

(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
14. Januar 2016 (14.01.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/005262 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01J 3/02 (2006.01) G01J 3/18 (2006.01)
G01J 3/12 (2006.01) G01J 3/433 (2006.01)
G01J 3/14 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/065094

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. Juli 2015 (02.07.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 213 575.3 11. Juli 2014 (11.07.2014) DE

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E. V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: KARCHER, Christian; Am Heimethues, 79211
Denzlingen (DE). SCHACHTNER, Michael;
Katherinenstraße 15, 79104 Freiburg (DE). MISSBACH,
Thomas; Berner Straße 23, 79108 Freiburg (DE).

(74) Anwälte: DICKER, Jochen et al.; c/o Lemcke, Brommer
& Partner Patentanwälte Partnerschaft mbB,
Bismarckstraße 16, 76133 Karlsruhe (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
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.

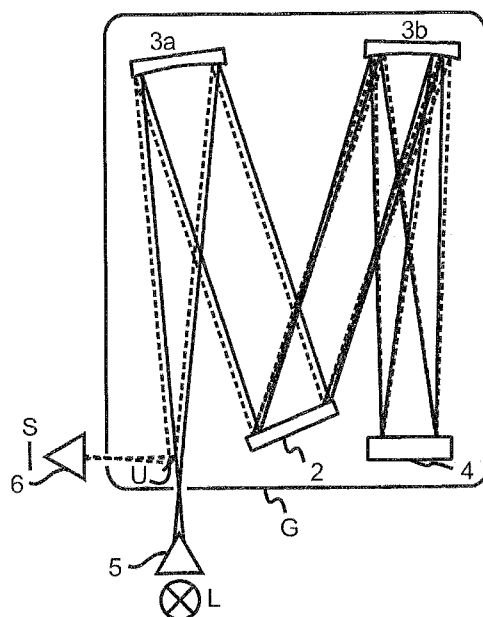
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR A SPECTRALLY RESOLVED MEASUREMENT OF AN OBJECT

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN FÜR EINE SPEKTRAL AUFGELÖSTE VERMESSUNG EINES
OBJEKTS

Figur 1



(57) Abstract: The invention relates to a device for a spectrally resolved measurement of an object, comprising a light source for generating a broadband output beam, an optical dispersion unit for spectrally dispersing the output beam into at least one first and second spectral sub-beam, a light modulator unit for modulating the first and second spectral sub-beam, an optical combining unit for combining the modulated spectral sub-beams into a measuring beam, and a measurement unit for receiving measurement signals of the object impinged upon by the measurement beam. The invention is characterized in that the light modulator unit is designed to modulate the first spectral sub-beam using a first modulation mode and the second spectral sub-beam using a second modulation mode, said first and second modulation mode being different, and the measurement unit is designed to separate first measurement signals which have been modulated using the first modulation mode and second measurement signals which have been modulated using the second modulation mode.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für eine spektral aufgelöste Vermessung eines Objekts, mit einer Lichtquelle zum Erzeugen eines breitbandigen Ausgangsstrahls, einer optischen Zerlegeeinheit zum spektralen Zerlegen des Ausgangsstrahls in mindestens einen ersten und einen zweiten Spektralteilstrahl, einer Lichtmodulatoreinheit

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/005262 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **Veröffentlicht:**

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
TG).

zur Modulation des ersten und zweiten Spektralteilstrahls und einer optischen Zusammenführeinheit zum Zusammenführen der modulierten Spektralteilstrahlen zu einem Messstrahl, sowie mit einer Messeinheit zum Aufnehmen von Messsignalen des mit dem Messstrahl beaufschlagten Objekts. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtmodulatoreinheit ausgebildet ist, den ersten Spektralteilstrahl mit einer ersten Modulationsart und den zweiten Spektralteilstrahl mit einer zweiten Modulationsart zu modulieren, wobei erste und zweite Modulationsart unterschiedlich sind und dass die Messeinheit ausgebildet ist, erste Messsignale, welche mit der ersten Modulationsart moduliert sind und zweite Messsignale, welche mit der zweiten Modulationsart moduliert sind zu separieren.

Vorrichtung und Verfahren für eine spektral
aufgelöste Vermessung eines Objekts

5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren für eine spektral aufgelöste Vermessung eines Objekts gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und
10 11.

Zur spektral aufgelösten Charakterisierung von Objekten, insbesondere von Photosensoren oder photovoltaischen Solarzellen wird typischerweise das Objekt mit Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen beaufschlagt und für jede
15 Wellenlänge separat eine Messung durchgeführt.

Typische Messverfahren sehen hierbei vor, sequentiell Strahlung mit nur einer Wellenlänge bzw. in einem engen Frequenzbereich auf das zu vermessende Objekt zu leiten und die gewünschte Messung durchzuführen. Solche Messverfahren haben den Nachteil, dass für eine Vielzahl von separaten Wellenlängen, an welchen eine Messung durchgeführt werden soll, eine erhebliche Gesamt-
20 messdauer notwendig ist. So sind bei photovoltaischen Solarzellen Messverfahren zur Bestimmung der externen Quanteneffizienz (EQE) bekannt, bei welchen die Solarzelle zeitlich aufeinanderfolgend mit unterschiedlichen Wellenlängen
25 typischerweise im Bereich von 250 nm bis 2.5 µm beaufschlagt wird. Solche Messverfahren nehmen typischerweise jedoch mindestens 20 Minuten Gesamt-
messdauer in Anspruch.

Um die Qualität des Messsignals zu erhöhen, ist es bekannt, den Messstrahl mit
30 einer Modulationsfrequenz zu modulieren und das Messsignal hinsichtlich der Modulationsfrequenz in an sich bekannter Weise zu filtern, beispielsweise mittels eines Bandpassfilters oder Fourier-Transformation. Ein solcher Aufbau ist beispielsweise in US 8,436,630 beschrieben.

35 Es ist weiterhin bekannt, die Strahlung mittels einer breitbandigen Lichtquelle, insbesondere einer Halogenlampe oder Xenonlampe, zu erzeugen und über eine

optische Zerlegeeinheit wie beispielsweise einen Gittermonochromator einen Messstrahl mit der jeweils gewünschten Wellenlänge zu erzeugen. Ebenso ist der Einsatz einer Mikrospiegeleinheit zur Beeinflussung des Spektrums des Messstrahls aus US 8,436,630 bekannt.

5

Zur Beschleunigung solcher spektral aufgelöster Messungen ist aus US 8,299,416 B2 bekannt, Licht mehrerer schmalbandiger Leuchtdioden mit unterschiedlichen Wellenlängen gleichzeitig auf das Messobjekt zu leiten, wobei jede Wellenlänge mit einer speziellen Frequenz moduliert wird, so dass aus dem

10 Gesamtmesssignal über entsprechende Bandpassfilter das Messsignal für jede Wellenlänge separiert werden kann. Hierdurch kann somit gleichzeitig, d. h. ohne sequentielle hintereinandergeschaltete Messung der verschiedenen Wellenlängen eine spektral aufgelöste Messung erfolgen, wodurch sich die Gesamtmessdauer erheblich verringert.

15

Nachteilig hierbei ist, dass die Emission der Leuchtdioden mit steigender Wellenlänge immer breitbandiger wird und somit die spektrale Auflösung mit steigender Wellenlänge sinkt. Darüber hinaus sinkt die Effizienz von Leuchtdioden insbesondere für Wellenlängen über 1000 nm ab, so dass nur ein begrenztes

20 Spektrum mit dieser Methode vermessen werden kann.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die vorbekannten Vorrichtungen und Verfahren zur spektral aufgelösten Vermessung eines Objekts zu verbessern, um über einen größeren Frequenzbereich eine spektralaufgelöste

25 Vermessung mit verringerter Gesamtmessdauer zu ermöglichen.

Gelöst ist diese Aufgabe durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 sowie ein Verfahren gemäß Anspruch 11. Bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung finden sich in den Ansprüchen 2 bis 10 und des erfindungsgemäßen Verfahrens in den Ansprüchen 12 bis 16. Hiermit wird der Wort-

30 laut sämtlicher Ansprüche explizit per Referenz in die Beschreibung einbezogen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist vorzugsweise zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere einer bevorzugten Ausführungsform hiervon, ausgebildet. Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorzugsweise

35

zur Durchführung mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung, insbesondere einer bevorzugten Ausführungsform hiervon ausgebildet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung für eine spektral aufgelöste Vermessung eines Objekts weist eine Lichtquelle zum Erzeugen eines breitbandigen Ausgangsstrahls auf, sowie eine optische Zerlegeeinheit zum spektralen Zerlegen des Ausgangsstrahls in mindestens einen ersten und einen zweiten Spektralteilstrahl, eine Lichtmodulatoreinheit zur Modulation des ersten und zweiten Spektralteilstrahls und eine optische Zusammenführeinheit zum Zusammenführen der modulierten Spektralteilstrahlen zu einem Messstrahl.

Wesentlich ist, dass die Lichtmodulatoreinheit dazu ausgebildet ist, den ersten Spektralteilstrahl mit einer ersten Modulationsart und den zweiten Spektralteilstrahl mit einer zweiten Modulationsart zu modulieren, wobei erste und zweite Modulationsart unterschiedlich sind. Die Messeinheit ist entsprechend ausgebildet, erste Messsignale, welche mit der ersten Modulationsart moduliert sind und zweite Messsignale, welche mit der zweiten Modulationsart moduliert sind, zu separieren.

Die Erfindung ist in der Erkenntnis begründet, dass die Kombination einer breitbandigen Lichtquelle mit einer Lichtmodulatoreinheit, welche dazu verwendet wird, verschiedene Spektralteilstrahlen mit unterschiedlichen Modulationsarten zu modulieren, erhebliche Vorteile gegenüber vorbekannten Vorrichtungen zur spektralaufgelösten Vermessung von Objekten bietet: Die Verwendung einer breitbandigen Lichtquelle ermöglicht die Vermessung über ein breites Spektrum, da insbesondere an sich bekannte Xenonlampen oder Halogenlampen eingesetzt werden können, welche ein erheblich breiteres Spektrum abdecken, verglichen mit handelsüblich erhältlichen Leuchtdioden.

Weiterhin wird durch die gleichzeitige Beaufschlagung des Objekts mit mindestens zwei unterschiedlich modulierten Teilspektren die Messzeit gegenüber vorbekannten Vorrichtungen mit Xenon- oder Halogenlampen erheblich verkürzt.

Darüber hinaus ist die erfindungsgemäße Vorrichtung gegenüber vorbekannten Vorrichtungen mit durchstimbaren Lichtquellen wie beispielsweise durchstimbaren Lasern erheblich kostengünstiger herstellbar.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur spektral aufgelösten Vermessung eines Objekts umfasst folgende Verfahrensschritte:

- 5 In einem Verfahrensschritt A erfolgt ein Erzeugen eines breitbandigen Ausgangsstrahls und ein spektrales Zerlegen des Ausgangsstrahls in mindestens einen ersten und einen zweiten Spektralteilstrahl. In einem Verfahrensschritt B erfolgt die Modulation des ersten und zweiten Spektralteilstrahls mittels einer Lichtmodulatoreinheit. In einem Verfahrensschritt C erfolgt ein Zusammenführen
10 des ersten und zweiten Spektralteilstrahls zu einem Messstrahl. In einem Verfahrensschritt D erfolgt ein Beaufschlagen des Objekts mit dem Messstrahl und in einem Verfahrensschritt E erfolgt ein Messen eines Messsignals des Objekts.

Wesentlich ist nun, dass in Verfahrensschritt B der erste Spektralteil mit einer
15 ersten Modulationsart und der zweite Spektralteil mit einer zweiten Modulationsart moduliert werden, wobei erste und zweite Modulationsart unterschiedlich sind. Weiterhin wird in Verfahrensschritt E das Messsignal bearbeitet, indem erste Messsignale, welche mit der ersten Modulationsart moduliert sind und zweite Messsignale, welche mit der zweiten Modulationsart moduliert sind, se-
20 pariert werden.

Vorzugsweise erfolgt die Modulation durch eine Frequenzmodulation, indem der erste Spektralteil mit einer ersten Modulationsfrequenz und der zweite Spektralteil mit einer zweiten Modulationsfrequenz moduliert werden, wobei erste und
25 zweite Modulationsfrequenz unterschiedlich sind. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass mehrere Spektralanteile mit Frequenzen beliebiger Phase moduliert werden können.

In einer weiteren vorzugsweisen Ausführungsform erfolgt die Modulation durch
30 eine Phasenmodulation, indem der erste Spektralteil mit einer ersten Phasenänderung und der zweite Spektralteil mit einer zweiten Phasenänderung moduliert werden, wobei erste und zweite Phasenänderung unterschiedlich sind. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass mehrere Spektralanteile mit gleicher Modulationsfrequenz über deren Phasenversatz aufgelöst werden können. Insbesondere
35 wird bevorzugt der erste Spektralteil zu einer ersten Phase und der zweite Spektralteil zu einer zweiten Phase moduliert, wobei erste und zweite Phase

unterschiedliche sind. Die Phasen unterscheiden sich hierbei hinsichtlich ihrer Phasenorientierung.

Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, sowohl die Frequenz, als auch die Phase der Spektralteile zu modulieren. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass trotz physikalischer Begrenzungen des nutzbaren Frequenzraums, wie beispielsweise der Reaktionsträgheit des zu charakterisierenden Objekts, über den Phasenraum eine weitere Modulationsdiversifizierung zu ermöglichen.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist somit die bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung bereits genannten Vorteile auf, insbesondere, da durch die Verwendung eines breitbandigen Ausgangsstrahls, welcher bevorzugt mittels einer breitbandigen Lichtquelle wie insbesondere einer Xenonlampe oder Halogenlampe erzeugt wird, ein breites Spektrum abgedeckt werden kann und eine gleichzeitige Beaufschlagung des Objekts mit dem ersten und dem zweiten Spektralanteil erfolgt.

Es ist somit auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren keine sequentielle Messung zuerst mit dem ersten Spektralanteil und anschließend mit dem zweiten Spektralanteil notwendig, da trotz der gleichzeitigen Messung aufgrund der unterschiedlichen Modulationsarten erste Messsignale, welche insbesondere durch Beaufschlagung mit dem ersten Spektralanteil begründet sind und zweite Messsignale, welche insbesondere durch Beaufschlagung mit dem zweiten Spektralanteil begründet sind, separiert werden können.

Erster und zweiter Spektralteilstrahl unterscheiden sich hinsichtlich ihrer spektralen Zusammensetzung. Die Spektralstrahlen weisen vorzugsweise nur einen geringen Wellenlängenbereich (d.h. nur eine geringe Frequenzbreite) auf, insbesondere besitzt jeder Teilstrahl bevorzugt eine spektrale Halbwertsbreite gleich der minimalen Halbwertsbreite, bevorzugt kleiner der minimalen Halbwertsbreite der zu untersuchenden spektralen Eigenschaften des Objekts. Entsprechende Halbwertsbreiten liegen vorzugsweise im Bereich 100 nm bis 0.1 nm.

Um eine möglichst umfangreiche Charakterisierung zu ermöglichen, wird der Ausgangsstrahl vorzugsweise in eine Vielzahl von Spektralteilstrahlen zerlegt,

bevorzugt mindestens zehn Spektralteilstrahlen, insbesondere mindestens 20 Spektralteilstrahlen, insbesondere bevorzugt im Bereich 20 bis 50 Spektralteilstrahlen, und entsprechend erfolgt eine Separierung der Messsignale für jeden der Spektralteilstrahlen.

5

Vorzugsweise überlappen die Spektralteilstrahlen einander hinsichtlich der Wellenlängen nicht, d. h. jede Wellenlänge ist maximal einem Spektralteilstrahl zugeordnet. Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, dass eine geringfügige Überlappung der Teilspektren der Spektralteilstrahlen vorliegt.

10

Die Zerlegeeinheit dient zum spektralen Zerlegen des Ausgangsstrahls. Sie kann beispielsweise ein optisches Prisma umfassen. Insbesondere ist es vorteilhaft, dass die Zerlegeeinheit ein optisches Gitter umfasst. Ein optisches Gitter weist den Vorteil auf, dass die Dispersion des spektral zerlegten Lichts linear ist. Aufgrund dieser Linearität wird eine einfacher mechanische Justage der Gitters gegenüber eines Prismas, bei dem die Dispersion nicht-linear erfolgt, ermöglicht. Darüber hinaus ist ein Gitter im Vergleich zu einem Prisma kostengünstiger.

15

Insbesondere ist es vorteilhaft, dass das optische Gitter und die Lichtmodulatoreinheit derart zusammenwirkend ausgebildet und angeordnet sind, dass der mittels des optischen Gitters spektral zerlegte Ausgangsstrahl auf die Lichtmodulatoreinheit trifft und die zumindest zwei modulierten Spektralteilstrahlen wieder auf dieses Gitter auftreffen. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass lediglich ein optisches Gitter verwendet werden muss.

25

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Zerlegeeinheit zumindest ein erstes und ein zweites optisches Gitter auf, welche derart mit der Lichtmodulatoreinheit zusammenwirkend ausgebildet und angeordnet sind, dass der mittels des ersten Gitters spektral zerlegte Ausgangsstrahl auf die Lichtmodulatoreinheit trifft und die zumindest zwei modulierten Spektralteilstrahlen auf das zweite Gitter auftreffen.

30

Vorzugsweise weist die Zerlegeeinheit einen Kollimator und ein dispersives Element auf, um den Ausgangsstrahl kollimiert auf das disperse Element abzubilden. Hierdurch ergibt sich ein vereinfachter geometrischer Aufbau. Insbe-

35

sondere ist es hierbei vorteilhaft, dass der Kollimator einen konkaven Spiegel, bevorzugt einen Parabolspiegel umfasst. Solche Spiegel können kostengünstig handelsüblich erworben werden.

- 5 Wie bereits zuvor ausgeführt, sind Zerlegeeinheit und Lichtmodulatoreinheit bevorzugt derart zusammenwirkend ausgebildet, dass mindestens zehn, bevorzugt mindestens 20, weiter bevorzugt mindestens 80, insbesondere mindestens 100 Spektralteilstrahlen mit unterschiedlichen Modulationsarten modulierbar sind. Auf diese Weise kann gleichzeitig eine spektral hochaufgelöste Messung vorgenommen werden. Insbesondere ist es hierbei vorteilhaft, dass die Modulationsarten paarweise verschieden sind.

Bei Modulierung mittels einer Modulationsfrequenz kann das Separieren der Messsignale abhängig von der jeweiligen Modulationsfrequenz in an sich
15 bekannter Weise erfolgen:

So liegt es im Rahmen der Erfindung, dass die Messeinheit zumindest einen ersten Bandpassfilter für die erste Modulationsfrequenz umfasst. Vorteilhafterweise weist die Messeinheit zusätzlich einen zweiten Bandpassfilter für die
20 zweite Modulationsfrequenz auf, so dass das Separieren der Messsignale mittels der Bandpassfilter erfolgt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt das Separieren der Messsignale mittels einer Fouriertransformation, insbesondere bevorzugt mittels
25 einer Fast-Fouriertransformation (FFT). Die Messeinheit ist daher vorzugsweise zur Durchführung einer Fouriertransformation, insbesondere FFT, der Messsignale ausgebildet.

Bei Modulierung mittels einer Phasenmodulation kann das Separieren der
30 Messsignale abhängig von der jeweiligen Modulationsfrequenz in an sich bekannter Weise erfolgen: Es werden bevorzugt an sich bekannte Phasenfilter vorgesehen, so dass separat einerseits nur Anteile des Messstrahls mit der ersten Phase und andererseits nur Anteile des Messstrahls mit der zweiten Phase ausgewertet werden.

35

Die erfindungsgemäße Vorrichtung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist zur spektral aufgelösten Vermessung eines Objekts geeignet, insbesondere von photoelektrischen Objekten wie beispielsweise Lichtsensoren. Insbesondere sind die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren zur spektral aufgelösten Vermessung einer photovoltaischen Solarzelle geeignet, insbesondere zur Bestimmung der externen und/oder internen Quanteneffizienz einer photovoltaischen Solarzelle.

Der grundsätzliche Aufbau einer Vorrichtung zur Bestimmung der Quanteneffizienz und zur Durchführung eines entsprechenden Messverfahrens ist an sich bekannt, insbesondere aus M.A. Green, "Solar Cells - Operating Principles, Technology and System Applications", Prentice-Hall, Inc, (spectral response: pp 98 - 100, Bernhard Fischer, „Loss Analysis of crystalline Silicon solar cells using photoconductance and quantum efficiency measurements“, Dissertation, Universität Konstanz, 2003, S. 39-46 und Carsten Hampe, "Untersuchung influenzierter und diffundierter pn-Übergänge von Terrestrik- und Thermophotovoltaik-Siliciumsolarzellen", VDI-Verlag, VDI Reihe 9 Nr. 352 (2002), pp. 56 – 60. Vorzugsweise sind das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung analog zu den in einer oder mehrere der hier zitierten Quellen ausgebildet, wobei die Lichtmodulatoreinheit wie zuvor beschrieben ausgebildet ist, bzw. die Lichtmodulation wie zuvor beschrieben erfolgt.

Aufgrund der hohen Messgeschwindigkeit sind die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere zur Verwendung innerhalb einer Prozesslinie bei der Herstellung der Solarzelle zur routinemäßigen Charakterisierung geeignet.

Die Lichtmodulatoreinheit kann unterschiedlich ausgebildet sein. Insbesondere kann die Lichtmodulatoreinheit reflektierend, beispielsweise als Mikrospiegelereinheit wie zuvor beschrieben oder als Durchlichtereinheit ausgebildet sein. Es sind im Handel eine Vielzahl von optischen Displays erhältlich, welche ähnlich wie ein Bildschirm angesteuert werden können, so dass einzelne „Pixel“, d. h. in etwa rechteckige Teilbereiche des Displays wahlweise optisch transparent oder optisch intransparent geschaltet werden können. Mit solchen Durchlichtereinheiten kann somit mit bereits käuflich erwerbbaaren Elementen wie den vorgenannten Durchlicht-Displays eine Lichtmodulatoreinheit in einfacher Weise realisiert wer-

den. Vorzugsweise werden hierbei die Spektralteilstrahlen jeweils auf eine Spalte von Pixeln abgebildet, so dass durch entsprechendes Ansteuern der Pixel dieser Spalte eine Modulation dieses Spektralteilstrahls in einfacher Weise möglich ist. Bei Verwendung von Mikrospiegeleinheit können die Reflektionswinkel der Mikrospiegel derart verändert werden, dass dies einem Ein- bzw. Ausschalten eines Spektralteilstrahls oder eines Teilbereichs eines Spektralteilstrahls gleichkommt, da nur in einer definierten Stellung des Mikrospiegels typischerweise der reflektierte Spektralteilstrahl entsprechend in den optischen Strahlengang des Messstrahls überführt wird, wobei in anderen Stellungen des zugeordneten Mikrospiegels der Spektralteilstrahl an eine andere Stelle der Vorrichtung, welche als Strahlfänger fungiert, reflektiert wird.

Besonders vorteilhaft ist es, die Intensität der Spektralteilstrahlen in etwa sinusförmig mit einer Modulationsfrequenz zu modulieren, wobei unterschiedliche Spektralteilstrahlen mit unterschiedlichen in etwa sinusförmigen Modulationsfrequenzen moduliert werden. Hierdurch ist eine genauere Auswertung möglich, da harmonische Komponenten der jeweiligen intensitätsmodulierten Spektralteilstrahlen reduziert werden.

Insbesondere die Verwendung von Mikrospiegeleinheiten oder Durchlichteinheiten wie zuvor beschrieben eignet sich vorteilhaft zur in etwa sinusförmigen Intensitätsmodulation:

Jeder Spektralteilstrahl wird hierbei bevorzugt mit in etwa homogener Intensität auf jeweils eine Spalte der Durchlichteinheit bzw. der Mikrospiegeleinheit abgebildet. Nun kann innerhalb einer Spalte ein Teil der Elemente derart geschaltet werden, dass dieser Teilbereich des Spektralteilstrahls in den Strahlengang, welcher zu dem Messstrahl führt, abgebildet wird und der jeweils verbleibende Teilbereich nicht in den Messstrahl abgebildet wird. Durch Variation dieser Teilbereiche kann somit die Intensität dieses Spektralteilstrahls in einfacher Weise variiert werden, insbesondere in einfacher Weise in etwa sinusförmig mit einer vorgegebenen Modulationsfrequenz variiert werden. Weiterhin ist es hierdurch in einfacher Weise möglich, die unterschiedlichen Spektralteilstrahlen (d. h. die unterschiedlichen Spalten der Mikrospiegeleinheit bzw. der Durchlichteinheit) jeweils mit unterschiedlichen Frequenzen zu modulieren, so dass im Ergebnis die Intensität jedes Spektralteilstrahls mit einer unterschiedlichen Frequenz mo-

duliert ist und entsprechend im Messergebnis ein einfache Separation beispielsweise durch Fourieranalyse hinsichtlich des Einflusses der unterschiedlicher Spektralteilstrahlen erfolgen kann.

5 Untersuchungen des Anmelders haben weiterhin ergeben, dass insbesondere bei Modulation der Spektralteilstrahlen mit unterschiedlichen Frequenzen, beispielsweise Modulation der Intensitäten jedes Spektralteilstrahls mit jeweils einer spezifischen Intensitäts-Modulationsfrequenz, es durch Superposition mehrerer Signale unterschiedlicher Frequenzen, insbesondere bei einem geringen
10 Frequenzunterschied, zu Interferenzerscheinungen kommen kann. Hierdurch kann sich ein unerwünschter Effekt ergeben, der zu einem hohen Scheitelfaktor („crest-factor“) führt. In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird daher ein solch erhöhter Scheitelfaktor vermieden bzw. reduziert, indem die Phasenlagen der einzelnen Modulationskomponenten abhängig von zu erwartenden Amplitudenspektrum variiert werden. Die hier zugrunde liegenden Methoden sind auf einem anderen technischen Gebiet bereits bekannt: In der Nachrichtentechnik wurde das Problem hoher Scheitelfaktoren aufgrund von Signalen unterschiedlicher Frequenz mit geringem Frequenzunterschied und entsprechenden Interferenzerscheinungen bereits analysiert und es
15 wurden mehrere Methoden zur Beeinflussung der Phasenlage der einzelnen Modulationskomponenten (vorliegend die Phasenlage der Modulationsfrequenzen zueinander) vorgeschlagen, welche zu einer Reduktion eines solchen Scheitelfaktors führen. Vorzugsweise werden daher eine oder mehrere aus der Nachrichtentechnik bekannte Methoden zur Beeinflussung der Phasenlagen der Modulationskomponenten bei dem vorliegenden Verfahren angewandt, um den
20 Scheitelfaktor zu reduzieren bzw. eine Erhöhung des Scheitelfaktors zu vermeiden. Solche Verfahren sind beispielsweise in (H. Nikookar, K. S. Lidsheim, “PAPR reduction of OFDM by random phase updating”, 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 2, pp. 814-818, 2002) beschrieben. In der vorliegenden Erfindung wird dieses Verfahren in einer bevorzugten, vereinfachten Form angewandt, wobei die Phasenlage der einzelnen Modulationskomponenten mit einer Wichtungsfunktion, bevorzugt einer Sinusfunktion, frequenzabhängig (d.h. abhängig von der Modulationsfrequenz) gewichtet wird. Da die Information über die Phasenlage jeder Modulationskomponente durch die gewählte Ansteuerung der Lichtmodulatoreinheit
25 gegeben wird und somit bekannt ist, ist es weiterhin möglich die Phase jeder
30
35

Modulationskomponente zur Codierung zu heranzuziehen, d.h. den Einfluss jedes einzelnen Spektralteilstrahls auf das Messergebnis basierend auf der Phasenlage zu separieren.

- 5 Weitere bevorzugte Ausführungsformen und bevorzugte Merkmale werden im Folgenden anhand der Figuren und Ausführungsbeispielen beschrieben. Dabei zeigt:

10 Figur 1: ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welchem die Zerlegeeinheit ein optisches Gitter umfasst,

Figur 2: ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welchem die Zerlegeeinheit zwei optische Gitter umfasst,

15 Figur 3: ein drittes Ausführungsbeispiel, bei welchem die Lichtmodulatoreinheit als Durchlichteinheit 4a ausgebildet ist und

Figur 4: in den Teilbildern 4a und 4b beispielhafte Darstellungen zur sinusartigen Intensitätsmodulierung eines Spektralteilstrahls mittels der
20 Durchlichteinheit 4a gemäß Figur 3.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung gemäß Figur 1 dient zur spektral aufgelösten Vermessung, insbesondere Bestimmung der externen Quanteneffizienz einer photovoltaischen Solarzelle S. Die Vorrichtung weist eine als Xenonlampe ausgebildete Lichtquelle L auf. Der von der Lichtquelle L erzeugte Ausgangsstrahl 5
25 wird in ein Gehäuse G eingekoppelt, in welchem Gehäuse G eine optische Zerlegeeinheit und eine optische Lichtmodulatoreinheit angeordnet sind.

Die optische Zerlegeeinheit dient zum spektralen Zerlegen des Ausgangsstrahls 5 und weist konkave Parabolspiegel 3 sowie ein optisches Gitter 2 auf. Der Ausgangsstrahl 5 trifft zunächst auf einen ersten Parabolspiegel 3, welcher als Kollimator dient, so dass der Ausgangsstrahl im Wesentlichen parallelisiert auf das optische Gitter 2 auftrifft. Das optische Gitter 2 ist derart ausgebildet, dass eine spektrale Zerlegung des Ausgangsstrahls erfolgt. Über einen zweiten Parabolspiegel wird der spektral zerlegte Ausgangsstrahl auf eine als Mikrospiegeleinheit 4 ausgebildete Lichtmodulatoreinheit abgebildet.
30
35

Mittels der Mikrospiegeleinheit 4 erfolgt eine Modulation mit einer Modulationsfrequenz und Modulationsphase, wobei unterschiedliche Mikrospiegel jeweils mit einer unterschiedlichen Frequenz moduliert werden, so dass Strahlteiler, welcher an unterschiedlichen Orten auf die Mikrospiegeleinheit 4 auftreffen entsprechend mit unterschiedlichen Modulationsfrequenzen moduliert werden. Hierdurch werden in einfacher Weise die mittels des optischen Gitters 2 erzeugten Spektralteilstrahlen jeweils eine unterschiedliche Modulationsart zugeordnet.

Die an der Mikrospiegeleinheit 4 reflektierten und modulierten Spektralteilstrahlen werden wieder über den zweiten Parabolspiegel 3 auf das optische Gitter 2 abgebildet und hierdurch zu einem Strahl zusammengefasst, welcher wiederrum über den ersten Parabolspiegel 3 und einen Umlenkspiegel U, welcher als planarer Spiegel ausgebildet ist zu einem Messstrahlausgang geleitet, so dass der Messstrahl 6 auf die Solarzelle S trifft.

Das zweite Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 weist einen grundsätzlich zu dem ersten Ausführungsbeispiel vergleichbaren Aufbau auf. Im Folgenden soll zur Vermeidung von Wiederholungen daher nur auf die wesentlichen Unterschiede eingegangen werden. Gleiche Bezugszeichen in Figur 1 und Figur 2 bezeichnen gleiche oder gleichwirkende Elemente.

Im Gegensatz zu dem ersten Ausführungsbeispiel weist das in Figur 2 dargestellte zweite Ausführungsbeispiel zwei optische Gitter 2A und 2B auf. Der mittels der Lichtquelle L erzeugte Ausgangsstrahl 5 wird über einen ersten Parabolspiegel 3A auf das erste optische Gitter 2A kollimiert und dort wie zuvor beschrieben spektral zerlegt sowie über einen zweiten Parabolspiegel 3B auf die als Mikrospiegeleinheit 4 ausgebildete Lichtmodulatoreinheit abgebildet. Mittels der Mikrospiegeleinheit 4 erfolgt wie zuvor beschrieben eine Modulation der Spektralteilstrahlen mit unterschiedlichen Modulationsfrequenzen. Die an der Mikrospiegeleinheit 4 reflektierten und frequenzmodulierten Spektralteilstrahlen werden jedoch über einen weiteren Parabolspiegel 3C auf ein zweites optisches Gitter 2B abgebildet, mittels diesen zu einem Strahl zusammengeführt und über einen vierten Parabolspiegel 3D auf einen Umlenkspiegel U abgelenkt um schließlich als Messstrahl 6 auf die zu vermessende Solarzelle S aufzutreffen.

Der wesentliche Unterschied bei der Verwendung von einem optischen Gitter gemäß erstem Ausführungsbeispiel oder zwei optischen Gittern gemäß zweitem Ausführungsbeispiel liegt darin, dass bei der Ausführung mit einem Gitter der Kostenfaktor zur Ein- und Auskopplung sowie der spektralen Zerlegung des Messstrahls um die Hälfte reduziert wird. Dagegen wird bei der Ausführung mittels zweier optischer Gitter eine einfachere und unabhängige Justage des einfallenden und austretenden Messstrahls ermöglicht.

In Figur zwei ist weiterhin ersichtlich, dass mittels des ersten optische Gitters 2A der Eingangsstrahl 5 in mehrere Spektralteilstrahlen (zur einfacheren Darstellbarkeit sind lediglich zwei dargestellt) aufgeteilt wird, welche unterschiedliche Flächenbereiche des zweiten Parabolspiegels 3B abdecken: Ein erster Spektralteilstrahl deckt den Flächenbereich F1 und einer zweiter Spektralteilstrahl den Flächenbereich F2 ab. Hierdurch wird der erste Spektralteilstrahl auf einen Punkt P1 und somit einen ersten Mikrospiegel auf der Mikrospiegeleinheit 4 und der zweite Spektralteilstrahl auf einen Punkt P2 und somit einen zweiten Mikrospiegel auf der Mikrospiegeleinheit 4 abgebildet. In umgekehrter Reihenfolge erfolgt dies ausgehend von der Mikrospiegeleinheit 4, über den Parabolspiegel 3C und das optische Gitter das optische Gitter 2, so dass die (nun unterschiedlich modulierten) Spektralteilstrahlen wieder zu einem optischen Strahl zusammengeführt werden.

In Figur 1 erfolgt die räumliche Aufteilung analog.

In den Figuren 1 und 2 sind zur einfacheren Darstellbarkeit lediglich zwei Spektralteilstrahlen dargestellt. Typische Ausführungsbeispiele weisen jedoch eine Vielzahl, beispielsweise 100 Spektralteilstrahlen auf, die entsprechend auf 100 verschiedene Mikrospiegel abgebildet und mit 100 paarweise verschiedenen Modulationsfrequenzen moduliert werden. Bei den in den Figuren 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispielen beträgt die Halbwertsbreite eines jeden Spektralteilstrahls 1 nm. Die Spektralteilstrahlen weisen hierbei paarweise verschiedene Maxima auf, wobei die Maxima einen Frequenzbereich von 200 Hz bis 2 kHz in etwa äquidistant abdecken.

Figur 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, welches in vielen Aspekten dem Ausführungsbeispiel in Figur 2 entspricht. Zur Vermeidung von Wiederholungen

sollen nachfolgend daher lediglich auf die wesentlichen Unterschiede eingegangen werden:

Die Lichtmodulatoreinheit des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 3 ist als

5 Durchlichteinheit 4a ausgebildet, vorliegend als Matrixdisplay mit einer Vielzahl von rechteckigen Anzeigeelementen, welche in einer Matrix, d. h. in Zeilen und Spalten wie bei an sich bekannten Bildschirmen angeordnet sind. Jedes einzelne Rechteck (ein „Pixel“ der Durchlichteinheit) kann mittels einer Steuereinheit wahlweise transparent oder nicht transparent geschaltet werden. Hierdurch
10 ergibt sich somit ein zu Figur 2 abweichender Strahlengang, da die Strahlen an der Lichtmodulatoreinheit nicht reflektiert werden, sondern diese wahlweise durchdringen. Abgesehen von diesem Unterschied im optischen Strahlenverlauf ist der grundsätzliche Aufbau der Vorrichtung gemäß Figur 2 und Figur 3 jedoch gleich.

15

Alternativ kann die Lichtmodulatoreinheit auch als ein reiner Zeilenmodulator (insbesondere als eine lineare Anordnung von Modulationselementen) ausgebildet sein. Möglich sind hier z.B. auch steuerbare Beugungsgitter (z.B. ein Grating Light Valve – GLV® der Silicon Light Machines; „GLV“ ist als Marke geschützt, unter anderem als Gemeinschaftsmarke 001931138 der Silicon Light
20 Machines).

Die Solarzelle S gemäß Figur 3 ist elektrisch leitend mit einer an sich bekannten Auswerteeinheit verbunden, welche somit insbesondere Strom- und Span-
25 nungsmesswerte aufnimmt und diese abhängig von dem gewählten Modulationsarten separiert. Eine vergleichsweise Vorrichtung wird ebenfalls bei den in Figur 1 und Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispielen verwendet.

Die Durchlichteinheit 4a in Figur 3 wird in einem weiteren Ausführungsbeispiel
30 des erfindungsgemäßen Verfahrens dazu verwendet, bei den einzelnen Spektralteilstrahlen jeweils eine in etwa sinusförmige Modulation der Intensität vorzunehmen. Dies wird nachfolgend anhand der Teilfiguren 4a und 4b der Figur 4 näher erläutert:

35 Figur 4a zeigt schematisch eine Draufsicht auf die Durchlichteinheit 4a der Figur 3. Schematisch sind hier Rechtecke, welche matrixartig in Zeilen und Spalten

angeordnet sind, dargestellt. Ein weißes Rechteck bedeutet hierbei ein optisch transparentes Rechteck, wohingegen ein schwarzes Rechteck beispielhaft ein nicht transparentes Rechteck darstellt. Wie bereits zuvor ausgeführt sind typische Ausführungsbeispiele mit einer Vielzahl von Spektralteilstrahlen, beispielsweise 100 Spektralteilstrahlen realisiert. Entsprechend würde auch die Draufsicht auf die Durchlichteinheit 4a eine Vielzahl von Spalten, beispielsweise 100 Spalten aufweisen. Weiterhin ist es vorteilhaft, dass die Durchlichteinheit zur fein differenzierten Intensitätsmodulation eine Vielzahl von Zeilen, beispielsweise 100 Zeilen aufweist. In den Teilbildern der Figur 4 ist zur besseren Darstellbarkeit lediglich eine geringere Anzahl von Zeilen und Spalten dargestellt.

Die Durchlichteinheit 4a ist derart angeordnet, dass in etwa auf jede Spalte jeweils ein Spektralteilstrahl abgebildet wird. Wird somit beispielsweise die vierte Spalte (siehe schwarzer Pfeil in Figur 4a) komplett intransparent (schwarz) geschaltet, so würde dieser Spektralteilstrahl in diesem Stadium nicht im Messstrahl 6 enthalten sein. Die Abbildung der Spektralteilstrahlen auf eine Spalte erfolgt hinsichtlich der Intensität in etwa homogen. Wird somit lediglich ein Teil der Elemente einer Spalte intransparent geschaltet, so wird entsprechend die Intensität dieses Spektralteilstrahls verringert.

Beispielhaft ist in Figur 4a in der vierten Spalte ein Zustand dargestellt, bei welchem vier Pixel (jeweils zwei äußere Pixel) transparent und fünf innenliegende Pixel nicht transparent geschaltet sind. Der zugehörige Spektralteilstrahl wird somit lediglich mit einer Intensität von etwa $4/9$ bezogen auf die ursprüngliche Intensität im Messstrahl 6 enthalten sein.

In Figur 4b ist dargestellt, wie eine angenähert sinusförmige Modulation erreicht werden kann. Hierzu ist jeweils die vierte Spalte der Durchlichteinheit 4a dargestellt, jedoch nebeneinanderliegend zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Bei dieser bevorzugten Ausführungsform wird somit sukzessive jeweils mittig eine ansteigende Anzahl von Pixeln nicht transparent geschaltet, wobei die verbleibenden äußeren Pixel jeweils transparent geschaltet sind. Bei Erreichen der vollkommen intransparent geschalteten Spalte wird nun wieder abnehmend jeweils an den Rändern ein Pixel transparent geschaltet, bis schließlich nur noch ein mittiges Pixel intransparent geschaltet ist. Dieser Ablauf wird zyklisch wiederholt

und derart zeitlich gesteuert, dass in etwa (d. h. stufenartig angenähert) eine sinusförmige Modulation der Intensität dieses Spektralteilstrahls erfolgt.

- Eine vergleichsweise sinusförmige Modulation erfolgt in allen Spalten der
- 5 Durchlichteinheit 4a, jedoch mit unterschiedlichen Frequenzen. Im Ergebnis enthält der Messstrahl 6 die ursprüngliche spektrale Zusammensetzung, wobei jedoch die Spektralteilstrahlen hinsichtlich ihrer Intensität mit unterschiedlichen Frequenzen moduliert sind, so dass das Messsignal der Solarzelle S beispielsweise über eine Fouriertransformation oder vergleichbare Verfahren hinsichtlich
- 10 dieser Modulationsfrequenzen separiert werden kann, so dass spektral aufgelöste Messdaten zu jedem der Spektralteilstrahlen separiert und ausgewertet werden können.

Ansprüche

1. Vorrichtung für eine spektral aufgelöste Vermessung eines Objekts,
5 mit einer Lichtquelle (L) zum Erzeugen eines breitbandigen Ausgangs-
strahls, einer optischen Zerlegeeinheit zum spektralen Zerlegen des Aus-
gangsstrahls in mindestens einen ersten und einen zweiten Spektralteil-
strahl, einer Lichtmodulatoreinheit zur Modulation des ersten und zweiten
Spektralteilstrahls und einer optischen Zusammenführeinheit zum Zu-
10 sammenführen der modulierten Spektralteilstrahlen zu einem Messstrahl,
sowie mit einer Messeinheit zum Aufnehmen von Messsignalen des mit
dem Messstrahl (6) beaufschlagten Objekts,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Lichtmodulatoreinheit ausgebildet ist, den ersten Spektralteil-
15 strahl mit einer ersten Modulationsart und den zweiten Spektralteilstrahl
mit einer zweiten Modulationsart zu modulieren, wobei erste und zweite
Modulationsart unterschiedlich sind und
dass die Messeinheit ausgebildet ist, erste Messsignale, welche mit der
ersten Modulationsart moduliert sind und zweite Messsignale, welche mit
20 der zweiten Modulationsart moduliert sind zu separieren.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zerlegeeinheit ein optisches Prisma umfasst.
- 25 3. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zerlegeeinheit ein optisches Gitter (2) umfasst,
- 30 4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass optisches Gitter (2) und Lichtmodulatoreinheit derart zusammenwir-
kend ausgebildet und angeordnet sind, dass der mittels des Gitters spek-
tral zerlegte Ausgangsstrahl (5) auf die Lichtmodulatoreinheit trifft und die
35 zumindest zwei modulierten Spektralteilstrahlen wieder auf dieses Gitter

auftreffen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

5 dass die Zerlegeeinheit zumindest ein erstes und ein zweites optisches Gitter (2) aufweist, welche derart mit der Lichtmodulatoreinheit zusammenwirkend ausgebildet und angeordnet sind, dass der mittels des ersten Gitters spektral zerlegte Ausgangsstrahl (5) auf die Lichtmodulatoreinheit trifft und die zumindest zwei modulierten Spektralteilstrahlen auf das
10 zweite Gitter auftreffen.

6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

15 dass die Zerlegeeinheit einen Kollimator und ein dispersives Element aufweist, um den Ausgangsstrahl (5) kollimiert auf das disperse Element abzubilden, insbesondere, dass der Kollimator einen konkaven Spiegel, bevorzugt einen Parabolspiegel (3) umfasst.

7. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

20 dadurch gekennzeichnet,

dass die Zerlegeeinheit und Lichtmodulatoreinheit derart zusammenwirkend ausgebildet sind, dass mindestens 10, bevorzugt mindestens 20, weiter bevorzugt mindestens 30 Spektralteilstrahlen mit unterschiedlichen Modulationsarten, bevorzugt paarweise verschiedenen Modulationsarten
25 modulierbar sind.

8. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

30 dass die Modulationsart eine Frequenzmodulation ist, indem der erste Spektralteil mit einer ersten Modulationsfrequenz und der zweite Spektralteil mit einer zweiten Modulationsfrequenz moduliert werden, wobei erste und zweite Modulationsfrequenz unterschiedlich sind, insbesondere, dass die Messeinheit zumindest einen ersten Bandpassfilter für die erste Modulationsfrequenz, vorzugsweise zusätzlich einen zweiten Bandpassfilter für die zweite Modulationsfrequenz umfasst, insbesondere, dass die
35 Messeinheit einen LockIn-Verstärker umfasst und/oder dass die Messein-

heit zur Durchführung einer Fouriertransformation der Messsignale ausgebildet ist.

9. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Modulationsart eine Phasenmodulation ist, indem der erste Spektralteil mit einer ersten Phasenänderung und der zweite Spektralteil mit einer zweiten Phasenänderung moduliert werden, wobei erste und zweite Phasenänderung unterschiedlich sind, insbesondere,

dass die Messeinheit zumindest einen ersten Phasenfilter für die erste Phasenänderung, vorzugsweise zusätzlich einen zweiten Phasenfilter für die zweite Phasenänderung umfasst,

10. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Vorrichtung zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit eines optoelektronischen Elements, insbesondere einer Solarzelle (S) ausgebildet ist.

11. Verfahren spektral aufgelöste Vermessung eines Objekts, folgende Verfahrensschritte umfassend:

A Erzeugen eines breitbandigen Ausgangsstrahls und spektrales Zerlegen des Ausgangsstrahls in mindestens einen ersten und einen zweiten Spektralteilstrahl;

B Modulation des ersten und zweiten Spektralteilstrahls mittels einer Lichtmodulatoreinheit;

C Zusammenführen des ersten und zweiten Spektralteilstrahls zu einem Messstrahl;

D Beaufschlagen des Objekts mit dem Messstrahl (6) und

E Messen eines Messsignals des Objekts;

dadurch gekennzeichnet,

dass in Verfahrensschritt B der erste Spektralteil mit einer ersten Modulationsart und der zweite Spektralteil mit einer zweiten Modulationsart moduliert wird, wobei erste und zweite Modulationsart unterschiedlich sind und

dass in Verfahrensschritt E des Messsignal bearbeitet wird, indem erste Messsignale, welche mit der ersten Modulationsart moduliert sind und zweite Messsignale, welche mit der zweiten Modulationsart moduliert sind separieren werden.

5

12. Verfahren nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass in Verfahrensschritt E die ersten und zweiten Messsignale mittels mindestens eines Bandpassfilters, vorzugsweise mittels zumindest zweier Bandpassfilter separiert werden, insbesondere, dass das Separieren mittels eines LockIn-Verfahrens erfolgt.

10

13. Verfahren nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass in Verfahrensschritt E die ersten und zweiten Messsignale mittels Fouriertransformation separiert werden.

15

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13,

dadurch gekennzeichnet,

dass in Verfahrensschritt A das spektrale Zerlegen des Ausgangsstrahls mittels eines optischen Gitters erfolgt, insbesondere, dass nach Modulation gemäß Verfahrensschritt B die beiden Spektralteilstrahlen wieder auf das optische Gitter auftreffen.

20

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14,

dadurch gekennzeichnet,

dass eine spektrale Empfindlichkeit des Objekts bestimmt wird.

25

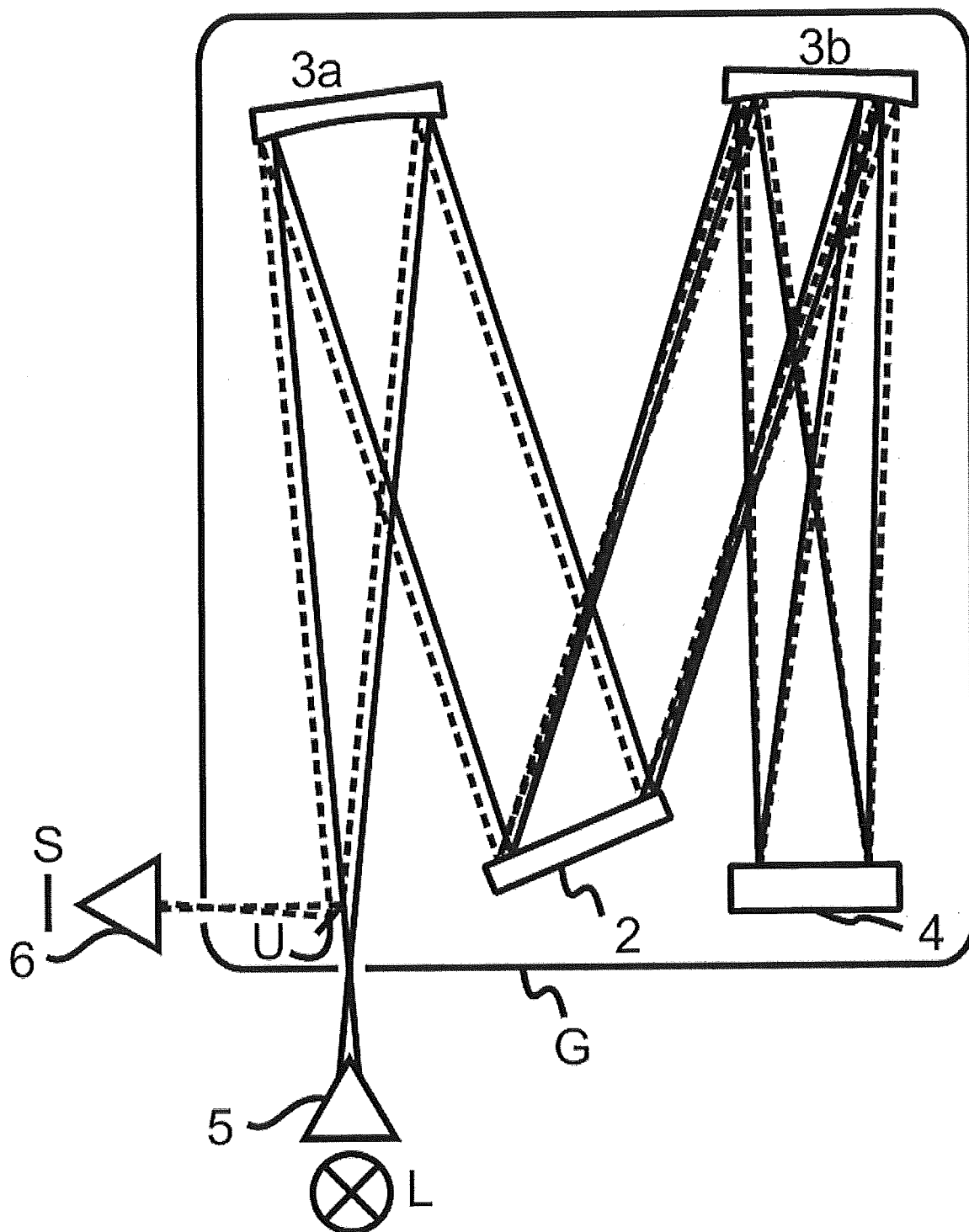
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15,

dadurch gekennzeichnet,

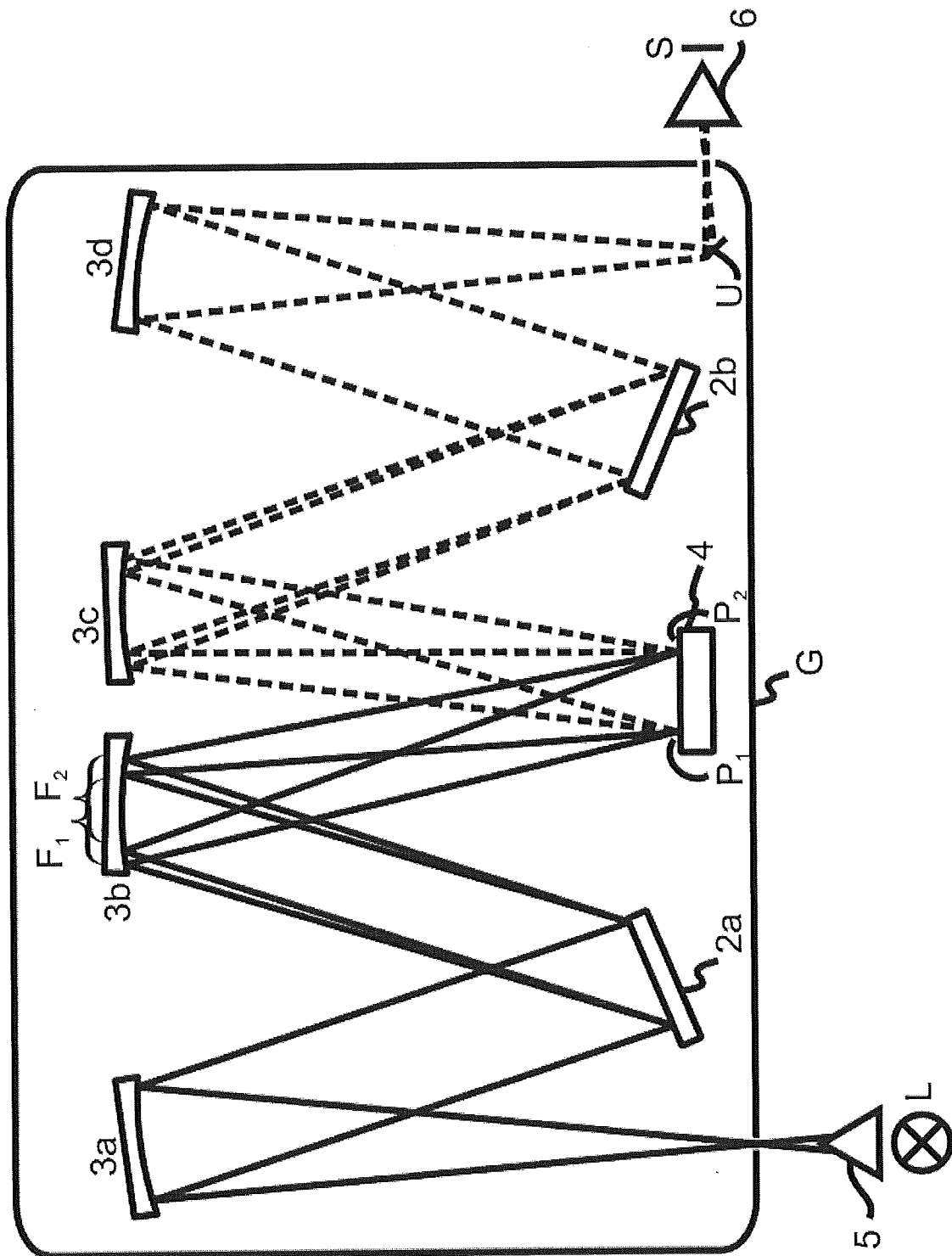
dass eine zumindest angenähert sinusförmige Modulation beider Spektralteilstrahle erfolgt, insbesondere, dass eine zumindest angenähert sinusförmige Simulation der Intensität beider Spektralteilstrahlen erfolgt.

30

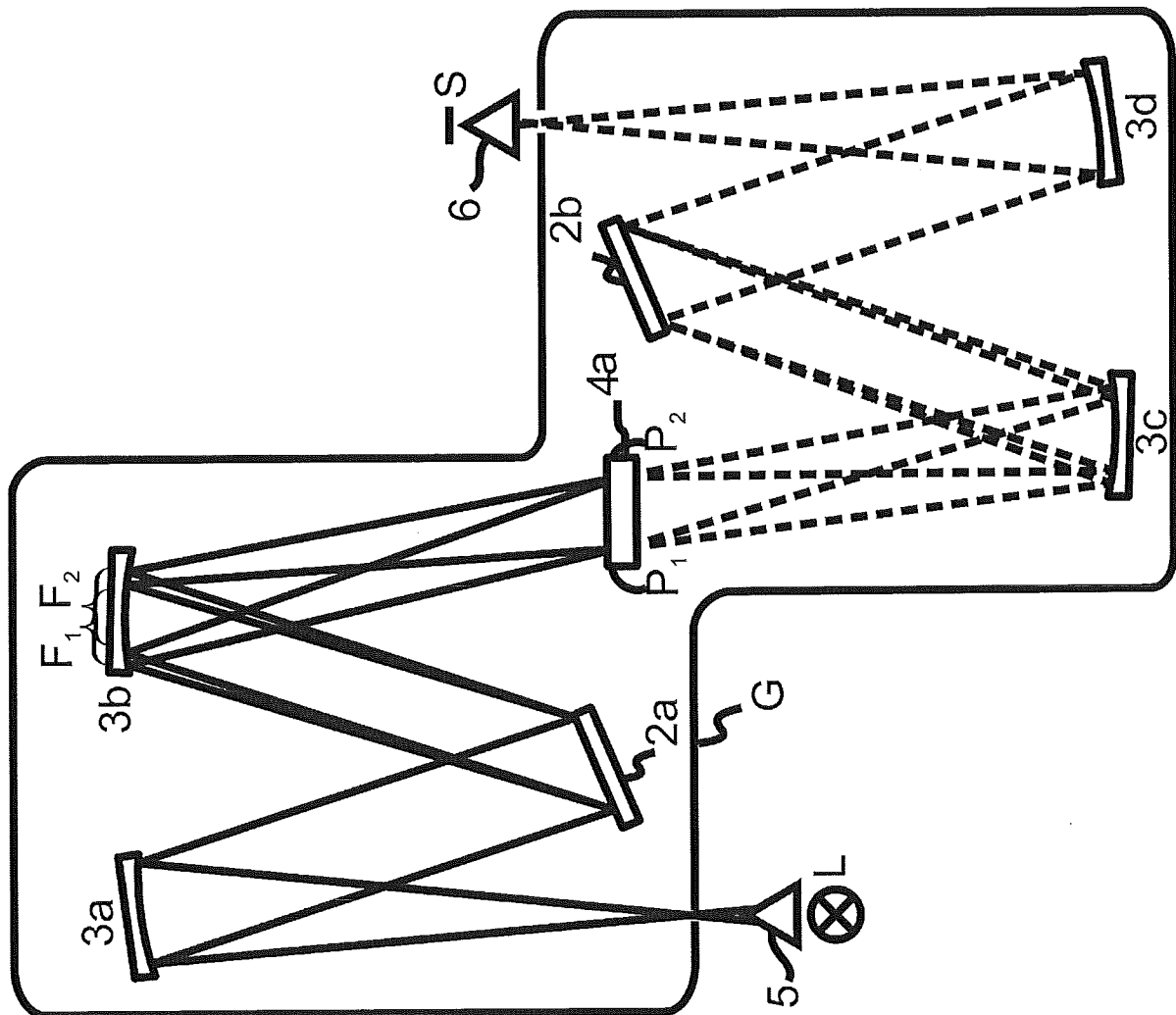
Figure 1



Figur 2

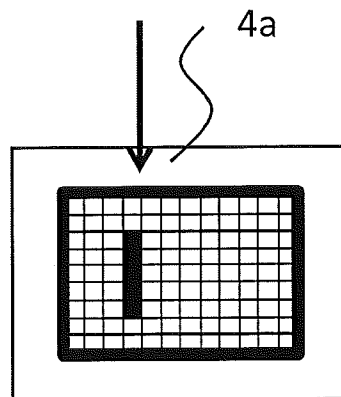


Figur 3

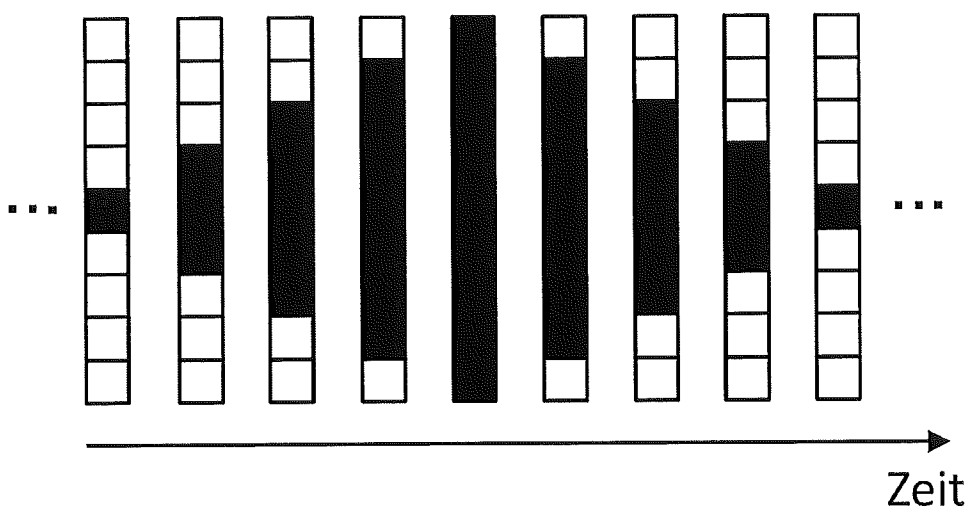


Figur 4

4a)



4b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/065094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV. G01J3/02	G01J3/12	G01J3/14 G01J3/18 G01J3/433
ADD.		
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) G01J		
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	US 6 128 078 A (FATELEY WILLIAM G [US]) 3 October 2000 (2000-10-03)	1-3,6-9, 11-13, 15,16
Y	abstract; figure 1	4,5,10, 14
X	----- EP 0 548 830 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INC [US]) 30 June 1993 (1993-06-30)	1-3,6-9, 11-13, 15,16
Y	abstract; figure 2	4,5,10, 14
Y	----- WO 02/082165 A2 (CIDRA CORP [US]) 17 October 2002 (2002-10-17) abstract; figure 1 ----- -/-	4,5,14
☒ 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 22 September 2015		Date of mailing of the international search report 30/09/2015
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 Schmidt, Charlotte

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/065094

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	WO 2015/124288 A2 (UNIVERSITÄT STUTTGART [DE]) 27 August 2015 (2015-08-27) abstract; figure 1 -----	1-3,5-9, 11-16
Y	US 2011/084717 A1 (FONG ALEXANDRE Y [US] ET AL) 14 April 2011 (2011-04-14) cited in the application abstract; figure 1 -----	10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/065094

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6128078	A	03-10-2000	AU 3231200 A 14-11-2000
		CA 2368940 A1 19-10-2000	
		EP 1218704 A1 03-07-2002	
		US 6128078 A 03-10-2000	
		US 6392748 B1 21-05-2002	
		WO 0062024 A1 19-10-2000	
EP 0548830	A1	30-06-1993	CA 2084923 A1 21-06-1993
		DE 69218150 D1 17-04-1997	
		DE 69218150 T2 19-06-1997	
		EP 0548830 A1 30-06-1993	
		JP H06207853 A 26-07-1994	
		TW 236008 B 11-12-1994	
		US 5504575 A 02-04-1996	
WO 02082165	A2	17-10-2002	CA 2443356 A1 17-10-2002
		EP 1386192 A2 04-02-2004	
		US 2002176151 A1 28-11-2002	
		WO 02082165 A2 17-10-2002	
WO 2015124288	A2	27-08-2015	DE 102014002514 A1 27-08-2015
		WO 2015124288 A2 27-08-2015	
US 2011084717	A1	14-04-2011	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01J3/02 G01J3/12 G01J3/14 G01J3/18 G01J3/433 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01J 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	US 6 128 078 A (FATELEY WILLIAM G [US]) 3. Oktober 2000 (2000-10-03)	1-3,6-9, 11-13, 15,16
Y	Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	4,5,10, 14
X	EP 0 548 830 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INC [US]) 30. Juni 1993 (1993-06-30)	1-3,6-9, 11-13, 15,16
Y	Zusammenfassung; Abbildung 2 -----	4,5,10, 14
Y	WO 02/082165 A2 (CIDRA CORP [US]) 17. Oktober 2002 (2002-10-17) Zusammenfassung; Abbildung 1 ----- -/-	4,5,14
☒ 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 22. September 2015		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 30/09/2015
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 Schmidt, Charlotte

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
E	WO 2015/124288 A2 (UNIVERSITÄT STUTTGART [DE]) 27. August 2015 (2015-08-27) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-3,5-9, 11-16
Y	US 2011/084717 A1 (FONG ALEXANDRE Y [US] ET AL) 14. April 2011 (2011-04-14) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/065094

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6128078	A	03-10-2000	AU 3231200 A 14-11-2000
			CA 2368940 A1 19-10-2000
			EP 1218704 A1 03-07-2002
			US 6128078 A 03-10-2000
			US 6392748 B1 21-05-2002
			WO 0062024 A1 19-10-2000
EP 0548830	A1	30-06-1993	CA 2084923 A1 21-06-1993
			DE 69218150 D1 17-04-1997
			DE 69218150 T2 19-06-1997
			EP 0548830 A1 30-06-1993
			JP H06207853 A 26-07-1994
			TW 236008 B 11-12-1994
			US 5504575 A 02-04-1996
WO 02082165	A2	17-10-2002	CA 2443356 A1 17-10-2002
			EP 1386192 A2 04-02-2004
			US 2002176151 A1 28-11-2002
			WO 02082165 A2 17-10-2002
WO 2015124288	A2	27-08-2015	DE 102014002514 A1 27-08-2015
			WO 2015124288 A2 27-08-2015
US 2011084717	A1	14-04-2011	KEINE