

(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
16. Juni 2011 (16.06.2011)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/069500 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2010/075145

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. November 2010 (25.11.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 044 823.3
8. Dezember 2009 (08.12.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **Q-CELLS SE** [DE/DE]; Sonnenallee 17-21, In-
tellectual Property Management, 06766 Bitterfeld-
Wolfen, OT Thalheim (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BARTEL, Til**
[DE/DE]; Leuthenerstr. 12, 10829 Berlin (DE).
PLOIGT, Hans-Christoph [DE/DE]; Goldschmidtstr.
29, 04103 Leipzig (DE). **STENZEL, Florian** [DE/DE];

Kreuzstr. 10, 04103 Leipzig (DE). **MOHR, Andreas**
[DE/DE]; Nathanaelstr. 19, 04177 Leipzig (DE). **GUN-
DERMANN, Matthias** [DE/DE]; Waldstr. 18, 04105
Leipzig (DE). **ZERRES, Anke** [DE/DE]; Gottschedstraße
31HH, 04109 Leipzig (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **Q-CELLS SE**; Sonnenallee
17-21, Intellectual Property Management, 06766 Bitter-
feld-Wolfen, OT Thalheim (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, RO, RS, RU, 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.

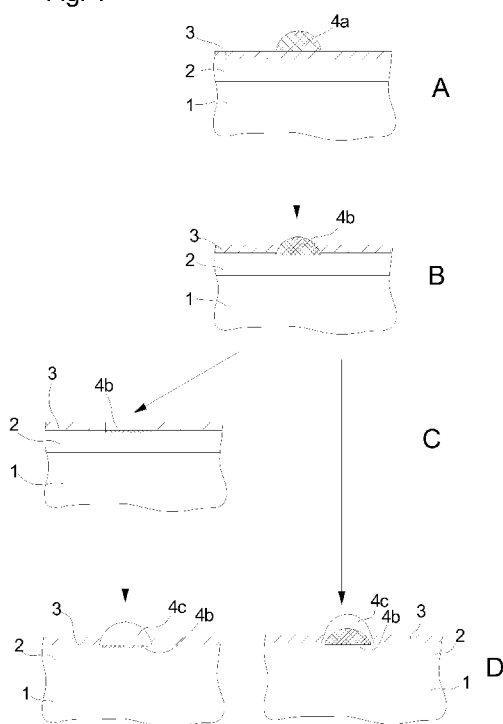
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING SOLAR CELLS AND METHOD FOR PRODUCING SOLAR MODULES

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON SOLARZELLEN UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG
VON SOLARMODULEN

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a solar cell, comprising the following steps: making a semiconductor wafer available which has a front side and a rear side, said wafer being selected from the group consisting of: a p-type semiconductor wafer having a p-type base and an n-doped front side emitter which has a value of 70 ohm/sq or more, preferably 90 ohm/sq, and especially preferred more than 110 ohm/sq, and/or which has a surface concentration of less than 10^{20} doping atoms/cm³, preferably less than 5×10^{19} doping atoms /cm³, an n-type semiconductor wafer having an n-type base, an n-type front side section for the front side contact of the n-type base and a p-type emitter, an n-type semiconductor wafer having an n-type base and a p-doped 40 ohm/sq or more front side emitter and an n-type semiconductor wafer having an n-type base and a p-doped emitter structure for the rear side contact or a p-type semiconductor wafer having a p-type base and an n-doped emitter structure for rear side contact, applying a seed layer structure (4a) for a multilayer electrode structure to the front side or to the rear side of the semiconductor wafer, baking the semiconductor wafer for baking the seed layer structure (4a) to give baked seed layer structures (4b), electrodepositing metal onto the baked seed layers (4b) to produce a multilayer electrode structure (4b, 4c) and applying a rear side metallization onto the rear side of the semiconductor layer to give a rear side electrode structure corresponding to the multilayer electrode structure, the semiconductor wafer not being exposed to a reducing atmosphere at a temperature of more than 200°C neither between the step of baking and the step of electrodeposition nor after the step of electrodeposition, thereby allowing the production of an electrical contact of the quality $< 10 \text{ mohm cm}^2$ solely by the electrodeposition of a metal for example onto a high-resistivity ($> 70 \text{ ohm/sq}$) semiconductor wafer.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



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).

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle mit den folgenden Schritten: Bereitstellen eines Halbleiterwafers mit einer Frontseite und einer Rückseite, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus: einem p-Typ-Halbleiterwafer mit einer p-Typ Basis und mit einem n-dotierten Frontseiten-Emitter mit einer Ohmigkeit von mehr als 70 Ohm/sq, bevorzugt mehr als 90 Ohm/sq und besonders bevorzugt mehr als 110 Ohm/sq und/oder einer Oberflächenkonzentration von weniger als 10^{20} Dotieratomen/cm³, bevorzugt weniger als 5×10^{19} Dotieratomen/cm³, einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis, einem n-Typ Frontseiten-Abschnitt zur Frontseiten-Kontaktierung der n-Typ Basis und einem p-Typ-Emitter, einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis und einem p-dotierten Frontseitenemitter mit einer Ohmigkeit von mehr als 40 Ohm/sq und einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis und einer p-dotierten Emitterstruktur zur Rückseitenkontaktierung oder einem p-Typ-Halbleiterwafer mit einer p-Typ Basis und einer n-dotierten Emitterstruktur zur Rückseitenkontaktierung, Aufbringen einer Saatschichtstruktur (4a) für eine Mehrschicht-Elektrodenstruktur auf der Frontseite oder auf der Rückseite des Halbleiterwafers, Feuern des Halbleiterwafers zum Einbrennen der Saatschichtstruktur (4a) zu gefeuerten Saatschichten (4b), galvanisches Abscheiden von Metall auf die gefeuerten Saatschichten (4b) zur Erzeugung einer Mehrschicht-Elektrodenstruktur (4b, 4c) und Aufbringen einer Rückseitenmetallisierung für eine zur Mehrschicht-Elektrodenstruktur korrespondierende Rückseiten-Elektrodenstruktur auf der Rückseite des Halbleiterwafers, wobei der Halbleiterwafer weder zwischen dem Verfahrensschritt des Feuerns und dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens noch nach dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens einer reduzierenden Atmosphäre bei einer Temperatur von mehr als 200° C ausgesetzt wird. Auf diese Weise wird die Herstellung eines elektrischen Kontaktes der Güte <10 mOhm cm² allein durch galvanische Abscheidung eines Metalls beispielsweise auf einem hochohmigen (>70 Ohm/sq) Halbleiterwafer ermöglicht.

- 1 -

Verfahren zur Herstellung von Solarzellen und Verfahren zur Herstellung von Solarmodulen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Solarzellen aus
5 Halbleiterwafern. Weiterhin betrifft die Erfindung die Herstellung von Solarmodulen aus derartig hergestellten Solarzellen.

Die Solarindustrie steht unter erheblichem Erfolgsdruck, sowohl die Produktionskosten durch möglichst einfache und preisgünstige Verfahrens-
10 führung und durch Rationalisierung bei der in-line-Produktion von Solarzellen zu senken, als auch gleichzeitig deren Wirkungsgrade signifikant zu steigern.

Bei Solarzellen, die beispielsweise als beidseitig kontaktierte Zellen aus p-Typ Halbleiterwafern aufgebaut sind, und somit eine p-Typ Basis und einen
15 üblicherweise durch thermische Diffusion erzeugten, frontseitigen n-Typ Emitter aufweisen, ist es grundsätzlich wünschenswert, einen niedrig dotierten und somit hochohmigen Emitter zu nutzen. Durch die niedrigere Dotierung reduziert sich die Wahrscheinlichkeit der Augerrekombination für die durch die Absorption von Photonen im Emitter generierten Ladungsträger. Auf diese
20 Weise werden die offene Klemmspannung und der Kurzschlussstrom gesteigert. Mit ihnen verbessert sich auch der Wirkungsgrad der Zelle. Gleichzeitig führt jedoch eine sinkende Dotierung des Emitters oftmals dazu, dass die elektrische Kontaktbildung zwischen Halbleitermaterial und einer metallischen Elektrodenstruktur erschwert wird. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn
25 metallhaltige Pasten oder Tinten auf die Oberfläche eines dotierten Halbleiters, beispielsweise des Emitters, aufgebracht und anschließend eingebrannt werden.

Den entscheidenden Parameter stellt der spezifische Kontaktwiderstand von
30 metallischen Strukturen auf dem Halbleiterwafer dar. Bei niederohmigen, d.h. zumindest abschnittsweise hoch dotierten Halbleitern, beispielsweise in Form von Emittern mit einer Ohmigkeit von bis zu 70 Ohm/sq bei einer Oberflächenkonzentration von beispielsweise 2×10^{20} Dotieratomen/cm³ können

- 2 -

- mit kommerziell erhältlichen Silber-Vollaufbaupasten spezifische Kontaktwiderstände von zirka 1 bis 8 mOhm cm² erzielt werden. Der Kontaktwiderstand trägt somit nur zu einem geringen Ansteigen des Serienwiderstandes der Solarzelle bei. Die gleichen Pasten führen jedoch bei
- 5 hochohmigen Emittlern mit Ohmigkeiten jenseits der 70 Ohm/sq zu spezifischen Kontaktwiderständen von mehr als 20 mOhm cm² z.B. bei 100 Ohm/sq bzw. zirka 100 mOhm cm² bei einer Ohmigkeit des Emitters von 120 Ohm/sq. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung beziehen sich alle Parameter der Ohmigkeit auf Schichtwiderstände (dotierter) Halbleiterschichten, wobei diese
- 10 gemessen werden, ohne bzw. bevor eine Oberflächenmetallisierung von Elektrodenstrukturen vorliegt. Diese erhöhten spezifischen elektrischen Kontaktwiderstände führen zu Füllfaktorverlusten die Effizienzgewinne durch den hochohmigen Emitter überkompensieren.
- 15 Typischerweise sollte der spezifische Kontaktwiderstand von Frontelektrode zum Emitter 10 mOhm cm² nicht übersteigen, um die Leistung der Solarzelle durch Füllfaktorverluste nicht maßgeblich zu reduzieren. Daher musste bisher für die Optimierung industriell hergestellter Solarzellen immer ein Kompromiss zwischen einer Optimierung des Stromes und der Spannung der Solarzelle durch
- 20 hochohmige Emitterprofile und möglichst schmale Finger sowie einer guten elektrischen Elektroden-Kontaktierung auf der Frontseite der Solarzelle vorgenommen werden.
- Ein entscheidender Aspekt für die Steigerung der Effizienz derartiger
- 25 Solarzellen liegt somit darin, hochohmige, schwach dotierte Halbleiterbereiche, beispielsweise in Form der Emitter auf möglichst einfache und kostengünstige Weise möglichst niederohmig zu kontaktieren (beispielsweise mit spezifischen Kontaktwiderständen < 10 mOhm cm²). Erst dann wäre es möglich, die Dotierprofile der dotierten Halbleiterbereiche, hier
- 30 die Emitterprofile, auf Zellperformance und ohne Kompromisse hinsichtlich ihrer elektrischen Kontaktierung zu optimieren.

- 3 -

Aus Gründen der Kosteneffizienz und Prozesskomplexität haben sich Ansätze zum Einsetzen von hochohmigen Emittern noch nicht durchsetzen können. Beispielsweise kann der Emitter an den Stellen, wo dieser mit Elektrodenstrukturen in Kontakt steht, abschnittsweise niederohmig ausgeführt werden
5 (selektiver Emitter). Dies setzt jedoch den Einsatz von Strukturierungsverfahren voraus und es entstehen Anforderungen für Positionierung mit Genauigkeiten im Mikrometerbereich.

Ein weit verbreiteter technologischer Ansatz für das Ausbilden der
10 Elektrodenstrukturen besteht darin, beispielsweise die Frontseiten-Elektrodenstruktur in einem Zweistufenverfahren aufzubauen. In einer ersten Stufe wird mittels Siebdruck, oder anderen Methoden wie Inkjet-Drucken, Aerosol-Drucken, Lasertransfer-Verfahren, Tampon- Offset- oder Dispensverfahren, eine metallhaltige Paste oder Tinte in Form einer so
15 genannten Saatschichtstruktur aufgebracht. Diese Saatschichtstruktur wird in einem anschließenden thermischen Verfahrensschritt, der im Fachjargon oftmals als Feuern bezeichnet wird, eingebrannt. Es entstehen dann im Folgenden als gefeuerte Saatschichten bezeichnete Strukturen.

20 Die Oberflächen von Solarzellen sind üblicherweise mit einer Antireflexschicht und/oder Passivierungsschicht versehen. Diese besteht beispielsweise aus einer Siliziumnitrid-Dünnschicht. Damit die aufgetragenen Saatschichten den unter der Antireflexschicht/Passivierungsschicht befindlichen Halbleiterbereiche elektrisch kontaktieren können, muss gewährleistet werden, dass die
25 Saatschichtstruktur während des Feuerns diese Schichten zumindest teilweise durchdringen. Um diesen Effekt zu ermöglichen, sind neben den in flüchtigen Lösungsmitteln gehaltenen Metallpartikeln eine Glasfritte und Additive in den auf die Frontseite des Halbleiterwafers aufgetragenen Pasten bzw. Tinten vorgesehen. Die Glasfritte und die Additive sind maßgeblich dafür
30 verantwortlich, dass die Schichten beim Feuern der Saatschichtstruktur durchdrungen werden. Allein mit dem Vorgang des Feuerns ist jedoch noch nicht gewährleistet, dass in jedem Fall ein guter spezifischer Kontaktwiderstand zwischen Saatschichtstruktur und dem darunter liegenden

- 4 -

dotierten Halbleiter entsteht. Oftmals werden die gefeuerten Saatschichten daher noch mit einem Formiergas getempert. Dabei handelt es sich um eine Gasatmosphäre mit chemisch reduzierenden Eigenschaften. Zum Beispiel ein Gemisch von 5% Wasserstoff mit 95% Stickstoff, dem bei über 300° C der Halbleiterwafer für einige Minuten ausgesetzt ist. Die verbreitete Theorie ist, dass metallhaltige Oxide, die in Glasbestandteilen vorhanden sind, durch den Wasserstoff reduziert werden, so dass die dadurch gewonnenen Metallbestandteile den elektrischen Kontakt der gefeuerten Saatschichten verbessern. In der zweiten Verfahrensstufe werden die gefeuerten Saatschichten durch galvanisch abgeschiedenes Metall verstärkt. Es entsteht eine Mehrschicht-Elektrodenstruktur. Dieses galvanisch abgeschiedene Metall hat eine deutliche bessere Querleitfähigkeit als die aus den Metallpartikeln zusammengesinterten gefeuerten Saatschichten. Ebenso ist es möglich, den Verfahrensschritt des Formiergas-Tempers nach der galvanischen Metallabscheidung durchzuführen.

Ein dem vorangehenden zweistufigen Abscheiden einer Mehrschicht-Elektrodenstruktur entsprechendes Verfahren wird von Hörteis et al. im Artikel "Fine Line Printed Silicon Solar Cells Exceeding 20% Efficiency" aus Progress in Photovoltaics: Research and Application 2008; 16: Seiten 555 bis 560 beschrieben.

Dort kommen silberhaltige Tinten zum Einsatz, die mit einem Aerosol-Druckverfahren als Saatschichtstruktur aufgebracht werden. Nach dem Feuern werden die gefeuerten Saatschichten mittels eines Cyanid-haltigen Galvanisierungsbadest verstärkt. Anschließend folgt der Verfahrensschritt des Formiergas-Tempers. Mit diesem Verfahren werden Wirkungsgrade von über 20% bei Wafersolarzellen realisiert. Es ist jedoch nachteilig an dem Verfahren, dass der Verfahrensschritt des Formiergas-Tempers erforderlich ist. Für eine in-line Produktion von Solarzellen bringt jeder zusätzlich notwendige Verfahrensschritt weitere Kosten und Anforderungen in der Qualitätssicherung mit sich. Außerdem ist der Einsatz eines Cyanid-haltigen Galvanikbades unter Entsorgungsgesichtspunkten problematisch und somit ebenfalls kostenintensiv.

- 5 -

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde ein verbessertes mehrstufiges Abscheideverfahren für Mehrschicht-Elektrodenstrukturen auf Halbleiterwafern bereit zu stellen, das möglichst einfach und kostengünstig ist.

- 5 Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Demnach wird ein Halbleiterwafer mit einer Frontseite und einer Rückseite bereitgestellt, der ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus:

- 10 - einem p-Typ-Halbleiterwafer mit einer p-Typ Basis und mit einem n-dotierten Frontseiten-Emitter und einer Ohmigkeit von mehr als 70 Ohm/sq, bevorzugt mehr als 90 Ohm/sq und besonders bevorzugt mehr als 110 Ohm/sq und/oder einer Oberflächenkonzentration von weniger als 10^{20} Dotieratomen/cm³, bevorzugt weniger 5×10^{19}
- 15 Dotieratomen/cm³
- einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis, einem n-Typ Frontseiten-Abschnitt (mit der gleichen n-Dotierung wie die n-Typ Basis oder mit einer n+-Dotierung) zur Frontseiten-Kontaktierung der n-Typ Basis und einem p-Typ-Emitter,
- 20 - einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis und einem p-dotierten Frontseitenemitter mit einer Ohmigkeit von mehr als 40 Ohm/sq und
- einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis und einer p-dotierten Emitterstruktur zur Rückseitenkontaktierung oder
- 25 einem p-Typ-Halbleiterwafer mit einer p-Typ Basis und einer n-dotierten Emitterstruktur zur Rückseitenkontaktierung.

- Es wird auf der Frontseite oder auf der Rückseite des Halbleiterwafers eine Saatschichtstruktur für eine Mehrschicht-Elektrodenstruktur aufgebracht, die
- 30 nach einem folgenden Verfahrensschritt des Feuerns des Halbleiterwafers zum Einbrennen der Saatschichtstruktur zu gefeuerten Saatschichten zur Erzeugung einer Mehrschicht-Elektrodenstruktur vorliegen. Nachfolgend wird Metall auf die gefeuerten Saatschichten zur Erzeugung einer Mehrschichten-

- 6 -

Elektrodenstruktur galvanisch abgeschieden. Es wird auf die Rückseite des Halbleiterwafers eine Rückseitenmetallisierung für eine zur Mehrschicht-Elektrodenstruktur korrespondierende Rückseitenelektrodenstruktur aufgebracht. Der Halbleiterwafer wird weder zwischen dem Verfahrensschritt
5 des Feuerns und dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens noch nach dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens einer reduzierenden Atmosphäre bei einer Temperatur von mehr als 200°C ausgesetzt.

Der Erfindung liegt die überraschende Kenntnis zu Grunde, dass nach dem
10 Verfahrensschritt des Feuerns elektrisch schlecht mit dem Halbleiterwafer kontaktierten gefeuerten Saatschichten durch den Verfahrensschritt der galvanischen Metallabscheidung in ihren elektrischen Kontakteigenschaften signifikant verbessert werden. Bisher herrschte die Meinung vor, dass auf Saatschichten galvanisch abgeschiedenes Metall ausschließlich die so genannte
15 Linienleitfähigkeit der Elektroden verbessert. De facto hat der Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens jedoch einen positiven Einfluss auf den elektrischen Kontakt zwischen der Saatschicht und dem darunter liegenden Halbleiter. Ein diesen Effekt unterstützender Formiergas-Tempersschritt durch ein gasförmiges Reduktionsmittel bei Temperaturen
20 jenseits der 200°C ist nicht notwendig, um die gewünschten elektrischen Kontakteigenschaften (spezifischer Kontaktwiderstand $<10 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$) herzustellen.

Bisher bestand beispielsweise für Halbleiterwafer mit Frontseiten-Emittern ein
25 klarer Zwang zum Kompromiss im Hinblick auf die zu wählende Emitter-Ohmigkeit. Man konnte entweder den elektrischen Kontakt zum Emitter oder die Emitterperformance in der Solarzelle optimieren. Auf Grundlage der vorliegenden Erfindung ist es möglich, entkoppelt vom Problem der elektrischen Kontaktierung der Frontelektroden, den Fokus klar auf das
30 Optimieren der Emitterperformance zu legen.

Beim Aufbringen der Saatschichten, können für die Solarbranche handelsübliche Pasten oder Tinten zum Einsatz kommen, die Partikel aus einem

- 7 -

- oder mehreren elementaren Metallen enthalten. Weiterhin ist ebenfalls denkbar, dass die Paste oder Tinte zum großen Teil als Glasfritte ausgebildet ist. In diesem Fall lägen die Metallanteile überwiegend oder ausschließlich in Form von Oxiden oder Metallsalzen in der Glasfritte vor. Der nach dem Feuern
- 5 entstandene elektrische Kontakt zwischen dem Halbleiter und den gefeuerten Saatschichten ist in solchen Fällen üblicherweise höher als wenn elementare Metallpartikel vorliegen und wird erst durch den Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens unter $10 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ herabgesetzt.
- 10 Der Verfahrensschritt des Aufbringens einer Rückseitenmetallisierung für die zur Mehrschicht-Elektrodenstruktur komplementäre Rückseiten-Elektrodenstruktur kann sowohl vor dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens erfolgen oder danach. Für die letztgenannte Variante ist es selbstverständlich möglich, dass zwischen dem Prozessieren der Mehrschicht-
- 15 Elektrodenstruktur und dem Prozessieren der Rückseiten-Elektrodenstruktur ein prozesstechnisch deutlicher Zeitraum liegt. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn Mehrschicht-Elektrodenstruktur und Rückseiten-Elektrodenstruktur in räumlich getrennten Prozessanlagen hergestellt werden.
- 20 Bei der erstgenannten Variante ist es sowohl möglich, dass die Rückseiten-Elektrodenstruktur vor dem Aufbringen der Saatschichtstruktur als auch danach - und somit vor dem galvanischen Abscheiden prozessiert wird.
- Die Mehrschicht-Elektrodenstruktur kann im Verhältnis zum Halbleiterwafer
- 25 sowohl als Emitter-Elektrode als auch als Basis-Elektrode ausgebildet sein. Ebenso ist es für beide Varianten denkbar, dass die Mehrschicht-Elektrodenstruktur auf der Rückseite oder auf der Vorderseite des Halbleiterwafers angeordnet ist.
- 30 Die nicht benötigte reduzierende Atmosphäre enthält mehr als 0,5 % und bevorzugt mehr als 2% Wasserstoff. Der Einsatz eines solchen Formiergas-Temperschlittes mit dem damit verbundenen zusätzlichen maschinellen

- 8 -

Aufwand und dem erhöhten anlagentechnischen Risiko lässt sich auf einfache Weise einsparen.

- Mit Vorteil wird das galvanische Abscheiden in Form eines Licht-induzierten
- 5 Abscheideverfahrens (Light Induced Plating, LIP) durchgeführt. Dazu wird die Rückseitenmetallisierung des Halbleiterwafers mit einem definierten elektrischen Potential beaufschlagt und gleichzeitig die Frontseite einer definierten Lichteinstrahlung ausgesetzt. Aufgrund der Tatsache, dass es sich
- 10 beim Halbleiterwafer um eine Solarzellenstruktur handelt, die im Galvanisierungsbad angeordnet ist, fließt ein Licht-induzierter Strom, der zugleich die Metallabscheidung im Galvanisierungsbad steuert.

- Bevorzugt wird das galvanische Abscheiden in einem Cyanid-freien Galvanisierungsbad vorgenommen. Das Merkmal Cyanid-frei ist vorliegend so
- 15 auszulegen, dass bis auf mitunter nicht zu vermeidende Verunreinigungen in Form von Spuren kein Cyanid bzw. keine Cyanidverbindungen im Galvanisierungsbad vorliegen. Ein Cyanid-freies Galvanisierungsbad ist im Hinblick auf die Gefahrstoffproblematik deutlich einfacher im Umgang und in der Ver- und Entsorgung.

- 20 Es ist vorteilhaft, wenn das Cyanid-freie Galvanisierungsbad in Form einer wässrigen Lösung eingesetzt wird, die Metallionen, mindestens eine wasserlösliche Nitro-haltige Verbindung, mindestens ein Tensid, mindestens eine Amido-Verbindung und mindestens eine Komponente, die ausgewählt ist
- 25 aus einer wasserlöslichen Aminosäure, einer wasserlöslichen Sulfonsäure und deren Mischungen umfasst.

- Ein derartiges Galvanisierungsbad ist kommerziell unter dem Namen Enlight™ 620 von der Firma Rohm & Haas Electronic Materials, aus Marlborough,
- 30 Massachusetts, USA erhältlich. Eine Alternative stellt das unter dem Markennamen TechniSol™ Ag der Firma Technic Inc. aus Cranston, Rhode Island, USA angebotene Galvanisierungsbad dar.

- 9 -

Die Metallionen in den vorliegenden Galvanisierungsbädern können durch Verwendung irgendeiner geeigneten in Lösungen löslichen Metallverbindung, typischerweise eines Metallsalzes, bereitgestellt werden. Solche Metallverbindungen können ohne Einschränkung einschließen:

5

Metallhalogenide; Metallnitrat; Metallcarboxylate wie beispielsweise -acetat, Metallformiat und Metallgluconat; Metall-Aminosäure-Komplexe wie beispielsweise Metall-Cystein-Komplexe; Metallalkylsulfonate wie beispielsweise Metallmethanesulfonat und Metallethansulfonat;

10 Metallalkylolsulfonate, Metalltolylsulfonate und Metallphenolsulfonate.

Beispielhafte Metallverbindungen schließen Kupferverbindungen, Goldverbindungen, Nickelverbindungen, Palladiumverbindungen und Silberverbindungen ein. In einer Ausführungsform stellt die Metallverbindung einer Silberverbindung dar. Insbesondere schließen geeignete

15 Metallverbindungen Silbernitrat, Silber-Cystein-Komplex, Silbermethansulfonat, Silberethansulfonat, Silberpropansulfonat, Silberphenolsulfonat und Silberacetat ein. Es wird den Fachleuten klar sein, dass, wenn das Metall Silber darstellt, das Metallsalz typischerweise kein Silberhalogenid aufgrund der eingeschränkten Löslichkeit solcher Salze darstellt. Mischungen von

20 Metallverbindungen können in den vorliegenden Beschichtungsbädern verwendet werden. Solche Mischungen können Metallverbindungen, die das gleiche Metall aufweisen, aber verschiedene Verbindungen darstellen, wie beispielsweise eine Mischung aus Silbernitrat und Silber-Cystein-Komplex, oder Metallverbindungen darstellen, die verschiedene Metalle aufweisen, wie

25 beispielsweise eine Mischung Silber-Cystein-Komplex und Kupfergluconat. Wenn verschiedene Metallverbindungen, die verschiedene Metalle aufweisen, im Gemisch verwendet werden, wird das Galvanisierungsbad eine Legierung aus verschiedenen Metallen ablagern.

30 Die Metallverbindungen werden zu dem Galvanisierungsbad in einer Menge zugegeben, die ausreichend ist, um eine Metallionenkonzentration in dem Galvanisierungsbad von 0,1 bis 60 g/l, typischer 0,5 bis 50 g/l, und noch typischer 1 bis 50 g/l, bereit zu stellen. Wenn die Metallionen Silberionen

- 10 -

darstellen, liegt die Konzentration an Silberionen in dem Bad typischerweise in einer Menge von 2 bis 40 g/l. Solche Metallverbindungen sind im Allgemeinen von einer Vielfalt an Quellen wie beispielsweise Aldrich Chemical Company aus Milwaukee, Wisconsin, USA kommerziell erhältlich.

5

Die vorliegenden Galvanisierungsbäder enthalten einen Elektrolyten. Irgendeiner einer breiten Vielfalt an Elektrolyten kann in den vorliegenden Galvanisierungsbädern, einschließlich Säuren und Basen, verwendet werden. Beispielhafte Elektrolyten schließen ohne Einschränkungen Alkansulfonsäuren

- 10 wie beispielsweise Methansulfonsäure, Ethansulfonsäure und Propansulfonsäure; Alkylolsulfonsäuren; Arylsulfonsäuren wie beispielsweise Toluolsulfonsäure, Phenylsulfonsäure und Phenolsulfonsäure; Amino-haltige Sulfonsäuren wie beispielsweise Amidosulfonsäure; Sulfaminsäure; Mineralsäuren; Carbonsäuren wie beispielsweise Ameisensäure und
- 15 Haloessigsäuren; Halogenwasserstoffsäuren; und Pyrophosphat ein. Es wird den Fachleuten klar sein, dass Salze von Säuren und Basen als der Elektrolyt verwendet werden können. Weiterhin kann der Elektrolyt eine Mischung aus Säuren, eine Mischung aus Basen oder eine Mischung aus einer oder mehreren Säuren mit einer oder mehreren Basen enthalten. Solche Elektrolyten sind im
- 20 Allgemeinen von einer Vielfalt an Quellen wie beispielsweise Aldrich Chemical Company erhältlich.

Während nicht beabsichtigt ist, an eine Theorie gebunden zu werden, wird angenommen, dass die Nitro-haltigen Verbindungen in dem vorliegenden

- 25 Galvanisierungsbad zur Stabilisierung und Komplexierung des Bades wirken. Irgendeine aus einer breiten Vielfalt an wasserlöslichen Nitro-haltigen Verbindungen kann verwendet werden. Solche Nitro-haltigen Verbindungen schließen ohne Einschränkung Nitro-haltige Carbonsäuren und ihre Salze und Nitro-haltige Sulfonsäuren und ihre Salze ein. Solche Nitro-haltigen
- 30 Verbindungen können eine oder mehrere Nitro-Gruppen enthalten. Die wasserlösliche Nitro-haltige Verbindung weist typischerweise mindestens eine heterocyclische Gruppe auf. In einer weiteren Ausführungsform stellt die Nitro-haltige Gruppe eine aromatische heterocyclische Verbindung dar. Beispielhafte

- 11 -

Nitro-haltige Verbindungen schließen ohne Einschränkung 2-Nitrophthalsäure, 3-Nitrophthalsäure, 4-Nitrophthalsäure und/oder m-Nitrobenzolsulfonsäuren ein. Typischerweise wird die Nitro-haltige Gruppe in einer Menge von 0,1 bis 200 g/l des Bads und typischer 0,5 bis 175 g/l und noch typischerweise 1 bis 150 g/l, verwendet. Solche Nitro-haltigen Verbindungen sind im Allgemeinen von einer Vielfalt an Quellen wie beispielsweise Aldrich Chemical Company kommerziell erhältlich.

Eine breite Vielfalt an Tensiden kann in der vorliegenden Erfindung verwendet werden. Irgendwelche anionischen, kationischen, amphoteren und nichtionischen Tenside können verwendet werden. Beispielhafte nichtionische Tenside schließen Ester der Bernsteinsäure ein. In einer Ausführungsform ist das Tensid ausgewählt aus kationischen und amphoteren Tensiden. Beispielhafte kationische Tenside schließen 1,3-Didecyl-2-methylimidazolium-chlorid, erhältlich von Degussa unter dem Markennamen TEGOTAIN™ ein, sind aber nicht darauf beschränkt. In einer anderen Ausführungsform ist das Tensid amphoter wie beispielsweise ein Alkylbetain, erhältlich von Degussa unter dem Markennamen TEGOTAIN™. Mischungen aus Tensiden können verwendet werden. Solche Tenside sind typischerweise in dem Galvanisierungsbad in einer Menge 0,1 bis 5 g/l vorhanden.

Eine breite Vielfalt an Amido-Verbindungen kann in den vorliegenden Beschichtungsbädern verwendet werden. Geeignete Amido-haltige Verbindungen schließen ohne Einschränkung Sulfonsäureamide wie beispielsweise Bernsteinsäuresulfamid und Carbonsäureamide wie beispielsweise Bernsteinsäureamid (Succinamidsäure) ein.

Im Allgemeinen ist die Amido-Verbindung in den Beschichtungsbädern in einer Menge von 0,01 bis 150 g/l, typischerweise 0,5 bis 100 g/l und typischer 1 bis 100 g/l vorhanden. Amido-Verbindungen sind im Allgemeinen von einer Vielfalt an Quellen wie beispielsweise Aldrich Chemical Company kommerziell erhältlich. Zusätzlich können Amido-Verbindungen in situ aus Imiden erzeugt werden wie beispielsweise Succinimid, zum Beispiel. Während man nicht an

- 12 -

eine Theorie gebunden ist, wandeln sich Imide, die zu dem alkalischen Bad bei Badtemperaturen zugegeben werden, in ihre entsprechenden Amido-Verbindungen um. Es wird angenommen, dass dies durch einen nukleophilen Angriff durch Hydroxylionen (OH^-) an die Kohlenstoff-Stickstoff-Bindung (C-N) des Imids stattfindet.

Irgendeine Aminosäure kann in den vorliegenden Beschichtungsbädern geeignet verwendet werden, einschließlich Derivaten von Aminosäuren und Salzen von Aminosäuren. Die Aminosäuren der vorliegenden Erfindung können eine oder mehrere Mercapto-Gruppen zusätzlich zu einer oder mehreren Aminogruppen enthalten. Beispiele geeigneter Aminosäuren schließen Glycin, Alanin, Cystein, Methionin und 4-Aminonikotinsäure ein, sind aber nicht darauf beschränkt. Wenn eine Aminosäure in den vorliegenden Beschichtungsbädern verwendet wird, wird sie in einer Menge von 0,1 bis 150 g/l, typischer 0,5 bis 150 und noch typischer 0,5 bis 125 g/l verwendet. Mischungen aus Aminosäuren können verwendet werden. Solche Metallverbindungen sind im Allgemeinen von einer Vielfalt an Quellen wie beispielsweise Aldrich Chemical Company kommerziell erhältlich. Wenn das Metall Silber darstellt, ist die wasserlösliche Aminosäure typischerweise im Überschuss der stöchiometrischen Menge an Silber vorhanden.

Eine breite Vielfalt an wasserlöslichen Sulfonsäuren kann in den vorliegenden Beschichtungsbädern verwendet werden. Beispielhafte Sulfonsäuren schließen irgendwelche Sulfonsäuren ein, die vorstehend für den Elektrolyten beschrieben sind. Wenn eine Sulfonsäure als der Elektrolyt verwendet wird, ist keine zusätzliche Sulfonsäure erforderlich. Typischerweise ist die Sulfonsäure in einer Menge von 0,1 bis 200 g/l vorhanden.

Optional können die vorliegenden Beschichtungsbäder eine oder mehrere zusätzliche Komponenten enthalten. Solche zusätzlichen Komponenten schließen ohne Einschränkung Glanzmittel, Kornfeinungszusätze, Duktilitätsverbesserer, Korrosionsschutzmittel und Frostschutzmittel ein. Sulfon-haltige Verbindungen können als Glanzmittel verwendet werden.

- 13 -

Insbesondere enthalten geeignete Sulfon-haltige Verbindungen einen oder zwei aromatische Ringe an der Sulfongruppe. Solche aromatischen Ringe können optional substituiert sein mit einem oder zwei Substituenten, die ausgewählt sind aus Nitro, Amino, Halo, Alkyl und Metallen. Wenn vorhanden, ist die

5 Sulfon-haltige Verbindung typischerweise in einer Menge von 0,001 bis 5 g/l des Galvanisierungsbad enthalten.

Eine breite Vielfalt an Korrosionsschutzmitteln kann optional in den vorliegenden Beschichtungsbädern verwendet werden. Geeignete

10 Korrosionsschutzmittel schließen ohne Einschränkung Triazole, Benzotriazole, Tetrazole, Imidazole, Benzimidazole und Indazole ein. Besonders nützliche Korrosionsschutzmittel schließen (C₁-C₁₆)Alkylimidazole und Arylimidazole ein. Beispielhafte Korrosionsschutzmittel schließen Methylimidazol, Ethylimidazol, Propylimidazol, Hexylimidazol, Decylimidazol, Undecylimidazol, 1-Phenyl-

15 imidazol, 4-Phenylimidazol, Hydroxybenzotriazol, Aminobenzotriazol, 2-Imidazolcarboxaldehyd, Benzotriazolcarbonsäure, 2-Guanidinbenzimidazol, 2-Aminoindazol, Chlorbenzotriazol, Hydroxyethylbenzotriazol, Hydroxyethylimidazol, Hydroxybenzimidazol und 1,2,4-Triazol ein, sind aber nicht darauf beschränkt. Mischungen aus Korrosionsschutzmitteln können vorteilhaft in den vorliegenden

20 Beschichtungsbädern verwendet werden. Im Allgemeinen ist es, wenn ein Korrosionsschutzmittel verwendet wird, in einer Menge von 0,005 bis 50 g/l vorhanden.

Das Cyanid-freie Galvanisierungsbad weist bevorzugt ein Puffermittel auf, das

25 das Galvanisierungsbad auf einem pH-Wert von 7 bis 14, bevorzugt auf einem pH-Wert zwischen 8 und 12 und besonders bevorzugt auf einem pH-Wert zwischen 9,5 und 10,5 aufrecht erhält.

Beispielhafte Puffermittel schließen Borat-Puffer (wie beispielsweise Borax),

30 Phosphat-Puffer, Citrat-Puffer und Carbonat-Puffer ein, sind aber nicht darauf beschränkt. Die Menge des verwendeten Puffers ist die Menge, die ausreichend ist, um den pH des Galvanisierungsbad auf einem gewünschten Niveau

- 14 -

aufrecht zu erhalten, wobei eine solche Menge den Fachleuten wohl bekannt ist.

In einer noch weiteren Ausführungsform kann ein Zusatzmetall optional zu dem
5 Galvanisierungsbad zugegeben werden. Irgendein geeignetes Zusatzmetall kann verwendet werden. Solche Zusatzmetalle sind den Fachleuten wohl bekannt.

Die vorliegenden Beschichtungsbäder weisen typischerweise einen pH in dem Bereich von 7 bis 14, typischer 7 bis 12 und noch typischer 9 bis 12 auf. Die
10 Arbeitstemperatur der vorliegenden Beschichtungsbäder liegt typischerweise in dem Bereich von 10 bis 45°C. Wenn das Galvanisierungsbad ein Silber-Beschichtungsbad darstellt, liegt die Arbeitstemperatur typischerweise in dem Bereich von 20 bis 40°C und typischer 33 bis 38°C. Ein Kühler wird
15 typischerweise verwendet, um das Galvanisierungsbad bei einer Temperatur unterhalb der Raumtemperatur aufrecht zu erhalten.

Die in der vorliegenden Erfindung verwendeten Cyanid-freien Metall-Beschichtungsbäder weisen eine ausreichende Stabilität unter den Bedingungen der Beleuchtung auf, die beim Licht-unterstützten Galvanisieren verwendet
20 wird, um Metallablagerungen auf Halbleiterwafern für Solarzellen bereit zu stellen, die gewünschte Anforderungen erfüllen. Zudem weist das vorliegende Metall-Galvanisierungsbad ökologische Vorteile gegenüber herkömmlichen Licht-induzierten Beschichtungsbädern auf, weil das vorliegende Beschichtungsbad Cyanid-frei ist. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden
25 Erfindung ist, dass Hochleistungsausgaben ebenfalls auf den metallbeschichteten photoelektrischen Vorrichtungen möglich sind, sodass die Menge an während des Metall-Galvanisierungsschritts verwendeter Energie reduziert werden kann, wobei dadurch die Betriebskosten reduziert werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die vorliegenden Beschichtungsbäder unter den
30 Bedingungen der Licht-induzierten Beschichtung ausreichend stabil sind, um ihre Verwendung zu erlauben.

- 15 -

In einer vorteilhaften Verfahrensvariante wird das Galvanisierungsbad auf einer Temperatur zwischen 25 und 45°C, bevorzugt zwischen 30 und 40°C und besonders bevorzugt zwischen 33 und 37°C gehalten.

- 5 Bevorzugt wird die Metallkonzentration des Galvanisierungsbades im Bereich von 10 bis 30g/l, bevorzugt im Bereich von 15 bis 25g/l und besonders bevorzugt im Bereich von 18 bis 22g/l gehalten.

- 10 Eine vorteilhafte Variante des Verfahrens sieht vor, dass die Rückseiten-metallisierung des Halbleiterwafers beim galvanischen Abscheiden in Form eines Licht-induzierten Abscheideverfahrens auf einem Potential von 0,1 bis 2,4 Volt , bevorzugt von 0,3 bis 1,2 Volt und besonders bevorzugt von 0,3 bis 0,8 Volt gehalten wird.

- 15 Mit Vorteil wird das galvanische Abscheiden bei einer Lichteinstrahlung von 5 bis 40 kLux, bevorzugt von 10 bis 30 kLux, für eine Verweildauer im Galvanisierungsbad von 4 bis 12 Minuten, bevorzugt von 6 bis 10 Minuten durchgeführt.

- 20 Bevorzugt ist das galvanisch abgeschiedene Metall ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Silber, Kupfer, Gold, Nickel, Titan und Palladium.

- 25 Mit Vorteil werden auf dem p-Typ Halbleiterwafer die Saatschichten mittels eines Siebdruckschritts unter Anwendung einer silberhaltigen Vollaufbau-Paste aufgebracht, die ein Aspektverhältnis (Verhältnis von Höhe zu Breite) von 0,5 bis 0,02 , bevorzugt von 0,2 bis 0,05 und besonders bevorzugt von 0,11 bis 0,09 gewährleistet.

- 30 Beispielhaft seien die die Pasten mit der Bezeichnung Sol950 und Sol953 der Firma Heraeus; 6440 und 6449 der Firma Cermet; SR3906 der Firma Namics; DD1200 der Firma Kyoto Elex; PV145, PV159 und PV173 (Pb-free) der Firma Dupont; 33-502 und 33-642 der Firma Ferro genannt.

- 16 -

Eine vorteilhafte Variante des Verfahrens sieht vor, dass auf dem n-Typ Halbleiterwafer mit dem p-Typ Frontseitenemitter die Saatschichten mittels einer silberhaltigen Paste oder Tinte aufgebracht werden, die weniger als 5%, bevorzugt weniger als 2% und besonders bevorzugt weniger als 0,2% Aluminium enthält.

Eine weitere bevorzugte Variante des Verfahrens sieht vor, für das Aufbringen der Saatschichten eine Paste oder eine Tinte zu verwenden, die einen Gehalt an Partikeln elementaren Metalls von weniger als 5%, bevorzugt von weniger als 1% und besonders bevorzugt von weniger als 0,5% aufweist und überwiegend aus einer Glasfritte aufgebaut ist. Die Glasfritte kann Metalle in Form von Oxiden bzw. anderen Metallsalzen enthalten.

Eine vorteilhafte Abwandlung des Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass nach dem Verfahrensschritt des Feuerns der Saatschichten und vor dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens von Metall in einem Ätzschritt die gefeuerten Saatschichten bis auf eine Grenzschicht zum Halbleiterwafer heruntergeätzt werden. Dies kann beispielsweise durch einen nasschemischen Ätzschritt beispielsweise mit Salpetersäure vorgenommen werden. An Stelle des Ätzens mit Salpetersäure ist auch ein Ätzen der Glasschichten der gefeuerten Saatschichten beispielsweise mit HF möglich. Dies kann dazu führen, dass die gefeuerten Saatschichten vom Halbleiterwafer gelöst werden. Zurück bleiben Metallanteile an der Grenzschicht zum Halbleiterwafer. Diese dienen, ebenso wie die glasige Grenzschicht (im Fall der Ätze mit Salpetersäure) als Ausgangspunkt für die im Anschluss daran vorgenommene galvanische Metallabscheidung.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Solarmoduls aus Solarzellen, wobei zunächst eine Mehrzahl von Solarzellen gemäß einer der vorangehend dargestellten Verfahrensvarianten hergestellt werden und diese Solarzellen anschließend elektrisch verschaltet, auf einem Substrat angeordnet und mit dem Substrat verkapselt werden.

- 17 -

Die Figur 1 zeigt beispielhaft zwei Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens in schematischer nicht maßstabsgerechter Querschnittsdarstellung. Im Bereich A ist das Ergebnis nach dem Bereitstellen eines Halbleiterwafers mit einer Basis 1 und einem frontseitigen Emitter 2 gezeigt. Die Oberfläche des frontseitigen Emitters 2 ist mit einer Antireflexschicht/Passivierungsschicht 3 versehen. Auf dem derart bereitgestellten Halbleiterwafer wurde eine Saatschichtstruktur 4a angeordnet. Diese Saatschichtstruktur 4a wird mittels eines Druckverfahrens einer metallhaltigen Tinte oder Paste auf die Oberfläche gebracht.

10

Der Bereich B zeigt den Halbleiterwafer aus dem Bereich A nach dem Schritt des Feuerns. Durch das Feuern hat die in A abgeschiedene Saatschichtstruktur 4a als gefeuerte Saatschicht 4b die Antireflexschicht/Passivierungsschicht 3 durchdrungen und hat eine Grenzfläche zwischen der Saatschicht und dem frontseitigen Emitter 2 gebildet. Figur 1 zeigt eine idealisierte Darstellung. Ebenso ist denkbar, dass die gefeuerte Saatschicht 4b die Antireflexschicht/Passivierungsschicht 3 nur teilweise durchdrungen hat. Weiterhin kann es in der Praxis durchaus auftreten, dass die Antireflexschicht/Passivierungsschicht 3 auch benachbart zur gefeuerten Saatschicht 4a angegriffen und teilweise aufgelöst wird.

20

Die in der Saatschichtstruktur 4a ursprünglich vorhandenen Lösungsmittel haben sich mit dem Feuern verflüchtigt und die Metallpartikel sind zusammengesintert, so dass die gefeuerte Saatschicht 4b etwas kleiner und dichter ist als vor dem Feuern.

25

Der Bereich C zeigt eine Verfahrensvariante. Beispielsweise durch nasschemisches Ätzen mit Salpetersäure lässt sich die gefeuerte Saatschicht 4b bis auf eine Kontaktschicht auf der Oberfläche des frontseitigen Emitters 2 entfernen. Im oberen Bereich dieser Kontaktschicht ist üblicherweise eine glasartige Phase vorhanden, die durch die Salpetersäure nicht angegriffen wird, so dass auch darunter befindliches Metall bzw. Metallkristallite am Übergang zum Emitter vorhanden bleiben. Hat die gefeuerte Saatschicht 4b die

30

- 18 -

Antireflexschicht/Passivierungsschicht 3 nicht vollständig durchdrungen, so würden nach dem Ätzen mit der Salpetersäure diese von der gefeuerten Saatschicht 4a zuvor überdeckten Reste der Schicht 3 frei im Anschluss an den Ätzschritt frei liegen.

5

Alternativ zum Ätzschritt mit Salpetersäure kann ein Ätzschritt mit Flusssäure vorgenommen werden. Die Flusssäure würde nicht das Silber sondern die im Grenzbereich zum frontseitigen Emitter 2 vorhandene Glasphase ätzen. Dies kann dazu führen, dass sich die gefeuerte Saatschicht 4b vom Halbleiterwafer

10 ablöst. Unter der Glasphase befinden sich freigelegter Emitter sowie eventuell Metallkristallite, die im Grenzbereich zum frontseitigen Emitter liegen und von der Flusssäure nicht angegriffen werden. Auf diesen lässt sich dann galvanisch Metall für die Frontseiten-Elektrodenstruktur abscheiden.

- 15 Im Bereich D wird der Halbleiterwafer mit der Konstellation aus Bereich B bzw aus Bereich C in ein hier nicht dargestelltes Galvanikbad eingebracht. Bevorzugt wird ein Licht-induziertes Abscheideverfahren eingesetzt, dessen Wirkprinzip vorangehend kurz beschrieben worden ist. Im Ergebnis wird auf die gefeuerte Saatschicht 4b eine Schicht galvanisch abgeschiedenes Metall 4c,
- 20 vorzugsweise Silber aufgebracht, um die gefeuerte Saatschicht 4b zu verstärken. Außerdem hat sich überraschend herausgestellt, dass die Galvanik derart positiven Einfluss auf den elektrischen Kontakt der gefeuerten Saatschicht 4b ausübt, dass das bisher regelmäßig angewandte Formiergas-Tempnen bei reduzierender Wasserstoff-Atmosphäre entfallen kann.

25

Wiederum zeigt Figur 1 im Bereich D eine idealisierte Darstellung. Real wird das galvanisch abgeschiedene Metall auch auf benachbarte Bereiche der Antireflexionsschicht/Passivierungsschicht 3 überlappen.

- 30 Figur 2 zeigt das Ergebnis von Simulationsrechnungen des auf y-Achse aufgetragenen Serienwiderstands R_s einer Solarzelle gegenüber der Ohmigkeit R_{Sheet} des p-Emitters des zum Einsatz kommenden Halbleiterwafers, die auf der x-Achse abgetragen ist. Der Serienwiderstand R_s setzt sich zusammen aus dem

- 19 -

Kontaktwiderstand (10) der Elektroden zum Halbleitermaterial, dem von den Ladungsträgern im Emitttermaterial zu überwindenden Schichtwiderstand (11), dem von den Elektronen längs der Elektrodenstrukturen erfahrenen Linienwiderstand (12) und dem Restwiderstand (13) des Halbleiterwafers, der

5 Rückseite und der Busbars. Es ist klar erkennbar, wie der Anteil des Kontaktwiderstands (10) ab zirka 80 Ohm/sq mit steigender Ohmigkeit des Halbleiterwafers exponentiell ansteigt. Figur 2 stellt den Zustand nach dem Feuern der Saatschicht dar.

10 Figur 3 zeigt die gleiche Darstellung der Parameter aus Figur 2, wobei jetzt der Zustand nach der galvanischen Metall-Abscheidebehandlung der Saatschicht dargestellt ist. Am auffälligsten ist die extreme Abnahme des Kontaktwiderstand (10) für hochohmige (>70 Ohm/sq) des Halbleiterwafer wie sie experimentell nachgewiesen wurde. Außerdem hat der Linienwiderstand (12)

15 durch die guten elektrischen Leitungseigenschaften des galvanisch abgeschiedenen Metalls deutlich abgenommen.

Figur 4 zeigt schließlich Messwerte. Die runden Punkte stellen die Messwerte des Serienwiderstands R_s nach dem Feuern der Saatschicht dar; die

20 quadratischen Punkte den Serienwiderstand R_s nach der galvanischen Abscheidung von Metall auf den Saatschichten. Es ist nur noch ein schwacher Anstieg des Serienwiderstandes mit der Ohmigkeit des Emitters zu beobachten. Dieser ist nach Fig 3 größtenteils durch den steigenden Schichtwiderstand (11) bedingt.

25

- 20 -

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle mit den folgenden Schritten

- Bereitstellen eines Halbleiterwafers mit einer Frontseite und einer Rückseite ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus:
 - einem p-Typ-Halbleiterwafer mit einer p-Typ Basis und mit einem n-dotierten Frontseiten-Emitter mit einer Ohmigkeit von mehr als 70 Ohm/sq, bevorzugt mehr als 90 Ohm/sq und besonders bevorzugt mehr als 110 Ohm/sq und/oder einer Oberflächenkonzentration von weniger als 10^{20} Dotieratomen/cm³, bevorzugt weniger als 5×10^{19} Dotieratomen/cm³,
 - einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis, einem n-Typ Frontseiten-Abschnitt zur Frontseiten-Kontaktierung der n-Typ Basis und einem p-Typ-Emitter,
 - einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis und einem p-dotierten Frontseitenemitter mit einer Ohmigkeit von mehr als 40 Ohm/sq und
 - einem n-Typ-Halbleiterwafer mit einer n-Typ Basis und einer p-dotierten Emitterstruktur zur Rückseitenkontaktierung oder einem p-Typ-Halbleiterwafer mit einer p-Typ Basis und einer n-dotierten Emitterstruktur zur Rückseitenkontaktierung,
- Aufbringen einer Saatschichtstruktur (4a) für eine Mehrschicht-Elektrodenstruktur auf der Frontseite oder auf der Rückseite des Halbleiterwafers,
- Feuern des Halbleiterwafers zum Einbrennen der Saatschichtstruktur (4a) zu gefeuerten Saatschichten (4b),
- galvanisches Abscheiden von Metall auf die gefeuerten Saatschichten (4b) zur Erzeugung einer Mehrschicht-Elektrodenstruktur (4b,4c) und
- Aufbringen einer Rückseitenmetallisierung für eine zur Mehrschicht-Elektrodenstruktur (4b,4c) korrespondierende Rückseitenelektrodenstruktur auf der Rückseite des Halbleiterwafers,

wobei der Halbleiterwafer weder zwischen dem Verfahrensschritt des Feuerns und dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens noch nach dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens einer reduzierenden Atmosphäre bei einer Temperatur von mehr als 200° C ausgesetzt wird.

- 21 -

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die reduzierende Atmosphäre mehr als 0,5 % und bevorzugt mehr als 2% Wasserstoff enthält.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das galvanische Abscheiden in Form eines Licht-induzierten Abscheideverfahrens durchgeführt wird.
4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das galvanische Abscheiden in einem Cyanid-freien Galvanisierungsbad vorgenommen wird.
5. Verfahren gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Cyanid-freie Galvanisierungsbad in Form einer wässrigen Lösung eingesetzt wird, die Metallionen, mindestens eine wasserlösliche Nitro-haltige Verbindung, mindestens ein Tensid, mindestens eine Amido-Verbindung und mindestens eine Komponente, die ausgewählt ist aus einer wasserlöslichen Aminosäure, einer wasserlöslichen Sulfonsäure und deren Mischungen umfasst.
6. Verfahren gemäß Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Galvanisierungsbad ein Puffermittel aufweist, das das Galvanisierungsbad auf einem pH-Wert von 7 bis 14, bevorzugt auf einem pH-Wert zwischen 8 und 12 und besonders bevorzugt auf einem pH-Wert zwischen 9,5 und 10,5 aufrecht erhält.
7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Galvanisierungsbad auf einer Temperatur zwischen 25 und 45°C, bevorzugt zwischen 30 und 40°C und besonders bevorzugt zwischen 33 und 37°C gehalten wird.
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallkonzentration des Galvanisierungsbad im Bereich von 10 bis

- 22 -

30g/l, bevorzugt im Bereich von 15 bis 25g/l und besonders bevorzugt im Bereich von 18 bis 22g/l gehalten wird.

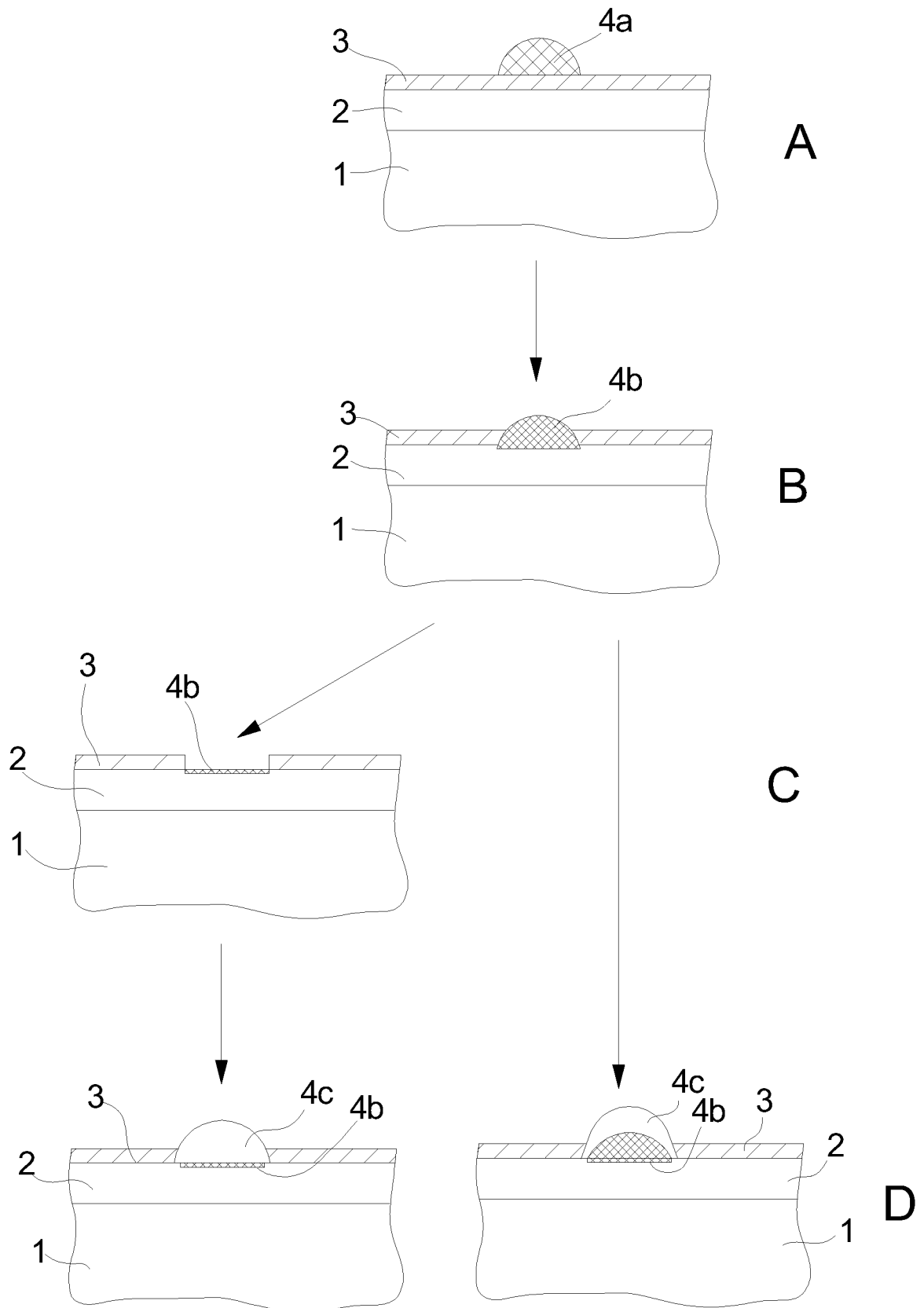
9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückseitenmetallisierung des Halbleiterwafers beim galvanischen Abscheiden in Form eines Licht-induzierten Abscheideverfahrens auf einem Potential von 0,1 bis 2,4 Volt , bevorzugt von 0,2 bis 1,2 Volt und besonders bevorzugt von 0,3 bis 0,8 Volt gehalten wird.
10. Verfahren gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das galvanische Abscheiden bei einer Lichteinstrahlung von 5 bis 40 kLux, bevorzugt 10 bis 30 kLux für eine Verweildauer von 4 bis 12 Minuten, bevorzugt von 6 bis 10 Minuten durchgeführt wird.
11. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das galvanisch abgeschiedene Metall ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Silber, Kupfer, Gold, Nickel, Titan und Palladium.
12. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem p-Typ Halbleiterwafer die Saatschichten mittels eines Siebdruckschritts unter Anwendung einer silberhaltigen Vollaufbau-Paste aufgebracht werden, die ein Aspektverhältnis von 0,5 bis 0,02 , bevorzugt von 0,2 bis 0,05 und besonders bevorzugt von 0,11 bis 0,09 gewährleistet.
13. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem n-Typ Halbleiterwafer mit dem p-Typ Frontseitenemitter die Saatschichten mittels einer silberhaltigen Paste oder Tinte aufgebracht werden, die weniger als 5%, bevorzugt weniger als 2% und besonders bevorzugt weniger als 0,2% Aluminium enthält.

- 23 -

14. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für das Aufbringen der Saatschichten eine Paste oder eine Tinte zum Einsatz kommt, die einen Gehalt an Partikeln elementaren Metalls von weniger als 5%, bevorzugt von weniger als 1% und besonders bevorzugt von weniger als 0,5% aufweist und überwiegend aus einer Glasfritte aufgebaut ist.
15. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Verfahrensschritt des Feuerns der Saatschichten und vor dem Verfahrensschritt des galvanischen Abscheidens von Metall in einem Ätzschritt die gefeuerten Saatschichten bis auf eine Grenzschicht zum Halbleiterwafer heruntergeätzt werden.
16. Verfahren zur Herstellung eines Solarmoduls aus Solarzellen, wobei zunächst eine Mehrzahl von Solarzellen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 hergestellt werden und diese Solarzellen anschließend elektrisch verschaltet, auf einem Substrat angeordnet und mit dem Substrat verkapselt werden.

1/2

Fig. 1



2/2

Fig. 2

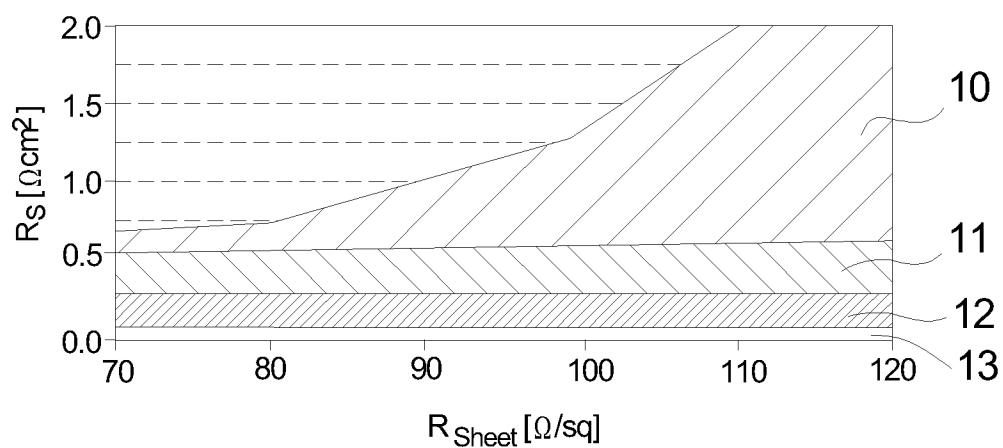


Fig. 3

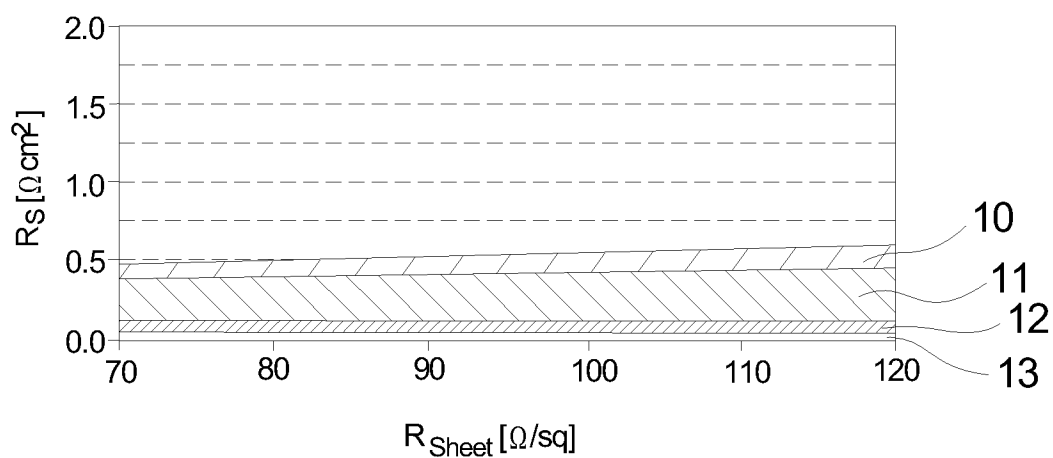


Fig. 4

