(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
12. November 2009 (12.11.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/135819 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/055372

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. Mai 2009 (05.05.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 022 574.6 7. Mai 2008 (07.05.2008) DE
10 2008 033 169.4 15. Juli 2008 (15.07.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **ERSOL SOLAR ENERGY AG** [DE/DE]; Wilhelm-Wolff-Strasse 23, 99099 Erfurt (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **KROKOSZINSKI, Hans-Joachim** [DE/DE]; Albert-Schweizer-Ring 3, 69226 Nußloch (DE). **MEYER, Karsten** [DE/DE]; Kartäuser Strasse 7b, 99084 Erfurt (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, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A MONOCRYSTALLINE SOLAR CELL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER MONOKRISTALLINEN SOLARZELLE

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a monocrystalline solar cell comprising a passivating rear side and a rear side contact structure. Said method consists of the following steps: a passivating, dielectric layer is to applied to the entire surface of the rear side of the cell; the passivating layer is locally removed in the region of the busbars and local contact points; the rear side of the cell is homogeneously coated for forming an unstructured, thin metal layer that touches the surface of the substrate material in the areas that are free of the passivating layer; a thick layer made of a conductive paste is produced in the region of the busbar and local contact points; and the thick layer is sintered at a temperature above a predetermined eutectic temperature and forms an eutectic, low-ohmic connection between the thin metal layer and the surface of the substrate material and the conductive particles of the thick layer paste.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer monokristallinen Solarzelle mit einer passivierten Rückseite und einer Rückseitenkontaktstruktur mit folgenden Schritten: ganzflächiges Aufbringen einer passivierenden, dielektrischen Schicht auf der Zellenrückseite; lokales Entfernen der passivierenden Schicht im Bereich von Busbars und lokalen Kontaktstellen; homogenes Beschichten der Zellenrückseite zur Ausbildung einer unstrukturierten, dünnen Metallschicht, welche in den von der Passivierungsschicht freien Bereichen die Oberfläche des Substratmaterials berührt; Erzeugen einer Dickschicht aus einer leitfähigen Paste im Bereich der Busbars und lokalen Kontaktstellen; und Sintern der Dickschicht bei einer Temperatur oberhalb einer vorgegebenen Eutektikumstemperatur und Bildung einer eutektischen, niederohmigen Verbindung der dünnen Metallschicht mit der Oberfläche des Substratmaterials sowie mit den leitfähigen Partikeln der Dickschicht-Paste.

WO 2009/135819 A2

Verfahren zur Herstellung einer monokristallinen Solarzelle

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer monokristallinen Solarzelle mit einer passivierten Rückseite und einer Rückseitenkontaktstruktur sowie eine derartige verfahrensgemäß hergestellte Zelle.

Es ist bekannt, Silizium-Solarzellen mit einer passivierenden Antireflexschicht auf der vorderseitigen n-Emitterschicht rückseitig mit einer ganzflächigen Metallisierung des Basisbereichs zur Verspiegelung und zur Bandverbiegung (Back Surface Field – BSF) auf der Rückseite zu versehen.

Eine solche Rückseitenmetallisierung besteht üblicherweise aus großflächig aufgedruckter, Aluminium-basierter Dickschichtpaste, die sich beim Sintern oberhalb von 800° durch Bildung des niederschmelzenden AlSi-Eutektikums und Rekristallisation an die Halbleiteroberfläche anlegiert und dabei die vorhandene n-Dotierung aufgrund einer vorher erfolgten Phosphordiffusion zur p^+-Dotierung überkompensiert.
Da für die Modulintegration von Zellen auch lötfähige Kontakte auf der Rückseite notwendig sind, ist es erforderlich, vorher einen Druck mit Silber-basierter Paste aufzubringen, wobei der Druck üblicherweise die Zahl und die Position vorhandener Busbars der Vorderseite auf der Rückseite reproduziert. Eine derartige Zelle des Standes der Technik ist in der Prinzipdarstellung nach Fig. 1 gezeigt. Die Rückseitenbusbars werden in streifenförmige Bereiche unterhalb der Vorderseitenbusbars gedruckt, bevor der abschließende Alumiumpastendruck die verbleibenden Flächen seitlich der Busbars füllt, wobei sich Aluminium und Silber entlang der Kanten jedes Silberstreifens leicht überlappen.

Es wurde weiterhin vorgeschlagen, die Dickschichtmetallisierung durch eine dielektrische, meist oxidische Passivierungsschicht zu ersetzen, wobei die elektrische Anbindung der großflächigen Rückseitenmetallisierung an die Halbleiteroberfläche durch kleine, meist regelmäßig in Matrixpositionen

angeordnete Punktkontakte (Local Back Surface Field – Local BSF) erreicht wird.
Die dabei gebildete Rückseitenkontaktstruktur findet in vielfältigen Varianten Anwendung. Zum vorgenannten Stand der Technik sei auf nachstehende Literaturstellen aufmerksam gemacht:
A.W. Blakers et al, Appl. Phys. Lett., 55 (1989), Seiten 1363 bis 1365;
G. Agostinelli et al, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference (2005), Barcelona, Spanien, Seite 647; und
P. Choulat et al, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (2007), Milano, Italien.

Die am weitesten verbreiteten lokalen BSF-Kontakte sind sogenannte „Laser Fired Contacts" (LFC-Kontakte), bei denen durch Laserbeschuss die vorher aufgebrachte Metallschicht, meist als Dünnfilm-Aluminium ausgebildet, durch die Oxidschicht hindurch mit der Halbleiteroberfläche verschmolzen wird.

Ein wesentlicher Nachteil des Verfahrens der Laser-getriebenen Kontaktierung besteht darin, daß die Vielzahl der notwendigen lokalen Kontakte sequentiell und deshalb in möglichst hoher Zahl pro Sekunde und hoher Lichtintensität hergestellt werden muss. Beim hier entstehenden hochenergetischen, punktuellen Verschmelzen des Aluminiums durch die Oxidschicht hindurch findet oft eine Schädigung der Silizium-Oberfläche unter den lokalen Kontakten statt, die sich insbesondere in einer erhöhten Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit und damit einer reduzierten Passivierungswirkung äußert.

Aus dem Vorgenannten ist es daher Aufgabe der Erfindung, ein weiterentwickeltes Verfahren zur Herstellung einer monokristallinen Solarzelle mit einer passivierten Rückseite und einer Rückseitenkontaktstruktur anzugeben, welches eine schonende und zeitsparende Methode für die Herstellung einer Schichtkombination mit unterschiedlichen Funktionalitäten für die lokale Kontaktierung einer Solarzellenrückseite angibt.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt durch die Lehre gemäß der Verfahrensabfolge nach Patentanspruch 1.

Das erfindungsgemäße Verfahren betrifft demnach eine Prozessschrittfolge für die Herstellung von lokalen Kontakten einer Metallschicht durch eine ganzflächige Passivierungsschicht einer Zellenrückseite hindurch auf die Halbleiteroberfläche, wobei in erfinderischer Weise eine Dünnschichterzeugung mit der Erzeugung einer Dickschicht durch Siebdruck oder Schablonendruck kombiniert wird. Dabei entsteht durch die erfindungsgemäße Verfahrensabfolge eine sogenannte PERC-Struktur (Passivated Emitter and Rear Cell), wobei gegenüber dem Stand der Technik wesentliche Vorteile bestehen.

Diese Vorteile zeigen sich darin, daß die Passivierungsschicht, welche gleichzeitig eine elektrische Isolation darstellt, aus einem jeweils am besten geeigneten Material und mit der jeweils geeignetsten Technologie ausgebildet werden kann. Ebenso kann diese Passivierungsschicht mit einer solchen Technologie lokal geöffnet werden, die geringste Wechselwirkungen mit den übrigen Komponenten zur Folge hat. Die Passivierungsschicht wiederum wird mit einer schonenden Technologie, insbesondere der Dünnschicht-Technologie, mit einer am besten geeigneten Metallisierung, insbesondere Aluminium bedeckt, wobei gleichzeitig mit den großen isolierten Flächen auch die lokalen Kontaktflächen auf der Halbleiteroberfläche abgedeckt werden.

Die Herstellung der lokalen BSF-Flächen aus rekristallisierendem AlSi in den lokalen Kontaktflächen wird mit dem Sintern einer Dickschichtpaste, insbesondere einer Silberpaste kombiniert, die vorab auf die lokalen Kontakte und die Außenkontaktflächen durch Drucken aufgebracht wird. Dabei wird das Schmelzen des AlSi-Eutektikums genutzt, um über dessen Reaktion mit der leitfähigen Paste, insbesondere Silberpaste, die zur Bildung von intermetallischen Phasen des Ag-Al-Systems führt, eine dauerhafte niederohmige Verbindung der Dünnschichtmetallisierung auf der Passivierungsschicht mit der lokal begrenzten BSF-Schicht im Halbleiter sicherzustellen.

Die wesentlichsten verfahrensseitigen Schritte lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Auf ein üblicherweise vorprozessiertes Zellenmaterial erfolgt ein ganzflächiges Aufbringen einer passivierenden, dielektrischen Schicht mindestens auf der Zellenrückseite. Anschließend wird ein lokales Entfernen der passivierenden Schicht im Bereich von Busbars und Durchkontaktierungsstellen auf der Rückseite vorgenommen.

Hiernach wird die Zellenrückseite homogen beschichtet, und zwar zur Ausbildung einer unstrukturierten, dünnen Metallschicht, welche in den von der Passivierungsschicht freien Bereichen die Oberfläche des Substrat-materials, d.h. die Halbleiteroberfläche berührt.

Im Anschluss wird ein Erzeugen einer Dickschicht aus einer leitfähigen Paste im Bereich der Busbars und Durchkontaktierungsstellen vorgenommen.

Es erfolgt dann ein Sintern der Dickschicht bei einer Temperatur oberhalb einer vorgegebenen Eutektikumstemperatur und die Bildung einer eutektischen, niederohmigen Verbindung der dünnen Metallschicht mit der Oberfläche des Substratmaterials sowie mit den leitfähigen Partikeln der Dickschicht-Paste.

Die vorerwähnte Passivierungsschicht kann aus einem Siliziumoxid, Aluminiumoxid oder dergleichen Material bestehen.

Die Dünnschicht wird bevorzugt durch Sputtern oder Aufdampfen eines Aluminiummaterials erzeugt.

Auch die auf der Vorderseite notwendigen Leiterbahnen und Busbars können durch Dickschicht-Siebdruck oder Schablonendruck erzeugt werden.

Beide Dickschichten, d.h. die Dickschicht auf der Vorder- und die Dickschicht auf der Rückseite können während einer gemeinsamen Temperaturbehandlung gesintert werden.

Es werden für die Dickschichtrealisierung Pasten gewählt, die bevorzugt in einem Temperaturbereich oberhalb des Al-Si-Eutektikums von 577°C, aber

unterhalb des Aluminium-Schmelzpunkts von 660°C, also bevorzugt zwischen 580°C und 620°C sinterfähig sind.

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

Fig. 1A eine Draufsicht einer Drei-Busbar-Standardzelle;

Fig. 1B einen Querschnitt durch eine Standardzelle gemäß Fig. 1A (Stand der Technik) und

Fig. 2A bis E Schnittdarstellungen zur Illustration der erfindungsgemäßen Verfahrensabfolge zur Herstellung der neuartigen Solarzelle mit Rückseitenkontaktstruktur (passivierte Rückseite mit lokalen Kontakten PERC).

Die Fig. 1A und 1B zeigen die Draufsicht bzw. eine Querschnittsdarstellung einer Drei-Busbar-Standardzelle aus einem p-Siliziumwafer 1 mit Busbars auf der Vorderseite 4 sowie Rückseitenbusbars 3 sowie einem die restlichen Flächen 2 seitlich der Busbars füllenden Aluminiumpastendruck, wobei sich Aluminium und Silber entlang der Kanten jedes Silberstreifens leicht überlappen (siehe Querschnitt nach Fig. 1B).

Bei dem Verfahren gemäß der Abfolge nach den Fig. 2A bis E wird in einem ersten Prozessschritt ein Abscheiden einer dielektrischen Passivierungsschicht 8, z.B. Siliziumoxid, auf der Rückseite durch z.B. thermische Oxidation, LPCVD, PECVD, Sputtern oder dergleichen vorgenommen. Die Vorderseite weist eine Vorderseitentextur 5 sowie eine Antireflexionsschicht 7 auf. Das Ausgangsmaterial 1 ist ein p-Siliziumwafer mit n^{++}-Emitter 6.

Wenn im ersten Schritt zur Erzeugung der Passivierungsschicht eine thermische Oxidation erfolgte, ist zusätzlich für ein Abätzen des Oxids auf der Vorderseite Sorge zu tragen.

Im Prozessschritt gemäß Fig. 2B erfolgt ein lokales Entfernen der Passivierungsschicht 8 auf der Rückseite im Bereich der Busbars und an allen lokalen Durchkontaktierungsstellen oder Durchkontaktierungspunkten 9, z.B. durch Laserablation, Drucken von Ätzpaste oder durch Plasmaätzen.

Gemäß der Darstellung nach Fig. 2C wird ein homogenes Beschichten der Rückseite mit einem leitfähigen Material, insbesondere eine Aluminium-haltige Dünnschicht 10, durch Aufdampfen oder Sputtern ausgeführt.

Im Prozessschritt nach Fig. 2D erfolgt ein Siebdruck der Leiterbahnen und Busbars auf der Vorderseite z.B. mit Hilfe einer leitfähigen Paste, insbesondere mit Silberpaste 11.

Gemäß der Darstellung nach Fig. 2E erfolgt ebenfalls im Siebdruck das Auftragen von Durchkontaktierungspunkten 12 und der Busbars 13 auf der Rückseite der Zelle, und zwar unter Rückgriff auf Silberpastenmaterial.

In einem letzten Prozessschritt gemäß Fig. 2E erfolgt ein Sintern aller Siebdruckpasten, d.h. der ausgebildeten Bahnen auf der Vorderseite und der Durchkontaktierungspunkte 12 und Busbars 13 auf der Rückseite im Temperaturbereich zwischen 580°C und 620°C. Hierbei bildet sich aufgrund der Sintertemperatur oberhalb der Eutektikumstemperatur von 577°C ein niedrigschmelzendes AlSi-Eutektikum 14 in den Kontaktflächen zwischen dem Silizium und der Aluminiumschicht. Gleichzeitig legieren auch die Silberpartikel der Silberpaste mit dem flüssigen Aluminium-Silizium-Eutektikum, weil beim Sintern auch die Aluminium-Silber-Eutektikumstemperatur von 566°C überschritten wird.

Es wird darauf hingewiesen, dass sich die vorliegende mit ihren Verfahrensmerkmalen darstellende Erfindung auch auf sogenannte MWT-Zellen (Metal Wrap Through) erstreckt, bei denen auf der Vorderseite Emitterfinger angeordnet sind und sich Emitterbusbars auf der Rückseite befinden sowie hierbei Emitterfinger und Emitterbusbars über metallisierte, laser- oder ähnlich gebohrte Löcher in elektrischer Verbindung stehen

SEITE ABSICHTLICH LEER GELASSEN

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer monokristallinen Solarzelle mit einer passivierten Rückseite und einer Rückseitenkontaktstruktur, umfassend folgende Schritte:

- ganzflächiges Aufbringen einer passivierenden, dielektrischen Schicht auf der Zellenrückseite;
- lokales Entfernen der passivierenden Schicht im Bereich von Busbars und lokalen Kontaktstellen;
- homogenes Beschichten der Zellenrückseite zur Ausbildung einer unstrukturierten, dünnen Metallschicht, welche in den von der Passivierungsschicht freien Bereichen die Oberfläche des Substratmaterials berührt;
- Erzeugen einer Dickschicht aus einer leitfähigen Paste im Bereich der Busbars und lokalen Kontaktstellen und
- Sintern der Dickschicht bei einer Temperatur oberhalb einer vorgegebenen Eutektikumstemperatur und Bildung einer eutektischen, niederohmigen Verbindung der dünnen Metallschicht mit der Oberfläche des Substratmaterials sowie mit den leitfähigen Partikeln der Dickschicht-Paste.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Passivierungsschicht aus Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumnitrid, Siliziumkarbid, Siliziumoxid-Siliziumnitrid-Schichtsequenzen, amorphes Silizium und Siliziumnitrid oder hinsichtlich ihrer Eigenschaften vergleichbare Materialien besteht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Dünnschicht durch Sputtern oder Aufdampfen insbesondere eines Aluminium-haltigen Materials gebildet wird.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
auf der Vorderseite Leiterbahnen und Busbars durch Dickschicht-Siebdruck oder Schablonendruck erzeugt werden.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Dickschicht im Bereich der Busbars und der lokalen Kontaktstellen auf der Rückseite durch Siebdruck oder Schablonendruck erzeugt wird.

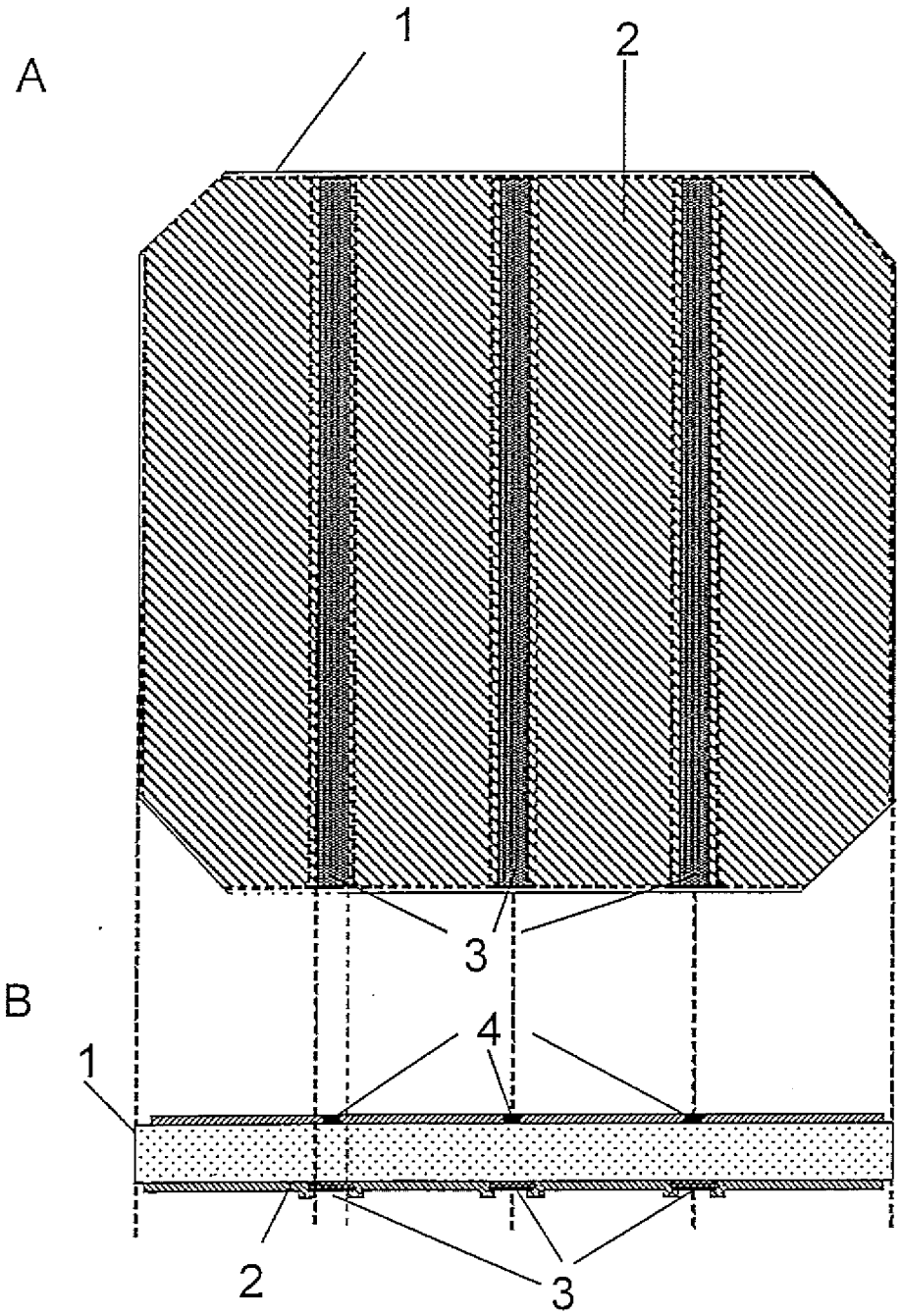
6. Verfahren nach Anspruch 4 und 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Dickschichten in einem gemeinsamen Temperaturbehandlungsschritt gesintert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Sintern in einem Temperaturbereich oberhalb von 580°C, jedoch unterhalb von 660°C, vorzugsweise zwischen 580°C und 620°C durchgeführt wird.

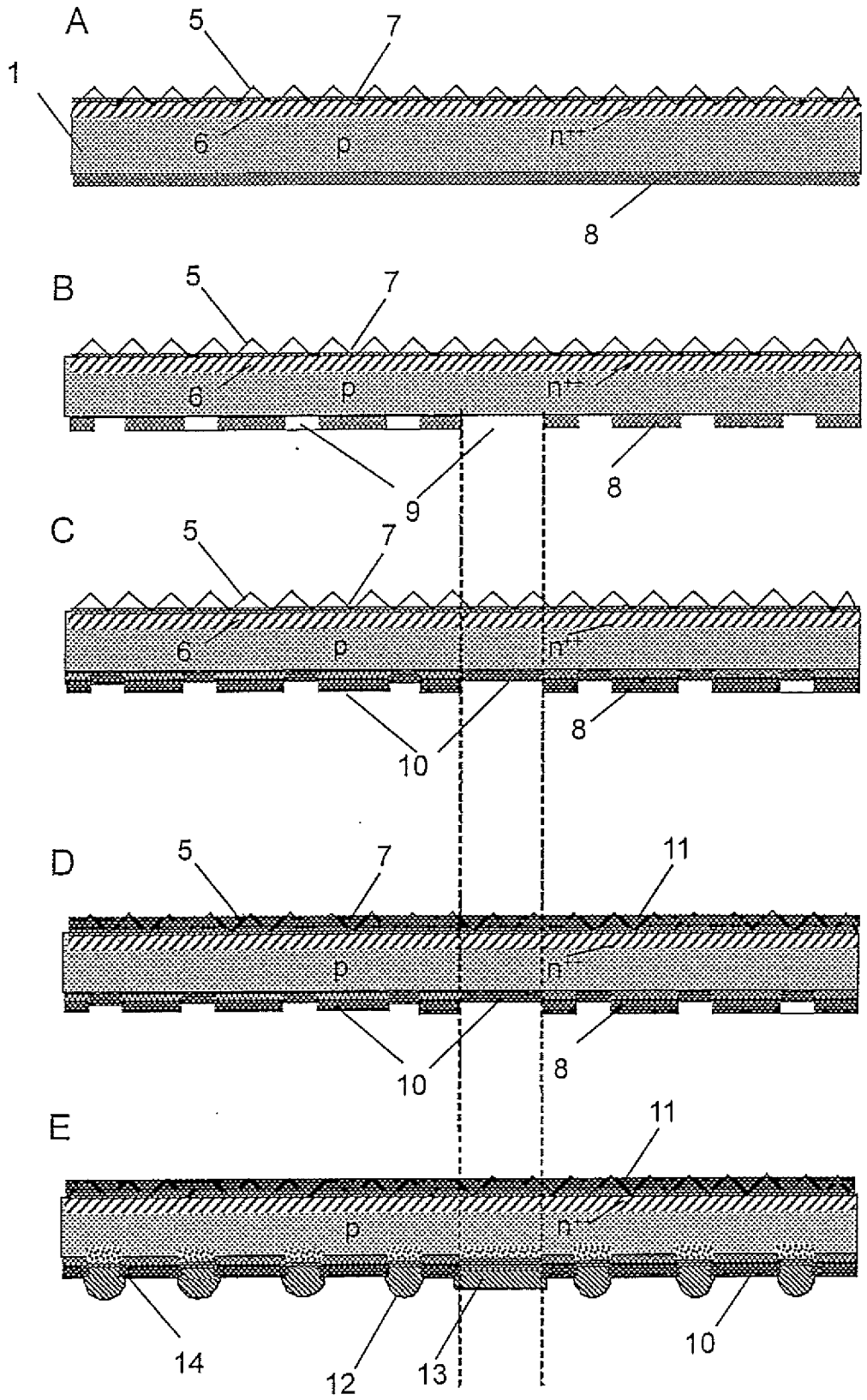
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die leitfähige Paste Silber-haltig ist.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Sintern der Dickschicht bei einer Temperatur oberhalb der Aluminium-Silizium-Eutektikumstemperatur von 577°C, aber unterhalb der Aluminium-Schmelztemperatur von 660°C erfolgt.

10. Solarzelle, hergestellt nach einem Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche.



Figur 1



Figur 2