

(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
21. Oktober 2021 (21.10.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/209082 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L 31/18 (2006.01) *H02S 50/15* (2014.01)
H01L 31/0224 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2021/000070

(22) Internationales Anmeldedatum:
01. April 2021 (01.04.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 002 335.5
17. April 2020 (17.04.2020) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EINGETRAGENER VEREIN** [DE/DE]; Hansastraße 27 C, 80686 München (DE). **CE CELL ENGINEERING GMBH** [DE/DE]; Orionstraße 1, 06184 Kabelsketal (DE).

(72) Erfinder: **ZHAO, Hongming**; Carl-Wentzel-Straße 28, 06110 Halle/Saale (DE). **STÖCKEL, Stefan**; Emil-Högg-Straße 7, 01445 Radebeul (DE). **HOFMÜLLER, Eckehard**; Thomas-Müntzer-Straße 11, 06780 Rieda (DE). **KRASSOWSKI, Eve**; Neue Straße 12, 06369 Groß-

badegast (DE). **TUREK, Marko**; Güthenstraße 20 B, 06108 Halle (DE). **HAGENDORF, Christian**; Franz-Schubert-Straße 10, 06108 Halle (DE). **GROSSER, Stephan**; Uhlandstraße 8, 06114 Halle (DE).

(74) Anwalt: **FINDEISEN NEUMANN SCHEIT PARTNERSCHAFT MBB**; Pornitzstraße 1, 09112 Chemnitz (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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, 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,

(54) Title: METHOD FOR IMPROVING THE OHMIC CONTACT BEHAVIOR BETWEEN A CONTACT GRID AND AN EMITTER LAYER OF A SILICON SOLAR CELL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR VERBESSERUNG DES OHMSCHEN KONTAKTVERHALTENS ZWISCHEN EINEM KONTAKTGITTER UND EINER EMITTERSCHICHT EINER SILIZIUMSOLARZELLE

(57) Abstract: The invention relates to a method for improving the ohmic contact behavior between a contact grid and an emitter layer of a silicon solar cell, wherein, in a treatment step with the silicon solar cell being subjected to bias voltage and illumination, a treatment current flow is induced with a current density relative to the treatment segment of 200 A/cm² to 20,000 A/cm². The problem addressed by the invention is that of improving the method for improving the ohmic contact behavior between a contact grid and an emitter layer of a silicon solar cell. In particular, a quantification of the improvement achieved by the method is intended to be possible when the method is carried out. Furthermore, possible damage resulting from the application of unfavorable method parameters is intended to be identified when the method is carried out. This problem is solved by virtue of the fact that a measurement step is performed before and/or after the treatment step and, during this measurement step, by way of illumination of the side of the silicon solar cells facing the sun and a bias voltage, a measurement current flow is induced with a current intensity of 1 mA/cm² to 500 mA/cm² and a current intensity of this measurement current flow is detected by a current measuring device and is stored in a manner assigned to the respective measurement segment.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle, wobei in einem Behandlungsschritt unter Vorspannung und Beleuchtung der Siliziumsolarzelle ein Behandlungsstromfluss mit einer auf den Behandlungsausschnitt bezogenen Stromdichte von 200 A/cm² bis 20.000 A/cm² induziert wird. Aufgabe der Erfindung ist es, das Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle zu verbessern. Insbesondere soll bei der Durchführung des Verfahrens eine Quantifizierung der durch das Verfahren erreichten Verbesserung möglich sein. Weiterhin soll bei der Durchführung des Verfahrens eine mögliche Schädigung durch Anwendung ungünstiger Verfahrensparameter erkannt werden. Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass vor und/oder nach dem Behandlungsschritt ein Messschritt ausgeführt wird und bei diesem Messschritt über eine Beleuchtung der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzellen und eine Vorspannung ein Messstromfluss mit einer Stromstärke von 1 mA/cm² bis 500 mA/cm² induziert wird und eine Stromstärke dieses Messstromflusses mit einem Strommessgerät erfasst und dem jeweiligen Messausschnitt zugeordnet abgespeichert wird.

WO 2021/209082 A1



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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*
- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)*
- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle, wobei in einem Behandlungsschritt mit einer Spannungsquelle und einer damit verbundenen Kontaktiereinrichtung eine entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtete Spannung, die betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle, zwischen dem Kontaktgitter und einem Rückkontakt der Siliziumsolarzelle angelegt wird und beim Anlegen dieser Spannung eine Punktlichtquelle über die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle geführt wird und dabei Behandlungsausschnitte von Teilbereichen der sonnenzugewandten Seite beleuchtet werden und damit ein Behandlungsstromfluss in dem jeweiligen Teilbereich induziert wird und dieser Behandlungsstromfluss bezogen auf den Behandlungsausschnitt eine Stromdichte von 200 A/cm^2 bis 20.000 A/cm^2 hat und für 10 ns bis 10 ms auf den Teilbereich einwirkt.

Im Zuge des Herstellungsprozesses von kristallinen Siliziumsolarzellen wird eine Metallpaste auf die mit dielektrischem Siliziumnitrid beschichtete Frontseite in Form eines Kontaktgitters im Siebdruckverfahren aufgetragen. Für die Kontaktierung der unterhalb der Siliziumnitridschicht liegenden Emitterschicht der Siliziumsolarzelle wird nach dem Auftragen der Metallpaste ein Temperschritt bei $800 - 900^\circ\text{C}$ durchgeführt. Dabei diffundiert das Silber der Metallpaste unterstützt durch eine in der Metallpaste enthaltene Glasfritte durch die Siliziumnitridschicht in die Emitterschicht ein. Die Prozessführung während des Temperschrittes hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Kontaktausbildung. Bei einer korrekten Prozessführung ist der Übergang zwischen dem Kontaktgitter und der Emitterschicht von einem niedrigen Kontaktwiderstand gekennzeichnet. Bei einer fehlerhaften Prozessführung wird meist nur ein hoher Kontaktwiderstand erreicht. Werden im Temperschritt beispielsweise zu niedrige Temperaturen angewendet, kann die Metallpaste nicht im ausreichenden Maße durch die Siliziumnitridschicht diffundieren, womit sich nur eine geringe Kontaktfläche und damit ein hoher Kontaktwiderstand zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht ausbildet. Hohe Kontaktwiderstände führen wiederum zu stark reduzierten Wirkungsgraden bei den Solarzellen, sodass diese dann nicht in Solarmodulen verbaut werden können und damit Ausschuss sind.

Aus dem Stand der Technik ist aus DE 10 2018 001 057 A1 ein Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle bekannt. Hierbei wird in einem Behandlungsschritt eine Siliziumsolarzelle entgegen ihrer Vorwärtsrichtung elektrisch vorgespannt und mit einer Punktlichtquelle abgerastert. Dabei wird in dem jeweils beleuchteten Teilbereich der Solarzelle ein Behandlungsstromfluss mit einer Stromdichte der Größenordnung 200 A/cm^2 bis 20.000 A/cm^2 erzeugt. Die Punktlichtquelle wird dabei so über die Solarzelle geführt, dass der Behandlungsstromfluss für 10 ns bis 10 ms auf den Teilbereich einwirkt. Dieser durch das Zusammenspiel von der Beleuchtung und der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung hervorgerufene Stromfluss resultiert in einer Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen dem Kontaktgitter und der Emitterschicht der Siliziumsolarzelle.

Nachteilig ist allerdings, dass zur Quantifizierung der durch das Verfahren erreichten Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens die Solarzelle nach dem Anwenden des Verfahrens elektrisch charakterisiert werden muss. Eine derartige Charakterisierung kann beispielsweise die Aufnahme der IU-Kennlinie der Solarzelle unter Bestrahlung in einem Sonnensimulator sein, wobei die Verbesserung des Kontaktverhaltens aus dem aus der IU-Kennlinie bestimmten Serienwiderstand der Siliziumsolarzelle abgeleitet werden kann. Eine Vermessung der Solarzelle vor und nach dem Anwenden des bekannten Verfahrens macht das Prozessieren der Solarzellen insgesamt aber aufwändig. Weiterhin kann die Anwendung des Verfahrens zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens bei einzelnen Solarzellen auch zu einer Schädigung führen, da beispielsweise bei einzelnen Teilbereichen dieser Solarzellen andere Parameter (beispielsweise eine kürzere Einwirkdauer des Stromflusses) anzusetzen wäre als für den Rest dieser Solarzellen. Ebenso kann das ohmsche Kontaktverhalten zwischen dem Kontaktgitter und der Emitterschicht der Siliziumsolarzelle lokal variieren, was grundsätzlich eine entsprechende Veränderung der Parameter bei der Anwendung des bekannten Verfahrens nach sich zieht. Mit dem bekannten Verfahren sind derartige lokale Variationen der Parameter zwar einstellbar. Allerdings sind bei der Anwendung des bekannten Verfahrens die Bereiche der Siliziumsolarzelle, bei denen eine entsprechende lokale Variation der Parameter notwendig ist, nicht bekannt.

Aufgabe der Erfindung ist es, das Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle zu verbessern. Insbesondere soll bei der Durchführung des Verfahrens eine Quantifizierung der durch das Verfahren erreichten Verbesserung möglich sein.

Weiterhin soll bei der Durchführung des Verfahrens eine mögliche Schädigung durch Anwendung ungünstiger Verfahrensparameter erkannt werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Ansprüchen 2 bis 20 aufgezeigt.

Beim an sich bekannten Verfahrensteil wird zunächst eine Siliziumsolarzelle mit der Emitterschicht, dem Kontaktgitter und einem Rückkontakt bereitgestellt. In einem Behandlungsschritt wird mittels einer Kontaktiereinrichtung und einer Spannungsquelle zwischen dem Kontaktgitter und dem Rückkontakt eine entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtete Spannung, die betragsmäßig kleiner ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle ist, angelegt. Beim Anlegen dieser Spannung wird dann eine Punktlichtquelle über die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle geführt, wobei Behandlungsausschnitte von Teilbereichen der sonnenzugewandten Seite beleuchtet werden und damit ein Behandlungsstromfluss in dem jeweiligen Teilbereich induziert wird und dieser Behandlungsstromfluss bezogen auf den Behandlungsausschnitt eine Stromdichte von 200 A/cm^2 bis 20.000 A/cm^2 hat und für 10 ns bis 10 ms auf den Teilbereich einwirkt.

Erfindungsgemäß wird vor und/oder nach dem Behandlungsschritt ein Messschritt ausgeführt. Bei diesem Messschritt wird mit der Spannungsquelle und der Kontaktiereinrichtung eine elektrische Spannung zwischen dem Kontaktgitter und dem Rückkontakt angelegt. Beim Anlegen dieser Spannung werden dann Messausschnitte von Teilbereichen der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle mit der Punktlichtquelle beleuchtet, wobei die Spannung und eine Beleuchtungsintensität so eingestellt werden, dass in dem jeweiligen Teilbereich ein Messstromfluss induziert wird, der bezogen auf den Messausschnitt eine Stromdichte von 1 mA/cm^2 bis 500 mA/cm^2 hat. Der Messstromfluss bei gegebener Spannung und Beleuchtungsintensität wird mit einem Strommessgerät erfasst und dem jeweiligen Messausschnitt zugeordnet abgespeichert.

Die für den jeweiligen Messausschnitt gemessenen Stromstärken stehen dann zur Weiterverarbeitung beispielsweise zum Prozess-Monitoring, zur Prozesssteuerung oder zur Qualitätskontrolle zur Verfügung. Bereiche mit einem guten ohmschen Kontaktverhalten zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht oder niedrigen lokalen Kurzschlussströmen heben sich durch eine höhere Stromstärke gegenüber Bereichen mit einem schlechteren ohmschen

Kontaktverhalten ab. Da die Stromstärken zum jeweiligen Messausschnitt und/oder Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert werden, liegt eine orts aufgelöste Information zu den elektrischen Eigenschaften der Siliziumsolarzelle vor. Diese orts aufgelösten Informationen können dann als Regelgrößen für den Behandlungsschritt genutzt werden. Im Behandlungsschritt können zur Beeinflussung des Behandlungsstromflusses eine Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle und/oder eine Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder eine Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung angepasst werden.

Je nach gewünschter Messinformation ist die im Messschritt angelegte Spannung entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtet und betragsmäßig geringer als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle ist oder die im Messschritt angelegte Spannung ist in Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtet.

In einer weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird während des Behandlungsschrittes für zumindest einen Teil der beleuchteten Behandlungsausschnitte der jeweilige Behandlungsstromfluss ebenfalls mit dem Strommessgerät erfasst und dem jeweiligen Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert. Die Erfassung der Stärke des Messstromflusses und die Erfassung der Stärke des Behandlungsstromflusses können zueinander optional erfolgen. Beispielsweise kann lediglich vor dem Behandlungsschritt ein Messschritt ausgeführt werden, ohne dass auch im Behandlungsschritt der Behandlungsstrom erfasst wird und ohne dass dem Behandlungsschritt ein weiterer Messschritt folgt. Ebenso kann beispielsweise auch nur im Behandlungsschritt der Behandlungsstromfluss erfasst werden, ohne dass überhaupt ein dem Behandlungsschritt vorgelagerter oder nachgelagerter Messschritt erfolgt. Auch ist es möglich, dass vor und nach dem Behandlungsschritt ein Messschritt erfolgt und auch im Behandlungsschritt der Behandlungsstromfluss erfasst wird oder es erfolgt nur eine Erfassung von Messstromflüssen in den dem Behandlungsschritt vor- und nachgelagerten Messschritten, ohne dass im Behandlungsschritt Behandlungsströme erfasst werden.

Auch die erfassten und abgespeicherten Werte der Behandlungsstromflüsse stehen dann zur Weiterverarbeitung beispielsweise zum Prozess-Monitoring, zur Prozesssteuerung oder zur Qualitätskontrolle zur Verfügung.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird im Messschritt bei gegebener Spannung und gegebener Beleuchtungsintensität die Stärke des Messstromflusses detektiert. Es ist allgemein bekannt, dass eine elektrische Messung auch bei konstantem Strom und

Detektion der jeweiligen Spannung erfolgen kann, sodass der Messschritt des erfindungsgemäßen Verfahrens auch derart ausgeführt werden kann, dass ein konstanter Stromfluss vorgegeben wird und die jeweilige elektrische Spannung mit einem Spannungsmesser erfasst und dem jeweiligen Messausschnitt bzw. Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert wird. Beide Formen der Messung sind beim Gegenstand der Erfindung also als äquivalent zu betrachten.

Ebenso ist das erfindungsgemäße Verfahren auch nicht auf die Abspeicherung der dem jeweiligen Messausschnitt bzw. Behandlungsausschnitt zugeordneten Stromstärken der Messstromflüsse bzw. Behandlungsstromflüsse beschränkt. Die Abspeicherung kann ebenso auch in einer umgerechneten Form, beispielsweise als Stromdichte erfolgen, wobei hierzu die jeweilige Stromstärke beispielsweise mit der Fläche des Messausschnittes verrechnet wird. Oder die Stromstärke wird beispielsweise bezogen auf die anliegende Spannung als Widerstandswert abgespeichert.

Die Spannungsquelle und die Kontaktiereinrichtung im Messschritt können dieselben sein, die auch im Behandlungsschritt verwendet werden. Dies hat den Vorteil, dass keine weitere Kontaktiereinrichtung notwendig ist. Allerdings ist die Erfindung nicht hierauf beschränkt. Für die Erfassung des Messstromflusses können grundsätzlich auch eine andere Kontaktiereinrichtung und/oder eine andere Spannungsquelle als die zur Erfassung des Behandlungsstroms verwendet werden. Auch hinsichtlich der Punktlichtquelle ist es natürlich vorteilhaft, sowohl im Behandlungsschritt, als auch im Messschritt dieselbe Punktlichtquelle zu verwenden, wobei die Erfindung aber nicht hierauf beschränkt ist und grundsätzlich auch unterschiedliche Punktlichtquellen verwendet werden können.

Mit der Erfassung des Behandlungsstromflusses und/oder des Messstromflusses bietet sich die Möglichkeit, die erfassten Stromflüsse als Maß für die Qualität des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen dem Kontaktgitter und der Emitterschicht heranzuziehen. Bei konstanter Beleuchtung und angelegter Spannung wird ein Teilbereich mit einem guten ohmschen Kontaktverhalten zwischen dem Kontaktgitter und der Emitterschicht einen stärkeren Messstromfluss aufweisen, als ein Teilbereich mit einem schlechten ohmschen Kontaktverhalten. Mit einem dem Behandlungsschritt vorgelagerten Messschritt können dabei Teilbereiche mit einem schlechten ohmschen Kontaktverhalten ausfindig gemacht werden. Für diese Bereiche werden dann im Behandlungsschritt beispielsweise abgewandelte Parameter für die entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtete Spannung und der Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle vorgesehen. Oder nur die Teilbereiche mit schlechten ohmschen Kontaktverhalten werden im

Behandlungsschritt bearbeitet und die Teilbereiche, die bereits ein gutes ohmsches Kontaktverhalten zeigen, können im Behandlungsschritt ausgelassen werden.

Eine dem Behandlungsschritt nachgelagerte Erfassung der Messstromflüsse kann beispielsweise als Qualitätsmerkmal für die weitere Verarbeitung der Siliziumsolarzelle im Solarmodul verwendet werden.

Mit einer Erfassung der Messstromflüsse sowohl vor, als auch nach dem Behandlungsschritt kann die durch den Behandlungsschritt erzielte Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens orts aufgelöst bestimmt werden. Eine Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens wird bei konstanten Parametern für Spannung und Beleuchtungsintensität als Verstärkung des Messstromflusses sichtbar. Auch hier ergibt sich die Möglichkeit, Teilbereiche ausfindig zu machen, die ggf. noch nicht die Zielwerte für ein gutes ohmsches Kontaktverhalten zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht erreicht haben und somit gezielt einem weiteren auf diese Teilbereiche begrenzten Behandlungsschritt unterzogen werden können.

Weiterhin können auch die im Behandlungsschritt gemessenen und lokal zugeordneten Behandlungsstromflüsse für die Einstellung der Parameter des Behandlungsschrittes selbst genutzt werden. Beispielsweise kann die einem Behandlungsausschnitt zugeordnete Stromstärke als Regelgröße für die Einstellung der Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle und/oder der Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder der Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung eines folgenden Behandlungsausschnittes im selben Behandlungsschritt eingesetzt werden.

Vorteilhaft ist ebenfalls, wenn im Behandlungsschritt bei der Beleuchtung eines der Behandlungsausschnitte eine erste Stromstärke und zeitlich nachgelagert eine zweite Stromstärke mit dem Strommessgerät erfasst wird und beide Stromstärken dem Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert werden. Aus diesen beiden Stromstärken kann dann für den jeweiligen Behandlungsausschnitt ein Stromstärkegradient berechnet werden, der als Maß für die Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens durch den Behandlungsschritt für jeden Behandlungsausschnitt herangezogen werden kann. Auch hier ist der Stromstärkegradient entweder innerhalb eines Behandlungsschrittes für die Regelung der Parameter eines nachgelagerten Behandlungsausschnittes oder auch für einen gänzlich nachgelagerten Behandlungsschritt verwendbar.

Neben der Erfassung der Stärke von Messstromflüssen oder Behandlungsstromflüssen bei Beleuchtung kann auch im vorgelagerten und/oder nachgelagerten Messschritt und/oder im Behandlungsschritt bei unbeleuchteter Siliziumsolarzelle ein Sperrstrom der Siliziumsolarzelle erfasst werden und zu den jeweiligen Behandlungsausschnitten oder Messausschnitten zugeordnet abgespeichert werden. Der Wert des Sperrstroms eignet sich dabei zur Bewertung einer möglichen Schädigung der Siliziumsolarzelle durch Anwendung des Behandlungsschrittes mit ungünstigen Parametern. Die Bewertung des Sperrstromes erfolgt anhand eines Referenzwertes, der beispielsweise mit einem aus einer dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgelagerten elektrischen Charakterisierung der Siliziumsolarzelle (z.B. Aufnahme einer IU-Kennlinie) gewonnenen Wert des Sperrstroms verglichen wird. Liegt beispielsweise der beim Anwenden des erfindungsgemäßen Verfahrens gemessene Sperrstrom höher als der aus der vorherigen elektrischen Charakterisierung generierte Wert des Sperrstroms, kann dies ein Hinweis auf eine Schädigung der Siliziumsolarzelle aufgrund unvorteilhafter Parameter bei der Anwendung des Verbesserungsverfahrens sein. Eine derartige Schädigung kann beispielsweise eine Erzeugung von Kurzschlüssen innerhalb der Siliziumsolarzelle sein, was in einer Erhöhung des Sperrstroms der Siliziumsolarzelle erkennbar wird.

Neben der Nutzung des aus einer vorherigen elektrischen Charakterisierung generierten Wertes des Sperrstroms kann ein Referenzwert auch ein im zum Behandlungsschritt vorgelagerten Messschritt erfasster Sperrstrom sein. Oder der Sperrstrom wird im Behandlungsschritt vor der Beleuchtung zumindest eines Teils der Behandlungsausschnitte gemessen.

In vorteilhafter Ausführung können Abweichungen des Sperrstroms vom jeweiligen Referenzsperrstrom ebenfalls als Regelgröße für die Einstellung der Beleuchtungsintensität und/oder der Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder der Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung zumindest eines Teils der Behandlungsausschnitte verwendet werden. Ebenso kann über die Festlegung eines Grenzwertes des Sperrstroms nach dem Behandlungsschritt und/oder über die Festlegung eines Grenzwertes für die Veränderung des Sperrstroms durch den Behandlungsschritt auch ein Aussortierkriterium für die Siliziumsolarzelle geschaffen werden, sodass entsprechende Siliziumsolarzellen dem weiteren Verarbeitungsverfahren entzogen werden können, um beispielsweise nicht in einem Solarmodul verbaut zu werden.

Bei der Erfassung der Sperrströme im Messschritt oder Behandlungsschritt kann die entgegen der Vorwärtsrichtung gerichtete Spannung, die betragsmäßig geringer ist als die

Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle ist, auch variiert werden. Zu vorgegebenen Spannungen wird damit je ein Sperrstrom bestimmt und dem jeweiligen Messausschnitt bzw. Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert. Über die Variation der entgegen der Vorwärtsrichtung gerichteten Spannung wird die Art der Schädigung der Siliziumsolarzelle erkennbar, sodass beispielsweise zwischen einer Schädigung in Form eines Risses in der Siliziumsolarzelle und einer in erhöhter Ladungsträgerrekombination resultierenden Schädigung unterschieden werden kann.

In weiteren Ausgestaltungen des Verfahrens wird im Behandlungsschritt und/oder im Messschritt bei der Beleuchtung zumindest eines Teils der Behandlungsausschnitte oder Messausschnitte ein von der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle reflektierter Anteil der Beleuchtung messtechnisch erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert. Es werden damit auch Veränderungen der optischen Eigenschaften aufgrund des Behandlungsschrittes erkennbar.

Bei der Beleuchtung der Messausschnitte im Messschritt und/oder der Beleuchtung der Behandlungsausschnitte im Behandlungsschritt werden vorteilhafterweise die Wellenlänge der von der Punktlichtquelle emittierten Lichtstrahlung verändert und auch für diese Lichtstrahlung im Messschritt und/oder Behandlungsschritt die Stromstärken erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert.

Bei der Erfassung der Stromstärken der Messstromflüsse und/oder der Behandlungsstromflüsse und/oder der Sperrströme kann vorteilhafterweise ein und dasselbe Strommessgerät eingesetzt werden. Die Erfindung ist aber nicht hierauf beschränkt. Je nach Messbereich können auch verschiedene Messgeräte verwendet werden. Beispielsweise sind die Stromstärken der Behandlungsströme und die Stromstärken der Sperrströme um Größenordnungen verschieden, sodass hier die Verwendung von zwei auf den jeweiligen Bereich optimierten Strommessgeräten sinnvoll sein kann.

Nachfolgend werden verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung erläutert.

Erstes Ausführungsbeispiel:

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle wird zunächst die Siliziumsolarzelle mit der Emitterschicht, dem Kontaktgitter und einem Rückkontakt bereitgestellt. Dies kann beispielsweise eine polykristalline Siliziumsolarzelle mit den Maßen

15,7 cm x 15,7 cm sein, die auf einem Bearbeitungstisch positioniert wird. Anschließend werden mittels einer Kontaktiereinrichtung das Kontaktgitter mit einem Pol einer Spannungsquelle und der Rückkontakt mit dem anderen Pol der Spannungsquelle elektrisch verbunden. Die Kontaktiereinrichtung kann beispielsweise Federkontaktstifte aufweisen, die auf dem Kontaktgitter bzw. dem Rückkontakt der Siliziumsolarzelle aufliegen und über Kabelverbindungen mit der Spannungsquelle verbunden sind.

In einem ersten Messschritt wird über die Kontaktiereinrichtung mit der Spannungsquelle zwischen dem Kontaktgitter und dem Rückkontakt eine in Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtete Spannung angelegt. Beim Anlegen dieser Spannung werden dann einzelne Messausschnitte von Teilbereichen der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle mit einer Punktlichtquelle beleuchtet. Diese Punktlichtquelle kann beispielsweise ein Laser oder auch eine fokussierte Weißlichtquelle sein. Durch die Beleuchtung wird ein Messstromfluss in dem jeweiligen Teilbereich induziert, wobei die angelegte Spannung und eine Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle so eingestellt sind, dass dieser Messstromfluss bezogen auf den Messausschnitt eine Stromdichte von 1 mA/cm^2 bis 500 mA/cm^2 hat. Für die Beleuchtung der einzelnen Messausschnitte wird nun das von der Punktlichtquelle emittierte Licht von Messausschnitt zu Messausschnitt geführt, wobei dabei die angelegte Spannung und die Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle konstant gehalten werden. Mit einem Strommessgerät (Amperemeter) und der Kontaktiereinrichtung wird nun für jeden Messausschnitt der Stromfluss in der Siliziumsolarzelle gemessen, wobei die erfassten Stromstärken des jeweiligen Messstromflusses dem jeweiligen Messausschnitt zugeordnet abgespeichert werden. Die Zuordnung der gemessenen Stromstärke zum jeweiligen Messausschnitt erfolgt dadurch, dass zur jeweiligen Stromstärke beispielsweise auch die Lagekoordinaten dieses Messausschnitts auf der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle mit gespeichert werden.

In einem dem ersten Messschritt folgenden Behandlungsschritt wird dann mit der Spannungsquelle und der Kontaktiereinrichtung eine entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtete Spannung, die betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle, angelegt. Beim Anlegen dieser Spannung wird dann die bereits im Messschritt verwendete Punktlichtquelle über die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle geführt, wobei dabei Behandlungsausschnitte von Teilbereichen der sonnenzugewandten Seite beleuchtet werden. Durch die Beleuchtung wird in dem jeweiligen Teilbereich ein Stromfluss induziert. Dieser Stromfluss hat bezogen auf den Ausschnitt eine Stromdichte von 200 A/cm^2 bis 20.000 A/cm^2 und wirkt für 10 ns bis 10 ms

auf den Teilbereich ein. Die Stromstärke und die Einwirkzeit werden innerhalb dieses Parameterfensters über eine Bewegungsgeschwindigkeit der Punktlichtquelle gegenüber der Siliziumsolarzelle, eine Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle und die Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten (aber gegenüber der Durchbruchsspannung betragsmäßig geringeren) Spannung eingestellt. Durch diesen Behandlungsschritt wird das ohmsche Kontaktverhalten zwischen den Kontaktfingern und der Emitterschicht der Siliziumsolarzelle insbesondere in Bereichen, die vor dem Behandlungsschritt hohe Kontaktwiderstände zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht aufweisen, deutlich verbessert.

Nach dem Behandlungsschritt wird ein weiterer zum ersten Messschritt analoger zweiter Messschritt ausgeführt. Auch hier werden vorzugsweise bei zum ersten Messschritt identischen Parametern für Spannung und Beleuchtungsintensität erneut die Stromstärken der Messstromflüsse erfasst und dem jeweiligen Messausschnitt zugeordnet abgespeichert. Für jeden Messausschnitt liegen nun ein Wert für die Stärke des Messstromflusses vor dem Behandlungsschritt und ein Wert für die Stärke des Messstromflusses nach dem Behandlungsschritt vor. Aus der Veränderung der Werte des jeweiligen Messstroms erhält man damit eine orts aufgelöste Quantifizierung für die Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht. Auch die aus den Messstromflüssen berechnete Veränderung kann dem jeweiligen Messausschnitt zugeordnet abgespeichert werden. Je nach erzieltm Ergebnis (Veränderung der Stärke der Messstromflüsse) kann dann die Siliziumsolarzelle einem weiteren Behandlungsschritt zugeführt werden. In diesem weiteren Behandlungsschritt werden dann beispielsweise nur die Behandlungsausschnitte bearbeitet, bei denen die entsprechenden Messausschnitte in den Messschritten noch nicht die vorgegebene Veränderung der Messstromflüsse und/oder einen vorgegebene Zielwert des Messstromflusses erreicht haben.

Die in den Messschritten angelegte Spannung kann entweder entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtet und betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle sein oder die in den Messschritten angelegte Spannung ist in Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtet.

Zweites Ausführungsbeispiel:

Die Messschritte erfolgen analog zum ersten Ausführungsbeispiel. Abweichend werden aber im Behandlungsschritt die Parameter für die entgegen der Vorwärtsrichtung gerichteten Spannung und die Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle anhand der im ersten

Messschritt erfassten Stromstärken der Messstromflüsse angepasst. Bereiche, die im ersten Messschritt niedrige Stromstärken des Messstromflusses zeigen, werden im Behandlungsschritt mit einem stärkeren Behandlungsstromfluss und/oder einer längeren Einwirkzeit des Behandlungsstromflusses bearbeitet als Bereiche, die bereits eine hohe Stromstärke des Messstromflusses zeigen. Die Erhöhung des Behandlungsstromflusses kann über eine Erhöhung der entgegen der Vorwärtsrichtung gerichteten Spannung und/oder einer Erhöhung der Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle erreicht werden. Eine Erhöhung der Einwirkzeit des Behandlungsstromflusses wird über eine Verweildauer der Punktlichtquelle am jeweiligen Behandlungsausschnitt gesteuert.

Drittes Ausführungsbeispiel:

Auch hier werden in den Messschritten die Messstromflüsse bei Beleuchtung der Messausschnitte erfasst und der Behandlungsschritt entsprechend ausgeführt. Darüber hinaus wird im zweiten Messschritt vor und/oder nach der Beleuchtung zumindest eines ersten Teils der Messausschnitte die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle unbeleuchtet belassen und mit der Spannungsquelle eine entgegen der Vorwärtsrichtung gerichtete Spannung, die betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle, über die Kontaktiereinrichtung zwischen dem Kontaktgitter und dem Rückkontakt angelegt, sodass beim Anlegen der Spannung ein Sperrstrom der Siliziumsolarzelle mit dem Strommessgerät erfasst wird. Dieser Sperrstrom wird dann den jeweiligen Messausschnitten zugeordnet abgespeichert. Der jeweilige Sperrstrom kann dann als Kennwert für eine mögliche Schädigung der Siliziumsolarzelle durch den Behandlungsschritt herangezogen werden. Hierzu werden die ermittelten Sperrströme der vermessenen Messausschnitte mit einem Referenzsperrstrom verglichen, der aus einer dem Verfahren vorgelagerten elektrischen Charakterisierung der Siliziumsolarzelle gewonnenen worden ist. Diese elektrische Charakterisierung kann beispielsweise die im Herstellungsverfahren der Siliziumsolarzelle übliche Aufnahme der IU-Kennlinie bei der Bestimmung des Solarzellenwirkungsgrades sein. Vorteilhafterweise wird der Sperrstrom im Messschritt vor oder nach der Beleuchtung aller Messausschnitte gemessen.

Die Veränderung des im zweiten Messschritt ermittelten Sperrstroms gegenüber dem vorher ermittelten Referenzsperrstrom dient als Maß der durch den Behandlungsschritt erzeugten Schädigung der Siliziumsolarzelle. Steigt der Sperrstrom der Siliziumsolarzelle nach dem Behandlungsschritt an, kann auf eine Schädigung der Siliziumsolarzelle durch den Behandlungsschritt geschlossen werden.

Viertes Ausführungsbeispiel:

Der Ablauf des Verfahrens erfolgt analog zum dritten Ausführungsbeispiel. Abweichend hiervon wird der Referenzsperrstrom allerdings im ersten Messschritt generiert. Hierzu wird wie im zweiten Messschritt vor und/oder nach der Beleuchtung zumindest ein erster Teil der Messausschnitte die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle unbeleuchtet belassen, sodass beim Anlegen der Spannung ein Sperrstrom der Siliziumsolarzelle mit dem Strommessgerät erfasst wird. Die Veränderung des im zweiten Messschritt erfassten Sperrstroms gegenüber dem im ersten Messschritt erfassten Sperrstrom dient dann als Maß für eine mögliche durch den Behandlungsschritt verursachte Schädigung der Siliziumsolarzelle.

Fünftes Ausführungsbeispiel:

Neben oder anstelle der Erfassung der Messstromflüsse und/oder Sperrströme in den Messschritten werden auch im Behandlungsschritt für zumindest einen Teil der beleuchteten Behandlungsausschnitte die tatsächlichen Stromstärken der Behandlungsstromflüsse erfasst und dem jeweiligen Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert. Die Stromstärke wird am Ende der Einwirkzeit des Stromflusses auf den jeweiligen Teilbereich erfasst. Die zu den Behandlungsausschnitten erfassten Behandlungsströme dienen als Maß für die durch den Behandlungsschritt erreichte Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht. Werden die Behandlungsausschnitte mit identischen Parametern für die entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung und Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle bearbeitet, werden Bereiche mit einem besseren ohmschen Kontaktverhältnis zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht dadurch sichtbar, dass die Stromstärken am Ende der Behandlung des jeweiligen Behandlungsausschnitts höher liegen. Die für die einzelnen Behandlungsausschnitte erfassten und gespeicherten Behandlungsströme werden beispielsweise in der Weiterverarbeitung der Siliziumsolarzelle als Qualitätsmerkmal verwendet. Ebenso können die erfassten und gespeicherten Behandlungsströme auch hinsichtlich einer Durchführung eines weiteren Behandlungsschrittes genutzt werden, wobei beispielsweise im weiteren Behandlungsschritt gezielt die Bereiche mit niedrigen gemessenen Behandlungsströmen nochmals mit veränderten Parametern bearbeitet werden. Die veränderten Parameter sind hier wieder die Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle und/oder die Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder die Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung.

Sechstes Ausführungsbeispiel:

Wird anders als im vierten Ausführungsbeispiel vor dem Behandlungsschritt kein Messschritt durchgeführt, kann ein Referenzsperrstrom für den Vergleich mit dem im zweiten Messschritt ermittelten Sperrstrom auch im Behandlungsschritt bestimmt werden. Hierzu wird im Behandlungsschritt vor der Beleuchtung der Behandlungsausschnitte die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle unbeleuchtet belassen und beim Anlegen der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzellen gerichteten Spannung der Sperrstrom erfasst.

Siebttes Ausführungsbeispiel:

Anders als bei den vorgenannten Ausführungsbeispielen können, sowohl der Referenzsperrstrom, als auch die nach der Bearbeitung der Behandlungsausschnitte nur im Behandlungsschritt gemessen werden. Hierzu wird im Behandlungsschritt vor der Beleuchtung eines ersten Teils der Behandlungsausschnitte die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle unbeleuchtet belassen und beim Anlegen der entgegen der Vorwärtsrichtung gerichteten Spannung der Sperrstrom erfasst. Anschließend wird der erste Teil der Behandlungsausschnitte nach und nach beleuchtet. Am Ende der Beleuchtung des ersten Teils der Behandlungsausschnitte wird die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle wieder unbeleuchtet belassen und erneut der Sperrstrom erfasst. Der Wert des vor der Beleuchtung des ersten Teils der Behandlungsausschnitte erfassten Sperrstroms dient dann als Referenzwert für den nach der Beleuchtung des ersten Teils der Behandlungsausschnitte erfassten Sperrstrom.

Wird die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle im Behandlungsschritt bei der Bearbeitung der Behandlungsausschnitte beispielsweise zeilenweise mit der Punktlichtquelle abgerastert, werden die entlang jeder Zeile liegenden Behandlungsausschnitte nacheinander beleuchtet. Nach jeder Zeile wird die Punktlichtquelle ausgeschaltet oder im eingeschalteten Zustand über den Rand der Siliziumsolarzelle hinweg von der sonnenzugewandten Seite der Solarzelle weggeführt, sodass die sonnenzugewandte Seite der Solarzelle vollständig unbeleuchtet ist und beim Anlegen der entgegen der Vorwärtsrichtung gerichteten Spannung der Sperrstrom erfasst werden kann. Jeweils der nach dem Beleuchten einer Zeile erfasste Sperrstrom dient dann als Referenzsperrstrom für den nach der Beleuchtung einer folgenden Zeile generierten Sperrstrom. Damit kann eine mögliche Schädigung der Siliziumsolarzelle sogar der Bearbeitung einer bestimmten Zeile (bzw. Behandlungsausschnitten) zugeordnet werden.

Achtes Ausführungsbeispiel:

Die Bearbeitung erfolgt analog zum siebten Ausführungsbeispiel. Darüber hinaus wird eine Veränderung der vor und nach der Beleuchtung einer Zeile generierten Sperrströme als Regelgröße für die Einstellung der Parameter (Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle, Einwirkzeit der Beleuchtung, Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung gerichteten Spannung) bei der Beleuchtung einer folgenden Zeile im Bearbeitungsschritt eingesetzt. Wird beispielsweise eine Erhöhung des Sperrstroms erkannt, werden die Parameter (beispielsweise Einwirkzeit der Beleuchtung) bei der Beleuchtung der folgenden Zeile dahingehend geändert, dass eine weitere Erhöhung des Sperrstroms vermieden wird.

Bei allen vorgenannten Ausführungsbeispielen kann als weitere Ausführung bei der Erfassung der Sperrströme im Messschritt oder Behandlungsschritt auch die entgegen der Vorwärtsrichtung gerichtete Spannung variiert werden, sofern diese nach wie vor betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle. Zu vorgegebenen Spannungen wird damit je ein Sperrstrom bestimmt und dem jeweiligen Messausschnitt bzw. Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert.

Neuntes Ausführungsbeispiel:

Die im Behandlungsschritt erfassten Behandlungsstromflüsse (vgl. fünftes Ausführungsbeispiel) der Behandlungsausschnitte werden zur Regelung der Parameter bei der Bearbeitung folgender Behandlungsausschnitte eingesetzt. Die Regelung erfolgt dabei so, dass der bei der Bearbeitung eines Behandlungsausschnittes erfasste Behandlungsstromfluss mit einem Referenzwert verglichen wird. Ist der erfasste Behandlungsstromfluss beispielsweise geringer als dieser Referenzwert kann dies ein Zeichen für eine noch nicht ausreichende Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen Kontaktgitter und Emitterschicht sein. In einem hierzu folgenden Behandlungsausschnitt werden daher die Parameter bei der Beleuchtung dieses Behandlungsausschnitts entsprechend angepasst.

Zehntes Ausführungsbeispiel:

Abweichend zum fünften Ausführungsbeispiel, wo die Stromstärke des Behandlungsstromflusses jeweils am Ende der Einwirkzeit des Stromflusses auf den jeweiligen Teilbereich erfasst wird, werden hier für jeden Behandlungsausschnitt bei dessen Beleuchtung zunächst eine erste Stromstärke und zeitlich nachgelagert eine zweite

Stromstärke mit dem Strommessgerät erfasst und beide Stromstärken dem Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert. Die Veränderung (Gradient) der Stromstärke wird als Maß für die Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen dem Kontaktgitter und der Emitterschicht genutzt. Die Erhöhung der Stromstärke während der Beleuchtung eines Behandlungsausschnittes zeigt eine Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens an. Eine nur geringe oder keine Erhöhung der Stromstärke deutet auf nur eine geringe oder keine Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens hin. Die Änderung der Stromstärke während der Beleuchtung eines Behandlungsausschnittes wird daher für die Regelung der Parameter (Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle, Einwirkzeit der Beleuchtung, Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung gerichteten Spannung) zumindest eines folgenden Behandlungsausschnittes verwendet. Neben der Verwendung des Gradienten der Stromstärke als Regelgröße, wird dieser auch dem jeweiligen Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert.

Bei allen aufgeführten Ausführungsbeispielen wird optional im Behandlungsschritt und/oder im Messschritt bei der Beleuchtung zumindest eines Teils der Behandlungsausschnitte oder Messausschnitte ein von der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle reflektierter Anteil der Beleuchtung messtechnisch erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert. Weiterhin wird optional bei der Erfassung des reflektierten Anteils die Wellenlänge der von der Punktlichtquelle emittierten Lichtstrahlung verändert, wobei der reflektierte Anteil für vorgegebene Wellenlängen erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert wird. Auch bei der Erfassung der Stromstärken der Messstromflüsse und/oder der Behandlungsstromflüsse wird optional die Wellenlänge der von der Punktlichtquelle emittierten Lichtstrahlung verändert, wobei auch hier die Stromstärken der Messstromflüsse und/oder der Behandlungsstromflüsse jeweils für vorgegebene Wellenlängen erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung des ohmschen Kontaktverhaltens zwischen einem Kontaktgitter und einer Emitterschicht einer Siliziumsolarzelle, wobei in einem Behandlungsschritt mit einer Spannungsquelle und einer damit verbundenen Kontaktiereinrichtung eine entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtete Spannung, die betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle, zwischen dem Kontaktgitter und einem Rückkontakt der Siliziumsolarzelle angelegt wird und beim Anlegen dieser Spannung eine Punktlichtquelle über die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle geführt wird und dabei Behandlungsausschnitte von Teilbereichen der sonnenzugewandten Seite beleuchtet werden und damit ein Behandlungsstromfluss in dem jeweiligen Teilbereich induziert wird und dieser Behandlungsstromfluss bezogen auf den Behandlungsausschnitt eine Stromdichte von 200 A/cm^2 bis 20.000 A/cm^2 hat und für 10 ns bis 10 ms auf den Teilbereich einwirkt, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor und/oder nach dem Behandlungsschritt ein Messschritt ausgeführt wird und bei diesem Messschritt mit der Spannungsquelle und der Kontaktiereinrichtung eine elektrische Spannung zwischen dem Kontaktgitter und dem Rückkontakt angelegt wird und beim Anlegen dieser Spannung Messausschnitte von Teilbereichen der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle mit der Punktlichtquelle beleuchtet werden und damit ein Messstromfluss in dem jeweiligen Teilbereich induziert wird und dieser Messstromfluss bezogen auf den Messausschnitt eine Stromdichte von 1 mA/cm^2 bis 500 mA/cm^2 hat und eine Stromstärke des Messstromflusses mit einem Strommessgerät erfasst und dem jeweiligen Messausschnitt zugeordnet abgespeichert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Behandlungsschrittes eine Stromstärke des Behandlungsstromflusses für zumindest einen Teil der beleuchteten Behandlungsausschnitte mit einem Strommessgerät erfasst und dem jeweiligen Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert wird.
3. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Messschritt angelegte Spannung entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtet und betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle ist oder dass die im Messschritt angelegte Spannung in Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichtet ist.
4. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Messschritt einem Messausschnitt zugeordnete Stromstärke des

Messstromflusses als Regelgröße in dem diesem Messschritt folgenden Behandlungsschritt für die Einstellung einer Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle und/oder der Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder der Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung zumindest eines der Behandlungsausschnitte dient.

5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus der im dem Behandlungsschritt vorgelagerten Messschritt erfassten Stromstärke eines der Messausschnitte und der im dem Behandlungsschritt nachgelagerten Messschritt erfassten Stromstärke dieses Messausschnittes eine Änderung bestimmt wird und diese Änderung dem jeweiligen Messausschnitt zugeordnet abgespeichert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einem Messausschnitt zugeordnete Änderung der Stromstärke als Regelgröße für einen weiteren Behandlungsschritt für die Einstellung einer Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle und/oder der Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder der Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung zumindest eines der Behandlungsausschnitte dient.
7. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Behandlungsschritt die einem Behandlungsausschnitt zugeordnete Stromstärke als Regelgröße für die Einstellung einer Beleuchtungsintensität der Punktlichtquelle und/oder der Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder der Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung eines folgenden Behandlungsausschnittes des Behandlungsschrittes dient.
8. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Behandlungsschritt bei der Beleuchtung eines der Behandlungsausschnitte eine erste Stromstärke und zeitlich nachgelagert eine zweite Stromstärke mit dem Strommessgerät erfasst wird und beide Stromstärken dem Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus der ersten und der zweiten Stromstärke ein Stromstärkegradient bestimmt und dem Behandlungsausschnitt zugeordnet abgespeichert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der im Behandlungsschritt dem Behandlungsausschnitt zugeordnete Stromstärkegradient als Regelgröße für die Einstellung der Beleuchtungsintensität und/oder der Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder der Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung

der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung eines folgenden Behandlungsausschnittes in dem Behandlungsschritt dient.

11. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Behandlungsschritt vor und/oder nach der Beleuchtung zumindest eines ersten Teils der Behandlungsausschnitte die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle unbeleuchtet ist und dabei ein Sperrstrom der Siliziumsolarzelle mit dem Strommessgerät erfasst wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Messschritt vor und/oder nach der Beleuchtung zumindest eines ersten Teils der Messausschnitte die sonnenzugewandte Seite der Siliziumsolarzelle unbeleuchtet ist und mit der Spannungsquelle über die Kontaktiereinrichtung zwischen dem Kontaktgitter und dem Rückkontakt eine entgegen der Vorwärtsrichtung gerichtete Spannung, die betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle ist, angelegt wird und dabei ein Sperrstrom der Siliziumsolarzelle mit dem Strommessgerät erfasst wird und den Messausschnitten zugeordnet abgespeichert wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sperrstrom mit einem Referenzsperrstrom verglichen wird und eine Abweichung des Sperrstroms vom Referenzsperrstrom als Regelgröße für die Einstellung der Beleuchtungsintensität und/oder der Einwirkzeit der Beleuchtung und/oder der Höhe der entgegen der Vorwärtsrichtung der Siliziumsolarzelle gerichteten Spannung bei der Beleuchtung eines weiteren Teils der Ausschnitte der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle dient.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Referenzsperrstrom aus einer dem Verfahren vorgelagerten elektrischen Charakterisierung der Siliziumsolarzelle gewonnenen wurde.
15. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der im Behandlungsschritt vor der Beleuchtung des ersten Teils der Behandlungsausschnitte erfasste Sperrstrom als Referenzsperrstrom für den nach dem für den ersten Teil der Behandlungsausschnitte erfassten Sperrstrom dient.
16. Verfahren nach Anspruch 11 und 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der im Behandlungsschritt für einen Behandlungsausschnitt herangezogene Referenzsperrstrom der Sperrstrom ist, der in dem dem Behandlungsschritt vorgelagerten Messschritt für einen Messausschnitt ermittelt worden ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass im Messschritt und/oder im Behandlungsschritt zur Erfassung des Sperrstroms die entgegen der Vorwärtsrichtung gerichtete Spannung, die betragsmäßig geringer ist als die Durchbruchsspannung der Siliziumsolarzelle ist, variiert wird.
18. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Behandlungsschritt und/oder im Messschritt bei der Beleuchtung zumindest eines Teils der Behandlungssauschnitte oder Messauschnitte ein von der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle reflektierter Anteil der Beleuchtung messtechnisch erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Behandlungsschritt und/oder im Messschritt bei der Beleuchtung des zumindest eines Teils der Behandlungssauschnitte oder Messauschnitte die Wellenlänge einer von der Punktlichtquelle emittierten Lichtstrahlung verändert wird und auch bei dieser Wellenlänge ein von der sonnenzugewandten Seite der Siliziumsolarzelle reflektierter Anteil der Beleuchtung messtechnisch erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert wird.
20. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Messschritt und/oder im Behandlungsschritt die Wellenlänge einer von der Punktlichtquelle emittierten Lichtstrahlung verändert wird und auch für diese Lichtstrahlung im Messschritt und/oder Behandlungsschritt die Stromstärken erfasst und dem jeweiligen Ausschnitt zugeordnet abgespeichert werden.
21. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Strommessgerät mit der Kontaktiereinrichtung oder einer weiteren mit dem Kontaktgitter und dem Rückkontakt der Siliziumsolarzelle verbundenen Kontaktiereinrichtung verbunden ist.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2021/000070

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L 31/18(2006.01)i; H01L 31/0224(2006.01)i; H02S 50/15(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) H01L; 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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102016009560 A1 (AIC HÖRMANN GMBH & CO KG [DE]) 08 February 2018 (2018-02-08) abstract; figures 1,5 paragraphs [0001], [0006] - [0014], [0022] - [0023], [0026] - [0028], [0034] - [0036]	1-21
X	MAYBERRY RYAN ET AL. "Laser Enhanced Contact Optimization (LECO) and LECO-Specific Pastes - A Novel Technology for Improved Cell Efficiency" <i>EU PVSEC 2019 - 36TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION : PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN MARSEILLE, FRANCE, 09 SEPTEMBER-13 SEPTEMBER 2019</i> , DE, 12 September 2019 (2019-09-12), pages 1-1 ISBN: 978-3-936338-60-7. XP055832020 abstract PL images and Isc values before and after the LECO treatment step process sequence, ref. "LECO Unit" and ref. 9 "Characterization"	1-21
Y	DE 102018001057 A1 (AIC HOERMANN GMBH & CO KG [DE]) 08 August 2019 (2019-08-08) cited in the application abstract paragraphs [0001] - [0002], [0006], [0009] - [0017], [0022] - [0028]	1-21
☒ 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 01 September 2021		Date of mailing of the international search report 09 September 2021
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 Sagol, Bülent Erol Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	COSSUTTA H ET AL. "Low-cost system for micrometer-resolution solar cell characterization by light beam-induced current mapping" <i>MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY, IOP, BRISTOL, GB</i>, Vol. 25, No. 10, 29 August 2014 (2014-08-29), page 105801, [retrieved on 2014-08-29] DOI: 10.1088/0957-0233/25/10/105801 ISSN: 0957-0233, XP020271263 abstract; figures 1,2,4,5,6,7,8 section "2. Set-up design"; page 2 - page 4	1-21
Y	CARSTENSEN J ET AL. "CELLO: an advanced LBIC measurement technique for solar cell local characterization" <i>SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL</i>, Vol. 76, No. 4, April 2003 (2003-04), pages 599-611 DOI: 10.1016/S0927-0248(02)00270-2 ISSN: 0927-0248, XP004409575 abstract; figures 1-2,4-12 section "2. The measurement technique"; page 600 - page 602	1-21
Y	VAN DER HEIDE A S H ET AL. "Error diagnosis and optimisation of c-Si solar cell processing using contact resistances determined with the Corescanner" <i>SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL</i>, Vol. 74, No. 1-4, October 2002 (2002-10), pages 43-50 DOI: 10.1016/S0927-0248(02)00046-6 ISSN: 0927-0248, XP004376924 abstract; figures 2,3,4,5,6 section "2. Contact resistance"; page 44 - page 45 sub-section "3.2 Corescanner method"; page 46 - page 48	1-21
A	GUVENCH MUSTAFA ET AL. "Solar Simulator and I-V Measurement System For Large Area Solar Cell Testing" <i>2004 ANNUAL CONFERENCE PROCEEDINGS</i>, 2004, pages 9.1107.1-9.1107.7 DOI: 10.18260/1-2--13121 XP055832310 the whole document	1
X,P	KRASSOWSKI EVE ET AL. "Investigation of monocrystalline p-type PERC cells featuring the laser enhanced contact optimization process and new LECO paste" <i>AIP CONFERENCE PROCEEDINGS</i>, NEW YORK, US, Vol. 2367, 05 October 2020 (2020-10-05), pages 020005-1 DOI: 10.1063/5.0056380 ISSN: 0094-243X, XP055831899 the whole document	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2021/000070

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
DE	102016009560	A1	08 February 2018	CN	109673171 A	23 April 2019
				DE	102016009560 A1	08 February 2018
				EP	3494601 A1	12 June 2019
				JP	2019525471 A	05 September 2019
				KR	20190035850 A	03 April 2019
				WO	2018024274 A1	08 February 2018
DE	102018001057	A1	08 August 2019	CN	111742417 A	02 October 2020
				DE	102018001057 A1	08 August 2019
				EP	3750191 A1	16 December 2020
				JP	2021513218 A	20 May 2021
				KR	20200113275 A	06 October 2020
				TW	201941449 A	16 October 2019
				US	2020365746 A1	19 November 2020
				WO	2019154450 A1	15 August 2019

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01L31/18 H01L31/0224 H02S50/15 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01L 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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2016 009560 A1 (AIC HÖRMANN GMBH & CO KG [DE]) 8. Februar 2018 (2018-02-08) Zusammenfassung; Abbildungen 1,5 Absätze [0001], [0006] - [0014], [0022] - [0023], [0026] - [0028], [0034] - [0036] ----- -/--	1-21
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
1. September 2021		09/09/2021
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 Sagol, Bülent Erol

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	MAYBERRY RYAN ET AL: "Laser Enhanced Contact Optimization (LECO) and LECO-Specific Pastes - A Novel Technology for Improved Cell Efficiency", EU PVSEC 2019 - 36TH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION : PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN MARSEILLE, FRANCE, 09 SEPTEMBER-13 SEPTEMBER 2019, 12. September 2019 (2019-09-12), Seiten 1-1, XP055832020, DE ISBN: 978-3-936338-60-7 Zusammenfassung PL-Bilder und Isc-Werte vor und nach dem LECO-Behandlungsschritt Prozessablauf, Ref. "LECO Unit" und Ref. 9 "Characterization" -----	1-21
Y	DE 10 2018 001057 A1 (AIC HOERMANN GMBH & CO KG [DE]) 8. August 2019 (2019-08-08) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Absätze [0001] - [0002], [0006], [0009] - [0017], [0022] - [0028] -----	1-21
Y	COSSUTTA H ET AL: "Low-cost system for micrometer-resolution solar cell characterization by light beam-induced current mapping", MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY, IOP, BRISTOL, GB, Bd. 25, Nr. 10, 29. August 2014 (2014-08-29), Seite 105801, XP020271263, ISSN: 0957-0233, DOI: 10.1088/0957-0233/25/10/105801 [gefunden am 2014-08-29] Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,4,5,6,7,8 Abschnitt "2. Set-up design"; Seite 2 - Seite 4 ----- -/--	1-21

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	CARSTENSEN J ET AL: "CELLO: an advanced LBIC measurement technique for solar cell local characterization", SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, Bd. 76, Nr. 4, April 2003 (2003-04), Seiten 599-611, XP004409575, ISSN: 0927-0248, DOI: 10.1016/S0927-0248(02)00270-2 Zusammenfassung; Abbildungen 1-2,4-12 Abschnitt "2. The measurement technique"; Seite 600 - Seite 602 -----	1-21
Y	VAN DER HEIDE A S H ET AL: "Error diagnosis and optimisation of c-Si solar cell processing using contact resistances determined with the Corescanner", SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL, Bd. 74, Nr. 1-4, Oktober 2002 (2002-10), Seiten 43-50, XP004376924, ISSN: 0927-0248, DOI: 10.1016/S0927-0248(02)00046-6 Zusammenfassung; Abbildungen 2,3,4,5,6 Abschnitt "2. Contact resistance"; Seite 44 - Seite 45 Unterabschnitt "3.2 Corescanner method"; Seite 46 - Seite 48 -----	1-21
A	GUVENCH MUSTAFA ET AL: "Solar Simulator and I-V Measurement System For Large Area Solar Cell Testing", 2004 ANNUAL CONFERENCE PROCEEDINGS, 2004, Seiten 9.1107.1-9.1107.7, XP055832310, DOI: 10.18260/1-2--13121 das ganze Dokument -----	1
X,P	KRASSOWSKI EVE ET AL: "Investigation of monocrystalline p-type PERC cells featuring the laser enhanced contact optimization process and new LECO paste", AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, Bd. 2367, 5. Oktober 2020 (2020-10-05), Seiten 020005-1, XP055831899, NEW YORK, US ISSN: 0094-243X, DOI: 10.1063/5.0056380 das ganze Dokument -----	1-21

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2021/000070

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102016009560 A1	08-02-2018	CN 109673171 A	23-04-2019
		DE 102016009560 A1	08-02-2018
		EP 3494601 A1	12-06-2019
		JP 2019525471 A	05-09-2019
		KR 20190035850 A	03-04-2019
		WO 2018024274 A1	08-02-2018

DE 102018001057 A1	08-08-2019	CN 111742417 A	02-10-2020
		DE 102018001057 A1	08-08-2019
		EP 3750191 A1	16-12-2020
		JP 2021513218 A	20-05-2021
		KR 20200113275 A	06-10-2020
		TW 201941449 A	16-10-2019
		US 2020365746 A1	19-11-2020
		WO 2019154450 A1	15-08-2019



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 115769386 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 07

(21) 申请号 202180029010.6

(22) 申请日 2021.04.01

(30) 优先权数据

102020002335.5 2020.04.17 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.10.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/DE2021/000070 2021.04.01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/209082 DE 2021.10.21

(71) 申请人 弗劳恩霍夫应用研究促进协会

地址 德国慕尼黑

申请人 CE面板工程有限公司

(72) 发明人 赵宏明 S·施特克尔

E·霍夫米勒 E·克拉索夫斯基

M·图雷克 C·哈根多尔夫

S·格罗塞尔

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司
11287

专利代理师 林彦

(51) Int.Cl.

H01L 31/18 (2006.01)

(54) 发明名称

改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法,其中在一个处理步骤中以对所述硅太阳能电池施加预置电压且进行照射的方式通过感应产生就所述处理局部而言电流密度为 $200\text{A}/\text{cm}^2$ 至 $20000\text{A}/\text{cm}^2$ 的处理电流。本发明的目的是,对改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法进行改善。特别是应在实施所述方法时实现对所述方法所实现的改善的量化。此外,应在实施所述方法时识别出因使用不利的方法参数而造成的可能的损伤。本发明用以达成上述目的的解决方案为,在所述处理步骤之前和/或之后实施测量步骤,在所述测量步骤中,通过照射所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧并且施加预置电压来通过感应产生电流强度为 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 至 $500\text{mA}/\text{cm}^2$ 的测量电流,以及,用电流表检测所述测量电流的电流强度,并且与所述相应测量局部

对应地存储。

1. 一种改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法,其中在一个处理步骤中用电压源和与所述电压源连接的接触装置在所述硅太阳能电池的接触格与背触点之间施加一个反向于所述硅太阳能电池的正向的小于所述硅太阳能电池的击穿电压的电压,以及,当施加所述电压时,在所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧的范围内对点光源进行导引,以及,在此过程中对所述面向太阳的一侧的分区进行处理局部进行照射,从而在所述相应分区内通过感应产生处理电流,以及,所述处理电流就所述处理局部而言具有 $200\text{A}/\text{cm}^2$ 至 $20000\text{A}/\text{cm}^2$ 的电流密度且为时 10ns 至 10ms 地作用于所述分区,其特征在于,在所述处理步骤之前和/或之后实施测量步骤,在所述测量步骤中,用所述电压源和所述接触装置在所述接触格与所述背触点之间施加一个电压,以及,当施加所述电压时,用所述点光源照射所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧的分区测量局部,从而在所述相应分区内通过感应产生测量电流,所述测量电流就所述测量局部而言具有 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 至 $500\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度,以及,用电流表检测所述测量电流的电流强度,并且与所述相应测量局部对应地存储。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在所述处理步骤期间,针对所述被照射的处理局部的至少一部分,用电流表检测所述处理电流的电流强度,并且与所述相应处理局部对应地存储。

3. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述测量步骤中所施加的电压反向于所述硅太阳能电池的正向且小于所述硅太阳能电池的击穿电压,或者,所述测量步骤中所施加的所述电压沿所述硅太阳能电池的正向定向。

4. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述测量电流的在所述测量步骤中对应于某个测量局部的电流强度用作在所述测量步骤之后的处理步骤中照射所述处理局部中的至少一个时设定所述点光源的照射强度和/或所述照射的作用时间和/或反向于所述硅太阳能电池的正向的电压的水平的调节变量。

5. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,由所述测量局部中的一个的在所述处理步骤上游的测量步骤中检测到的电流强度以及所述测量局部的在所述处理步骤下游的测量步骤中检测到的电流强度确定变化,并且与所述相应测量局部对应地存储所述变化。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述电流强度的对应于某个测量局部的变化用作另一处理步骤的在照射所述处理局部中的至少一个时设定所述点光源的照射强度和/或所述照射的作用时间和/或反向于所述硅太阳能电池的正向的电压的水平的调节变量。

7. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,在所述处理步骤中对应于某个处理局部的所述电流强度用作照射所述处理步骤的后一处理局部时设定所述点光源的照射强度和/或所述照射的作用时间和/或反向于所述硅太阳能电池的正向的电压的水平的调节变量。

8. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,在所述处理步骤中,当照射所述处理局部中的一个时,用电流表检测第一电流强度,随后检测第二电流强度,并且与所述处理局部对应地存储所述两个电流强度。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,由所述第一和所述第二电流强度确定电流强度梯度,并且与所述处理局部对应地存储。

10. 根据权利要求9所述的方法, 其特征在于, 在所述处理步骤中对应于所述处理局部的所述电流强度梯度用作照射所述处理步骤中的后一处理局部时设定所述照射强度和/或所述照射的作用时间和/或反向于所述硅太阳能电池的正向的电压的水平的调节变量。

11. 根据上述权利要求中任一项所述的方法, 其特征在于, 在所述处理步骤中, 在照射所述处理局部的至少第一部分之前和/或之后, 所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧不被照射, 在此过程中, 用所述电流表对所述硅太阳能电池的反向电流进行检测。

12. 根据权利要求1至10中任一项所述的方法, 其特征在于, 在所述测量步骤中, 在照射所述测量局部的至少第一部分之前和/或之后, 所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧不被照射, 并且通过所述接触装置在所述接触格与所述背触点之间用所述电压源施加一个反向于所述正向的小于所述硅太阳能电池的击穿电压的电压, 在此过程中, 用所述电流表对所述硅太阳能电池的反向电流进行检测, 并且与所述测量局部对应地存储。

13. 根据权利要求11所述的方法, 其特征在于, 将所述反向电流与参考反向电流进行对比, 且所述反向电流与所述参考反向电流的偏差用作照射所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧的局部的另一部分时设定所述照射强度和/或所述照射的作用时间和/或反向于所述硅太阳能电池的正向的电压的水平的调节变量。

14. 根据权利要求13所述的方法, 其特征在于, 所述参考反向电流从所述方法上游的所述硅太阳能电池的电表征中获得。

15. 根据权利要求13所述的方法, 其特征在于, 在所述处理步骤中照射所述处理局部的第一部分之前检测到的所述反向电流用作照射所述照射处理局部的第一部分之后检测到的反向电流的参考反向电流。

16. 根据权利要求11和12所述的方法, 其特征在于, 所述处理步骤中用于处理局部的所述参考反向电流是所述处理步骤上游的测量步骤中针对某个测量局部测得的反向电流。

17. 根据权利要求11至16中任一项所述的方法, 其特征在于, 在所述测量步骤和/或所述处理步骤中, 为检测所述反向电流, 改变所述反向于所述正向的小于所述硅太阳能电池的击穿电压的电压。

18. 根据上述权利要求中任一项所述的方法, 其特征在于, 在所述处理步骤和/或所述测量步骤中, 当照射所述处理局部或测量局部的至少一部分时, 通过测量检测从所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧反射的所述照射分量, 并且与所述相应局部对应地存储。

19. 根据权利要求18所述的方法, 其特征在于, 在所述处理步骤和/或所述测量步骤中, 当照射所述处理局部或测量局部的至少一部分时, 改变所述点光源发出的光辐射的波长, 并且同样在所述波长下, 通过测量检测从所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧反射的所述照射分量, 并且与所述相应局部对应地存储。

20. 根据上述权利要求中任一项所述的方法, 其特征在于, 在所述测量步骤和/或所述处理步骤中, 所述改变点光源发出的光辐射的波长, 并同样针对所述光辐射在所述测量步骤和/或所述处理步骤中检测所述电流强度, 并且与所述相应局部对应地存储。

21. 根据上述权利要求中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述电流表与所述接触装置连接, 或者与另一与所述硅太阳能电池的接触格和背触点连接的接触装置连接。

改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法

[0001] 本发明涉及一种改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法,其中在一个处理步骤中用电压源和与所述电压源连接的接触装置在所述硅太阳能电池的接触格与背触点之间施加一个反向于所述硅太阳能电池的正向的小于所述硅太阳能电池的击穿电压的电压,以及,当施加所述电压时,在所述硅太阳能电池的面向太阳的一侧的范围内对点光源进行导引,以及,在此过程中对所述面向太阳的一侧的分区进行处理局部进行照射,从而在所述相应分区内通过感应产生处理电流,以及,所述处理电流就所述处理局部而言具有 $200\text{A}/\text{cm}^2$ 至 $20000\text{A}/\text{cm}^2$ 的电流密度且为时 10ns 至 10ms 地作用于所述分区。

[0002] 在晶体硅太阳能电池的制造过程中,以丝网印刷法将金属膏施覆至涂布有介电的氮化硅的、形式为接触格的前端。针对硅太阳能电池的位于氮化硅层下方的发射极层的接触,在施覆金属膏后在 $800\text{-}900^\circ\text{C}$ 下实施回火步骤。其中,在金属膏中所含有的玻璃粉的协助下,金属膏的银穿过氮化硅层扩散进入发射极层。其中,回火步骤期间的过程控制对接触形成有决定性影响。在过程控制正确的情况下,接触格与发射极层之间的过渡处具有接触电阻低的特征。在过程控制有缺陷的情况下,通常仅实现较高的接触电阻。如果在回火步骤中例如应用过低的温度,则金属膏无法充分地穿过氮化硅层扩散,故在接触格与发射极层之间仅形成较小的接触面以及较高的接触电阻。高接触电阻又导致太阳能电池的效率大幅降低,使得这些太阳能电池无法装在太阳能组件中,进而报废。

[0003] 在现有技术中,由DE 10 2018 001 057 A1已知一种改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法。其中,在一个处理步骤中反向于硅太阳能电池的正向对此硅太阳能电池施加预置电压,并且用点光源进行扫描。在此过程中,在此太阳能电池的相应被照射的分区内产生电流密度在 $200\text{A}/\text{cm}^2$ 至 $20000\text{A}/\text{cm}^2$ 数量级的处理电流。其中,在此太阳能电池上导引点光源,使得处理电流为时 10ns 至 10ms 地作用于此分区。通过照射和反向于硅太阳能电池的正向的电压的相互作用产生的这个电流使得硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性得到改善。

[0004] 但缺点在于,为将通过此方法实现的欧姆接触特性的改善量化,必须在应用此方法后对此太阳电池进行电表征。这种表征例如可以是在太阳能模拟器中记录太阳能电池在照射下的IU特性曲线,其中可以由IU特性曲线所确定的硅太阳能电池的串联电阻推导出接触特性的改善。但在应用已知方法之前和之后对太阳能电池的测量使得太阳能电池的处理过程整体上难度较大。此外,应用此方法来改善各个太阳能电池中的欧姆接触特性也可能造成损伤,因为例如在这些太阳能电池的各分区内均需要设置不同于这些太阳能电池的其余部分的参数(例如更短的电流作用时长)。硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性同样可以局部发生变化,这原则上需要在应用已知方法时相应地改变参数。参数的这种局部变化可以借助于已知方法来调节。但在应用已知方法时,硅太阳能电池的需要相应地局部改变参数的区域是未知的。

[0005] 本发明的目的是,对改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法进行改善。特别是应在实施所述方法时实现对所述方法所实现的改善的量化。此外,

应在实施所述方法时识别出因使用不利的方法参数而造成的可能的损伤。

[0006] 本发明用以达成上述目的的解决方案为具有权利要求1的特征的一种改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法。有利技术方案在权利要求2至20中示出。

[0007] 在已知的方法部分中,首先提供包含发射极层、接触格和背触点的硅太阳能电池。在一个处理步骤中,借助于接触装置和电压源在接触格与背触点之间施加一个反向于硅太阳能电池的正向的、小于硅太阳能电池的击穿电压的电压。当施加这个电压时,在硅太阳能电池的面向太阳的一侧的范围内对点光源进行导引,其中对所述面向太阳的一侧的分区进行处理局部进行照射,从而在所述相应分区内通过感应产生处理电流,以及,这个处理电流就所述处理局部而言具有 $200\text{A}/\text{cm}^2$ 至 $20000\text{A}/\text{cm}^2$ 的电流密度且为时 10ns 至 10ms 地作用于所述分区。

[0008] 根据本发明,在处理步骤之前和/或之后实施测量步骤。在这个测量步骤中,用电压源和接触装置在接触格与背触点之间施加一个电压。在此情形下,当施加这个电压时,用点光源照射硅太阳能电池的面向太阳的一侧的分区,其中如此地设定电压和照射强度,从而在相应分区内通过感应产生测量电流,该测量电流就测量局部而言具有 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 至 $500\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度。在给定的电压和照射强度下,用电流表检测测量电流,并且与相应测量局部对应地存储。

[0009] 在此情形下,针对相应测量局部测得的电流强度可用于后续处理,例如用于过程监控、过程控制或品控。在接触格与发射极层之间具有良好的欧姆接触特性或较小的局部短路电流的区域因相对于具有不良欧姆接触特性的区域具有更高的电流强度而显露出来。由于电流强度是与相应测量局部和/或处理局部对应地存储,因此,存在有关于硅太阳能电池的电气特性的空间分辨信息。在此情形下,将这些空间分辨信息用作处理步骤的调节变量。在处理步骤中,为影响处理电流,可以在照射时对点光源的照射强度和/或照射的作用时间和/或反向于硅太阳能电池的正向的电压的水平进行调整。

[0010] 视具体所期望的测量信息,测量步骤中所施加的电压反向于硅太阳能电池的正向且小于硅太阳能电池的击穿电压,或者,测量步骤中所施加的电压沿硅太阳能电池的正向定向。

[0011] 在本发明的方法的另一实施方案中,在处理步骤期间,针对被照射的处理局部的至少一部分,同样用电流表检测相应的处理电流,并且与相应处理局部对应地存储。对测量电流的强度的检测和对处理电流的强度的检测可以相互可选地实施。例如可以仅在处理步骤之前实施测量步骤,而无需在处理步骤中同时检测处理电流,且无需在处理步骤后实施另一测量步骤。同样地,例如也可以仅在处理步骤中检测处理电流,而完全不需要在处理步骤上游或下游实施测量步骤。同样可以在处理步骤之前或之后实施测量步骤,并且在处理步骤中同时检测处理电流,或者仅在处理步骤上游或下游的测量步骤中检测测量电流,而无需在处理步骤中检测处理电流。

[0012] 在此情形下,检测到并且存储的处理电流值可用于后续处理,例如用于过程监控、过程控制或品控。

[0013] 在本发明的方法中,在测量步骤中,在给定的电压和给定的照射强度下检测测量电流的强度。众所周知的是,在电流恒定并且对相应电压进行检测的情况下也可以实施电

测量,由此可以如此地实施本发明的方法的测量步骤,从而预设恒定的电流并用电压表检测相应的电压,并且与相应测量局部或处理局部对应地存储。亦即,这两种形式的测量在本发明的主题中被视为等效的。

[0014] 本发明的方法同样不局限于存储测量电流或处理电流的与相应的测量局部或处理局部对应的电流强度。存储同样可以以转换后的形式,例如作为电流密度实施,其中为此例如以测量局部的面积来计算相应电流强度。或者,电流强度例如与所施加电压相关地作为电阻值存储。

[0015] 测量步骤中的电压源和接触装置可以与处理步骤中所使用的相同。其优点在于不需要其他接触装置。但本发明并不局限于此。为检测测量电流,原则上也可以使用另一接触装置和/或另一电压源作为用于检测处理电流的接触装置和/或电压源。当然,在点光源方面同样有利地,在处理步骤与测量步骤中使用相同的点光源,但其中本发明并不局限于此,原则上也可以使用不同的点光源。

[0016] 通过检测处理电流和/或测量电流,可以将检测到的电流用作接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的品质的衡量尺度。在持续照射且施加电压的情况下,在接触格与发射极层之间具有良好的欧姆接触特性的分区比具有不良欧姆接触特性的分区具有更大的测量电流。其中,可以通过处理步骤上游的测量步骤找出具有不良欧姆接触特性的分区。随后,针对这些区域,在处理步骤中设置经过修改的反向于硅太阳能电池的正向的电压和点光源的照射强度的参数。或者,在处理步骤中仅对具有不良欧姆接触特性的分区进行加工,处理步骤中可以略过已显示出良好欧姆接触特性的分区。

[0017] 例如可以将处理步骤下游的对测量电流的检测用作进一步处理太阳能组件中的硅太阳能电池的品质特征。

[0018] 通过在处理步骤之前以及之后检测测量电流,可以空间分辨地确定处理步骤所实现的对欧姆接触特性的改善。在电压和照射强度的参数恒定的情况下,欧姆接触特性的改善作为测量电流的增大而可见。在此也可以找出可能尚未达到接触格与发射极层之间的良好的欧姆接触特性的目标值的分区,从而针对性地实施限制在这些分区上的进一步处理步骤。

[0019] 此外,也能利用处理步骤中测得且位置对应的处理电流来设定处理步骤本身的参数。例如可以将对应于某个处理局部的电流强度用作在同一处理步骤中照射后一处理局部时设定点光源的照射强度和/或照射的作用时间和/或反向于硅太阳能电池的正向的电压的水平的调节变量。

[0020] 同样有利地,在处理步骤中,当照射处理局部中的一个时,用电流表检测第一电流强度,随后检测第二电流强度,并且与该处理局部对应地存储这两个电流强度。随后,可以由这两个电流强度针对相应的处理局部计算出电流强度梯度,该电流强度梯度可以用作处理步骤针对每个处理局部所实现的对欧姆接触特性的改善的衡量尺度。在此,电流强度梯度也可以在处理步骤中用于调节下游处理局部的参数,或者也可以用于完全下游的处理步骤。

[0021] 除了在照射时检测测量电流或处理电流的强度之外,也可以在上游和/或下游的测量步骤中以及/或者在未照射硅太阳能电池时的处理步骤中检测硅太阳能电池的反向电流,并且与相应处理局部和/或测量局部对应地存储。其中,反向电流的值适于对因使用具

有不利参数的处理步骤而可能对硅太阳能电池造成的损伤进行评价。根据参考值来评价反向电流,将该参考值例如与本发明上游的硅太阳能电池的电表征(例如记录IU特性曲线)中获得的反向电流值进行对比。例如,如果用本发明的方法测得的反向电流大于由之前的电表征产生的反向电流值,那么这可能表示在应用改善的方法时因不利的参数而对硅太阳能电池造成损伤。这种损伤例如可以是在硅太阳能电池内部形成短路,可以从硅太阳能电池的反向电流增大识别出这一点。

[0022] 除了利用由之前的电表征产生的反向电流值之外,参考值还可以是在处理步骤上游的测量步骤中检测到的反向电流。或者,在处理步骤中,在照射处理局部的至少一部分之前对反向电流进行测量。

[0023] 在有利的实施方案中,同样可以将反向电流与相应参考反向电流的偏差用作照射处理局部的至少一部分时设定照射强度和/或照射的作用时间和/或反向于硅太阳能电池的正向的电压的水平的调节变量。同样可以通过确定处理步骤之后反向电流的极限值,和/或通过确定处理步骤所引起的反向电流的变化的极限值来提供硅太阳能电池的剔除标准,从而将相应的硅太阳能电池从进一步的处理工艺移除,这样就不会将其例如装入太阳能组件。

[0024] 当在测量步骤或处理步骤中检测反向电流时,也可以改变反向于正向且小于硅太阳能电池的击穿电压的电压。由此,针对预设的电压分别测定一个反向电流并且与相应测量局部或处理局部对应地存储。可以通过反向于正向的电压的改变识别出硅太阳能电池的这种损伤,从而例如将形式为硅太阳能电池中的裂纹的损伤与载流子复合增加所引起的损伤区别开。

[0025] 在所述方法的其他技术方案中,在处理步骤和/或测量步骤中,当照射处理局部或测量局部的至少一部分时,通过测量检测从硅太阳能电池的面向太阳的一侧反射的照射分量,并且与相应局部对应地存储。由此,也能够识别出处理步骤所引起的光学特性的变化。

[0026] 当在测量步骤中照射测量局部和/或在处理步骤中照射处理局部时,优选地,改变点光源发出的光辐射的波长,并同样针对这个光辐射在测量步骤和/或处理步骤中检测电流强度,并且与相应局部对应地存储。

[0027] 当检测测量电流和/或处理电流和/或反向电流的电流强度时,有利地,可以使用同一电流表。但本发明并不局限于此。视具体测量区域,也可以使用不同的测量仪。例如,处理电流的电流强度与反向电流的电流强度存在数量级上的差异,因此,在此使用两个针对相应区域优化的电流表是合理的。

[0028] 下面对本发明的不同实施例进行说明。

[0029] 第一实施例:

[0030] 在本发明的改善硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的方法中,首先提供包含发射极层、接触格和背触点的硅太阳能电池。其例如可以是定位在加工台上的尺寸为 $15.7\text{cm} \times 15.7\text{cm}$ 的多晶硅太阳能电池。随后借助于接触装置将接触格与电压源的一个电极电连接,并且将背触点与电压源的另一电极连接。接触装置例如可以具有弹簧触针,这些弹簧触针平放在硅太阳能电池的接触格或背触点上,并且通过电缆连接与电压源连接。

[0031] 在第一测量步骤中,通过接触装置以电压源在接触格与背触点之间施加一个沿硅

太阳能电池的正向定向的电压。当施加这个电压时,用点光源照射硅太阳能电池的面向太阳的一侧的分区各测量局部。这个点光源例如可以是激光或聚焦白色光源。通过照射,在相应分区内通过感应产生测量电流,其中如此地设定所施加的电压和点光源的照射强度,使得这个测量电流就测量局部而言具有 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 至 $500\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度。为照射各测量局部,现在各测量局部间导引点光源所发出的光,其中所施加的电压和点光源的照射强度保持恒定。现针对硅太阳能电池中的电流的每个测量局部用电流表(安培计)和接触装置进行测量,其中将相应测量电流的检测到的电流强度与相应测量局部对应地存储。通过以下方式来将测得的电流强度与相应的测量局部对应:针对相应电流强度,例如还将这个测量局部在硅太阳能电池的面向太阳的一侧上的位置坐标一起存储。

[0032] 在该第一测量步骤之后的处理步骤中,用电压源和接触装置施加一个反向于硅太阳能电池的正向的小于硅太阳能电池的击穿电压的电压。当施加这个电压时,在硅太阳能电池的面向太阳的一侧的范围内对已在测量步骤中应用的点光源进行导引,其中对该面向太阳的一侧的分区进行处理局部进行照射。通过照射,在相应分区内通过感应产生测量电流。这个电流就该局部而言具有 $200\text{A}/\text{cm}^2$ 至 $20000\text{A}/\text{cm}^2$ 的电流密度且为时 10ns 至 10ms 地作用于该分区。在这个参数范围内,通过点光源相对于硅太阳能电池的运动速度、点光源的照射强度以及反向于硅太阳能电池的正向(但相对于击穿电压而言更小)的电压的水平来设定电流强度和作用时间。通过这个处理步骤,硅太阳能电池的接触格与发射极层之间的欧姆接触特性特别是在处理步骤之前在接触格与发射极层间具有高接触电阻的区域内得到明显改善。

[0033] 在该处理步骤之后,实施类似于第一测量步骤的另一第二测量步骤。优选地,在此同样在与第一测量步骤相同的电压和照射强度参数下再次检测测量电流的电流强度,并且与相应测量局部对应地存储。针对每个测量局部,现仅存在一个处理步骤前的测量电流的强度值,和一个处理步骤后的测量电流的强度值。由相应测量电流的值的变化的变化得到接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的改善的空间分辨的量化。同样以与相应测量局部对应地存储由测量电流计算出的变化。随后,视所得到的具体结果(测量电流的强度变化),可以将硅太阳能电池输往另一处理步骤。随后,在这另一处理步骤中,例如仅对相应的测量局部在测量步骤中尚未达到预设的测量电流变化和/或预设的测量电流目标值的处理局部进行加工。

[0034] 测量步骤中所施加的电压可以反向于硅太阳能电池的正向且小于硅太阳能电池的击穿电压,或者,测量步骤中所施加的电压可以沿硅太阳能电池的正向定向。

[0035] 第二实施例:

[0036] 与第一实施例类似地实施测量步骤。但不同之处在于,在处理步骤中,根据第一测量步骤中检测到的测量电流的电流强度对反向于正向的电压和点光源的照射强度的参数进行调整。在处理步骤中,以比测量电流的电流强度已较高的区域更强的处理电流强度和/或更长的处理电流作用时间来加工在第一测量步骤中测量电流的电流强度较低的区域。可以通过提高反向于正向的电压和/或提高点光源的照射强度来增大处理电流。通过点光源在相应的处理局部上的停留时长来控制处理电流的作用时间的延长。

[0037] 第三实施例:

[0038] 在此同样在测量步骤中检测照射测量局部时的测量电流,并且相应地实施处理步

骤。此外,在第二测量步骤中,在照射测量局部的至少第一部分之前和/或之后使得硅太阳能电池的面向太阳的一侧保持不被照射,并且通过接触装置在接触格与背触点之间用电压源施加一个反向于正向的小于硅太阳能电池的击穿电压的电压,从而在施加电压时用电流表对硅太阳能电池的反向电流进行检测。随后,与相应测量局部对应地存储这个反向电流。在此情形下,可以将相应的反向电流用作可能因处理步骤而对硅太阳能电池造成的损伤的特性值。为此,将测得的被测量的测量局部的反向电流与参考反向电流进行对比,该参考反向电流已从所述方法上游的硅太阳能电池的电表征中获得。这个电表征例如可以指硅太阳能电池的制造工艺中常见的在测定太阳能电池效率时记录IU特性曲线。有利地,在测量步骤中,在照射所有测量局部之前或之后测量反向电流。

[0039] 第二测量步骤中测得的反向电流相对于先前测得的参考反向电流的变化用作处理步骤对硅太阳能电池造成的损伤的衡量尺度。如果硅太阳能电池的反向电流在处理步骤之后增大,则可以推断出处理步骤对硅太阳能电池造成损伤。

[0040] 第四实施例:

[0041] 所述方法的流程类似于第三实施例。但不同之处在于,在第一测量步骤中产生参考反向电流。为此,正如在第二步骤中那样,在照射测量局部的至少第一部分之前和/或之后使得硅太阳能电池的面向太阳的一侧保持不被照射,从而在施加电压时用电流表对硅太阳能电池的反向电流进行检测。在此情形下,第二测量步骤中检测到的反向电流相对于第一测量步骤中检测到的反向电流的变化用作处理步骤对硅太阳能电池造成的可能的损伤的衡量尺度。

[0042] 第五实施例:

[0043] 除了在测量步骤中检测测量电流和/或反向电流之外或作为替代,同样在处理步骤中针对被照射的处理局部的至少一部分检测处理电流的实际电流强度,并且与相应处理局部对应地存储。当电流在相应分区上的作用时间结束时对电流强度进行检测。针对处理局部检测到的处理电流用作处理步骤所实现的对接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的改善的衡量尺度。如果用相同的反向于硅太阳能电池的正向的电压和点光源的照射强度参数来加工处理局部,则由于对相应处理局部的处理结束时电流强度更大,因此,可以看见在接触格与发射极层之间具有更好的欧姆接触特性的区域。针对各处理局部检测到并且存储的处理电流例如在硅太阳能电池的后续处理中用作品质特征。同样可以利用检测到并且存储的处理电流来实施进一步的处理步骤,其中例如在进一步的处理步骤中针对性地再次以更改过的参数加工测得的处理电流较小的区域。更改过的参数在此又指点光源的照射强度和/或照射的作用时间和/或反向于硅太阳能电池的正向的电压的水平。

[0044] 第六实施例:

[0045] 如果不同于第四实施例地,在处理步骤前不实施测量步骤,则同样可以在处理步骤中确定参考反向电流,以与第二测量步骤中测得的反向电流进行对比。为此,在处理步骤中,在照射处理局部之前使得硅太阳能电池的面向太阳的一侧保持不被照射,并且在施加反向于硅太阳能电池的正向的电压时对反向电流进行检测。

[0046] 第七实施例:

[0047] 不同于前述实施例,可以仅在处理步骤中测量参考反向电流以及加工处理局部后的反向电流。为此,在处理步骤中,在照射处理局部的第一部分之前使得硅太阳能电池的面

向太阳的一侧保持不被照射,并且在施加反向于正向的电压时对反向电流进行检测。随后,逐渐照射处理局部的第一部分。当对处理局部的第一部分的照射结束时重新使得硅太阳能电池的面向太阳的一侧保持不被照射,并且再次检测反向电流。在此情形下,照射处理局部的第一部分之前检测到的反向电流的值用作照射处理局部的第一部分之后检测到的反向电流的参考值。

[0048] 如果在处理步骤中,在加工处理局部时用点光源例如逐行地扫描硅太阳能电池的面向太阳的一侧,则依次对沿每行布置的处理局部进行照射。照射过每行之后,将点光源断开,或者在接通状态下越过硅太阳能电池的边缘从硅太阳能电池的面向太阳的一侧移开,使得硅太阳能电池的面向太阳的一侧完全不被照射,并且可以在施加反向于正向的电压时对反向电流进行检测。在此情形下,照射一行之后检测到的反向电流用作照射下一行之后产生的反向电流的参考反向电流。由此,甚至能够将硅太阳能电池的可能的损伤与特定行(或处理局部)的加工对应。

[0049] 第八实施例:

[0050] 与第七实施例类似地实施加工。此外,将照射一行之前与之后产生的反向电流的变化用作加工步骤中照射下一行时设定参数(点光源的照射强度、照射的作用时间、反向于正向的电压的水平)的调节变量。如果识别到反向电流增大,则在照射下一行时改变参数(例如照射的作用时间),从而防止反向电流进一步增大。

[0051] 在前述所有实施例中,作为另一实施方案,在测量步骤或处理步骤中检测反向电流时,只要反向于正向的电压始终小于硅太阳能电池的击穿电压,也可以改变这个反向于正向的电压。由此,针对预设的电压分别测定一个反向电流并且与相应测量局部或处理局部对应地存储。

[0052] 第九实施例:

[0053] 将处理步骤中检测到的处理局部的处理电流(参阅第五实施例)用于在加工后续的处理局部时调节参数。在此过程中,如此地实施调节,从而将加工一个处理局部时检测到的处理电流与参考值进行对比。如果检测到的处理电流小于这个参考值,则可能表示接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的改善还不充分。因此,在下一处理局部中,相应地对照射这个处理局部时的参数进行调整。

[0054] 第十实施例:

[0055] 不同于当电流在相应分区上的作用时间结束时对电流强度进行检测的第五实施例,在此,当照射处理局部时,针对每个处理局部用电流表首先检测第一电流强度,随后检测第二电流强度,并且与处理局部对应地存储这两个电流强度。将电流强度的变化(梯度)用作接触格与发射极层之间的欧姆接触特性的改善的衡量尺度。电流强度在照射处理局部期间的增大表明欧姆接触特性得到改善。电流强度仅小幅增大或未增大表明欧姆接触特性仅得到小幅改善或未得到改善。因此,将电流强度在照射处理局部期间的变化用于调节至少一个后续处理局部的参数(点光源的照射强度、照射的作用时间、反向于正向的电压的水平)。除了将电流强度的梯度用作调节变量之外,还将这个梯度与相应处理局部对应地存储。

[0056] 在所列的所有实施例中,可选地,在处理步骤和/或测量步骤中,当照射处理局部或测量局部的至少一部分时,通过测量检测从硅太阳能电池的面向太阳的一侧反射的照射

分量,并且与相应局部对应地存储。此外,可选地,当检测反射分量时,改变点光源发出的光辐射的波长,其中检测预设波长的反射分量,并且与相应局部对应地存储。当检测测量电流和/或处理电流的电流强度时,可选地,同样改变点光源发出的光辐射的波长,其中在此同样检测预设波长的测量电流和/或处理电流的电流强度,并且与相应局部对应地存储。