. h. gemeint ist hier eine Lichtfarbe und keine Körperfarbe. Ein Rotleuchtstoff wandelt also geeignete Laserstrahlung, beispielsweise blaue Laserstrahlung einer blauen Laserdiode mit einer Emissionswellenlänge von ca. 460 nm, in Licht mit der Lichtfarbe "Rot" (rotes Licht), ein Grünleuchtstoff wandelt die Laserstrahlung in Licht mit der Lichtfarbe "Grün" (grünes Licht) usw.. Die Erfindung ist nicht auf den sichtbaren Bereich für das überlagerte Licht beschränkt, obschon dies für praktisch relevante Anwendungen aus derzeitiger Sicht bevorzugt ist.

[0004] Insbesondere für die Videoprojektion sind die entsprechenden Leuchtstoffe für die Projektorfarbkanäle rot, grün und blau (evtl. auch weitere Farbkanäle, z. B. gelb) üblicherweise auf ein rotierendes Rad aufgebracht, um die Laserleistung im zeitlichen Mittel auf eine größere Fläche zu verteilen und damit die Leuchtstoffdegradation zu verringern. Außerdem sind auch statische Leuchtstoffanordnungen bekannt, bei denen die Leuchtstoffe auf einem Kühlkörper aufgebracht sind. Jedenfalls wird das von einem Leuchtstoff wellenlängenumgewandelte Licht mit einer optischen Vorrichtung, z. B. Reflektor, Sammellinse oder TIR-Optik (TIR: Total Internal Reflection; z. B. konischer Glasstab), eingesammelt und für die betreffende Anwendung weiterverwendet.

[0005] Nachteilig ist, dass Rotleuchtstoffe im Vergleich zu Gelb- und Grünleuchtstoffen eine geringere Konversionseffizienz haben, wenn sie mit Laserstrahlung hoher Flächenleistungsdichten bestrahlt werden (z. B. 10–50 W/mm²). Dadurch sind insbesondere für rotes Licht den mit LARP-Technologie erzielbaren Lichtströmen und Leuchtdichten Grenzen gesetzt.

Darstellung der Erfindung

[0006] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Beleuchtungsanordnung auf der Basis der LARP-Technologie mit verbessertem Lichtstrom und hoher Leuchtdichte für zumindest eine Lichtfarbe bereitzustellen.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Beleuchtungsanordnung, mindestens aufweisend eine Leuchtstoffanordnung mit mindestens einem Leuchtstoffbereich, mindestens einen ersten Laser zum Anstrahlen jeweils zumindest eines Teils des Leuchtstoffbereichs mit einer ersten Laserstrahlung, wobei der mindestens eine Leuchtstoffbereich mindestens einen Leuchtstoff aufweist, der durch die erste Laserstrahlung bestrahlbar ist und diese erste Laserstrahlung zumindest teilweise wellenlängenumgewandelt in Farblicht mit einer ersten Lichtfarbe wieder abstrahlt, mindestens einen zweiten Laser, der zum Abstrahlen einer zweiten Laserstrahlung mit einer zweiten Lichtfarbe ausgelegt ist, wobei die zweite Lichtfarbe der zweiten Laserstrahlung gleich ist

wie die erste Lichtfarbe des wellenlängenumgewandelten Farblichts, und wobei die Beleuchtungsvorrichtung dazu ausgelegt ist, die zweite Laserstrahlung und das von dem mindestens einen Leuchtstoff abgestrahlte wellenlängenumgewandelte gleichfarbige Farblicht simultan abzustrahlen.

[0008] Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

[0009] Außerdem wird die Aufgabe hinsichtlich ihrer Aspekte zum Betreiben der erfindungsgemäßen Vorrichtung gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Patentanspruch 13.

[0010] Der mindestens eine Laser kann insbesondere mindestens einen Halbleiterlaser, insbesondere Diodenlaser oder Laserdiode, umfassen. Auch können Laserdioden einfach in Gruppen zusammen betrieben werden, z. B. als Stapel ("laser stack") oder Matrix.

[0011] Der Leuchtstoffbereich kann insbesondere eine Leuchtstoffschicht mit einen oder mehrere Leuchtstoffen aufweisen. Eine Leuchtstoffschicht des Leuchtstoffbereichs kann in Bezug auf seine Dicke und/oder eine Konzentration des mindestens einen Leuchtstoffs so gezielt einstellbar sein, dass folglich auch ein wellenlängenumgewandelter Anteil gezielt einstellbar ist. Insbesondere kann durch eine ausreichend hohe Leuchtstoffkonzentration und/oder eine ausreichend große Dicke die eingestrahlte erste Laserstrahlung im Wesentlichen vollständig wellenlängenumgewandelt werden. Dies kann insbesondere einem Umwandlungsgrad von mindestens ca. 95%, insbesondere von mindestens ca. 98%, insbesondere von mindestens ca. 99%, entsprechen.

[0012] Die Wellenlängenumwandlung kann beispielsweise auf der Grundlage einer Lumineszenz, insbesondere Foto-Lumineszenz oder Radio-Lumineszenz, insbesondere Phosphoreszenz und/oder Fluoreszenz, durchgeführt werden.

[0013] Der Leuchtstoffbereich kann aber auch (nur) als ein Diffusor für die einfallende zweite Laserstrahlung dienen. Das Spektrum der von dem Leuchtstoffbereich diffus und ohne Leuchtstoffkonversion gestreuten zweiten Laserstrahlung bleibt folglich unverändert.

[0014] Neben der mindestens einen ersten Laserstrahlung kann auch eine oder mehrere weitere Laserstrahlungen mit voneinander verschiedenen Laserspektren zur Anregung des mindestens einen Leuchtstoffbereichs, d. h. für die Leuchtstoffkonversion in Farblicht mit einer Lichtfarbe, verwendet werden. Beispielsweise kann es vorteilhaft sein, einen ersten Leuchtstoff (z. B. Rotleuchtstoff) mit einer Laserstrahlung mit einem ersten Laserspektrum (z. B. blaue Laserstrahlung) zu bestrahlen und einen zweiten Leuchtstoff (z. B. Blauleuchtstoff) mit einer Laserstrahlung mit einem zweiten Laserspektrum (z. B. blauviolette oder ultraviolette Laserstrahlung). Ebenso kann es für die Überlagerung mit unkonvertierter Laserstrahlung vorteilhaft sein, außer der mindestens einen zweiten Laserstrahlung eine oder mehrere weitere Laserstrahlungen mit voneinander verschiedenen Laserspektren aber jeweils gleicher Lichtfarbe wie das von einem Leuchtstoff konvertierte Farblicht vorzusehen.

[0015] Unter den Begriffen "gleiche Lichtfarbe" bzw. "gleichfarbiges Licht" oder Ähnliches ist im Sinne der vorliegenden Erfindung zu verstehen, dass sich die dominante Wellenlänge der zweiten Laserstrahlung von der dominanten Wellenlänge des simultan überlagerten wellenlängenumgewandelten Lichts (mittels Leuchtstoffkonversion der ersten Laserstrahlung) betragsmäßig nicht mehr unterscheidet als in dieser Reihenfolge zunehmend bevorzugt um 20%, 15%, 10%, 5%. Die dominante Wellenlänge von Licht einer Lichtfarbe (Farblicht) ist im CIE-Farbdiaagramm (Normfarbtafel) durch den Schnittpunkt der vom Weißpunkt über den ermittelten Farbort des Farblichts verlängerten Geraden mit dem Spektralzug des nächstliegenden Rands des CIE-Farbdiaagramms definiert.

[0016] Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, auch bei hohen Leuchtdichten den Lichtstrom eines Farblichtanteils des Nutzlichts einer Beleuchtungsvorrichtung auf LARP-Basis dadurch zu erhöhen, dass dem in bekannter Weise mittels Leuchtstoffkonversion erzeugten breitbandigen Farblicht mit einer dem verwendeten Leuchtstoff entsprechenden Lichtfarbe eine schmalbandige Laserstrahlung mit derselben Lichtfarbe simultan überlagert wird. Nur durch die gleichzeitige Überlagerung von konvertiertem Farblicht mit Laserstrahlung derselben Lichtfarbe wird für die jeweilige Lichtfarbe ein, insbesondere für Projektionsanwendungen erforderlicher, hoher Lichtstrom sowie eine hohe Leuchtdichte erzielt. Vereinfacht gesagt wird also beispielsweise das von einem Rotleuchtstoff erzeugte breitbandige rote Licht mit schmalbandiger roter Laserstrahlung simultan überlagert, wodurch überlagertes rotes Licht (R) mit den erfindungsgemäßen lichttechnischen Eigenschaften resultiert. Es kann auch vorteilhaft sein, dem von einem Rotleuchtstoff erzeugten breitbandigen roten Licht schmalbandige rote Laserstrahlung mit zwei oder mehr verschiedenen Laseremissionswellenlängen simultan zu überlagern, beispielsweise mit einer Laseremissionswellenlänge von 638 nm und 670 nm. Dieses Konzept

ist prinzipiell auch für andere Lichtfarben geeignet, z. B. grün (G), gelb (Y) oder blau (B). Allerdings ist dies für die anderen Lichtfarben mit den derzeit verfügbaren Leuchtstoffen und Laserdiodenwellenlängen (noch) nicht so effizient möglich wie für rotes Licht.

[0017] Durch geeignetes Mischen des erfindungsgemäß überlagerten Farblichts mit einem oder mehreren weiteren Farblichtanteilen kann Mischlicht mit einem zur jeweilige Anwendung der Beleuchtungsvorrichtung passenden Summenfarbort eingestellt werden. Bei Bedarf können die weiteren Farbanteile ihrerseits ebenfalls durch Überlagerung von breitbandigem Licht einer Lichtfarbe von einer Leuchtstoffkonversion mit gleichfarbiger Laserstrahlung erzeugt sein.

[0018] Insbesondere für Projektionsanwendungen werden für die einzelnen Farbkanäle einer Bilderzeugungseinheit entsprechende Farblichtanteile benötigt, beispielsweise in den einen Farbraum (Gamut) aufspannenden Grundfarben rot, gelb, grün, blau, deren dominante Wellenlängen innerhalb bestimmter Wellenlängenbereiche liegen.

[0019] Für den Rotkanal eines Video-Projektors beispielsweise wird rotes Licht mit einer dominanten Wellenlänge im Bereich von ca. 600 bis 620 nm benötigt. Der Erfinder hat gefunden, dass sich hierfür vorteilhaft die simultane Überlagerung von breitbandigem roten Licht – erzeugt von einem mit Laserstrahlung angeregten Rotleuchtstoff – und schmalbandige rote Laserstrahlung – beispielsweise von einer roten Laserdiode mit einer Emissionswellenlänge von ca. 638 nm – eignet. Nur die simultane Überlagerung des mittels LARP-Technologie erzeugten Konversionslichts mit gleichfarbiger Laserstrahlung ermöglicht es, neben einem hohen Lichtstrom auch eine hohe Leuchtdichte für das resultierende Farblicht zu erzielen. Leuchtdioden (LED) sind aufgrund ihrer großen Etendue für die angestrebten hohen Leuchtdichten im übrigen nicht geeignet. In der Tabelle weiter unten sind einige wesentliche Erkenntnisse zusammengefasst, wobei der jeweilige Rotleuchtstoff RL mit einer blauen Laserdiode und einer Flächenleistungsdichte von 10 W/mm² bestrahlt wurde. Die rote Laserdiode LD hatte eine Emissionswellenlänge von ca. 638 nm.

Nr.	Leistung [W]		Lichtstrom [lm]	dominante Wellenlänge [nm]
	RL	LD		
1	1 (L0)	-	210	600,2
2	1 (L1)	-	270	596,2
3	0,75 (L0)	0,25	190	604,7
4	0,75 (L1)	0,25	235	600,3
5	1 (L1)	0,33	315	600,3

[0020] Wie ein Vergleich der Zeilen 1 und 4 erkennen lässt, wird bei gleicher optischer Leistung (1 W) und gleicher dominanter Wellenlänge (ca. 600 nm), aber mit zusätzlicher roter Laserdiode LD (25% der optischen Leistung) ein um ca. 10% höherer Lichtstrom erzielt als ohne. Um die dominante Wellenlänge konstant halten zu können, wurde in der Konfiguration Nr. 1 ohne rote Laserdiode ein Standardleuchtstoff L0 verwendet und mit roter Laserdiode ein entsprechend angepasster Leuchtstoff L1. Alternativ kann bei gleichem Leuchtstoff L0 und zusätzlich roter Laserdiode LD eine größere dominante Wellenlänge (604,7 nm statt 600,2 nm) erzielt werden (vgl. Zeilen 1 und 3).

[0021] Der Vergleich der Zeilen 1 und 5 lässt erkennen, dass bei gleicher dominanter Wellenlänge (ca. 600 nm), aber mit 33% zusätzlicher optischer Leistung aus einer roten Laserdiode LD ein um fast 50% höherer Lichtstrom erzielt wird. Diese Ergebnisse lassen das Steigerungspotential für den Lichtstrom im roten Farbkanal erkennen, wenn bei entsprechend hohen Flächenleistungsdichten der Pumplaserstrahlung auf dem Rotleuchtstoff die maximale Konversion des Rotleuchtstoffs erreicht ist, d. h. wenn durch Erhöhen der Pumplaserleistung kein höherer farbiger Lichtstrom durch die entsprechende Leuchtstoffkonversion allein mehr möglich ist.

[0022] Entscheidend in diesem Zusammenhang ist, dass das mittels Leuchtstoff konvertierte Farblicht und die gleichfarbige Laserstrahlung gleichzeitig erzeugt bzw. überlagert werden. Nur dann ist eine Steigerung des Lichtstroms in dem betreffenden Farbkanal möglich.

[0023] Für weitere Details zur simultanen Erzeugung und anschließende Überlagerung von breitbandigem Licht einer Leuchtstoffkonversion und gleichfarbiger Laserstrahlung sei auf die nachfolgenden Ausführungsbeispiele verwiesen. Die dabei für die erfindungsgemäße Beleuchtungsvorrichtung beschriebenen Ausgestal-

tungsmöglichkeiten, Merkmale und deren Vorteile gelten in analoger Weise, soweit anwendbar, auch für das erfindungsgemäße Verfahren.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0024] Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Figuren zeigen:

[0025] Fig. 1 eine Beleuchtungsvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform mit einem drehbaren Leuchtstoffrad,

[0026] Fig. 2 in Draufsicht eine mögliche Ausführungsform des Leuchtstoffrads der Beleuchtungsvorrichtung aus Fig. 1,

[0027] Fig. 3 eine Beleuchtungsvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform mit einem drehbaren Leuchtstoffrad,

[0028] Fig. 4 eine Variante der in Fig. 3 gezeigten Beleuchtungsvorrichtung,

[0029] Fig. 5 eine Beleuchtungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform mit einer statischen Leuchtstoffanordnung,

[0030] Fig. 6a den zeitlichen Verlauf der Leuchtstoffsegmente des Leuchtstoffrads der Beleuchtungsvorrichtung aus Fig. 1,

[0031] Fig. 6b den zeitlichen Verlauf der blauen Laserstrahlung der Beleuchtungsvorrichtung aus Fig. 1,

[0032] Fig. 6c den zeitlichen Verlauf der roten Laserstrahlung der Beleuchtungsvorrichtung aus Fig. 1.

Bevorzugte Ausführung der Erfindung

[0033] Gleiche Bezugszeichen bei unterschiedlichen Ausführungsbeispielen bezeichnen im Folgenden gleiche oder gleichartige Merkmale.

[0034] Fig. 1 zeigt als schematische Schnittdarstellung in Seitenansicht eine Beleuchtungsvorrichtung **1** mit einem Leuchtstoffrad **2**, das um eine Drehachse **W** drehbar ist, wie durch den gekrümmten Pfeil angedeutet. Fig. 2 zeigt in Draufsicht eine mögliche Ausführungsform des Leuchtstoffrads **2**. Die Beleuchtungsvorrichtung **1** ist beispielsweise für die Anwendung in einem Videoprojektor mit einer Bilderzeugungseinheit mit den Farbkämen rot (r), grün (g) und blau (b) geeignet.

[0035] Das Leuchtstoffrad **2** weist drei Leuchtbereiche **31**, **32** und **33** auf, welche als benachbarte Ringsegmente auf einem zu der Drehachse **W** konzentrischen Ring ausgebildet sind. Die Beleuchtungsvorrichtung **1** weist ferner einen ersten Laser **5** zum Anstrahlen der drei Leuchtbereiche **31** bis **33** sowie einen zweiten Laser **6** zum Anstrahlen jeweils nur des Leuchtbereichs **31** (R) auf, welche beide eine Oberseite **O** des Leuchtstoffrads **2** bestrahlen. Der erste Laser **5** strahlt ultraviolette Laserstrahlung oder zumindest blauviolette Laserstrahlung **b** ab, und der zweite Laser **6** strahlt rote Laserstrahlung **r** ab. Die jeweilige Laserstrahlung **b**, **r** der beiden Laser **5**, **6** wird über eine Optik **7** auf eine gemeinsame Bestrahlungszone auf der Oberseite **O** des Leuchtstoffrads **2** zusammengeführt und bildet dort den – während des Rotleuchtstoffsegments **R** gemeinsamen – Laserstrahlungsfleck **L**, unter dem sich das Leuchtstoffrad **2** dreht.

[0036] Die Leuchtbereiche **31** bis **33** sind hier mit einer ersten Leuchtstoffschicht **R**, einer zweiten Leuchtstoffschicht **G** und einer dritten Leuchtstoffschicht **B** bedeckt, welche die blauviolette Laserstrahlung **b** des ersten Lasers **5** mit einem hohen Konversionsgrad, z. B. von mehr als 95%, zeitlich nacheinander in rotes (Rotleuchtstoff), grünes (Grünleuchtstoff) bzw. blaues Licht (Blauleuchtstoff) durch "Down conversion" umwandeln. Das rote, grüne bzw. blaue Licht wird dann jeweils in einen oberen Halbraum **OH** oberhalb der angestrahlten Oberseite **O** des Leuchtstoffrads **2** gestreut. Die Leuchtbereiche **31** und **33** dienen also als unterschiedliche Leuchtstoffbereiche **R**, **G**, **B** für die Laserstrahlung des ersten (blauvioletten) Lasers **5**. Für die Bestrahlung des vollständigen durch die Leuchtbereiche **31** bis **33** gebildeten konzentrischen Rings wird der erste (blauviolette) Laser **5** deshalb im Dauerstrichbetrieb betrieben.

[0037] Der zweite (rote) Laser **6**, wird hingegen vorzugsweise getaktet betrieben und zwar so, dass er nur rote Laserstrahlung r emittiert, während der Leuchtbereich **31**, d. h. die Leuchtstoffschicht R mit dem Rotleuchtstoff, unter dem Laserstrahlungsfleck $L(r, b)$ vorbei dreht. Dazu ist es vorteilhaft, die Ansteuerung des roten Lasers **6** mit dem Leuchtstoffrad entsprechend zu synchronisieren (der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt). Mit anderen Worten wird die Leuchtstoffschicht R gleichzeitig (simultan) sowohl von dem ersten Laser **5** mit blauvioletter Laserstrahlung b als auch von dem zweiten Laser **6** mit roter Laserstrahlung r bestrahlt, d. h. der rote Laserstrahlungsfleck überdeckt während des Rotleuchtstoffsegments R den blauen Laserstrahlungsfleck zum gemeinsamen Laserstrahlungsfleck $L(r, b)$. Während die blauviolette Laserstrahlung b von dem Rotleuchtstoff in rotes Licht umgewandelt wird, wird die rote Laserstrahlung r von dem Rotleuchtstoff bei nur geringen Absorptionsverlusten gestreut. Durch die simultane Kombination aus unkonvertiert gestreuter roter Laserstrahlung und wellenlängengewandeltem roten Licht wird so ein höherer Lichtstrom für den roten Farbkanal erzielt. Die zeitliche Synchronisation zwischen Leuchtstoffrad **2** und blauvioletter Laserstrahlung b sowie roter Laserstrahlung r ist in den **Fig. 6a–c** schematisch dargestellt. In **Fig. 6a** ist die zeitliche Abfolge der unter dem Laserstrahlungsfleck L hindurch drehenden Leuchtstoffsegmente R (Rotleuchtstoff), G (Grünleuchtstoff) und B (Blauleuchtstoff) des Leuchtstoffrads **2** dargestellt. **Fig. 6b** zeigt, beginnend mit einem Zeitpunkt, der im gezeigten Beispiel dem Beginn des Rotleuchtstoffsegments R entspricht, die Dauerstrichleistung I_b der blauvioletten Laserstrahlung b mit einem zeitlich konstanten Wert größer Null. **Fig. 6c** zeigt schließlich den zeitlichen Verlauf der getakteten roten Laserstrahlung r , deren Laserleistung I_r nur in den Phasen, in denen das Rotleuchtstoffsegment R unter dem Laserstrahlungsfleck L hindurch dreht, größer Null ist. Das Verfahren zum Betreiben der in **Fig. 1** dargestellten Beleuchtungsvorrichtung **1** lässt mit Bezug auf die **Fig. 6a–c** also wie folgt zusammenfassen:

- Rotieren des Leuchtstoffrads **2**,
- Betreiben des blauvioletten Lasers **5** im Dauerstrichbetrieb,
- Bestrahlen des Leuchtstoffrads **2** mit der blauviolette Laserstrahlung b des blauvioletten Lasers **5** so, dass die blauviolette Laserstrahlung b auf dem hindurchrotierenden Leuchtstoffrad **2** einen Laserstrahlungsfleck L bildet, wodurch die Leuchtstoffsegmente R , G , B nacheinander wiederholt von der blauvioletten Laserstrahlung b bestrahlt werden,
- Betreiben des roten Lasers **6** im getakteten Betrieb,
- Bestrahlen des Leuchtstoffrads **2** mit der roten Laserstrahlung r des roten Lasers **6** so, dass während der Einschaltphasen des roten Lasers **6** die rote Laserstrahlung r auf dem hindurchrotierenden Leuchtstoffrad **2** einen Laserstrahlungsfleck L an der selben Stelle bildet, wie die blauviolette Laserstrahlung b ,
- Synchronisieren der Einschaltphasen des roten Lasers **6** mit dem Leuchtstoffrad **2** so, dass die rote Laserstrahlung r das Rotleuchtstoffsegments R bestrahlt.

[0038] Durch das Bestrahlen des Leuchtstoffrads **2** sowohl mit der blauvioletten Laserstrahlung b als auch mit der roten Laserstrahlung r an der gleichen Stelle L einerseits und die zeitliche Synchronisation der Einschaltphasen des roten Lasers **6** mit dem hindurchrotierenden Rotleuchtstoffsegment R andererseits wird erreicht, dass durch das Rotleuchtstoffsegment R die Leuchtstoffkonversion der einfallenden blauvioletten Laserstrahlung b (also die Erzeugung von breitbandigem rotem Licht) und die unkonvertierte Streuung der einfallenden roten (schmalbandigen) Laserstrahlung r gleichzeitig erfolgen.

[0039] Die Synchronisation der Einschaltphasen des roten Lasers mit dem hindurchrotierenden Rotleuchtstoffsegment R entfällt, wenn der rote Laser **6** alternativ – wie der blauviolette Laser **5** – auch im Dauerstrichbetrieb betrieben wird. Jedoch ist aus Gründen der Energieeffizienz für den roten Laser **6** ein getakteter Betrieb in der Regel vorzuziehen. Entscheidend ist jedenfalls, dass zumindest ein zeitlicher Überlapp des konvertieren (breitbandigen) roten Lichts und der unkonvertierten (schmalbandigen) roten Laserstrahlung erzielt wird.

[0040] Das vorstehend erläuterte Verfahren funktioniert prinzipiell sinngemäß auch mit anderen Lichtfarben, insbesondere auch mit der Kombination Grünleuchtstoffkonversion und grüne Laserstrahlung sowie Blauleuchtstoffkonversion und blaue Laserstrahlung.

[0041] Dem Leuchtstoffrad **2** ist ein Reflektor **8** hier in Form eines elliptischen Halbschalenreflektors optisch nachgeschaltet. Der Reflektor **8** überdeckt einen Teil der angestrahlten Seite des Leuchtstoffrads **2**, einschließlich des durch die beiden Laser **5** und **6** angestrahlten Bereichs bzw. Laserstrahlungsflecks L , und ist folglich in dem oberen Halbraum OH positioniert. In dem Reflektor **8** befindet sich eine Öffnung **4**, durch welche die Laserstrahlung der beiden Laser **5** und **6** in das Innere des Reflektors **8** eintreten und dort die Leuchtbereiche **31** bis **33** bestrahlen kann. Das Leuchtstoffrad **2** ist teilweise außerhalb des Reflektors **8** angeordnet, was eine Positionierung eines Antriebsmotors für die Drehachse W und eine Kühlung des Leuchtstoffrads **2** erleichtert.

[0042] Ein Brennpunkt F des Reflektors **8** befindet sich in oder nahe an der durch die Laserstrahlung der beiden Laser **5** und **6** erzeugten Lichtemissionsfläche oder Laserstrahlungsflecks L auf dem Leuchtstoffrad **2** bzw. dessen Leuchtbereiche **31** bis **33**.

[0043] Im zweiten Brennpunkt F' des Reflektors **8** ist ein Filterrad **9** angeordnet, das synchron zur Bestrahlung des Rot- und Grünleuchtstoffes die nicht konvertierte blaue Laserstrahlung sperrt und damit die Farbreinheit des roten bzw. grünen Farbkanals verbessert. Unmittelbar nach dem Filterrad **9** bzw. dem zweiten Brennpunkt F' des Reflektors **8** ist ein optischer Integrator **10**, beispielsweise eine konische TIR-Optik (TIR = Total Internal Reflexion), angeordnet, die die erwähnten Farbanteile des Nutzlichts einsammelt und zur weiteren Verwendung, beispielsweise wie eingangs erwähnt für die Bilderzeugungseinheit eines Videoprojektors, weiterleitet.

[0044] Das von dem Reflektor **8** über den optischen Integrator **10** abgestrahlte Licht (einschließlich der vom Rotleuchtstoff unkonvertiert zurückgestreuten roten Laserstrahlung) wird bei ausreichend schnell ausgeführten Lichtfolge, z. B. bei einer Drehung des Leuchtstoffrads **2** von mindestens 25 Umdrehungen pro Sekunde, als ein Mischlicht mit roten, grünen und blauen Farbanteilen wahrgenommen.

[0045] Alternativ (nicht dargestellt) kann auf den Blauleuchtstoff verzichtet werden, wenn für den ersten Laser ein blaue Laserstrahlung abstrahlender Laser verwendet wird (anstatt blauviolette Laserstrahlung oder UV-Laserstrahlung). Dann kann für den Blauanteil des Nutzlichtes der Beleuchtungsanordnung die blaue Laserstrahlung direkt genutzt werden. Dazu weist der Leuchtbereich ein auf einem reflektierenden Grund aufgebracht blaues Licht streuendes Material auf, welches die blaue Laserstrahlung des ersten Lasers ohne eine Wellenlängenumwandlung in den oberen Halbraum OH streut. Hinsichtlich der Funktionsweise des Grün- bzw. Rotleuchtstoffs gilt auch hier das bereits oben erläuterte.

[0046] In einer nicht dargestellten Variante sind die beiden Laser als Laserdiodenmatrix ausgebildet. Die Laserdiodenmatrix besteht aus 4 mal 5 Laserdioden mit je 1 Watt Laserstrahlleistung. Von den insgesamt 20 Laserdioden sind 16 als blaue und 4 als rote Laserstrahlung emittierende Laserdioden ausgebildet. Bei Verwendung eines Blauleuchtstoffs kommen blauviolette Laserdioden mit einer Emissionswellenlänge von ca. 405 nm in Betracht, bei der Variante ohne Blauleuchtstoff sind Laserdioden mit einer Emissionswellenlänge von ca. 460 nm geeignet. Als rote Laserdioden eignen sich solche mit einer Emissionswellenlänge von ca. 638 nm. Die roten und blauen Laserdioden können sowohl gemischt als auch räumlich gruppiert angeordnet sein, d. h. in Form eines flächigen Farbmusters, beispielsweise innen rote und außen blaue Laserdioden oder umgekehrt. Vorzugsweise wird die Laserstrahlung der Laserdiodenmatrix mit Hilfe eines sogenannten TIR-Treppenspiegels um 90° zur optischen Achse der Laserdiodenmatrix gespiegelt und dabei die Flächenverteilung der 20 Laserstrahlen in einer oder zwei zueinander senkrechten Achsen komprimiert und anschließend mit Hilfe einer Brennlinse auf das Leuchtstoffrad fokussiert. Die Kompression ermöglicht die Verwendung einer Brennlinse mit geringerem Durchmesser als ohne Kompression.

[0047] Als Leuchtstoffe kommen beispielsweise in Betracht:

Rotleuchtstoff (R): $\text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}$,

Grünleuchtstoff (G): $\text{YAG}:\text{Ce}(\text{Y}_{0,96}\text{Ce}_{0,04})_3\text{Al}_{3,75}\text{Ga}_{1,25}\text{O}_{12}$,

Blauleuchtstoff (B): $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$.

[0048] Darüber hinaus sind zahlreiche weitere geeignete Leuchtstoffe für die Erfindung verwendbar. Je nach Anwendung kommen solche mit vergleichbarem Konversionsspektrum wie die genannten, also rot, grün und blau, in Betracht oder aber auch solche mit anderem Konversionsspektrum.

[0049] Fig. 3 zeigt in einer schematischen Darstellung eine weitere erfindungsgemäße Beleuchtungsanordnung **101** mit den Farblichtkanälen rot, grün und blau. Im Unterschied zu der Beleuchtungsanordnung **1** wird hier die unkonvertierte rote Laserstrahlung in einem separaten Strahlengang für die Überlagerung mit dem konvertierten roten Licht eingespeist. Die Leuchtstoffbereiche **131** des Leuchtstoffrads **102** werden hier also nur mit der blauen Laserstrahlung eines ersten Lasers **105** angestrahlt, um damit rotes und grünes konvertiertes Licht zu erzeugen. Dazu weist das Leuchtstoffrad **102** einen Sektor mit einem Rotleuchtstoff und einen Sektor mit einem Grünleuchtstoff auf. Ein blaues Licht reflektierender dichroitischer Spiegel **11** lenkt die blaue Laserstrahlung auf das Leuchtstoffrad **102**. Je nach dem, welcher der beiden Leuchtstoffsektoren gerade unter dem blauen Laserstrahlungsfleck vorbei dreht, wird das von dem Rot- bzw. Grünleuchtstoff zurückgestreute konvertierte rote bzw. grüne Licht von einer Kollimatorlinse **12** eingesammelt und durch den für rotes bzw. grünes Licht transparenten dichroitischen Spiegel **11** hindurch über eine Sammellinse **13** auf einen optischen Integrator **110**, beispielsweise einen konischen TIR-Stab, gelenkt. Für den blauen Farbkanal weist das Leuchtstoffrad **102** neben dem roten und grünen Leuchtstoffsektor einen Sektor mit einem Schlitz **15** auf. Immer wenn

sich dieser Schlitzsektor **15** durch den von der einen Seite des dichroitischen Spiegels **11** kommenden blauen Laserstrahl hindurch bewegt, kann der blaue Laserstrahl durch den Schlitz passieren und wird über drei Umlenkspiegel **16–18** auf die andere Seite des dichroitischen Spiegels **11** zurückreflektiert. Vom dichroitischen Spiegel **11** wird die blaue Laserstrahlung über die Sammellinse **13** schließlich auf die Eingangsapertur des optischen Integrators **110** gebündelt. Zusätzlich wird in einem separaten Strahlengang rote Laserstrahlung einer roten Laserdiode **106** über eine Kollimatorlinse **14** und die Sammellinse **13** auf die Eingangsapertur des optischen Integrators **110** abgebildet und dort mit dem rot konvertierten Licht simultan überlagert. Auf diese Weise wird der Lichtstrom bei hoher Leuchtdichte für den roten Farblichtkanal erhöht. Für die simultane Überlagerung wird der blaue Laser **105** im Dauerstrich betrieben. Der zweite rote Laser **106**, wird hingegen getaktet betrieben und zwar so, dass er nur Laserstrahlung emittiert, während der Leuchtbereich **31**, d. h. die Leuchtstoffschicht R mit dem Rotleuchtstoff, unter dem Laserstrahlungsfleck L vorbei dreht, also letztlich in der Phase, in der auch rot konvertiertes Licht erzeugt und in den optischen Integrator **110** gelenkt wird. Insofern entspricht die zeitliche Steuerung und Synchronisation des Verfahrens zum Betreiben der Beleuchtungsvorrichtung **101** dem bereits erläuterten Verfahren zum Betreiben der Beleuchtungsvorrichtung **1** (siehe **Fig. 1** und **Fig. 6**).

[0050] **Fig. 4** zeigt in einer schematischen Darstellung eine weitere erfindungsgemäße Beleuchtungsvorrichtung **201**, die eine Variante der in **Fig. 3** gezeigten Beleuchtungsvorrichtung **101** ist. Hier wird die rote und blaue Laserstrahlung mit Hilfe einer gemeinsamen Laserdiodenmatrix **19** erzeugt. Dazu weist die Laserdiodenmatrix **19** vier mal vier blaue Laserdioden **205** sowie vier rote Laserdioden **206** auf. Die vier roten Laserdioden **206** sind außerhalb der ein quadratisches Feld umspannenden sechzehn blauen Laserdioden **205** so angeordnet, dass die rote Laserstrahlung ungehindert außen an einem rotes Licht reflektierenden dichroitischen Spiegel **211** vorbei gehen kann. Die rote Laserstrahlung gelangt so über die Linse **12** auf das Leuchtstoffrad **102**, wobei die roten Laserdioden **206** so getaktet angesteuert werden, dass die rote Laserstrahlung nur auf den Rotleuchtstoff des Leuchtstoffbereichs **131** trifft und von dort mit nur sehr geringer Absorption fast vollständig zurückgestreut wird. Die zurückgestreute rote Laserstrahlung wird von der Linse **12** auf den rotes Licht reflektierenden dichroitischen Spiegel **211** gebündelt, der die rote Laserstrahlung über die Sammellinse **13** in den optischen Integrator **110** lenkt. Die blaue Laserstrahlung von den blauen Laserdioden **205** passiert hingegen den dichroitischen Spiegel **211** und wird von der Linse **12** auf das Leuchtstoffrad **102** gebündelt. Im Verlaufe einer vollständigen Drehung des Leuchtstoffrades **102** trifft die blaue Laserstrahlung auf den Rotleuchtstoff und wird zu rotem Licht konvertiert, den Grünleuchtstoff und wird zu grünem Licht konvertiert oder den Schlitzsektor und passiert das Leuchtstoffrad **102** ohne Konversion. Die das Leuchtstoffrad **102** durch den Schlitz **15** passierende blaue Laserstrahlung wird über drei Umlenkspiegel durch den rotes Licht reflektierenden dichroitischen Spiegel **211** hindurch und über die Sammellinse **13** in den optischen Integrator **110** lenkt. Die beiden durch Leuchtstoffkonversion von den entsprechenden Leuchtstoffen des Leuchtstoffrades zurückgestreuten Farblichtanteile Rot und Grün werden von der Linse **12** auf den dichroitischen Spiegel **211** gebündelt und von dort über die Sammellinse **13** in den optischen Integrator **110** lenkt. Damit das vom Rotleuchtstoff konvertierte rote Licht und die rote unkonvertierte Laserstrahlung im optischen Integrator **110** simultan überlagern, werden die roten Laserdioden **206** so getaktet betrieben, dass die rote Laserstrahlung gleichzeitig mit der blauen Laserstrahlung auf denselben Rotleuchtstoff treffen und dort konvertiert bzw. unkonvertiert zurückgestreut werden. Für den roten Farblichtkanal wird auf diese Weise am Ausgang des optischen Integrators rotes Lichts mit höherem Lichtstrom bei hoher Leuchtdichte erzielt. Falls Bedarf für einen weiteren Farblichtkanal besteht, kann das Leuchtstoffrad **102** mit einem weiteren sektorförmigen Leuchtstoffbereich versehen werden, beispielsweise mit einem Gelbleuchtstoff für einen zusätzlichen gelben Farblichtkanal.

[0051] **Fig. 5** zeigt in einer schematischen Darstellung eine weitere erfindungsgemäße Beleuchtungsvorrichtung **301**. Hierbei handelt es sich um eine statische Leuchtstoffanordnung, d. h. ohne Leuchtstoffrad. Die Leuchtstoffe für die verschiedenen Farblichtkanäle sind vielmehr auf einem massiven Kühlkörper **20** als Träger in Form einer quadratischen Leuchtstoffschicht **21** mit drei nebeneinander angrenzenden streifenförmigen Abschnitten (nicht abgebildet), je einer für den Rot-, Grün- und Blauleuchtstoff, angeordnet. Eine erste Lasermatrix **22** mit sechzehn ultravioletten (UV) Laserdioden (nicht dargestellt) liefert UV-Laserstrahlung, die über einen UV-Strahlung reflektierenden dichroitischen Spiegel **311**, eine Linse **23** sowie eine TIR-Optik **24** auf die Leuchtstoffschicht **21** trifft. Die TIR-Optik **24** dient zum einen dazu, die UV-Laserstrahlung mittels innerer Mehrfachreflexion räumlich zu homogenisieren und dadurch die Leuchtstoffschicht **21** mit den drei streifenförmigen Leuchtstoffen gleichmäßig zu bestrahlen. Zum anderen dient sie dem Einsammeln des von den Leuchtstoffen zurück gestreuten bzw. diffus reflektierten und wellenlängenumgewandelten Anteils der UV-Laserstrahlung. Zu diesem Zweck besteht die TIR-Optik **24** im wesentlichen aus einem konischen Quarzglasstab mit rundem Querschnitt. Die von der TIR-Optik **24** gesammelten konvertierten Farblichtanteile rot, grün und blau werden durch die Linse **23** gebündelt, passieren den dichroitischen Spiegel **311** und werden von einer Sammellinse **13** in einen optischen Integrator **110** eingespeist. Parallel zu diesem Strahlengang der konvertierten Farblichtanteile rot, grün, blau wird rote Laserstrahlung, erzeugt von vier roten Laserdioden einer roten Laserdiodenmatrix

25, über die Sammellinse **13** in den optischen Integrator **110** eingespeist. Die rote und die UV Lasermatrix können beide im Dauerstrich oder getaktet betrieben werden, letzteres aber synchron getaktet, damit im optischen Integrator **110** das vom Rotleuchtstoff konvertierte rote Licht mit der unkonvertierten roten Laserstrahlung simultan überlagert wird. Für den roten Farblichtkanal wird auf diese Weise am Ausgang des optischen Integrators rotes Lichts hoher Leuchtdichte und höherem Lichtstrom als ohne simultane Überlagerung erzielt.

Patentansprüche

1. Beleuchtungsvorrichtung (**1**), mindestens aufweisend
 - eine Leuchtstoffanordnung (**2**) mit mindestens einem Leuchtstoffbereich (**31–33**),
 - mindestens einen ersten Laser (**5**) zum Anstrahlen jeweils zumindest eines Teils des Leuchtstoffbereichs (**31–33**) mit einer ersten Laserstrahlung,
 - wobei der mindestens eine Leuchtstoffbereich (**31–33**) mindestens einen Leuchtstoff aufweist, der durch die erste Laserstrahlung bestrahlbar ist und diese erste Laserstrahlung zumindest teilweise wellenlängenumgewandelt in Farblicht mit einer ersten Lichtfarbe wieder abstrahlt,
 - mindestens einen zweiten Laser (**6**), der zum Abstrahlen einer zweiten Laserstrahlung mit einer zweiten Lichtfarbe ausgelegt ist,
 - wobei die zweite Lichtfarbe der zweiten Laserstrahlung farbgleich ist wie die erste Lichtfarbe des wellenlängenumgewandelten Farblichts, und
 - wobei die Beleuchtungsvorrichtung dazu ausgelegt ist, die zweite Laserstrahlung und das von dem mindestens einen Leuchtstoff abgestrahlte wellenlängenumgewandelte gleichfarbige Farblicht simultan abzustrahlen.
2. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 1, mit einer optischen Einrichtung (**8, 10**) zur Überlagerung der zweiten Laserstrahlung und des von dem mindestens einen Leuchtstoff abgestrahlten wellenlängenumgewandelten gleichfarbigen Farblichts.
3. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 2, wobei die optische Einrichtung einen optischen Integrator (**10**) umfasst.
4. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 3, wobei der optische Integrator ein TIR-Stab ist.
5. Beleuchtungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Spektren von erster und zweiter Laserstrahlung unterschiedlich sind.
6. Beleuchtungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Laserstrahlung des mindestens einen zweiten Lasers (**6**) rote Laserstrahlung umfasst.
7. Beleuchtungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Laserstrahlung des mindestens einen ersten Lasers (**5**) blaue Laserstrahlung und/oder blauviolette und/oder ultraviolette Laserstrahlung umfasst.
8. Beleuchtungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Leuchtstoffanordnung als drehbares Leuchtstoffrad (**2**) ausgebildet ist.
9. Beleuchtungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Beleuchtungsvorrichtung (**1; 11**) mindestens einen dem Leuchtstoffrad (**2**) optisch nachgeschalteten Reflektor (**8**) aufweist und eine durch die Laserstrahlung erzeugte Lichtemissionsfläche (L) des Leuchtstoffbereichs (**31–33**) sich in oder an einem Brennpunkt (F) des mindestens einen Reflektors (**8**) befindet.
10. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 3 und 9, wobei der Reflektor (**8**) elliptisch geformt ist und der optische Integrator (**10**) sich in oder an dem zweiten Brennpunkt (F) des mindestens einen elliptischen Reflektors (**8**) befindet.
11. Beleuchtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Leuchtstoffanordnung als auf einem Träger (**20**) angeordnete Leuchtstoffschicht (**21**) mit vorgelagerter TIR-Optik (**24**) ausgebildet ist.
12. Beleuchtungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die von dem mindestens einen zweiten Laser emittierte zweite Laserstrahlung zwei oder mehr Laseremissionswellenlängen umfasst.

13. Verfahren zum Betreiben einer Beleuchtungsanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Laserstrahlung des mindestens einen zweiten Lasers (**6, 106, 206**) zumindest zeitweise gleichzeitig mit der Bestrahlung des mindestens einen Leuchtstoffs mit der Laserstrahlung des mindestens einen ersten Lasers (**5, 105, 205**) abgestrahlt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der mindestens eine erste Laser (**5, 105, 205**) und der mindestens eine zweite Laser (**6, 106, 206**) gleichzeitig im Dauerstrichbetrieb betrieben werden.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Laserstrahlung des mindestens einen zweiten Lasers (**6, 106, 206**) mit zeitlichem Überlapp zu einer zyklisch wiederkehrenden Phase einer Leuchtstoffkonversion getaktet ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei das von dem mindestens einen Leuchtstoff abgestrahlte wellenlängenumgewandelte Farblicht und die gleichfarbige zweite Laserstrahlung simultan in den optischen Integrator (**10, 110**) eingespeist werden.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

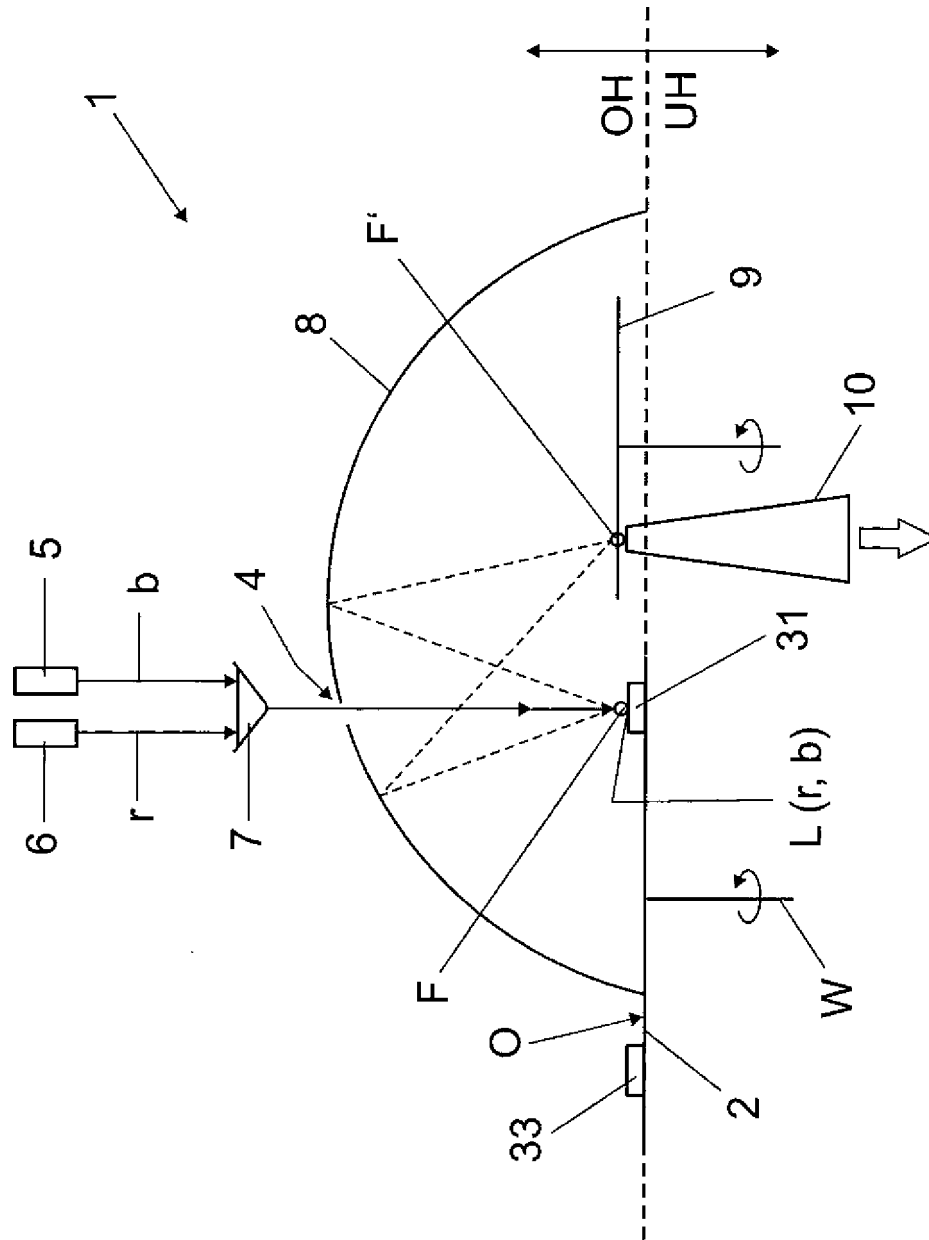


FIG 1

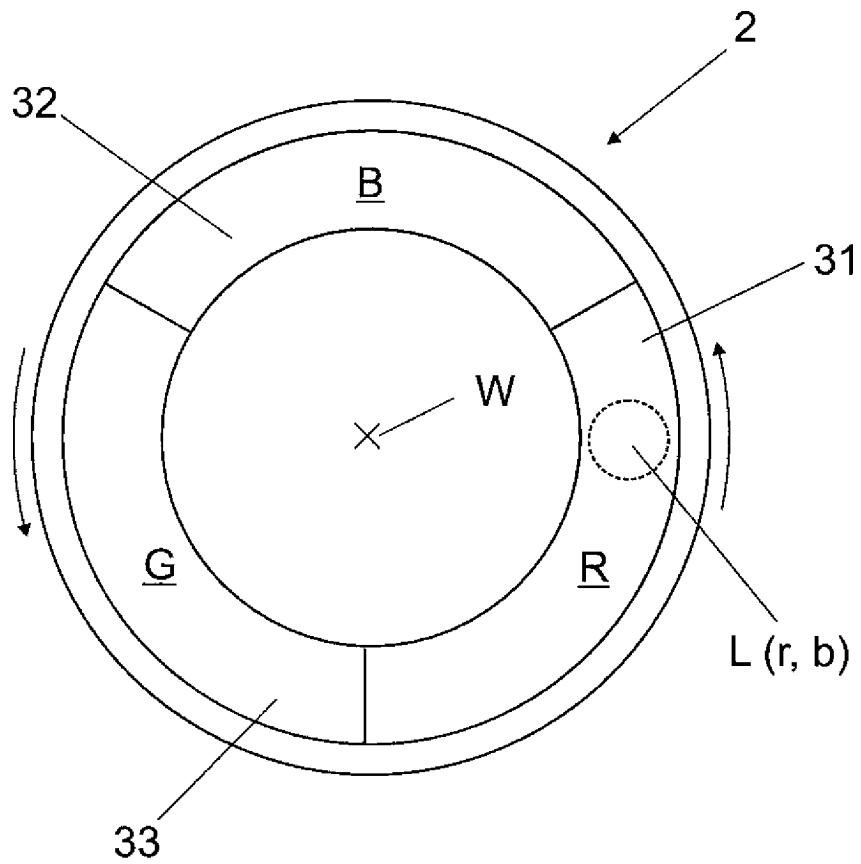


FIG 2

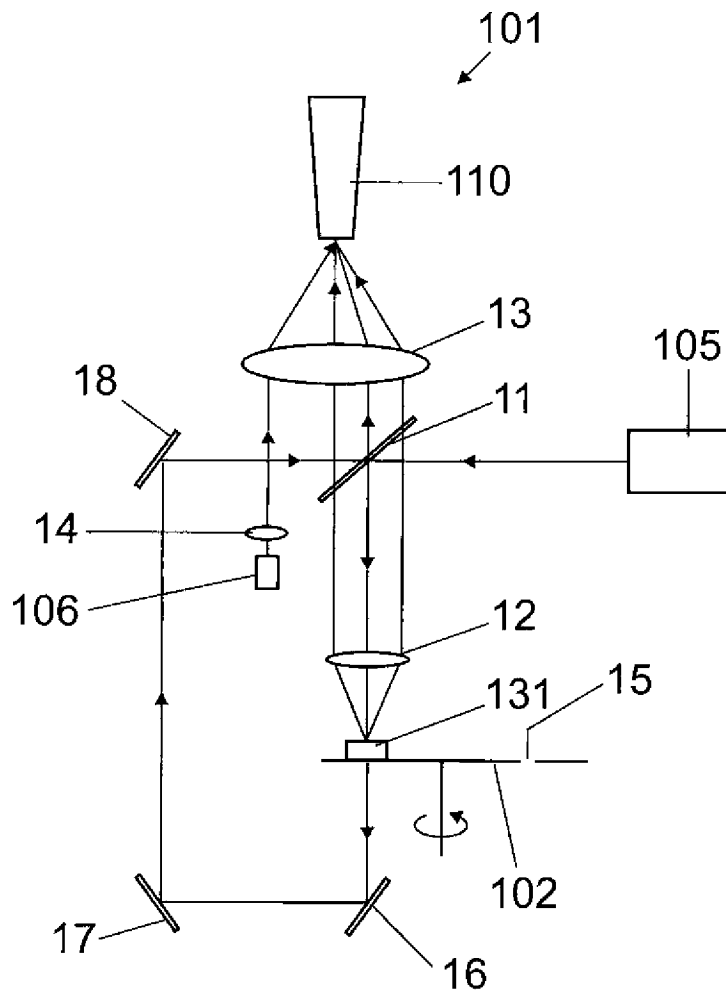


FIG 3

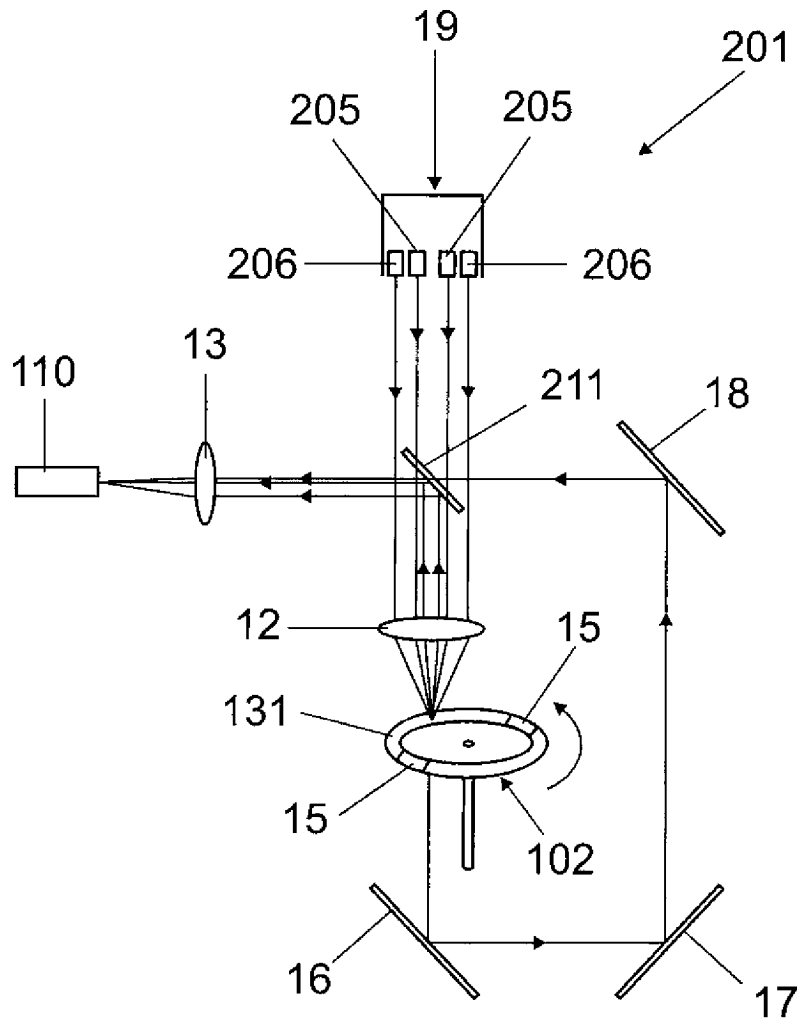


FIG 4

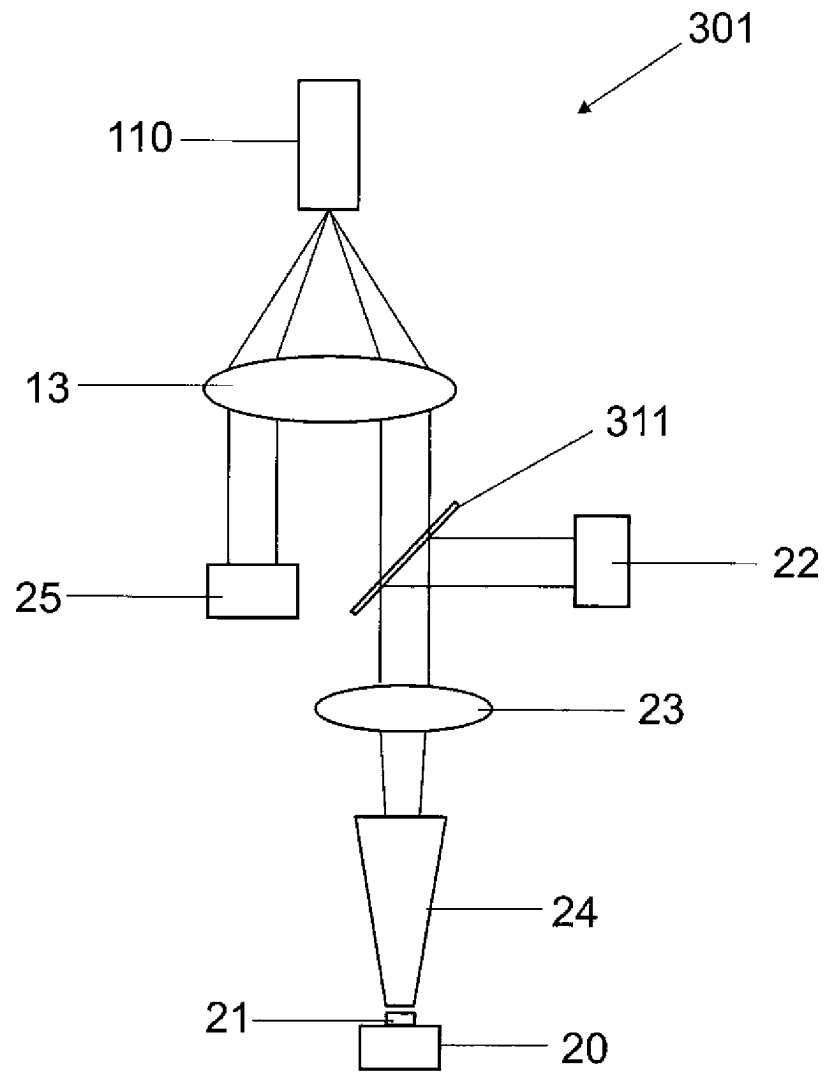


FIG 5

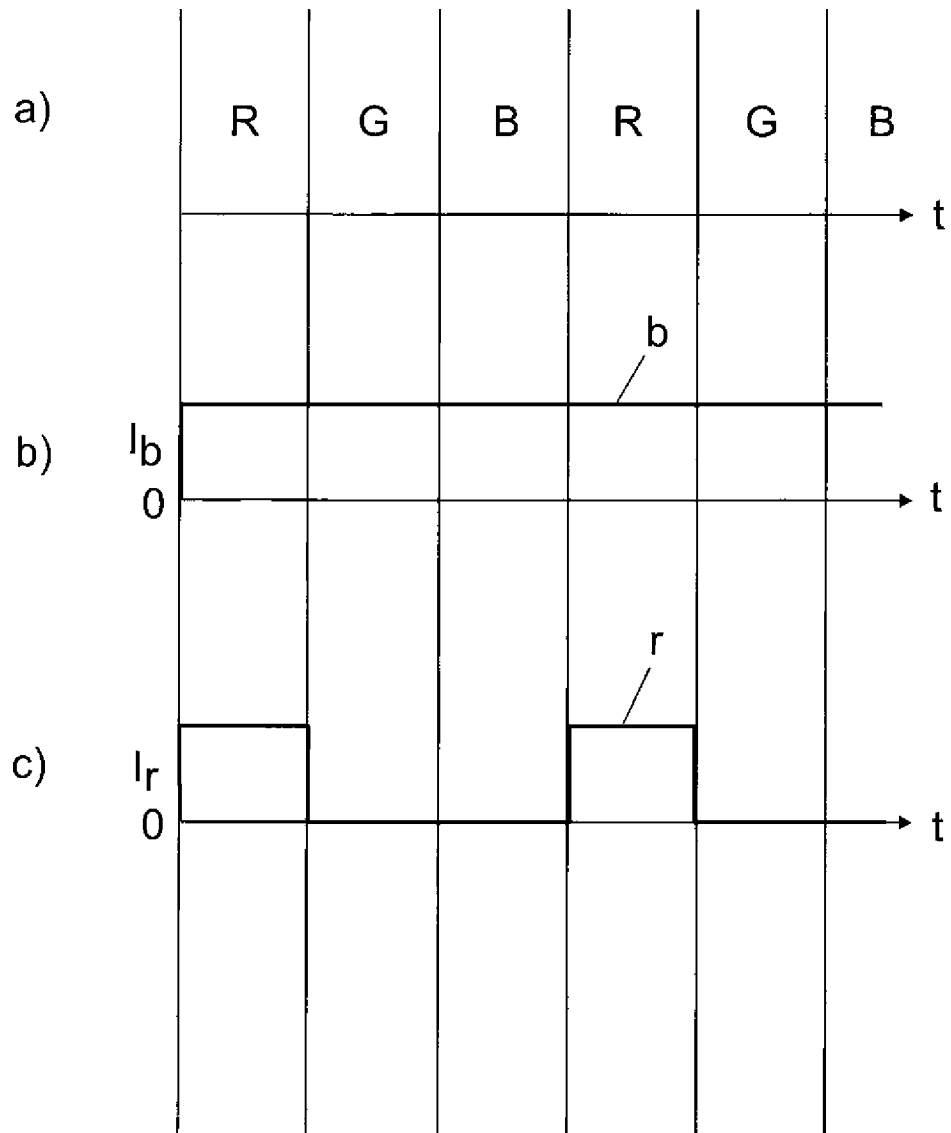


FIG 6