

(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
10. Dezember 2020 (10.12.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/245106 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02S 50/10 (2014.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/065194

(22) Internationales Anmeldedatum:
02. Juni 2020 (02.06.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
19178090.7 04. Juni 2019 (04.06.2019) EP

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

(72) Erfinder: **TUREK, Marko**; c/o Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen, Walter-Hül-

se-Straße 1, 06120 Halle (Saale) (DE). **HAGENDORF, Christian**; c/o Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen, Walter-Hülse-Straße 1, 06120 Halle (Saale) (DE). **SPORLEDER, Kai**; c/o Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen, Walter-Hülse-Straße 1, 06120 Halle (Saale) (DE).

(74) **Anwalt: GAGEL, Roland**; Landsberger Str. 480a, 81241 München (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR CHECKING SOLAR CELLS AND SOLAR MODULES FOR MATERIAL DEGRADATION

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR PRÜFUNG VON SOLARZELLEN UND SOLARMODULEN AUF MATERIALDEGRADATION

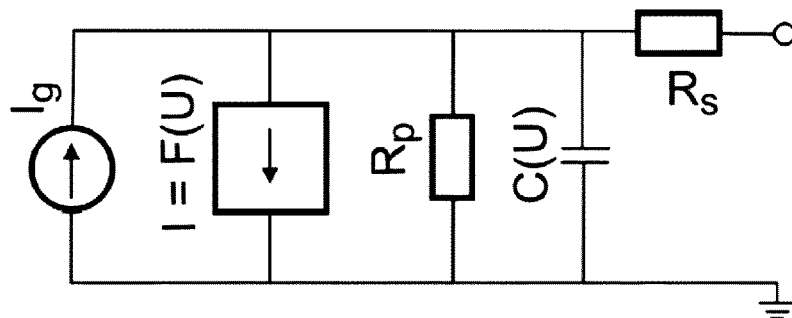


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method and a device for checking solar cells or solar modules for electric material degradation. Time-resolved current measurements are carried out with incremental changes in the electric voltage on the solar cell or the solar module. The voltage-based electric capacitance of the solar cell or the solar module is calculated from the measurements on the basis of an electric model of the solar cell or the solar module. By comparing the voltage-based capacitance with reference values or an earlier measurement taken on the same solar cell or the same solar module, the degree of electric material degradation or a relative change in the electric material degradation of the solar cell or the solar module can be determined. The method and the device allow an electric material degradation to be determined independently of possible optically produced losses or electric losses in other components, such as plugs or supply lines.

(57) **Zusammenfassung:** Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zur Prüfung von Solarzellen oder Solarmodulen auf elektrische

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2020/245106 A1

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Materialdegradation werden zeitgelöste Strommessungen bei stufenweiser Änderung der elektrischen Spannung an der Solarzelle oder dem Solarmodul durchgeführt. Aus den Messungen wird auf Basis eines elektrischen Modells der Solarzelle oder des Solarmoduls die spannungsabhängige elektrische Kapazität der Solarzelle oder des Solarmoduls berechnet. Durch Vergleich dieser spannungsabhängigen Kapazität mit Referenzwerten oder einer früheren Messung an derselben Solarzelle oder demselben Solarmodul kann dann auf den Grad oder auf eine relative Veränderung einer elektrischen Materialdegradation der Solarzelle oder des Solarmoduls geschlossen werden. Das Verfahren und die Vorrichtung ermöglichen die Bestimmung einer elektrischen Materialdegradation unabhängig von eventuellen optisch verursachten Verlusten oder elektrischen Verlusten in weiteren Komponenten wie Steckern oder Zuleitungen.

Verfahren und Vorrichtung zur Prüfung von Solarzellen
und Solarmodulen auf Materialdegradation

Technisches Anwendungsgebiet

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Prüfung von Solarzellen und Solarmodulen auf elektrische Materialdegradation.

Bei der Herstellung von Solarzellen und
10 Solarmodulen werden fortlaufend neue Materialien bzw. Materialkombinationen in Verbindung mit modifizierten Solarzellprozessen verwendet. Dadurch können die Solarzellen und Solarmodule im Ergebnis eine unterschiedliche Sensitivität hinsichtlich der Alterung
15 (Degradation) im Feldbetrieb aufweisen. Materialdegradation äußert sich in einer abnehmenden Leistung der Solarzellen und Solarmodule über die Lebensdauer. Hierbei treten vor allem licht-induzierte Degradation, also eine Verschlechterung der Halbleiter-Material-
20 eigenschaften durch Lichteinfall, und potential-induzierte Degradation, verursacht durch eine hohe Spannung am Modulrahmen von Solarmodulen im Vergleich zur Zellspannung, auf. Allerdings verursacht nicht nur die Degradation der Halbleitermaterialien einen
25 Leistungsverlust der Solarzellen und Solarmodule sondern auch Verschmutzungen oder andere optische Alterungen, beispielsweise der Verkapselungsmaterialien. Eine Auswertung der Leistungs- oder Ertragsdaten der Solarzellen oder Solarmodule, die
30 durch Überwachung des Wechselrichters einer Photovoltaik-Anlage erhalten werden können, lassen

- 2 -

keine Rückschlüsse auf die Ursache eines Leistungsverlustes oder die Art einer Degradation zu. Damit lassen sich zwar Leistungsminderungen feststellen, aber keine zielgerichteten Gegenmaßnahmen ableiten.

5

Stand der Technik

Zur Unterscheidung der Verlusttypen bei Solarzellen oder Solarmodulen müssen bisher umfangreiche diagnostische Verfahren angewendet werden. Die Prüfung von Solarmodulen kann dabei durch externe Messgeräte wie beispielsweise Kameras direkt im Feld erfolgen, wobei die installierten Solarmodule im Stringverbund verbleiben. Weiterhin ist es bekannt, Solarmodule durch mobile Messgeräte in einem Prüfwagen vor Ort oder in einem entfernten Prüflabor zu prüfen. Die Module müssen hierzu allerdings aus dem String entfernt und im Falle des Prüflabors auch erst ins Labor transportiert werden. Als Messmethoden zur Prüfung der Solarmodule kommen derzeit vorrangig Elektrolumineszenzbildgebung, Infrarotbildgebung, I-V-Messungen unter Standardmessbedingungen mit Sonnensimulatoren sowie optische bzw. mikrooptische Inspektion zum Einsatz. Im Fall der bildgebenden Methoden vor Ort können Defekte zwar lokalisiert aber kaum quantifiziert werden, da geeignete Normbedingungen im Feld nicht herstellbar sind. Im Fall der I-V-messungen ist eine genormte Lichtquelle erforderlich, deren Einsatz im Feld allerdings mit großem Aufwand verbunden ist.

Aus der WO 2013/170422 A1 ist ein Verfahren zur Prüfung von Solarzellen und Solarmodulen bekannt, mit dem die Strom-Spannungs-Charakteristik der Solarzellen

- 3 -

bzw. Solarmodule mit hoher Genauigkeit gemessen werden kann. Hierbei werden die Solarzellen bzw. Solarmodule mit kurzen Lichtpulsen beleuchtet, während jedes Lichtpulses die elektrische Spannung an der Solarzelle oder dem Solarmodul stufenweise erhöht und der von der Solarzelle oder dem Solarmodul gelieferte Strom jeweils zu festgelegten Zeiten erfasst, um die Strom-Spannungs-Charakteristik zu erhalten. Die zeitliche Abfolge der stufenweisen Erhöhung der Spannung und der Messung des Stroms wird dabei geeignet gewählt, um kapazitive Effekte bei der Messung zu vermeiden. Diese Druckschrift gibt jedoch keinen Hinweis darauf, wie durch eine derartige Messung eine Materialdegradation der Solarzellen oder Solarmodule erkannt oder unterschiedliche Arten der Materialdegradation unterschieden werden können.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Prüfung von Solarzellen und Solarmodulen auf Materialdegradation anzugeben, die eine Prüfung auf elektrische Materialdegradation unabhängig von eventuellen optisch verursachten Verlusten ermöglichen.

25

Darstellung der Erfindung

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß den Patentansprüchen 1 und 6 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie der Vorrichtung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

30

- 4 -

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren wird ein von der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul erzeugter Strom während einer stufenweisen Veränderung der elektrischen Spannung an der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul zeitaufgelöst gemessen, um auf Basis eines elektrischen Modells der Solarzelle(n) oder des Solarmoduls eine elektrische Kapazität der Solarzelle(n) oder des Solarmoduls in Abhängigkeit von der Spannung zu bestimmen. Vorzugsweise werden hierzu an den zu prüfenden Solarzellen oder Solarmodulen wenigstens zwei Messungen durchgeführt. Bei der ersten Messung wird eine elektrische Spannung an die elektrischen Anschlüsse der Solarzelle(n) oder des Solarmoduls angelegt und in einer ersten Richtung stufenweise verändert, d.h. stufenweise erhöht oder stufenweise erniedrigt. Während der Änderung der elektrischen Spannung wird der von der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul erzeugte Strom zeitaufgelöst gemessen. Diese zeitaufgelöste Messung umfasst im einfachsten Fall eine Messung unmittelbar vor und eine Messung unmittelbar nach Einstellung der jeweiligen neuen Spannung. Bei der zweiten Messung wird wiederum eine elektrische Spannung an die elektrischen Anschlüsse der Solarzelle(n) oder des Solarmoduls angelegt und entweder in einer zur ersten Richtung entgegengesetzten Richtung stufenweise verändert, d.h. erniedrigt oder erhöht, oder zur Einstellung eines Gleichgewichtszustandes in der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul bei unterschiedlichen Spannungswerten konstant gehalten, während wiederum der von der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul erzeugte Strom während der jeweiligen Änderung der elektrischen Spannung oder bei jeweils konstanter Spannung im Gleichgewichtszustand gemessen wird. Die stufenweisen

- 5 -

Spannungswechsel bei der zweiten Messung können mit der gleichen oder auch mit einer anderen Geschwindigkeit durchgeführt werden wie bei der ersten Messung. Aus den beiden Messungen wird dann auf Basis eines elektrischen Modells der Solarzelle(n) bzw. des Solarmoduls die elektrische Kapazität der Solarzelle(n) oder des Solarmoduls in Abhängigkeit von der an die Solarzelle(n) oder das Solarmodul angelegten elektrischen Spannung berechnet. Der stufenweise Spannungswechsel zwischen den unterschiedlichen Spannungen erfolgt bei jedem Schaltvorgang möglichst schnell, vorzugsweise in einem Zeitraum zwischen 200 ms und 0,01 ms. Die stufenweise Veränderung kann dabei auch nur einen einzigen Spannungswechsel, also eine Stufe, umfassen. Aus der spannungsabhängigen Kapazität wird schließlich durch Vergleich mit Referenzwerten oder mit einer früheren Messung und Kapazitätsbestimmung an der- oder demselben Solarzelle(n) oder demselben Solarmodul ein Grad oder eine relative Veränderung einer elektrischen Degradation der Solarzelle(n) oder des Solarmoduls bestimmt.

Unter der elektrischen Materialdegradation ist hierbei eine Materialdegradation zu verstehen, die sich auf die elektrischen Eigenschaften der Solarzelle oder des Solarmoduls auswirkt, also insbesondere eine Materialdegradation der Halbleitermaterialien. Im Gegensatz dazu wirkt sich eine optische Materialdegradation nur auf die optischen Eigenschaften der Solarzelle oder des Solarmoduls auf, also auf die optische Absorption, Reflexion oder Streuung, und betrifft daher insbesondere die Einkapselungsmaterialien der Solarzelle oder des Solarmoduls.

- 6 -

Das vorgeschlagene Verfahren kann an einer einzelnen Solarzelle, an einer Anordnung aus mehreren miteinander verschalteten Solarzellen oder Solarmodulen oder an einem einzelnen Solarmodul durchgeführt werden.

5 Im Folgenden werden das Verfahren und die Vorrichtung zunächst stellvertretend anhand der Prüfung eines Solarmoduls erläutert. Die Ausführungen gelten jedoch in gleicher Weise auch für eine Solarzelle oder eine Anordnung aus mehreren miteinander verschalteten
10 Solarzellen oder Solarmodulen.

Die für die Durchführung des vorgeschlagenen Verfahrens bereitgestellte Vorrichtung weist entsprechend eine elektrische Strom- oder Spannungs-
15 versorgung auf, mit der eine stufenweise Erhöhung und/oder Erniedrigung der elektrischen Spannung an dem zu prüfenden Solarmodul ermöglicht wird, sowie eine Messeinrichtung, mit der ein von dem Solarmodul während der Spannungsänderungen gelieferter Strom zeitaufgelöst
20 messbar ist. Die Vorrichtung weist weiterhin eine Steuer- und Auswerteeinrichtung auf, die die stufenweise Erhöhung der Spannung und die Messung des Stroms steuert, aus den durchgeführten Messungen die spannungsabhängige Kapazität des Solarmoduls berechnet
25 und einen Vergleich mit abgespeicherten Referenzwerten oder einer abgespeicherten früheren Messung durchführt.

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung nutzen somit eine Veränderung der
30 spannungsabhängigen elektrischen Kapazität des Solarmoduls zur Erkennung und ggf. Quantifizierung elektrischer Materialdegradation. Die Kapazität eines Solarmoduls wird maßgeblich durch die Halbleitereigenschaften der Solarzellen bestimmt. In den

- 7 -

Solarzellen spielt die Ladungsträgerlebensdauer im Halbleiter eine dominierende Rolle für die Größe der Kapazität. Diese Kapazität hängt von der angelegten Spannung ab, wodurch sie von anderen spannungs-
5 unabhängigen Kapazitäten im Solarmodul, z.B. durch Zuleitungen, unterschieden werden kann. Damit kann durch eine Messung der veränderten kapazitiven Eigenschaften in der Solarzelle auf spezielle Degradationszustände im Halbleitermaterial gefolgert
10 werden. Durch die vorgeschlagene Prüfung auf Materialdegradation auf Basis einer Veränderung der elektrischen Kapazität des Solarmoduls wird lediglich die elektrische Halbleiterdegradation erfasst. Optisch verursachte Verluste, beispielsweise durch oberfläch-
15 liche Verschmutzung oder optische Materialdegradation wie Verfärbung der in den Solarzellen des Solarmoduls eingesetzten Folien, spielen hierbei keine Rolle. Bei gleichzeitiger Messung der elektrischen Leistung des Solarmoduls - und entsprechendem Vergleich mit
20 Referenzwerten oder einer früheren Messung - kann daher auch eine Unterscheidung zwischen elektrischer Materialdegradation und diesen optisch verursachten Verlusten getroffen werden. Wird beispielsweise keine elektrische Materialdegradation aber ein Leistungs-
25 verlust festgestellt, so ist dieser Leistungsverlust nicht auf im Halbleiter verursachte Verluste zurückzuführen. Im Ergebnis können daher Solarmodule, die im Feldbetrieb eine verminderte Leistung zeigen, hinsichtlich der Schadensursache klassifiziert und es
30 können geeignete Gegenmaßnahmen abgeleitet werden.

Das Verfahren und die Vorrichtung erfordern keine Entfernung der Solarmodule aus dem String. Die Prüfung kann vielmehr direkt an den montierten Solarmodulen vor

Ort vorgenommen werden. Prinzipiell ist selbstverständlich auch eine Entnahme der Solarmodule und eine Prüfung an einem anderen Ort, beispielsweise in einem Prüflabor, mit dem Verfahren und der Vorrichtung
5 möglich.

Das Verfahren und die Vorrichtung ermöglichen eine schnelle Unterscheidung von Leistungseinbußen von Solarmodulen hinsichtlich Halbleitermaterialdegradation
10 einerseits und optischen Verlusten oder elektrischen Verlusten in den peripheren Komponenten, wie z.B. Steckern oder Zuleitungen, andererseits. Der messtechnische Zusatzaufwand ist gering, wobei die vorgeschlagene Vorrichtung auch direkt in den
15 Wechselrichter eines Solarmoduls integriert werden kann. Messungen im laufenden Betrieb sind ohne Ausbau und/oder Transport der Module in ein Testlabor möglich. Das Verfahren und die zugehörige Vorrichtung lassen sich auch zur Qualitätskontrolle im Produktionsumfeld
20 einsetzen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens sowie der zugehörigen Vorrichtung wird bei den Messungen zusätzlich eine Referenzsolarzelle
25 genutzt, die gleichzeitig mit dem zu prüfenden Solarmodul unter den gleichen Beleuchtungsbedingungen vermessen wird. Dadurch können Stromschwankungen kompensiert werden, die durch eine Änderung der Lichtintensität und nicht durch die kapazitiven Effekte
30 verursacht wurden. Eine derartige Referenzsolarzelle kann beispielsweise auch direkt in die vorgeschlagene Vorrichtung integriert werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird das zu vermessende Solarmodul während der Messungen mit einer künstlichen Lichtquelle beleuchtet. In diesem Fall kann auf eine Referenzsolarzelle verzichtet werden, sofern durch die eingesetzte künstliche Lichtquelle sichergestellt wird, dass die Lichtintensität und Lichtverteilung während der Messungen konstant bleiben. Eine derartige künstliche Lichtquelle kann beispielsweise ebenfalls als Teil der vorgeschlagenen Vorrichtung ausgebildet sein. Bei dieser Ausgestaltung kann eine Prüfung unter normierten Bedingungen auch im Freifeld erfolgen. Weiterhin kann die Kapazitätsbestimmung dann vorteilhaft mit einer Leistungsmessung kombiniert werden.

Die vorgeschlagene Vorrichtung kann als eigenständiges Gerät betrieben werden, in einen Wechselrichter eines Solarmoduls oder einer Solarmodulanlage integriert sein, wobei dann mehrere Module gleichzeitig geprüft werden, oder auch in einen bestehenden Sonnensimulator integriert werden. Die spannungsabhängige Kapazität des Solarmoduls wird bei dem vorgeschlagenen Verfahren aus den zeitaufgelösten Strommessungen auf Basis eines elektrischen Modells des Solarmoduls berechnet. Ein beispielhaftes Modell lässt sich als Ersatzschaltbild des Solarmoduls darstellen, das wenigstens eine Stromquelle für den Generationsstrom unter Lichteinfall, den Parallel- oder Shuntwiderstand, den Serienwiderstand und die spannungsabhängige Kapazität des Solarmoduls umfasst. Gegebenenfalls enthält dieses Modell bzw. Ersatzschaltbild noch weitere elektrische Komponenten wie z.B. ein spannungsabhängiges Bauteil oder eine Diode.

- 10 -

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung lassen sich besonders vorteilhaft zur Kontrolle von Solarmodulen im Feldbetrieb einsetzen, insbesondere zur Identifizierung einer Leistungs-
5 minderung aufgrund einer Halbleitermaterial-Degradation. Mit dem Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung kann eine Unterscheidung der Halbleitermaterial-Degradation von anderen Verlustursachen, wie einer Verschmutzung oder Alterung der optischen
10 Komponenten, erfolgen. Weiterhin lassen sich das Verfahren und die Vorrichtung auch in der Inline-Qualitätskontrolle bei der Produktion von Solarzellen oder Solarmodulen einsetzen.

15

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals
20 näher erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein erstes Beispiel für ein zur Berechnung der spannungsabhängigen Kapazität beim vorgeschlagenen Verfahren
25 eingesetztes elektrisches Modell;

Fig. 2 ein zweites Beispiel für ein zur Berechnung der spannungsabhängigen Kapazität beim vorgeschlagenen Verfahren
30 eingesetztes elektrisches Modell;

Fig. 3 ein Beispiel für eine Strom-Spannungskennlinienmessung (simuliert) an einer

- 11 -

Solarzelle in Vorwärts- und
Rückwärtsrichtung;

5 Fig. 4 ein Beispiel für Strom-Spannungs-
 Kennlinien bei unterschiedlicher
 Materialdegradation der Solarzelle; und

10 Fig. 5 eine beispielhafte logarithmische
 Darstellung der spannungsabhängigen
 Kapazität einer Solarzelle bei
 unterschiedlicher Materialdegradation.

Wege zur Ausführung der Erfindung

15 Für die Prüfung von Solarzellen oder Solarmodulen
auf elektrische bzw. Halbleiter-Materialdegradation
wird beim vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen
Vorrichtung die spannungsabhängige elektrische
Kapazität der Solarzelle oder des Solarmoduls bestimmt.
20 Die hierzu eingesetzte Vorrichtung weist eine
Stromversorgung auf, die einen schnellen Spannungs-
wechsel innerhalb einer Zeitspanne von ≤ 200 ms
zwischen mindestens zwei Spannungswerten ermöglicht,
sowie einer Stromsenke bzw. Messeinrichtung, die den
25 generierten Strom des Solarmoduls dabei zeitlich
synchronisiert, d.h. zeitaufgelöst mit hoher
Geschwindigkeit misst. Aus diesen Messdaten und einem
hinterlegten elektrischen Modell des Solarmoduls kann
dann die Kapazität bestimmt werden. Dazu beinhaltet die
30 Vorrichtung eine Datenauswerteeinheit, die die
zeitabhängigen Strom-Spannungs-Kennwerte der Messungen
in die spannungsabhängigen Kapazitätswerte umrechnet
und mit Referenzwerten - oder auch mit Werten aus
früheren Messungen - vergleicht. Diese Messung bzw.

- 12 -

Bestimmung der Kapazität kann wiederholt in zeitlichen Abständen über die Lebensdauer eines Solarmoduls im Freifeld erfolgen. In einer einfachen Ausführung können durch diese Messungen auch nur relative Veränderungen
5 der spannungsabhängigen Kapazitäten und damit der elektrischen Materialdegradation über die Lebensdauer des Solarmoduls bestimmt werden.

Bei dem zur Prüfung eingesetzten Messverfahren
10 werden im vorliegenden Beispiel folgende Schritte durchgeführt:

- 1) Herstellung eines elektrischen Kontaktes des Solarmoduls mit der Messvorrichtung, beispielsweise
15 durch Initialisierung der Messfunktion bei Integration der Vorrichtung in einen Wechselrichter
- 2) Erste Messung: Vermessung des Solarmoduls bei aufsteigenden Spannungen, wobei sich die Werte der
20 Spannungen an den Betriebsspannungen bzw. den Leerlaufspannungen des Solarmoduls orientieren sollten, hierzu:
 - a) Einstellung einer Spannung am Solarmodul und schnelles Umschalten auf eine neue Spannung
 - 25 b) Messung der Stromabgabe des Solarmoduls unmittelbar vor und nach Einstellung der neuen Spannung
 - c) Wiederholung der Schritte 2)a) und 2)b)
- 30 3) Zweite Messung: Vermessung des Solarmoduls bei abfallenden Spannungen analog zu Punkt 2)
- 4) Rechnerischer Vergleich der Ströme der ersten Messung und der zweiten Messung basierend auf einem

elektrischen Modell des Solarmoduls und Bestimmung der spannungsabhängigen Kapazität auf Basis der Messungen und dieses Modells.

- 5 Die Reihenfolge der ersten und der zweiten Messung spielt dabei keine Rolle, da sie bei der Datenauswertung berücksichtigt werden kann. Alternativ zur zweiten Messung kann auch nur eine Strommessung im Gleichgewichtszustand (Steady-State-Messung) als
- 10 Vergleich durchgeführt werden. Dazu ist ein langsamer Wechsel zwischen den zwei Spannungen bzw. eine Pause nach dem Einstellen der Spannung notwendig.

- Sofern das Solarmodul gegenüber dem Ursprungszustand unmittelbar nach Auslieferung eine Leistungsverringerung zeigt und sich die gemessene bzw. bestimmte Kapazität von der Referenz-Kapazität unterscheidet, die beispielsweise direkt nach der Produktion des Solarmoduls oder eines bau- und
- 15 zustand unmittelbar nach Auslieferung eine Leistungsverringerung zeigt und sich die gemessene bzw. bestimmte Kapazität von der Referenz-Kapazität unterscheidet, die beispielsweise direkt nach der Produktion des Solarmoduls oder eines bau- und
- 20 herstellungsgleichen Solarmoduls gemessen bzw. bestimmt wurde, ist von einer elektrischen Materialdegradation der Halbleitermaterialien der Solarzellen auszugehen. Andernfalls wird die Leistungsverringerung durch optische Verluste oder elektrische Verluste in weiteren
- 25 Komponenten wie Steckern oder Verbindungsleitungen verursacht.

- Als elektrisches Modell für das Solarmodul kann beispielsweise ein Modell eingesetzt werden, wie es im
- 30 Ersatzschaltbild in Fig. 1 dargestellt ist. Das Ersatzschaltbild weist in diesem Beispiel als elektrische Komponenten eine Stromquelle für den Generationsstrom I_g , ein spannungsabhängiges Bauteil ($I=F(U)$), einen Parallel- oder Shuntwiderstand R_p ,

einen Serienwiderstand R_s sowie die spannungsabhängige Kapazität $C(U)$ auf.

Fig. 2 zeigt ein weiteres Beispiel für ein
5 entsprechendes elektrisches Modell, in diesem Fall ein
Eindiodenmodell, in dem anstelle des spannungs-
abhängigen Bauteils der Figur 1 eine Diode D verwendet
wird. Mit beiden Modellen lässt sich jeweils die
spannungsabhängige Kapazität aus den Strom-Spannungs-
10 messungen berechnen. Auch andere, insbesondere
detailliertere, elektrische Modelle einer Solarzelle
oder eines Solarmoduls können für die Berechnung
genutzt werden.

15 Fig. 3 zeigt eine simulierte I-U-Kennlinie eines
Solarmoduls bei beim schnellen Umschalten zwischen zwei
Spannungen innerhalb von 11 ms. In der Figur ist der
Stromverlauf (I gemessener Strom; I_0 Kurzschlussstrom)
in Abhängigkeit von der angelegten Spannung (U
20 angelegte Spannung; U_0 Leerlaufspannung) jeweils bei
einer Spannungserhöhung (vorwärts) und bei einer
Spannungserniedrigung (rückwärts) dargestellt. Aus
dieser Darstellung ist der Hysterese-Effekt aufgrund
der Kapazität des Solarmoduls deutlich zu erkennen.
25 Dieser Hysterese-Effekt führt bei den kurzen Schalt-
bzw. Messzeiten zu einer Aufspaltung der Kennlinien in
Abhängigkeit von der Schaltrichtung. Basierend auf dem
Ersatzschaltbild der Fig. 1 oder der Fig. 2 kann eine
Gleichgewichtskennlinie berechnet werden, wie sie in
30 der Fig. 3 ebenfalls dargestellt ist. Dies entspricht
einer Kennlinie, welche bei ideal langer Messzeit
gemessen wurde.

Für die Bestimmung der spannungsabhängigen Kapazität wird eine zeitabhängige Spannungsrampe mit einer Vielzahl von Spannungsstufen auf die Solarzelle oder das Solarmodul gegeben und jeweils die Ströme
5 gemessen. Dabei kann die Spannung entweder (bei kleinen Spannungen startend) ansteigen oder (bei großen Spannungen startend) abfallen. Typische Spannungsbereiche liegen für einzelnen Solarzellen zwischen -0,5 V und +0,8 V. Typische Ströme liegen bei bis zu 10 A.
10 Ausgangspunkt sind jeweils die gemessenen Ströme der beiden Richtungen als Funktion der Spannung sowie der zeitliche Verlauf der Spannungsrampe. Aus der Differenz der Ströme im Verhältnis zur Differenz der zeitlichen Ableitungen der Spannung lässt sich die spannungs-
15 abhängige Kapazität bestimmen.

Fig. 4 zeigt Beispiele für den Hysterese-Effekt einer Solarzelle bei verschiedenen Degradationsgraden (keine Degradation - mittlere Degradation - starke
20 Degradation). Die Zelle wurde hierzu absichtlich degradiert und so eine Reduktion der Zellleistung hervorgerufen. Der Unterschied der Messwerte zwischen den I-V-Kennlinien in Vorwärtsrichtung (steigende Spannung) und Rückwärtsrichtung (abnehmende Spannung)
25 nimmt ab, je weiter die Degradation fortgeschritten ist. Die Messung in Vorwärtsrichtung startet bei 0 V Zellspannung und endet bei der Leerlaufspannung U_0 . Für die Messung in Rückwärtsrichtung wurde diese Spannungsrampe umgekehrt. Aus den jeweiligen Vor- und
30 Rückwärtsmessungen wurden auf Basis des elektrischen Modells der Solarzelle spannungsabhängige Kapazitäten $C(U)$ für die drei Degradationsgrade erhalten.

Fig. 5 zeigt hierzu eine einfach logarithmische Darstellung dieser spannungsabhängigen Kapazität bei den unterschiedlichen Degradationsgraden. Die Hysterese nimmt in Folge der Degradation ab. Die durch die

5 Degradation reduzierte Ladungsträgerlebensdauer spiegelt sich dann in der reduzierten Kapazität wider, wie aus der Figur zu erkennen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Prüfung von Solarzellen oder
Solarmodulen auf elektrische Materialdegradation,
bei dem
5 - ein von der oder den Solarzelle(n) oder dem
Solarmodul erzeugter Strom während einer
stufenweisen Veränderung der elektrischen Spannung
an der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul
zeitaufgelöst gemessen wird, um auf Basis eines
10 elektrischen Modells der Solarzelle(n) oder des
Solarmoduls eine elektrische Kapazität der
Solarzelle(n) oder des Solarmoduls in Abhängigkeit
von der Spannung zu bestimmen, und
- aus der spannungsabhängigen elektrischen
15 Kapazität durch Vergleich mit Referenzwerten oder
einer früheren Messung an der oder den
Solarzelle(n) oder dem Solarmodul ein Grad oder
eine relative Veränderung einer elektrischen
Materialdegradation der Solarzelle(n) oder des
20 Solarmoduls bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass zur Bestimmung der spannungsabhängigen
25 elektrischen Kapazität wenigstens zwei Messungen
durchgeführt werden, von denen
- bei einer ersten Messung eine elektrische
Spannung an die Solarzelle(n) oder das Solarmodul
angelegt und stufenweise in einer ersten Richtung
30 verändert wird, und ein von der oder den
Solarzelle(n) oder dem Solarmodul erzeugter Strom

- während jeder stufenweisen Veränderung zeitaufgelöst gemessen wird, und
- bei einer zweiten Messung eine elektrische Spannung an die Solarzelle(n) oder das Solarmodul angelegt und entweder in einer zur ersten Richtung entgegengesetzten Richtung stufenweise verändert oder zur Einstellung eines Gleichgewichtszustandes in der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul bei unterschiedlichen Spannungswerten konstant gehalten wird, und ein von der oder den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul erzeugter Strom während jeder stufenweisen Veränderung zeitaufgelöst oder bei jeweils konstanter Spannung im Gleichgewichtszustand gemessen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass gleichzeitig eine Referenz-Solarzelle in der gleichen Weise vermessen wird, die der gleichen Beleuchtung wie die Solarzelle(n) oder das Solarmodul ausgesetzt ist, um durch die Beleuchtung verursachte Einflüsse auf das Messergebnis herauszurechnen.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Solarzelle(n) oder das Solarmodul bei der Prüfung mit Licht einer künstlichen Lichtquelle mit konstanter Lichtintensität und -verteilung beleuchtet wird oder werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich eine Leistungsmessung an der oder

den Solarzelle(n) oder dem Solarmodul durchgeführt wird.

- 5 6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, die wenigstens
- eine elektrische Strom- oder Spannungsversorgung, mit der ein stufenweiser Spannungswechsel zwischen wenigstens zwei elektrischen Spannungen an einer Solarzelle oder einem
 - 10 Solarmodul möglich ist,
 - eine Messeinrichtung, mit der ein durch die Solarzelle oder das Solarmodul während eines stufenweisen Spannungswechsels generierter Strom zeitaufgelöst messbar ist, und
 - 15 - eine Auswerteeinrichtung aufweist, die aus von der Messeinrichtung gelieferten Messdaten zu dem während des stufenweisen Spannungswechsels generierten Strom auf Basis eines hinterlegten elektrischen Modells eine spannungsabhängige
 - 20 elektrische Kapazität der Solarzelle oder des Solarmoduls bestimmt und durch Vergleich mit Referenzwerten oder einer früheren Messung einen Grad oder eine relative Veränderung einer elektrischen Materialdegradation der Solarzelle
 - 25 oder des Solarmoduls bestimmt.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6,
- dadurch gekennzeichnet,
- 30 dass die Vorrichtung eine Referenz-Solarzelle aufweist, die mit der Vorrichtung in der gleichen Weise und zur gleichen Zeit vermessen werden kann wie die Solarzelle oder das Solarmodul, wobei die Auswerteeinrichtung so ausgebildet ist, dass sie durch zeitlich schwankende Beleuchtung verursachte

- 20 -

Einflüsse auf die Bestimmung der spannungs-
abhängigen elektrischen Kapazität auf Basis der
Messung an der Referenz-Solarzelle kompensiert.

- 5 8. Vorrichtung nach Anspruch 6,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass die Vorrichtung eine künstliche Lichtquelle
 aufweist, mit der die Solarzelle oder das
 Solarmodul während der Messung beleuchtbar ist.

10

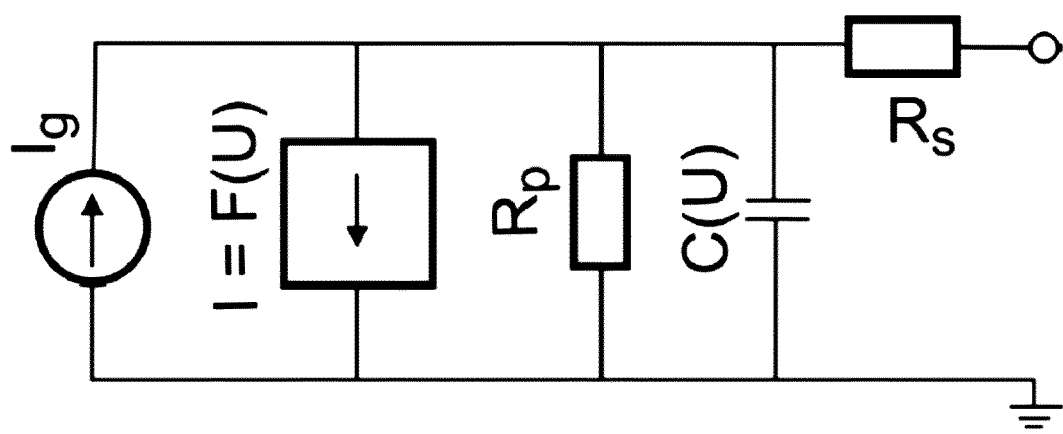


Fig. 1

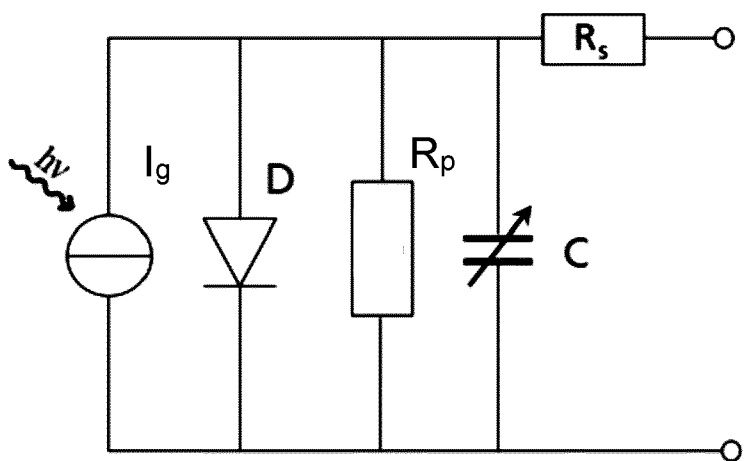
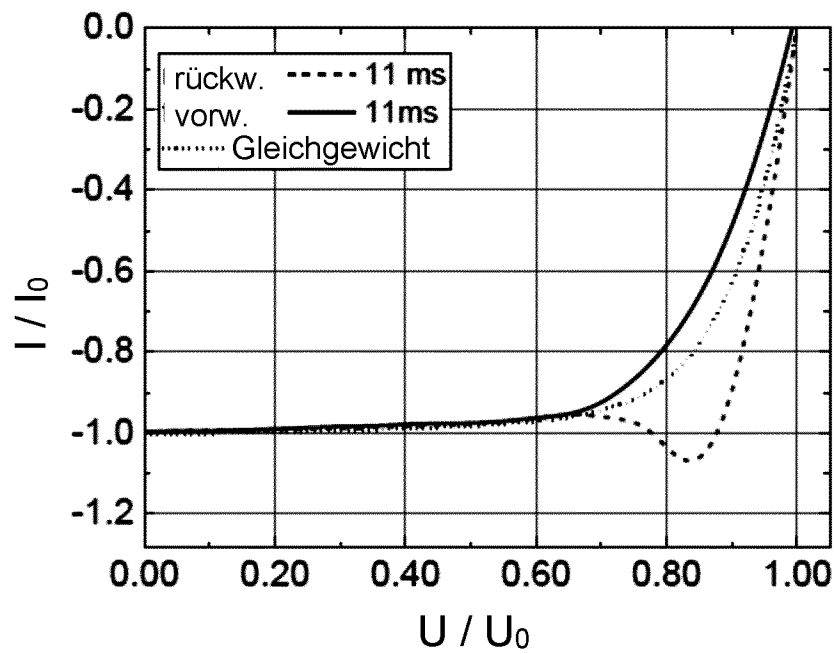
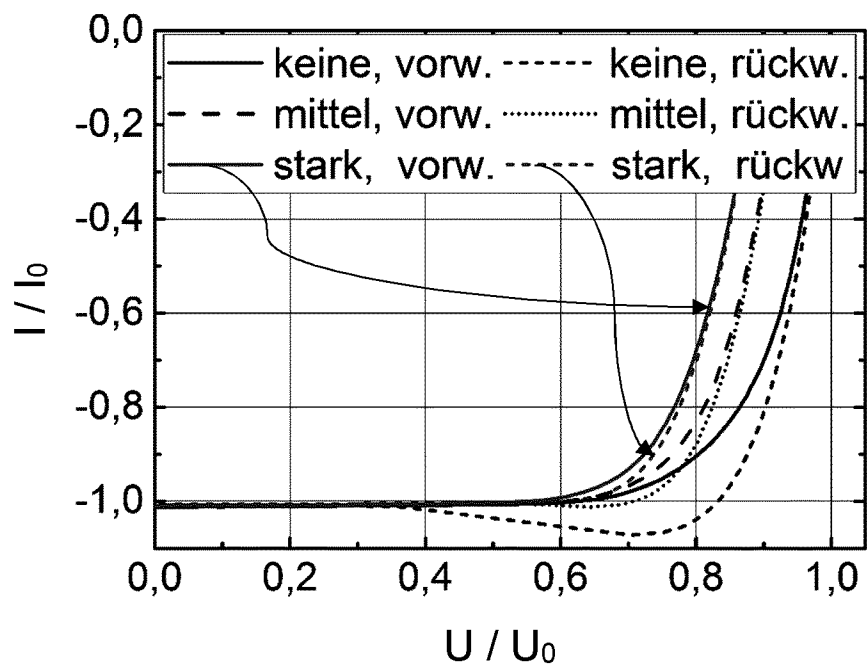
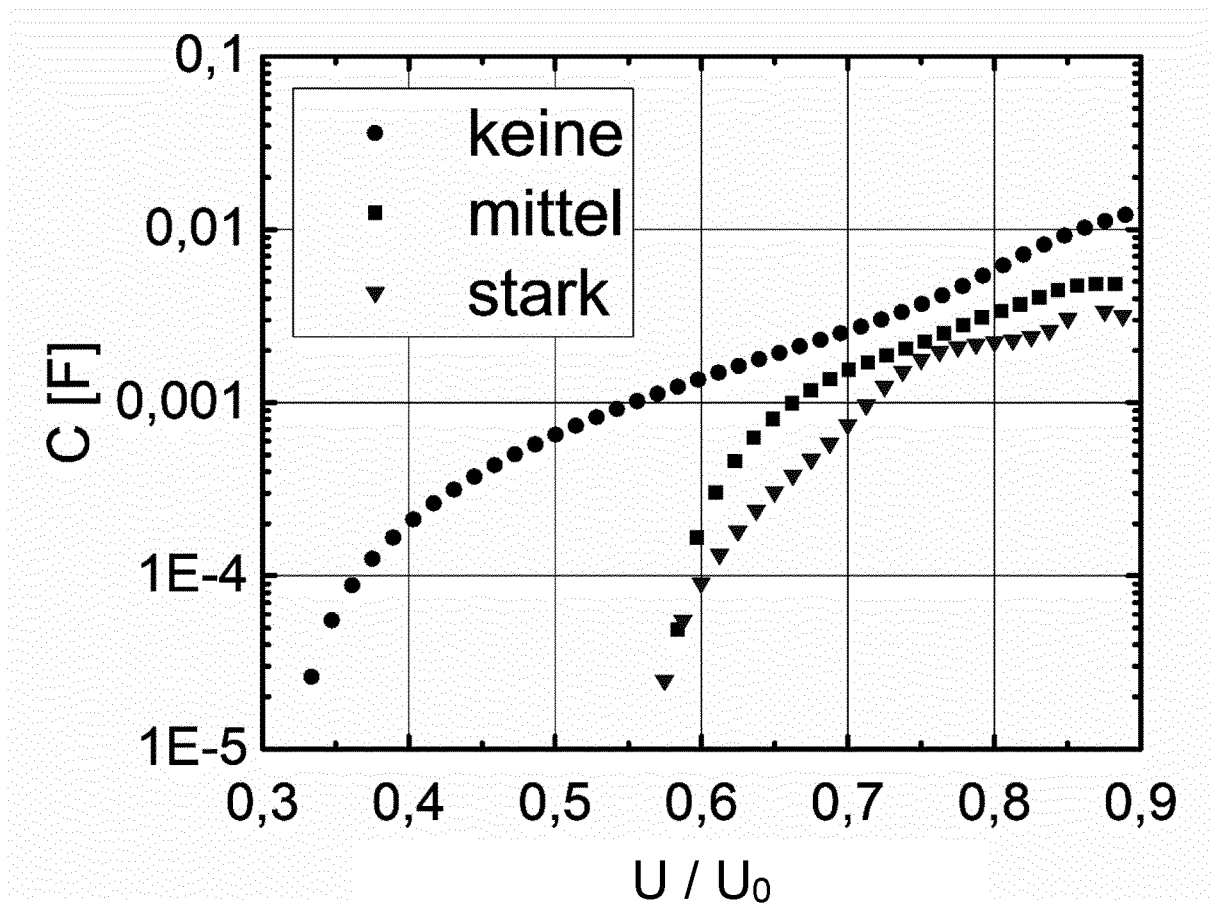


Fig. 2

Fig. 3Fig. 4

Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/065194**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H02S 50/10**(2014.01)i

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)

H02S

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2015127276 A1 (MONOKROUSSOS CHRISTOS [GR] ET AL) 07 May 2015 (2015-05-07) cited in the application paragraphs [0090] - [0133]; figures 1-3,7,8	1-8
A	US 2012038385 A1 (EAGLESHAM DAVID [US] ET AL) 16 February 2012 (2012-02-16) the whole document	1-8



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 July 2020

Date of mailing of the international search report

03 August 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Boero, Mauro

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/065194

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2015127276	A1	07 May 2015	CN	104641551	A	20 May 2015
				DE	112012006365	T5	29 January 2015
				EP	2850441	A1	25 March 2015
				JP	6140814	B2	31 May 2017
				JP	2015519864	A	09 July 2015
				US	2015127276	A1	07 May 2015
				WO	2013170422	A1	21 November 2013
US	2012038385	A1	16 February 2012	US	2012038385	A1	16 February 2012
				WO	2012021595	A1	16 February 2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02S50/10
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02S

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2015/127276 A1 (MONOKROUSSOS CHRISTOS [GR] ET AL) 7. Mai 2015 (2015-05-07) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0090] - [0133]; Abbildungen 1-3,7,8	1-8
A	US 2012/038385 A1 (EAGLESHAM DAVID [US] ET AL) 16. Februar 2012 (2012-02-16) das ganze Dokument	1-8



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. Juli 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/08/2020

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

Boero, Mauro

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/065194

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2015127276	A1	07-05-2015	CN	104641551 A	20-05-2015
			DE	112012006365 T5	29-01-2015
			EP	2850441 A1	25-03-2015
			JP	6140814 B2	31-05-2017
			JP	2015519864 A	09-07-2015
			US	2015127276 A1	07-05-2015
			WO	2013170422 A1	21-11-2013

US 2012038385	A1	16-02-2012	US	2012038385 A1	16-02-2012
			WO	2012021595 A1	16-02-2012
