(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
27. März 2014 (27.03.2014)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/044597 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/0224 (2006.01) *H01L 31/18* (2006.01)
H01L 31/068 (2012.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/068940

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. September 2013 (12.09.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 217 078.2
21. September 2012 (21.09.2012) DE

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

(72) Erfinder: **THAIDIGSMANN, Benjamin**; Lerchenstraße 3, 79104 Freiburg (DE). **LOHMÜLLER, Elmar**; Moltkestraße 40, 79098 Freiburg (DE). **CLEMENT, Florian**; Rabenkopfstraße 15, 79102 Freiburg (DE). **WOLF, Andreas**; Marie-Curie Straße 36, 79100 Freiburg (DE). **BIRO, Daniel**; Antoniterstraße 5, 79106 Freiburg (DE). **PREU, Ralf**; Kirnerstraße 11, 79117 Freiburg (DE).

(74) Anwälte: **DICKER, Jochen** et al.; 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

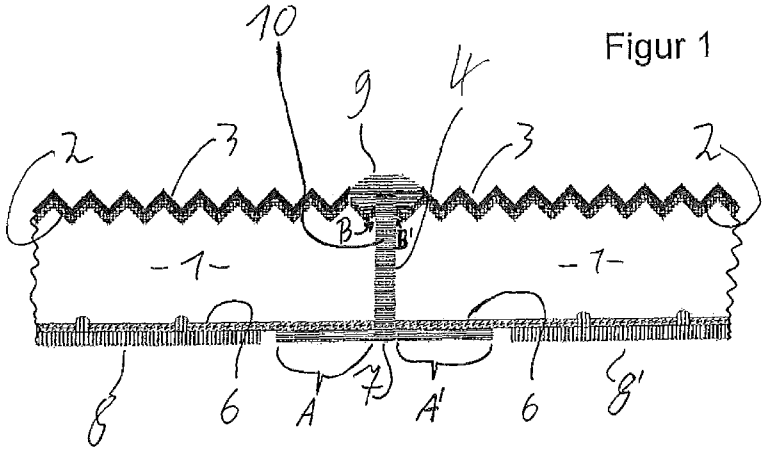
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: PHOTOVOLTAIC SOLAR CELL AND METHOD FOR PRODUCING A PHOTOVOLTAIC SOLAR CELL

(54) **Bezeichnung** : PHOTOVOLTAISCHE SOLARZELLE UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER PHOTOVOLTAISCHEN SOLARZELLE

Figur 1



(57) **Abstract**: The invention relates to a photovoltaic solar cell with a front face designed for coupling light, comprising at least one recess (4) extending from the front face to the rear face in the semiconductor substrate (1) of a base doping type, at least one metal through-conduction structure (10), wherein the through-conduction structure (10) is guided in the recess (4) from the front face to the rear face of the semiconductor substrate and is connected in an electrically conductive manner to the metal front face contact structure (9), which is connected in an electrically conductive manner to an emitter region (2) of the opposite doping to the base doping type, formed on the front face, and at least one rear face contact structure (7), which is connected to the through-conduction structure (10) in an electrically conductive manner and is arranged on the electrically isolating isolation layer (6) on the rear face and covers the isolation layer at least in the regions surrounding the recess (4), and therefore the rear face contact structure (7) is electrically isolated by the isolation layer (6) against the semiconductor substrate (1) lying beneath the isolation layer (6). It is essential that the through-conduction structure (10) directly adjoins a base region of the base doping type on the walls of the recess (4) in the semiconductor substrate (1). The invention further relates to a method for producing a photovoltaic solar cell.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/044597 A1

LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Die Erfindung betrifft eine photovoltaische Solarzelle mit einer zur Lichteinkopplung ausgebildeten Vorderseite, umfassend mindestens eine sich von der Vorder- zu der Rückseite erstreckende Ausnehmung (4) in dem Halbleitersubstrat (1) eines Basisdotierungstyps und mindestens eine metallische Durchleitungsstruktur (10), wobei die Durchleitungsstruktur (10) in der Ausnehmung (4) von der Vorder- zu der Rückseite des Halbleitersubstrates geführt und mit der metallischen Vorderseitenkontaktstruktur (9) elektrisch leitend verbunden ist, welche mit einem an der Vorderseite ausgebildeten Emitterbereich (2), von der dem Basisdotierungstyp entgegengesetze Dotierung, elektrisch leitend verbunden ist, und mindestens eine Rückseitenkontaktstruktur (7), welche mit der Durchleitungsstruktur (10) elektrisch leitend verbunden ist und auf der elektrisch isolierenden Isolierungsschicht (6) an der Rückseite angeordnet ist und sie zumindest in den die Ausnehmung (4) umgebenden Bereichen bedeckt, so dass die Rückseitenkontaktstruktur (7) durch die Isolierungsschicht (6) gegenüber dem unter der Isolierungsschicht (6) liegenden Halbleitersubstrat (1) elektrisch isoliert ist. Wesentlich ist, dass in dem Halbleitersubstrat (1) an den Wänden der Ausnehmung (4) die Durchleitungsstruktur (10) unmittelbar an einen Basisbereich des Basisdotierungstyps angrenzt. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle.

Photovoltaische Solarzelle und Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine photovoltaische Solarzelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 6.

Photovoltaische Solarzellen bestehen typischerweise aus einer Halbleiterstruktur, welche einen Basis- und einen Emitterbereich aufweist, wobei die Halbleiterstruktur typischerweise im Wesentlichen durch ein Halbleitersubstrat, wie beispielsweise ein Siliziumsubstrat, gebildet wird. In die Halbleiterstruktur wird typischerweise über die Vorderseite der Solarzelle Licht eingekoppelt, so dass nach Absorption des eingekoppelten Lichts in der Solarzelle eine Generation von Elektron-Lochpaaren stattfindet. Zwischen Basis und Emitterbereich bildet sich ein pn-Übergang aus, an dem die generierten Ladungsträgerpaare getrennt werden. Weiterhin umfasst eine Solarzelle einen metallischen Emitter- sowie einen metallischen Basiskontakt, die jeweils elektrisch leitend mit dem Emitter bzw. mit der Basis verbunden sind. Über diese metallischen Kontakte können die am pn-Übergang getrennten Ladungsträger abgeführt und somit einem externen Stromkreis bzw. einer benachbarten Solarzelle bei Modulverschaltung zugeführt werden.

Es sind unterschiedliche Solarzellenstrukturen bekannt, wobei sich die vorliegende Erfindung auf solche Solarzellenstrukturen bezieht, bei denen beide elektrischen Kontakte der Solarzelle auf der Rückseite angeordnet sind, wobei die Basis der Solarzelle über eine rückseitig angeordnete metallische Basiskontaktstruktur und der Emitter der Solarzelle über eine rückseitig angeordnete metallische Rückseitenkontaktstruktur elektrisch kontaktierbar ist. Dies steht im Gegensatz zu Standardsolarzellen, bei denen typischerweise der metallische Emitterkontakt auf der Vorderseite und der metallische Basiskontakt auf der Rückseite der Solarzelle liegt.

Die Erfindung bezieht sich hierbei auf eine spezielle Ausgestaltung einer rückseitig kontaktierbaren Solarzelle, die metal-wrap-through-Solarzelle (MWT-Solarzelle). Diese aus EP 985233 und van Kerschaver et al. „A novel silicon solar cell structure with both external polarity contacts on the back surface"; Proceedings of the 2nd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Vienna, Austria, 1998 bekannte Solarzelle weist zwar eine an der zur Lichteinkopplung ausgebildeten Vorderseite der Solarzelle angeordnete metallische Vorderseitenkontaktstruktur auf, die mit dem Emitterbereich elektrisch leitend verbunden ist. Weiterhin weist die Solarzelle jedoch eine Vielzahl sich von der Vorder- zur Rückseite erstreckender Ausnehmungen im Halbleitersubstrat auf, die von metallischen Durchleitungsstrukturen durchdrungen und rückseitig mit einer oder mehreren metallischen Rückseitenkontaktstrukturen elektrisch leitend verbunden sind, so dass rückseitig über die Rückseitenkontaktstruktur, die Durchleitungsstruktur und die Vorderseitenkontaktstruktur der Emitterbereich elektrisch kontaktierbar ist.

Die MWT-Struktur weist den Vorteil auf, dass die Ladungsträger aus dem Emitter an der Vorderseite über die Vorderseitenkontaktstruktur eingesammelt werden und somit keine ohmschen Verluste durch einen etwaigen Ladungsträgertransport innerhalb des Halbleitersubstrates von der Vorder- zur Rückseite bezüglich des Emitterbereiches entstehen. Weiterhin ergibt sich durch die rückseitige Kontaktierbarkeit sowohl des Basis- als auch des Emitterbereiches eine einfachere Verschaltung der MWT-Solarzellen im Modul verglichen mit Standardsolarzellen.

Nachteilig an der MWT-Struktur ist, dass, verglichen mit Standardsolarzellen, zusätzliche Strukturen, wie beispielsweise die Ausnehmungen und die metallischen Durchleitungsstrukturen durch die Ausnehmungen hindurch, erzeugt werden müssen, so dass eine höhere Komplexität und damit höhere Kosten verglichen mit der Herstellung von Standardsolarzellen vorliegen. Darüber hinaus bestehen insbesondere bei ungenauer Prozessierung an den Wänden der Ausnehmungen sowie in dem Bereich, in dem die Rückseitenkontaktstrukturen die Rückseite der Solarzelle bedecken, Risiken zur Ausbildung zusätzlicher Verlustmechanismen, insbesondere können Kurzschlussströme auftreten, sofern die Rückseitenkontaktstruktur fehlerhafterweise in den Basisbereich des Halb-

leitersubstrates vordringt (so genanntes „Spiking" bzw. „Shunting") wodurch sich der Wirkungsgrad der Solarzelle erheblich verringert.

Aus diesem Grund wird in der EP 0 985 233 vorgeschlagen, den Emitter durch die Ausnehmungen hindurch und an der Rückseite zumindest über die von der Rückseitenkontaktstruktur bedeckten Bereiche hinauszuführen, so dass die Rückseitenkontaktstruktur, die der externen Kontaktierung des Emitters dient, keinen Bereich des Halbleitersubstrates der Basisdotierung bedeckt.

Dies erfordert jedoch eine aufwändige Prozessierung und mehrere kostenintensive Maskierungsschritte.

Es ist daher aus DE 10 2010 026 960 A1 bekannt, eine MWT-Struktur mit Emitterbereichen an der dem Lichteinfall zugewandten Vorderseite und den Wänden der Ausnehmungen, nicht jedoch an der Rückseite auszubilden.

Hinsichtlich des Strukturaufbaus weitergehend vereinfacht ist eine in WO 2012/026812 offenbarte MWT-Struktur, bei welcher kein Emitter an den Wänden der Ausnehmungen ausgebildet ist und die metallische Durchleitungsstruktur unmittelbar an das Halbleitersubstrat angrenzt, d. h. nicht durch eine elektrisch isolierende Zwischenschicht in den Ausnehmungen von diesen isoliert ist. Gemäß der Lehre dieser Offenbarung ist daher die Durchmetallisierung mit einer in horizontaler Richtung ausgehend von der Mitte der Durchmetallisierung zu den Rändern hin abnehmenden Leitfähigkeit auszubilden.

Aufgrund des zunehmenden Preisdrucks bei der Herstellung von photovoltaischen Solarzellen besteht ein großer Bedarf nach kostengünstigen und gleichzeitig zuverlässigen Herstellungsverfahren und ebensolchen Solarzellenstrukturen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine MWT-Solarzelle und ein Verfahren zur Herstellung einer MWT-Solarzelle zur Verfügung zu stellen, die sich durch einen zuverlässigen und robusten sowie gleichzeitig kostengünstigen Aufbau auszeichnet.

Gelöst ist diese Aufgabe durch eine photovoltaische Solarzelle gemäß Anspruch 1 und durch ein Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß Anspruch 6. Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen photovoltaischen Solarzelle finden sich in den Ansprüchen 2 bis 5. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens finden sich in den Ansprüchen 7 bis 15. Hiermit wird der Wortlaut sämtlicher Ansprüche explizit per Referenz in die Beschreibung einbezogen. Die erfindungsgemäße photovoltaische Solarzelle wird vorzugsweise durch das erfindungsgemäße Verfahren oder eine vorzugsweise Ausführungsform hiervon ausgebildet. Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorzugsweise zur Ausbildung einer erfindungsgemäßen Solarzelle oder einer vorzugsweisen Ausführungsform hiervon ausgebildet.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass überraschenderweise die bisherigen Optimierungen von MWT-Strukturen von einer fehlerhaften Gewichtung der Verlustmechanismen ausgingen, so dass nach der vorbekannten Lehre zur Ausbildung einer effizienten und zuverlässigen MWT-Solarzelle ein Emitter an den Wänden der Ausnehmungen und/oder eine elektrisch isolierende Schicht an den Wänden der Ausnehmungen und/oder zumindest eine Durchleitungsstruktur mit zu den Wänden der Ausnehmung in abnehmender Leitfähigkeit zwingend erforderlich ist.

Überraschenderweise weist jedoch die scheinbar am stärksten vereinfachte, in der vorgenannten WO 2012/026812 in Figur 4 und zugehöriger Beschreibung offenbarte MWT-Struktur einen bisher nicht ausreichend bewerteten Nachteil auf: Zwar zeigen solche Solarzellen im Normalbetrieb, d. h. unter optimalen Testbedingungen einen guten Wirkungsgrad und insbesondere nur geringe Shunts, d. h. in der globalen Auswertung einen hohen zugeordneten Parallelwiderstand. Unter Rückwärtsbelastung, wie sie beispielsweise bei realen Bedingungen und Teilabschattung eines Teils von Solarzellen in einem Modul auftreten kann, weisen solche Solarzellen jedoch eine erheblich geringere Durchbruchsspannung gegenüber anderen MWT-Strukturen auf, d. h. dass ein so genannter Rückwärtsdurchbruch bei einer erheblich geringeren Spannung auftritt. Dies stellt aufgrund der mit solch einem Durchbruch auftretenden lokalen erheblichen Wärmeentwicklung ein erhebliches Risiko dar, dass solche Solarzellenstrukturen bei Teilabschattung zu einer Beschädigung des Moduls bis hin zur Brandentwicklung anfällig sind. Für eine solide Modulauslegung wären bei sol-

chen Solarzellen somit zusätzliche Bypassdioden vorzusehen, welche wiederum die Kosten erhöhen und den Kostenvorteil aufgrund der reduzierten Solarzellenstruktur nichtig machen.

Weiterhin konnte jedoch gezeigt werden, dass insbesondere die großflächige Metallisierung der Rückseitenkontaktstruktur für das vorgenannte Verhalten bei Teilabschattung entscheidend ist und dass die vergleichsweise geringfügige Fläche, an welcher die Durchleitungsstruktur an die Wände der Ausnehmung angrenzt, jedoch kein erhebliches Risiko für eine verminderte Durchbruchspannung unter Rückwärtsbelastung darstellt.

Durch Umsetzung dieser überraschenden Erkenntnisse konnte eine neue MWT-Solarzellenstruktur sowie ein Verfahren zu deren Herstellung entwickelt werden, welches einerseits gegenüber der in der DE 10 2010 026 960 A1 offenbarten Struktur eine weitere Kostenersparnis ermöglicht und dennoch die Nachteile einer Solarzellenstruktur insbesondere gemäß Figur 4 der WO 2012/026812 vermeidet:

Die erfindungsgemäße photovoltaische Solarzelle weist eine zur Lichteinkopplung ausgebildete Vorderseite auf und umfasst ein Halbleitersubstrat eines Basisdotierungstyps, mindestens einen an der Vorderseite ausgebildeten Emitterbereich eines Emitterdotierungstyps, der dem Basisdotierungstyp entgegengesetzt ist. Dotierungstypen sind hierbei die n-Dotierung und die hierzu entgegengesetzte p-Dotierung.

Die Solarzelle umfasst weiterhin mindestens eine auf der Vorderseite zur Stromeinsammlung ausgebildete metallische Vorderseitenkontaktierungsstruktur, die mit dem Emitterbereich elektrisch leitend verbunden ist, mindestens eine metallische Basiskontaktstruktur, welche an der Rückseite der Solarzelle angeordnet und mit dem Halbleitersubstrat in einem Bereich des Basisdotierungstyps elektrisch leitend verbunden ist, mindestens eine sich von der Vorder- zu der Rückseite erstreckende Ausnehmung in dem Halbleitersubstrat und mindestens eine Durchleitungsstruktur, wobei die Durchleitungsstruktur in der Ausnehmung von der Vorder- zu der Rückseite des Halbleitersubstrates geführt und mit der Vorderseitenkontaktstruktur elektrisch leitend verbunden ist sowie mindestens

eine metallische Rückseitenkontaktstruktur, welche an der Rückseite angeordnet und mit der Durchleitungsstruktur elektrisch leitend verbunden ist.

An der Rückseite des Halbleitersubstrates ist mittelbar oder bevorzugt unmittelbar eine elektrisch isolierende Isolierungsschicht angeordnet, welche die Rückseite zumindest in dem die Ausnehmung umgebenden Bereiche, vorzugsweise vollständig, bedeckt. Die Rückseitenkontaktstruktur ist mittelbar oder bevorzugt unmittelbar auf der Isolierungsschicht angeordnet, so dass die Rückseitenkontaktstruktur durch die Isolierungsschicht gegenüber dem unter der Isolierungsschicht liegenden Halbleitersubstrat elektrisch isoliert ist.

Hinsichtlich dieses Grundaufbaus entspricht die erfindungsgemäße Solarzelle somit der bewährten und beispielsweise in DE 10 2010 026 960 A1 beschriebenen MWT-Struktur.

Wesentlich ist, dass bei der erfindungsgemäßen Solarzelle in dem Halbleitersubstrat an den Wänden der Ausnehmung die Durchleitungsstruktur unmittelbar an einen Basisbereich des Basisdotierungstyps angrenzt.

Die erfindungsgemäße Solarzellenstruktur ist somit in den überraschenden Erkenntnissen begründet, dass einerseits an der Rückseite der Solarzelle hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Solarzelle insbesondere bei Teilabschattung eine zuverlässige elektrische Isolierung zwischen Rückseitenkontaktstruktur und Basisbereich des Halbleitersubstrates wesentlich ist, dass es Kostenvorteile bietet, keinen Emitter an der Rückseite auszubilden und dass aufgrund der vergleichsweise geringen Flächenanteile ein unmittelbares Angrenzen der Durchleitungsstruktur an den Basisbereich an den Wänden der Ausnehmung nicht oder nur geringfügig zu einer Beeinträchtigung des Wirkungsgrades und des Verhaltens bei Teilabschattung der Solarzelle führt. Hierdurch wird eine Kostenreduktion bei der Herstellung der erfindungsgemäßen MWT-Solarzelle gegenüber vorbekannten MWT-Solarzellen erreicht und dennoch liegt keine oder nur eine vernachlässigbare Wirkungsgradverringerung und Verschlechterung des Verhaltens bei Rückwärtsbelastung, insbesondere keine Erhöhung der Stromstärke bei Rückwärtsbelastung vor. Weiterhin kann die Durchleitungsstruktur homogen, insbesondere mit homogener Leitfähigkeit ausgebildet werden und es ist insbe-

sondere keine zu den Wänden der Ausnehmungen hin abnehmende Leitfähigkeit notwendig.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle mit einer zur Lichteinkopplung ausgebildeten Vorderseite umfasst folgende Verfahrensschritte:

In einem Verfahrensschritt A wird eine Mehrzahl von Ausnehmungen in einem Halbleitersubstrat eines Basisdotierungstyps erzeugt.

In einem Verfahrensschritt B werden ein oder mehrere Emitterbereiche eines Emitterdotierungstyps zumindest an der Vorderseite des Halbleitersubstrates erzeugt, wobei der Emitterdotierungstyp entgegengesetzt zu dem Basisdotierungstyp ist.

In einem Verfahrensschritt C wird auf der Rückseite des Halbleitersubstrates eine elektrisch isolierende Isolierungsschicht aufgebracht. In einem Verfahrensschritt D wird mindestens eine metallische Basiskontaktstruktur an der Rückseite der Solarzelle erzeugt, welche elektrisch leitend mit dem Halbleitersubstrat in einem Basisdotierbereich ausgebildet wird. Weiterhin wird in Verfahrensschritt D mindestens eine metallische Vorderseitenkontaktstruktur an der Vorderseite der Solarzelle erzeugt, welche elektrisch leitend mit dem Emitterbereich an der Vorderseite des Halbleitersubstrates ausgebildet wird und es wird mindestens eine Rückseitenkontaktstruktur an der Rückseite der Solarzelle erzeugt, welche mit der Durchleitungskontaktstruktur elektrisch leitend verbunden ausgebildet wird.

In Verfahrensschritt C wird die Isolierungsschicht die Rückseite des Halbleitersubstrates mittelbar oder bevorzugt unmittelbar bedeckend aufgebracht.

In Verfahrensschritt D wird die Rückseitenkontaktstruktur auf die Isolierungsschicht mittelbar oder bevorzugt unmittelbar aufgebracht, derart, dass die Rückseitenkontaktstruktur sich über Bereich des Halbleitersubstrates mit Basisdotierung erstreckt und in diesen Bereichen zumindest aufgrund der dazwischenliegenden Isolierungsschicht eine elektrische Isolierung zwischen Rückseitenkontaktstruktur und Halbleitersubstrat ausgebildet wird. Die Basiskontaktstruktur wird in Verfahrensschritt D auf die Isolierungsschicht mittelbar oder bevorzugt

unmittelbar aufgebracht, derart, dass die Basiskontaktstruktur die Isolierungsschicht zumindest bereichsweise durchdringt, so dass eine elektrisch leitende Verbindung zwischen Basiskontaktstruktur und Halbleitersubstrat erzeugt wird.

Hinsichtlich dieser Verfahrensschritte entspricht das erfindungsgemäße Verfahren beispielsweise dem in DE 10 2010 02 960 A1 beschriebenen. Dies betrifft jedoch nicht die Reihenfolge der Verfahrensschritte und/oder das Hinzufügen weiterer Verfahrensschritte:

Wesentlich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist, dass in dem Halbleitersubstrat an den Wänden der Ausnehmung die Durchleitungsstruktur (10) abseits des vorderseitigen Emitterbereiches unmittelbar an einen Basisbereich des Basisdotierungstyps angrenzend ausgebildet wird.

Hierdurch wird in kostengünstiger Weise eine MWT-Solarzelle hergestellt, bei welcher die metallische Rückseitenkontaktstruktur an der Rückseite des Halbleitersubstrates zumindest durch die Isolierungsschicht elektrisch von dem Halbleitersubstrat isoliert ist, an den Wänden der Ausnehmungen jedoch kein Emitter explizit ausgebildet wird und auch keine eigens ausgebildete elektrische Isolierungsschicht zwischen Durchleitungsstruktur und den Wänden der Ausnehmungen ausgebildet wird.

Hierdurch ergeben sich die bereits zu der erfindungsgemäßen photovoltaischen Solarzelle genannten Vorteile. Insbesondere ist das erfindungsgemäße Verfahren kostengünstiger gegenüber vorbekannten Verfahren, insbesondere gegenüber dem in DE 10 2010 026 960 A1 beschriebenen Verfahren. Denn in dem vorbekannten Verfahren ist nach Erzeugen der Ausnehmungen eine weitere Oberflächenbehandlung des Halbleitersubstrates in den Ausnehmungen wesentlich, da sonst der an den Wänden der Ausnehmung ausgebildete Emitter nachteilig (mit einem hohen j_{02}-Anteil im zugeordneten Zweidiodenmodell, d.h. ein Verluststrom in der Raumladungszone) ausgebildet wird. Auf einen solchen, kostenintensiven zusätzlichen Verfahrensschritt zur Nachbehandlung der Oberfläche des Halbleitersubstrates in den Ausnehmungen kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren verzichtet werden, da keine wesentliche Emitterbedeckung an den Wänden der Ausnehmung vorhanden ist. Eine eventuelle Oberflächen-

schädigung an den Wänden der Ausnehmung spielt somit nur eine untergeordnete Rolle.

In bevorzugter Weise wird Verfahrensschritt A nach Verfahrensschritt B und vorzugsweise auch nach Verfahrensschritt C ausgeführt wird. Denn hierdurch ist sichergestellt, dass in Verfahrensschritt B kein Emitter an den Wänden der Ausnehmung ausgebildet werden kann, da die Ausnehmung erst danach erzeugt werden und/oder dass die Isolierungsschicht in einfacher Weise an den Ausnehmungen geöffnet wird und keine Isolierungsschicht in den Ausnehmungen ausgebildet wird, da die Ausnehmungen erst nach Ausbildung der Isolierungsschicht erzeugt werden.

In einer weiteren Vorzugsweisen Ausführungsform wird Verfahrensschritt A vor Verfahrensschritt B und bevorzugt auch vor Verfahrensschritt C ausgeführt. Hierdurch wird in Verfahrensschritt B zumindest geringfügig auch ein Emitter an den Wänden der in Verfahrensschritt A erzeugten Ausnehmungen, gegebenenfalls auch an der Solarzellenrückseite, ausgebildet. Daher wird in dieser vorzugsweise Ausführungsform in einem Verfahrensschritt X nach Verfahrensschritt B der Emitter an den Wänden der Ausnehmungen sowie gegebenenfalls auch an der Solarzellenrückseite wieder entfernt. Dies kann bevorzugt mittels einer nasschemischen oder plasmabasierten Emitterrückätze erfolgen. Geeignete Verfahren sind aus INDUSTRIAL REALIZATION OF DRY PLASMA ETCHING FOR PSG REMOVAL AND REAR SIDE EMITTER ETCHING, EU-PVSEC, Rentsch, 2007, und aus SINGLE SIDE ETCHING – KEY TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL HIGH EFFICIENCY PROCESSING, EU-PVSEC, Rentsch, 2008 bekannt. Insbesondere können nasschemische Prozesse kombiniert mit Ätzstoppmasken eingesetzt werden.

In einer weiteren Vorzugsweisen Ausführungsform wird Verfahrensschritt A vor Verfahrensschritt B und bevorzugt auch vor Verfahrensschritt C ausgeführt. Weiterhin wird in einem Verfahrensschritt Y1 nach Verfahrensschritt A und vor Verfahrensschritt B eine Diffusionsbarrierenschicht an den Wänden der Ausnehmung, insbesondere auch an der Solarzellenrückseite, aufgebracht, welche somit in Verfahrensschritt B das Ausbilden eines Emitters an den Wänden der Ausnehmung sowie gegebenenfalls an der Solarzellenrückseite verhindert. Diese Diffusionsbarrierenschicht wird in einem Verfahrensschritt Y2 nach Verfah-

rensschritt B wieder entfernt. Verfahrensschritt Y1 wird vorzugsweise ausgeführt, indem eine Diffusionsbarrierenschicht durch thermische Oxidation, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung weiterer Schritte, durch physikalische Beschichtungsverfahren wie Kathodenzerstäubung oder chemische Abscheideverfahren, insbesondere PECVD, erzeugt wird. Geeignete Materialien für Diffusionsbarrierenschichten sind insbesondere SiOx, SiNx, AlOx, SiCx, TiNx. Desweiteren können Sprüh- und Druckprozesse zur Erzeugung geeigneter Diffusionsbarrierenschichten eingesetzt werden. Verfahrensschritt Y2 wird vorzugsweise ausgeführt, indem die Diffusionsbarrierenschicht nasschemisch oder mittels plasmabasierter Ätzverfahren wieder entfernt wird. Vorzugsweise wir die Diffusionsbarrierenschicht gemeinsam mit der Dotierstoffquelle entfernt, bevorzugt mit Flusssäure.

Vorzugsweise ist bei der erfindungsgemäßen photovoltaischen Solarzelle an der Rückseite der Solarzelle kein Emitter ausgebildet. Hierdurch werden aufwändige Verfahrensschritte, insbesondere Maskierungen oder ein selektives Drucken von Dotierungspasten an der Rückseite eingespart.

Vorzugsweise bedeckt die metallische Rückseitenkontaktstruktur mindestens 0.1% der rückseitigen Isolierungsschicht, weiter bevorzugt maximal 5% der rückseitigen Isolierungsschicht. Bevorzugt ist eine Bedeckung im Bereich 0,5 % bis 3%, insbesondere 0,5 % bis 1,5% der rückseitigen Isolierungsschicht. Vorgenannte Prozentzahlen beziehen sich auf die Flächenbedeckung.

Vorzugsweise weist die erfindungsgemäße Solarzelle eine Vielzahl an Ausnehmungen mit Durchleitungsstrukturen auf, bevorzugt zwischen 10 und 70 je Solarzelle.

Vorzugsweise werden die Durchleitungsstrukturen bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mittels einer nicht kontaktierenden Metallpaste ausgebildet. Solche nicht kontaktierenden Metallpasten sind an sich bekannt und beispielsweise in Michael Neidert et al., *„DEVELOPMENT OF VIA PASTES FOR HIGH EFFICIENCY MWT CELLSWITH A LOW SHUNTING BEHAVIOUR“*, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany beschrieben. Solche Metallpasten weisen den Vorteil auf, keinen oder nur einen mit einem hohen Kontaktwiderstand versehenen Kontakt zu einer an-

grenzenden Halbleiterschicht auszubilden. Auf diese Weise wird zusätzlich die Gefahr eines Kurzschlusses (eines Shunts) an den Wänden der Ausnehmungen verringert.

Darüber hinaus bieten die erfindungsgemäße Solarzellenstruktur und das erfindungsgemäße Verfahren eine höhere Flexibilität hinsichtlich der Ausbildung der Durchmetallisierungsstrukturen:

Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, in Verfahrensschritt D die Durchleitungsstrukturen mittels Metallstiften oder mittels Leitkleber auszubilden. Insbesondere liegt es im Rahmen der Erfindung, die Solarzellen an sich fertig zu stellen und erst bei der Integration mehrerer Solarzellen in dem Modul die Durchleitungsstrukturen auszubilden, insbesondere durch Metallstifte, welche beispielsweise auf einem bereits verschalteten Träger zur Aufnahme einer Mehrzahl von MWT-Solarzellen vorgesehen sein können. Wesentlich ist, dass die Durchleitungsstrukturen die Vorderseitenkontaktstruktur mit der Rückseitenkontaktstruktur elektrisch leitend verbinden, vorzugsweise mit einem elektrischen Leitungswiderstand von der Vorder- zur Rückseite kleiner 20mOhm, vorzugsweise kleiner 10mOhm, weiter bevorzugt kleiner 5mOhm. Bevorzugt sind die Durchleitungsstrukturen metallhaltig, insbesondere metallisch ausgebildet.

Vorzugsweise werden die Durchleitungsstrukturen hinsichtlich der Leitfähigkeit homogen oder zumindest im Wesentlichen homogen ausgebildet. Insbesondere im Vergleich zu der in WO 2012/026812 offenbarten Durchleitungsstruktur ist eine einfachere und kostengünstigere Herstellung einer Durchleitungsstruktur ohne vorbeschriebenen Verlauf der Leitfähigkeit in horizontaler Richtung gegeben.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird vorzugsweise die Durchleitungsstruktur unmittelbar an einem oder mehreren Basisbereichen des Basisdotierungstyps angrenzend ausgebildet.

Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren an der Rückseite des Halbleitersubstrates angrenzend an die Ausnehmung kein sich parallel zur Rückseite erstreckender Emitterbereich ausgebildet.

Beide vorgenannten vorzugsweisen Ausführungsformen führen jeweils zu einer Kostenreduzierung des Herstellungsverfahrens.

Weiterhin ist es vorteilhaft, die Ausnehmungen mittels eines Lasers auszuführen, hierbei kann in kostengünstiger Weise auf an sich bekannte Vorrichtungen für die Solarzellenherstellung zurückgegriffen werden. Insbesondere ist die Verwendung eines in einem Flüssigkeitsstrahl geführten Lasers vorteilhaft, da hier einerseits eine exakte, in etwa zylindrische Ausnehmung ausgebildet werden kann und darüber hinaus durch die Wahl von Zusatzstoffen in der Flüssigkeit eine Oberfläche an den Ausnehmungen mit einer vergleichsweise geringen Schädigung und somit geringen Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit geschaffen werden kann.

Vorzugsweise wird in Verfahrensschritt B der Emitter mittels back-to-back-Diffusion ausgebildet. Hierbei werden die Halbleitersubstrate mit den Rückseiten aneinander liegend in den Diffusionsraum gebracht, so dass – ohne dass zusätzliche Maskierungsschichten notwendig sind – die Emitterdiffusion lediglich auf der jeweiligen Vorderseite des Halbleitersubstrates erfolgt.

Vorzugsweise erfolgt Verfahrensschritt B nach Verfahrensschritt C. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass die in Verfahrensschritt C aufgebrachte Isolierungsschicht an der Rückseite des Halbleitersubstrates in den mittelbar oder unmittelbar folgenden Verfahrensschritt B als Diffusionsbarriere wirkt, so dass durch diese Mehrfachfunktion der Isolierungsschicht in kostengünstiger Weise die Ausbildung des Emitters lediglich an der Vorderseite des Halbleitersubstrates erzielt wird.

Es ist bekannt, zur Erhöhung der Lichteinkopplung und/oder der internen Reflektion und somit des Wirkungsgrades der Solarzelle an der dem Lichteinfall zugewandten Vorderseite eine Texturierung vorzusehen. Vorzugsweise wird daher in einem Verfahrensschritt T eine Texturierung zumindest der Vorderseite des Halbleitersubstrates durchgeführt. Die Texturierung kann je nach Halbleitersubstrat in an sich bekannter Weise erfolgen, beispielsweise durch Ausbildung so genannter „Random Pyramids" oder anderer an sich bekannten optischer Texturen zur Erhöhung der Lichteinkopplung und/oder der internen Reflektion. Besonders vorteilhaft ist es, dass der Verfahrensschritt T nach Verfahrensschritt C

ausgeführt wird. Hierdurch kann die Isolierungsschicht zusätzlich als Maskierungsschicht derart dienen, dass lediglich an der Vorderseite des Halbleitersubstrates eine Textur ausgebildet wird. Auch hier erfolgt somit eine Mehrfachfunktion der Isolierungsschicht, so dass in kostengünstiger Weise Verfahrensschritte eingespart werden können.

Die erfindungsgemäße Solarzelle und das erfindungsgemäße Verfahren weist darüber hinaus einen erheblichen Vorteil hinsichtlich der Flexibilität bei der Wahl der auszubildenden Solarzellenstruktur auf:

Vorteilhafterweise werden daher bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zunächst eine Vielzahl von so genannten Precursoren bereit gestellt, indem an einer Vielzahl von Halbleitersubstraten jeweils die Verfahrensschritte B und C und vorzugsweise auch Verfahrensschritt T ausgeführt werden. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass diese Precursoren noch keine Ausnehmungen aufweisen und somit noch nicht festgelegt ist, ob mittels dieser Precursoren eine konventionelle Solarzellenstruktur ohne Ausnehmungen oder eine MWT-Solarzellenstruktur gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildet wird.

Es können somit vorgefertigte Precursoren bereit gestellt werden und anschließend wahlweise je nach Auftragslage ohne Ausbildung von Ausnehmungen konventionelle beidseitig kontaktierte Solarzellen oder mittels Durchführung der Verfahrensschritte A und D erfindungsgemäße MWT-Solarzellen hergestellt werden.

Die elektrisch isolierende Isolierungsschicht an der Rückseite der erfindungsgemäßen Solarzelle bedeckt die Rückseite vorzugsweise im wesentlichen ganzflächig, ist als Passivierungsschicht ausgeführt und erfüllt somit mehrere Funktionen: Einerseits dient die Isolierungsschicht der elektrischen Isolierung zwischen metallischer Rückseitenkontaktstruktur und Halbleitersubstrat. Andererseits dient sie vorzugsweise ebenfalls der elektrischen Isolierung der metallischen Basiskontaktstruktur von dem Halbleitersubstrat, ausgenommen mehrerer im Vergleich zu der gesamten Rückseitenflächen der Solarzelle kleiner Flächenbereiche, an welchen die Basiskontaktstruktur das Halbleitersubstrat kontaktiert und mit diesem elektrisch leitend verbunden ist. Darüber hinaus dient die Passivierungsschicht vorteilhafterweise der Verbesserung der internen Reflektion der

Solarzelle und/oder der Rückseitenpassivierung. Zur Erfüllung der vorgenannten Aufgaben kann die dielektrische Passivierungsschicht als Silixiumoxidschicht, insbesondere Siliziumdioxidschicht ausgebildet sein. Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, die dielektrische Schicht als Siliziumnitridschicht, Aluminiumoxidschicht oder Siliciumcarbidschicht auszuführen. Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, als Isolierungsschicht ein System aus mehreren unterschiedlichen Schichten (Stack-System) zu verwenden, wobei vorzugsweise die verschiedenen Schichten verschiedene Funktionen erfüllen. Ein solches Schichtsystem kann beispielsweise eine passivierende Schicht zur Verringerung der Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit (insbesondere eine oder mehrere der folgenden Schichten SiO_x, Al_xO_y, SiN_x, $Si_xN_yO_z$, SiC_x), eine elektrisch isolierende Schicht und eventuell eine zusätzliche Schutzschicht (beispielsweise SiN_x), welche Schutzschicht das Substrat und die darunter liegenden Schichten bei Hochtemperaturschritten wie beispielsweise Kontaktfeuern vor dem als Rückseitenkontakt eingesetzten Material (typischerweise Aluminium für die Kontaktierung von p-dotierten Bereichen) schützt.

Die einzelnen Verfahrensschritte bei dem erfindungsgemäßen Verfahren können vorzugsweise gleich oder analog zu der DE 10 2010 026 960 A1 ausgeführt werden, insbesondere hinsichtlich der Verfahrensparameter. Die Offenbarung der DE 10 2010 026 960 A1 wird explizit per Referenz in diese Beschreibung eingebunden.

Insbesondere wird hinsichtlich der Ausbildung der Isolierungsschicht auf die Absätze [0037] und [0040] verwiesen. Hinsichtlich der Ausbildung der Kontaktstrukturen wird insbesondere Bezug auf die Absätze [0038] und [0039] der DE 10 2010 026 960 A1 Bezug genommen.

In einer vorzugsweisen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt vor Verfahrensschritt B gegebenenfalls unter Zwischenschaltung weiterer Verfahrensschritte, eine Einebnung der Rückseite des Halbleitersubstrates. Die typischerweise verwendeten Halbleitersubstrate, insbesondere monokristalline Siliziumwafer, multikristalline Siliziumwafer oder mikrokristalline Siliziumwafer weisen typischerweise Unebenheiten auf, die zu ungleichmäßiger Bedeckung und hieraus resultierenden Wirkungsgradverlusten führen können. Eine Eineb-

nung vermeidet solche Wirkungsgradverluste. Vorzugsweise erfolgt die Einebnung durch einseitiges Abtragen einer Halbleiterschicht an der Rückseite des Halbleitersubstrates. Insbesondere ist es vorteilhaft, das einseitige Abtragen durch nasschemisches Ätzen, durch Laserablation oder durch Plasma-Ätzen zu erzielen.

Die Isolierungsschicht kann mittels einem an sich bekannten Verfahren aufgebracht werden, insbesondere Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD), Rohrofenprozesse, Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition (APCVD) oder Kathodenzerstäubung weist den Vorteil auf, dass keine Entfernung der Siliziumdioxidschicht an unerwünschten Bereichen wie beispielsweise der Vorderseite des Halbleitersubstrates notwendig ist. Ebenfalls vorteilhaft ist der Einsatz von Diffusionsbarrieren, die per Druck, Aufsprühen oder Aufschleudern aufgebracht werden, da hierfür industriell kostengünstig implementierbare Verfahren zur Verfügung stehen.

Durch die Verwendung der elektrischen Isolierungsschicht als Diffusionsbarriere bei Erzeugen des Emitters an der Vorderseite des Halbleitersubstrates und/oder mittels Durchführen einer back-to-back-Diffusion, bei welchem mehrere Halbleitersubstrate mit der Rückseite aneinander liegend einer Emitterdiffusion aus der Gasphase ausgesetzt sind, können die Emitterbereiche der erfindungsgemäßen Solarzelle in einfacher Weise hergestellt werden. Vorzugsweise wird in Verfahrensschritt B der oder die Emitterbereiche an der Vorderseite des Halbleitersubstrates umfassend einen der folgenden Verfahrensschritte erzeugt: Ein Erzeugen der Emitterbereiche mittels Diffusion nach Abscheiden einer Dotierstoffquelle an der Vorderseite des Halbleitersubstrates ermöglicht die Verwendung kostengünstiger Prozessverfahren, insbesondere APCVD, PECVD, Aufsprühen, Drucken, Aufhalsen und Abscheiden in einem Tauchbad. Besonders vorteilhaft ist die Durchführung der Diffusion in einem Inline-Ofen.

Weiterhin liegt es im Rahmen der Erfindung, eine Heterostruktur zu erzeugen, bei der der Emitter über eine Schicht abgeschieden wird. Ebenso kann der Emitter auch über Ionenimplantation hergestellt werden.

Die Erzeugung der Ausnehmungen, in denen in weiteren Verfahrensschritten die Durchleitungsstruktur ausgebildet wird, erfolgt vorzugsweise durch Laserablati-

on. Der Vorteil bei der Verwendung von Laserverfahren besteht darin, dass auf bekannte Prozessparameter zurückgegriffen werden kann und sich das Verfahren kostengünstig in industrielle Produktionslinien integrieren lässt.

Die metallischen Strukturen zur Kontaktierung des Emitters, Vorderseitenkontaktstruktur, Durchleitungskontaktstruktur und Rückseitenkontaktstruktur wurden vorangehend mit den genannten drei Begriffen zur Kennzeichnung der örtlichen Anordnung bezeichnet. Es liegt im Rahmen der Erfindung, diese Strukturen mehrstückig auszubilden, ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, lediglich eine einstückige Metallisierungsstruktur auszubilden, welche Vorderseitenkontaktstruktur, Durchleitungsstruktur und Rückseitenkontaktstruktur umfasst.

In einer vorzugsweisen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden Vorderseitenkontaktstruktur, Rückseitenkontaktstruktur und Durchleitungskontaktstruktur mittels Siebdruck ausgebildet. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass diese Prozesse industriell in einem Inline-Verfahren anwendbar sind und insbesondere die Anwendung des Siebdrucks zur Erzeugung metallischer Strukturen bereits bekannt ist und somit auf vorbekannte Prozessparameter zurückgegriffen werden kann. Hierbei wird Siebdruckpaste verwendet, welche Metallpartikel enthält. Hierbei wird vorzugsweise mittels Siebdruck eine metallhaltige Paste auf die Rückseite des Halbleitersubstrates, gegebenenfalls auf weitere Zwischenschichten, aufgebracht, derart, dass die Paste die Ausnehmungen durchdringt.

Typischerweise weist bei der erfindungsgemäßen Solarzelle der Emitter den n-Dotierungstyp und die Basis den p-Dotierungstyp auf. Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, Emitter und Basis mit hierzu vertauschten Dotierungstypen auszubilden.

Das Halbleitersubstrat ist vorzugsweise als Siliziumsubstrat, insbesondere als mono- oder weiter bevorzugt multikristalliner Siliziumwafer ausgebildet. Insbesondere ist die Verwendung eines Siliziumwafers mit einem Basiswiderstand im Bereich von 0,1 Ohm cm bis 10 Ohm cm ausgebildet.

Wie bereits zuvor ausgeführt, besteht ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung darin, dass an der Rückseite des Halbleitersubstrates und an den

Wänden der Ausnehmungen nicht explizit ein Emitter ausgebildet wird. Je nach gewähltem Ablauf und der Anordnung der einzelnen Verfahrensschritte liegt es jedoch im Rahmen der Erfindung, dass der Emitter etwas in die Ausnehmungen eindringt, d. h. dass ausgehend von der Vorderseite des Halbleitersubstrates der Emitter sich an den Wänden der Ausnehmungen erstreckt. Wesentlich ist jedoch, dass der Emitter nicht bis zur Rückseite des Halbleitersubstrates geführt ist, so dass zumindest in dem der Rückseite zugewandten Bereich der Ausnehmung kein Emitter an den Wänden der Ausnehmungen ausgebildet ist. Vorzugsweise beschränkt sich die Emitterausbildung auf die Vorderseite des Halbleitersubstrates und somit wenige µm der Wände der Ausnehmung an der Vorderseite des Halbleitersubstrates.

An der Vorderseite des Halbleitersubstrates wird die metallische Vorderseitenkontaktstruktur vorzugsweise in an sich bekannter Weise, insbesondere mittels kammartiger oder doppelkammartiger metallischer Kontaktierungsfinger ausgebildet, welche den Emitter kontaktieren und so den Strom abführen, wobei die vorgenannten Kontaktierungsfinger mit den jeweiligen Durchleitungsstrukturen elektrisch leitend verbunden sind, so dass der Strom derart zu einem rückseitigen externen Kontakt geleitet wird.

Um eine ausreichende Durchdringung der Ausnehmungen mit Siebdruckpaste zu gewährleisten, kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Aufbringen der Siebdruckpaste auf der Vorderseite zwischen Vorder- und Rückseite des Halbleitersubstrates eine Druckdifferenz erzeugt, derart, dass aufgrund der Druckdifferenz die Paste in die Ausnehmungen gedrückt wird. In dieser vorzugsweisen Ausführungsform wird somit aufgrund der Druckdifferenz die Paste von der Rückseite durch die Ausnehmungen hindurch „gesaugt" so dass in einfacher Weise die Erzeugung der Durchleitungsstrukturen gewährleistet wird.

Besonders vorteilhaft bei der Ausbildung der Rückseitenkontaktstruktur mittels Siebdruck ist der Einsatz von Pasten, welche die Isolierungsschicht bei Ausbilden der Kontaktstrukturen nicht durchdringen, insbesondere silberhaltige Pasten, vorzugsweise ohne Zusätze, die die Isolationsschicht auf der Rückseite angreifen, insbesondere ohne oder zumindest nur mit einem geringen Anteil an Glasfritte. So kann das Risiko einer Kontaktausbildung und damit eines Kurz-

schlusses zwischen Halbleitersubstrat des Basisdotierungstyps und Rückseitenkontakt weiter verringert werden.

Weitere vorzugsweise Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassen die Ausbildung von Vorderseitenkontaktstruktur und/oder Rückseitenkontaktstruktur und/oder Durchleitungskontaktstruktur durch galvanische Abscheidung, Dispensen, Aufdampfen, Kathodenzerstäubung oder Druckverfahren wie beispielsweise Inkjet oder Aerosol.

An der Rückseite der erfindungsgemäßen Solarzelle sind die metallische Rückseitenkontaktstruktur und die metallische Basiskontaktstruktur voneinander beabstandet, um einen Kurzschluss zu vermeiden. Vorzugsweise beträgt der Abstand dieser beiden Kontaktstrukturen mindestens 100µm. Die Ausbildung dieser Kontaktstrukturen kann in an sich bekannter Weise und in an sich bekannter Form wie bei vorbekannten MWT-Solarzellen erfolgen. Der vorgenannte Abstand zwischen den Kontaktstrukturen ist vorzugsweise derart gewählt, dass Prozessschwankungen toleriert werden können und Verluste durch den Transport von Ladungsträgern in der Basis bis zur nächst möglichen elektrisch leitenden Verbindung gleichzeitig minimiert werden. Die Kontaktstrukturen weisen vorzugsweise Bereiche (so genannte Pads) auf, die mit einer speziellen Oberflächenbeschaffenheit und/oder Materialzusammensetzung versehen sind, um die elektrische Verbindung für eine externe Verschaltung zu vereinfachen.

Nachfolgend werden weitere vorzugsweise Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben:

Nach Bereitstellung des Halbleitersubstrates wird vorzugsweise ein Sägeschaden, welcher typischerweise bei einem Halbleitersubstrat vorliegt, entfernt.

Danach erfolgt vorzugsweise eine Texturierung der Vorderseite des Halbleitersubstrates, bevorzugt durch nasschemische Prozesse oder Plasmaprozesse (Verfahrensschritt T).

Danach erfolgt vorzugsweise eine Einebnung der Rückseite des Halbleitersubstrates insbesondere durch einseitige nasschemische Prozesse oder Plasmaprozesse.

Danach kann vorzugsweise eine Reinigung zum Entfernen von Verschmutzungen erfolgen.

Danach erfolgt vorzugsweise das Erzeugen eines Emitterbereiches auf der Vorderseite des Halbleitersubstrates (Verfahrensschritt B) und das Erzeugen der Isolierungsschicht, insbesondere einer dielektrische Schicht auf der Rückseite des Halbleitersubstrates (Verfahrensschritt C). Hierfür sind diverse Prozesssequenzen in an sich bekannter Weise einsetzbar. Wesentlich ist, dass die Isolierungsschicht an der Rückseite eine elektrisch isolierende Wirkung aufweist.

Anschließend kann eine Ein- oder mehrlagige Antireflexschicht auf der Vorderseite aufgebracht werden, beispielsweise mittels PECVD oder mittels Sputtern. Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, eine solche Antireflexschicht vor Verfahrensschritt B aufzubringen und die Antireflexschicht zusätzlich mit einer Dotierstoffquelle zum Ausbilden des Emitters vorzusehen.

Anschließend erfolgt vorzugsweise das Ausbilden der Ausnehmungen (Verfahrensschritt A), der Durchleitungsstrukturen, der metallischen Basiskontaktstruktur, der metallischen Vorderseitenkontaktstruktur und der metallischen Rückseitenkontaktstruktur (Verfahrensschritt D). Hierzu kann beispielsweise die Ausbildung der Ausnehmungen mittels eines Lasers erfolgen. Die metallischen Kontaktstrukturen auf der Vorder- und der Rückseite zur Kontaktierung des Emitters können bevorzugt mittels Siebdruck erfolgen. Ebenso kann die metallische Basiskontaktstruktur mittels Siebdruck erfolgen. Hierzu können an sich bekannte Verfahren, insbesondere das so genannte LFC-Verfahren durch lokales Aufschmelzen mittels eines Lasers Anwendung finden.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die erfindungsgemäße Solarzellenstruktur und das erfindungsgemäße Verfahren sich insbesondere dadurch auszeichnet, dass keine oder nur geringfügige Beschränkungen hinsichtlich der Wahl der Verfahren zur Ausbildung der metallischen Kontaktstrukturen vorliegen, so dass die gängigen bekannten Verfahren Anwendung finden und je nach Ausgestaltung der Prozesslinie eingesetzt werden können.

Vorzugsweise erfolgt nach Aufbringen der metallischen Kontaktstrukturen ein Kontaktfeuern, sofern dies für die Metallisierungen notwendig ist. Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung mehrere Kontaktfeuerungsschritte zwischenzuschalten.

Ebenso kann es vorteilhaft sein, weitere Temperaturschritte zur Ausheilung der lokalen Kontakte und/oder zur Verbesserung der Passivierungswirkung (ein Temperschritt) in an sich bekannter Weise durchzuführen.

Weitere vorzugsweise Merkmale und Ausführungsformen der erfindungsgemäßem Solarzelle und des erfindungsgemäßen Verfahrens werden im Folgenden anhand der Figuren und der Figurenbeschreibung erläutert. Dabei zeigt:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Teilausschnitts eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Solarzelle und

Figur 2 einen Vergleich der Kennlinien von drei MWT-Solarzellen bei Rückwärtsbelastung.

Die erfindungsgemäße Solarzelle in Figur 1 umfasst ein p-dotiertes Halbleitersubstrat 1, welches als mono- oder multikristalliner Siliziumwafer mit einem Basiswiderstand von 0,1 Ohm cm bis 10 Ohm cm ausgebildet ist. An der in Figur 1 oben dargestellten Vorderseite ist ein vorderseitiger Emitterbereich 2 ausgebildet. Die Vorderseite weist zur Erhöhung der Lichteinkopplung eine Texturierung auf und zusätzlich ist zur Erhöhung der Lichteinkopplung auf der Vorderseite des Halbleitersubstrates 1 eine als Siliziumnitridschicht ausgebildete Antireflexschicht 3 mit einer Dicke von etwa 70 nm angeordnet.

Figur 1 zeigt lediglich einen Teilausschnitt der erfindungsgemäßen Solarzelle mit lediglich einer Ausnehmung 4. Die Solarzelle setzt sich spiegelbildlich nach rechts und links fort und weist eine Vielzahl von Ausnehmungen auf, wie an sich bei MWT-Solarzellenstrukturen bekannt.

Die Ausnehmung 4 erstreckt sich von der Vorder- zur Rückseite der Solarzelle und ist in etwa zylindrisch ausgebildet.

Die Rückseite des Halbleitersubstrates 1 ist durch eine Schichtsystem aus Aluminiumoxid und Siliziumnitrid mit einer Gesamtdicke von 100 nm ausgebildete Isolierungsschicht 6 bedeckt, welche somit zusätzlich als Passivierungsschicht zur Verringerung der Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit dient. Die Isolierungsschicht 6 bedeckt die Rückseite des Halbleitersubstrates 1 ganzflächig und ist wiederum sowohl von einer metallischen Rückseitenkontaktstruktur 7 als auch von mehreren metallischen Basiskontaktstrukturen 8, 8' bedeckt. Die Basiskontaktstrukturen 8, 8' durchdringen die Isolierungsschicht 6 an einer Vielzahl von punktartigen Kontaktierungsbereichen, so dass ein elektrischer Kontakt zwischen den Basiskontaktstrukturen 8, 8' und dem Halbleitersubstrat besteht.

An der Vorderseite der Solarzelle ist eine metallische Vorderseitenkontaktstruktur 9 ausgebildet, welche mit dem Emitterbereich 2 elektrisch leitend verbunden ist. Hierbei ist die Vorderseitenkontaktstruktur 9 unmittelbar, d. h. ohne zwischengeschaltete Antireflexschicht 3 auf dem Halbleitersubstrat 1 angeordnet.

In der Ausnehmung 4 ist eine metallische Durchleitungsstruktur 10 ausgebildet. Vorderseitenkontaktstruktur 9, Durchleitungsstruktur 10 und Rückseitenkontaktstruktur 7 sind in diesem Ausführungsbeispiel einstückig ausgebildet und dementsprechend elektrisch leitend miteinander verbunden.

Wesentlich ist, dass einerseits in den in Figur 1 mit A und A' gekennzeichneten Überlappungsbereichen zwar die Rückseitenkontaktstruktur 7 das Halbleitersubstrat 1 im Bereich der Basisdotierung überdeckt, von diesem jedoch durch die zwischenliegende Isolierungsschicht 6 elektrisch isoliert ist. Weiterhin ist an den Wänden der Ausnehmung 4 und an der Rückseite des Halbleitersubstrates 1 und insbesondere in den Bereichen A und A' kein Emitter ausgebildet. Lediglich in dem mit B und B' in Figur 1 gekennzeichneten Bereich, in welchem der Emitterbereich 2 an der Vorderseite an die Ausnehmung 4 angrenzt, dringt der Emitter wenige µm an den Wänden der Ausnehmung 4 in das Halbleitersubstrat ein.

Das Halbleitersubstrat weist eine Gesamtdicke im Bereich von 30 µm bis 300 µm, vorliegend von etwa 200 µm auf.

Die Vorderseitenkontaktstruktur ist wie bei vorbekannten MWT-Solarzellen ausgebildet, dargestellt beispielsweise in „Processing and comprehensive charac-

terisation of screen-printed mc-si metal wrap through (mwt) solar cells", Clement et al., Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, 2007.

Die mittels lokaler Erwärmung durch einen Laser erzeugten lokalen elektrisch leitenden Verbindungen (LFC) zwischen Halbleitersubstrat 1 und Basiskontaktstruktur 8 , 8' sind in etwa gleichmäßig über die Basiskontaktstruktur verteilt, in etwa punktförmig ausgebildet mit einem Abstand im Bereich von 100 µm bis 1 mm, in diesem Fall von etwa 500 µm. Insgesamt sind etwa 98,5% der Rückseite des Halbleitersubstrates durch die Isolierungsschicht bedeckt, etwa 1,5% durch die elektrisch leitenden, punktförmigen Kontakte. Die Solarzelle weist Ausnehmungen mit einem Durchmesser von etwa 100 µm auf, wobei die Ausnehmungen auf Linien angeordnet sind, durchschnittlich wird 1 Loch je 4 cm^2 Solarzellenfläche ausgebildet.

Das in Figur 1 dargestellte Ausführungsbeispiel wird mit dem nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt:

Das Halbleitersubstrat 1 wird in einem Verfahrensschritt 0 einer Oberflächenbearbeitung unterzogen.

Hierbei werden folgende Verfahrensschritte ausgeführt: Entfernen von Oberflächenschäden, die von der Herstellung des Halbleitersubstrats herrühren und Ausbilden einer Texturierung zumindest auf der Vorderseite zur Verbesserung des Lichteinfangs.

Anschließend wird in einem Verfahrensschritt C die zuvor beschriebene Isolierungsschicht 6 vollflächig auf der Rückseite des Halbleitersubstrates aufgebracht. Alternativ zu der oben beschriebenen Isolierungsschicht 6, kann die Isolierungsschicht auch als Siliziumoxidschicht mit einer Dicke von 200 nm ausgebildet werden und beispielsweise mittels PECVD oder thermischer Oxidation mit anschließender einseitiger Rückätze erzeugt werden.

Anschließend kann eine Reinigung erfolgen, in welcher das Halbleitersubstrat von eventuellen Verunreinigungen und Rückständen befreit wird. Diese Reini-

gung wird vorzugsweise nasschemisch unter Verwendung ätzender Flüssigkeiten wie Flusssäure, Kalilauge oder anderen Substanzen durchgeführt.

In einem Verfahrensschritt B erfolgt anschließend die Erzeugung des vorbeschriebenen Emitterbereiches 2 an der Vorderseite des Halbleitersubstrates 1. Hierzu wird eine Diffusion aus der Gasphase durchgeführt, so dass phosphorhaltiges Glas auf dem Halbleitersubstrat abgeschieden und anschließend durch Temperatureinwirkung an der Vorderseite in das Halbleitersubstrat aufgebracht wird. An der Rückseite wirkt die bereits aufgebrachte Isolierungsschicht 6 als Diffusionsbarriere, so dass rückseitig kein Emitter ausgebildet wird. Die Diffusion des Emitters wird durch Erwärmen des Halbleitersubstrates auf eine Temperatur im Bereich von 800 °C bis 900 °C für eine Zeitdauer von etwa 45 min durchgeführt.

Das hierbei entstehende Silikatglas wird nachfolgend in einem Ätzschritt mittels Eintauchen des Halbleitersubstrats in Flusssäure mit einer Konzentration von ungefähr 10% für eine Zeitdauer von ca. 30 s entfernt.

Anschließend wird die Antireflexschicht 3 auf die Vorderseite des Halbleitersubstrates zur Verbesserung der Lichteinkopplung aufgebracht, wobei die Antireflexschicht 3 als Siliziumnitridschicht mit einer Dicke von etwa 70 nm ausgebildet wird. Ebenfalls kann die Antireflexschicht 3 als Schichtsystem ausgebildet werden, insbesondere umfassend eine oder mehrere der Schichten Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumnitrid.

In einem Verfahrensschritt A erfolgt anschließend die Erzeugung mehrerer Ausnehmungen, der so genannten „MWT-Löcher", mit einem Durchmesser von vorzugsweise 50 µm bis 200 µm. Die Erzeugung der MWT-Löcher erfolgt mittels eines Lasers, wie beispielsweise in „Emitter wrap-through solar cell", Gee et al., Proceedings of the 23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Louisville, 1993 beschrieben. Wobei die Löcher an den Positionen des Halbleitersubstrats ausgebildet werden, an denen in den darauffolgenden Verfahrensschritten die Rückseitenkontaktstruktur angeordnet wird.

Da die Ausnehmungen erst nach Ausbilden des Emitters erzeugt werden, müssen die Wände der Ausnehmungen nicht in einem aufwändigen Verfahrens-

schritt nachprozessiert werden, da an den Wänden der Ausnehmungen kein Emitter ausgebildet wird und somit das Risiko einer wesentlichen Beeinträchtigung des Wirkungsgrades durch einen Verluststrom in der Raumladungszone eines Emitters an den Wänden der Ausnehmungen nicht gegeben ist.

Anschließend erfolgt in einem Verfahrensschritt D die Ausbildung der metallischen Kontaktstrukturen: Durchleitungskontaktstruktur, Rückseitenkontaktstruktur, Basiskontaktstruktur sowie Vorderseitenkontaktstruktur. Dies kann beispielsweise in an sich bekannter Weise mittels Siebdruck vorgenommen werden.

In Figur 2 sind gemessene Kennlinien von drei MWT-Solarzellenstrukturen:

Die durchgezogen und mit „HIP-MWT+" gekennzeichnete Kennlinie wurde an einer Solarzelle gemessen, welche den in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Solarzelle entspricht. Die gestrichelt dargestellte und mit „HIP-MWT" gekennzeichnete Kennlinie entspricht einer Solarzelle gemäß DE 10 2010 026 960 A1, welche somit ebenfalls eine Isolierungsschicht an der Rückseite aufweist, jedoch darüber hinaus einen Emitterbereich an den Wänden der Ausnehmung. Die gepunktet dargestellte Kennlinie, welche mit „MWT-BSF" gekennzeichnet ist, entspricht einer Solarzelle gemäß Figur 4 der WO 2012/026812, welche somit keinen Emitter an den Wänden der Ausnehmung und keine elektrische Isolierungsschicht an der Rückseite des Halbleitersubstrates aufweist.

Die Messung erfolgte jeweils unter Rückwärtsbelastung. Dargestellt ist die jeweils angelegte Spannung (voltage) in V gegen den gemessenen Strom (current) in A. Deutlich ist zu erkennen, dass die erfindungsgemäße Solarzelle HIP-MWT+ nur einen geringfügig höheren Strom bei Rückwärtsbelastung verglichen mit der hier als Referenz anzusehenden HIP-MWT (gestrichelte Linie) aufweist. In beiden Fällen ist der Stromfluss bei Rückwärtsbelastung ausreichend niedrig, so dass das Risiko einer die Solarzelle oder das Modul schädigenden Hitzeentwicklung bei Teilabschattung gering ist. Die Kennlinie der MWT-BSF-Solarzelle (gepunktet) weist jedoch erheblich höhere Ströme auf. Hier besteht ein erhebliches Risiko, dass bei Teilabschattung eine Beschädigung der Solarzelle und/oder des Moduls aufgrund von Hitzeentwicklung erfolgt, so dass in einem Modul das Vorsehen zusätzlicher Bypassdioden notwendig ist.

Ansprüche

1. Photovoltaische Solarzelle mit einer zur Lichteinkopplung ausgebildeten Vorderseite,
wobei die Solarzelle
   - ein Halbleitersubstrat (1) eines Basisdotierungstyps,
   - mindestens einen an der Vorderseite ausgebildeten Emitterbereich (2) eines Emitterdotierungstyps, der dem Basisdotierungstyp entgegengesetzt ist,
   - mindestens eine auf der Vorderseite zur Stromeinsammlung ausgebildete metallische Vorderseitenkontaktstruktur (9), die mit dem Emitterbereich (2) elektrisch leitend verbunden ist,
   - mindestens eine metallische Basiskontaktstruktur (8, 8'), welche an einer Rückseite der Solarzelle angeordnet und mit dem Halbleitersubstrat (1) in einem Bereich des Basisdotierungstyps elektrisch leitend verbunden ist,
   - mindestens eine sich von der Vorder- zu der Rückseite erstreckende Ausnehmung (4) in dem Halbleitersubstrat (1) und mindestens eine Durchleitungsstruktur (10), wobei die Durchleitungsstruktur (10) in der Ausnehmung (4) von der Vorder- zu der Rückseite des Halbleitersubstrates geführt und mit der Vorderseitenkontaktstruktur (9) elektrisch leitend verbunden ist und
   - mindestens eine metallische Rückseitenkontaktstruktur (7), welche an der Rückseite angeordnet und mit der Durchleitungsstruktur (10) elektrisch leitend verbunden ist

umfasst, wobei
an der Rückseite des Halbleitersubstrates, gegebenenfalls auf weiteren Zwischenschichten, eine elektrisch isolierende Isolierungsschicht (6) angeordnet ist, welche die Rückseite zumindest in den die Ausnehmung (4) umgebenden Bereichen bedeckt,
und die Rückseitenkontaktstruktur (7) auf der Isolierungsschicht (6), gegebenenfalls auf weiteren Zwischenschichten angeordnet ist, so dass die Rückseitenkontaktstruktur (7) durch die Isolierungsschicht (6) gegenüber

dem unter der Isolierungsschicht (6) liegenden Halbleitersubstrat (1) elektrisch isoliert ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass in dem Halbleitersubstrat (1) an den Wänden der Ausnehmung (4) abseits des vorderseitigen Emitterbereiches die Durchleitungsstruktur (10) unmittelbar an einen Basisbereich des Basisdotierungstyps angrenzt.

2. Photovoltaische Solarzelle nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass an der Rückseite der Solarzelle kein Emitter ausgebildet ist.

3. Photovoltaische Solarzelle nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die metallische Rückseitenkontaktstruktur (7) mindestens 0.05%, bevorzugt im Bereich 0.2% bis 2%, höchstens jedoch 5% der Isolierungsschicht bedeckt.

4. Photovoltaische Solarzelle nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Durchleitungsstruktur als Metallstift oder mittels Leitkleber ausgebildet ist.

5. Photovoltaische Solarzelle nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die spezifische Leitfähigkeit der Durchleitungsstruktur zumindest in horizontaler Richtung, vorzugsweise in beliebiger Raumrichtung im Wesentlichen konstant ist.

6. Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle mit einer zur Lichteinkopplung ausgebildeten Vorderseite, insbesondere einer Solarzelle nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
folgende Verfahrensschritte umfassend:

A Erzeugen einer Mehrzahl von Ausnehmungen in einem Halbleitersubstrat (1) eines Basisdotierungstyps,

B Erzeugen eines oder mehrerer Emitterbereiche eines Emitterdotierungstyps zumindest an der Vorderseite des Halbleitersubstrates, wobei der Emitterdotierungstyp entgegengesetzt zu dem Basisdotierungstyp ist,

C Aufbringen einer elektrisch isolierenden Isolierungsschicht (6) und

D Erzeugen von Durchleitungsstrukturen in den Ausnehmungen, von mindestens einer metallischen Basiskontaktstruktur (8, 8') an der Rückseite der Solarzelle, welche elektrisch leitend mit dem Halbleitersubstrat (1) in einem Basisdotierbereich ausgebildet wird, von mindestens einer metallischen Vorderseitenkontaktstruktur (9) an der Vorderseite der Solarzelle, welche elektrisch leitend mit dem Emitterbereich (2) an der Vorderseite des Halbleitersubstrates und elektrisch leitend mit der Durchleitungsstruktur verbunden ausgebildet wird und von mindestens einer Rückseitenkontaktstruktur (7) an der Rückseite der Solarzelle, welche mit der Durchleitungsstruktur elektrisch leitend verbunden ausgebildet wird,

wobei in Verfahrensschritt C die Isolierungsschicht (6) die Rückseite des Halbleitersubstrates, mittelbar oder bevorzugt unmittelbar, bedeckend aufgebracht wird,

in Verfahrensschritt D

- die Rückseitenkontaktstruktur (7) auf die Isolierungsschicht (6), mittelbar oder bevorzugt unmittelbar, aufgebracht wird, derart, dass die Rückseitenkontaktstruktur (7) sich über Bereiche des Halbleitersubstrates mit Basisdotierung erstreckt und in diesen Bereichen zumindest aufgrund der dazwischenliegenden Isolierungsschicht (6) eine elektrische Isolierung zwischen Rückseitenkontaktstruktur (7) und Halbleitersubstrat (1) ausgebildet wird und
- die Basiskontaktstruktur (8, 8') auf die Isolierungsschicht (6), gegebenenfalls auf weitere Zwischenschichten, aufgebracht wird, derart, dass die Basiskontaktstruktur (8, 8') die Isolierungsschicht (6) zumindest Bereichsweise durchdringt, so dass eine elektrisch leitende Verbindung zwischen Basiskontaktstruktur (8, 8') und Halbleitersubstrat (1) erzeugt wird,

dadurch gekennzeichnet,
dass in dem Halbleitersubstrat (1) an den Wänden der Ausnehmung (4) die Durchleitungsstruktur (10) abseits des vorderseitigen Emitterbereiches unmittelbar an einen Basisbereich des Basisdotierungstyps angrenzend ausgebildet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
dass Verfahrensschritt A nach Verfahrensschritt B und bevorzugt nach Verfahrensschritt C ausgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Durchleitungsstruktur (10) unmittelbar an einen oder mehrere Basisbereiche des Basisdotierungstyps angrenzend ausgebildet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass an der Rückseite des Halbleitersubstrates angrenzend an die Ausnehmungen kein sich parallel zur Rückseite erstreckender Emitterbereich (2) ausgebildet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass in Verfahrensschritt A die Ausnehmungen mittels eines Lasers, bevorzugt mittels eines Flüssigkeitsstrahl geführten Lasers ausgebildet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 und/oder 8 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass Verfahrensschritt A vor Verfahrensschritt B und bevorzugt auch vor Verfahrensschritt C ausgeführt wird, so dass in Verfahrensschritt B zumindest geringfügig auch ein Emitter an den Wänden der in Verfahrensschritt A erzeugten Ausnehmungen, gegebenenfalls auch an der Rückseite des Halbleitersubstrates, ausgebildet wird und
dass in einem Verfahrensschritt X nach Verfahrensschritt B der Emitter an den Wänden der Ausnehmungen sowie gegebenenfalls auch an der

Rückseite des Halbleitersubstrates wieder entfernt wird, bevorzugt mittels einer nasschemischen oder plasmabasierten Emitterrückätze.

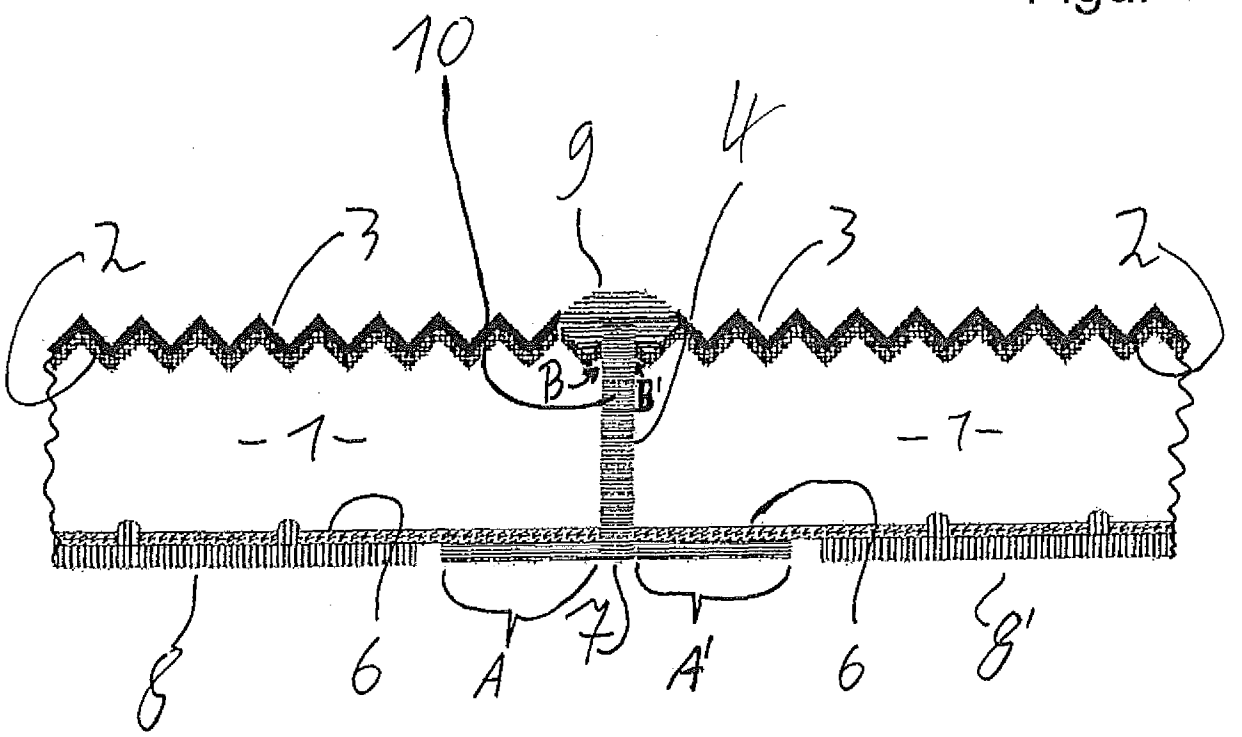
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass Verfahrensschritt B nach Verfahrensschritt C erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass in einem Verfahrensschritt T eine Texturierung zumindest der Vorderseite des Halbleitersubstrates erfolgt, insbesondere, dass Verfahrensschritt T nach Verfahrensschritt C ausgeführt wird.

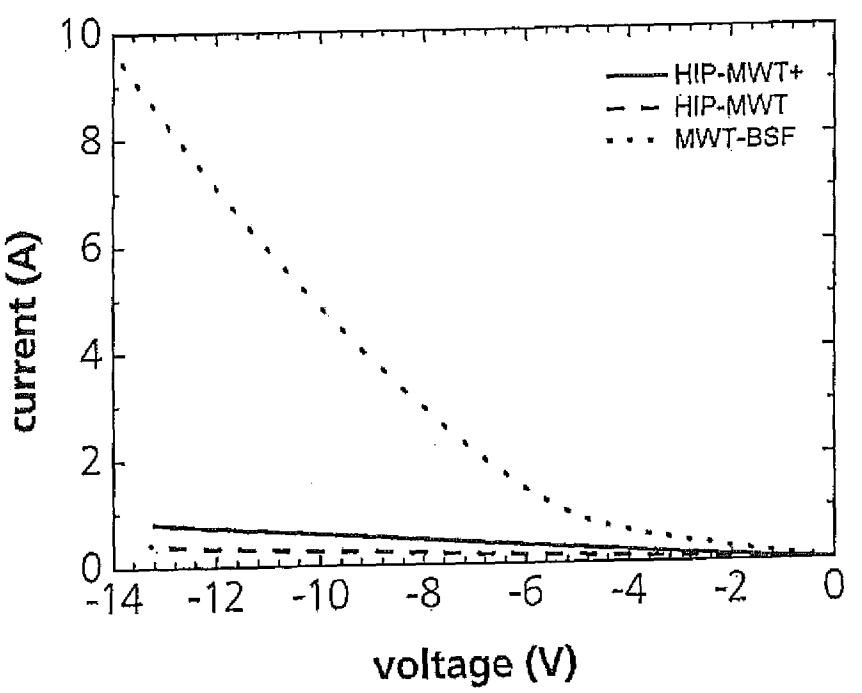
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass für eine Vielzahl von Precursoren bereitgestellt werden, indem an einer Vielzahl von Halbleitersubstraten die Verfahrensschritte B und C, bevorzugt auch Verfahrensschritt T, ausgeführt werden und
dass die Precursoren wahlweise ohne Ausbildung von Ausnehmungen zur Herstellung einer konventionellen beidseitig kontaktierten Solarzelle oder mittels Durchführen der Verfahrensschritte A und D zur Ausbildung einer MWT-Solarzelle verwendet werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass in Verfahrensschritt D die Durchleitungsstrukturen mittels einer nicht kontaktierenden Metallpaste ausgebildet werden oder dass in Verfahrensschritt D die Durchleitungsstrukturen mittels Metallstiften oder mittels Leitkleber ausgebildet werden.

Figur 1



Figur 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/068940

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L31/0224 H01L31/068 H01L31/18
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)
H01L

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	WO 2010/110510 A1 (LG ELECTRONICS INC [KR]; KIM JONG-HWAN [KR]) 30 September 2010 (2010-09-30) abstract; figures 1,2 paragraphs [0001], [0063] - [0102]	1-15
X	WO 2012/097473 A1 (WUXI SUNTECH POWER CO LTD [CN]; AI FANFAN [CN]; WANG YULIN [CN]; CAI Z) 26 July 2012 (2012-07-26) Zusammenfassung; Abb. 3, 4a, 6-9 und die dazu gehörige Beschreibung	1,6
X,P	WO 2012/143460 A2 (SCHOTT SOLAR AG [DE]; MEYER CHRISTINE [DE]; DROSTE TOBIAS [DE]; GASSEN) 26 October 2012 (2012-10-26) Zusammenfassung; page 13, paragraph 1 - page 15, paragraph 4; figures 3b,4b	1,2,6, 8-11,13, 15

☐ 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	Date of mailing of the international search report
30 October 2013	07/11/2013

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

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2013/068940

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2010110510 A1	30-09-2010	CN 102132421 A	20-07-2011
		EP 2412034 A1	01-02-2012
		KR 20100107258 A	05-10-2010
		US 2010243040 A1	30-09-2010
		WO 2010110510 A1	30-09-2010
WO 2012097473 A1	26-07-2012	NONE	
WO 2012143460 A2	26-10-2012	TW 201248904 A	01-12-2012
		TW 201251067 A	16-12-2012
		WO 2012143460 A2	26-10-2012
		WO 2012143467 A2	26-10-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/068940

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L31/0224 H01L31/068 H01L31/18
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

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	WO 2010/110510 A1 (LG ELECTRONICS INC [KR]; KIM JONG-HWAN [KR]) 30. September 2010 (2010-09-30) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Absätze [0001], [0063] - [0102]	1-15
X	WO 2012/097473 A1 (WUXI SUNTECH POWER CO LTD [CN]; AI FANFAN [CN]; WANG YULIN [CN]; CAI Z) 26. Juli 2012 (2012-07-26) Zusammenfassung; Abb. 3, 4a, 6-9 und die dazu gehörige Beschreibung	1,6
X,P	WO 2012/143460 A2 (SCHOTT SOLAR AG [DE]; MEYER CHRISTINE [DE]; DROSTE TOBIAS [DE]; GASSEN) 26. Oktober 2012 (2012-10-26) Zusammenfassung; Seite 13, Absatz 1 - Seite 15, Absatz 4; Abbildungen 3b,4b	1,2,6, 8-11,13, 15

☐ 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
30. Oktober 2013	07/11/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Cichos, Anna

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/068940

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2010110510 A1	30-09-2010	CN 102132421 A	20-07-2011
		EP 2412034 A1	01-02-2012
		KR 20100107258 A	05-10-2010
		US 2010243040 A1	30-09-2010
		WO 2010110510 A1	30-09-2010
WO 2012097473 A1	26-07-2012	KEINE	
WO 2012143460 A2	26-10-2012	TW 201248904 A	01-12-2012
		TW 201251067 A	16-12-2012
		WO 2012143460 A2	26-10-2012
		WO 2012143467 A2	26-10-2012