

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
26. Juli 2012 (26.07.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/098019 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F21S 8/00 (2006.01) *F21V 7/00* (2006.01)
F21V 13/12 (2006.01) *F21V 8/00* (2006.01)
G01R 31/26 (2006.01) *F21Y 101/02* (2006.01)
F21V 5/00 (2006.01) *F21Y 105/00* (2006.01)
F21V 5/04 (2006.01) *F21Y 113/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/050128

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. Januar 2012 (05.01.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 002 960.5
21. Januar 2011 (21.01.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **OSRAM AG** [DE/DE]; Hellabrunner Str. 1,
81543 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MORGENBROD, Nico**
[DE/DE]; Wulfsheinstr. 2, 10585 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

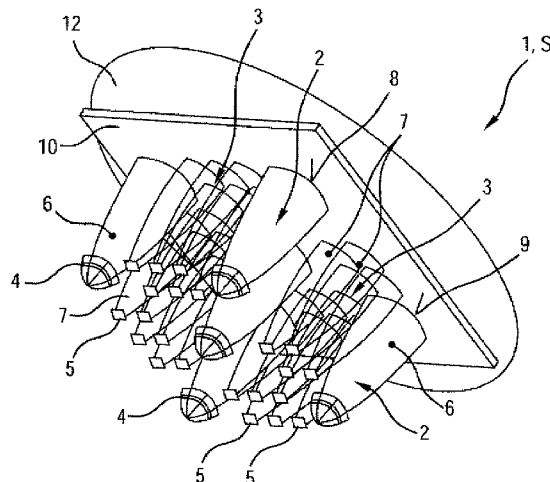
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SOLAR SIMULATOR AND METHOD FOR OPERATING A SOLAR SIMULATOR

(54) Bezeichnung : SOLARSIMULATOR UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SOLARSIMULATORS

Fig.2



(57) Abstract: The invention relates to a solar simulator (S) that is equipped with at least one lamp module (1), said at least one lamp module (1) having: multiple light generating units (2, 3), each of the light generating units (2, 3) comprising at least one semiconductor light source (4, 5) with light-concentrating primary optics (6, 7) connected downstream; secondary optics (10) that are connected downstream of the light generating units (2, 3) and that homogenize the light; and image-forming tertiary optics (12) that are connected downstream of the secondary optics (10). The semiconductor light sources (4, 5) generate light in several wavelength ranges that can be controlled separately. The method is used to operate a solar simulator (S) and the light generating units (2, 3) are controlled in such a way that the solar simulator (S) generates light radiation that alters over time.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



-
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Der Solarsimulator (S) ist mit mindestens einem Leuchtmodul (1) ausgerüstet, wobei das mindestens eine Leuchtmodul (1) aufweist: mehrere Lichterzeugungseinheiten (2, 3), wobei jede der Lichterzeugungseinheiten (2, 3) mindestens eine Halbleiterlichtquelle (4, 5) mit einer nachgeschalteten, lichtbündelnden Primäroptik (6, 7) aufweist; eine den Lichterzeugungseinheiten (2, 3) nachgeschaltete, lichthomogenisierende Sekundäroptik (10); eine der Sekundäroptik (10) nachgeschaltete, abbildende Tertiäroptik (12), wobei die Halbleiterlichtquellen (4, 5) Licht in mehreren separat ansteuerbaren Wellenlängenbereichen erzeugen. Das Verfahren dient zum Betreiben eines Solarsimulators (S), wobei die Lichterzeugungseinheiten (2, 3) so angesteuert werden, dass der Solarsimulator (S) eine sich zeitlich ändernde Lichtabstrahlung erzeugt.

Beschreibung

Solarsimulator und Verfahren zum Betreiben eines Solarsimulators.

5

Die Erfindung betrifft einen Solarsimulator mit mehreren Halbleiterlichtquellen und mindestens einer nachgeschalteten Optik. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben eines Solarsimulators.

10

Es sind Xenonblitzlampen zum Testen von Solarzellen bekannt. Die Verwendung von Xenonblitzlampen weist den Nachteil auf, dass sich eine schlechte Reproduzierbarkeit von schnellzyklischen Messungen ergibt, da ein Einfluss einer Kondensatorladung auf eine Blitzleistung besteht. Zudem weisen Xenonblitzlampen eine nur geringe Lampenlebensdauer bei hohen Prozesskosten und einem hohen Energieeinsatz auf. Darüber hinaus ist das abgestrahlte Spektrum fest vorbestimmt und kann nicht nachgeführt werden. Außerdem wird eine hohe Leistung in Wellenlängenbereichen verbraucht, in denen Solarzellen nicht aktiv sind.

15

20

25

30

DE 10051357 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur Bestrahlung von Solarzellen, welche mindestens 400 Festkörperstrahlungsquellen enthält, und zwar in einer matrixförmigen flächigen Anordnung zur Aussendung von monochromatischem Licht (Matrixlichtquelle) bei einem Spektrum von 880 nm vorzugsweise für Siliziumzellen. Die Matrixlichtquelle ist als XY-Matrix ausgebildet, wobei die Ströme der Festkörperlichtquellen individuell steuerbar sind. Die Matrixlichtquelle kann Gruppen von Festkörperlichtquellen unterschiedlicher, spektraler Lichtaussendung aufweisen, wobei durch eine geeignete Ansteuerung der Gruppen ein gewünschtes Mischspektrum erzeugbar ist.

35

US 2008/0115830 A1 offenbart Sätze von Solarzellen und Linsen, die sich auf einer Oberfläche eines Solarkonzentratormoduls befinden. Die Solarzelle befindet sich in einem Brenn-

punkt der Linse. Die anderen Sätze, deren Solarzellen durch Beleuchtungsvorrichtungen ersetzt werden, befinden sich auf der gegenüberliegenden Oberfläche des Solarkonzentratormoduls. Jeder weitere Satz ist umgekehrt auf einem vorherigen Satz aufgesetzt. Daher wird Licht, welches durch den letzten Satz und den vorherigen Satz scheint, von der Leuchtvorrichtung auf die Solarzelle fokussiert.

DE 10 2007 059 130 A1 und DE 10 2007 059 131 A1 geben Verfahren und Anordnungen zur Einstellung eines Farborts sowie ein Leuchtsystem an. DE 10 2007 059 130 A1 beschreibt ein Verfahren zur Einstellung eines Farborts mindestens einer Leuchtquelle, bei dem eine Temperatur ermittelt wird und bei dem abhängig von der ermittelten Temperatur der Farbort der mindestens einen Leuchtquelle eingestellt wird. Zudem wird eine Anordnung zum Durchführen des Verfahrens beschrieben. DE 10 2007 059 131 A1 beschreibt ein Verfahren zur Einstellung eines Farborts, bei dem n Leuchtquellen vorgesehen sind, von denen n-3 Leuchtquellen voreingestellt werden oder voreingestellt sind, bei dem ein Farbortunterschied der n Leuchtquellen von einem Sollfarbort bestimmt wird und bei dem die 3 nicht voreingestellten Leuchtquellen so eingestellt werden, dass der Sollfarbort erreicht wird. Ferner wird eine Anordnung zum Durchführen des Verfahrens beschrieben.

Es ist die **Aufgabe** der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zumindest teilweise zu überwinden.

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind insbesondere den abhängigen Ansprüchen entnehmbar.

Die Aufgabe wird gelöst durch einen Solarsimulator mit mindestens einem Leuchtmodul, wobei das mindestens eine Leuchtmodul aufweist: mehrere Lichterzeugungseinheiten, wobei jede der Lichterzeugungseinheiten mindestens eine Halbleiterlichtquelle mit einer nachgeschalteten, lichtbündelnden Primärop-

tik aufweist; eine den Lichterzeugungseinheiten nachgeschaltete, lichthomogenisierende Sekundäroptik; und eine der Sekundäroptik nachgeschaltete, abbildende Tertiäroptik; wobei die Halbleiterlichtquellen Licht in mehreren, separat ansteuerbaren Wellenlängenbereichen erzeugen.

Dieser Solarsimulator ermöglicht eine effektive Umwandlung von eingespeister Energie in Licht. Das aus den mehreren Wellenlängenbereichen zusammengesetzte Licht ("Mischlicht") kann von dem Solarsimulator mit einer sehr homogenen Leistung oder Intensität und einer sehr homogenen spektralen Verteilung über eine große Fläche und mit hoher Genauigkeit (z.B. für Messzwecke) reproduzierbar zur Verfügung gestellt werden. Mit anderen Worten kann an jedem Ort der bestrahlten Fläche das selbe Spektrum und die selbe Leistung zur Verfügung gestellt werden. Die homogene Verteilung kann bereits unmittelbar hinter dem Solarsimulator bereitgestellt werden, insbesondere auch in einem kurzbrennweitigen Arbeitsabstand, beispielsweise von ca. 400 mm, was kompakte Anordnungen erlaubt.

Bevorzugterweise umfasst die mindestens eine Halbleiterlichtquelle mindestens eine Leuchtdiode. Bei Vorliegen mehrerer Leuchtdioden können diese in der gleichen Farbe oder in verschiedenen Farben leuchten. Eine Farbe kann monochrom (z.B. rot, grün, blau usw.) oder multichrom (z.B. weiß) sein. Auch kann das von der mindestens einen Leuchtdiode abgestrahlte Licht ein infrarotes Licht (IR-LED) oder ein ultraviolettes Licht (UV-LED) sein. Mehrere Leuchtdioden können ein Mischlicht erzeugen; z.B. ein weißes Mischlicht. Die mindestens eine Leuchtdiode kann mindestens einen wellenlängenumwandelnden Leuchtstoff enthalten (Konversions-LED). Der Leuchtstoff kann alternativ oder zusätzlich entfernt von der Leuchtdiode angeordnet sein ("remote phosphor"). Die mindestens eine Leuchtdiode kann in Form mindestens einer einzeln gehäuteten Leuchtdiode oder in Form mindestens eines LED-Chips vorliegen. Mehrere LED-Chips können auf einem gemeinsamen Substrat ("Submount") montiert sein. Die mindestens eine Leuchtdiode

kann mit mindestens einer eigenen und/oder gemeinsamen Optik zur Strahlführung ausgerüstet sein. Anstelle oder zusätzlich zu anorganischen Leuchtdioden, z.B. auf Basis von InGaN oder AlInGaP, sind allgemein auch organische LEDs (OLEDs, z.B. Polymer-OLEDs) einsetzbar. Alternativ kann die mindestens eine Halbleiterlichtquelle z.B. mindestens einen Diodenlaser aufweisen.

Die lichtbündelnde Primäroptik dient dazu, einen Öffnungswinkel eines von der mindestens einen Halbleiterlichtquelle erzeugten, in die Primäroptik einfallenden Lichtbündels zu verkleinern oder zu verschmälern. Die lichtbündelnde Primäroptik kann auch als Kollimationsoptik bezeichnet werden oder einer solchen entsprechen.

Es ist eine Weiterbildung, dass die zu einem der separat ansteuerbaren Wellenlängenbereiche gehörigen Halbleiterlichtquelle(n) auf eine fest vorgegebene Weise, z.B. mit einem fest vorgegebenen Strom oder Stromverhältnis angesteuert werden können. Alternativ können die Halbleiterlichtquelle(n) variabel angesteuert werden, z.B. um eine Lichtintensität oder Lichtfarbe nachzuführen oder auf einen neuen Wert einzuregeln.

Es ist eine Ausgestaltung, dass die Primäroptik dazu eingerichtet und angeordnet ist, einen gebündelten Lichtstrahl mit einem Öffnungswinkel von nicht mehr als 15° , insbesondere von nicht mehr als 10° , zu erzeugen. Diese Kollimationsfunktion ermöglicht eine besonders homogene Lichtverteilung in der nachgeschalteten lichthomogenisierenden Sekundäroptik.

Die Primäroptik kann beispielsweise einen Lichtleiter umfassen. Das in den kollimierenden Lichtleiter eintretende Licht kann insbesondere an den freien seitlichen Oberflächen durch Totalreflexion reflektiert werden ("TIR ('Total Inner Reflection')-Stab"). Alternativ können die Seiten des Lichtleiters verspiegelt sein.

Der Lichtleiter kann insbesondere ein Konzentrator sein. Der Konzentrator kann beispielsweise ein zusammengesetzter Konzentrator sein, wie ein CPC-Konzentrator (CPC; "Compound Parabolic Concentrator"), ein CHC("Compound Hyperbolic Concentrator")-Konzentrator, ein CEC("Compound Elliptic Concentrator")-Konzentrator usw. Jedoch können auch andere Kollimationsoptiken verwendet werden.

10 Der Lichtleiter kann beispielsweise aus Glas oder Kunststoff bestehen. Die Primäroptik kann alternativ oder zusätzlich als ein Reflektor, insbesondere schalenförmiger Reflektor, ausgestaltet sein.

15 Es ist auch eine Weiterbildung, dass mindestens zwei (baulich) unterschiedlichen Lichterzeugungseinheiten unterschiedliche Primäroptiken nachgeschaltet, z.B. eine Lichtleiter bzw. ein Reflektor, zwei baulich unterschiedliche Lichtleiter oder zwei baulich unterschiedliche Reflektoren.

20

Es ist noch eine weitere, insbesondere funktionsgebende, Ausgestaltung, dass die Sekundäroptik einen Wabenkondensor umfasst. Der Wabenkondensor kann beispielsweise zwei auf einem gemeinsamen Substrat doppelseitig aufgebrachte Mikrolinsenfelder aufweisen. Der Wabenkondensor kann alternativ zwei auf beabstandet angeordneten Substraten jeweils einseitig aufgebrachte Mikrolinsenfelder aufweisen.

30 Es ist ferner eine Ausgestaltung, dass die Tertiäroptik eine Fourieroptik, insbesondere Fourierlinse (z.B. eine als eine Fourieroptik eingesetzte Sammellinse), insbesondere Fresnel-Linse, umfasst.

35 Eine Tertiäroptik mag einer oder mehreren Sekundäroptiken nachgeschaltet sein.

Es ist darüber hinaus eine Ausgestaltung, dass die Tertiäroptik eine definierte kissenförmige Verzeichnung ("Seidelsche Abberation") erzeugt. So kann bei einer arrayartig flächigen Anordnung mehrerer Leuchtmodule, bei welcher die Bilder oder Bildbereiche der Leuchtmodule benachbart zueinander projiziert werden, eine besonders homogene Lichtverteilung über mehrere Bildbereiche ermöglicht werden, weil die kissenförmigen Verzeichnungen bei ihrer Überlagerung einen Helligkeitsabfall am Rand der einzelnen Bildbereiche zumindest teilweise ausgleichen können.

Es ist auch eine Ausgestaltung, dass die Tertiäroptik mindestens ein Bild oder einen Bildbereich eines von einer Sekundäroptik abgestrahlten Strahlbündels mit einer dicht packbaren Grundform erzeugt. Dadurch können mehrere Bildbereiche direkt aneinander angrenzend oder spaltlos angeordnet sein und also eine Bildfläche vollständig abdecken, ohne dass sie sich zu überlagern brauchen. Die Bildbereiche können sich jedoch in Bereichen (geringfügiger) Abweichungen von der Grundform, z.B. in verzeichneten Bereichen, und/oder in äußeren Randbereichen überlagern. Eine dicht packbare Grundform kann beispielsweise eine rechteckige Grundform oder eine hexagonale Grundform umfassen.

Es ist noch eine Ausgestaltung, dass die Halbleiterlichtquellen Licht in mindestens vier, insbesondere mindestens fünf, separat ansteuerbaren Wellenlängenbereichen erzeugen. Diese Zahl von Wellenlängenbereichen ermöglicht bereits eine praktisch sinnvolle Annäherung an das Sonnenspektrum bei einem gleichzeitig geringen Ansteuerungsaufwand. So können die in DE 10 2007 059 130 A1 und DE 10 2007 059 131 A1 beschriebenen Verfahren und Anordnungen auch vorteilhaft für den vorliegenden Sonnensimulator verwendet werden.

So kann es insbesondere eine Weiterbildung sein, dass zur Einstellung eines Farborts mindestens eines Leuchtmoduls, mindestens einer Lichterzeugungseinheit, mindestens einer

Halbleiterlichtquelle und/oder mindestens eines Wellenlängenbereichs (Farbkanals), n Wellenlängenbereiche vorgesehen sind, von denen n-3 Wellenlängenbereiche bzw. deren Halbleiterlichtquellen voreingestellt werden oder voreingestellt sind, wobei ein Farbortunterschied der n Wellenlängenbereiche bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) von einem Sollfarbort bestimmt wird und wobei die 3 nicht voreingestellten Wellenlängenbereiche bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) so eingestellt werden, dass der Sollfarbort erreicht wird. Insbesondere kann der Farbortunterschied anhand mindestens einer Messeinrichtung bestimmt wird, wobei die mindestens eine Messeinrichtung insbesondere einer der folgenden Sensoren umfasst: einen Helligkeitssensor, insbesondere ein V_λ -bewerteter Helligkeitssensor, einen Temperatursensor und/oder einen Farbsensor. Für jeden Wellenlängenbereich bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) kann insbesondere mindestens je ein Sensor vorgesehen ist. Die Einstellung des Farborts kann derart erfolgt, dass mindestens eine der Zielgrößen: Color Rendering Index, Color Quality Scale oder eine anwendungsabhängige spektrale Verteilung einen vorgegebenen Wert möglichst gut erreicht. Insbesondere kann eine Optimierung hinsichtlich der mindestens einen Zielgröße vorab durchgeführt wird und insbesondere als eine Ansteuerinformation für die n-3 Wellenlängenbereich bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) bereitgestellt wird. Ferner kann die Einstellung der mindestens einen Zielgröße anhand der n Wellenlängenbereiche bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) mittels mindestens einer der folgenden Parameter erfolgt: Lichtstrom, Beleuchtungsstärke, Lichtstärke oder Leuchtdichte. Auch können die drei nicht voreingestellten Wellenlängenbereiche bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) ein Dreieck in einem CIE x-y-Diagramm aufspannen, wobei das Dreieck insbesondere eine möglichst große Fläche aufweist. Zudem können die drei nicht voreingestellten Wellenlängenbereiche bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) iterativ so eingestellt werden, dass der Sollfarbort erreicht wird. Außerdem können zur Einstellung des Sollfarborts zusätzlich

ein relativer oder absoluter Sollfarbort und/oder eine Helligkeitsinformation einstellbar vorgegeben sein.

Es ist außerdem eine Ausgestaltung, dass mindestens ein Wellenlängenbereich Infrarotstrahlung umfasst.

Es ist noch eine weitere Ausgestaltung, dass mindestens ein Wellenlängenbereich Ultraviolettstrahlung ("UV-Wellenlängenbereich") umfasst. So können insbesondere strahlungsinduzierte Alterungseffekte (Bewitterung) realitätsnah simuliert werden. Insbesondere mag dieser UV-Wellenlängenbereich im nahen Ultraviolett liegen, insbesondere in einem Wellenlängenbereiche von ca. (370 +/- 50) nm.

Es ist zudem eine Ausgestaltung, dass mindestens eine Lichterzeugungseinheit mehrere Halbleiterlichtquellen aufweist, wobei die Halbleiterlichtquellen Licht in mindestens zwei separat ansteuerbaren Wellenlängenbereichen erzeugen. So kann die zugehörige Primäroptik für mehrere Wellenlängenbereiche verwendet werden, was Kosten spart und eine kompakte Bauweise ermöglicht.

Es ist ferner eine Ausgestaltung, dass der Solarsimulator mehrere Leuchtmodule aufweist, wobei die Leuchtmodule im Wesentlichen aneinander grenzende Bilder oder Bildbereiche erzeugen (arrayartig flächige Anordnung). Die Lichtverteilung ist vorzugsweise über aneinander grenzende Bildbereiche hinweg im Wesentlichen homogen. So können praktisch beliebig große Flächen mit sonnenähnlichem Licht hoher Leistungsdichte bestrahlt werden.

Es ist eine spezielle Ausgestaltung, dass benachbarte Leuchtmodule Bildbereiche erzeugen, welche sich an ihren verzeichneten Randüberständen, insbesondere Ecken, überlagern. Dies unterstützt, insbesondere zusammen mit einer definierten kissenförmigen Verzeichnung der einzelnen Bildbereiche, die ho-

homogene Lichtverteilung (Intensität und/oder spektrale Verteilung) über verschiedene Bildbereiche hinweg.

Es ist noch eine Weiterbildung, dass der Solarsimulator mindestens eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Lichterzeugungseinheiten bzw. deren Halbleiterlichtquelle(n) aufweist.

Die Steuereinrichtung kann insbesondere dazu eingerichtet sein, die Lichterzeugungseinheiten, insbesondere gleichartige Halbleiterlichtquellen, variabel anzusteuern, insbesondere um eine Leistungsdichte und/oder einen (Misch-)Farbort des von dem Leuchtmodul und/oder dem Solarsimulator erzeugten Mischlichts variabel einzustellen oder einzuregulieren.

Insbesondere kann die Steuereinrichtung dazu eingerichtet sein, das Mischlicht einer Sonnenlichteigenschaft über einen Tagesverlauf nachzuempfinden, um realistische Tageslichtkurven zu realisieren. So mag das Tageslicht am Morgen und am Abend eine geringere Intensität und einen höheren Rotanteil aufweisen als mittags. Alternativ mögen individuelle Spektralverteilungen realisiert werden.

Es ist eine allgemeine Weiterbildung, dass das Leuchtmodul und/oder der Solarsimulator mindestens eine Messeinrichtung aufweisen. Die mindestens eine Messeinrichtung mag insbesondere zum Abfühlen mindestens einer Eigenschaft des erzeugten Lichts eingerichtet sein, beispielsweise mindestens einen Farbsensor und/oder mindestens einen Helligkeitssensor umfassen, beispielsweise individuell für einen oder mehrere der Farbkanäle, insbesondere jeden der Farbkanäle. Die mindestens eine Messeinrichtung mag zusätzlich oder alternativ mindestens einen Temperatursensor umfassen. Die Sensoren können insbesondere analog wie in DE 10 2007 059 130 A1 und DE 10 2007 059 131 A1 beschrieben verwendet werden.

So kann zur Einstellung eines Farborts mindestens eines Leuchtmoduls, mindestens einer Lichterzeugungseinheit, mindestens einer Halbleiterlichtquelle und/oder mindestens eines Wellenlängenbereichs (Farbkanals) eine Temperatur ermittelt werden und abhängig von der ermittelten Temperatur der Farbort eingestellt werden. Der Farbort kann eine Helligkeit und/oder eine Farbsättigung umfassen. Der Farbort kann einem Sollfarbort entsprechen, der insbesondere vorgegeben ist. Die Temperatur kann insbesondere eine Temperatur einer Lichterzeugungseinheit oder einer Halbleiterlichtquelle (z.B. gemessen direkt an der Halbleiterlichtquelle oder an einem zugehörigen Substrat usw.) sein. Die Temperatur kann insbesondere anhand des mindestens einen Temperatursensors, insbesondere anhand eines Heißleiters und/oder eines Kaltleiters, ermittelt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Temperatur anhand einer abgegeben Leistung und/oder anhand eines thermischen Widerstands bestimmt werden. Anhand der Temperatur des mindestens einen Leuchtmoduls, Lichterzeugungseinheit und/oder Halbleiterlichtquelle kann eine zugehörige Helligkeit und Wellenlänge, insbesondere Spitzenwellenlänge des Wellenlängenbereichs, der mindestens einen Leuchtquelle ermittelt werden. Die Helligkeit und die Wellenlänge können abhängig von vorgegebenen Kalibrierdaten ermittelt werden. Die Helligkeit und die Wellenlänge können auch abhängig von einer Alterungsinformation betreffend das mindestens eine Leuchtmodul, Lichterzeugungseinheit und/oder Halbleiterlichtquelle ermittelt werden, insbesondere falls die Alterungsinformation eine Alterungskennlinie der Leuchtquelle ist. Die Helligkeit und die Wellenlänge können in einen Ist-Farbort umgesetzt werden. Insbesondere kann der Ist-Farbort mit dem (Soll-)Farbort verglichen wird und das mindestens eine Leuchtmodul, Lichterzeugungseinheit und/oder Halbleiterlichtquelle so eingestellt werden, dass der Farbort erreicht wird. Insbesondere kann das mindestens eine Leuchtmodul, Lichterzeugungseinheit und/oder Halbleiterlichtquelle iterativ so eingestellt werden, dass der Farbort erreicht wird. Jedoch sind für eine solche Einstellung des Farborts alternativ oder zusätzlich

auch andere Sensoren, Farb- und/oder Helligkeitssensoren, einsetzbar

Es ist besonders vorteilhaft, wenn für jedes Leuchtmodul entsprechende Sensoren (insbesondere Farb-, Helligkeits- und/oder Temperatursensoren) zur Einstellung des Farborts (insbesondere für dessen Kalibrierung) für jeden separat ansteuerbaren Wellenlängenbereich des Leuchtmoduls vorgesehen sind, insbesondere mindestens ein Sensor für jeden separat ansteuerbaren Wellenlängenbereich.

Allgemein kann jedes Leuchtmodul zur selbsttätigen Einstellung oder Regelung der Farborte der mehreren separat ansteuerbaren Wellenlängenbereiche eingerichtet sein. Jedes Leuchtmodul kann dazu mindestens eine Steuereinrichtung aufweisen.

Es ist auch eine Weiterbildung, dass die mindestens eine Messeinrichtung mit der Steuereinrichtung gekoppelt ist, insbesondere um eine Anpassung oder Regelung der Lichterzeugungseinheiten bzw. Halbleiterlichtquellen zu ermöglichen. Dadurch lässt sich eine sehr genaue Reproduzierbarkeit des Mischlichts und/oder der einzelnen Lichtanteile oder Farbkäle erreichen. Insbesondere wird auch eine Kalibrierung und/oder Selbstkalibrierung ermöglicht.

Es ist noch eine Weiterbildung, dass die Steuereinrichtung eine zentrale Steuereinheit und/oder eine Steuereinheit für jedes Leuchtmodul, insbesondere zur Kommunikation zwischen mehreren Leuchtmodulen ("Modul-Modul-Kommunikation"), umfasst.

Insbesondere zur Abstimmung einer Lichtabstrahlung mehrerer Leuchtmodule des Solarsimulators, insbesondere zur Abstimmung ihrer Farborts, können die Leuchtmodule, insbesondere deren Steuereinheiten, zur Modul-Modul-Kommunikation eingerichtet sein.

Es ist noch eine Weiterbildung, dass jedes Leuchtmodul in der Lage ist, einen Helligkeits-Sollwert auf mindestens 2% genau anzusteuern und/oder einzuregeln. Es ist noch eine Weiterbildung, dass die Leuchtmodule (bei Vorliegen mehrerer Leuchtmo-
5 dule) in der Lage sind, ihre Helligkeitswerte auf mindestens 2% genau auf einen (Gesamt-) Helligkeits-Sollwert für alle Leuchtmodule anzusteuern und/oder einzuregeln. Dazu kann insbesondere die Fähigkeit zur Modul-Modul-Kommunikation verwendet werden.

10 Es ist noch eine Weiterbildung, dass der Solarsimulator eine Schnittstelle zur Ausgabe spektraler Eigenschaften und/oder einer Information über eine Helligkeitsverteilung des von ihm abgestrahlten Lichts aufweist. Die Schnittstelle kann beispielsweise an eine Messapparatur der zu bestrahlenden Solar-
15 zelle (en) ankoppelbar sein. Dies ermöglicht eine Korrelation und Feinkorrektur des Messwerts der Solarzelle bei jeder Messung.

20 Es ist ferner eine Weiterbildung, dass das Leuchtmodul und/oder der Solarsimulator mit einer Flüssigkeitskühlung, insbesondere Wasserkühlung, ausgestattet sind, um bei der Licht- bzw. Strahlungserzeugung erzeugte Abwärme effektiv ab-
25 zuführen. Die Verwendung einer Wasserkühlung weist den Vorteil auf, dass eine sehr effektive Wärmeabfuhr erreichbar ist, wodurch eine geringe Sperrschichttemperatur auch bei hohen Betriebsströmen eingehalten werden kann. Auch wird so eine Lebensdauer verlängert. Zudem wird ein effektiver LED-
30 Betrieb mit geringen Temperaturverlusten ermöglicht. Die Wasserkühlung unterstützt ferner die Stabilität der Lichterzeugung und Lichtausgabe. Darüber hinaus vereinfacht die Wasserkühlung eine gemeinsame Verwendung einer hohen Zahl von Leuchtmodulen.

35 Es ist noch eine Weiterbildung, dass die Wasserkühlung des Solarsimulators an einen wärmerückgewinnenden Kühlwasserkreislauf angeschlossen ist, z.B. einer Fabrik. Dadurch wird

ein besonders energiesparender Betrieb des Solarsimulators ermöglicht.

Die Aufgabe wird auch gelöst durch ein Verfahren zum Betreiben eines Solarsimulators, insbesondere wie oben beschrieben, wobei die Lichterzeugungseinheiten bzw. Halbleiterlichtquellen so angesteuert werden, dass der Sonnensimulator eine sich zeitlich ändernde (vorbestimmte) Lichtabstrahlung erzeugt. Die sich zeitlich ändernde Lichtabstrahlung kann insbesondere dem Sonnenlicht über einen Tagesverlauf nachempfunden sein.

Der Solarsimulator mag in einem kontinuierlichen Modus oder in einem Blitzmodus betrieben werden.

In den folgenden Figuren wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen schematisch genauer beschrieben. Dabei können zur Übersichtlichkeit gleiche oder gleichwirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sein.

- Fig.1 zeigt in einer Ansicht von schräg seitlich ein Leuchtmodul gemäß einer ersten Ausführungsform für einen Solarsimulator;
- Fig.2 zeigt das Leuchtmodul gemäß der ersten Ausführungsform in einer Ansicht von schräg hinten;
- Fig.3 zeigt ein Leuchtmodul gemäß einer zweiten Ausführungsform in einer Ansicht von vorne;
- Fig.4 zeigt eine Helligkeitsverteilung eines mittels eines der Leuchtmodule erzeugten Bilds;
- Fig.5 zeigt in Draufsicht eine Anordnung von Bildern mehrerer Leuchtmodule eines Solarsimulators; und
- Fig.6 zeigt eine spektrale Verteilung des von dem Leuchtmodul erzeugten Bilds.

Fig.1 zeigt in einer Ansicht von schräg seitlich ein Leuchtmodul 1 für einen Solarsimulator S. **Fig.2** zeigt das Leuchtmodul 1 in einer Ansicht von schräg hinten. Der Solarsimulator S weist mindestens ein Leuchtmodul 1 auf.

Das Leuchtmodul 1 weist mehrere Lichterzeugungseinheiten 2, 3 auf, nämlich fünf erste Lichterzeugungseinheiten 2 und vierundzwanzig zweite Lichterzeugungseinheiten 3. Die ersten
5 Lichterzeugungseinheiten 2 und die zweiten Lichterzeugungseinheiten 3 sind bezüglich einer Längsachse L des Leuchtmoduls um 90° drehsymmetrisch angeordnet. Die fünf ersten Lichterzeugungseinheiten 2 sind genauer gesagt in einer Matrixanordnung mit einer zentralen Lichterzeugungseinheit 2
10 (durch welche die Längsachse L verläuft) und vier äußeren Lichterzeugungseinheiten 2 angeordnet, während vierundzwanzig zweite Lichterzeugungseinheiten 3 in Gruppen zu je sechs Lichterzeugungseinheiten 3 zwischen benachbarten Lichterzeugungseinheiten 2 angeordnet sind.

15 Jede der Lichterzeugungseinheiten 2, 3 weist mehrere Halbleiterlichtquellen in Form von Leuchtdioden (LEDs) auf. Die erste Lichterzeugungseinheit 2 weist hier beispielhaft einen Satz 4 mit mehreren Infrarotlicht abstrahlenden LEDs (IR-
20 LEDs) auf, wobei diese IR-LEDs unterschiedliche Wellenlängen oder Wellenlängenbänder aufweisen können. Die zweiten Lichterzeugungseinheit 3 weist einen Satz 5 mit mehreren LEDs auf, wobei auch diese LEDs unterschiedliche Wellenlängen oder Wellenlängenbänder aufweisen können, z.B. sichtbares Licht
25 und/oder IR-Licht abstrahlen können. Dazu können z.B. LEDs unterschiedlicher Farbe (d.h. LEDs, welche Licht unterschiedlicher Wellenlänge abstrahlen) verwendet werden, wobei zusätzlich auch IR-LEDs vorhanden sein können.

30 Die Sätze 4 und/oder 5 können als LED-Module vorliegen, wobei jedes LED-Modul mehrere LEDs auf einem gemeinsamen Substrat aufweist. Die LEDs können insbesondere als LED-Chips vorliegen, welche z.B. auf einem gemeinsamen Keramik-Substrat aufgebracht sind. Die LEDs können als einzeln gehäuste Hoch-
35 leistungs-LEDs vorliegen.

Jeder der Sätze 4, 5 ist mit einer Flüssigkeitskühlung in Form einer hier beispielsweise verwendeten Wasserkühlung (o.Abb.) verbunden, um die durch die LEDs erzeugte Abwärme abzuführen.

5

Jedem der Sätze 4, 5 ist eine lichtbündelnde Primäroptik 6 bzw. 7 nachgeschaltet, um einen Abstrahlwinkel des jeweils abgestrahlten Lichtbündels, insbesondere in Bezug auf die Längsachse L, zu verringern ("Kollimationseinheit"). Die für
10 LEDs typische Abstrahlcharakteristik eines Lambertschen Strahlers mit einem Abstrahlwinkel von 180° bzw. einem Öffnungswinkel von $\theta = 90^\circ$ in Bezug auf die Hauptabstrahlachse, optische Achse oder Längsachse wird somit verkleinert, bevorzugt auf $\theta \leq \text{ca. } 15^\circ$, noch bevorzugter auf $\theta \leq \text{ca. } 10^\circ$.

15

Die dem jeweiligen Satz 4 nachgeschaltete Primäroptik 6 liegt in Form einer Reflektorschale vor, z.B. mit einem parabelförmigen Querschnittsprofil. Die IR-LEDs des jeweiligen Satzes 4 strahlen also in die Primäroptik 6 ein und werden zum Teil an
20 den IR-reflektierend ausgestalteten Innenwänden der Primäroptik 6 reflektiert und zum Teil unreflektiert durch eine vordere Lichtaustrittsebene 8 ausgegeben.

Die dem jeweiligen Satz 5 nachgeschaltete Primäroptik 7 liegt
25 in Form eines Lichtleiters vor. Die LEDs des jeweiligen Satzes 5 strahlen also in die Primäroptik 7 ein und werden zum Teil an den Außenseiten der Primäroptik 7 totalreflektiert und zum Teil unreflektiert durch eine vordere Lichtausgabefläche 9 ausgegeben. Die Primäroptik 7 kann beispielsweise
30 aus Glas, insbesondere Quarzglas, oder aus Kunststoff bestehen, insbesondere zyklischen Olefin-Polymeren (COP; "Cycloolefin Polymer") wie sie beispielsweise unter dem Namen Zeonex oder Zeonor von der Firma Zeon Europe GmbH, Deutschland, erhältlich sind, oder zyklischen Olefin-Copolymeren (COC; "Cycloolefin Copolymer") wie sie beispielsweise unter dem Namen
35 TOPAS von der Firma TOPAS Advanced Polymers GmbH, Deutschland, erhältlich sind. Die Lichtausgabefläche 9 und die

Lichtaustrittsebene 8 liegen im Wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene und weisen die gleiche Hauptabstrahlrichtung auf.

Den Lichterzeugungseinheiten 2, 3 und den Primäroptiken 6 und 7 ist eine lichthomogenisierende Sekundäroptik 10 mit einer in Draufsicht entlang der Längsachse L rechteckigen Grundform nachgeschaltet. Die Sekundäroptik 10 dient unter anderem dazu, das von den Lichterzeugungseinheiten 2, 3 eingestrahlte Licht über eine Lichtabstrahlfläche 11 der Sekundäroptik 10 bezüglich einer Intensität oder Lichtstärke als auch einer Farbe oder Wellenlänge(n) zu homogenisieren bzw. anzugleichen. Für einen Betrachter erscheint die Lichtabstrahlfläche 11 idealerweise als eine rechteckige, homogen strahlende Fläche.

In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Sekundäroptik 10 als ein Wabenkondensor ("Fly's Eye") ausgestaltet. Der Wabenkondensor kann insbesondere zwei optisch in Serie geschaltete, versetzt angeordnete Felder mit wabenförmigen Matrix-Anordnungen von Mikrolinsen aufweisen, wobei die Subaperturen der Mikrolinsen des ersten Felds insbesondere deckungsgleich durch die Tertiäroptik 12 (siehe unten) auf die Zielebene abgebildet werden (können). Insbesondere in Kombination mit den auf einen Öffnungswinkel von bevorzugt auf $\theta \leq \text{ca. } 15^\circ$, noch bevorzugter auf $\theta \leq \text{ca. } 10^\circ$, lichtbündelnden Primäroptiken 6 und 7 ist durch die Sekundäroptik 10 ein hoher Homogenisierungsgrad erreichbar.

Der Sekundäroptik 10 ist optional eine abbildende Tertiäroptik 12 in Form hier einer Fourieroptik, insbesondere Fourierlinse, insbesondere einer raumsparenden Fresnel-Linse, nachgeschaltet, um das von der Sekundäroptik 10 auf einen gewünschten Bildbereich B, welcher sich in oder an einem Brennpunkt der Tertiäroptik 12 befindet, wie z.B. in Fig.4 gezeigt, z.B. eine Solarzelle oder eine zu verwitternde Fläche, abzubilden.

Die Tertiäroptik 12 mag einer oder mehreren Sekundäroptiken 10 nachgeschaltet sein. Durch die rechteckige Grundform der mehreren Sekundäroptiken 10 können diese im Wesentlichen spaltfrei und im Wesentlichen ohne eine Überlappung ("dicht gepackte Grundform") zueinander angeordnet werden. Die Tertiäroptik 12 mag auch eine anders geformte Außenkontur aufweisen, z.B. eine zu der oder den Sekundäroptiken 10 konforme Außenkontur, z.B. eine viereckige, insbesondere quadratische, Außenkontur.

Die Lichterzeugungseinheiten 2, 3 können allgemein so angesteuert werden, dass gleichartige LEDs, auch unterschiedlicher Lichterzeugungseinheiten 2, 3, gemeinsam und ggf. auch unabhängig von anderen LEDs ansteuerbar sind, z.B. bezüglich ihres Betriebsstroms. In anderen Worten können insbesondere separate Farbkanäle des Leuchtmoduls 1 und/oder des Solarsimulators S individuell angesteuert werden. Beispielsweise können alle LEDs einer gleichen Farbe gemeinsam angesteuert werden. Dadurch kann durch die Sekundäroptik 10 insbesondere auch ein Mischlicht mit einem einstellbaren Farbpunkt aus mehreren Gruppen gleichartiger LEDs innerhalb eines durch das Leuchtmodul realisierbaren Farbraums ('Gamut') erzeugt werden. Zur Ansteuerung der Lichterzeugungseinheiten 2, 3 können die LEDs mit einer geeigneten Steuereinrichtung oder Treiber verbunden sein bzw. von einer solchen angesteuert oder gespeist werden.

Die Steuereinrichtung kann insbesondere dazu in der Lage sein, die Lichterzeugungseinheiten 2, 3 variabel anzusteuern, insbesondere eine Leistungsdichte und/oder einen (Misch-)Farbort des von dem Leuchtmodul 1 und/oder dem Solarsimulator S erzeugten Mischlichts variabel einzustellen oder einzuregulieren. Insbesondere kann so das Mischlicht einer Sonnenlichteigenschaft über einen Tagesverlauf nachempfunden werden, um reale Tageslichtkurven zu realisieren. So mag das Tageslicht am Morgen und am Abend eine geringere Intensität und

einen höheren Rotanteil aufweisen als mittags. Alternativ mögen individuelle Spektralverteilungen simuliert werden.

5 Ferner mögen das Leuchtmodul 1 und/oder der Solarsimulator S mindestens eine Messeinrichtung zum Abfühlen mindestens einer Eigenschaft des erzeugten Lichts aufweisen. Die mindestens eine Messeinrichtung mag beispielsweise mindestens einen Farbsensor, mindestens einen Helligkeitssensor und/oder mindestens einen Temperatursensor umfassen, beispielsweise indi-
10 viduell für einen oder mehrere der Farbkanäle, insbesondere jeden der Farbkanäle.

Insbesondere der mindestens eine Farbsensor und/oder der mindestens eine Helligkeitssensor können auf rückgestreutes und/oder rückreflektiertes Licht empfindlich, insbesondere
15 darauf kalibriert, sein.

Die mindestens eine Messeinrichtung ist mit der Steuereinrichtung gekoppelt, um der Steuereinrichtung eine Anpassung
20 oder Regelung der Lichterzeugungseinheiten 2, 3 zu ermöglichen. Folglich lässt sich mittels einer Nachführung der Lichtquelle durch die Steuereinrichtung eine sehr genaue Reproduzierbarkeit des Mischlichts und/oder der einzelnen Lichtanteile oder Farbkanäle erreichen. Insbesondere wird
25 auch eine Kalibrierung und/oder Selbstkalibrierung des Leuchtmoduls 1 und/oder des Solarsimulators S ermöglicht.

Die Steuereinheit mag eine zentrale Steuereinheit und/oder eine Kommunikation zwischen mehreren Leuchtmodulen 1 umfas-
30 sen.

Fig.3 zeigt ein Leuchtmodul 21 gemäß einer zweiten Ausführungsform in einer Ansicht von vorne. Das Leuchtmodul 21 weist im Gegensatz zu dem Leuchtmodul 1 acht zweite Lichter-
35 zeugungseinheiten 22 und vier dritte Lichterzeugungseinheiten 23 auf. Die zweiten Lichterzeugungseinheiten 22 unterscheiden sich von den zweiten Lichterzeugungseinheiten 3 des ersten

Ausführungsbeispiels dadurch, dass ihre Primäroptiken 24 eine in Draufsicht entgegen der Längsachse L längliche Form aufweisen. Je zwei zweite Lichterzeugungseinheiten 22 sind zwischen zwei äußeren ersten Lichterzeugungseinheiten 2 angeordnet, und je eine dritte Lichterzeugungseinheit 23 ist zwischen zwei benachbarten zweiten Lichterzeugungseinheiten 22 angeordnet. Die Primäroptiken 25 der dritten Lichterzeugungseinheiten 23 sind breiter als die Primäroptiken 24 der zweiten Lichterzeugungseinheiten 22, aber in Draufsicht parallel dazu ausgerichtet. Die zweiten Lichterzeugungseinheiten 22 und die dritten Lichterzeugungseinheiten 23 können gleiche oder unterschiedliche Sätze 4 von LEDs aufweisen.

Die als Wabenkondensor ausgebildete Sekundäroptik 10 ermöglicht es, insbesondere in Kombination mit der Tertiäroptik 12, dass ihre Lichtabstrahlfläche 11 Licht im Wesentlichen homogen abstrahlt, und zwar auch dann, wenn nur einige der Lichterzeugungseinheiten 2, 22 und/oder 23 angeschaltet sind, z.B. nur die Lichterzeugungseinheiten 22 und/oder 23.

Jedoch wird es aufgrund von Randeffekten in der Praxis häufig zu einem Intensitätsabfall am Rand der Sekundäroptik 10 und vor allem auch am Rand der Bildfläche in der Fourierebene der Tertiäroptik 12 kommen. **Fig.4** zeigt eine Helligkeitsverteilung eines mittels des Leuchtmodule 1 oder 21 erzeugten scharf begrenzten Bilds oder Bildbereichs B in der Fourierebene der Tertiäroptik 12. Der Abstand des Bildbereichs B von dem Leuchtmodul 1 beträgt ca. 450 mm. Durch den Intensitätsabfall ergibt sich meist eine abgerundete Intensitätsverteilung, und zwar auch bei einer rechteckigen Funktionsfläche, insbesondere Mikrostrukturordnung, der Sekundäroptik 10. Um diese abgerundete Intensitätsverteilung mit einfachen Mitteln zu kompensieren, erzeugt das Leuchtmodul 1 oder 21 eine definierte kissenförmige Verzeichnung V ("Seidelsche Abberation") der rechteckigen Grundform G. Dies kann insbesondere bedeuten, dass die Ecken des Bildbereichs B aus der rechteckigen Grundform G nach außen hervortreten. Auf der rechten Seite

des Bildbereichs B sind die Außenkonturen der Grundform G und der Verzeichnung V nochmals schematisch dargestellt.

Fig.5 zeigt in Draufsicht eine Anordnung von Bildbereichen B mehrerer direkt benachbart angeordneter Leuchtmodule 1 eines Solarsimulators S ("arrayartig flächige Anordnung"). Die Grundformen G der Bildbereiche B bilden mindestens eine gemeinsame, im Wesentlichen rechteckige Fläche von 156 mm^2 , was einer Fläche einer typischen Solarzelle entspricht, oder ein Vielfaches davon. Die kissenförmigen Verzeichnungen V gleichen den Intensitätsabfall am Rand der jeweiligen Sekundäroptik 10 bzw. Grundformen G der Bildbereiche B zumindest teilweise dadurch aus, dass sie sich, und ggf. auch die äußersten Randbereiche der Seiten der Grundformen G, überlagern.

Anstelle also den randsseitigen Intensitätsabfall und die kissenförmige Verzeichnung V als unerwünschte Effekte mit hohem Aufwand separat ausgleichen zu wollen, wird die kissenförmige Verzeichnung V hier also mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand zur Intensitätserhöhung am Rand des zugehörigen Bildbereichs B beibehalten. Insgesamt ergibt sich eine über die Bildbereiche B hinweg eine sowohl chromatisch als auch in ihrer Leistungsdichteverteilung hochgradig homogene Lichtverteilung. Die einfache arrayartig flächige Konfigurierbarkeit ermöglicht also ein im Ganzen verzeichnungsarmes optisches System aus mehreren benachbart angeordneten Leuchtmodulen 1.

Fig.6 zeigt eine spektrale Verteilung der von dem Leuchtmodul 1 erzeugten Bildbereiche B als Auftragung einer spektralen Leistung in beliebigen Einheiten gegen eine Wellenlänge λ in nm. Das Sonnenspektrum SpS ist gepunktet gezeichnet, während das LED-Spektrum SpL durchgehend eingezeichnet ist. Das LED-Spektrum SpL setzt sich hier aus fünf unterschiedlichen Farbkanälen zusammen, die mittels fünf Gruppen von LEDs erzeugt werden. Jedoch können auch weniger, insbesondere vier, als auch mehr Farbkanäle eingesetzt werden. Durch den Einsatz

mehrerer Farbkanäle kann das Sonnenspektrum SpS genauer angenähert werden.

Hier setzt sich das LED-Spektrum SpL aus den einzelnen Kanälen oder Wellenlängenbereichen $\lambda = (950 \text{ Spitzenwellenlänge} \pm 50) \text{ nm}$, $(850 \pm 50) \text{ nm}$, $(740 \pm 50) \text{ nm}$, $(630 \pm 50) \text{ nm}$ und $(450 \pm 50) \text{ nm}$ zusammen.

Insgesamt kann durch das Leuchtmodul 1 allgemein eine Strahlstärke von mehr als 1000 W/m^2 erzeugt werden, welche höher als die Strahlstärke der Sonne auf dem Erdboden in mittleren Breiten wie z.B. in Mitteleuropa ist, so dass insbesondere solar bedingte Alterungseffekte in verkürzter Zeit untersuchbar sind.

Das Leuchtmodul bzw. die Leuchtmodule 1 ergeben also den Vorteil, dass eine Leistung und eine spektrale Verteilung des Mischlichts (a) sehr homogen, (b) über eine große Fläche und (c) in hoher Genauigkeit (z.B. für Messzwecke) reproduzierbar zur Verfügung gestellt werden kann.

Ferner wird durch das optische System gewährleistet, dass das selbe Spektrum an jedem Ort der bestrahlten Fläche mit der selben Strahlungsleistung zur Verfügung steht.

Das Leuchtmodul 1 und/oder der Solarsimulator S können insbesondere mit einer Wasserkühlung ausgestattet sein, um bei der Licht- bzw. Strahlungserzeugung erzeugte Abwärme effektiv abzuführen. Dazu können insbesondere die Substrate der LEDs mit einer Wasserkühlungseinrichtung thermisch verbunden sein. Die Verwendung einer Wasserkühlung weist den Vorteil auf, dass eine sehr effektive Wärmeabfuhr erreichbar ist, wodurch eine geringe Sperrschichttemperatur auch bei hohen Betriebsströmen eingehalten werden kann. Auch wird so eine Lebensdauer verlängert. Zudem wird ein effektiver LED-Betrieb mit geringen Temperaturverlusten ermöglicht. Die Wasserkühlung unterstützt ferner die Stabilität der Lichterzeugung und Lichtausgabe,

und zwar sowohl in Bezug auf eine Intensität als auch eine spektrale Konstanz (Vermeidung einer thermisch bedingten Spektralverschiebung). Darüber hinaus vereinfacht die Wasserkühlung eine gemeinsame Verwendung einer hohen Zahl von Leuchtmodulen 1, insbesondere in einer arrayartig flächigen Anordnung.

Besonders vorteilhaft bei der Nutzung der Wasserkühlung ist die Möglichkeit, die Abwärme in einem Fabrik Kühlwasserkreislauf zurückzugewinnen. Dazu kann beispielsweise die Wasserkühlungseinrichtung des Solarsimulators an den Fabrik Kühlwasserkreislauf angeschlossen sein.

Alternativ zu der Wasserkühlung ist jedoch auch eine Luftkühlung möglich, insbesondere bei einem Betrieb der Leuchtmodule 1 in einem Blitzmodus ("flash mode").

Selbstverständlich ist die vorliegende Erfindung nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel beschränkt.

So kann, beispielsweise für Bewitterungsanlagen, zusätzlich ein gezielt ultraviolettes Licht aufweisender Farbkanal bereitgestellt werden, z.B. durch den Einsatz von UV-LEDs, beispielsweise im nahen UV-Bereich, z.B. in einem Wellenlängenbereiche von (370 +/- 50) nm.

Für einen oder mehrere Farbkanäle kann das in die Sekundäroptik 10 eintretende Licht zumindest teilweise mittels einer Wellenlängenkonversion erzeugt worden sein, und zwar unmittelbar im Bereich einer Emitterfläche der LED(s) ("chip-level conversion") oder in einiger Entfernung davon ("remote phosphor"). Zur Wellenlängenkonversion können ein oder mehrere Leuchtstoffe verwendet werden, insbesondere Lumineszenz-Leuchtstoffe, insbesondere Fluoreszenz- und/oder Phosphoreszenz-Leuchtstoffe. Zur Wellenlängenkonversion können insbesondere Mehrbanden-Leuchtstoffe eingesetzt werden, insbesondere im sichtbaren Bereich.

Bei der Chip-Level Conversion mag insbesondere blaues Licht in grünes Licht und/oder in rotes Licht umgewandelt werden.

- 5 Die Halbleiterlichtquellen mögen allgemein durch eine geeignete Klasseneinteilung ("binning") einen aufgeweiteten Wellenlängenbereich oder aufgeweitete spektrale Breiten einzelner Farben aufweisen.
- 10 Das Licht unterschiedlicher Halbleiterlichtquellen und/oder Wellenlängenbereiche mag sich allgemein spektral zumindest teilweise überlagern ("Inter-Kanal-Mischung") oder im Wesentlichen keine Überlagerungen zeigen.

Bezugszeichenliste

	1	Leuchtmodul
	2	erste Lichterzeugungseinheit
5	3	zweite Lichterzeugungseinheit
	4	Satz von LEDs
	5	Satz von LEDs
	6	Primäroptik
	7	Primäroptik
10	8	Lichtaustrittsebene
	9	Lichtausgabefläche
	10	Sekundäroptik
	11	Lichtabstrahlfläche
	12	Tertiäroptik
15	21	Leuchtmodul
	22	zweite Lichterzeugungseinheit
	23	dritte Lichterzeugungseinheit
	24	Primäroptik
	25	Primäroptik
20	B	Bildbereich
	G	Grundkörper
	L	Längsachse
	S	Solarsimulator
	SpS	Sonnenspektrum
25	SpL	LED-Spektrum
	V	Verzeichnung

Patentansprüche

1. Solarsimulator (S) mit mindestens einem Leuchtmodul (1; 21), wobei das mindestens eine Leuchtmodul (1; 21) auf-
5 weist:
- mehrere Lichterzeugungseinheiten (2, 3; 22, 23), wo-
bei jede der Lichterzeugungseinheiten (2, 3; 22, 23)
mindestens eine Halbleiterlichtquelle (4, 5) mit ei-
ner nachgeschalteten, lichtbündelnden Primäroptik (6,
10 7) aufweist;
- eine den Lichterzeugungseinheiten (2, 3; 22, 23)
nachgeschaltete, lichthomogenisierende Sekundäroptik
(10);
- eine der Sekundäroptik (10) nachgeschaltete, abbil-
15 dende Tertiäroptik (12),
wobei die Halbleiterlichtquellen (4, 5) Licht in mehre-
ren separat ansteuerbaren Wellenlängenbereichen erzeu-
gen.
- 20 2. Solarsimulator (S) nach Anspruch 1, wobei die Primärop-
tik (6, 7) dazu eingerichtet und angeordnet ist, einen
gebündelten Lichtstrahl mit einem Öffnungswinkel von
nicht mehr als 15° , insbesondere von nicht mehr als 10° ,
zu erzeugen.
- 25 3. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, wobei die Primäroptik (6, 7) einen Lichtleiter (7)
und/oder einen Reflektor (6) umfasst.
- 30 4. Solarsimulator (S) nach Anspruch 3, wobei mindestens
zwei unterschiedlichen Lichterzeugungseinheiten (2, 3;
22, 23) unterschiedliche Primäroptiken (6, 7) nachge-
schaltet sind.
- 35 5. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, wobei die Sekundäroptik (10) einen Wabenkondensor
umfasst.

6. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Tertiäroptik (12) eine Fourierlinse umfasst.
- 5
7. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Leuchtmodul (1; 21) eine definierte kissenförmige Verzeichnung erzeugt.
- 10
8. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Tertiäroptik (12) einen Bildbereich (B) eines von einer Sekundäroptik (10) abgestrahlten Strahlbündels mit einer dicht packbaren Grundform (G) erzeugt.
- 15
9. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens ein Wellenlängenbereich Ultraviolettstrahlung umfasst.
- 10
10. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens eine Lichterzeugungseinheit (2, 3; 22, 23) mehrere Halbleiterlichtquellen (4, 5) aufweist, wobei die Halbleiterlichtquellen (4, 5) Licht in mindestens zwei separat ansteuerbaren Wellenlängenbereichen erzeugen.
- 25
11. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, aufweisend mehrere Leuchtmodule (1; 21), wobei die Leuchtmodule (1; 21) im Wesentlichen aneinander grenzende Bilder erzeugen.
- 30
12. Solarsimulator (S) nach den Ansprüchen 7, 8 und 10, wobei benachbarte Leuchtmodule (1; 21) Bilder erzeugen, welche sich an ihren verzeichneten Randüberständen, insbesondere Ecken, überlagern.
- 35
13. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Solarsimulator (S) mehrere Leuchtmodule

(1; 21) aufweist und für eine Kommunikation von Leuchtmodul (1; 21) zu Leuchtmodul (1; 21) eingerichtet ist.

- 5 14. Solarsimulator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jedes Leuchtmodul (1; 21) für jeden separat ansteuerbaren Wellenlängenbereich zur Einstellung des zugehörigen Farborts mindestens ein Sensor vorhanden ist.
- 10 15. Verfahren zum Betreiben eines Solarsimulators (S), insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lichterzeugungseinheiten (2, 3; 22, 23) so angesteuert werden, dass der Sonnensimulator (S) eine sich zeitlich ändernde Lichtabstrahlung erzeugt.

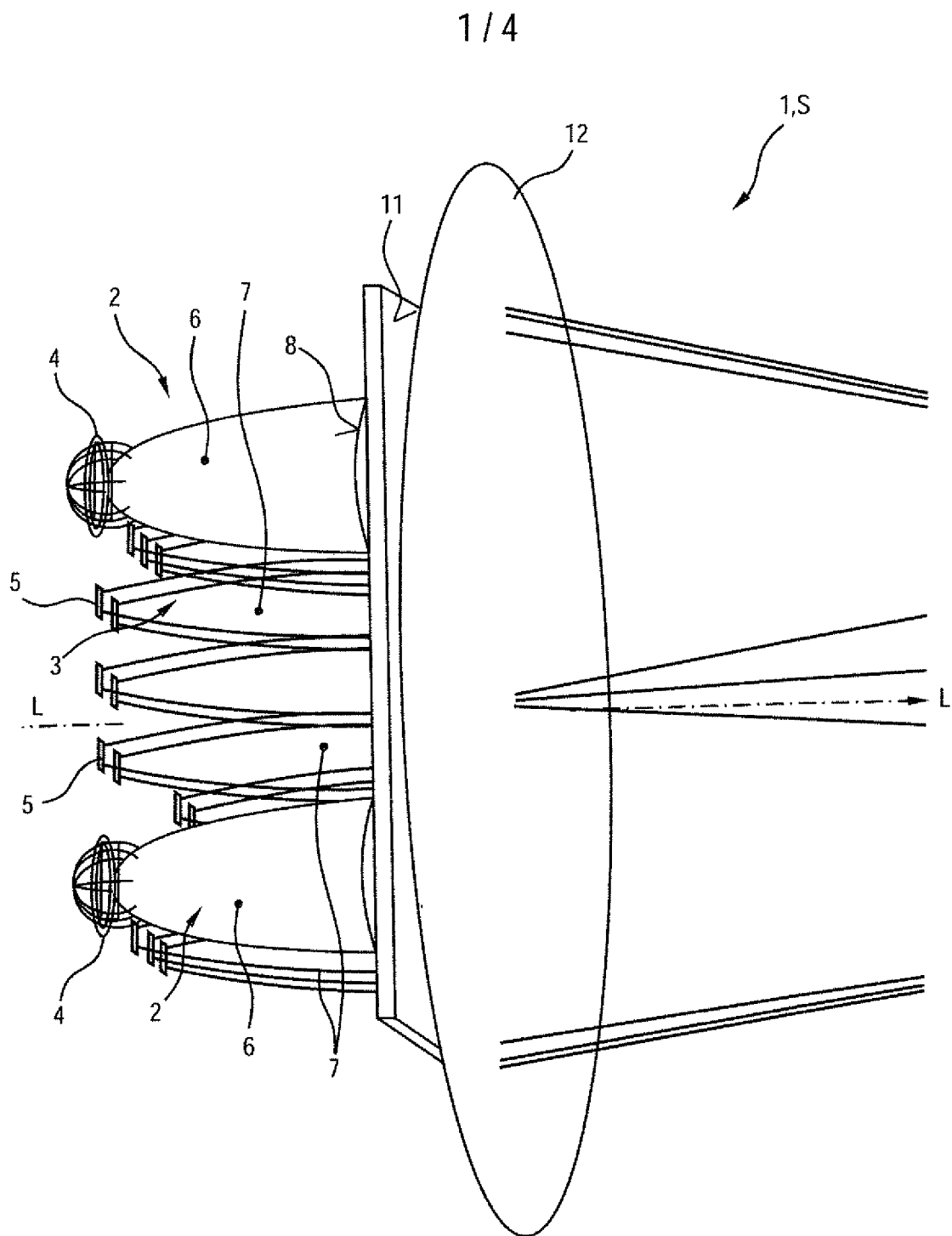


Fig.1

2 / 4

Fig.2

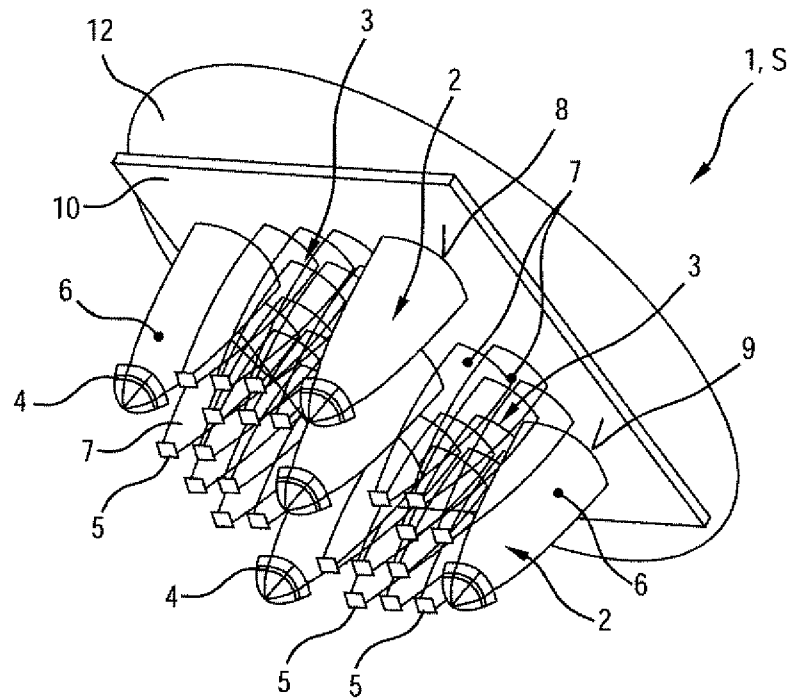
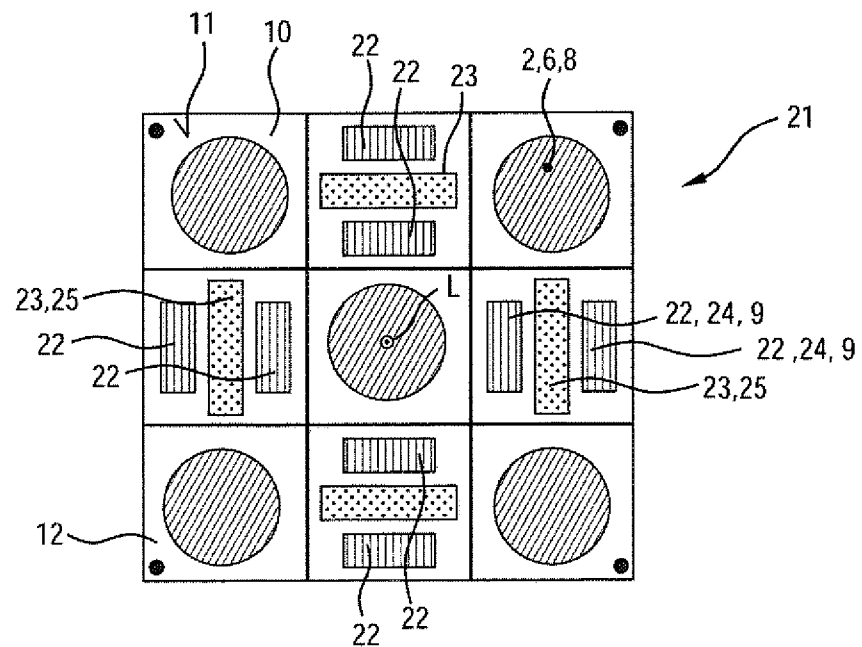


Fig.3



3 / 4

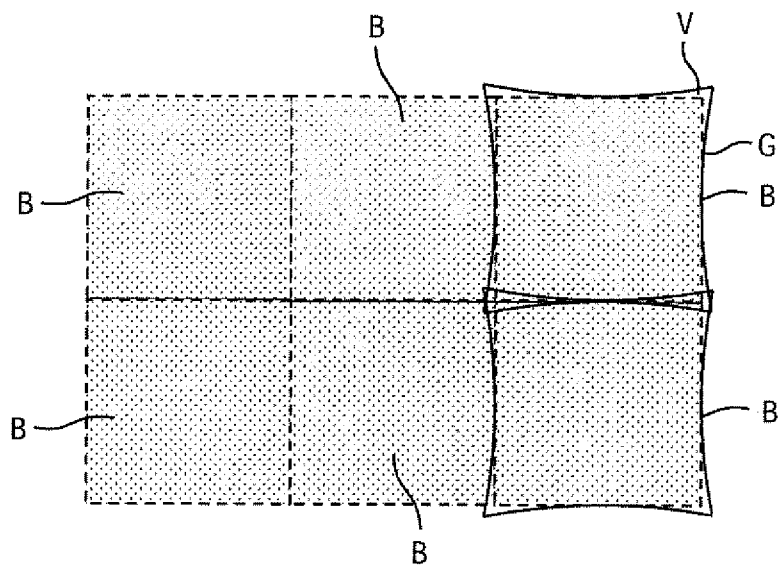
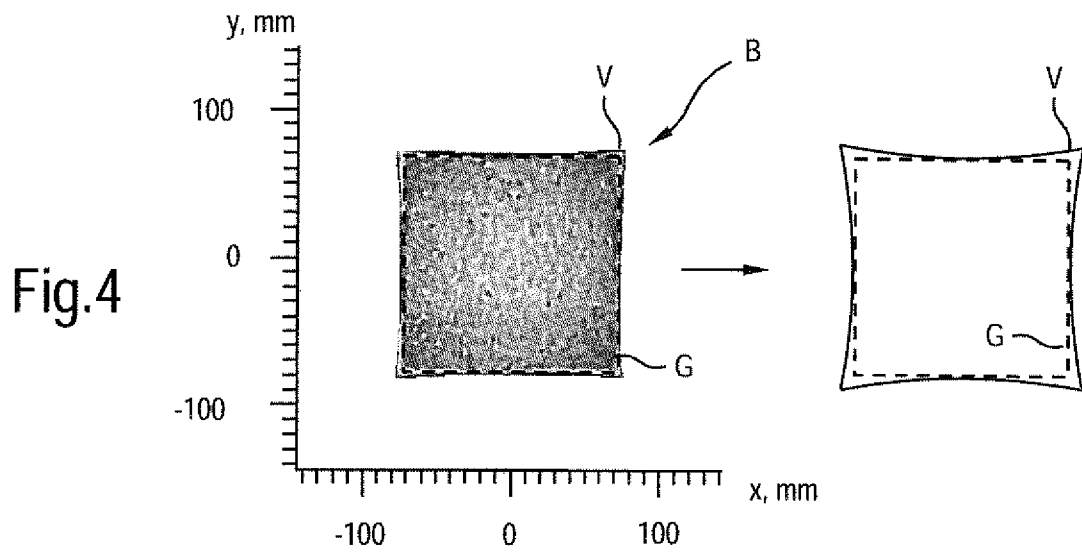


Fig.5

4 / 4

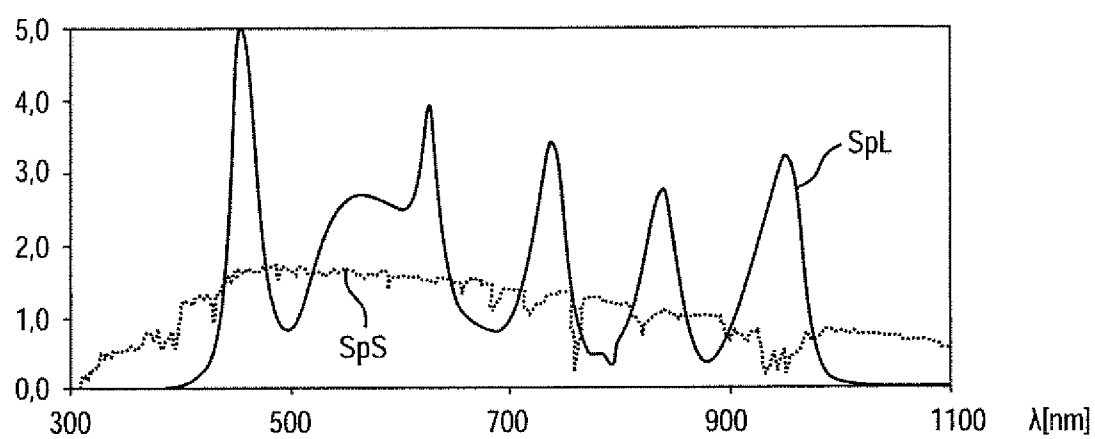


Fig.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/050128

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F21S8/00 F21V13/12 G01R31/26 ADD. F21V5/00 F21V5/04 F21V7/00 F21V8/00 F21Y101/02 F21Y105/00 F21Y113/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F21S F21Y Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 101 290 340 A (GUOHUA LI [CN] GUOHUA LI; WEIYING QIAN) 22 October 2008 (2008-10-22) the whole document -----	1,9
X	US 7 733 111 B1 (ZHAO GUOHENG [US] ET AL) 8 June 2010 (2010-06-08) column 4, line 30 - column 6, line 27; figures 1-11, 13, 15 -----	1,10,13, 15
A	US 2009/051914 A1 (TRUPKE THORSTEN [AU] ET AL) 26 February 2009 (2009-02-26) paragraphs [0086] - [0090]; figure 1 -----	1,5
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 2 July 2012		Date of mailing of the international search report 11/07/2012
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer von der Hardt, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/050128

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
CN 101290340	A	22-10-2008	NONE
US 7733111	B1	08-06-2010	NONE
US 2009051914	A1	26-02-2009	CN 101365937 A 11-02-2009
		EP 1946079 A1 23-07-2008	
		JP 2009512198 A 19-03-2009	
		KR 20080089566 A 07-10-2008	
		US 2009051914 A1 26-02-2009	
		US 2012033067 A1 09-02-2012	
		WO 2007041758 A1 19-04-2007	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	F21S8/00	F21V13/12 G01R31/26
ADD.	F21V5/00	F21V5/04 F21V7/00 F21V8/00 F21Y101/02
	F21Y105/00	F21Y113/00
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F21S F21Y		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CN 101 290 340 A (GUOHUA LI [CN] GUOHUA LI; WEIYING QIAN) 22. Oktober 2008 (2008-10-22) das ganze Dokument	1,9
X	US 7 733 111 B1 (ZHAO GUOHENG [US] ET AL) 8. Juni 2010 (2010-06-08) Spalte 4, Zeile 30 - Spalte 6, Zeile 27; Abbildungen 1-11, 13, 15	1,10,13, 15
A	US 2009/051914 A1 (TRUPKE THORSTEN [AU] ET AL) 26. Februar 2009 (2009-02-26) Absätze [0086] - [0090]; Abbildung 1	1,5
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
2. Juli 2012		11/07/2012
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter von der Hardt, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/050128

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 101290340	A	22-10-2008	KEINE
US 7733111	B1	08-06-2010	KEINE
US 2009051914	A1	26-02-2009	CN 101365937 A 11-02-2009
		EP 1946079 A1	23-07-2008
		JP 2009512198 A	19-03-2009
		KR 20080089566 A	07-10-2008
		US 2009051914 A1	26-02-2009
		US 2012033067 A1	09-02-2012
		WO 2007041758 A1	19-04-2007