

(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  
7. September 2012 (07.09.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/117105 A1**

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**  
G01R 31/26 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2012/053671
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**  
2. März 2012 (02.03.2012)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**  
10 2011 012 868.9 2. März 2011 (02.03.2011) DE  
10 2011 112 100.9  
2. September 2011 (02.09.2011) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; HansasträÙe 27c, 80686 München (DE). ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG [DE/DE]; Fahnenbergplatz, 79098 Feriburg (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** FERTIG, Fabian [DE/DE]; Schwarzwaldstraße 109a, 79117 Freiburg (DE). REIN, Stefan [DE/DE]; Rainer-Maria-Rilke-StraÙe 5, 79211 Denzlingen (DE).
- (74) **Anwälte:** DICKER, Jochen et al.; c/o Lemcke, Brommer & Partner, Bismarckstraße 16, 76133 Karlsruhe (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) **Title:** METHOD FOR TESTING THE QUALITY OF A PHOTOVOLTAIC SOLAR CELL, SOLAR CELL MODULE AND METHOD FOR PRODUCING A PHOTOVOLTAIC SOLAR CELL

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUR QUALITÄTSPRÜFUNG EINER PHOTOVOLTAISCHEN SOLARZELLE, SOLARZELLENMODUL UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER PHOTOVOLTAISCHEN SOLARZELLE

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for testing the quality of a photovoltaic solar cell, comprising the method steps of: carrying out a power test in a method step a by applying light to the solar cell and testing, according to a test criterion A, whether at least a predefined electrical minimum power P can be tapped off and carrying out a heat generation test in a method step b by applying a predefined heat generation voltage V to the solar cell in the reverse direction, or applying voltage to the solar cell in the reverse direction in such a manner that a predefined heat generation current I flows, and testing, according to a test criterion B, whether the solar cell surface does not exceed a predefined limit temperature T. The important factor is that a breakdown test is additionally carried out in a method step c by applying a predefined breakdown voltage V to the solar cell in the reverse direction and testing, according to a test criterion C, whether at least a current greater than or equal to a predefined minimum breakdown current I flows when the predefined breakdown voltage is applied. The invention also relates to a use of a photovoltaic solar cell, to a solar cell module and to a method for producing a photovoltaic solar cell.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätsprüfung einer photovoltaischen Solarzelle, umfassend die Verfahrensschritte: Durchführen eines Leistungstests in einem Verfahrensschritt a, indem die Solarzelle mit Licht beaufschlagt wird und gemäß eines Prüfkriteriums A geprüft wird, ob zumindest eine vorgegebene elektrische Mindestleistung  $P_{Min}$  abgreifbar ist und Durchführen eines Hitzeentwicklungstests in einem Verfahrensschritt b, indem die Solarzelle mit einer vorgegebenen Hitzeentwicklungs-Spannung  $V_{HE}$  in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird oder die Solarzelle derart mit Spannung in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird, dass ein vorgegebener Hitzeentwicklungs-Strom  $I_{HE}$  fließt, und gemäß eines Prüfkriteriums B geprüft wird, ob die Solarzellenoberfläche eine vorgegebene Grenztemperatur  $T_{GR}$  nicht übersteigen. Wesentlich ist, dass zusätzlich in einem Verfahrensschritt c. ein Durchbruchstest durchgeführt wird, indem die Solarzelle mit einer vorgegebenen Durchbruch-Spannung  $V_{DB}$  in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird und gemäß eines Prüfkriteriums C geprüft wird, ob bei Beaufschlagung mit der vorgegebenen Durchbruchsspannung zumindest ein Strom größer oder gleich

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/117105 A1



Verfahren zur Qualitätsprüfung einer photovoltaischen Solarzelle, Solarzellenmodul und Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle

5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätsprüfung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1, eine Verwendung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß Anspruch 6, ein Solarzellenmodul gemäß Oberbegriff des Anspruchs 7 sowie ein Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß Oberbegriff des Anspruchs 10.

15 Eine photovoltaische Solarzelle stellt ein flächiges Halbleiterbauelement dar, bei dem mittels einfallender elektromagnetischer Strahlung Ladungsträgerpaare erzeugt und anschließend getrennt werden, so dass zwischen mindestens zwei metallischen Kontaktierungsstrukturen der Solarzelle ein Potential entsteht und über einen mit diesen Kontaktierungsstrukturen verbundenen externen Stromkreis elektrische Leistung von der Solarzelle abgegriffen werden kann. Die Ladungsträgertrennung erfolgt an einem pn-Übergang und/oder einem pin-Übergang, der beispielsweise dadurch realisiert werden kann, dass in einem Siliziumsubstrat eines Basisdotierungstyps eine Dotierung eines hierzu entgegengesetzten Dotierungstyps zur Ausbildung eines Emitters vorgenommen wird. Ebenso ist es bekannt, den Emitter durch Aufbringen einer oder mehrerer Schichten auf einem Basissubstrat auszubilden.

Zur Umwandlung einfallender elektromagnetischer Strahlung in elektrische Energie werden Module verwendet, welche eine Vielzahl von photovoltaischen Solarzellen umfassen. Bei dem Einbau in ein photovoltaisches Modul werden die Solarzellen typischerweise in Reihenschaltung zu so genannten Strings zusammengesetzt. Ein Modul umfasst typischerweise mehrere Strings. Bei Betrieb eines solchen Moduls kann sich folgende Problematik ergeben:

35 Unter bestimmten Umständen wird bei dem Betrieb des Moduls ein Teil der enthaltenen Solarzellen abgeschattet, beispielsweise durch Laub oder andere Ge-

genstände, die sich zwischen Lichtquelle (typischerweise die Sonne) und Solarzelle befinden. Ebenso findet eine Teilabschattung aufgrund des Laufes der Sonne durch feststehende Gegenstände wie Bäume, Schornsteine oder ähnliches oder temporär durch Reinigungs- oder Wartungspersonal, durch Schnee oder Verschmutzung wie z.B. Vogelexkremelemente statt.

Der von einer Solarzelle erzeugte Strom ist unter Anderem von der Beleuchtungsstärke abhängig, mit der die jeweilige Solarzelle beaufschlagt wird. Wird nun ein Teil der in Reihe geschalteten Solarzellen in einem String teilweise oder vollständig abgeschattet, kann eine Umkehrung der Polarität dieser abgeschatteten Solarzellen auftreten, da die erzeugte Stromstärke dieser Solarzellen geringer ist als die der vollständig beleuchteten Solarzellen. Diese Umkehrung findet typischerweise statt, sofern die Kurzschlussstromdichte  $J_{sc}$  der abgeschatteten Solarzelle kleiner ist als die Kurzschlussstromdichten der nicht abgeschatteten Solarzellen im String.

Die abgeschatteten Solarzellen werden in diesem Fall in Sperrrichtung betrieben, d. h. an diesen Solarzellen liegt an den metallischen Kontaktierungen eine Spannung in Sperrrichtung an, die eine umgekehrte Polarität verglichen mit der bei nicht abgeschatteten Solarzellen an den metallischen Kontaktierungen anliegenden Spannung aufweist. Die Stromstärke des gesamten Strings, in dem sich die ganz oder teilweise abgeschatteten Solarzellen befinden, und damit die erzeugte elektrische Leistung dieses Strings, werden typischerweise durch die Abschattung stark verringert, zumindest sofern typische Solarzellenmodule mit Standardsolarzellen mit einem der industriellen Fertigungstypischen Modulaufbau verwendet werden, deren Strings in Serie geschaltet sind und jeweils eine Bypassdiode aufweisen. Bei Standardmodulen mit Bypassdioden verringert sich somit die elektrische Ausgangsleistung des Moduls in der Regel bei Teilabschattung um die volle Leistung des Strings, in dem sich eine abgeschattete Solarzelle befindet.

Hierbei und im Folgenden wird als negative Spannung oder in Sperrrichtung anliegende Spannung wie üblich der Zustand bezeichnet, dass an den metallischen Kontaktierungen einer Solarzelle eine Spannung entgegengesetzt zu der Spannung in normalem Betrieb vorliegt. Die Spannung in normalem (insbeson-

dere unabgeschattetem) Betrieb wird wie üblich als positive Spannung oder Spannung in Vorwärtsrichtung bezeichnet.

5 Je nach Aufbau des Moduls und der Art der Abschattung kann die an den abgeschatteten Solarzellen anliegende Spannung somit negativ sein und es somit in der Solarzelle zu einem Verbrauch elektrischer Energie kommen (im Wesentlichen durch Umwandlung elektrischer Energie in Wärme). Die Umwandlung von elektrischer Energie in den in Sperrrichtung betriebenen Solarzellen in Wärme kann zu einer Beschädigung des Moduls führen. Eine Beschädigung tritt typischerweise auf, wenn der in Sperrrichtung fließende Strom nicht flächig über die gesamte Fläche der Solarzelle oder zumindest eine große Fläche der Solarzelle fließt, sondern lediglich über lokale Bereiche der Solarzelle, die entsprechend eine hohe Stromdichte aufweisen und sich stark erhitzen (so genannte „Hot-Spots“). Insbesondere an solchen Hot-Spots kann aufgrund der großen Wärmeentwicklung die Solarzelle und/oder das Modul zerstört werden.

Bei der Herstellung von Solarzellenmodulen werden deshalb üblicherweise Bypassdioden angeordnet, welche elektrisch parallel zu den Strings verschaltet sind. Die Bypassdioden begrenzen die maximale Spannung in Sperrrichtung auf die Gesamtspannung aller nicht verschatteten Zellen im String zuzüglich der an der Bypassdiode anliegenden Spannung. Je kleiner die Anzahl an Solarzellen in einem String, desto kleiner ist die maximale Spannung, die an abgeschatteten Solarzellen in Sperrrichtung anliegen kann, so dass insbesondere die Gefahr eines Durchbruchs und auch eines Leistungsverlustes bei Teilabschattung sinkt. Der Leistungsverlust bei Teilabschattung korreliert direkt mit der Anzahl der Solarzellen in einem String, sofern die abgeschattete Solarzelle, an welcher negative Spannung anliegt, nicht „durchbricht“, d.h. in Sperrrichtung leitend wirkt, bevor eingebaute Bypassdioden schalten.

30 Typischerweise verringert sich die elektrische Ausgangsleistung des Moduls bei Teilabschattung mindestens um die Gesamtleistung des Strings mit Teilabschattung. Hinzu kommt gegebenenfalls eine Verringerung aufgrund eines Spannungsabfalls an einer Bypassdiode. Je weniger Solarzellen ein String aufweist, desto weniger Leistung verliert das Modul bei Teilabschattung eines Strings.

35 Grundsätzlich gibt es jedoch immer einen Leistungsverlust bei Teilabschattung.

Um einen hohen Modulwirkungsgrad auch im Falle einer Teilabschattung des Moduls zu erzielen, wäre es daher optimal, jeder Solarzelle eine Bypassdiode elektrisch parallel zu schalten, so dass im Modul theoretisch eine Stringgröße von einer Solarzelle vorliegt. Aufgrund des hohen Herstellungsaufwandes und den entsprechend hohen Herstellungskosten ist dies jedoch nicht praktikabel.

Es ist daher bekannt, Dioden als eigenständige elektronische Bauteile immanent in einer Solarzelle auszubilden und entsprechend die positiven und negativen metallischen Kontakte der Solarzelle über diese Bypassdioden zu verschalten. Solche Solarzellen werden in US 5,616,185, WO 2010/029180 A1 und DE 10 2008 043 206 A1 beschrieben. Nachteilig hierbei ist, dass bei der Solarzellenherstellung erhebliche zusätzliche Verfahrensschritte, insbesondere Diffusionsschritte zur Herstellung der Bypassdiode in einem Halbleitersubstrat der Solarzelle notwendig sind. Entsprechend ergeben sich erheblich erhöhte Herstellungskosten für solche Solarzellen.

Bei den momentan industriell hergestellten Solarzellenmodulen werden daher standardmäßig Bypassdioden verbaut, welche parallel zu mehreren in Serie geschalteten Solarzellen (eines Strings) geschaltet sind. Industriestandard sind drei Bypassdioden pro Solarzellenmodul; dies bedeutet, dass ein String typischerweise jeweils zwischen 20 und 24 in Serie geschalteter Solarzellen aufweist. Hierdurch wird der Leistungsverlust bei Teilabschattung auf etwa 1/3 der Modulleistung (sofern nur Solarzellen eines Strings teilverschattet sind) begrenzt. Weiterhin wird die maximal in Rückwärtsrichtung an einer Solarzelle anliegende Spannung  $V_{rev}$  maximal auf nachfolgende Summe begrenzt:

$$V_{rev} = \sum V_{\text{nichtverschattete Solarzellen/String}} + V_{\text{Bypassdiode}} \quad (1),$$

d. h. entsprechend der Summe der Spannungen  $V_{\text{nichtverschattete Solarzellen/String}}$  der nicht verschatteten Solarzellen des entsprechenden Strings und zuzüglich gegebenenfalls der Spannung  $V_{\text{Bypassdiode}}$ , einer diesen String zugeordneten Bypassdiode.

Um Solarzellen aufgrund ihrer möglichen Hot-Spot-Gefahr auszusortieren, wird von Modulherstellern teilweise als Eingangsspezifikation ein Stromkriterium unter Rückwärtsspannung angewendet. Das heisst, dass die zu verbauenden

Solarzellen bei einer definierten Rückwärtsspannung einen gewissen Stromwert nicht überschreiten dürfen. Die Rückwärtsspannung wird gemäß der verwendeten Modularchitektur festgelegt und orientiert sich in der Regel an Gleichung (1). Demzufolge ist der Strom bei einer definierten  
5 Rückwärtsspannung auch ein Klassierkriterium bei der Ausgangskontrolle vieler Solarzellenfertigungslinien.

Bei Solarzellen aus multikristallinem Silizium findet bei Rückwärtsspannungen kleiner als der eigentlich erwarteten Durchbruchspannung für Silizium ein  
10 Durchbruch der Raumladungszone statt. Mögliche Ursachen für diese verringerte Durchbruchspannung werden ausführlich in der Literatur diskutiert (z.B. Breitenstein, O. , J. Bauer , J.-M. Wagner , N. D. Zakharov , H. Blumtritt , A. Lotnyk , M. Kasemann , W. Kwapil , and W. Warta; *Defect-induced breakdown in multicrystalline silicon solar cells; IEEE Transactions on Electron Devices* \*57\* (9) , p 2227-2234 (2010) ). Findet der Durchbruch bei Spannungen kleiner der definierten Rückwärts-Testspannung statt, so weisen diese Solarzellen einen erhöhten Strom auf und werden aussortiert. Der Stand der Technik ist, die Durchbruchspannung in Solarzellen aus multikristallinem Silizium soweit zu erhöhen, dass die Solarzellen bei  
20 Teilverschattung in einem standardmäßig mit Bypassdioden versehenem industriellem Modul nicht durchbrechen. Es wird postuliert, dass die Durchbrüche zu Hot-Spots im Modul führen können, welche Hot-Spots ein hohes Beschädigungsrisiko für das Modul darstellen.

25 Eine Erhöhung der Durchbruchspannung bei einer Solarzelle wird beispielsweise in DE 10 2008 043 458 A1 vorgeschlagen. Weiterhin wird in DE 10 2009 034 317 A1 bei Solarzellen, welche aus umg-Silizium hergestellt werden, eine Erhöhung der Durchbruchspannung vorgeschlagen.

30 Ausgehend hiervon liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Bandbreite der in einem Solarzellenmodul wirtschaftlich sinnvoll einsetzbaren Solarzellen zu erweitern, insbesondere, ein Gütekriterium für Solarzellen zu schaffen, so dass der Ausschuss einer industriellen Produktionslinie von Solarzellen verringert wird und/oder die Gefahr einer Hot-Spot-Bildung in Solarzellenmodulen verringert wird und/oder ausgehend von an sich bekannten Verfahren  
35 zur Herstellung von Solarzellen ein Herstellungsverfahren für Solarzellen

vorzuschlagen, welches zu einer Vermeidung von Hot-Spots in einem Modul und/oder zu einer Vereinfachung der Modulstruktur führt.

5 Gelöst ist diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Qualitätsprüfung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß Anspruch 1, durch die Verwendung einer photovoltaischen Solarzelle in einem Solarzellenmodul gemäß Anspruch 6, durch ein Solarzellenmodul gemäß Anspruch 7 und ein Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß Anspruch 10. Vorzugsweise Ausführungsformen des Verfahrens zur Qualitätsprüfung finden sich in den Ansprüchen 2 bis 10 5, des Solarzellenmoduls in den Ansprüchen 8 bis 9 und des Verfahrens zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle in den Ansprüchen 11 bis 14. Hiermit wird der Wortlaut der Ansprüche durch ausdrückliche Bezugnahme in die Beschreibung aufgenommen.

15 Die vorliegende Erfindung ist in der Erkenntnis des Anmelders begründet, dass es überraschenderweise und im Gegensatz zu der vorherrschenden Meinung sinnvoll ist, gezielt Solarzellen auszuwählen, welche eine erniedrigte Durchbruchspannung besitzen und deshalb unter Teilabschattungsbedingungen im Modul „durchbrechen“ (d.h. in Sperrichtung elektrisch leiten), bevor 20 standardmäßig verbaute Bypassdioden schalten. Im Gegensatz zu dem standardmäßigen Ansatz, die Durchbruchspannung von Solarzellen soweit wie möglich zu erhöhen, soll diese gezielt verringert werden.

Die gezielt ausgewählten Solarzellen haben vorzugsweise folgende 25 Charakteristika:

- Die Solarzellen brechen unter Rückwärtsspannung durch, bevor eine standardmäßig im selben String verbaute Bypassdiode schalten würde, d.h. vorzugsweise liegt die Durchbruchspannung unter dem in Gleichung (1) definierten Wert und die Solarzelle leitet bei einer in 30 Rückwärtsrichtung anliegenden Spannung, welche definiert wird durch die Summe der Spannungen am optimalen Arbeitspunkt der nichtverschatteten Solarzellen des Strings, im Dunkeln einen Strom, der größer ist als der am optimalen Arbeitspunkt fließende Strom der Serienschaltung der nicht verschatteten Solarzellen des Strings.

35

Sofern ein typisches Verwendungsszenario der Solarzellen eine häufige

Abschattung von mehreren Solarzellen beinhaltet ist es vorteilhaft, die vorgenannte Durchbruchspannung geringer zu wählen, bevorzugt die vorgenannte Durchbruchspannung mit einem Faktor  $1/n_{ab}$  zu multiplizieren, wobei  $n_{ab}$  die Anzahl der bei typischer Verwendung und Auftreten einer Abschattung typischerweise abgeschatteten Solarzellen eines Strings angibt, bzw. die Anzahl abgeschatteter Solarzellen in einem String, bei deren Abschattung ein Leistungsverlust bei Verwendung gemäß Vorgabe vermieden werden soll. Vorzugsweise wird in diesem und in den folgenden Fällen bei Verwendung der Anzahl  $n_{ab}$  auch mindestens eine Anzahl  $n_{ab}$  von solchen Solarzellen in dem String verwendet.

Der Faktor  $n_{ab}$  wird im Folgenden stets in dieser Bedeutung verwendet, d.h. gemäß der oben genannten Definition und gemäß der bevorzugten Verwendung von mindestens  $n_{ab}$  Solarzellen, die dieses Kriterium erfüllen, in dem String.

- Die Solarzellen weisen keine erheblichen Shunts bzw. andere Beeinträchtigung des Vorwärtsverhaltens auf. Dieses Kriterium ist in der Regel erfüllt, wenn die Solarzelle unter Standardtestbedingungen eine vorgegebene elektrische Mindestleistung erbringt.
- Die Solarzellen verursachen keine Hot-Spots, da die Durchbrüche flächig verteilt sind und nicht zu einer kritischen lokal erhöhten Temperatur führen.

Werden ausschließlich solche Solarzellen für den Modulbau verwendet, geht bei Teilabschattung einer Solarzelle nicht die gesamte Leistung eines Stringes verloren, sondern lediglich die Leistung der Solarzellen, welche benötigt werden, um die Durchbruchspannung der verschatteten Solarzelle bereitzustellen. Die Folge ist ein geringerer Leistungsverlust des Modules bei Teilabschattung einzelner Solarzellen. Da die Aktivierungsspannung der standardmäßig eingebauten Bypassdioden in den meisten Fällen ohnehin nicht erreicht wird, können somit auch die Bypassdioden eingespart werden.

Durch eine flächige Verteilung der Durchbrüche über die gesamte Zellfläche führt eine Teilabschattung der ausgewählten Solarzellen nicht zu Hot-Spots im Modul. Diese Erfindung widerlegt somit das Vorurteil, dass Solarzellen mit einem erhöhten Rückwärtsstrom bei einer definierten Rückwärtsspannung im Bereich der Aktivierungsspannung der Bypassdioden aussortiert werden müssen. Im Speziellen wird widerlegt, dass Durchbrüche bei multi-kristallinen Silizium-Solarzellen zu vermeiden sind, sondern sich im Gegenteil vorteilhaft auf die Leistungsausbeute bei Teilabschattung auswirken, ohne das Modul durch Hot-Spots zu beschädigen.

In einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Qualitätsprüfung einer photovoltaischen Solarzelle vorgeschlagen. Das Verfahren umfasst folgende Verfahrensschritte:

- a. Durchführen eines Leistungstests, indem die Solarzelle mit Licht, vorzugsweise mit einem vorgegebenen Spektrum und/oder einer vorgegebenen Intensität, beaufschlagt wird und gemäß eines Prüfkriteriums A geprüft wird, ob zumindest eine vorgegebene elektrische Mindestleistung  $P_{Min}$  abgreifbar ist,
- b. Durchführen eines Hitzeentwicklungstests, indem die Solarzelle mit einer vorgegebenen Hitzeentwicklungs-Spannung  $V_{HE}$  in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird oder die Solarzelle derart mit Spannung in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird, dass ein vorgegebener Hitzeentwicklungs-Strom  $I_{HE}$  fließt, und gemäß eines Prüfkriteriums B geprüft wird, ob die Solarzellenoberfläche eine vorgegebene Grenztemperatur  $T_{GR}$  nicht übersteigt oder gemäß eines theoretischen Voraussagemodells bei Einstellen eines Wärmegleichgewichts nicht übersteigen würde.

Diese Verfahrensschritte bzw. Prüfkriterien A und B sind bereits aus der Auswahl von Solarzellen bei der industriellen Herstellung bekannt. Insbesondere Prüfkriterium A wird typischerweise als „Binning“ bzw. Klassieren am Ende der Solarzellenfertigung bezeichnet. Typischerweise erfolgt die Prüfung unter der Norm STC (25°C/1 Sonne Beleuchtungsintensität).

Die elektrische Mindestleistung  $P_{Min}$  wird dabei in an sich bekannter Weise gewählt. Insbesondere liegt es im Rahmen der Erfindung, als  $P_{Min}$  50%, bevorzugt 75%, weiter bevorzugt 90% der durchschnittlich für diesen Solarzellentyp bzw. mit der diesen Typ herstellenden Prozesslinie erzielten Leistung unter Standardbedingungen vorzugeben.

Wesentlich ist, dass zusätzlich in einem Verfahrensschritt c. ein Durchbruchstest durchgeführt wird, indem die Solarzelle mit einer vorgegebenen Durchbruchspannung  $V_{DB}$  in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird und gemäß eines Prüfkriteriums C geprüft wird, ob bei Beaufschlagung mit der vorgegebenen Durchbruchsspannung zumindest ein Strom größer oder gleich eines vorgegebenen Minstdurchbruchsstroms  $I_{DB}$  fließt. Die Durchbruchsspannung  $V_{DB}$  orientiert sich typischerweise an dem in Gleichung (1) definierten Wert bzw. wie weiter unten erläutert bei dem in Gleichung (1) definierten Wert, geteilt durch  $n_{ab}$ . Typische Werte für die Durchbruchsspannung  $V_{DB}$  sind im Fall von Standard-Silizium-Solarzellen (AI-BSF mit Standardprozess für Industrieanwendungen) etwa -15 V (bei 24 Zellen je String), etwa -12 V (bei 20 Zellen je String) oder -10 V.

Die vorgenannten Kriterien für eine vorzugsweise Wahl der Durchbruchsspannung  $V_{DB}$  gehen von einem typischen Szenario aus, bei welchem in der Mehrzahl der Fälle lediglich eine Solarzelle abgeschattet wird. Muss hingegen davon ausgegangen werden, dass häufig zwei oder mehr Solarzellen abgeschattet werden, so wird vorzugsweise die Durchbruchsspannung  $V_{DB}$  mit einem betragsmäßig kleineren Wert verglichen mit den zuvor angegebenen Werten gewählt. In einer vorzugsweisen Ausführungsform werden die vorgenannten Werte um die Anzahl der typischerweise abgeschatteten Solarzellen geteilt. Geht man somit von einer Anzahl  $n_{ab}$  von bei Auftreten einer Abschattung typischerweise abgeschatteten Solarzellen aus, bzw. der Anzahl von Solarzellen in einem String, bei deren Abschattung gemäß Vorgabe kein erheblicher Leistungseinbruch erfolgen soll, so orientiert sich die Durchbruchsspannung  $V_{DB}$  typischerweise an dem in Gleichung (1) definierten Wert, welcher durch  $n_{ab}$  geteilt wird:  $V_{REV}/n_{ab}$ . Entsprechend ergeben sich typische Werte bei Standard-Silizium-Solarzellen von  $-15 V/n_{ab}$  (bei 24 Zellen je String etwa  $-12 V/n_{ab}$  (bei 20 Zellen je String) oder  $-10 V/n_{ab}$ .

Hierbei liegt es im Rahmen der Erfindung, hinsichtlich des Durchbruchstests gleichwirkende Kriterien zu verwenden, beispielsweise, dass bei Anstreben einer vorgegebenen Durchbruchspannung sich ergibt, dass die Solarzelle bereits bei geringeren Spannungen ein Stromlimit erreicht. Dadurch ist ebenfalls ge-  
5 währleistet, dass die tatsächliche Durchbruchspannung der Solarzelle kleiner der vorgegebenen Durchbruchspannung ist. Gleichwirkend ist somit ein Prüfkriterium C', indem geprüft wird, ob bei Beaufschlagen der Solarzelle mit Spannung in Rückwärtsrichtung bereits bei einer Spannung kleiner einer als maximal definierten Durchbruchspannung  $V_{DB,max}$  ein vorgegebener Mindestdurchbruch-  
10 strom  $I_{DB}$  fließt. Dieser orientiert sich vorzugsweise am IMPP des Moduls.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Qualitätsprüfung weist somit entgegen der vorherrschenden Meinung ein Prüfkriterium auf, dass eine niedrige Durchbruchspannung gegeben ist, das heißt, dass bei der vorgegebenen Durch-  
15 bruchs-Spannung  $V_{DB}$  zumindest ein vorgegebener Mindestdurchbruchstrom  $I_{DB}$  fließt bzw. ein hierzu gleichwirkendes Kriterium.

Die Qualitätsprüfung gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Qualitätsprüfung betrifft somit gerade solche Solarzellen, die bisher als „Ausschuss“  
20 ausgesondert und insbesondere nicht in einem Photovoltaikmodul mit standardmäßiger Bypassdiodenverschaltung verwendet wurden. Aufgrund der Erkenntnis des Anmelders, dass überraschenderweise jedoch gerade solche Solarzellen vorteilhaft in einem Solarzellenmodul einsetzbar sind, wie vorhergehend ausgeführt, wird durch das erfindungsgemäße Verfahren eine Qualitätsprüfung bereit-  
25 gestellt, die den Ausschuss einer Solarzellenproduktionslinie erheblich verringert und/oder die Produktion von Solarzellenmodulen mit einem erheblich verringerten Risiko der Hot-Spot-Bildung bei Teilabschattung und/oder die Produktion günstigerer Photovoltaikmodule aufgrund der Einsparung von Bypassdioden und/oder die Realisierung neuer Moduldesigns, welche nicht durch eine Maxi-  
30 malzahl an Zellen pro String limitiert sind, ermöglicht.

Darüber hinaus entsprechen dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Qualitätsprüfung auch solche Solarzellen, die bisher als aufgrund einer niedrigen Durchbruchspannung nicht rentabel angesehen wurden. Dies betrifft insbesondere  
35 Solarzellen aus umg-Si Material und/oder Solarzellen mit einer verglichen zum

heutigen Standard höheren Basisdotierung insbesondere bei Verwendung eines multikristallinen Siliziumwafers zur Herstellung der Solarzelle.

5 Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Qualitätsprüfung der Solarzelle daher ein Gütekriterium I zugeordnet, bei Bestehen zumindest der Prüfkriterien A und B und C.

10 Solarzellen dieses neu geschaffenen Gütekriteriums I ermöglichen somit wie zuvor ausgeführt die Einsparung von Bypassdioden, eine erhöhte Leistungsausbeute in einem Solarzellenmodul bei Teilabschattung und/oder die Realisierung neuartiger Moduldesigns, welche nicht durch eine maximale Anzahl an Solarzellen pro String limitiert sind und/oder die Verwendung bisher als nicht einsetzbar erachteter Materialien, wie beispielsweise umg-Silizium oder bisher als unwirtschaftlich erachteter hoher Basisdotierungen, insbesondere bei Solarzellen aus  
15 multikristallinem Silizium.

20 Sofern primär die Ausbeute einer Produktionslinie zur Herstellung von Solarzellen erhöht werden soll, ist es vorteilhaft, die bereits nach bisher geltenden Kriterien verwendbaren Solarzellen zusätzlich zu den Solarzellen gemäß Gütekriterium I zur Herstellung eines Solarzellenmoduls zu verwenden:

Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Qualitätsprüfung einer Solarzelle ein Gütekriterium II zugeordnet, wenn zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt wird:

25

- Bestehen zumindest der Prüfkriterien A und B und C (Gütekriterium I),
- Bestehen zumindest der Prüfkriterien A und B und bestehen eines Prüfkriteriums D, wobei in einem Verfahrensschritt d. ein Nichtdurchbruchstest durchgeführt wird, indem die Solarzelle mit einer vorgegebenen Nichtdurchbruchsspannung  $V_{NDB}$  in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird und gemäß Prüfkriterium D geprüft wird, ob bei Beaufschlagung mit der vorgegebenen Nichtdurchbruchsspannung ein Strom kleiner oder gleich eines vorgegebenen Maximalstromes  $I_{NDB}$  fließt.

35

Das Gütekriterium II umfasst somit solche Solarzellen, die auch nach vorbekannten Kriterien zur Qualitätsprüfung bereits zur Verwendung in einem Solarzellenmodul zugelassen wurden. Kriterium D wird bei der industriellen Fertigung häufig als „Rückwärtsstrom-Kriterium“ bezeichnet. Dieser Begriff ist gängig, jedoch irreführend, da gemäß Prüfungsbedingungen bei Kriterium D der Stromfluss nicht in eine „Rückwärtsrichtung“ fließt, sondern in die gleiche Richtung wie der Photostrom.

Zusätzlich umfasst Gütekriterium II jedoch auch die Solarzellen gemäß Gütekriterium I wie zuvor ausgeführt, so dass verglichen mit den bisher durchgeführten Qualitätsprüfungen weniger Solarzellen als Ausschuss ausgesondert werden und sich somit die Ausbeute einer Produktionslinie bei der Herstellung von Solarzellen erhöht. Sofern bei der Herstellung eines Solarzellenmoduls mit Solarzellen des Gütekriteriums II in einem String mindestens eine Solarzelle der zweiten Bedingung eingesetzt wird, ist die Anordnung einer Bypassdiode an diesen String in an sich bekannter Weise sinnvoll, um bei Abschattung dieser Solarzellen eine mögliche Hot-Spot-Entwicklung und einen erhöhten Leistungsverlust des Moduls zu vermeiden.

Vorzugsweise ist die Solarzelle bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Qualitätsprüfung zur Anordnung in einem Solarzellenmodul vorgesehen, bei welchem Solarzellenmodul die Solarzellen in Strings mit jeweils einer Anzahl von  $n_{St}$  Solarzellen angeordnet sind. Hierbei sind die Solarzellen vorzugsweise derart gewählt, dass in Verfahrensschritt c der Mindestdurchbruchstrom  $I_{DB}$  größer oder gleich, vorzugsweise gleich dem Strom des Solarzellenmoduls am optimalen Arbeitspunkt des Solarzellenmoduls gewählt wird und/oder dass die Durchbruch-Spannung  $V_{DB}$  betragsmäßig kleiner oder gleich, vorzugsweise gleich der Summe der Spannungen  $V_{mpp}$  der nicht verschatteten Solarzellen des Strings am jeweils optimalen Arbeitspunkt der Solarzellen gewählt wird, bevorzugt den vorgenannten Wert geteilt durch  $n_{ab}$ . Hierdurch wird die Abgrenzung des Prüfkriteriums C optimiert. Insbesondere sind die Solarzellen vorzugsweise derart gewählt, dass bei Anliegen einer Spannung  $V_{DB}$  in Rückwärtsrichtung an der Solarzelle, welche Spannung die Summe der Spannungen  $V_{mpp}$  am optimalen Arbeitspunkt der verbleibenden Solarzellen im String darstellt, bevorzugt bei Anliegen einer Spannung  $V_{DB}/n_{ab}$  in Rückwärtsrichtung an der Solarzelle, mindestens ein Strom fließt, der dem Strom  $I_{mpp}$  des Strings am op-

timalen Arbeitspunkt entspricht. Ein alternatives, gleich wirkendes Kriterium ist, dass der vorgenannte Strom  $I_{mpp}$  bei Beaufschlagen der Solarzelle mit einer Spannung in Rückwärtsrichtung fließt, welche Spannung kleiner oder gleich der vorgenannten Summe der Spannungen  $V_{mpp}$  ist, bevorzugt welche Spannung  
5 kleiner oder gleich der vorgenannten Summe der Spannungen  $V_{mpp}$  geteilt durch  $n_{ab}$  ist.

Weiterhin ist es vorteilhaft, dass in Verfahrensschritt b die Grenztemperatur  $T_{GR}$  kleiner  $300^{\circ}\text{C}$ , vorzugsweise im Bereich  $100^{\circ}\text{C}$  bis  $250^{\circ}\text{C}$ , weiter bevorzugt im  
10 Bereich  $130^{\circ}\text{C}$  bis  $180^{\circ}\text{C}$  gewählt wird. Hierdurch wird bei typischen Solarzellenmodulen eine Beschädigung des Solarzellenmoduls durch Temperatureinwirkung vermieden.

Die zuvor erläuterte Erkenntnis des Anmelders widerlegt somit das bisher herrschende Vorurteil, dass Solarzellen mit niedriger Durchbruchspannung als Ausschuss auszusondern sind. Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft daher die Verwendung einer photovoltaischen Solarzelle in einem Solarzellenmodul, welche Solarzelle zumindest das Prüfkriterium C gemäß Anspruch 1, vorzugsweise die Prüfkriterien A und C gemäß Anspruch 1, weiter bevorzugt  
15 Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 erfüllt.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Solarzellenmodul, umfassend eine Mehrzahl elektrisch miteinander verbundener photovoltaischer Solarzellen, wobei das Solarzellenmodul ausschließlich Solarzellen umfasst,  
25 welche Solarzellen das Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 und/oder das Gütekriterium II gemäß Anspruch 3 erfüllen. Ein solches Solarzellenmodul weist den Vorteil auf, dass zumindest bei Abschattung der Solarzellen gemäß Gütekriterium I ein geringerer Leistungsabfall verglichen mit vorbekannten Solarzellenmodulen erfolgt.

30 Vorzugsweise sind die Solarzellen in Strings angeordnet und mindestens ein String des Solarzellenmoduls umfasst ausschließlich Solarzellen, welche das Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 erfüllen. Hierdurch erfolgt in diesem String bei Teilabschattung ein geringerer Leistungsabfall verglichen mit vorbekannten  
35 Solarzellenmodulen und es kann zumindest für diesen String auf eine Bypassdiode verzichtet werden. Insbesondere ist es daher vorteilhaft, dass diesem String

keine Bypassdiode zugeordnet ist. Hierdurch werden Kosten bei der Modulherstellung eingespart.

In dieser Anmeldung ist der Begriff „String“ eines Moduls wie üblich definiert, d.h. typischerweise werden die einer Bypassdiode zugeordneten Solarzellen begrifflich als String zusammengefasst. Sofern eine Untermenge der Solarzellen des Moduls, welche Solarzellen der Untermenge in Serie verschaltet sind, keine Bypassdiode zugeordnet ist, ist diese Untermenge analog ebenfalls als String zu bezeichnen. Sofern alle Solarzellen des Moduls in Serie verschaltet sind und das Modul keine Bypassdiode umfasst, weist das Modul somit lediglich einen String auf, welchem String alle (in Serie verschalteten) Solarzellen des Moduls zugeordnet sind.

In einer weiteren vorzugsweisen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Solarzellenmoduls erfüllen sämtliche Solarzellen des Moduls das Gütekriterium I gemäß Anspruch 2. In dieser vorteilhaften Ausführungsform weist somit das gesamte Solarzellenmodul die zuvor genannten Vorteile auf. Insbesondere ist es daher vorteilhaft, dass das Solarzellenmodul keine elektrisch mit den Solarzellen verbundene Bypassdiode aufweist bzw. einem hierzu gleich wirkenden Kriterium wie zuvor ausgeführt entspricht. Besonders vorteilhaft ist hierbei, dass keine Notwendigkeit der Anordnung der Solarzellen des Moduls in herkömmlichen Strings besteht. Vorzugsweise sind sämtliche Solarzellen des Moduls elektrisch in Serie verschaltet, so dass neuartige Moduldesigns nicht limitiert werden.

Die vorliegende Erfindung erlaubt somit das Erstellen von Solarzellenmodulen, bei denen gegenüber den vorbekannten Modulbauweisen Bypassdioden eingespart werden können oder sogar vollständig auf Bypassdioden verzichtet werden kann. Aufgrund der geringen Durchbruchspannung wird bei Solarmodulen gemäß der erfindungsgemäßen Lehre stets eine Beschädigung des Moduls aufgrund hoher lokaler Ströme und entsprechend hoher lokaler Wärmeentwicklung (so genannte „HotSpots“) vermieden. Darüber hinaus wird in typischen Fällen ein Leistungsverlust bei Teilabschattung vermieden. Es liegt daher im Rahmen der Erfindung, Solarzellen gemäß der erfindungsgemäßen Lehre mit Bypassdioden in einem String zu kombinieren, um für vorgegebene typische Abschattungsszenarien einen möglichst geringen Leistungsverlust zu erzielen. Besonders vorteilhaft ist jedoch, mehrere Solarzellen oder vorzugsweise alle Solarzel-

len des Strings gemäß der erfindungsgemäßen Lehre auszuführen, um auch ohne Verwendung einer Bypassdiode bei Teilabschattung auch von mehreren Solarzellen einen möglichst geringen Leistungsverlust zu erzielen.

5 Wie zuvor ausgeführt, widerlegt die der Erfindung zugrunde liegende Erkenntnis des Anmelders das Vorurteil, dass Solarzellen mit niedriger Durchbruchspannung als Ausschuss auszusondern sind. Vielmehr ist es sogar vorteilhaft, Solarzellen insbesondere gemäß Gütekriterium I in einem Solarzellenmodul zu verwenden, da die Leistungsausbeute bei Teilabschattung erhöht und die Gefahr  
10 von Hot-Spots verringert wird. In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird daher ein Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle vorgeschlagen, umfassend das Bereitstellen mindestens eines Basisbereichs mit einer Basisdotierkonzentration und mindestens eines Emitterbereichs, derart, dass ein pn- und/oder pin-Übergangs zwischen Basis- und Emitterbereich  
15 ausgebildet wird. Wesentlich ist, dass zumindest die Basisdotierkonzentration derart gewählt wird, dass die Solarzelle das Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 erfüllt.

Durch Anpassung und durch geeignete Wahl zumindest der Basisdotierkonzentration kann somit bei typischen, vorbekannten Solarzellenstrukturen die elektrische Eigenschaft der Solarzelle verändert werden, so dass die Solarzelle Gütekriterium I erfüllt. Dies wird typischerweise dadurch erreicht, dass ausgehend von einer an sich bekannten Solarzellenstruktur die Basisdotierkonzentration erhöht wird, derart, dass Gütekriterium I erfüllt wird. Dies ist insbesondere bei  
20 Siliziumsolarzellen und hierbei insbesondere bei so genannten „bulk“-Solarzellen, d. h. Solarzellen, welche ausgehend von einem Siliziumsubstrat hergestellt werden, vorteilhaft.

Untersuchungen des Anmelders haben ergeben, dass insbesondere bei Solarzellen basierend auf einem Halbleitersubstrat ausgehend von einem multikristallinen Siliziumwafer das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle vorteilhaft ist. Da insbesondere bei multikristallinem Silizium und typischer vorbekannter Solarzellenstrukturen eine Erhöhung der Basiskonzentration derart wählbar ist, dass die Solarzelle das Gütekriterium I  
30 erfüllt.  
35

Weiterhin ergaben Untersuchungen des Anmelders, dass insbesondere die Verwendung von umg-Silizium zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle geeignet ist, da auch bei diesem Material durch geeignete Wahl der Basisdotierkonzentration ein erfüllen  
5 des Gütekriterium 1 erzielt wird.

Vorzugsweise ist das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren einer photovoltaischen Solarzelle daher gemäß eines an sich bekannten Verfahrens zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle ausgebildet, wobei zumindest die Ba-  
10 sis mit einem Vergleich zu dem vorbekannten Verfahren höheren Basisdotierkonzentration ausgebildet wird, derart, dass die Solarzelle Gütekriterium I erfüllt.

Vorzugsweise wird die Basisdotierung derart gewählt, dass die Basis einen Basiswiderstand  $< 0,8 \text{ Ohmcm}$ , wie im Anspruch 14, bevorzugt  $< 0,7 \text{ Ohmcm}$ , weiter bevorzugt  $< 0,5 \text{ Ohmcm}$  aufweist.  
15

Vorgenannte Werte sind insbesondere bei der Ausbildung der Solarzelle ausgehend von einem multikristallinen Siliziumwafer vorteilhaft.  
20

Ansprüche

1. Verfahren zur Qualitätsprüfung einer photovoltaischen Solarzelle,  
5 folgende Verfahrensschritte umfassend:

a. Durchführen eines Leistungstests, indem die Solarzelle mit  
Licht beaufschlagt wird und gemäß eines Prüfkriteriums A ge-  
prüft wird, ob zumindest eine vorgegebene elektrische Mindest-  
leistung  $P_{Min}$  abgreifbar ist,

10 b. Durchführen eines Hitzeentwicklungstests, indem die Solarzelle  
mit einer vorgegebenen Hitzeentwicklungs-Spannung  $V_{HE}$  in  
Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird oder die Solarzelle derart  
mit Spannung in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird, dass ein  
15 vorgegebener Hitzeentwicklungs-Strom  $I_{HE}$  fließt,  
und indem gemäß eines Prüfkriteriums B geprüft wird, ob die  
Solarzellenoberfläche eine vorgegebene Grenztemperatur  $T_{GR}$   
nicht übersteigt oder gemäß eines theoretischen Voraussage-  
modells bei Einstellen eines Wärmegleichgewichts nicht über-  
steigen würde,

dadurch gekennzeichnet,

20 dass zusätzlich in einem Verfahrensschritt c. ein Durchbruchstest durch-  
geführt wird, indem die Solarzelle mit einer vorgegebenen Durchbruchs-  
Spannung  $V_{DB}$  in Rückwärtsrichtung beaufschlagt wird und gemäß eines  
25 Prüfkriteriums C geprüft wird, ob bei Beaufschlagung mit der vorgegebenen  
Durchbruchsspannung zumindest ein Strom größer oder gleich eines  
vorgegebenen Minstdurchbruchstroms  $I_{DB}$  fließt und/oder geprüft wird,  
ob bei Beaufschlagen der Solarzelle mit Spannung in Rückwärtsrichtung  
30 bereits bei einer Spannung kleiner einer als maximal definierten Durch-  
bruchspannung  $V_{DB,max}$  ein vorgegebener Minstdurchbruchstrom  $I_{DB}$   
fließt.

35 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,

dass ein Gütekriterium I der Solarzelle zugeordnet wird bei Bestehen zu-

mindest der Prüfkriterien A und B und C.

3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,

5 dass ein Gütekriterium II der Solarzelle zugeordnet wird, wenn zumindest  
eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt wird:

- Bestehen zumindest der Prüfkriterien A und B und C,

10 - Bestehen zumindest der Prüfkriterien A und B und bestehen eines  
Prüfkriteriums D, wobei in einem Verfahrensschritt d. ein Nicht-  
durchbruchstest durchgeführt wird, indem die Solarzelle mit einer  
Vorgegebenen Nichtdurchbruchsspannung  $V_{NDB}$  in Rückwärtsrich-  
tung beaufschlagt wird und gemäß Prüfkriterium D geprüft wird, ob  
bei Beaufschlagung mit der vorgegebenen Nichtdurchbruchsspan-  
15 nung ein Strom kleiner oder gleich eines vorgegebenen Maximal-  
stromes  $I_{NDB}$  fließt.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,

20 dass die Solarzelle zur Anordnung in einem Solarzellenmodul vorgesehen  
ist, bei welchem Solarzellenmodul die Solarzellen in Strings mit jeweils  
einer Anzahl von  $n_{St}$  Solarzellen angeordnet werden und dass in Verfah-  
rensschritt c der Minstdurchbruchsstrom  $I_{DB}$  größer oder gleich, vor-  
zugsweise gleich dem Strom des Solarzellenmoduls am optimalen Ar-  
beitspunkt gewählt wird

und/oder

dass die Durchbruchs-Spannung  $V_{DB}$  betragsmäßig kleiner oder gleich,  
vorzugsweise gleich der Summe der Spannungen  $V_{mpp}$  der Solarzellen  
des Strings am jeweils optimalen Arbeitspunkt der Solarzellen gewählt  
30 wird, bevorzugt, dass die Durchbruchs-Spannung  $V_{DB}$  betragsmäßig klei-  
ner oder gleich, vorzugsweise gleich der Summe der Spannungen  $V_{mpp}$   
der Solarzellen des Strings am jeweils optimalen Arbeitspunkt der Solar-  
zellen multipliziert mit einem Faktor  $1/n_{ab}$  gewählt wird, wobei  $n_{ab}$  die  
Anzahl der bei typischer Verwendung unft Auftreten einer Abschattung  
35 typischerweise abgeschatteten Solarzellen eines Strings angibt oder die

Anzahl abgeschatteter Solarzellen in einem String, bei deren Abschattung ein Leistungsverlust bei Verwendung gemäß Vorgabe vermieden werden soll.

- 5 5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in Verfahrensschritt b die Grenztemperatur  $T_{GR}$  kleiner  $300^{\circ}\text{C}$ , vor-  
zugsweise im Bereich  $100^{\circ}\text{C}$  bis  $250^{\circ}\text{C}$ , weiter bevorzugt im Bereich  
130 $^{\circ}\text{C}$  bis 180 $^{\circ}\text{C}$  gewählt wird.
- 10 6. Verwendung einer photovoltaischen Solarzelle in einem Solarzellenmo-  
dul,  
welche Solarzelle zumindest das Prüfkriterium C gemäß Anspruch 1, vor-  
zugsweise die Prüfkriterien A und C gemäß Anspruch 1, weiter bevorzugt  
15 Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 erfüllt.
7. Solarzellenmodul,  
umfassend eine Mehrzahl elektrisch miteinander verbundener photovolta-  
ischer Solarzellen,  
20 dadurch gekennzeichnet,  
dass das Solarzellenmodul ausschließlich Solarzellen umfasst, welche  
Solarzellen das Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 und/oder das Gütecri-  
terium II gemäß Anspruch 3 erfüllen.
- 25 8. Solarzellenmodul nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Solarzellen in Strings angeordnet sind und mindestens ein String  
des Solarzellenmoduls ausschließlich Solarzellen umfasst, welche das  
Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 erfüllen, vorzugsweise,  
30 dass diesem String keine Bypassdiode zugeordnet ist.
9. Solarzellenmodul nach einem der Ansprüche 7 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass sämtliche Solarzellen des Moduls das Gütekriterium I gemäß An-  
35 spruch 2 erfüllen, vorzugsweise,  
dass das Solarzellenmodul keine elektrisch mit den Solarzellen verbun-

dene Bypassdiode aufweist.

10. Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle,  
umfassend das Bereitstellen mindestens eines Basisbereichs mit einer  
Basisdotierkonzentration und mindestens eines Emitterbereichs, derart,  
5 dass ein pn- und/oder pin-Übergang zwischen Basis- und Emitterbereich  
ausgebildet wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Basisdotierkonzentration derart gewählt wird, dass die Solarzelle  
10 das Gütekriterium I gemäß Anspruch 2 erfüllt.

11. Verfahren nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Herstellungsverfahren grundsätzlich gemäß eines an sich be-  
15 kannten Verfahrens zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle  
ausgebildet ist,  
wobei zumindest die Basis mit einer im Vergleich zu dem vorbekannten  
Verfahren höheren Basisdotierkonzentration ausgebildet wird.

20 12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 10 bis 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zumindest die Basis in einem Siliziumsubstrat ausgebildet wird, vor-  
zugsweise dass Basis und Emitter in dem Siliziumsubstrat ausgebildet  
werden

25 13. Verfahren nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Siliziumsubstrat ein multikristalliner Siliziumwafer ist.

30 14. Verfahren nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Basisdotierung kleiner 0,8 Ohmcm, bevorzugt kleiner 0,7  
Ohmcm, weiter bevorzugt kleiner 0,5 Ohmcm ausgebildet wird.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2012/053671

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01R31/26  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01R

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	K. Bothe, K. Ramspeck, D. Hinken, C. Schinke, J. Schmidt: "Luminescence emission from forward- and reverse-biased multicrystalline silicon solar cells", Journal of Applied Physics, vol. 106, no. 104510 23 November 2009 (2009-11-23), pages 104510-1-104510-8, XP002675246, Retrieved from the Internet: URL:http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=JAPIAU000106000010104510000001&idtype=cvips&doi=10.1063/1.3256199&prog=normal [retrieved on 2012-05-03] the whole document ----- -/--	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 4 May 2012	Date of mailing of the international search report 16/05/2012
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Rosello Garcia, M
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2012/053671

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HISAMATSU T ET AL: "Reverse bias characteristics of modules made of solar cells with and without integrated bypass function (IBF)", 19960513; 19960513 - 19960517, 13 May 1996 (1996-05-13), pages 251-254, XP010208139, the whole document	1-14
A	----- FIELD H ET AL: "Cell binning method analysis to minimize mismatch losses and performance variation in Si-based modules", CONFERENCE RECORD OF THE IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE 2002 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS INC. US; [IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE],, vol. CONF. 29, 19 May 2002 (2002-05-19), pages 418-421, XP010666316, DOI: 10.1109/PVSC.2002.1190548 ISBN: 978-0-7803-7471-3 the whole document	1-14
A	----- ANKUR JHUNJHUNWALA: "An alternate cell binning method and the resulting economic-impact", PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC), 2009 34TH IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 7 June 2009 (2009-06-07), pages 1822-1825, XP031626757, ISBN: 978-1-4244-2949-3 the whole document	1-14
A	----- H. FIELD, A.M. GABOR: "Optimization of binning schemes during Si-wafer based cell and module testing", NINETEENTH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE : PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN PARIS, FRANCE, 7 - 11 JUNE 2004, MÜNCHEN : WIP-MUNICH ; FLORENCE : ETA-FLORENCE, 7 June 2004 (2004-06-07), XP040510861, ISBN: 978-3-936338-15-7 the whole document	1-14
	----- -/--	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2012/053671

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>ROBERTO GIRAL ET AL: "Minimizing the effects of shadowing in a PV module by means of active voltage sharing", INDUSTRIAL TECHNOLOGY (ICIT), 2010 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 14 March 2010 (2010-03-14), pages 943-948, XP031681011, ISBN: 978-1-4244-5695-6 the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-14
A	<p>H. Oldenkamp: "Detailed analysis of currents in PV-shunts", 5 February 2011 (2011-02-05), XP002675249, Retrieved from the Internet: URL:<a href="http://oke-services.nl/downloads/200202_pvwirefree_note.pdf">http://oke-services.nl/downloads/200202_pvwirefree_note.pdf</a> [retrieved on 2012-05-04] the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-14

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01R31/26 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) G01R		
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	K. Bothe, K. Ramspeck, D. Hinken, C. Schinke, J. Schmidt: "Luminescence emission from forward- and reverse-biased multicrystalline silicon solar cells", Journal of Applied Physics, Bd. 106, Nr. 104510 23. November 2009 (2009-11-23), Seiten 104510-1-104510-8, XP002675246, Gefunden im Internet: URL: <a href="http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&amp;id=JAPIAU000106000010104510000001&amp;idtype=cvips&amp;doi=10.1063/1.3256199&amp;prog=normal">http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&amp;id=JAPIAU000106000010104510000001&amp;idtype=cvips&amp;doi=10.1063/1.3256199&amp;prog=normal</a> [gefunden am 2012-05-03] das ganze Dokument ----- -/--	1-14
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input type="checkbox"/> 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	
4. Mai 2012	16/05/2012	
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  Rosello Garcia, M	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	HISAMATSU T ET AL: "Reverse bias characteristics of modules made of solar cells with and without integrated bypass function (IBF)", 19960513; 19960513 - 19960517, 13. Mai 1996 (1996-05-13), Seiten 251-254, XP010208139, das ganze Dokument	1-14
A	FIELD H ET AL: "Cell binning method analysis to minimize mismatch losses and performance variation in Si-based modules", CONFERENCE RECORD OF THE IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE 2002 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS INC. US; [IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE],, Bd. CONF. 29, 19. Mai 2002 (2002-05-19), Seiten 418-421, XP010666316, DOI: 10.1109/PVSC.2002.1190548 ISBN: 978-0-7803-7471-3 das ganze Dokument	1-14
A	ANKUR JHUNJHUNWALA: "An alternate cell binning method and the resulting economic-impact", PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC), 2009 34TH IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 7. Juni 2009 (2009-06-07), Seiten 1822-1825, XP031626757, ISBN: 978-1-4244-2949-3 das ganze Dokument	1-14
A	H. FIELD, A.M. GABOR: "Optimization of binning schemes during Si-wafer based cell and module testing", NINETEENTH EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE : PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN PARIS, FRANCE, 7 - 11 JUNE 2004, MÜNCHEN : WIP-MUNICH ; FLORENCE : ETA-FLORENCE, 7. Juni 2004 (2004-06-07), XP040510861, ISBN: 978-3-936338-15-7 das ganze Dokument	1-14
	----- -/--	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>ROBERTO GIRAL ET AL: "Minimizing the effects of shadowing in a PV module by means of active voltage sharing", INDUSTRIAL TECHNOLOGY (ICIT), 2010 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 14. März 2010 (2010-03-14), Seiten 943-948, XP031681011, ISBN: 978-1-4244-5695-6 das ganze Dokument</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-14
A	<p>H. Oldenkamp: "Detailed analysis of currents in PV-shunts", 5. Februar 2011 (2011-02-05), XP002675249, Gefunden im Internet: URL:<a href="http://oke-services.nl/downloads/200202_pvwirefree_note.pdf">http://oke-services.nl/downloads/200202_pvwirefree_note.pdf</a> [gefunden am 2012-05-04] das ganze Dokument</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-14