(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2015 114 103 A1** 2017.03.02

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 103.5**
(22) Anmeldetag: **25.08.2015**
(43) Offenlegungstag: **02.03.2017**

(51) Int Cl.: ***G01N 21/25*** (2006.01)
G01R 31/26 (2006.01)
G01M 11/02 (2006.01)
H02S 50/15 (2014.01)

(71) Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE

(74) Vertreter:
Lemcke, Brommer & Partner, Patentanwälte Partnerschaft mbB, 76133 Karlsruhe, DE

(72) Erfinder:
Mundus, Markus, 79211 Denzlingen, DE; Hohl-Ebinger, Jochen, Dr., 79285 Ebringen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2010 / 0 219 327 A1

DENNIS, Tasshi ; SCHLAGER, John B. ; BERTNESS, Kris A.: A novel solar simulator based on a supercontinuum laser for solar cell device and materials characterization. In: IEEE Journal of Photovoltaics. 2014, Bd. 4, H. 4, S. 1119-1127. ISSN 2156-3381 (E). DOI: 10.1109/JPHOTOV.2014.2321659. URL: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6821268 [abgerufen am 07.12.2015]. Bibliographieinformationen ermittelt über: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6821268&newsearch=true&queryText=A%20Novel%20Solar%20Simulator%20Based%20on%20a%20Superkon-tinuum%20Laser%20for%20Solar%20Cell%20Device%20and%20Materials%20Characterization [abgerufen am 07.12.2015].

HOHL-EBINGER, J. ; SIEFER, G. ; WARTA, W.: Non-linearity of solar cells in spectral response measurements. In: Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition: 3-7 September 2007. München: WIP-Renewable Energies, 2007. S. 422-424. - ISBN 3-936338-22-1.

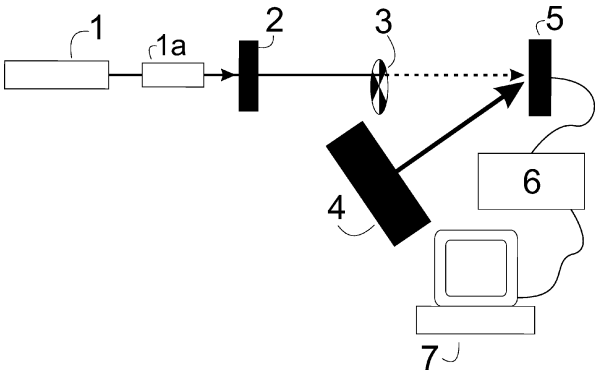
MUNDUS, M. et al.: Advanced spectral response measurement with wide range tunable laser system. In: Proceedings of the 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition: 22-26 September 2014. München: WIP, 2014. S. 3439-3442. ISBN: 33936338-34-5. DOI: 10.4229/EUPVSEC20142014-5DV.3.49.

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Messverfahren und Vorrichtung zur Charakterisierung eines optischen Sensors**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Messverfahren zur Charakterisierung eines optischen Sensors, folgende Verfahrensschritte umfassend:
– Beaufschlagen des optischen Sensors mittels Messstrahlung, wobei die Messstrahlung zumindest einen Modulationsanteil und einen Biasanteil aufweist und der Modulationsanteil mit einer Messmodulation moduliert wird;
– Auswerten eines Messsignals des optischen Sensors mit Demodulation hinsichtlich der mit der Messmodulation modulierten Anteile des Messsignals;
Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass zum Erzeugen des Modulationsanteils zumindest ein Laser verwendet wird, dessen Ausgangsstrahlung spektral aufgeweitet wird, dass die spektral aufgeweitete Ausgangsstrahlung spektral modifiziert wird und die spektral modifizierte Ausgangsstrahlung zu einem Modulationsstrahl vereinigt wird, um den optischen Sensor mit dem Modulationsstrahl zu beaufschlagen. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Messvorrichtung zur Charakterisierung eines optischen Sensors sowie die Verwendung eines Lasers zur Charakterisierung eines optischen Sensors.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Messverfahren sowie eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines optischen Sensors gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 10 sowie die Verwendung eines Lasers mit spektral aufgeweiteter Ausgangsstrahlung gemäß Anspruch 9.

[0002] Zur Charakterisierung eines optischen Sensors ist es bekannt, den optischen Sensor mittels Messstrahlung zu beaufschlagen und durch Auswerten von Messsignalen des optischen Sensors zu charakterisieren. Häufig kommt hierbei Messstrahlung zum Einsatz, welche einen Modulationsanteil und einen Biasanteil aufweist.

[0003] Der Modulationsanteil wird mit einer Messmodulation moduliert. Beispielsweise finden Pulsformer wie Chopper insbesondere in Form rotierender Sektorenblenden Anwendung, um als Messmodulation eine Intensitätsmodulation des Modulationsanteils zu erzielen.

[0004] Bei Auswerten des Messsignals werden die mit der Messmodulation modulierten Anteile des Messsignals demoduliert.

[0005] Bei solchen Messverfahren kann somit mittels des Biasanteils der Messstrahlung ein gewünschter Messzustand des optischen Sensors erzeugt werden, beispielsweise eine gewünschte Ladungsträgerdichte bei auf Halbleitern basierenden optischen Sensoren, wohingegen das zur Charakterisierung verwendete Messsignal mittels Demodulation aus dem Modulationsanteil gewonnen wird, so dass insbesondere eine bessere Signalqualität erzielt wird.

[0006] Solche Verfahren werden beispielsweise zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit von optischen Sensoren in Form von photovoltaischen Solarzellen verwendet, wie in Hohl-Ebinger et al., „Non-Linearity of Solar Cells in Spectral Response Measurements“ 22nd EUPVSEC, 2007, Milan, p. 422–424 beschrieben. Ebenso werden solche Verfahren zur Charakterisierung von anderen optischen Sensoren wie photoelektrischen oder pyroelektrischen Sensoren verwendet.

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die vorbekannten Messverfahren zur Charakterisierung eines optischen Sensors hinsichtlich der Messgenauigkeit und/oder Messgeschwindigkeit zu verbessern.

[0008] Gelöst ist diese Aufgabe durch ein Messverfahren zur Charakterisierung eines optischen Sensors gemäß Anspruch 1, eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines optischen Sensors gemäß Anspruch 10 sowie die Verwendung eines Lasers gemäß Anspruch 9. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung finden sich in den abhängigen Unteransprüchen.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorzugsweise zur Durchführung mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung, insbesondere einer bevorzugten Ausführungsform hiervon, ausgebildet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist bevorzugt zur Durchführung mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere einer bevorzugten Ausführungsform hiervon, ausgebildet.

[0010] Das erfindungsgemäße Messverfahren zur Charakterisierung eines optischen Sensors umfasst folgende Verfahrensschritte:
Der optische Sensor wird in einem Verfahrensschritt A mittels Messstrahlung beaufschlagt. Die Messstrahlung weist hierbei zumindest einen Modulationsanteil und einen Biasanteil auf, wobei der Modulationsanteil mit einer Messmodulation moduliert wird.

[0011] Solche Messverfahren sind beispielsweise zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit von Solarzellen bekannt, wobei über einen bevorzugt breitbandigen Biasanteil, welcher beispielsweise mittels einer Halogenlampe oder auch mittels einer oder mehrerer Leuchtdioden (LED) erzeugt wird, ein gewünschtes Ladungsträgerniveau in dem optischen Sensor erzeugt wird.

[0012] Der Modulationsanteil soll für ein gewünschtes Spektrum eine Zusatzanregung des optischen Sensors bewirken, um Messsignale dieser Zusatzanregung auswerten zu können. Hierzu wird der Modulationsanteil mit einer Messmodulation moduliert.

[0013] Die Modulation kann beispielsweise eine Intensitätsmodulation sein, insbesondere mittels eines Choppers wie zuvor beschrieben.

[0014] Entsprechend erfolgt in einem Verfahrensschritt B ein Auswerten eines Messsignals des optischen Sensors mit Demodulation hinsichtlich der mit der Messmodulation modulierten Anteile des Messsignals.

[0015] Wird beispielsweise der Modulationsanteil mittels eines Choppers hinsichtlich der Intensität mit einer vorgegebenen Frequenz moduliert, so erfolgt entsprechend bei der Auswertung eine Filterung auf solche Messsignale, welche die Modulationsfrequenz aufweisen.

[0016] Wesentlich ist, dass bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Erzeugen des Modulationsanteils zumindest ein Laser verwendet wird, dessen Ausgangsstrahlung spektral aufgeweitet wird. Die

spektral aufgeweitete Ausgangsstrahlung wird spektral modifiziert. Die spektral modifizierte Ausgangsstrahlung wird zu einem Modulationsstrahl vereinigt, um den optischen Sensor mit dem Modulationsstrahl zu beaufschlagen.

[0017] Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei bisherigen Messverfahren eine nur unzureichend genau vorgebbare spektrale Verteilung eines breitbandigen Modulationsanteils zu Ungenauigkeiten und/oder langen Messdauern führt. Durch die Verwendung eines Lasers, dessen Ausgangsstrahlung spektral aufgeweitet und modifiziert wird, kann mit hoher Genauigkeit und Intensität ein gewünschtes Spektrum für den Modulationsanteil vorgegeben werden, so dass eine genaue und vergleichsweise schnelle Messung mit einem breitbandigen Modulationsanteil möglich ist.

[0018] Das erfindungsgemäße Messverfahren weist somit zum einen den Vorteil auf, dass der Modulationsanteil nicht – wie beispielsweise in früheren Verfahren zur Messung der spektralen Empfindlichkeit üblich – als monochromatischer Modulationsanteil ausgebildet ist, wodurch sequentiell nacheinander eine Mehrzahl von Messungen für unterschiedliche Wellenlängen erfolgen musste. Vielmehr können bei dem erfindungsgemäßen Messverfahren die Vorteile eines eine Vielzahl von Wellenlängen aufweisenden Modulationsanteils, insbesondere eines breitbandigen Modulationsanteils verwirklicht werden. Darüber hinaus ermöglicht die Verwendung eines Lasers mit spektraler Aufweitung der Ausgangsstrahlung, spektraler Modifizierung der aufgeweiteten Ausgangsstrahlen und anschließend Zusammenführung der modifizierten Ausgangsstrahlung eine bisher bei solchen Messverfahren nicht erreichbare Präzision bei der Vorgabe der spektralen Verteilung des Modulationsanteils.

[0019] Hierdurch erhöhen sich somit die Genauigkeit und/oder die Geschwindigkeit der Messung. Insbesondere war es bei früheren Verfahren häufig notwendig, eine Fehlerkorrektur aufgrund einer Abweichung des gewünschten Spektrums einerseits und des tatsächlich durch den Modulationsanteil realisierten Spektrums andererseits vorzunehmen. Hierzu wurde ein so genannter „Mismatch“ für die Fehlerkorrektur bestimmt. Die Verwendung eines Lasers mit spektraler Aufweitung und spektraler Modifizierung der aufgeweiteten Ausgangsstrahlung des Lasers ermöglicht hingegen eine präzise Vorgabe der einzelnen Wellenlängenanteile des Modulationsanteils und somit eine präzise Vorgabe des Spektrums des Modulationsanteils, so dass keine Bestimmung und Korrektur mittels eines Mismatch-Faktors notwendig ist oder zumindest eine erheblich geringere Abweichung besteht.

[0020] Als optischer Sensor wird insbesondere ein Sensor verstanden, an dem abhängig von der auf den Sensor auftreffenden Strahlung elektrische Messsignale abgreifbar sind. Dies kann eine photovoltaische Solarzelle sein, ebenso eine Photodiode oder ein thermischer Strahlungssensor oder ein anderer photoelektrischer oder pyroelektrischer Sensor.

[0021] Die Vorteile der vorliegenden Erfindung basieren somit insbesondere in der Präzision, mit welcher die spektrale Verteilung des Modulationsanteils vorgegeben werden kann. Untersuchungen des Anmelders haben ergeben, dass insbesondere für solche vorgegebenen Spektren, welche der spektralen Verteilung von Sonnenlicht nahe der Erdoberfläche entsprechen, in vorteilhafter Weise der Modulationsanteil aus der Vereinigung von zumindest zwei Modulationsanteilen gebildet wird:
Der erste Modulationsanteil entspricht wie zuvor beschrieben der Ausgangsstrahlung des Lasers, welche spektral aufgeweitet, spektral modifiziert und wieder vereinigt wird. Vorzugsweise wird dieser erste Modulationsanteil mit einem weiteren zweiten Modulationsanteil vereinigt. Hierdurch können Intensitäten in Wellenlängenbereichen, welche bei der spektralen Aufweitung der Ausgangsstrahlung des Lasers nicht in gewünschter Intensität vorliegen, ausgeglichen werden.

[0022] Hierbei ist es insbesondere vorteilhaft, den zweiten Modulationsanteil mittels einer separaten Strahlungsquelle zu erzeugen. Insbesondere ist hier die Verwendung von einer oder insbesondere bevorzugt mehreren Leuchtdioden vorteilhaft, da mit solchen Leuchtdioden gezielt ein zweiter Modulationsanteil mit hohen Intensitäten in den Wellenlängen, welche im ersten Modulationsanteil nicht mit der gewünschten Intensität vorhanden sind, gebildet werden kann. Ebenso kann eine breitbandige Lichtquelle wie beispielsweise eine Xenon- oder Halogenlampe verwendet werden, deren Ausgangsstrahlung derart spektral modifiziert wird, beispielsweise mittels optischer Filter, dass die gewünschte spektrale Verteilung des zweiten Modulationsanteils zur Vereinigung mit dem ersten Modulationsanteil ausgebildet wird. Ebenso kann eine weitere breitbandige Laserquelle eingesetzt werden, deren Ausgangsstrahlung ebenfalls spektral modifiziert wird, wie beispielsweise durch eine gleiche Art der spektralen Modifikation wie für den ersten Modulationsanteil der Modulationsstrahlung.

[0023] Zusätzlich oder insbesondere vorteilhafterweise alternativ ist es vorteilhaft, die Ausgangsstrahlung des Lasers aufzuteilen, um mit einem ersten Teil der Ausgangsstrahlung den ersten Modulationsanteil und mit zumindest einem zweiten Teil der Ausgangsstrahlung einen zweiten Modulationsanteil zu erzeugen. Hierbei können an sich bekannte optische Strahlteiler eingesetzt werden, um den Ausgangs-

strahl des Lasers in zumindest zwei Teilstrahlen aufzuteilen und den ersten Teilstrahl entsprechend der vorangehenden Beschreibungen zu den ersten Modulationsanteil spektral aufzuweiten, spektral zu modifizieren und anschließend wieder zu vereinigen und den zweiten Teil in einem anderen Wellenlängenbereich spektral zu modifizieren und wieder zu vereinigen. Hierdurch können für den jeweiligen Wellenlängenbereich optimierte optische Mittel zum spektralen Modifizieren eingesetzt werden.

[0024] Für typische Anwendungen, insbesondere zur Charakterisierung von photovoltaischen Solarzellen, ist eine Aufweitung in einem Spektralbereich von 300 bis 1600 nm, insbesondere von 400 nm bis 1100 nm vorteilhaft. Als Lichtquelle eignet sich insbesondere ein Laser mit einer Wellenlänge im Bereich von 750 nm bis 900 nm, insbesondere gepulster Laser, vorzugsweise ein Ultrakurzpulslaser.

[0025] Hierbei ist eine Aufteilung in mindestens zwei Teilstrahlen und entsprechend separate spektrale Modifizierung insbesondere in folgenden Konfigurationen vorteilhaft: Ein erster Anteil der Laserstrahlung wird in eine photonische Kristallfaser (PCF) eingekoppelt in der durch nichtlineare optische Prozesse eine spektrale Aufweitung im Bereich von 450 bis 1600 nm stattfindet. Der verbleibende zweite Anteil kann ebenfalls in eine PCF eingekoppelt werden, die aufgrund anderer Eigenschaften als die der ersten PCF vorzugsweise eine spektrale Aufweitung in einem Spektralbereich erreicht, der von der ersten PCF nicht abgedeckt wird (vorzugsweise im Bereich unterhalb 450 nm). Alternativ kann der zweite Strahlungsanteil durch Frequenzkonversionen zweiter Ordnung (z.B. Frequenzverdopplung) spektral verändert werden. Ebenso kann eine wie zuvor beschriebene spektrale Veränderung mit einer wie zuvor beschriebenen spektralen Aufweitung kombiniert werden, um gewünschte Spektralbereiche zu erschließen.

[0026] Die beiden Modulationsanteile werden zu einem gemeinsamen Modulationsanteil vereinigt, um den optischen Sensor mit diesem vereinigten Modulationsanteil zu beaufschlagen. Vorteilhafterweise erfolgt die Modulation des vereinigten Modulationsanteils, so dass erster und zweiter (und gegebenenfalls weitere) Modulationsanteile notwendigerweise mittels eines gemeinsamen Modulationsmittels (wie beispielsweise ein Chopper) moduliert werden. In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird der Modulationsanteil räumlich spektral aufgeweitet, beispielsweise durch Verwendung eines optischen Prismas oder vergleichbare optische Komponenten wie beispielsweise Beugungsgittern. Die räumliche spektrale Aufweitung des Modulationsanteils ermöglicht in einfacher und präziser Weise eine spektrale Modifizierung: Durch das Vorsehen einer Mehrzahl von Strahlungsmodulatoren, insbesondere von Intensitätsmodulatoren in mehreren unterschiedlichen Wellenlängenbereichen der räumlich spektral aufgeweiteten Ausgangsstrahlung kann somit in einfacher Weise mittels jeweils eines Modulators jeweils ein Wellenlängenbereich moduliert werden und so für jeden Wellenlängenbereich eine entsprechende Intensität vorgegeben werden. Solche spektralen Modifizierungen der Ausgangsstrahlung eines Lasers sind an sich bekannt, wie beispielsweise in T. Dennis, at al., „A Novel Solar Simulator Based on a Superkontinuum Laser for Solar Cell Device and Materials Characterization“, ieee Journal of Photovoltaics, vol. 4, no. 4, July 2014 pp 1119–1127 beschrieben.

[0027] Insbesondere ist hier die Verwendung von steuerbaren Lichtmodulatoren vorteilhaft, welche mittels eines Steuergeräts gesteuert werden, so dass in einfacher Weise mittels des Steuergeräts die Amplitude oder Phase, je nach Ausprägung des steuerbaren Lichtmodulators, der spektral aufgeweiteten Ausgangsstrahlung manipuliert werden können und somit eine gewünschte spektrale Intensitätsverteilung des Modulationsanteils vorgegeben werden kann. Steuerbare Lichtmodulatoren können beispielsweise unter Verwendung von Mikrospiegelarrays oder Durchlichtarrays realisiert werden. Ebenso können steuerbare Lichtmodulatoren unter Verwendung von steuerbaren Phasengittern, welche wahlweise die Phasenlage eines Spektralteilstrahls ändern, realisiert werden. Solche Phasengitter sind beispielsweise unter der Bezeichnung „grating light valve“ (eine TM der Silicon Light Machines, US) bekannt.

[0028] Wie zuvor beschrieben, kann der Biasanteil vorteilhafterweise dazu verwendet werden, einen gewünschten Messzustand des optischen Sensors zu erzeugen, insbesondere ein gewünschtes Ladungsträgerniveau bei auf Halbleitern basierenden optischen Sensoren, insbesondere bei photovoltaischen Solarzellen.

[0029] Vorteilhafterweise weist der Biasanteil daher eine für den optischen Sensor um zumindest einen Faktor 5, vorzugsweise um zumindest einen Faktor 10, insbesondere um zumindest einen Faktor 100 höhere effektive Intensität auf, gegenüber der für den optischen Sensor effektiven Intensität des Modulationsanteils. Die effektive Intensität beschreibt hierbei die für die entscheidende Zielgröße, wie beispielsweise die Ladungsträgerdichte, maßgebliche Intensität. Eine solche kann sich somit beispielsweise durch Aufintegration der Spektralanteile von Modulationsanteil einerseits und Intensitätsanteil andererseits unter Berücksichtigung der spektralen Empfindlichkeit des optischen Sensors ergeben.

[0030] Wie eingangs beschrieben, besteht ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens darin, dass bevorzugt ein breitbandiger Modulationsanteil verwendet wird, so dass keine sequentielle, zeitlich hin-

tereinander erfolgende Messung mit mehreren unterschiedlichen monochromatischen Modulationsanteilen erfolgen muss.

[0031] Der Modulationsanteil weist daher bevorzugt ein breitbandiges Spektrum auf. Bei einer Vielzahl optischer Sensoren, insbesondere bei photovoltaischen Solarzellen ist eine Charakterisierung für ein genormtes Sonnenlichtspektrum, wie beispielsweise AM1.5 (insbesondere gemäß Norm IEC60904-3), gewünscht. Bevorzugt weist der Modulationsanteil daher ein dem Sonnenlicht zumindest hinsichtlich der spektralen Verteilung näherungsweise entsprechendes Spektrum auf.

[0032] Vorzugsweise wird mittels des Verfahrens eine kalibrierte Messung durchgeführt, welche folgende Verfahrensschritte aufweist:
Es wird ein Messen des optischen Sensors gemäß der zuvor beschriebenen Verfahrensschritte A und B durchgeführt. Zusätzlich erfolgt eine Substitutionsmessung, wobei der optische Sensor durch einen kalibrierten optischen Sensor ersetzt wird und ebenfalls die Verfahrensschritte A und B durchgeführt werden. Durch die Substitutionsmessung mit dem kalibrierten optischen Sensor kann somit ein Korrekturwert ermittelt werden und es erfolgt eine Korrektur des Messwerts des optischen Sensors mittels des Messwerts des kalibrierten optischen Sensors. Da jedoch im Gegensatz zu vorbekannten Vorrichtungen und Verfahren das Spektrum der Messstrahlung exakt oder zumindest genauer dem gewünschten Spektrum entspricht, muss lediglich gegebenenfalls hinsichtlich der Gesamtintensität eine Korrektur mit einem (wellenlängenunabhängigen) Korrekturfaktor erfolgen. Eine bei vorbekannten Verfahren typischerweise notwendige Korrektur aufgrund eines fehlerhaften Messspektrums (eine sogenannte „spektrale Mismatch-Korrektur“) ist hier nicht notwendig oder zumindest mit einer erheblich geringeren Abweichung verbunden.

[0033] Eine solche kalibrierte Messung des optischen Sensors ist insbesondere geeignet, um einen Kurzschlussstrom für eine vorgegebene effektive Intensität der Messstrahlung zu bestimmen. Insbesondere ist es vorteilhaft, mehrere Messungen mit unterschiedlichen effektiven Intensitäten durchzuführen, um eine Intensitätsabhängigkeit des optischen Sensors zu bestimmen. Insbesondere der spektral sehr gut anpepasste Modulationsstrahl ermöglicht bei vorangehend beschriebenen Verfahren eine gleichzeitige, sehr präzise Bestimmung des Kurzschlussstroms unter Normbedingungen.

[0034] Die vorangehend erwähnten Vorteile basieren somit insbesondere auf der Verwendung eines Lasers mit spektral aufgeweiteter und spektral modifizierter Ausgangsstrahlung zur differentiellen Vermessung eines optischen Sensors unter zusätzlicher Beaufschlagung mit Biasstrahlung.

[0035] Die eingangs erwähnte Aufgabe wird ebenfalls durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung gemäß Anspruch 10 gelöst. Die Vorrichtung zur Charakterisierung eines optischen Sensors weist zumindest eine Modulationsstrahlungsquelle zum Erzeugen einer Modulationsstrahlung und eine Biasstrahlungsquelle zum Erzeugen einer Biasstrahlung sowie eine Modulationseinheit auf. Die Modulationseinheit ist im Strahlengang der Modulationsstrahlung angeordnet und die Vorrichtung ist ausgebildet, den optischen Sensor mit der Biasstrahlung und mit der mittels der Modulationseinheit modulierten Modulationsstrahlung zu beaufschlagen. Die Vorrichtung weist weiterhin eine Auswerteeinheit aus, mittels derer ein Messsignal des optischen Sensors hinsichtlich der mit der Messmodulation modulierten Anteile demodulierbar ist.

[0036] Wesentlich ist, dass die Modulationsstrahlungsquelle zumindest einen Laser umfasst, dass die Vorrichtung eine optische Aufweitungseinheit zum spektralen Aufweiten einer Ausgangsstrahlung des Lasers aufweist, welche im Strahlengang der Modulationsstrahlung angeordnet ist und dass eine optische Modifizierungseinheit zum spektralen Modifizieren im Strahlengang der Modulationsstrahlung der Aufweitungseinheit nachgeordnet ist.

[0037] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist die bereits bei dem erfindungsgemäßen Verfahren genannten Vorteile auf. Insbesondere ermöglicht die Verwendung eines Lasers in Kombination mit der optischen Aufweitungseinheit und der optischen Modifizierungseinheit eine erhöhte Präzision für ein vorgegebenes Spektrum der Modulationsstrahlung. Es ist insbesondere vorteilhaft, eine als „Superkontinuumslaser“ bekannte Kombination eines Lasers mit optischer Aufweitungseinheit zu verwenden. Die Ausgangsstrahlung wird auch als „weißes Laserlicht“ bezeichnet. Solche Superkontinuumslaser, welche typischerweise den Laser und die optische Aufweitungseinheit in einem Gehäuse vereinen, sind bereits käuflich erwerblich, insbesondere mit einem Wellenlängenbereich 400 nm bis 2400 nm der Ausgangsstrahlung.

[0038] Als Laser wird insbesondere bevorzugt ein Superkontinuumslaser verwendet, der insbesondere bevorzugt den Spektralbereich des Normspektrums AM1.5 abdeckt und nach spektraler Modifikation dieses sehr präzise nachbilden kann. Ebenso kann die oben genannte Superkontinuumsstrahlung auch durch einen Laser und ein weiteres optisches Element, das geeignet ist um in Wechselwirkung mit dem Laser eine breitbandige Superkontinuumsstrahlung zu erzeugen, realisiert werden. Als besonders vorteilhafte optische Elemente eignen sich hierbei

beispielsweise optische Fasern, vorzugsweise photonische Kristallfasern, die hohe Strahlungsintensitäten über lange Distanzen ermöglichen und hohe Nichtlinearitäten aufweisen, was für die Erzeugung eines Superkontinuums vorteilhaft ist. Insbesondere vorteilhaft ist auch die Nutzung eines Ultrakurzpulslasers, um hohe Intensitäten in den Pulsspitzen der ultrakurzen Pulse zur Erzeugung eines Superkontinuums auszunutzen. Insbesondere für ultrakurze Pulse ist die Nutzung photonischer Kristallfasern vorteilhaft, da ihre Dispersionseigenschaften eine derartige Pulspropagation ermöglichen, dass die ultrakurzen Pulse ihre hohen Pulsspitzenintensitäten über vergleichsweise lange Distanzen beibehalten können.

[0039] Die optische Aufweitungseinheit ist vorzugsweise zum Erzeugen eines breitbandigen Spektrums ausgebildet, insbesondere eines Spektrums, welches zumindest einen Wellenlängenbereich 400 nm bis 780 nm, bevorzugt 400 nm bis 1200 nm, insbesondere bevorzugt 300 nm bis 1600 nm überdeckt.

[0040] Die Aufweitungseinheit der Modulationseinheit ist bevorzugt derart zusammenwirkend ausgebildet, dass Modulationsstrahlung mit einem dem Sonnenlichtspektrum zumindest hinsichtlich der spektralen Verteilung zumindest näherungsweise entsprechenden Spektrum erzeugbar ist. Insbesondere ist Modulationsstrahlung wie zuvor beschrieben in vielen Fällen mit einem genormten Sonnenspektrum, wie beispielsweise AM1.5 wünschenswert.

[0041] Um eine nochmals erhöhte Präzision hinsichtlich des gewünschten Spektrums der Modulationsstrahlung zu erzielen ist es wie vorangehend bereits beschrieben vorteilhaft, eine optische Zusammenführungseinheit vorzusehen, welche im Strahlengang der Modulationsstrahlung vor der Modulationseinheit angeordnet und ausgebildet ist, der Modulationsstrahlung einen weiteren Strahlungsanteil zuzuführen. Hiermit können somit solche Wellenlängenbereiche, welche in einem ersten Teil der Modulationsstrahlung nicht vorhanden oder zumindest nicht mit der gewünschten Intensität vorhanden sind, über zumindest einen weiteren Strahlungsanteil hinzugeführt werden.

[0042] Eine konstruktiv besonders einfache Ausbildung ergibt sich hierbei, indem in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform die Vorrichtung eine optische Zusatzmodifikationseinheit aufweist, indem im Strahlengang des Lasers vor der Aufweitungseinheit ein Strahlteiler angeordnet ist, um die Ausgangsstrahlung des Lasers in zumindest einem ersten Ausgangsstrahlungsteil, welcher der Aufweitungseinheit zugeführt wird und einen zweiten Ausgangsstrahlungsteil, welcher der Zusatzmodifikationseinheit zugeführt wird, aufzuteilen. Die Zusatzmodifikationseinheit ist bevorzugt ausgebildet, den zweiten Ausgangsstrahlungsteil in einen vorgegebenen Spektralbereich zu modifizieren, insbesondere bevorzugt im Bereich 300 nm bis 450 nm, weiter bevorzugt im Bereich 250 nm bis 500 nm.

[0043] Die Modifizierungseinheit ist bevorzugt als steuerbarer Lichtmodulator, insbesondere als steuerbares Mikrospiegelarray, als steuerbares Flüssigkristalldisplay oder als steuerbares Phasengitter ausgebildet. Hierdurch kann in einfacher Weise durch eine Steuereinheit wie beispielsweise einen Computer eine spektrale Verteilung durch entsprechendes Ansteuern des Lichtmodulators vorgegeben werden.

[0044] Wie zuvor beschrieben wird der Modulationsanteil der Messstrahlung mit einer Messmodulation moduliert. Eine unaufwändige, vorteilhafte Modulation stellt hierbei eine Intensitätsmodulation, insbesondere mit einer vorgegebenen Modulationsfrequenz dar, bevorzugt mittels einer rotierenden Sektorenblende zur Ausbildung eines Choppers. Ebenso liegen andere Messmodulationen im Rahmen der Erfindung, beispielsweise die Modulation mit dem steuerbaren Lichtmodulator oder die Modulation der Strahlungsquelle selbst.

[0045] Der Biasanteil wird bevorzugt nicht moduliert. Wesentlich ist, dass eine Demodulation der Messsignale hinsichtlich der Anregung durch die modulierte Messstrahlung möglich ist. Es liegt daher im Rahmen der Erfindung, dass auch der Biasanteil moduliert ist. Hierbei muss die Modulation des Biasanteil jedoch verschieden zu der Modulation des Messanteils sein, so dass auch in diesem Fall eine Demodulation der Messsignale hinsichtlich der Anregung durch die modulierte Messstrahlung möglich ist.

[0046] Weitere bevorzugte Merkmale und Ausführungsformen werden im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und den Figuren erläutert. Dabei zeigt:

[0047] Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

[0048] Fig. 1a ein Ausführungsbeispiel einer spektralen Modifizierungseinheit für die Vorrichtung gemäß **Fig.** 1;

[0049] Fig. 1b ein weiteres Ausführungsbeispiel einer spektralen Modifizierungseinheit für die Vorrichtung gemäß **Fig.** 1;

[0050] Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher ein Ausgangsstrahl eines Lasers aufteilt und separat spektral modifiziert wird;

[0051] Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher der Ausgangsstrahl eines Lasers aufgeteilt, separat

spektral aufgeweitet, jedoch gemeinsam nach Vereinigung spektral modifiziert wird.

[0052] **Fig.** 4 ein viertes Ausführungsbeispiel, bei welchem ein spektral aufgeweiteter und spektral modifizierter Ausgangsstrahl eines Lasers mit einem Strahl einer weiteren Strahlungsquelle vereinigt wird.

[0053] Sämtliche Figuren stellen schematische, nicht maßstabsgetreue Zeichnungen dar. Gleiche Bezugszeichen in den Figuren bezeichnen gleiche oder gleichwirkende Elemente.

[0054] Die Vorrichtung zur Charakterisierung eines optischen Sensors gemäß dem in **Fig.** 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel weist eine als Laser ausgebildete Modulationsstrahlungsquelle **1** auf. Diese Quelle kann (vorliegend) aus einem Laser **1** und einer darauf folgenden spektralen Aufweitungseinheit **1a** bestehen oder auch (vorliegend) aus einem Superkontinuumslaser welcher eine Laserquelle **1** zusammen mit einer spektralen Aufweitungseinheit **1a** in einem Gerät vereint. Zur spektralen Aufweitung ist es vorteilhaft, wenn der Laser ultrakurze Pulse (Pulsdauern im as- bis ps-Bereich) emittiert, die insbesondere für die Erzeugung eines Superkontinuums in der spektralen Aufweitungseinheit **1a** vorteilhaft sind.

[0055] Die Vorrichtung weist weiterhin eine Biasstrahlungsquelle **4** auf, welche vorliegend als Halogenlampe ausgebildet ist.

[0056] Die Vorrichtung gemäß Ausführungsbeispiel **1** dient zur Charakterisierung eines als photovoltaische Solarzelle ausgebildeten optischen Sensors **5**, welcher elektrisch leitend mit einer Auswerteeinheit **6** verbunden ist. Die Auswerteeinheit **6** wird durch einen Computer **7** gesteuert; ebenso können die Messdaten auf dem Computer gespeichert und visualisiert werden.

[0057] Im Strahlengang des Ausgangsstrahls der Modulationsstrahlungsquelle **1** ist eine optische Aufweitungseinheit **1a** angeordnet. Die Aufweitungseinheit **1a** ist als photonische Kristallfaser PCF ausgebildet und erzeugt somit aus dem Ausgangsstrahls der Modulationsstrahlungsquelle **1** einen breitbandigen Strahl. Im Strahlengang der Aufweitungseinheit **1a** nachgeordnet ist eine spektrale Modifizierungseinheit **2** angeordnet.

[0058] Diese Modifizierungseinheit **2** weist ein optisches Mittel zum wellenlängenabhängigen, räumlichen Aufweiten des spektral mittels der Aufweitungseinheit **1a** aufgeweiteten Strahls auf, vorliegend ein optisches Prisma. Der räumlich spektral aufgeweitete Strahl wird auf einen steuerbaren Lichtmodulator geleitet und anschließend wieder zu einem Strahl gebündelt. Dies ist in Teilbild **1a** dargestellt:

In **Fig.** 1a ist ein erstes Ausführungsbeispiel einer spektralen Modifizierungseinheit **2** der Vorrichtung gemäß **Fig.** 1 im Detail dargestellt. Der Lichtstrahl (von der Aufweitungseinheit **1a** kommend) tritt in dieser Darstellung von oben in die spektrale Modifizierungseinheit **2** ein und nach der spektralen Modifizierungseinheit tritt der Lichtstrahl in der Darstellung gemäß **Fig.** 1a unten aus, um in der Darstellung gemäß **Fig.** 1 zu der Modulationseinheit **3** zu gelangen. Die spektrale Modifizierungseinheit **2** gemäß des in **Fig.** 1a dargestellten ersten Ausführungsbeispiels weist folgende Komponenten auf:
Mittels eines ersten optischen Prismas **11** erfolgt ein räumlich spektrales Aufweiten des Lichtstrahls. Dieser räumlich spektral aufgeweitete Lichtstrahl (dargestellt sind beispielhaft ein Spektralteilstrahl mit geringerer Wellenlänge, welcher daher als „blau“ gekennzeichnet ist und ein Spektralteilstrahl mit demgegenüber größerer Wellenlänge, welcher daher als „rot“ gekennzeichnet ist.

[0059] Zwischen diesen eingrenzenden Strahlengängen verlaufen die Strahlengänge der Spektralteilstrahlen mit entsprechend dazwischenliegenden Wellenlängen. Mittels eines ersten konkaven Spiegels **12** wird der räumlich spektral aufgeweitete Lichtstrahl auf ein Mikrospiegelarray **13** abgebildet.

[0060] Das Mikrospiegelarray **13** weist eine Vielzahl von Einzel- wahlweise elektrisch verkippbarer Mikrospiegel auf, welche in einer rechteckigen Matrix angeordnet sind. Zum besseren Nachvollziehen der spektralen Modifikation ist in Teilbild X eine Draufsicht auf das Mikrospiegelarray dargestellt. Hierbei sind Spiegel, welche derart gekippt sind, dass der von diesen Mikrospiegeln reflektierte Strahl zu dem Strahlausgang der spektralen Modifizierungseinheit **2** gelangt als schwarz dargestellt. Mikrospiegel, die derart gekippt sind, dass ein von diesen Mikrospiegeln reflektierter Strahlteil nicht zu dem Strahlausgang der spektralen Modifizierungseinheit **2** gelangt, sind entsprechend weiß dargestellt. Da die Mikrospiegel unmittelbar nebeneinander liegen, sind in der Draufsicht gemäß Darstellung X die Trennlinien zwischen den Mikrospiegeln nicht ersichtlich. Typische Mikrospiegelarrays weisen eine Anzahl von 768×1024 Mikrospiegeln in Matrixform auf (d.h. auf den Eckpunkten eines Rechteckgitters mit quadratischen Grundelementen angeordnet).

[0061] In diesem Betriebszustand gemäß der Draufsicht X wird somit beispielsweise nur ein geringer Blauanteil des eingehenden Strahls zu dem Strahlausgang der spektralen Modifizierungseinheit **2** geleitet, da am rechten Rand des Mikrospiegelarrays nur eine vergleichbar geringe Fläche im unteren Bereich derart ausgerichtete Mikrospiegel aufweist, dass der von diesen Mikrospiegeln reflektierte Strahl zu dem Strahlausgang gelangt.

[0062] Am linken Rand der Draufsicht X ist ersichtlich, dass eine erheblich größere Fläche Mikrospiegel mit solch einer Ausrichtung aufweist, dass ein von diesen Mikrospiegeln reflektierte Teilstrahl zum Strahlausgang gelangt. Dementsprechend wird ein größerer Anteil von Licht im roten Spektralbereich bei dieser Konfiguration zu dem Strahlausgang gelangen.

[0063] Durch Beeinflussen der Stellung der Mikrospiegel mittels einer Steuereinheit, insbesondere mittels eines Computers kann somit wahlweise die spektrale Verteilung gewählt werden, indem über jede Spalte des Mikrospiegelarrays die zum Strahlausgang gelangende Intensität des auf diese Spalte abgebildeten Spektralbereiches des Lichtstrahls festgelegt werden kann.

[0064] Über einen zweiten konkaven Spiegel **14** werden diejenigen Lichtstrahlen, welche von den in Darstellung X schwarz markierten Mikrospiegeln reflektiert wurden zu einem zweiten optischen Prisma **15** geleitet, so dass der spektral räumlich aufgeweitete Lichtstrahl mittels des zweiten konkaven Spiegels **14** und des zweiten optischen Prismas **15** wieder zu einem gebündelten Lichtstrahl zusammengefasst wird.

[0065] Alternativ könnte anstelle des Mikrospiegelarrays **13** auch ein Phasengitter oder eine Flüssigkristallarray (LCD) mit einer verspiegelten Rückseite verwendet werden.

[0066] In **Fig.** 1b ist als Alternative ein zweites Ausführungsbeispiel einer spektralen Modifizierungseinheit dargestellt. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird im Folgenden lediglich auf die wesentlichen Unterschiede eingegangen:
Der Eingangsstrahl, welcher von dem ersten optischen Prisma **11** spektral räumlich aufgeweitet wird, wird mittels des ersten konkaven Spiegels **12** in diesem Fall auf ein Durchlichtarray **13'** abgebildet. Das Durchlichtarray **13'** ist als LCD ausgebildet, wobei eine Vielzahl als Matrix angeordneter Bildpunkte wahlweise transparent oder absorbierend (schwarz) mittels einer Steuereinheit, insbesondere mittels eines Computers geschaltet werden können. Auch hier kann somit über die Fläche der einzelnen Spalten des LCD, welche transparent geschaltet ist, im Verhältnis zu der Fläche der Spalte, welche nicht durchlässig (schwarz) geschaltet ist, die Intensität des dieser Spalte zugeordneten Wellenlängenbereichs beeinflusst werden. Entsprechend kann in einfacher Weise die spektrale Zusammensetzung einem gewünschten Spektrum angepasst werden.

[0067] Der wesentliche Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig.** 1a liegt darin, dass keine Reflektion an dem Durchlichtarray **13'** stattfindet, so dass die Geometrie der Strahlengänge unterschiedlich ist:
Gemäß des optischen Aufbaus in **Fig.** 1a sind der einfallende Lichtstrahl und der ausgehende Lichtstrahl koaxial und verlaufen in der gleichen Richtung. Gemäß des optischen Aufbaus in **Fig.** 1b weisen der eingehende Lichtstrahl und der ausgehende Lichtstrahl zwar parallele optische Achsen auf, diese sind jedoch voneinander beabstandet und die Strahlen verlaufen in entgegengesetzter Richtung.

[0068] Grundsätzlich kann auch eine spektrale Modifizierungseinheit gemäß der Ausbildung in **Fig.** 1b bei einer Vorrichtung gemäß **Fig.** 1 eingesetzt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Strahlenverläufe müssten in diesem Fall noch weitere Komponenten wie beispielsweise optische Spiegel vorgesehen werden, um die spektrale Modifizierungseinheit **2** in den Strahlenverlauf der **Fig.** 1 einzupassen.

[0069] Der Wellenlängenbereich kann wie zuvor beschrieben insbesondere einen Spektralbereich 450 nm bis 1600 nm abdecken, d.h. in diesem Fall entspricht „blau" eine Wellenlänge von etwa 450 nm und „rot" einer Wellenlänge von etwa 1600 nm. Der von einem Pixel bzw. von einer Spalte von Pixeln abgedeckte Wellenlängenbereich kann in etwa dem Spektralbereich geteilt durch die Anzahl von Spalten entsprechen. Vorliegend weist das Mikrospiegelarray **13** und die Durchlichteinheit **13'** jeweils 1024 Pixel in x-Richtung, d.h. 1024 Spalten auf.

[0070] Eine Spalte überdeckt somit einen Wellenlängenbereich von etwa 1 nm/Spalte (1600 nm–450 nm geteilt durch 1024 Spalten).

[0071] Wieder mit Bezug zu **Fig.** 1 ist der spektralen Modifizierungseinheit **2** im Strahlengang nachgeordnet eine als optischer Chopper (d. h. rotierende Spektralblende mit vorgebbarer Drehgeschwindigkeit) ausgebildete Modulationseinheit **3** angeordnet.

[0072] Der optische Sensor **5** wird sowohl mit der mittels der Biasstrahlungsquelle **4** erzeugten Biasstrahlung, als auch mit dem spektral aufgeweiteten, spektral modifizierten und modulierten Strahl der Modulationsstrahlungsquelle **1** beaufschlagt.

[0073] Durch die Wahl der Intensität der Biasstrahlungsquelle kann somit ein Ladungsträgerniveau des optischen Sensors **5** vorgegeben werden und mittels der Auswerteeinheit **6** eine differentielle Messung durch Demodulation der Messsignale und somit Filtern hinsichtlich der Messsignale, welche in der modulierten Anregung durch den Modulationsstrahl begründet sind, erfolgen.

[0074] Die Durchlichteinheit der spektralen Modifizierungseinheit **2** wird ebenfalls durch die Auswerteeinheit **6**, bzw. durch den Computer **7** gesteuert.

[0075] Die **Fig.** 2 bis **Fig.** 4 zeigen weitere Ausführungsbeispiele, welche Abwandlungen zu dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig.** 1 darstellen. Der grundsätzliche Aufbau ist vergleichbar. Vermeidung von Wiederholungen wird nachfolgend auf die wesentlichen Unterschiede eingegangen:
Das in **Fig.** 2 dargestellte zweite Ausführungsbeispiel weist einen optischen Strahlteiler **1c** auf. Der Strahlteiler **1c** ist im Strahlengang des Ausgangsstrahls der Modulationsstrahlungsquelle **1** der Aufweitungseinheit **1a** vorgeschaltet, so dass lediglich ein Teilstrahl auf die Aufweitungseinheit **1a** trifft. Ein zweiter Teilstrahl wird mittels Spiegeln auf eine zweite Aufweitungseinheit **1b** abgebildet. Die erste Aufweitungseinheit **1a** und die zweite Aufweitungseinheit **1b** unterscheiden sich dadurch, dass unterschiedliche spektrale Aufweitungen vorgenommen werden. Wird in der PCF in Aufweitungseinheit **1a** Strahlung im Spektralbereich im Spektralbereich 450 nm bis 1600 nm erzeugt, ist es vorteilhaft wenn die Aufweitungseinheit **1b** spektrale Anteile unterhalb von 450 nm erzeugt um die spektrale Aufweitung durch Aufweitungseinheit **1a** zu ergänzen. Dies kann in breitbandiger Natur in einer anders gearteten PCF oder aber in vergleichsweise schmalbandiger Art durch andere Frequenzkonversionen (z.B. durch Frequenzverdopplung) erfolgen. Es ist auch möglich die Frequenzkonversion und eine weitere PCF kaskadiert in Aufweitungseinheit **1b** zu verwenden, um die gewünschten Spektralbereiche zu erreichen

[0076] Der aus der ersten Aufweitungseinheit **1a** austretende Strahl wird mittels einer ersten spektralen Modifizierungseinheit **2a** modifiziert. Entsprechend wird der aus der zweiten Aufweitungseinheit **1b** austretende Strahl mittels einer zweiten spektralen Modifizierungseinheit **2b** spektral modifiziert. Der Aufbau der ersten und der zweiten spektralen Modifizierungseinheit **2a**, **2b** entspricht dem der in **Fig.** 1 mit Teilbild **1a** beschriebenen Modifizierungseinheit **2**.

[0077] Die aus erster und aus zweiter Modifizierungseinheit **2a**, **2b** austretenden Strahlen werden vereinigt und als gemeinsamer Modulationsstrahl der Modulationseinheit **3** zugeführt. Dieses Ausführungsbeispiel weist den Vorteil auf, dass eine gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel erhöhte Präzision bei der Erzeugung eines vorgegebenen Spektrums für den Modulationsstrahl möglich ist, insbesondere aufgrund der zweiten Aufweitungseinheit **1b** und zweiten spektralen Modifizierungseinheit **2b**, welche insbesondere gewünschte Intensitäten im Wellenlängenbereich unter 450 nm ermöglicht.

[0078] Das dritte Ausführungsbeispiel gemäß **Fig.** 3 unterscheidet sich von dem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig.** 2 dadurch, dass die Vereinigung der Modulationsteilstrahlen der spektralen Modifizierungseinheit **2** vorgelagert ist. Hierdurch ist somit lediglich eine spektrale Modifizierungseinheit notwendig, welche eingangsseitig jedoch einen breitbandigen Eingangsstrahl mit im gesamten gewünschten Wellenlängenbereich höheren Intensitäten gegenüber dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig.** 1 aufweist, aufgrund der Verwendung einer ersten Aufweitungseinheit **1a** und einer zweiten Aufweitungseinheit **1b**.

[0079] Das vierte Ausführungsbeispiel gemäß **Fig.** 4 sieht ebenfalls die Vereinigung von zwei Modulationsteilstrahlen vor, um eine präzise Nachbildung des vorgegebenen Spektrums für den Modulationsstrahl zu ermöglichen. Im Unterschied zu den ersten drei Ausführungsbeispielen ist hier jedoch eine zweite Modulationsstrahlungsquelle **8** vorgesehen, welche als Xenonlampe ausgebildet ist. Ebenso kann die zweite Modulationsstrahlungsquelle als eine Leuchtdiode, eine Kombination mehrerer Leuchtdioden unterschiedlicher Wellenlängen, als Halogenlampe oder als ein weiterer, insbesondere zweiter Superkontinuumslaser ausgebildet sein. Der Ausgangsstrahl der Xenonlampe wird mittels einer optischen Filtereinheit **2b** gefiltert und anschließend mit dem Ausgangsstrahl der als Laser ausgebildeten Modulationsstrahlungsquelle **1**, welcher mittels der Aufweitungseinheit **1a** spektral aufgeweitet und mit der spektralen Modifizierungseinheit **2a** spektral modifiziert wurde vereinigt. Auch hier erfolgt eine Modulation durch eine gemeinsame Modulationseinheit **3**.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Hohl-Ebinger et al., „Non-Linearity of Solar Cells in Spectral Response Measurements“ 22nd EUPVSEC, 2007, Milan, p. 422–424 [0006]
- T. Dennis, at al., „A Novel Solar Simulator Based on a Superkontinuum Laser for Solar Cell Device and Materials Characterization“, ieee Journal of Photovoltaics, vol. 4, no. 4, July 2014 pp 1119–1127 [0026]
- Norm IEC60904-3 [0031]

Patentansprüche

1. Messverfahren zur Charakterisierung eines optischen Sensors, folgende Verfahrensschritte umfassend:
A Beaufschlagen des optischen Sensors mittels Messstrahlung, wobei die Messstrahlung zumindest einen Modulationsanteil und einen Biasanteil aufweist und der Modulationsanteil mit einer Messmodulation moduliert wird;
B Auswerten eines Messsignals des optischen Sensors mit Demodulation hinsichtlich der mit der Messmodulation modulierten Anteile des Messsignals;
dadurch gekennzeichnet,
dass zum Erzeugen des Modulationsanteils zumindest ein Laser verwendet wird, dessen Ausgangsstrahlung spektral aufgeweitet wird, dass die spektral aufgeweitete Ausgangsstrahlung spektral modifiziert wird und die spektral modifizierte Ausgangsstrahlung zu einem Modulationsstrahl vereinigt wird, um den optischen Sensor mit dem Modulationsstrahl zu beaufschlagen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Modulationsanteil aus der Vereinigung der spektral aufgeweiteten und spektral modifizierten Ausgangsstrahlung des Lasers als ersten Modulationsanteil mit mindestens einem weiteren, zweiten Modulationsanteil gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass der zweite Modulationsanteil mittels einer separaten Strahlungsquelle erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Ausgangsstrahlung des Lasers aufgeteilt wird, wobei ein erster Teil der Ausgangsstrahlung zur Erzeugung des ersten Modulationsteils und ein zweiter Teil der Ausgangstrahlung zur Erzeugung des zweiten Modulationsteils verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Biasanteil eine für den optischen Sensor um zumindest einen Faktor 5, vorzugsweise um zumindest einen Faktor 10, insbesondere um zumindest einen Faktor 100 höhere effektive Intensität aufweist gegenüber der für den optischen Sensor effektiven Intensität des Modulationsanteils.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Modulationsanteil ein breitbandiges Spektrum aufweist, insbesondere ein dem Sonnenlichtspektrum zumindest hinsichtlich der spektralen Verteilung näherungsweise entsprechendes Spektrum.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine kalibrierte Messung durchgeführt wird, folgende Verfahrensschritte umfassend:
– Messen des optischen Sensors mittels der Verfahrensschritte A und B;
– Substitutionsmessung mit einem kalibrierten optischen Sensor mittels der Verfahrensschritte A und B;
Korrektur des Messwertes des optischen Sensors mittels des Messwerts des kalibrierten optischen Sensors.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass als optischer Sensor (**5**) ein photoelektrisches Bauelement, insbesondere eine Solarzelle verwendet wird und ein Kurzschlussstrom für eine vorgegebene effektive Intensität der Messstrahlung bestimmt wird, insbesondere,
dass mehrere Messungen mit unterschiedlichen effektiven Intensitäten des Biasanteils durchgeführt werden, um eine Intensitätsabhängigkeit des optischen Sensors zu bestimmen.

9. Verwendung eines Lasers mit spektral aufgeweiteter und spektral modifizierter Ausgangsstrahlung zur differentiellen Vermessung eines optischen Sensors unter zusätzlicher Beaufschlagung mit Biasstrahlung.

10. Vorrichtung zur Charakterisierung eines optischen Sensors,
mit zumindest einer Modulationsstrahlungsquelle (**1**) zum Erzeugen einer Modulationsstrahlung und einer Biasstrahlungsquelle (**4**) zum Erzeugen einer Biasstrahlung, mit einer Modulationseinheit (**3**), welche im Strahlengang der Modulationsstrahlung angeordnet ist, wobei die Vorrichtung ausgebildet ist, den optischen Sensor mit der Biasstrahlung und mit der modulierten Modulationsstrahlung zu beaufschlagen,
und mit einer Auswerteeinheit (**6**), mittels derer ein Messsignal des optischen Sensors hinsichtlich der mit der Messmodulation modulierten Anteile demodulierbar ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Modulationsstrahlungsquelle (**1**) zumindest einen Laser umfasst,
dass eine optische Aufweitungseinheit (**1a**) zum spektralen Aufweiten einer Ausgangsstrahlung des Lasers im Strahlengang der Modulationsstrahlung angeordnet ist,
dass eine optische Modifizierungseinheit (**2**) zum spektralen Modifizieren im Strahlengang der Modulationsstrahlung der Aufweitungseinheit (**1a**) nachgeordnet ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet,** dass die optische Aufweitungseinheit (**1a**) zum Erzeugen eines breitbandigen Spektrums ausgebildet ist, insbesondere eines Spektrums, welches zumindest einen Wellenlängenbereich 400 nm

bis 780 nm, vorzugsweise 300 nm bis 1600 nm überdeckt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass Aufweitungseinheit (**1a**) und Modifizierungseinheit (**2**) derart zusammenwirkend ausgebildet sind, dass Modulationsstrahlung mit einem dem Sonnenlichtspektrum zumindest hinsichtlich der spektralen Verteilung zumindest näherungsweise entsprechendes Spektrum erzeugbar ist.

13. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Vorrichtung eine optische Zusammenführungseinheit aufweist, welche im Strahlengang der Modulationsstrahlung vor der Modulationseinheit (**3**) angeordnet und ausgebildet ist, der Modulationsstrahlung einen weiteren Strahlungsanteil zuzuführen.

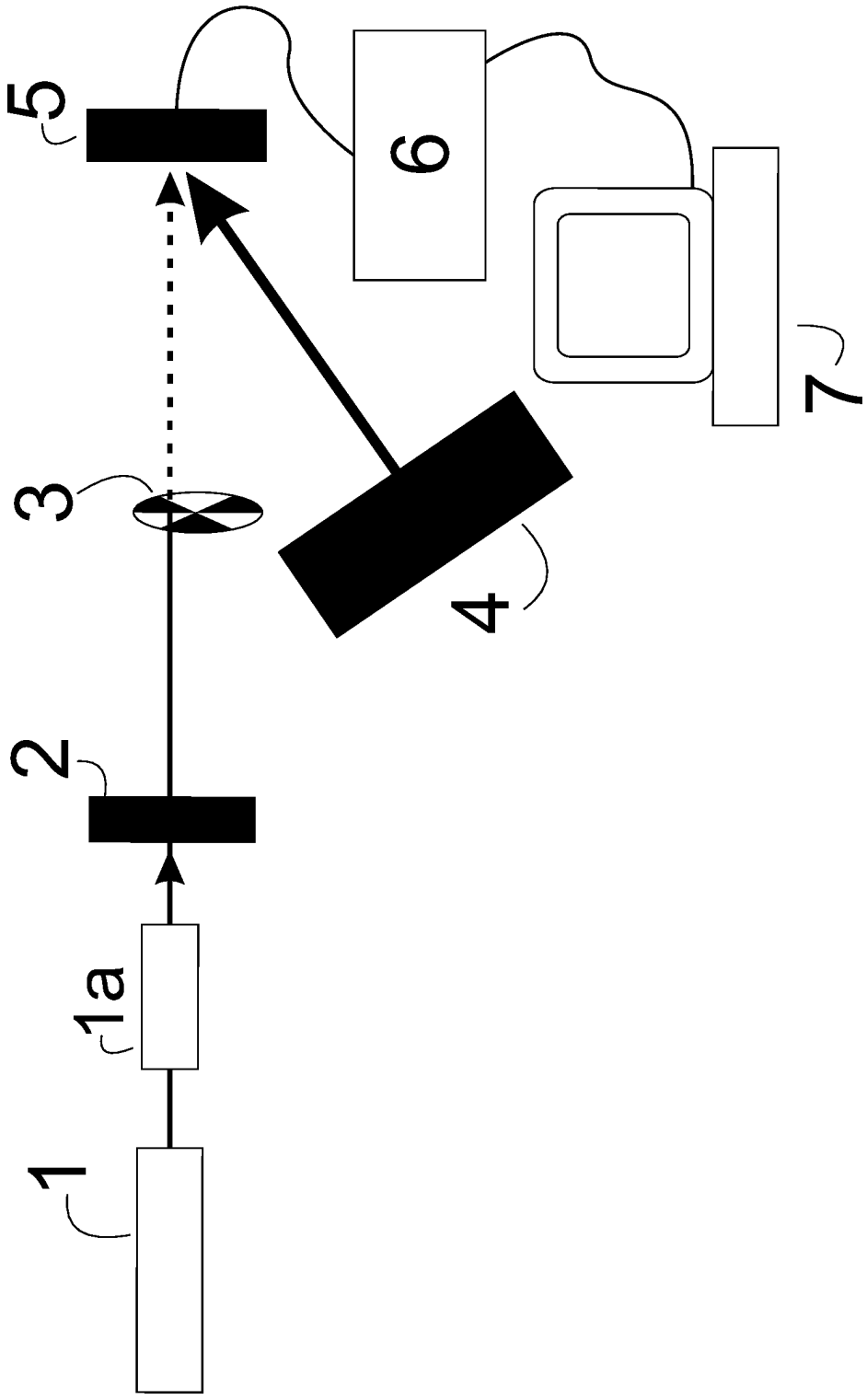
14. Vorrichtung nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorrichtung eine optische Zusatzmodifikationseinheit aufweist,
dass im Strahlengang des Lasers vor der Aufweitungseinheit (**1a**) ein Strahlteiler (**1c**) angeordnet ist, um die Ausgangsstrahlung des Lasers in zumindest einen ersten Ausgangsstrahlungsteil, welcher der Aufweitungseinheit (**1a**) zugeführt wird und einen zweiten Ausgangsstrahlungsteil, welcher der Zusatzmodifikationseinheit zugeführt wird, aufzuteilen,
wobei die Zusatzmodifikationseinheit ausgebildet ist, den zweiten Ausgangsstrahlungsteil in einem vorgegebenen Spektralbereich zu modifizieren, insbesondere im den ersten Ausgangsstrahlungsteil ergänzenden spektralen Bereich.

15. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Modifizierungseinheit als steuerbarer Lichtmodulator, insbesondere als steuerbares Durchlichtarray, steuerbares Mikrospiegelarray oder steuerbarer Phasenmodulator ausgebildet ist.

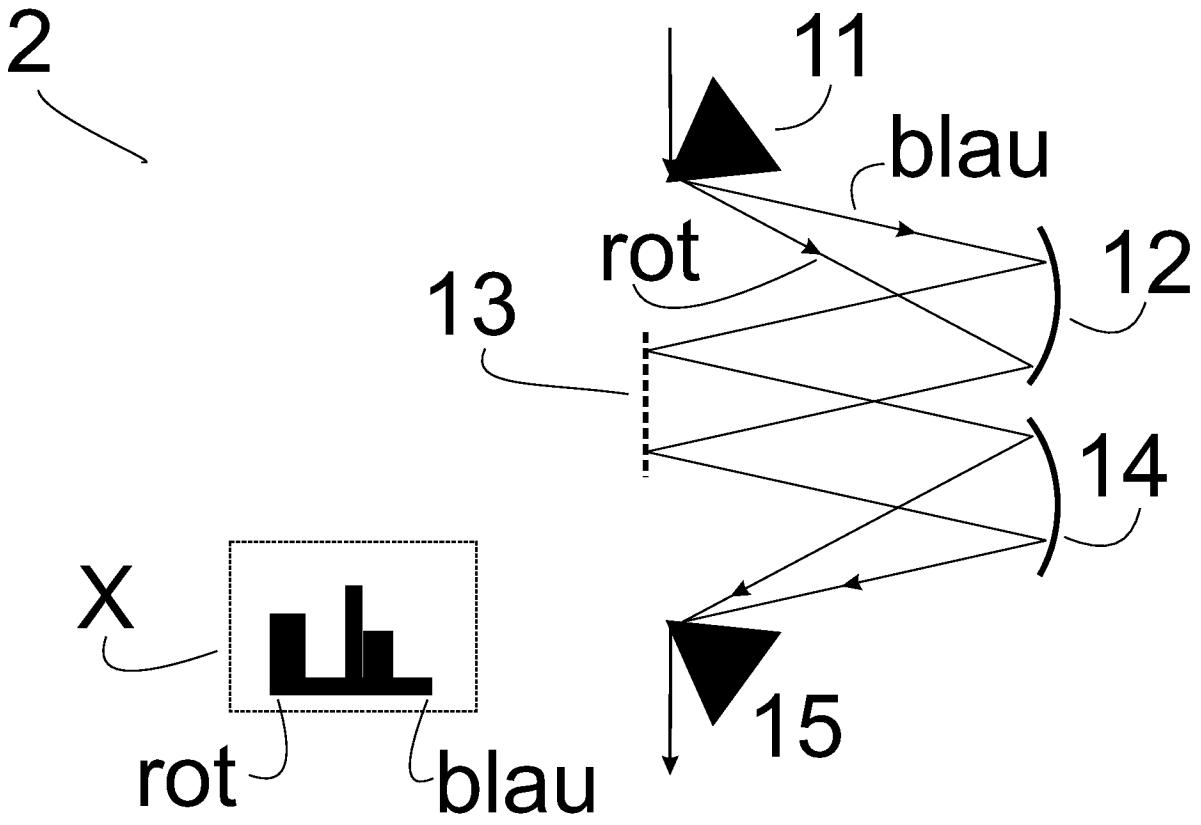
Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

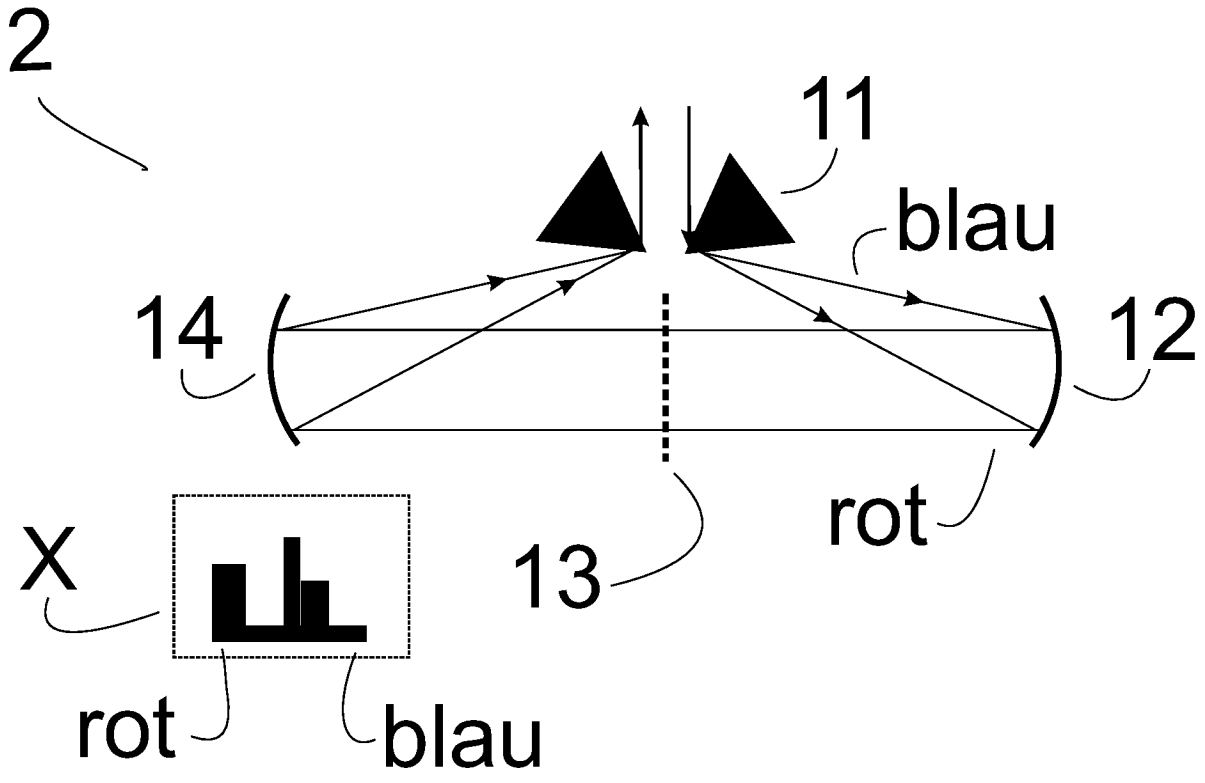
Figur 1



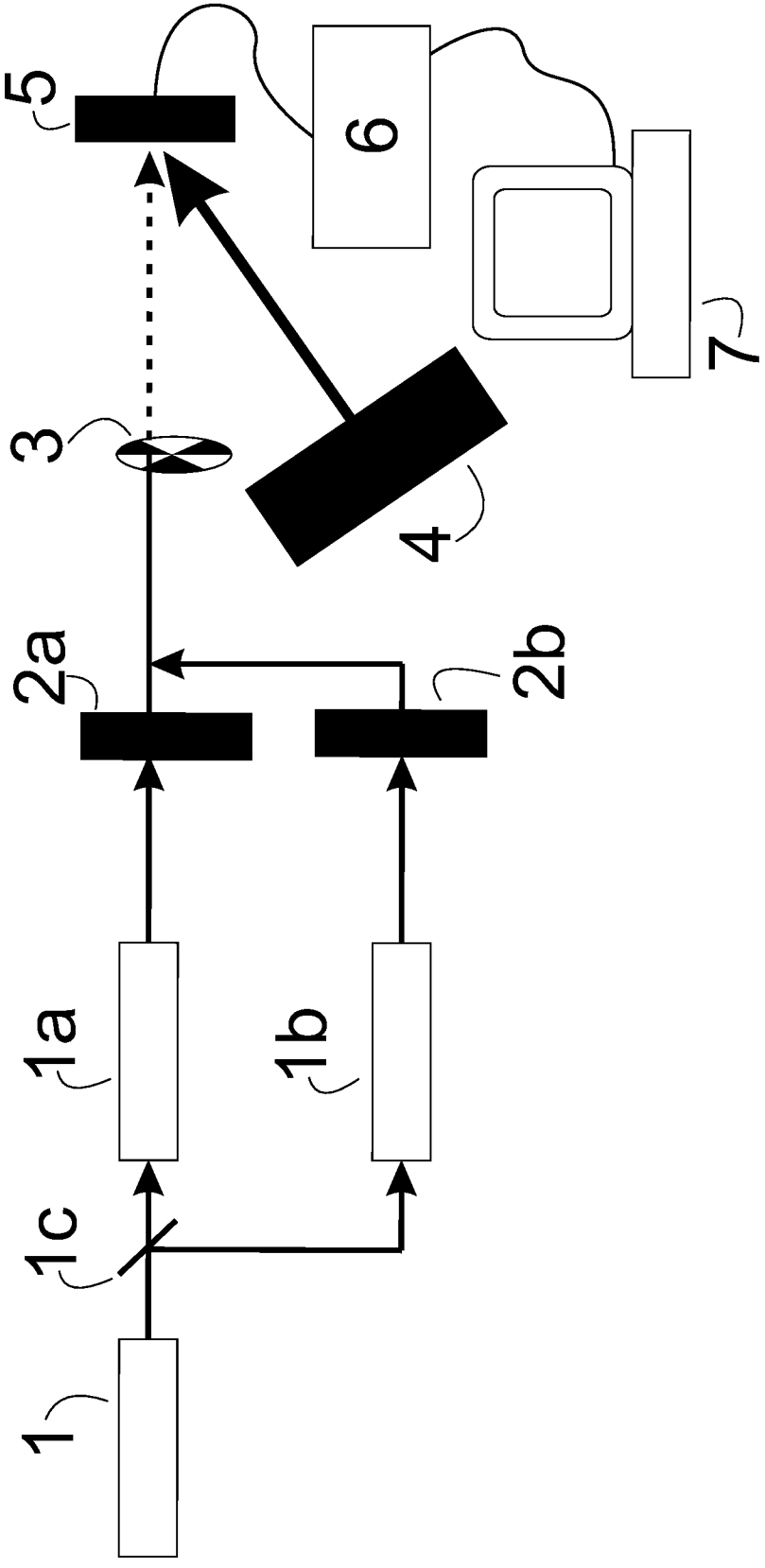
Figur 1a



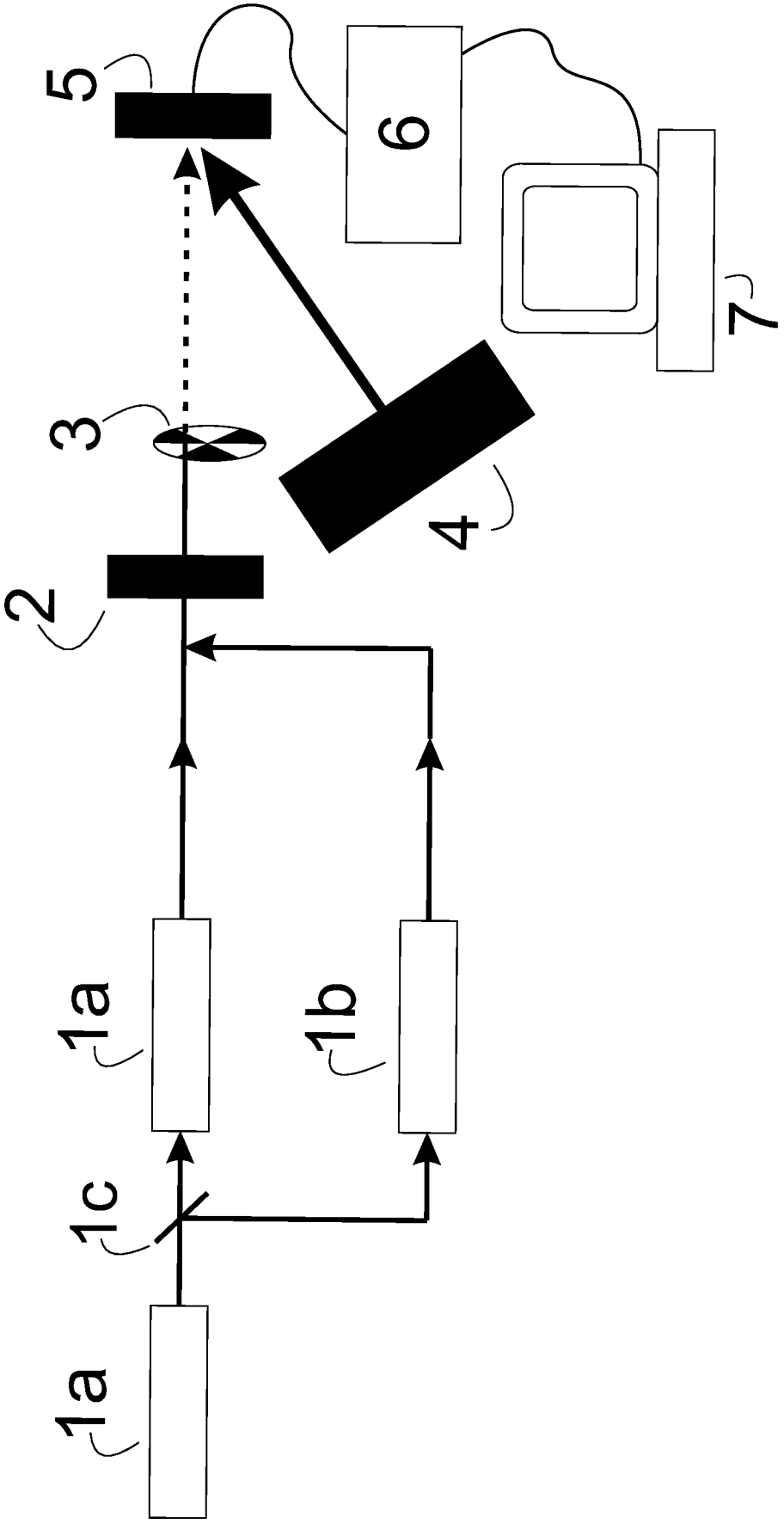
Figur 1b



Figur 2



Figur 3



Figur 4

