

(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. November 2013 (14.11.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/167428 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 21/95 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/058999

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. April 2013 (30.04.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 104 086.9 9. Mai 2012 (09.05.2012) DE

(71) Anmelder: ISRA VISION AG [DE/DE]; Industriestraße
14, 64297 Darmstadt (DE).

(72) Erfinder: AGBUGA, Okan; Grünauer Straße 175 B,
12557 Berlin (DE).

(74) Anwalt: KEIL & SCHAAFHAUSEN; Cronstettenstraße
66, 60322 Frankfurt am Main (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, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR ELECTROLUMINESCENCE INSPECTION AND/OR PHOTOLUMINESCENCE
INSPECTION

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ELEKTROLUMINESZENZ-INSPEKTION UND/ODER
FOTOLUMINESZENZ-INSPEKTION

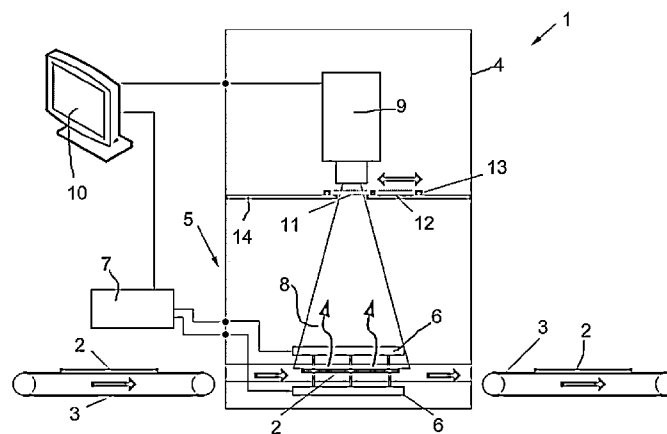


Fig. 1

(57) Abstract: A method and an apparatus for electroluminescence inspection and/or photoluminescence inspection of an object (2) capable of luminescence are described, in which the object (2) is excited to emit electromagnetic radiation (8) by applying a voltage and/or shining in light, and the electromagnetic radiation (8) is captured by an optical recording device (9) and is output in the form of an image (20, 21, 22), wherein the image (20, 21, 22) is subjected to image evaluation and possible defects of the object (2) are determined in the image evaluation. Provision is also made for the electromagnetic radiation (8) to be captured by the recording device (9) in at least two images (21, 22) in different spectral ranges.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/167428 A1



Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Elektrolumineszenz-Inspektion und/oder Fotolumineszenz-Inspektion eines Lumineszenz-fähigen Objekts (2) beschrieben, bei denen das Objekt (2) durch Anlegen einer Spannung und/oder durch Einstrahlung von Licht zur Aussendung von elektromagnetischer Strahlung (8) angeregt und die elektromagnetische Strahlung (8) durch eine optische Aufnahmeeinrichtung (9) erfasst und als Bild (20, 21, 22) ausgegeben wird, wobei das Bild (20, 21, 22) einer Bildauswertung unterzogen und mögliche Fehler des Objekts (2) in der Bildauswertung ermittelt werden. Ferner ist vorgesehen, dass das Erfassen der elektromagnetischen Strahlung (8) durch die Aufnahmeeinrichtung (9) in mindestens zwei Bildern (21, 22) in verschiedenen Spektralbereichen erfolgt.

Verfahren und Vorrichtung zur Elektrolumineszenz-Inspektion und/oder Fotolumineszenz-Inspektion

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Elektrolumineszenz-Inspektion und/oder zur Fotolumineszenz-Inspektion eines lumineszenzfähigen Objekts, bspw. einem PN-Halbleiter, insbesondere einer Solarzelle oder einem Solarmodul, bei dem das Objekt durch Anlegen einer Spannung bzw. allgemeiner durch eine elektrische Einwirkung, zu der bspw. auch die
10 Einwirkung durch ein elektrisches Feld gehört, und/oder durch Einstrahlung von Licht zur Aussendung von elektromagnetischer Strahlung, bspw. Licht im optischen oder nicht-optischen Wellenbereich, insbesondere im nahen Infrarotwellenbereich, insbesondere etwa im Wellenbereich zwischen 800 nm bis 2500 nm, angeregt und die elektromagnetische Strahlung durch eine optische Aufnahmeeinrichtung, insbesondere eine Kamera, bspw. einer Flächenkamera und/oder
15 eine Zeilenkamera, insbesondere eine digitale Kamera, erfasst und als Bild ausgegeben wird.

Erfindungsgemäß wird das Bild einer Bildauswertung, insbesondere in einer an
20 die Aufnahmeeinrichtung angeschlossenen Recheneinheit, unterzogen. Mögliche Fehler des Objekts werden in der Bildauswertung ermittelt, insbesondere durch Überprüfung des vorzugsweise digitalen, d.h. durch einzelne Pixel gebildeten, Bildes auf typische Fehlerstrukturen, die insbesondere durch eine räumliche Ausdehnung und/oder eine Intensität definiert sein können. Die Anordnung
25 zur Aufnahme des lumineszenz-angeregten Objekts ist insbesondere in einer abgedunkelten Aufnahmekammer angeordnet, da die Lumineszenz-Effekte nur eine geringe Lichtintensität aufweisen.

Das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren und die entsprechende Vorrichtung zur Lumineszenz-Inspektion lassen sich in Elektrolumineszenz-

30

und/oder Fotolumineszenz-Anwendungen sowohl bei Herstellungsverfahren, auch In-Line in einer Herstellungslinie, und/oder Offline, bspw. für die Entwicklungs- und Forschungszwecke, einsetzen. Besonders sinnvolle Einsatzgebiete sind erfindungsgemäß Halbleiter, Dünnschicht-Technologien und alle Arten von Substraten. Ein konkretes Beispiel sind Photovoltaische Strukturen, wie bspw. Solarzellen oder Solarmodule. Die Erfindung ist jedoch nicht auf dieses konkrete Beispiel beschränkt.

Die Inspektion mit Lumineszenz-Bildern verwendet den Aufbau und die Eigenschaften lumineszenz-fähiger Objekte, bspw. von Solarzellen, die auf einem PN-Halbleiterübergang basiert und das Verhalten von in der Minderheit befindlichen Ladungsträgern auf der P(positiv)- und N(negativ)-Seite des Halbleiters ausnutzt. Auf der N-Seite des lumineszenz-fähigen Objekts befinden sich die Löcher (positive Ladungsträger) in der Minderheit. Auf der P-Seite des lumineszenz-fähigen Objekts sind Elektronen die in der Minderheit befindlichen Ladungsträger. Wenn durch Anlegen einer Übergangsspannung die in der Minderheit befindlichen Ladungsträger durch das lumineszenz-fähige Objekt diffundieren, wird in dem lumineszenz-fähigen Objekt ein Strom erzeugt, der zur Aussendung von elektromagnetischer Strahlung aus dem lumineszenz-fähigen Objekt führt.

Bilder dieser Strahlung geben Aufschluss über die Qualität und/oder die Eigenschaften des lumineszenz-fähigen Objekts, das am Beispiel eines Halbleiterelements erläutert wurde, auch wenn die Erfindung nicht auf derartige Objekte beschränkt ist und bspw. auch für die Untersuchung lumineszenz-fähiger anderer Objekte, bspw. allgemeiner Gitterstrukturen, geeignet ist.

Ein besonders bevorzugter Anwendungsfall betrifft eine Lumineszenz-Inspektion von Solarzellen, bzw. allgemeiner Photovoltaik-Substraten, die als Monokristalline, Quasi-Monokristalline oder Multikristalline Si-Solarzellen und/oder Solar-

module, Dünnschichten oder konzentrierte Solarzellen (CPV - concentrating photovoltaics) ausgebildet sein können. Wenn das Photovoltaik-Substrat, nachfolgend auch Solarzelle genannt, mittels einer äußeren Anregung, bspw. das Anlegen einer Spannung, aufgrund von Diffusion der in der Minderheit befindlichen Ladungsträger zum Aussenden von elektromagnetischer Strahlung gebracht wird, kann die durch die Solarzelle ausgesandte elektromagnetische Strahlung durch optische Sensoren bzw. Aufnahmeeinrichtungen aufgenommen werden, die eine Empfindlichkeit für elektromagnetische Strahlung einer Wellenlänge über 800 nm aufweisen. Hierzu können insbesondere Flächen-, aber auch Zeilenkameras verwendet werden, die Lumineszenz-Bilder der Solarzellen erzeugen.

Die Intensitäten der Lumineszenz-Bilder, die vorzugsweise mit rauscharmen und hochsensitiven Kameras im nahen Infrarotbereich (d.h. Wellenlängen zwischen etwa 800 nm bis zu 2500 nm) aufgenommen werden, sind proportional zu der Anzahl der in der Minderheit befindlichen Ladungsträger in jedem Bereich der Solarzelle bzw. des lumineszenz-fähigen Objekts und erlaubt daher Rückschlüsse auf die Qualität des bzw. Fehler innerhalb des lumineszenz-fähigen Objekts.

Bekanntes Verfahren mit üblichen Si-CCD-Kameras sind durch eine langsame Bildaufnahme nicht für hohe Produktionsraten geeignet, da diese nur in der Lage sind, maximal etwa 1400 Solarzellen pro Stunde zu inspizieren. Dies liegt an den langen Belichtungs- und Auslesezeiten der Kameras. Eine direkte Folge dieser langen Belichtungszeiten ist ein beträchtlicher Anregungsstress für die Solarzellen, der auf die Solarzellen bei der Elektrolumineszenz-Inspektionen ausgeübt wird, da diese über eine vergleichsweise lange Zeit, typischerweise mehr als 600 ms, mit einem Anregungsstrom beaufschlagt werden müssen, um die Solarzelle zum Aussenden der elektromagnetischen Strahlung während der Belichtungsdauer anzuregen.

Außerdem lassen sich mit den herkömmlichen Aufnahmeverfahren die Arten der detektierten Fehler nicht zuverlässig unterscheiden. Hierfür ist insbesondere auch die schwache Intensität der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung verantwortlich, die keine klare Unterscheidung zwischen Versetzungen (Dislocations) des Halbleiters (Korngrenzen, Lebensdauerartefakten, etc.) und Prozessfehlerbereichen (Spalten oder Risse, Brennhärtefehlern (Firing Defects), Fingerstörungen (Finger Interruptions) usw.) erlauben. Die Versetzungen des Halbleiters sind typischerweise dunkler als die Prozessfehlerbereiche. Die Schwierigkeiten führen bei bekannten Systemen zu hohen Falscherkennungsraten von über 2 %.

Diese Schwierigkeiten führen auch dazu, dass sich erkannte Fehler nicht klassifizieren lassen, da die verschiedenen Fehlertypen nicht ausreichend sicher auseinander gehalten werden können. Die Auswertelgorithmen sind häufig auch auf ein bestimmtes Material beschränkt, d.h. bspw. auf mono-, multi- oder quasi-monokristalline Aufbauten oder Dünnschichten.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren vorzuschlagen, das vorzugsweise bei erhöhter Bearbeitungsgeschwindigkeit in der Lage ist, die einzelnen Fehlertypen zuverlässiger zu erkennen und zu unterscheiden. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst.

Bei dem Verfahren der eingangs genannten Art ist dazu vorgesehen, dass das Erfassen der elektromagnetischen Strahlung durch die Aufnahmeeinrichtung, d.h. die Aufnahme des Objekts nach oder während der Lumineszenz-Anregung, in mindestens zwei Bildern in verschiedenen Spektralbereichen, d.h. in verschiedenen aufgenommenen Wellenlängenbereichen, erfolgt. Erfindungsgemäß ist also mindestens eine (multispektrale) Zweifachaufnahme des lumineszenzangeregten Objekts mit unterschiedlichen Wellenlängen vorgesehen, so dass

bestimmten Wellenlängen zugeordnete Fehler besser und sicherer erkannt und identifiziert werden können. Dies ermöglicht auch eine sicherere Klassifizierung der Fehlerkandidaten und insbesondere ein Unterscheiden intrinsischer und extrinsischer Fehler des Objekts. Durch die Mehrfachaufnahme kann das Verfahren auch in gleicher Weise für Elektrolumineszenz-Verfahren und Fotolumineszenz-Verfahren angewendet werden, wobei ggf. die Spektralbereiche angepasst werden können.

Eine Möglichkeit zur Aufnahme des lumineszenz-angeregten Objekts bei unterschiedlichen Wellenlängen ist eine entsprechende Parametrierung der Aufnahmeeinrichtung, die bspw. durch eine entsprechende Betriebsspannung der sensoraktiven Fläche für unterschiedliche Wellenlängen von elektromagnetischem Licht empfindlich wird.

Eine bevorzugte Ausführung des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahrens sieht jedoch vor, dass zur Auswahl der Spektralbereiche Filter für unterschiedliche Wellenlängen bzw. Wellenlängenbereiche (Spektralbereiche) verwendet werden, die durch einen Filterwechsler synchronisiert mit dem Erfassen der elektromagnetischen Strahlung, d.h. mit der Aufnahme der Bilder, vor der Aufnahmeeinrichtung gewechselt bzw. ausgetauscht werden. Hierdurch kann jeder beliebige Spektralbereich im gesamten sensoraktiven Bereich der Aufnahmeeinrichtung flexibel ausgewählt werden, wobei durch geeignete Filter auch die Bandbreite des Wellenlängenbereichs selektiv ausgewählt werden kann.

Geeigneter Weise kann der Filterwechsler eine Filterführung aufweisen, in welche die verschiedenen Filter aufgenommen sind und die relativ zu der Aufnahmeeinrichtung bzw. der Optik der Aufnahmeeinrichtung derart verschiebbar sind, dass die Optik der Aufnahmeeinrichtung das lumineszenz-angeregte Objekt durch einen jeweils anderen Filter betrachtet und aufnimmt.

In einer bevorzugten Anwendung des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahrens lässt sich durch die Inspektion ein Wellenbereich zwischen 800 nm und 1800 nm abdecken, d.h. durch Auswahl der geeigneten Filter kann dieser auch als nahe Infrarotbereich gekennzeichnete Wellenlängenbereich grundsätzlich
5 detektiert werden. Dieser Bereich ist bspw. besonders geeignet auch für die Inspektion von Photovoltaik-Substraten. Zur Abdeckung dieses nahen Infrarotbereichs können geeignete Filter für die erfindungsgemäß mindestens zwei Aufnahmen bspw. einen Wellenlängenbereich um etwa 1150 nm und einen Wellenlängenbereich um 1500 nm abdecken. Es können also ein Low-Pass-
10 Filter bei 1150 nm und ein High-Pass-Filter bei 1500 nm verwendet werden. Die Bandbreite der Filter kann bspw. derart sein, dass Wellenlängenbereiche von etwa 900 bis 1150 nm in dem einen Filter und Wellenlängenbereiche von etwa 1300 bis 1600 nm in dem anderen Filter durchgelassen werden. Die entsprechenden Aufnahmen ergänzen sich also in ihren Informationen hinsichtlich des
15 Verhaltens in zwei verschiedenen Wellenlängenbereichen. Hierdurch lassen sich die gerade in Photovoltaik-Substraten auftretenden Fehlertypen gut unterscheiden und damit klassifizieren.

Entsprechendes gilt bei der Anwendung von mehr als zwei Filtern, wobei die
20 Wellenlängenbereiche der verschiedenen Filter dann völlig getrennt und/oder teilweise überlappend ausgebildet sein können. Grundsätzlich kann durch Verwendung von mehr Filtern natürlich eine noch feinere Unterscheidung von Fehlertypen erreicht werden, wenn selektiv noch weitere verschiedene Wellenlängenbereiche untersucht werden. Auch dies stellt eine erfindungsgemäße Lösung
25 dar, die insbesondere im Falle nicht besonders zeitkritischer Anwendungen zum Einsatz kommen kann.

Wenn das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren dagegen In-Line während eines Produktionsprozesses eingesetzt wird, ist es üblicherweise notwendig,
30 die Inspektionsdauer für eine Inspektion soweit zu reduzieren, dass durch

die Inspektion der Produktionsprozess nicht behindert wird. In diesem Fall erlaubt auch die Aufnahme von nur zwei verschiedenen Bildern in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen bereits eine deutliche Qualitätsverbesserung gegenüber dem Stand der Technik, der üblicherweise bei nur einer Aufnahme
5 einen Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm mit wenig empfindlichen Sensoren im Peakbereich der Lumineszenz von Solarzellen abdeckt.

Um die Inspektionsgeschwindigkeit insgesamt zu erhöhen ist gemäß einer besonders bevorzugten Variante des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahrens
10 vorgesehen, dass als Aufnahmeeinrichtung eine InGaAs-Kamera (Indium-Gallium-Arsenit-Kamera) verwendet wird. Anstelle der üblichen Si-Kameras haben InGaAs-Kameras eine deutlich verbesserte Empfindlichkeit gerade im kurzwelligen Infrarot-Wellenlängenbereich (SWIR - Shortwave-IR) etwa zwischen 800 nm und 2000 nm. Die deutlich bessere Empfindlichkeit führt zu einer
15 kürzeren Bildaufnahmezeit und einem verbesserten Signal-zu-Rausch-Verhältnis, so dass zum einen die Inspektionsdauer für eine Aufnahme deutlich verkürzt und zum anderen eine bessere Qualität der Aufnahme erreicht wird.

Durch die Aufnahme von zwei Bildern des lumineszenz-angeregten Objekts, insbesondere Solarzelle, kann also die Inspektionsgeschwindigkeit deutlich
20 gesteigert und an übliche Herstellungsprozesse angepasst werden. Dies öffnet in vielen Anwendungen auch die Möglichkeit, mehr als zwei Aufnahmen, insbesondere zwischen drei bis fünf Aufnahmen, des lumineszenz-angeregten Objekts anzufertigen, die eine noch feinere Analyse und Klassifizierung der Fehler
25 ermöglichen.

Gemäß einer erfindungsgemäß vorgesehenen, besonders bevorzugten Auswertung der aufgenommenen Bilder wird vorgeschlagen, dass in einem Bild des Objekts mögliche Fehler als Fehlerkandidaten identifiziert werden, indem aus
30 einem aufgenommenen Bild, d.h. einem Lumineszenz-Bild, ein fehlerfreies

Lumineszenz-Bild rekonstruiert wird und Differenz von aufgenommenem und rekonstruiertem Lumineszenz-Bild gebildet wird. Durch eine derartige Differenzbildung bleiben untypische Strukturen eines Bildes automatisch als mögliche Fehlerkandidaten übrig.

5

In Fortführung dieses Erfindungsgedankens kann dann vorgesehen sein, identifizierte Fehlerkandidaten (sei es nach dem vorstehenden Verfahren oder auf andere Weise) in dem weiteren Bild, das in einem von dem Spektralbereich des ersten ausgewerteten Bildes verschiedenen Spektralbereich aufgenommen wurde, ausgewertet werden. Anstelle des einen weiteren Bildes können natürlich ggf. auch mehrere weitere Bilder mit verschiedenen weiteren Spektralbereichen zugrunde gelegt werden. Ein derartiges Vorgehen beschleunigt die Auswertung in anderen Bereichen, da bevorzugt diejenige Bildbereiche auszuwerten sind, die bereits in dem ersten Bild Auffälligkeiten gezeigt haben. Über die verschiedenen Bilder können also Fehlerkandidaten und Informationen zu den einzelnen Fehlerkandidaten gesammelt und erfindungsgemäß an eine Fehlerklassifikation weitergegeben werden, die wie auch die Bildverarbeitung in einer an die Aufnahmeeinrichtung angeschlossenen Recheneinheit durchgeführt werden kann.

10
15
20

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden aus dem ersten Bild ermittelte Fehlerkandidaten an das zweite Bild weiter gegeben. Sollten in dem zweiten Bild Fehlerkandidaten hinzukommen, die in dem ersten Bild noch nicht aufgetaucht sind, werden diese an ein ggf. vorhandenes weiteres Bild oder die Fehlerklassifikation weiter gegeben, die eine Art Endfehlerverarbeitung darstellt. Wenn dagegen in einem nachfolgenden (zweiten) Bild ein Fehlerkandidat des vorangehenden (ersten) Bildes sicher ausgeschlossen werden kann, muss dieser Fehlerkandidat in den weiteren Bildern nicht mehr weiter untersucht werden. Dieses Vorgehen kann sinngemäß für eine beliebige Anzahl von Bildern angewendet werden.

25
30

Es ist ferner besonders vorteilhaft, das Auftreten von Fehlern, insbesondere von klassifizierten Fehlern, ggf. aufgelöst mit der Fehlerklasse, in einer räumlichen Fehlerverteilung über die Zeit (also einer Fehler-Häufigkeitsverteilung) zu sammeln und darzustellen. Dies erlaubt ein frühes Erkennen von Prozessfehlern. Die Klassifizierung einzelner Fehler kann unter Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz erfolgen, wobei als Datengrundlage erlernte und klassifizierte Beispiele von Fehlertypen zugrunde gelegt werden können. Durch die Klassifizierung wird die endgültige Kategorisierung der Fehlertypen von den in den Bildern identifizierten Kandidaten als Riss oder Spalte, Nebenschluss, Fingerunterbrechung (Finger Interruption), Reihenwiderstand, Dunkelregion, inaktive Region, Brennhärtefehler (Firing Defects), Versetzung (Dislocation), Hot-Spot, Kratzer oder Konturdefekt eingeordnet werden.

Diese gesammelten Qualitätskriterien können auch für eine Vorhersage der elektrischen Einordnung der Solarzelle in verschiedene Qualitätsklassen verwendet werden.

Erfindungsgemäß kann gemäß einer besonders bevorzugten Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens auch vorgesehen sein, dass vor der Inspektion, bspw. nach einer Einrichtung der Vorrichtung im Rahmen einer Erstinstallation oder bei Umrüstung auf ein anderes Produkt, eine Kalibrierung der Aufnahmeeinrichtung im Hinblick auf Schärfe, Geometrie/Auflösung und/oder Abschattung durchgeführt wird. Diese Kalibrierung kann insbesondere programmgesteuert, automatisch und/oder in Mitwirkung des Anwenders durchgeführt werden.

Für eine besonders bevorzugte Schärfeneinstellung werden der Kontrast und die Standardabweichung einer Vielzahl von rechteckigen Bildregionen verwendet, um die Schärfe zu beschreiben. Der Anwender kann durch die Programmmanwendung bspw. gefragt werden, die Schärfeneinstellungen des Objek-

tivs manuell oder automatisch langsam von einer Extremposition zu der anderen Extremposition zu verfahren. Das Programm speichert den optimalen Schärfewert und gibt ggf. eine Fehlermeldung aus, wenn die Verstellung der Schärfe zu schnell erfolgt. In einem zweiten Durchgang wird der Benutzer dann aufgefordert, diesen Vorgang zu wiederholen, während die Anwendung die aktuell erreichte Schärfe mit dem gespeicherten besten Schärfenwert vergleicht und das Erreichen des besten Schärfenpunktes anzeigt bzw. eine weitere Verstellung automatisch stoppt. Alternativ kann dies auch durch eine Steuerung ohne Benutzereingriff durchgeführt werden.

10

Im Rahmen einer geometrischen Kalibrierung wird eine Konfigurationsdatei modifiziert, um die Auflösungsinformationen anzupassen. Dies kann automatisch oder durch den Benutzer erfolgen. Dazu wird im Rahmen der Kalibrierung anhand eines Kalibrationstargets die mittlere Reproduktionsrate (Auflösung) berechnet, wobei gewisse Parameter entweder automatisch angepasst werden oder mögliche Fehlerquellen, bspw. ein schmutziges Target oder ein falscher Abstand zwischen der Objektebene und der Kamera, als Ratschläge ausgegeben werden, wenn die ermittelte Reproduktionsrate nicht den gewünschten Anforderungen entspricht.

20

Ferner können im Rahmen der Kalibrierung Abschattungsbilder berechnet werden, wobei die sichtbare Abschattung hauptsächlich durch die Abschattung der Kameralinsen verursacht wird. Eine einfache Lösung zur Erzeugung von Abschattungsbildern ist die Verwendung der Illuminationskurven, die durch den Linsenhersteller vorgelegt werden und die prozentuale Verminderung der Bildhelligkeit vom Bildzentrum zu dem Rändern hin beschreiben. Um die optische Achse auf den Bildmittelpunkt auszurichten, können entsprechende Offsets verwendet werden.

25

Wenn derartige Linseninformationen nicht zur Verfügung stehen, können erfindungsgemäß Bilder von räumlichen Zellen aufgenommen werden. Anschließend wird ein Modell mit einem Trainingsdatensatz aus mehreren Zufallspunkten, welche den Ort (X,Y) und die Intensität angeben, trainiert, wobei der Trainingssatz nur aus Bildpunkten des Objekts besteht. Dieser Trainingssatz kann zusätzlich zur Berücksichtigung lumineszenz-spezifischer Effekte, wie einer geringeren Lichtemission an den Rändern der Zellen, gefiltert werden. Diese Modell kann dann zur Erzeugung eines Abschattungsbildes Verwendung finden.

Das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren eignet sich besonders für die Inspektion von monokristallinen, quasi-monokristallinen oder multikristallinen Si-Solarzellen oder Solarmodulen, Dünnschicht-Solarzellen bzw. -schichten und/oder konzentrierten Solarzellen (CPV - concentrating photovoltaics, d.h. Solarzellen mit einer Konzentration des einfallenden Lichts (Sonnenstrahlen) durch Linsen, wie bspw. Fresnellinsen).

Entsprechend bezieht sich die Erfindung auch auf eine Vorrichtung zur Elektrolumineszenz-Inspektion und/oder Fotolumineszenz-Inspektion eines lumineszenz-fähigen Objekts, bspw. eines PN-Halbleiter, insbesondere einer Solarzelle oder einem Solarmodul, mit einer Einrichtung zur Anregung einer Elektrolumineszenz und/oder einer Fotolumineszenz bei dem Objekt. Eine Einrichtung zur Anregung einer Elektrolumineszenz kann insbesondere eine Strom- oder Spannungsversorgung oder eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrischen Feldes oder dergleichen sein. Eine Einrichtung zur Anregung einer Fotolumineszenz kann insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung sein.

Die Vorrichtung weist erfindungsgemäß eine Aufnahmeeinrichtung und einen insbesondere beweglichen Objektträger zum Halten und ggf. Transportieren des Objekts auf. Der Objektträger kann bspw. ein Transportband sein. Ferner ist eine Recheneinheit zur Steuerung der Vorrichtung und zur Auswertung von

durch die Aufnahmeeinrichtung aufgenommenen Bildern des lumineszenz-angeregten Objekts vorgesehen. Erfindungsgemäß ist zwischen dem Objekt und der Aufnahmeeinrichtung ein Filterwechsler mit mindestens zwei Filtern unterschiedlicher Spektralbereiche angeordnet, wobei die verschiedenen Filter derart vor der Aufnahmeeinrichtung positionierbar sind, dass das Objekt von der Aufnahme-
5 aufnahmeeinrichtung jeweils durch eines der verschiedenen Filter aufnehmbar ist, d.h. aufgenommen werden kann.

Vorzugsweise ist die Recheneinheit zur Durchführung des vorbeschriebenen Verfahrens oder Teilen hiervon eingerichtet, insbesondere durch geeignete Programmcodemittel, die bei Ausführung auf der Recheneinheit das erfindungsgemäß beschriebene Verfahren ausführen.
10

Erfindungsgemäß kann eine besonders bevorzugte Aufnahmeeinrichtung eine InGaAs-Kamera mit einem besonders sensitiven Empfindlichkeitsbereich im kurzwelligen Infrarotbereich (Shortwave Infrared) sein, d.h. insbesondere bei Wellenlängen zwischen etwa 800 und 2000 nm.
15

In einem bevorzugten Anwendungsfall ist vorgesehen, dass ein Filter einen Wellenlängenbereich um 1150 nm und ein anderer Filter einen Wellenlängenbereich um 1500 nm selektiert, d.h. einen entsprechenden Spektralbereich um diese Wellenlängen aufweist, in dem die elektromagnetische Strahlung passieren kann.
20

Durch das vorgeschlagene Verfahren wird also eine multispektrale Dual-Lumineszenz-Bildgebung und Inspektion von Objekten, insbesondere Solarzellen oder Solarmodulen, im Rahmen der Übergangsenergie von photovoltaischen Substraten in verschiedenen Wellenlängen zwischen 800 nm und 1800 nm vorgeschlagen. Zur Selektion der verschiedenen Wellenlängenbereiche wird ein
25 automatischer Filterwechsler beschrieben, der mehrere, mindestens zwei, Filter
30

für Hochgeschwindigkeitsanwendungen aufweist, die synchronisiert mit der Aufnahmeeinrichtung verstellt werden können.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels und der Zeichnung. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der vorliegenden Erfindung, auch unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbezügen.

10

Es zeigen:

Fig. 1 den schematischen Aufbau einer Vorrichtung zur Elektrolumineszenz-Inspektion gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

15

Fig. 2 schematisch die Bildgewinnung mit einer Vorrichtung gemäß Fig. 1;

Fig. 3a mit der Vorrichtung gemäß Fig. 1 in einem ersten Spektralbereich gewonnene Bilder;

20

Fig. 3b mit einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 in einem zweiten Spektralbereich gewonnene Bilder;

Fig. 4a mit der Vorrichtung gemäß Fig. 1 in einem ersten Spektralbereich gewonnenes Bild;

25

Fig. 4b mit einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 in einem zweiten Spektralbereich gewonnenes Bild;

30

Fig. 5a ein in der Vorrichtung gemäß Fig. 1 aufgenommenes Bild;

- Fig. 5b ein aus dem Bild gemäß Fig. 4a rekonstruiertes fehlerfreies Lumineszenzbild; und
- 5 Fig. 6 eine erfindungsgemäß gebildete Fehlerverteilung (Häufigkeitsverteilung).

In Fig. 1 ist eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Diese zeigt eine Vorrichtung 1 zur Elektrolumineszenz-Inspektion eines lumineszenz-fähigen Objekts 2, das in dem dargestellten Beispiel eine Solarzelle ist. Das Objekt 2 wird auf einen beweglichen Objektträger 3, der als Transportband ausgebildet und in einer Herstellungslinie angeordnet ist, in eine abgedunkelte Aufnahmekammer 4 eingeführt, in welcher die Solarzelle 2 positioniert und mit einer Einrichtung zur Elektrolumineszenz-Anregung 5 verbunden wird. Dazu sind Kontaktelemente 6 in der abgedunkelten Aufnahmekammer 4 vorgesehen, welche die Solarzelle 2 von zwei Seiten, d.h. an ihrer P-Schicht bzw. ihrer N-Schicht, kontaktieren und über eine Energieversorgung 7 die Übergangsspannung des PN-Übergangs an der Solarzelle 2 anregen, so dass diese - in Umkehrung des eigentlichen photovoltaischen Effekts - elektromagnetische Strahlung 8 emittiert.

In diesem Anwendungsfall stellt die elektromagnetische Strahlung 8 infrarotes Licht im Wellenlängenbereich zwischen etwa 800 nm und 1800 nm dar. Diese elektromagnetische Strahlung 8 wird durch eine Aufnahmeeinrichtung 9 aufgenommen, die besonders bevorzugt eine InGaAs-Flächenkamera ist und eine besonders hohe Empfindlichkeit für Wellenlängen zwischen etwa 800 nm und 2000 nm aufweist. Die durch die Aufnahmeeinrichtung 9 aufgenommenen Bilder werden einer Recheneinheit 10 durchgeführt, welche den gesamten Aufnahmeprozess steuert und die aufgenommenen Bilder in nachfolgend noch näher beschriebener Weise auswertet.

Um selektiv in verschiedenen Spektralbildern Aufnahmen der Solarzelle 2 bzw. des von der Solarzelle emittierten Lichts 8 aufnehmen zu können, sind vor der Aufnahmeeinrichtung 9 zwei Filter 11, 12 angeordnet, die durch einen automati-

5 schen Filterwechsler 13, der synchronisiert mit der Aufnahmeeinrichtung 9 bspw. gesteuert durch die Recheneinheit 10, den einen Filter 11 oder den anderen Filter 12 vor der Aufnahmeeinrichtung 9 positioniert. Dazu kann der automatische Filterwechsler 13 auf einem bspw. auch der Abschottung gegenüber Streulicht dienenden Gestell 14 synchronisiert mit der Aufnahmeeinrichtung 9

10 verschoben werden.

Mit der Vorrichtung 1 werden erfindungsgemäß wenigstens zwei Bilder in verschiedenen Spektralbereichen aufgenommen. Dazu kann der Filter 11 ein Tiefpassfilter in einem Spektralbereich um 1150 nm und der Filter 12 ein Hochpass-

15 filter im Spektralbereich um 1500 nm sein, um Tief- und Hoch-Spektrum-Bilder in verschiedenen Wellenlängen zur Lumineszenzmessung bei verschiedenen Energieübergängen aufzunehmen.

Fig. 2 zeigt den Aufbau der Solarzelle 2 und den Prozess der Bildaufnahme in einem schematischen Ablaufdiagramm. Die Solarzelle 2 weist einen PN-Typ-

20 Halbleiter 15 auf, in dem die in der Minderheit befindlichen Ladungsträger jeweils auf einer Seite des Ladungsträgers angeordnet und in Fig. 2 durch kleine Kreise dargestellt sind.

Auf dem Halbleiter 15 befindet sich eine Antireflexions- und SiO₂-Schicht 16, die durch einen vorderen Kontakt 17 bildende Leiterbahnen unterbrochen ist. Auf der Rückseite des PN-Halbleiters 15 findet sich ein hinterer Kontakt 18. Wenn

25 Licht auf die Solarzelle 2 trifft, diffundieren die in der Minderheit befindlichen Ladungsträger in dem Halbleiter 15 und erzeugen einen Strom, so dass der

30 Stromkreis 19 geschlossen wird und ein Strom fließt.

Im Falle einer Elektrolumineszenz-Inspektion wird in Umkehrung dieses Prozesses an dem vorderen Kontakt 17 und dem hinteren Kontakt 18 eine Spannung angelegt, so dass die Ladungsträger diffundieren und, wie in Fig. 1 dargestellt, elektromagnetische Strahlung 8 emittieren. Dieser Prozess ist in Fig. 2 durch einen umrandeten Kasten dargestellt. Im Ergebnis wird ein aufgenommenes Lumineszenzbild 20 erhalten.

Fig. 3a zeigt mit einem Tiefpassfilter aufgenommene Lumineszenzbilder 21 zweier verschiedener Solarzellen 2, in denen jeweils durch einen weißen Pfeil markiert dunkle Pixel dargestellt sind, die mögliche Fehler in der Solarzelle 2 darstellen. In der rechts neben Fig. 3a dargestellten Fig. 3b sind jeweils dieselben Solarzellen 2 als mit einem Hochpassfilter aufgenommene Bilder 22 gezeigt, die insgesamt eine wesentlich dunklere Struktur aufweisen und an den mit dem Pfeil gekennzeichneten Stellen eine Überprüfung der Fehlerkandidaten aus den Bildern 21 gemäß Fig. 3a erlauben.

In dem oberen Bilderzyklus zeigen Bilder 22 keine Auffälligkeiten. In dem unteren Bilderzyklus sind dagegen im Bereich des Fehlerkandidaten gemäß Fig. 3a auch in Fig. 3b besonders dunkle Pixel erkennbar, die Prozessfehler anzeigen.

Durch eine geeignete Information der Intensität und Formgebung der einzelnen Bereiche lassen sich so zuverlässige Rückschlüsse auf die verschiedenen Fehler ziehen. Helle Bereiche in den Bildern 22 gemäß Fig. 3b zeigen starke Elektronensammler an (deep traps).

Fig. 4a und b zeigen zwei weitere Beispiele für Bilder, die von einer Solarzelle 2 in einem ersten Spektralbereich (Bild 21) und in einem zweiten Spektralbereich (Bild 22) aufgenommen wurden. In dem im ersten Spektralbereich zwischen etwa 900nm und 1150 nm aufgenommenen Bild 21 erscheinen eine Vielzahl von

Defektkandidaten als dunkle Punkte oder Striche. Diese Bereiche werden identifiziert, bspw. wie nachstehend noch beschrieben, und in dem zweiten Bild 22 genauer untersucht. Das zweite Bild 22 wurde in dem Spektralbereich zwischen 1350nm bis 1600nm aufgenommen. In diesem Bild 22 erscheinen Materialdefekte (bspw. eine Versetzung bzw. Dislocation), die materialbedingt sind und nicht von Verfahrensfehlern herrühren, heller, auch wenn sie in dem Spektralbereich des ersten Bildes 21 dunkler erschienen sind und niedrigere Intensitäten aufweisen wie auch Defektregionen. Diese in Bild 22 heller erscheinenden, materialbedingten Defekte werden als nicht schädlich für die Qualität und Effizienz des Solarmoduls angesehen und können daher aus der Liste der Fehlerkandidaten gestrichen werden. Dies ist aber nur durch das erfindungsgemäße Verfahren mit mindestens zwei Bildern in verschiedenen Spektralbereichen möglich.

15 Aufgrund der zusätzlichen Verwendung der InGaAs-Kamera lässt sich die Belichtungszeit auf 5 ms (im Vergleich zu 500 ms bei herkömmlichen bekannten Anlagen) reduzieren. Auch die Auslesezeit ist bei herkömmlichen Anlagen aufgrund einer notwendigen Mehrfachauslösung mit 250 ms vergleichsweise lang. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann die Auslesezeit für die Aufnahmeeinrichtung 9 durch Verwendung der InGaAs-Kamera in die Größenordnung von 20 33 ms reduziert werden. Die Erholungszeit einer Kamera (Aufnahmeeinrichtung 9) liegt typischerweise bei weniger als 40 ms, im Vergleich zu mehr als 750 ms pro Bild bei herkömmlichen Vorrichtungen.

25 Trotz einer Filterwechselzeit in der Größenordnung von 100 ms können durch die erfindungsgemäße Vorrichtung etwa 3600 Solarzellen pro Stunde inspiziert werden, obwohl zwei Bilder pro Solarzelle aufgenommen werden. Herkömmliche Vorrichtungen erreichen (bei nur einer Aufnahme pro Solarzelle) nur etwa 1400 Zellen pro Stunde.

Durch die wellenselektive Auswahl mehrerer Bilder kann die Federdetektionsrate ferner auf unter 0,2 % im Vergleich zu konventionellen Systemen mit einer Fehlerrate von mehr als 2 % gedrückt werden. Insbesondere die kürzere Aufnahmezeit bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung führt auch zu weniger Stress der Solarzellen 2 während der Aufnahme, da diese nur für eine kürzere Zeitdauer zur Elektrolumineszenz angeregt werden müssen.

Insbesondere können die folgenden Fehler bei Solarzellen 2 ermittelt werden: sichtbare und unsichtbare Risse oder Spalte, Nebenschlüsse, Fingerunterbrecher (finger interruptions), Serienwiderstände, Dunkelregionen, inaktive Regionen, Brennhärtefehler (Firing Defects), Dislokationen, Hot-Spots, Kratzer, Konturdefekte, tec.. Außerdem ist eine Vorhersage der elektrischen Einordnung der Module, d.h. die Qualitätsklasse, bestimmbar.

In den Fig. 5a und b ist eine besonders bevorzugte Möglichkeit zur Lokalisierung möglicher Fehlerkandidaten in den Bildern 20, 21, 22 dargestellt. Fig. 5a zeigt ein aufgenommenes Bild 20, in dem eine durch einen weißen Pfeil markierte dunkle, lang gezogene Struktur erkennbar ist, die einen Fehlerkandidat bildet. Um diese besonders einfach lokalisieren zu können, schlägt die Erfindung vor, aus dem aufgenommenen Bild 20 ein fehlerfreies Lumineszenzbild 23 zu berechnen, so wie es sein sollte. Das aufgenommene Lumineszenzbild 20 wird dann im Rahmen einer Bildauswertung von dem fehlerfreien, rekonstruierten Lumineszenzbild 23 abgezogen, wodurch automatisch mögliche Fehlerdefektbereiche markiert sind. Diese möglichen Fehlerbereiche einer ersten Aufnahme werden dann in der zweiten und weiteren Bildern, die mit anderen Filtern 11, 12 aufgenommenen wurden, für eine exakte Entscheidung, ob ein Fehler und ggf. welcher Fehler vorliegt, weiter ausgewertet.

Das Auffinden und Klassifizieren kann gemäß einem besonders bevorzugten Verfahrensablauf erfindungsgemäß in fünf Schritten erfolgen:

In einem ersten Schritt findet eine einfach optische Korrektur mittels Bildverarbeitung statt, in der insbesondere eine Abschattungskorrektur, eine Verzerrungskorrektur und/oder verschiedene digitale Bildverarbeitungsfilter angewendet werden können.

Der zweite Schritt sieht dann das Entfernen der nicht zu untersuchenden Bildbereiche vor, bei denen es sich insbesondere um Bildhintergrund und Leiterbahnen (Busbars) handeln kann.

In dem dritten Schritt werden aus dem ersten Bild 21 (Fig. 3a, 4a) mögliche Fehlerkandidaten ermittelt und zugewiesen. Bei dem ersten Bild kann es sich insbesondere um eine Aufnahme im sog. nahen Infrarotbereich (ca. 900 bis 1150 nm Wellenlänge) handeln, in dem die meisten Unregelmäßigkeiten als dunklere Stellen identifiziert werden können. Hierzu wird wie vorbeschrieben aus dem aufgenommenen Bild ein fehlerfreies Lumineszenzbild 23 rekonstruiert.

Dazu wird aus dem aufgenommenen Bild 20 mittels einer Fouriertransformation ein Spektralbild erzeugt, in dem die Fehlerkandidaten bestimmten Frequenzen zugeordnet werden können. Diese vermeintlichen Fehler werden durch entfernen dieser Frequenzkomponenten aus dem Spektralbild entfernt. Anschließend wird das Spektralbild durch eine Rück-Fouriertransformation, d.h. die inverse Fouriertransformation, in ein optisches Bild zurücktransformiert, das dann das rekonstruierte fehlerfreie Lumineszenzbild darstellt. Von diesem Lumineszenzbild 23 wird das aufgenommene Bild 20 pixelweise abgezogen. Bereiche mit Grauwertdifferenzen, die einen vorgegeben Schwellwert überschreiten, werden als Fehlerbereiche bzw. Fehlerkandidaten eingestuft.

In einem vierten Schritt werden diese Fehlerbereiche bzw. Fehlerkandidaten dann an Bilder anderer Spektralbereiche weitergegeben und dort überprüft,

wobei die Spektralbereiche des zweiten bzw. der weiteren Bilder vorzugsweise eine größere Wellenlänge aufweisen als das erste, im dritten Schritt untersuchte Bild. In diesem Schritt können bspw. einige Fehlerkandidaten als Versetzungen (Dislocations) identifiziert werden, die in dem zweiten Bild hellere Pixel zeigen.

5 Am Ende des vierten Schritts können diese Bilder dann als der Liste der Fehlerkandidaten gestrichen werden.

Im letzten, fünften Schritt werden die verbleibenden, d.h. nicht eliminierten bzw. gestrichenen, Fehlerkandidaten einer Fehlerklassifizierung zugeleitet, die den

10 Fehler auf Grundlage der in den verschiedenen Bildern gesammelten Informationen klassifiziert und den Fehler damit definiert.

Fig. 6 zeigt schließlich eine Häufigkeitsverteilung von Fehlern (Fehlerverteilung) in einem bestimmten Bereich einer Solarzelle 2 durch eine räumliche, über die

15 Zeit aufakkumulierte Verteilung von Fehlern. Die dunklen Bereiche zeigen keine oder wenige Fehler, die hellen Bereich eine mittlere Fehlerhäufigkeit, und die wieder dunkel werdenden Bereich eine besonders hohe Fehlerhäufigkeit in der Nähe von 100 %. Die nicht eindeutige Graufärbung der Häufigkeitsverteilung ist der schwarz-weiß-Darstellung der Zeichnungen geschuldet. In der Realität

20 können hier unterschiedliche Farben verwendet werden, so dass eine eindeutige Fehlerhäufigkeit in den Zeichnungen erkannt werden kann.

Die Häufigkeitsverteilung 24 zeigt die relativ größte Fehlerhäufigkeit im Bereich des in die Häufigkeitsverteilung 24 nachträglich eingefügten weißen Pfeiles.

25 Dies deutet darauf hin, dass hier ein systematischer Prozessfehler vorliegen könnte.

Bezugszeichen:

5	1	Vorrichtung zur Elektrolumineszenz-Inspektion
	2	lumineszenz-fähiges Objekt, Solarzelle
	3	Objektträger
	4	abgedunkelte Aufnahmekammer
	5	Einrichtung zur Elektrolumineszenzanregung
10	6	Kontaktelement
	7	Energieversorgung, Spannungsversorgung
	8	elektromagnetische Strahlung, IR-Licht
	9	Aufnahmeeinrichtung
	10	Recheneinheit
15	11	Filter mit einem ersten Spektralbereich
	12	Filter mit einem zweiten Spektralbereich
	13	automatischer Filterwechsler
	14	Gestell
	15	PN-Halbleiter
20	16	Antireflexions- und SiO ₂ -Schicht
	17	vorderer Kontakt
	18	hinterer Kontakt
	19	Stromkreis
	20	aufgenommenes Lumineszenzbild
25	21	mit Tiefpassfilter aufgenommenes Lumineszenzbild
	22	mit Hochpassfilter aufgenommenen Lumineszenzbild
	23	fehlerfreies Lumineszenzbild
	24	Häufigkeitsverteilung der Fehler

Ansprüche:

- 5 1. Verfahren zur Elektrolumineszenz-Inspektion und/oder Fotolumineszenz-
Inspektion eines lumineszenz-fähigen Objekts (2), bei dem das Objekt (2) durch
Anlegen einer Spannung und/oder durch Einstrahlung von Licht zur Aussendung
von elektromagnetischer Strahlung (8) angeregt und die elektromagnetische
Strahlung (8) durch eine optische Aufnahmeeinrichtung (9) erfasst und als Bild
10 (20, 21 22) ausgegeben wird, wobei das Bild (20, 21 22) einer Bildauswertung
unterzogen und mögliche Fehler des Objekts (2) in der Bildauswertung ermittelt
werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Erfassen der elektromagnetischen
Strahlung (8) durch die Aufnahmeeinrichtung (9) in mindestens zwei Bildern (21,
22) in verschiedenen Spektralbereichen erfolgt.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Aus-
wahl der Spektralbereiche Filter (11, 12) für unterschiedliche Wellenlängen
verwendet werden, die durch einen Filterwechsler (13) synchronisiert mit dem
Erfassen der elektromagnetischen Strahlung (8) vor der Aufnahmeeinrichtung
20 (9) gewechselt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass
durch die Inspektion ein Wellenlängenbereich zwischen 800nm und 1800nm
abgedeckt wird.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch ge-
kennzeichnet**, dass eine InGaAs-Kamera als Aufnahmeeinrichtung (9) verwen-
det wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Bild (20, 21, 22) des Objekts (2) mögliche Fehler als Fehlerkandidaten identifiziert werden, indem aus einem aufgenommenen Bild (20, 21, 22) ein fehlerfreies Lumineszenzbild (23) rekonstruiert wird und eine Differenz von aufgenommenem Bild (20, 21, 22) und rekonstruiertem Lumineszenzbild (23) gebildet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass identifizierte Fehlerkandidaten im dem weiteren Bild (20, 21, 22) ausgewertet wird.
7. Verfahren nach einen der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Auftreten von Fehlern in einer räumlichen Fehlerverteilung (24) gesammelt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Inspektion eine Kalibrierung der Aufnahmeeinrichtung (9) im Hinblick auf Schärfe, Geometrie/Auflösung und/oder Abschattung durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren für die Inspektion von monokristallinen, quasi-monokristallinen, multikristallinen Si-Solarzellen oder Solarmodulen, Dünnschicht-Solarzellen und/oder konzentrieren Solarzellen verwendet wird.
10. Vorrichtung zur Elektrolumineszenz-Inspektion und/oder Fotolumineszenz-Inspektion eines lumineszenz-fähigen Objekts (2) mit einer Einrichtung zur Anregung einer Elektrolumineszenz (5) und/oder einer Fotolumineszenz bei dem Objekt (2), einer Aufnahmeeinrichtung (9) und einem Objektträger (3) zum Halten und ggf. Transportieren des Objekts (2) und einer Recheneinheit (10) zur Steuerung der Vorrichtung (1) und Auswertung von durch die Aufnahmeeinrich-

tung (9) aufgenommenen Bildern (20, 21, 22) des lumineszenz-angeregten Objekts (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Objekt (2) und der Aufnahmeeinrichtung (9) ein Filterwechsler (13) mit mindestens zwei Filtern (11, 12) unterschiedlicher Spektralbereiche angeordnet ist, wobei die verschiedenen
5 Filter (11, 12) derart vor der Aufnahmeeinrichtung (9) positionierbar sind, dass das Objekt (2) von der Aufnahmeeinrichtung (9) durch die verschiedenen Filter (11, 12) aufnehmbar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
10 Recheneinheit (10) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 eingerichtet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass
die Aufnahmeeinrichtung (9) eine InGaAs-Kamera ist.

15

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Filter (11) einen Wellenlängenbereich um 1150 nm und ein anderer Filter (12) einen Wellenlängenbereich um 1500 nm selektiert.

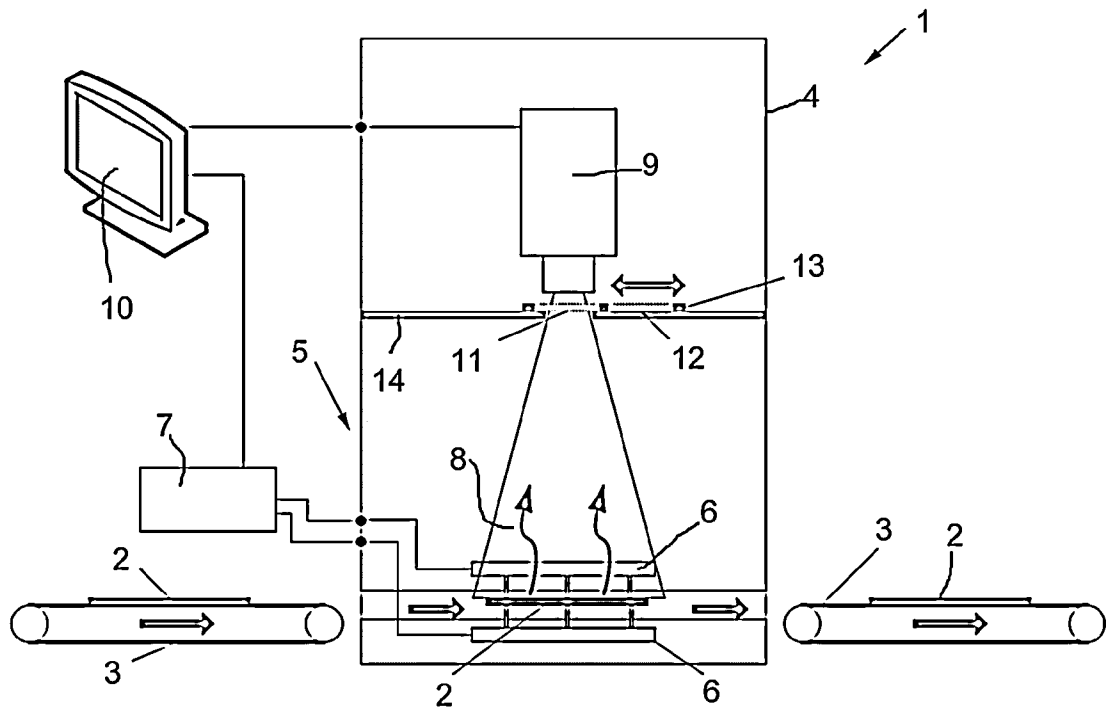


Fig. 1

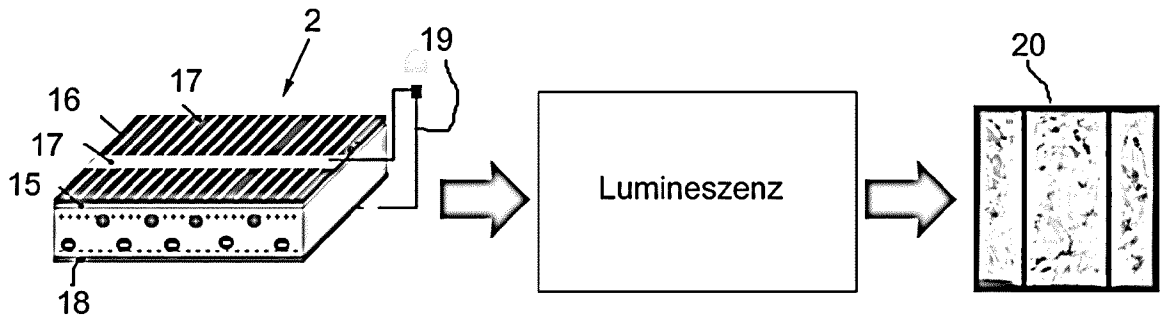


Fig. 2

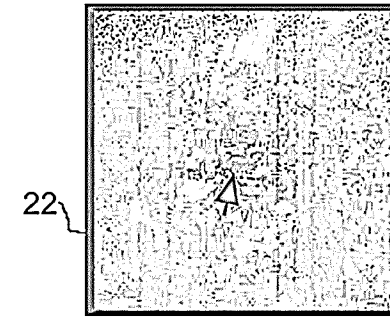
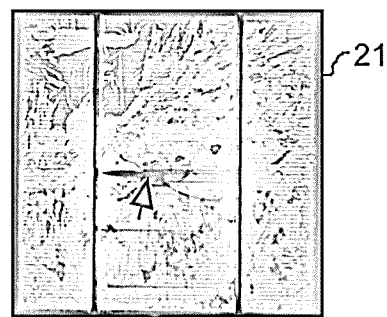
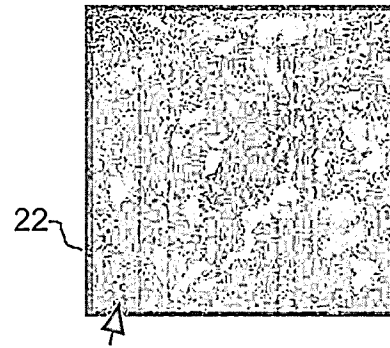
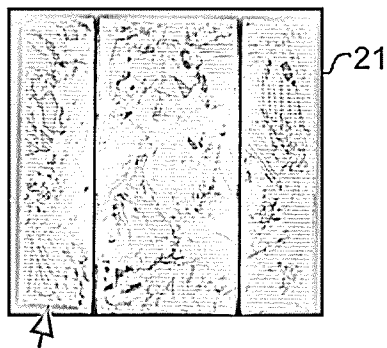


Fig. 3a

Fig. 3b

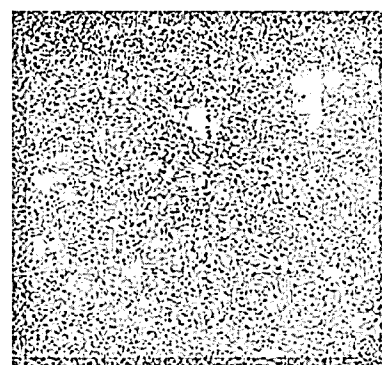
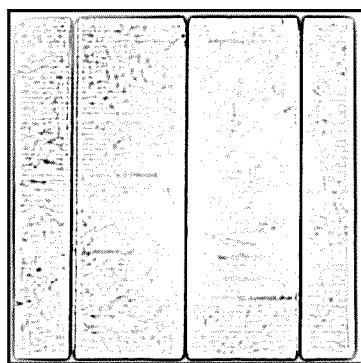


Fig. 4a 21

Fig. 4b 22

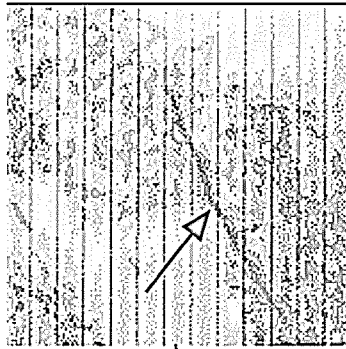


Fig. 5a 20

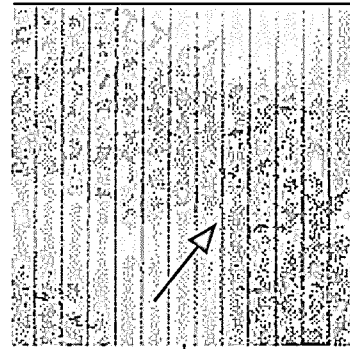


Fig. 5b 23

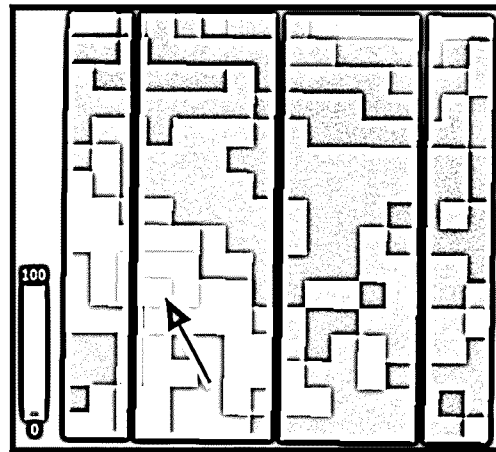


Fig. 6 24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/058999

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N21/95
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)
G01N H01L G01R F21S

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, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MATTHEW P PELOSO ET AL: "Observations on the spectral characteristics of defect luminescence of silicon wafer solar cells", 35TH IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC), 20-25 JUNE 2010, HONOLULU, HI, USA, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 20 June 2010 (2010-06-20), pages 2714-2717, XP031786315, ISBN: 978-1-4244-5890-5 abstract; figures 2, 6-8 page 2714	1-13
A	US 2012/100666 A1 (GEE JAMES M [US] ET AL) 26 April 2012 (2012-04-26) abstract; figure 4a paragraph [0058]	1-13
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 10 June 2013	Date of mailing of the international search report 18/06/2013
---	--

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 Vorropoulos, G
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/058999

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	WO 2012/170191 A1 (BOEING CO [US]; JUNGWIRTH DOUGLAS R [US]; QUEZADA EMILIO [US]; CAMPBEL) 13 December 2012 (2012-12-13) abstract; figure 2 page 5 - page 6 -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/058999

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012100666	A1	26-04-2012	NONE

WO 2012170191	A1	13-12-2012	US 2012313661 A1
			WO 2012170191 A1
			13-12-2012
			13-12-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/058999

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01N21/95
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01N H01L G01R F21S

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, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	MATTHEW P PELOSO ET AL: "Observations on the spectral characteristics of defect luminescence of silicon wafer solar cells", 35TH IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC), 20-25 JUNE 2010, HONOLULU, HI, USA, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 20. Juni 2010 (2010-06-20), Seiten 2714-2717, XP031786315, ISBN: 978-1-4244-5890-5 Zusammenfassung; Abbildungen 2, 6-8 Seite 2714	1-13
A	US 2012/100666 A1 (GEE JAMES M [US] ET AL) 26. April 2012 (2012-04-26) Zusammenfassung; Abbildung 4a Absatz [0058]	1-13
	----- -/--	

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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
10. Juni 2013	18/06/2013

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 Vorropoulos, G
--	---

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X,P	WO 2012/170191 A1 (BOEING CO [US]; JUNGWIRTH DOUGLAS R [US]; QUEZADA EMILIO [US]; CAMPBEL) 13. Dezember 2012 (2012-12-13) Zusammenfassung; Abbildung 2 Seite 5 - Seite 6 -----	1-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/058999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2012100666 A1	26-04-2012	KEINE	

WO 2012170191 A1	13-12-2012	US 2012313661 A1	13-12-2012
		WO 2012170191 A1	13-12-2012
