

(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  
02. November 2017 (02.11.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2017/186488 A1**

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/058746

(22) Internationales Anmeldedatum:  
12. April 2017 (12.04.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2016 107 802.6  
27. April 2016 (27.04.2016) DE

(71) Anmelder: UNIVERSITAET STUTTGART [DE/DE];  
Keplerstr. 7, 70174 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: DAHLINGER, Morris; Arndtstr. 29, 70197  
Stuttgart (DE). CARSTENS, Kai; Urbanstr. 98, 70190

Stuttgart (DE). WERNER, Juergen H.; Paulusstr. 46A,  
70197 Stuttgart (DE). KOEHLER, Juergen; Fruehlings-  
weg 7/1, 71332 Waiblingen (DE). EISELE, Sebastian;  
Lombacher Str. 67, 72293 Glatten (DE). ROEDER, Tobi-  
as; Agricolastr. 34, 80686 Muenchen (DE). HOFFMANN,  
Erik; Vogelsangstr. 16b, 70176 Stuttgart (DE).

(74) Anwalt: WITTE, WELLER & PARTNER PATENT-  
ANWÄLTE MBB; Zusammenschluss EPA NR. 314, Post-  
fach 10 54 62, 70047 Stuttgart (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, DJ, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP,  
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,  
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING REAR SURFACE CONTACT SOLAR CELLS FROM CRYSTALLINE SILICON

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG RUECKSEITENKONTAKTIERTER SOLARZELLEN AUS  
KRISTALLINEM SILIZIUM

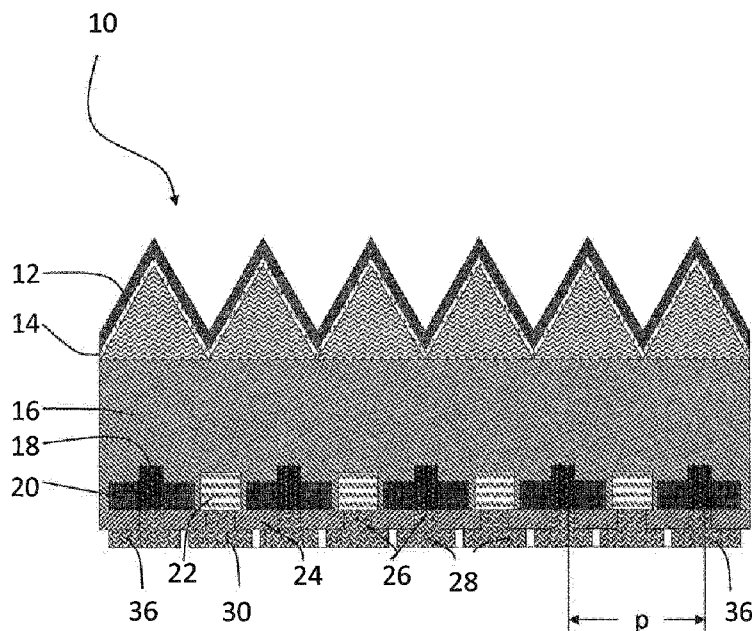


Fig. 1

(57) Abstract: A rear contact solar cell (10) comprises a wafer (16) with an antireflection coating (12) on the front face, an emitter (20) and a back surface field (32) on the rear face, and contacts (28), created by laser ablation, on the rear face, the maximum pitch being 800 micrometers. The invention further relates to a method for producing a solar cell of said type.

(57) Zusammenfassung: Eine rückseitenkontaktierte Solarzelle (10) weist einem Wafer (16) mit einer Anti-Reflexionsschicht (12) auf der Vorderseite auf, mit einem Emitter (20) und einem Back Surface Field (32) auf der Rückseite, und mit durch Laserablation hergestellten Kontakten (28) auf der Rückseite, wobei der Pitch höchstens 800 Mikrometer beträgt. Ferner wird ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Solarzelle (10) angegeben (Fig. 1).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/186488 A1



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, ST, 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, 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)

Verfahren zur Herstellung rückseitenkontaktierter Solarzellen aus kristallinem Silizium

- [0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung rückseitenkontaktierter Solarzellen aus kristallinem Silizium.
- [0002]** Bekannte Fertigungsverfahren verwenden Ofendiffusion zur Erzeugung von n-Typ-dotierten und p-Typ-dotierten Bereichen und zur Kontaktierung aufgedampfter Metalle. Für die bei rückseitenkontaktierten Solarzellen notwendige strukturierte Herstellung der dotierten Bereiche als auch für die Metallisierung sind Maskierschritte notwendig. Da der Silizium-Wafer im Diffusionsofen überall dieselbe Temperatur besitzt, findet die Diffusion gleichmäßig auf der gesamten Oberfläche statt. Eine Erzeugung unterschiedlich dotierter Streifen- oder Punktstrukturen der n- und p-Typ Bereiche auf der Rückseite der Solarzelle erfordert deshalb für jede der Diffusionen entweder eine Maskierung, welche ein Eindiffundieren der Dotier-Atome lokal verhindert, oder aber einen lokalen Ätzschritt nach der Diffusion, um den nicht zu diffundierenden Bereich zu entfernen. In beiden Fällen ist sowohl die Aufbringung einer diffusionshemmenden Maskierungsschicht oder einer

ätzresistenten Schutzschicht als auch deren hochauflösende Strukturierung erforderlich. Da sowohl eine Bor-Diffusion als auch eine Phosphor-Diffusion lokal erfolgen muss, sind diese Schritte vor der Durchführung der Ofendiffusion notwendig und müssen zusätzlich mit hoher Präzision aufeinander ausgerichtet werden. Auch eine Öffnung einer Rückseitenpassivierungsschicht zur Kontaktierung der Solarzelle erfordert eine hohe Präzision, so dass ein Lithographieschritt erforderlich ist. Weiterhin erfordert die Aufbringung der Metallkontakte zusätzlich mindestens einen Lithographieschritt. Sofern zwei unterschiedliche Metalle verwendet werden, sind zwei Lithographieschritte notwendig.

- [0003]** Aus den oben dargestellten Gründen ist die Herstellung rückseitenkontaktierter Solarzellen mittels Maskierungstechnik über Lithographie nicht wirtschaftlich.
- [0004]** Gemäß der WO 2007/081510 A2 wird eine rückseitenkontaktierte Solarzelle aus kristallinem Silizium hergestellt, indem Precursor-Schichten zur nachfolgenden Ofendiffusion lokal mittels Siebdrucken oder Tintenstrahldrucken aufgedruckt werden.
- [0005]** Eine derartige Herstellung führt zu ungenauer Abstimmung der dotierten Bereiche und somit zu einem nicht optimalen Wirkungsgrad.
- [0006]** Aus der DE 10 2004 036 220 A1 ist es grundsätzlich bekannt, mittels Laserdotierung dotierte Bereiche an Festkörpern mit einer hohen Defektfreiheit zu erzeugen. Hierbei wird zunächst ein Medium, welches einen Dotierstoff enthält, in Kontakt mit einer Oberfläche des Festkörpers gebracht. Anschließend wird durch Bestrahlung mit Laserimpulsen ein Bereich des Festkörpers unterhalb der mit dem Medium kontaktierten Oberfläche kurzzeitig aufgeschmolzen, so dass der Dotierstoff in den aufgeschmolzenen Bereich eindiffundiert und während des Abkühlens der aufgeschmolzene Bereich defektfrei rekristallisiert.
- [0007]** Grundsätzlich lassen sich mit einem derartigen Verfahren Maskierungsschritte und Lithographieschritte zum Dotieren durch Ofendiffusion vermeiden. Es verbleibt das Problem einer einfachen und kostengünstigen Kontaktierung an der Rückseite der Solarzelle.

- [0008]** Aus der WO 2015/071217 A1 ist es bekannt, zur Herstellung der dotierten Bereiche ein Laser-Dotierverfahren zu verwenden. Mittels Laserablation werden Kontaktflächen an der Rückseite der Solarzelle freigelegt, die anschließend mittels Siebdruck kontaktiert werden (vgl. hierzu auch M. Dahlinger, et al., „Laser-Doped Back-Contact Solar Cells“, IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 5, No. 3, Mai 2015, S. 812-818, sowie M. Dahlinger, et al., „Laser Doped Screen-printed Back Contact Solar Cells Exceeding 21% Efficiency“, Energy Procedia, Vol. 55, September 2014, S. 410 – 415).
- [0009]** Beim Siebdruck handelt es sich zwar um ein kostengünstiges und gut erprobtes Verfahren, allerdings lässt sich mittels Siebdruck keine hohe Präzision erzielen, wodurch der Wirkungsgrad begrenzt ist. Ferner ist die Rekombination von Ladungsträgern bei Siebdruck höher als etwa an etwa mittels PVD (physikalische Gasphasenabscheidung) abgeschiedenen Kontakten.
- [0010]** Aus der WO 2006/042698 A1 ist es bekannt, zur Kontaktierung bei einer rückseitenkontaktierten Solarzelle zunächst eine Metallschicht auf der Rückseite zu erzeugen, dann eine Ätzbarriereschicht abzuscheiden, diese dann selektiv mittels eines Lasers zu entfernen und schließlich durch einen Ätzschritt die elektrische Trennung zwischen den verschiedenen Polaritäten zu erreichen.
- [0011]** Grundsätzlich wird allerdings ein weiter erhöhter Wirkungsgrad angestrebt.
- [0012]** Gemäß der WO 2015/047952 A1 wird eine Metallfolie zur Kontaktierung appliziert. Durch einen Laser wird die Folie selektiv verschweißt und zwischen den verschiedenen Polaritäten getrennt.
- [0013]** Ein derartiges Verfahren ist sehr zeit- und kostenintensiv.
- [0014]** Gemäß P. Verlinden et al., „High Efficiency large Area Back Contact Concentrator Solar Cells with a Multilevel Interconnection“, International Journal of Solar Energy, 1988, Vol. 6, S. 347-366 ist es bekannt, bei rückseitenkontaktierten Solarzellen unter Verwendung

eines Anodisierungsverfahrens die Kontaktierung herzustellen. Das Verfahren ist wegen diverser Schritte einschließlich verschiedener Lithographieschritte sehr aufwändig.

- [0015]** Aus der US 2016/0020343 A1 ist es schließlich bekannt, mittels eines Laser-Transferprozesses Dotiermittel oder elektrisch leitfähiges Material zu übertragen, etwa um eine Fingerstruktur zur Kontaktierung zu erzeugen.
- [0016]** Eine Übertragung durch Laser-Transfer ist ein ziemlich aufwändiges Verfahren. Außerdem wird ein weiter erhöhter Wirkungsgrad angestrebt. Ferner ist ein Lasertransfer meistens auf Saatschichten, also dünne Schichten von wenigen 10 Nanometer Dicke begrenzt. Diese reichen als Metallisierung für einen Stromtransport nicht aus und müssen in der Regel nachfolgend verdickt werden, was einen weiteren Verfahrensschritt erfordert.
- [0017]** Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung rückseitenkontaktierter Solarzellen aus kristallinem Silizium zu schaffen, das eine möglichst einfache und kostengünstige Herstellung mit hoher Qualität und möglichst hohem Wirkungsgrad erlaubt.
- [0018]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung rückseitenkontaktierter Solarzellen aus kristallinem mit den folgenden Schritten gelöst:
- (a) Dotieren zur Erzeugung eines n-Typ- oder p-Typ-dotierten Bereiches, vorzugsweise mittels Laserdotierung;
  - (b) Freilegung von Kontaktflächen an der Rückseite der Solarzelle, vorzugsweise mittels Laserablation;
  - (c) Applizieren einer Metallschicht auf eine Rückseite der Solarzelle; und
  - (d) Strukturieren der Metallschicht mittels Laserablation zur Erzeugung von metallischen Kontakten, wobei der Pitch höchstens 800 Mikrometer beträgt.

- [0019]** Die Aufgabe der Erfindung wird auf diese Weise vollkommen gelöst.
- [0020]** Da die Herstellung von Kontakten an der Rückseite der Solarzelle durch einen Laserablationsschritt gemäß (d) erfolgt, ist es auf Grund der hohen Präzision möglich, einen kleinen Pitch zu erhalten, der höchstens 800 Mikrometer beträgt, vorzugsweise höchstens 500 Mikrometer, weiter bevorzugt höchstens 100 Mikrometer, besonders bevorzugt höchstens 60 Mikrometer beträgt. Es kann sich beispielsweise um einen Pitch von etwa 50 Mikrometer handeln.
- [0021]** Es wurde erfindungsgemäß erkannt, dass der Wirkungsgrad ansteigt, je kleiner der Pitch ist.
- [0022]** Um einen möglichst geringen Pitch zu erlauben, sollten auch die übrigen Schritte bei der Solarzellenherstellung, wie etwa die Herstellung der dotierten Bereiche und die Freilegung von Kontaktflächen, möglichst unter Vermeidung von Lithographie- und Maskierungsschritten und unter Vermeidung von Drucktechniken erfolgen, um insgesamt eine möglichst hohe Präzision zu gewährleisten. Bevorzugt wird hierzu jeweils die Lasertechnik eingesetzt.
- [0023]** In Abhängigkeit von der Präzision bei der Justierung des verwendeten Lasers ist der Pitch nach unten begrenzt. Eine Untergrenze stellt ein Pitch von etwa 5 Mikrometer dar.
- [0024]** Es versteht sich, dass der Begriff „Solarzelle“ in seinem weitesten Sinne zu verstehen ist. Darunter fallen auch Sonderformen, wie etwa Photozellen.
- [0025]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird nach dem Schritt (c) zunächst eine ätzresistente Schicht appliziert, die im Schritt (d) selektiv abgetragen wird, und wobei durch einen nachfolgenden Ätzschritt die voneinander elektrisch getrennten, metallischen Kontakte erzeugt werden.

- [0026]** Auf diese Weise werden Kurzschlüsse zwischen benachbarten Kontakten sicher vermieden, ohne dass die Gefahr einer Beschädigung durch eine zu hohe Eindringtiefe des Lasers bei der Ablation besteht.
- [0027]** In einer alternativen Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird im Schritt (c) eine Aluminiumschicht appliziert, dann eine gegen eine Eloxierung resistente Schicht appliziert, die im nachfolgenden Schritt (d) mittels Laser selektiv ablatiert wird und anschließend in den ablatierten Bereichen vollständig anodisiert wird.
- [0028]** Auf diese Weise wird anstatt einer vollständigen Entfernung des zwischen benachbarten Polaritäten bestehenden Aluminiums eine vollständige Umwandlung in Aluminiumoxid erreicht, was gleichfalls Kurzschlüsse sicher ausschließt.
- [0029]** Ein gewisser Vorteil ergibt sich durch die verbleibende ebene Oberfläche.
- [0030]** In zusätzlicher Weiterbildung der Erfindung werden die metallischen Kontakte durch Busbars verschaltet werden, die aus Streifen aus Metallfolie bestehen, die unter Zwischenlage mindestens einer dielektrischen Schicht mittels Laserschweißen durch die dielektrische Schicht hindurch kontaktiert werden.
- [0031]** Gemäß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung werden Streifen aus eloxierter Aluminiumfolie zur Erzeugung der Busbars verwendet. Der Laserschweißprozess erfolgt durch die isolierende Schicht hindurch zu je einer Polarität.
- [0032]** Es kann natürlich auch eine andere dielektrische Schicht bzw. ein Schichtstapel auf den Folienstreifen oder auf der Rückseite des Wafers zur Isolierung verwendet werden.
- [0033]** Zur Erzeugung eines p-Typ-Emitters und/oder zur Erzeugung eines n-Typ-Back Surface Fields (BSF) auf der Rückseite der Solarzelle wird vorzugsweise ein Laserdotierschritt verwendet.



- [0034]** Hierzu wird vorzugsweise zunächst eine Precursor-Schicht, die einen Dotierstoff, insbesondere Bor, Aluminium oder Gallium enthält, auf der Rückseite der Solarzelle abgeschieden und ein p-Typ-Emitter durch lokale Bestrahlung mittels eines gepulsten Lasers erzeugt.
- [0035]** Alternativ kann der p-Typ-Emitter lokal durch Ionen-Implantation mit einem Dotierstoff, insbesondere Bor, Aluminium oder Gallium, erzeugt werden.
- [0036]** Auch auf diese Weise lässt sich der Emitter ohne Maskierungs- oder Lithographieschritte mit hoher Präzision erzeugen.
- [0037]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird bei der Emitter-Dotierung mittels Laserbestrahlung durch Strahlformung oder durch Einsatz eines weiteren unabhängig fokussierten Laserstrahls lokal unter den Emitter-Kontaktflächen eine höhere Dotierung erzeugt. Bei der Strahlformung ist entscheidend, dass die Pulsenergiedichte im Gebiet der Kontakte lokal erhöht ist, um dort eine höhere Dotierung zu erhalten. Eine entsprechende Strahlformung kann z. B. mit Hilfe eines diffraktiven optischen Elements erfolgen.
- [0038]** Auf diese Weise wird eine besonders verlustarme Kontaktierung in einfacher Weise ermöglicht.
- [0039]** Zur Laserdotierung wird vorzugsweise ein gepulster Laser verwendet, vorzugsweise mit einer Pulsdauer von 30 Nanosekunden bis 500 Nanosekunden, weiter vorzugsweise mit einer Wellenlänge von 500 bis 600 Nanometer, weiter vorzugsweise mit einer Puls wiederholrate von 1 kHz bis 2 MHz, weiter vorzugsweise mit einer Pulsenergiedichte von 1 J/cm<sup>2</sup> bis 5 J/cm<sup>2</sup>.
- [0040]** Durch die Verwendung eines derartigen Lasers ergibt sich eine optimale Abstimmung auf die Dotieraufgabe. Die Siliziumoberfläche und die Precursor-Schicht können auf diese Weise lokal so weit erhitzt werden, dass der Dotiervorgang lokal bis zur gewünschten Tiefe in kürzester Zeit durchgeführt werden kann, wobei gleichzeitig eine Überdotierung vermieden werden kann. Durch eine lokale Variation der Pulsenergiedichte kann die

Dotierung sowohl in den Kontaktgebieten, als auch in den nicht kontaktierten Gebieten des Emitters gleichzeitig optimal angepasst werden.

- [0041]** Vorzugsweise wird der Laserstrahl mittels einer Optik auf einen rechteckigen Bereich  $X \bullet Y$  abgebildet, und Laser und Substrat werden inkremental relativ zueinander um eine Schrittlänge  $L$  bewegt, um vorbestimmte Flächen zu dotieren.
- [0042]** Auf diese Weise kann eine präzise Dotierung in rechteckförmigen oder linienförmigen Bereichen erzeugt werden.
- [0043]** Hierbei beträgt die Breite  $X$  vorzugsweise 0,02 bis 2 Millimeter, während die Länge  $Y$  vorzugsweise zwischen 5 Mikrometer und 500 Mikrometer liegt.
- [0044]** Vorzugsweise beträgt die Schrittlänge  $L$ , um die das Substrat und der Laser inkremental zueinander bewegt werden, zwischen  $0,1 \bullet Y$  und  $Y$ . Durch wiederholtes Bestrahlen und Verschieben des Silizium-Wafers oder durch Verschieben des auf die Oberfläche abgebildeten Laserstrahls in  $Y$ -Richtung um die Schrittlänge  $L$  wird die gesamte gewünschte Fläche eines Streifens oder Punktes dotiert.
- [0045]** In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung wird zur Erzeugung eines n-Typ Back Surface Fields (BSF) auf der Rückseite der Solarzelle zunächst eine Phosphor-Silikatglasschicht (PSG) als Precursor auf dem Substrat abgeschieden, die anschließend mittels eines Lasers zur Erzeugung einer n-Typ-Dotierung bestrahlt wird. Die Abscheidung der PSG Schicht erfolgt gleichzeitig mit einer Vorderseitendotierung (Front Surface Field, FSF) des Wafers in einem Hochtemperatur-Diffusionsofen. Die Erzeugung eines FSF ermöglicht eine verbesserte Passivierung der Solarzellen-Vorderseite.
- [0046]** Vorzugsweise wird die Phosphor-Silikatglasschicht nach der Laserdotierung durch Ätzen entfernt und anschließend die phosphordotierte Schicht zumindest auf der Rückseite des Substrates teilweise zurückgeätzt.

- [0047]** Das Zurückätzen erfolgt, abhängig von der Tiefe und Phosphorkonzentration auf beiden Seiten des Silizium-Wafers oder nur auf der Rückseite. Ziel des Rückätzschrittes ist es, den in den Bor-Emitter-Bereichen vorhandenen Phosphor zu reduzieren. Die Phosphor-Oberflächenkonzentration im Emitter-Bereich kann durch den Rückätzschritt so eingestellt werden, dass diese nach einer nachfolgenden thermischen Oxidation mindestens fünffach kleiner ist als die Bor-Oberflächenkonzentration.
- [0048]** Eine Reduktion der Phosphorkonzentration auf der Vorderseite ist erforderlich, falls diese zu hoch phosphordotiert ist. Angestrebt ist hierbei eine Phosphor-Oberflächenkonzentration von etwa  $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  nach einem nachfolgenden thermischen Oxidationsschritt für eine optimale Vorderseitenpassivierung durch das so erzeugte FSF. Zusätzlich wird durch die Rückätzung eine chemische Reinigung des Silizium-Wafers erreicht.
- [0049]** Nach der Laserdotierung der BSF-Schicht oder nach dem teilweisen Rückätzschritt wird eine thermische Oxidation im Bereich von 700 °C bis 1100 °C, vorzugsweise 800 °C bis 1050 °C, durchgeführt.
- [0050]** Bei diesem sog. Drive-in-Schritt wächst Siliziumdioxid als Oberflächenpassivierung auf. Ferner diffundieren aufgrund der hohen Temperaturen die Dotier-Atome weiter in den Silizium-Wafer hinein. Dadurch sinkt die Oberflächenkonzentration der Dotierung sowohl im Solarzellenemitter als auch im BSF und FSF .
- [0051]** In weiter bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung wird auf der Vorderseite eine Anti-Reflexionsschicht abgeschieden, vorzugsweise eine Siliziumnitridschicht mittels PECVD abgeschieden.
- [0052]** Auf der Rückseite der Solarzelle wird vorzugsweise eine Stapelschicht aus siliziumarmem und siliziumreichem Siliziumoxid oder Siliziumnitrid vorzugsweise mittels PECVD abgeschieden.

- [0053]** Die siliziumarme Schicht hat hierbei vorzugsweise einen niedrigen Brechungsindex ( $n < 1,7$ ) und eine Dicke zwischen 70 Nanometer und 300 Nanometer, während die nachfolgende siliziumreiche Schicht vorzugsweise eine Schicht mit hohem Brechungsindex ( $n > 2,7$ ) und einer Dicke zwischen 10 Nanometer und 100 Nanometer ist. Beide Schichten können nacheinander im selben Prozessschritt in derselben Anlage abgeschieden werden. Sie erhöhen u. a. das "Light-Trapping" und passivieren die Rückseite. Ferner dient die hochbrechende Schicht als Ablations-Maskierschritt in den nachfolgenden Prozessschritten.
- [0054]** Nach dem Auftragen der Stapelschicht wird vorzugsweise mittels eines UV-Lasers eine Ablation zur Freilegung der zu kontaktierenden Bereiche durchgeführt, wobei vorzugsweise nur die zuletzt abgeschiedene siliziumreiche Schicht in den zu kontaktierenden Bereichen ablatiert wird, da nur diese die UV-Strahlung absorbiert. Die siliziumarme Schicht ist für die UV-Strahlung transparent und kann deshalb von dieser nicht absorbiert werden, wodurch ihre Ablation verhindert wird.
- [0055]** Die verbleibende Schicht bis zur Siliziumgrenzfläche kann dann für eine nachfolgende Kontaktierung weggeätzt werden.
- [0056]** Auf diese Weise erfolgt eine lokale Öffnung der Kontaktflächen ohne eine Laserschädigung an der Silizium-Oberfläche.
- [0057]** Auf der Vorderseite der Solarzelle wird vorzugsweise vor der Dotierung des Emitters eine Vorderseitentextur erzeugt. Dies kann durch nasschemisches Polieren und Texturätzen des Substrates an der Vorderseite erfolgen.
- [0058]** Das nasschemische Polieren kann hierbei als erster Schritt, ggf. auch einseitig, durchgeführt werden, woran sich ein einseitiges nasschemisches Texturätzen anschließt. Die Reihenfolge kann auch vertauscht werden, indem zunächst mit einer nasschemischen Texturätzung zur Erzeugung der Vorderseitentextur der Solarzelle begonnen wird, gefolgt von einer nasschemischen einseitigen Politur der Rückseite der Solarzelle und dem Abscheiden einer Bor-haltigen Precursor-Schicht auf der Rückseite der Solarzelle.

- [0059]** Eine rückseitenkontaktierte Solarzelle aus kristallinem Silizium, die nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren hergestellt ist, weist einen Wafer mit einer Anti-Reflexions-schicht auf der Vorderseite, mit einem Emitter und einem Basisbereich (Back Surface Field) auf der Rückseite, sowie durch Laserablation hergestellte Kontakte auf der Rückseite, wobei der Pitch höchstens 800 Mikrometer beträgt. Vorzugsweise ist der Pitch deutlich geringer, etwa im Bereich von 100 Mikrometer oder geringer, wie z.B. etwa 50 Mikrometer.
- [0060]** Hierdurch ergibt sich ein hoher Wirkungsgrad. Außerdem wird die Abhängigkeit vom BSF-Anteil  $f_{BSF}$  reduziert.
- [0061]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.
- [0062]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:
- Fig. 1            einen vereinfachten Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Solarzelle;
- Fig. 2            eine schematische Darstellung der Aufsicht einer Einheitszelle der Rückseite der Solarzelle gemäß Fig. 1;
- Fig. 3a-f        den Wirkungsgrad einer Solarzelle in Abhängigkeit vom BSF-Anteil  $f_{BSF}$  und vom Pitch  $p$  der Solarzelle für verschiedene Waferqualitäten und
- Fig. 4            eine schematische Darstellung der Verbindung von Kontakten mittels Folienstreifen über Schweißpunkte.

- [0063]** In Fig. 1 ist der Querschnitt einer erfindungsgemäßen Solarzelle schematisch dargestellt und insgesamt mit der Ziffer 10 bezeichnet.
- [0064]** Die Solarzelle 10 weist einen n-Typ-Silizium-Wafer 16 auf. An der Vorderseite ist dieser mit einer Passivier- und Anti-Reflexionsschicht 12 auf einer pyramidenartigen Textur versehen. Darunter befindet sich eine Vorderseiten-Phosphordiffusionsschicht, das Front Surface Field (FSF) 14.
- [0065]** An der Rückseite weist die Solarzelle 10 laserdotierte Bor-Emitterbereiche 20 auf, an denen jeweils selektiv stärker dotierte Emitter 18 ausgebildet sind, auf denen Kontakte 28 aufgebracht sind.
- [0066]** Auf der Rückseite der Solarzelle 10 befinden sich ferner mittels Phosphor laserdotierte Basisbereiche 22. Die Rückseite ist durch eine Passivierungsschicht 24 gegenüber den Kontakten 28 isoliert, durch die die Kontaktierung zu den selektiv dotierten Emittern 18 und den hochdotierten Basisbereichen 22 hergestellt ist.
- [0067]** Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Aufsicht einer Einheitszelle der Rückseite der Solarzelle 10 gemäß Fig. 1. An der Ober- und Unterseite der Zeichnung wird die Einheitszelle gespiegelt fortgesetzt. Dabei ist links und rechts der Solarzellenrand. 30 zeigt den Basiskontaktbereich. 22 bezeichnet den Basisbereich, der durch die BSF-Dotierung (Back Surface Field) entstanden ist. 34 bezeichnet die Dotierung für die Stromsammelschiene (Bus Bar). 20 bezeichnet die Emitter-Dotierung. 18 bezeichnet den selektiv höher dotierten Emitter. 36 bezeichnet schließlich den Emitter-Kontaktbereich.
- [0068]** Der sog. „Pitch“ bezeichnet den Abstand zwischen zwei benachbarten Emittern 18 (der Pitch ist also gewissermaßen die „Periode“ der Solarzelle). In Fig. 1 ist der Pitch mit p bezeichnet.
- [0069]** Fig. 3a-f zeigen die Abhängigkeit des relativen Wirkungsgrades einer Solarzelle in Abhängigkeit vom Pitch p und vom BSF-Anteil  $f_{BSF}$  (Flächenanteil des ohmschen Kontaktes (Basisbereich 22, BSF-Dotierung) zur Gesamtfläche (Basisbereich 22 plus Emitter

18)), und zwar für verschiedene Wafer. Dabei bedeutet  $\rho$  den spezifischen Widerstand des Wafers und  $\tau$  die Volumenlebensdauer der Minoritätsladungsträger.

- [0070]** Es zeigt sich, dass unabhängig vom spezifischen Widerstand des Wafers und von der Volumenlebensdauer der relative Wirkungsgrad  $\eta$  umso größer ist, je kleiner der Pitch  $p$  ist. Außerdem wird die Abhängigkeit vom BSF-Anteil  $f_{BSF}$  umso geringer, je kleiner der Pitch  $p$  ist. Die bei größerem Pitch  $p$  ausgeprägten Maxima in Abhängigkeit vom BSF-Anteil  $f_{BSF}$  werden mit kleinerem Pitch  $p$  geglättet. Bei einem Pitch  $p$  von 50 Mikrometer besteht praktisch keine Abhängigkeit mehr vom BSF-Anteil  $f_{BSF}$ .
- [0071]** Diese Abhängigkeit vom Pitch  $p$  wird erfindungsgemäß ausgenutzt, um einen möglichst großen Wirkungsgrad zu erzielen.
- [0072]** Mit Hilfe der Lasertechnik gelingt es erfindungsgemäß, eine Solarzelle 10 mit einem Pitch  $< 800$  Mikrometer, vorzugsweise  $< 100$  Mikrometer, weiter bevorzugt  $< 60$  Mikrometer, auf technisch relativ einfache Weise herzustellen. In der Regel ist der Pitch größer als 5 Mikrometer.
- [0073]** Die Herstellung einer derartigen Solarzelle 10 wird nachfolgend im Detail beschrieben.
- [0074]** Das erfindungsgemäße Verfahren kommt vollständig ohne Maskierschritte aus. Stattdessen werden Laserdotierschritte und ein Laserablationsschritt zur Öffnung der Rückseiten-Passivierungsschicht verwendet. Die Laserdotierung zur Erzeugung des Emitters kann optional auch durch einen lokalen Ionen-Implantationsschritt ersetzt werden. Ein weiterer Laserablationsschritt wird zur bei der Herstellung der Kontakte 28 für Emitter 18 und Basisbereiche 22 verwendet.
- [0075]** Zur Herstellung der Solarzelle 10 wird ein bereits grunddotierter n-Typ-Silizium-Wafer verwendet.
- [0076]** Auf der Vorderseite der Solarzelle 10 erfolgt zunächst eine nasschemische alkalische Texturierung zur Erzeugung einer pyramidenartig texturierten Oberfläche. Anschließend

wird die Rückseite der Solarzelle 10 nasschemisch einseitig poliert (alkalisch oder sauer). Daran schließt sich die Abscheidung einer bor-, aluminium- oder galliumhaltigen Precursor-Schicht auf der Rückseite der Solarzelle 10 an. Die Reihenfolge dieser Schritte kann auch vertauscht werden: Es kann zunächst eine nasschemische Politur (ggf. auch einseitig) erfolgen, gefolgt von einer einseitigen nasschemischen Texturierung auf der Vorderseite der Solarzelle 10.

- [0077]** Die Precursor-Schicht auf der Rückseite der Solarzelle 10 kann z.B. mit Hilfe einer Sputteranlage, oder einer plasmachemischen Abscheideanlage z.B. APCVD, oder mit Hilfe eines Spin-Coating Verfahrens oder einer Sprühbeschichtungsanlage appliziert werden.
- [0078]** Anschließend wird ein p-Typ-Emitter auf der Rückseite der Solarzelle 10 mit Hilfe eines Laser-Dotierprozesses erzeugt. Hierbei schmilzt ein Laserpuls die Oberfläche des Silizium-Wafers auf. Aufgrund der hohen Diffusionskonstanten in flüssigem Silizium diffundieren die in der Precursor-Schicht vorhandenen Dotier-Atome während der Flüssigphase innerhalb von ca. 100 Nanosekunden bis zu einer Tiefe von ca. 1000 Nanometer in die Oberfläche des Silizium-Wafers und bilden so den p-Typ-Emitter.
- [0079]** Hierbei wird der Laserstrahl mit Hilfe einer Optik so auf die Silizium-Oberfläche abgebildet, dass ein einzelner Laserpuls einen scharf begrenzten rechteckigen Bereich mit einer Fläche der Größe  $X \cdot Y$  aufschmilzt. Vorzugsweise ist  $0,02 \text{ Millimeter} < X < 2 \text{ Millimeter}$  und  $5 \text{ Mikrometer} < Y < 500 \text{ Mikrometer}$ . Hierbei definiert die Größe  $X$  die Breite der Emitter-Streifen oder –Punkte. Durch wiederholtes Bestrahlen und Verschieben des Silizium-Wafers oder durch Verschieben des auf die Oberfläche abgebildeten Laserstrahls in  $Y$ -Richtung um die Schrittlänge  $L$  wird die gesamte Fläche eines Emitter-Streifens oder –Punktes dotiert. Vorzugsweise ist hierbei  $0,1 \cdot Y < L < Y$ .
- [0080]** Zusätzlich wird bei der Emitter-Dotierung eine lokal erhöhte Bor-Dotierung unterhalb des Emitter-Bus-Bar-Bereiches erzeugt. Dies erfolgt entweder durch Strahlformung bei der Laserbestrahlung oder durch Verwendung eines weiteren, unabhängig fokussierten Laserstrahls. Bei der Strahlformung ist entscheidend, dass die Pulsenergiedichte im



Gebiet der Kontakte lokal erhöht ist, um dort eine höhere Dotierung zu erhalten. Eine entsprechende Strahlformung kann z. B. mit Hilfe eines diffraktiven optischen Elements erfolgen.

- [0081]** Durch die lokal erhöhte Bor-Dotierung unterhalb des Emitter-Bus-Bar-Bereiches (auch selektiver Emitter genannt) wird ein verringerter Gesamtserienwiderstand und damit ein besserer Füllfaktor der Solarzelle erzielt. Durch die lokal erhöhte Bor-Dotierung unterhalb des Emitter-Kontaktes wird ferner die Rekombination von Ladungsträgern an der Metall-Halbleitergrenzfläche vermindert. Dadurch erhöht sich die Leerlaufspannung und somit der Wirkungsgrad der Solarzelle 10. Ferner wird der Kontaktwiderstand reduziert, wodurch der Gesamtserienwiderstand sinkt und der Füllfaktor steigt.
- [0082]** Beide lokale Dotierungen lassen sich ohne zusätzlichen Prozessschritt während des Emitter-Laserdotierens erzeugen. Durch eine Variation der Laserpulsenergiedichte werden das Dotierprofil und damit der Schichtwiderstand eingestellt.
- [0083]** Nach der Laser-Dotierung des Emitters 18 wird die verbliebene Precursor-Schicht nasschemisch entfernt. Die dazu verwendete chemische Lösung hängt von der verwendeten Precursor-Schicht ab.
- [0084]** Anschließend wird der Silizium-Wafer 16 durch eine Salzsäure-Wasserstoffperoxid-Lösung und danach in einem Flusssäurebad gereinigt.
- [0085]** Alternativ zur oben beschriebenen Laserdotierung unter Verwendung einer zuvor abgeschriebenen Precursor-Schicht kann der mit Bor dotierte Emitter 18 der Solarzelle 10 auch mit Hilfe eines lokalen Ionen-Implantationsschrittes erzeugt werden. Eine defektfreie Rekristallisation des durch die Ionen-Implantation amorphisierten Siliziums sowie die Aktivierung der Dotier-Atome wird durch die noch später beschriebene thermische Oxidation erreicht, die sich auch im Falle eines Laserdotierungsschrittes anschließt.

- [0086]** Auf der Rückseite des Silizium-Wafers wird ferner ein sog. Back Surface Field (BSF) in Form eines hochdotierten n-Typ-Bereiches durch Laserdotierung unter Verwendung einer phosphorreichen Precursor-Schicht erzeugt.
- [0087]** Hierzu wird zunächst in einem Standard-Röhrenhochtemperaturofen eine phosphorreiche Phosphor-Silikatglasschicht sowohl auf der Vorderseite als auch auf der Rückseite des Silizium-Wafers abgeschieden. Hierbei dienen  $\text{POCl}_3$  und  $\text{O}_2$  als Prozessgase. Die Abscheidung erfolgt bei Temperaturen zwischen 700 °C und 850 °C. Dabei diffundiert ferner ein Teil des Phosphors wenige zig Nanometer bis 500 Nanometer in den Silizium-Wafer ein. Die Diffusion wird hierbei so optimiert, dass eine möglichst in die Tiefe flache und geringe Dotierung stattfindet, aber dennoch ein phosphorreiches Phosphorsilikatglas entsteht, bzw. eine phosphorreiche Grenzfläche vorliegt.
- [0088]** Die phosphorreiche Grenzfläche bzw. die Phosphor-Silikatglasschicht dient als Dotierquelle für einen nachfolgenden Laserdotierungsprozess.
- [0089]** Wie zuvor bei der Emitter-Dotierung beschrieben, schmilzt ein Laserimpuls hierbei die Oberfläche des Silizium-Wafers auf. Aufgrund der hohen Diffusionskonstante im flüssigen Silizium diffundieren die in der Phosphor-Silikatglasschicht vorhandenen Phosphor-Atome während der Flüssigphase innerhalb von ca. 100 Nanosekunden bis zu einer Tiefe von ca. 1000 Nanometer in die Oberfläche des Silizium-Wafers und bilden den BSF-Bereich 32, einen hochdotierten n-Typ-Bereich. Wie zuvor beschrieben, wird hierbei der Laserstrahl mit Hilfe einer Optik so auf die Silizium-Oberfläche abgebildet, dass ein einzelner Laserpuls einen scharf begrenzten rechteckigen Bereich mit einer Fläche der Größe  $X \cdot Y$  aufschmilzt. Wiederum wird hierbei durch eine Relativbewegung zwischen Silizium-Wafer und Laserstrahl in Y-Richtung um die Schrittlänge L nach und nach die gesamte Fläche eines BSF-Streifens oder -Punktes dotiert. Im Übrigen werden hierbei die gleichen geometrischen Verhältnisse verwendet wie oben bereits im Zusammenhang mit der Emitter-Dotierung beschrieben.
- [0090]** Die Phosphorsilikatglasschicht wird nach der lokalen BSF-Laserdotierung mittels Flusssäurelösung (1 % bis 50 %) entfernt.

- [0091]** Anschließend wird die phosphordotierte Schicht zumindest auf der Rückseite des Substrates teilweise zurückgeätzt. Hierzu wird eine nasschemische Lösung aus Flusssäure, Salpetersäure, Essigsäure und deionisiertem Wasser verwendet, um etwa 10 Nanometer bis 300 Nanometer der phosphordotierten Schicht in der Tiefe zurückzuätzen. Dieser Ätzschritt erfolgt abhängig von der Tiefe und Phosphorkonzentration auf beiden Seiten des Silizium-Wafers oder nur auf der Rückseite. Ziel des Rückätzschrittes ist es, den in den Bor-Emitter-Bereichen vorhandenen Phosphor zu reduzieren.
- [0092]** Die Phosphor-Oberflächenkonzentration im Emitter-Bereich sollte nach der thermischen Oxidation, die nachfolgend beschrieben wird, mindestens fünffach kleiner sein als die Bor-Oberflächenkonzentration. Die Reduktion der Phosphorkonzentration auf der Vorderseite ist erforderlich, falls diese zu hoch phosphordotiert ist. Ziel ist es hierbei, eine Phosphor-Oberflächenkonzentration von  $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  bis  $1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  nach der folgenden Hochtemperaturoxidation zu erhalten. Zusätzlich dient der Rückätzschritt der chemischen Reinigung des Silizium-Wafers.
- [0093]** Anschließend wird zunächst eine nasschemische Reinigung durch eine Salzsäure-Wasserstoffperoxid-Lösung mit einem anschließenden Flusssäurebad durchgeführt.
- [0094]** Daran schließt sich eine thermische Oxidation als sog. Drive-in-Schritt an. Hierbei wächst eine Siliziumdioxid-Schicht als Oberflächenpassivierung auf. Alternativ kann auch eine Siliziumnitrid-Schicht, eine Siliziumoxinitrid-Schicht oder ein Siliziumkarbid-Schichtstapel verwendet werden. Beim Drive-in diffundieren aufgrund der hohen Temperaturen (etwa 800 °C bis 1050 °C) die Dotier-Atome weiter in den Silizium-Wafer hinein. Dadurch sinkt die Oberflächenkonzentration der Dotierung sowohl im Back Surface Field (BSF) (Basisbereich) und Front Surface Field (FSF), als auch im Emitter. Das entstehende Siliziumdioxid wächst bis zu einer Schichtdicke von 5 Nanometer bis 105 Nanometer auf, wobei in Kombination mit einer weiteren Anti-Reflexionsbeschichtung Schichtdicken im Bereich von 5 Nanometer bis 20 Nanometer angestrebt werden.
- [0095]** Um die effektive Reflexion der Solarstrahlung an der Oberfläche der Solarzelle 10 zu reduzieren, wird eine Siliziumnitridschicht auf der Vorderseite der Solarzelle 10 mittels

plasmaunterstützter Gasphasenabscheidung (PECVD) abgeschieden. Der Brechungsindex sollte hierbei zwischen 1,9 und 2,3 liegen.

- [0096]** Auf der Rückseite der Solarzelle 10 wird vollflächig eine 1 bis 50 µm dicke Schicht aus Aluminium z.B. durch Verdampfen oder Kathodenzerstäubung aufgebracht. Diese Schicht dient zur späteren Erzeugung der Kontakte 28 auf den Basisbereichen 22 und den Emittern 18.
- [0097]** Auf die Aluminiumschicht wird eine metallische, halbleitende oder dielektrische Deckschicht durch etwa durch Verdampfen, APCVD, PECVD, CVD oder Kathodenzerstäuben aufgebracht. Diese Schicht soll ätzresistent oder nur geringfügig ätzbar sein gegenüber einem nachfolgend verwendeten Ätzmittel (etwa Phosphorsäure, Salzsäure, Natriumhydroxid oder Kaliumhydroxid). Sie kann z.B. aus Nickel, Zink, aus amorphem Silizium bzw. SiO<sub>x</sub>, aus Siliziumnitrid oder Siliziumkarbid bestehen.
- [0098]** Nunmehr erfolgt eine lokale Laserablation der auf die Aluminiumschicht aufgetragenen Deckschicht.
- [0099]** In einem nachfolgenden Ätzschritt wird mittels eines Ätzmittels (etwa Phosphorsäure, Salzsäure, Natriumhydroxid oder Kaliumhydroxid) das Aluminium in den mittels Laser freigelegten Bereichen entfernt, so dass sich voneinander isolierte Kontakte 28 auf den Basisbereichen 22 und den Emittern 18 ergeben.
- [00100]** Anstatt eine Isolation zwischen den alternierenden Kontaktbereichen durch Abtragung mittels Ätzen zu erzeugen, kann gemäß einer Verfahrensvariante eine Isolierung durch selektives Eloxieren einer Aluminiumschicht erzeugt werden.
- [00101]** Hierzu wird nach der Applizierung der Aluminiumschicht eine gegen eine Eloxierung resistente Schicht beispielsweise SiO<sub>x</sub>, SiN<sub>x</sub>, SiC<sub>x</sub>, Si, Ni, Cu, aufgetragen. Diese wird in einem nachfolgenden Schritt mittels Laserablation selektiv abgetragen. Anschließend werden die ablatierten Bereiche in einem Eloxierbad (beispielsweise H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oder Oxalsäu-

re) vollständig eloxiert (in Fig. 1 wären bei dieser Variante die zwischen benachbarten Kontakten 28 bestehenden Schlitzte vollständig mit Aluminiumoxid aufgefüllt).

**[00102]** In jedem Falle wird durch die Verwendung der Lasertechnik ein sehr kleiner Pitch  $p$  ermöglicht, der in der Größenordnung von  $100\text{ }\mu\text{m}$  oder sogar im Bereich von etwa  $50\text{ }\mu\text{m}$  liegen kann. Wie aus den Fig. 3a-f ersichtlich, wird hierdurch der Wirkungsgrad  $\eta$  deutlich verbessert.

**[00103]** Bei den zuvor beschriebenen Laser-Dotierprozessen wird ein gepulstes Lasersystem verwendet (vgl. WO 2015/071217 A1 und DE 10 2004 036 220 A1, die hier vollständig durch Bezugnahme eingeschlossen werden). Für die Erzeugung eines optimierten Tiefenprofils der Dotierstoffe sind folgende Laserparameter bevorzugt:

- Pulsdauer zwischen 30 Nanosekunden und 500 Nanosekunden,
- Wellenlänge zwischen 500 Nanometer und 600 Nanometer,
- Pulswiederholrate zwischen 1 kHz und 2 MHz,
- Pulsenergiedichte zwischen  $1\text{ J/cm}^2$  und  $5\text{ J/cm}^2$ .

**[00104]** Optional werden die Busbars (Kontaktbahnen) 34 für die weitere Zellverschaltung durch Laserschweißen beider Kontaktpolaritäten (Emitter und Basis) mit Folienstreifen aus einer Metallfolie erzeugt. Die Folienstreifen können die jeweils andere Polarität überlappen. Eine dielektrische Schicht bzw. ein Schichtstapel isoliert die Folienstreifen von der komplementären Polarität.

**[00105]** Im einfachsten Fall werden Streifen aus Aluminiumfolie verwendet, die auf der den Kontakten 28 zugewandten Seite mit einer isolierenden Eloxierschicht versehen ist. Der Laserschweißprozess erfolgt durch die isolierende Schicht hindurch zu je einer Polarität.

- [00106]** Es kann natürlich auch eine andere dielektrische Schicht bzw. ein Schichtstapel auf den Folienstreifen oder auf der Rückseite des Wafers zur Isolierung verwendet werden.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Herstellung rückseitenkontaktierter Solarzellen aus kristallinem Silizium, mit den folgenden Schritten:
  - (a) Dotieren zur Erzeugung eines n-Typ- oder p-Typ-dotierten Bereiches (20, 22), vorzugsweise mittels Laserdotierung;
  - (b) Freilegung von Kontaktflächen (26) an der Rückseite der Solarzelle (10), vorzugsweise mittels Laserablation;
  - (c) Applizieren einer Metallschicht auf eine Rückseite der Solarzelle; und
  - (d) Strukturieren der Metallschicht mittels Laserablation zur Erzeugung von metallischen Kontakten (28), wobei der Pitch höchstens 800 Mikrometer beträgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der dotierte Bereich (20, 22) durch Laserdotieren erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Pitch (p) höchstens 500 Mikrometer, weiter bevorzugt höchstens 100 Mikrometer, besonders bevorzugt höchstens 60 Mikrometer beträgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Pitch (p) mindestens 5 Mikrometer beträgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem nach dem Schritt (c) zunächst eine ätzresistente Schicht appliziert wird, die im Schritt (d) selektiv abgetragen wird, und wobei durch einen nachfolgenden Ätzschritt die voneinander elektrisch getrennten, metallischen Kontakte erzeugt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem im Schritt (c) eine Aluminiumschicht appliziert wird, dann eine gegen eine Eloxierung resistente Schicht appliziert wird, die im nachfolgenden Schritt (d) mittels Laser selektiv ablatiert wird und anschließend in den ablatierten Bereichen vollständig eloxiert wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die metallischen Kontakte (28) durch Busbars (34) verschaltet werden, die aus Streifen aus Metallfolie bestehen, die unter Zwischenlage mindestens einer dielektrischen Schicht mittels Laserschweißen durch die dielektrische Schicht hindurch kontaktiert werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem Streifen aus eloxierter Aluminiumfolie zur Erzeugung der Busbars (34) verwendet werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Erzeugung eines p-Typ-Emitters (20) und/oder zur Erzeugung eines n-Typ Back Surface Fields (BSF) (22) auf der Rückseite der Solarzelle (10) ein Laserdotierschritt verwendet wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Precursor-Schicht, die einen Dotierstoff, insbesondere Bor, Aluminium oder Gallium enthält, auf der Rückseite der Solarzelle (10) abgeschieden wird und ein p-Typ-Emitter (20) durch lokale Bestrahlung mittels eines gepulsten Lasers erzeugt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem ein p-Typ-Emitter (20) lokal durch Ionenimplantation mit einem Dotierstoff, insbesondere Bor, Aluminium oder Gallium, erzeugt wird.
12. Rückseitenkontaktierte Solarzelle, vorzugsweise hergestellt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem Wafer (16) mit einer Anti-Reflexionsschicht (12) auf der Vorderseite, mit einem Emitterbereich (20) und einem Basisbereich (Back Surface Field) (22) auf der Rückseite, und mit durch Laserablation herge-



stellten Kontakten (28) auf der Rückseite, wobei der Pitch (p) höchstens 800 Mikrometer beträgt.

13. Solarzelle nach Anspruch 12, bei welcher der Pitch (p) höchstens 500 Mikrometer, weiter bevorzugt höchstens 100 Mikrometer, besonders bevorzugt höchstens 60 Mikrometer beträgt, wobei vorzugsweise der Pitch (p) höchstens 5 Mikrometer beträgt.
14. Solarzelle nach Anspruch 12 oder 13, bei welcher die Kontakte (28) von Basisbereichen (22) und Emitterbereichen (18) durch Busbars (34) aus Metallfolienstreifen verschaltet sind, die durch Laserschweißpunkte (38) durch eine dielektrische Schicht hindurch elektrisch verbunden sind.
15. Solarzelle nach Anspruch 14, bei welcher die Metallfolienstreifen (34) aus eloxierter Aluminiumfolie bestehen.

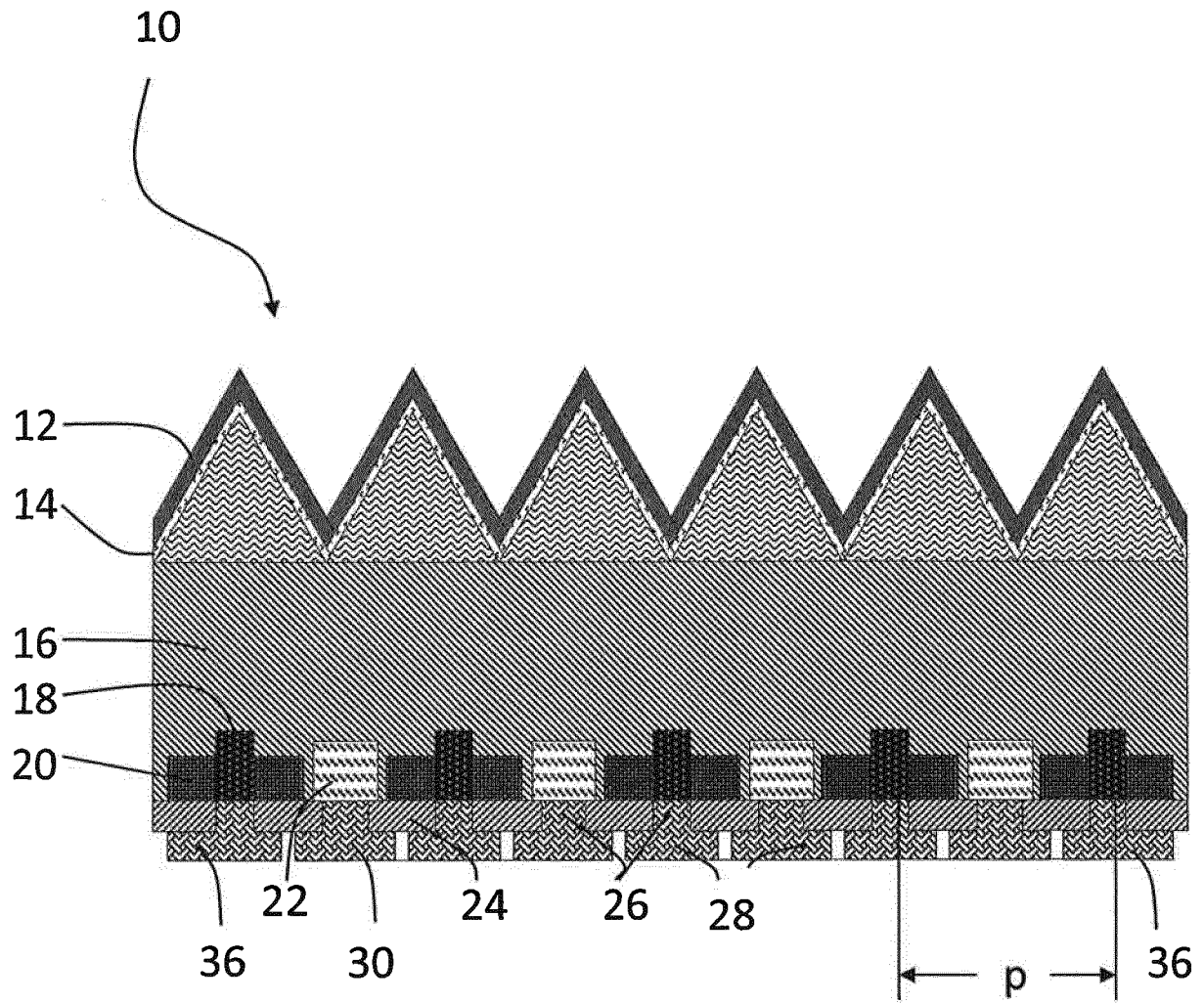


Fig. 1

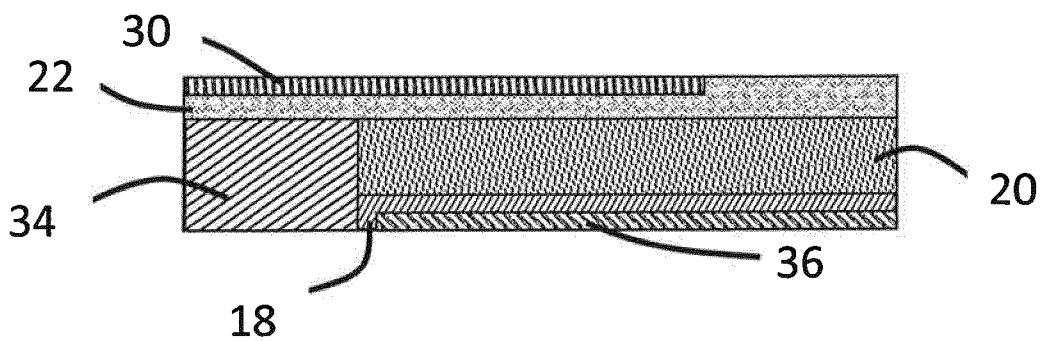


Fig. 2

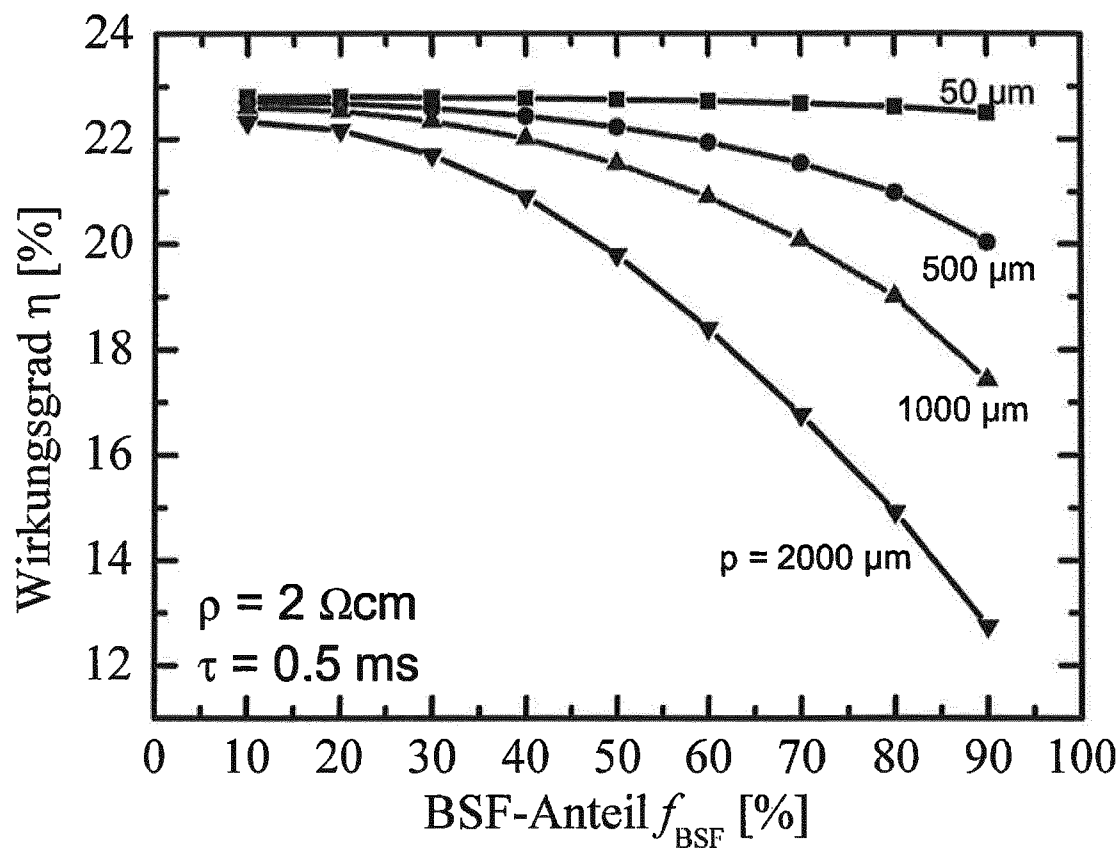


Fig. 3a

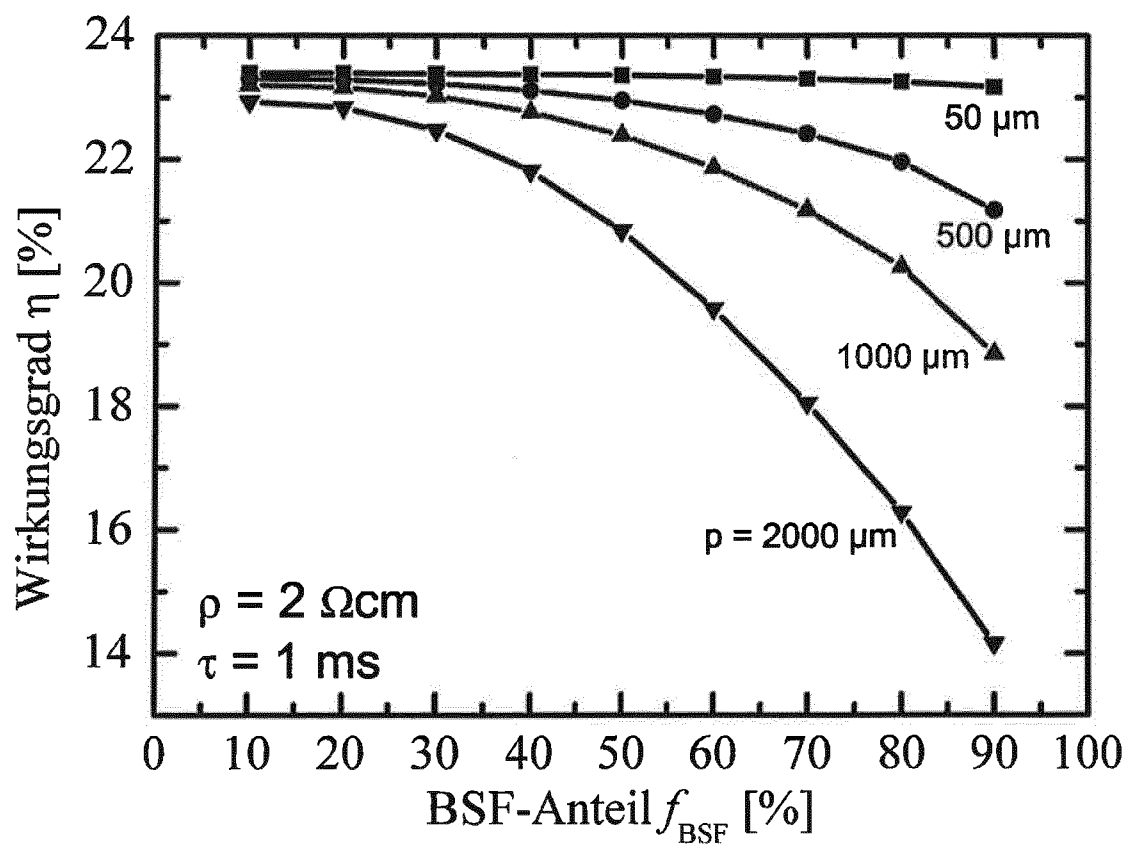


Fig. 3b

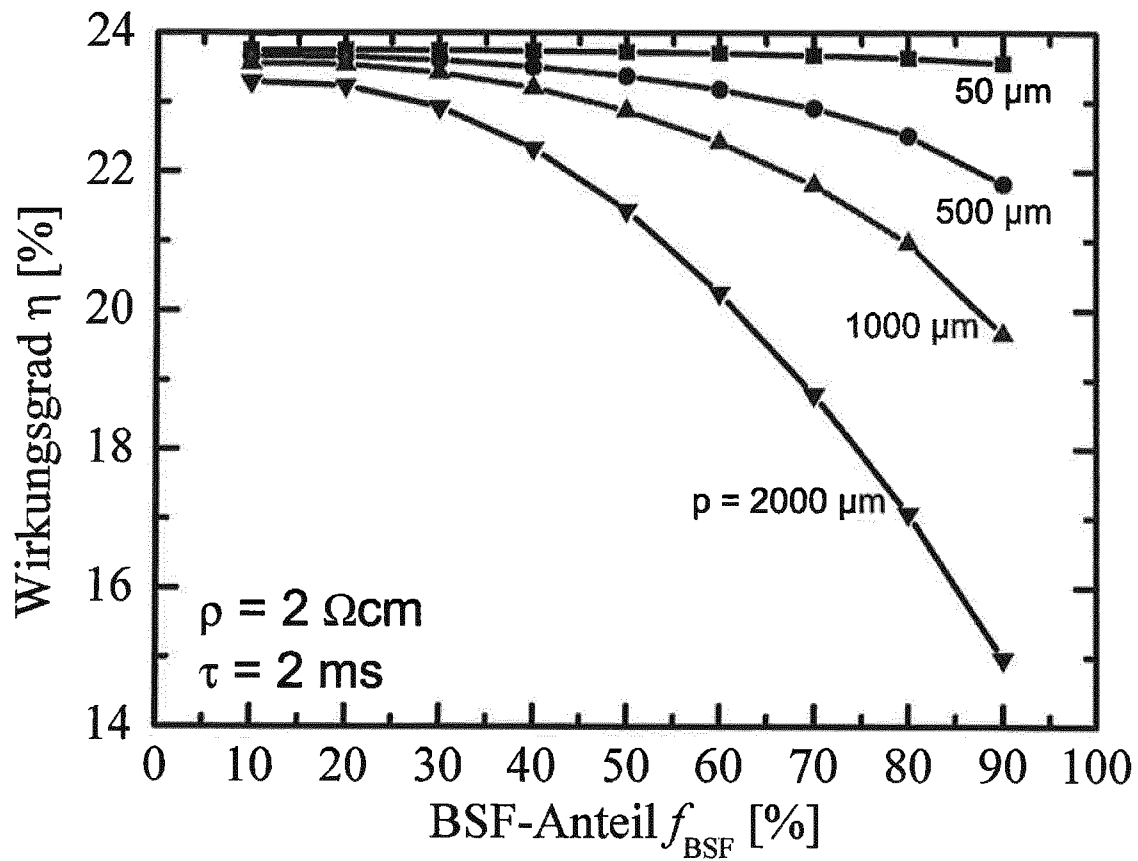


Fig. 3c

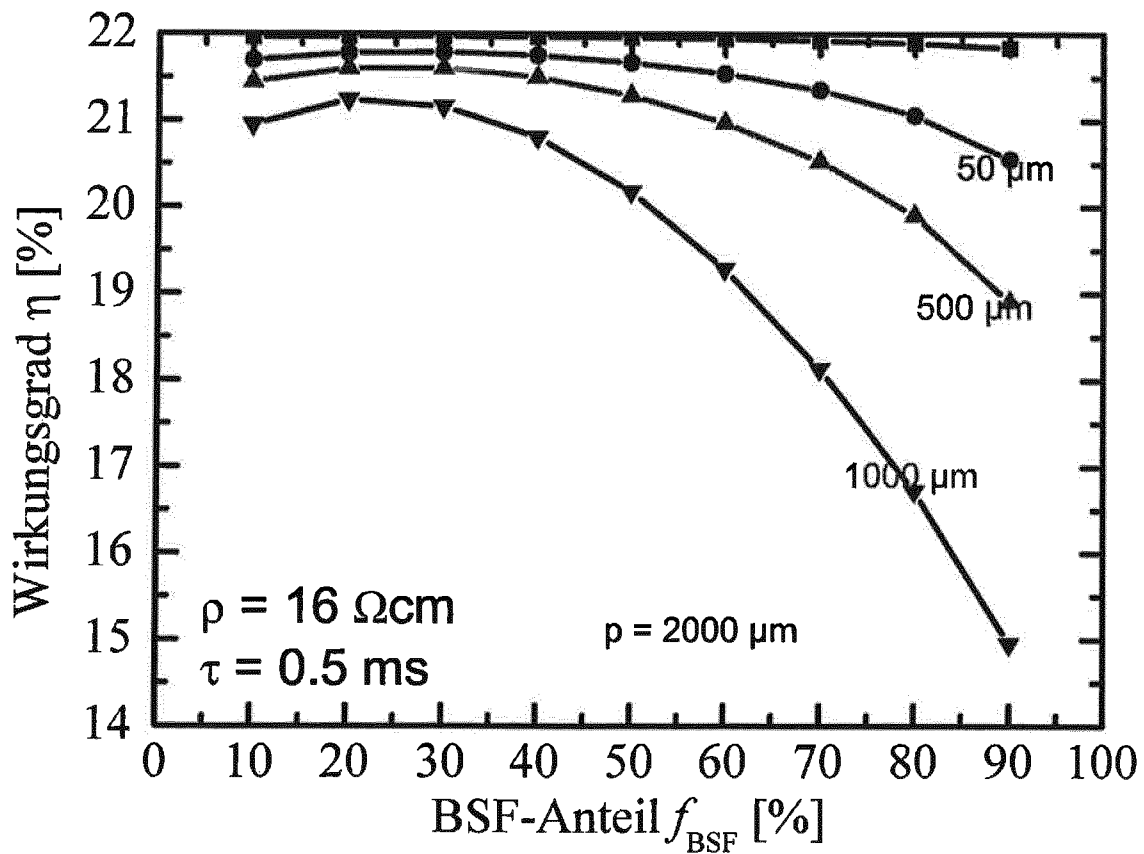


Fig. 3d

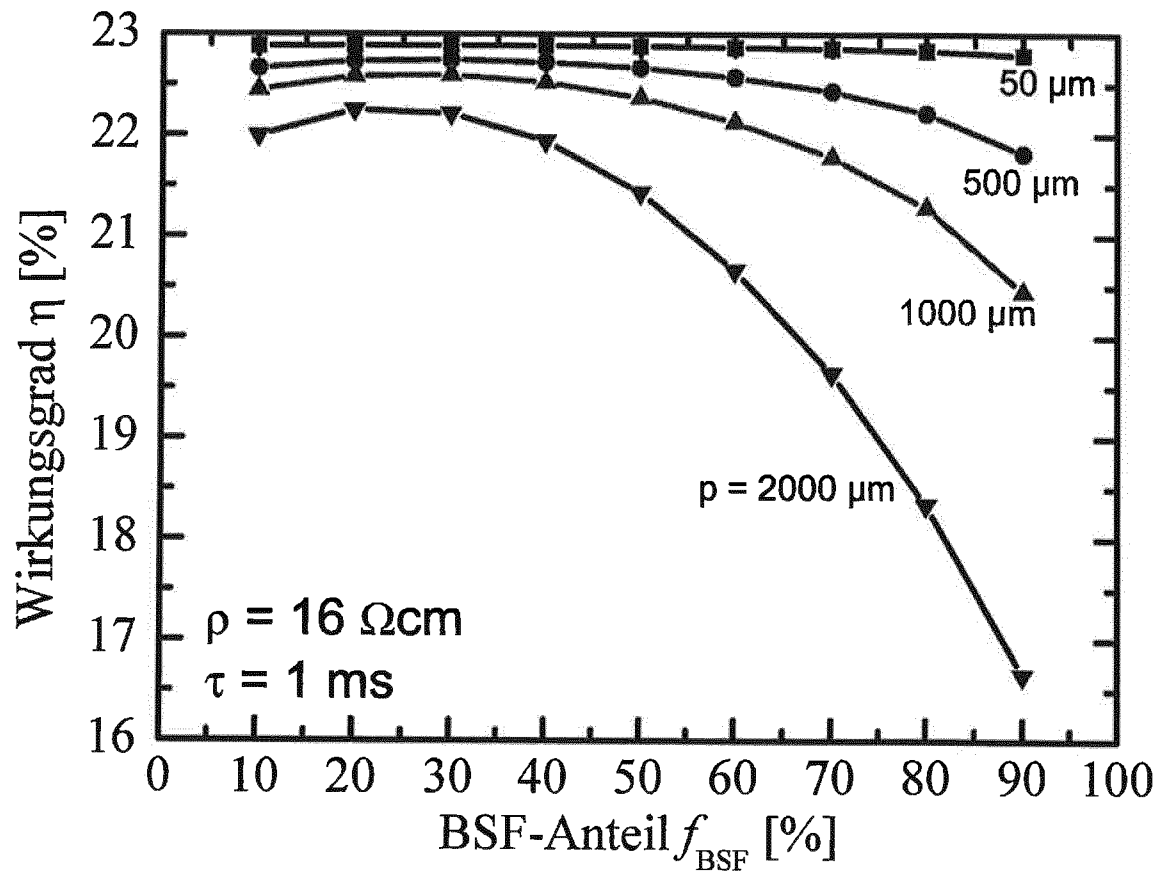


Fig. 3e

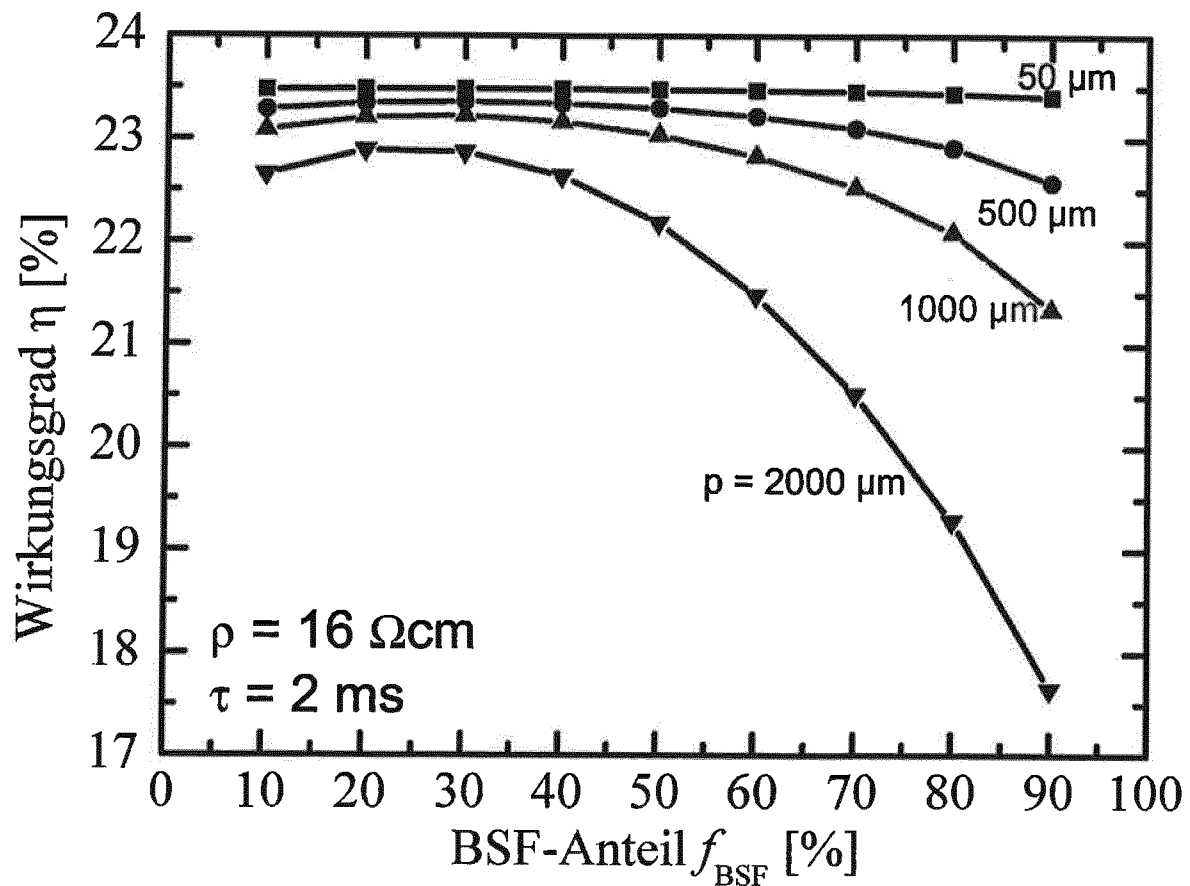
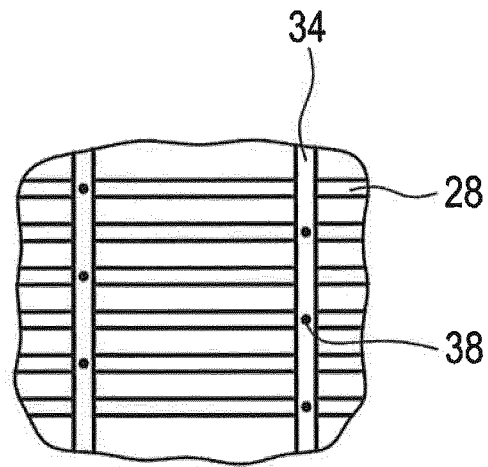


Fig. 3f



**Fig. 4**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/058746

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 INV. H01L31/068  
 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	US 2010/294349 A1 (SRINIVASAN UMA [US] ET AL) 25 November 2010 (2010-11-25) abstract; figures 1,2 paragraph [0057] - paragraph [0059] paragraph [0061] - paragraph [0063] paragraph [0069] - paragraph [0070] paragraph [0086] paragraph [0100] paragraph [0118] - paragraph [0122] paragraph [0140]	1-15
X	DE 10 2013 112638 A1 (UNIVERSITÄT STUTTGART [DE]) 21 May 2015 (2015-05-21) abstract; figures 1,2 paragraph [0047] - paragraph [0048] paragraph [0057]	12-15
A		7,8
	----- -/-	



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

13 June 2017

Date of mailing of the international search report

22/06/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Favre, Pierre

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/058746

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DAHLINGER MORRIS ET AL: "Laser-Doped Back-Contact Solar Cells", IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, I E E E, US, vol. 5, no. 3, 1 May 2015 (2015-05-01), pages 812-818, XP011578924, ISSN: 2156-3381, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2015.2411058 [retrieved on 2015-04-17]	12-15
A	the whole document -----	7,8



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/058746

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010294349 A1	25-11-2010	CN 102428573 A	25-04-2012
		CN 106128943 A	16-11-2016
		JP 5749712 B2	15-07-2015
		JP 2012527772 A	08-11-2012
		JP 2015144291 A	06-08-2015
		KR 20120031004 A	29-03-2012
		TW 201108430 A	01-03-2011
		TW 201642484 A	01-12-2016
		US 2010294349 A1	25-11-2010
		US 2014106551 A1	17-04-2014
		WO 2010135153 A2	25-11-2010
-----			
DE 102013112638 A1	21-05-2015	DE 102013112638 A1	21-05-2015
		WO 2015071217 A1	21-05-2015
-----			

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H01L31/068

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	US 2010/294349 A1 (SRINIVASAN UMA [US] ET AL) 25. November 2010 (2010-11-25) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Absatz [0057] - Absatz [0059] Absatz [0061] - Absatz [0063] Absatz [0069] - Absatz [0070] Absatz [0086] Absatz [0100] Absatz [0118] - Absatz [0122] Absatz [0140]	1-15
X	DE 10 2013 112638 A1 (UNIVERSITÄT STUTTGART [DE]) 21. Mai 2015 (2015-05-21) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2	12-15
A	Absatz [0047] - Absatz [0048] Absatz [0057]	7,8
	----- -/-	



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

"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Juni 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/06/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Favre, Pierre

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DAHLINGER MORRIS ET AL: "Laser-Doped Back-Contact Solar Cells", IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, I E E E, US, Bd. 5, Nr. 3, 1. Mai 2015 (2015-05-01), Seiten 812-818, XP011578924, ISSN: 2156-3381, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2015.2411058 [gefunden am 2015-04-17]	12-15
A	das ganze Dokument -----	7,8

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/058746

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2010294349 A1	25-11-2010	CN 102428573 A	25-04-2012
		CN 106128943 A	16-11-2016
		JP 5749712 B2	15-07-2015
		JP 2012527772 A	08-11-2012
		JP 2015144291 A	06-08-2015
		KR 20120031004 A	29-03-2012
		TW 201108430 A	01-03-2011
		TW 201642484 A	01-12-2016
		US 2010294349 A1	25-11-2010
		US 2014106551 A1	17-04-2014
		WO 2010135153 A2	25-11-2010
-----			
DE 102013112638 A1	21-05-2015	DE 102013112638 A1	21-05-2015
		WO 2015071217 A1	21-05-2015
-----			