

(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
10. September 2010 (10.09.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/099863 A2

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/000921

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Februar 2010 (15.02.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 011 306.1 2. März 2009 (02.03.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GRANEK, Filip** [DE/DE]; Schlippehof 3, 79110 Freiburg (DE). **KRAY, Daniel** [DE/DE]; Windhäuslegasse 25, 79112 Freiburg (DE). **MAYER, Kuno** [DE/DE]; Angelus-Silesius-Str. 18, 79114 Freiburg (DE). **ALEMAN, Monica** [DE/DE]; Gresserstr. 8, 79102 Freiburg (DE). **HOPMANN, Sybille** [DE/DE]; Brunnenstrasse 20, 77972 Mahlberg (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER**; Theresienhöhe 13, 80339 München (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, 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, SM, 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: FRONT-AND-BACK CONTACT SOLAR CELLS, AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung : BEIDSEITIG KONTAKTIERTE SOLARZELLEN SOWIE VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing front-and-back contact solar cells. Said method is based on microstructuring a wafer that has a dielectric layer, and doping the microstructured areas. A metal-containing seed layer is then deposited, and the contacts are galvanically reinforced. The invention also relates to solar cells that can be produced using said method.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von beidseitig kontaktierten Solarzellen, das auf einer Mikrostrukturierung eines mit einer dielektrischen Schicht versehenen Wafers und einer Dotierung der mikrostrukturierten Bereiche basiert. Im Anschluss erfolgt die Abscheidung einer metallhaltigen Keimschicht sowie eine galvanische Verstärkung der Kontaktierungen. Ebenso betrifft die Erfindung derart herstellbare Solarzellen.



WO 2010/099863 A2

Beidseitig kontaktierte Solarzellen sowie Verfahren
zu deren Herstellung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung
von beidseitig kontaktierten Solarzellen, das auf
einer Mikrostrukturierung eines mit einer dielektri-
schen Schicht versehenen Wafers und einer Dotierung
der mikrostrukturierten Bereiche basiert. Im An-
schluss erfolgt die Abscheidung einer metallhaltigen
10 Keimschicht sowie eine galvanische Verstärkung der
Kontaktierungen. Ebenso betrifft die Erfindung derart
herstellbare Solarzellen.

15 Die Herstellung von Solarzellen ist mit einer Viel-
zahl von Prozessschritten zur Präzisionsbearbeitung
von Wafern verbunden. Hierzu zählen u.a. die Emitter-
diffusion, die Aufbringung einer dielektrischen
Schicht sowie deren Mikrostrukturierung, die Dotie-
rung des Wafers, die Kontaktierung, die Aufbringung
20 einer Keimschicht sowie deren Verdickung.

Hinsichtlich der Mikrostrukturierung für die Vorderseitenkontaktierung ist die Mikrostrukturierung von dünnen Siliciumnitrid-Schichten (SiN_x) die derzeit gängige Anwendung. Solche Schichten bilden gegenwärtig die Standard-Antireflexbeschichtung bei kommerziellen Solarzellen. Da diese Antireflexbeschichtung, die auch teilweise als Vorderseitenpassivierung der Solarzelle dient, vor der Vorderseitenmetallisierung aufgebracht wird, muss diese nicht leitende Schicht durch entsprechende Mikrostrukturierung lokal zum Auftragen der Metallkontakte direkt am Silicium-Substrat geöffnet werden.

Stand der Technik ist hierbei das Bedrucken von SiN_x -Schichten mit einer Glasfritte-haltigen Metallpaste. Diese wird zunächst getrocknet, wobei das organische Lösemittel ausgetrieben und dann bei hohen Temperaturen (etwa 900 °C) gefeuert wird. Dabei greift die Glasfritte die SiN_x -Schicht an, löst sie lokal auf und ermöglicht dadurch die Ausbildung eines Silizium-Metall-Kontaktes. Nachteilig an diesem Verfahren sind der hohe Kontaktwiderstand, der durch die Glasfritte verursacht wird ($> 10^{-3} \Omega\text{cm}^2$) und die erforderlichen hohen Prozesstemperaturen, welche sowohl die Qualität der Passivierungsschichten, als auch die des Siliziumsubstrats reduzieren können.

Eine vorbekannte schonende Möglichkeit, die SiN_x -Schicht lokal zu öffnen, besteht in der Anwendung der Photolithographie kombiniert mit nasschemischen Ätzverfahren. Dabei wird zunächst eine Photolackschicht auf den Wafer aufgebracht und diese über UV-Belichtung und Entwickeln strukturiert. Es folgt ein nasschemischer Ätzschritt in einem flusssäurehaltigen oder phosphorsäurehaltigen Chemikaliensystem, der das

SiN_x an den Stellen entfernt, an denen der Photolack geöffnet wurde. Ein großer Nachteil dieses Verfahrens sind der enorme Aufwand und die damit verbundenen Kosten. Zudem kann mit diesem Verfahren kein für die Solarzellenproduktion ausreichender Durchsatz erreicht werden. Bei einigen Nitriden kann zudem das hier beschriebene Verfahren nicht angewandt werden, da die Ätzzraten zu gering sind.

10 Aus dem Stand der Technik ist es überdies bekannt, eine Passivierungsschicht aus SiN_x mit Hilfe eines Laserstrahls durch rein thermische Ablation abzutragen (trockene Laserablation).

15 Hinsichtlich der Dotierung der Wafer ist in der Mikroelektronik eine lokale Dotierung durch photolithografisches Strukturieren einer aufgewachsenen SiO₂-Maske mit nachfolgender ganzflächiger Diffusion in einem Diffusionsofen Stand der Technik. Die Metallisierung wird durch Aufdampfen auf eine photolithografisch definierte Lackmaske mit nachfolgender Lösung des Lacks in organischen Lösemitteln erreicht. Dieses Verfahren hat den Nachteil eines sehr großen Aufwandes, des hohen Zeit- und Kostenbedarfs sowie der ganzflächigen Erhitzung des Bauteils, die eventuell weitere vorhandene Diffusionsschichten verändern sowie die elektronische Qualität des Substrats verschlechtern kann.

30 Eine lokale Dotierung kann auch über Siebdruck einer selbstdotierenden (z.B. aluminiumhaltigen) Metallpaste mit nachfolgendem Trocknen und Feuern bei Temperaturen um 900°C erfolgen. Der Nachteil dieses Verfahrens ist die hohe mechanische Belastung des Bauteils, die teuren Verbrauchsmaterialien sowie die hohen Temperaturen, denen das gesamte Bauteil ausgesetzt wird.

Weiterhin sind hiermit nur Strukturbreiten $> 100 \mu\text{m}$ möglich.

5 Ein weiteres Verfahren („vergrabene Basiskontakte“) nutzt eine ganzflächige SiN_x -Schicht, öffnet diese lokal mittels Laserstrahlung und diffundiert dann die Dotierschicht im Diffusionsofen. Durch die SiN_x -Maskierung bildet sich nur in den lasergeöffneten Bereichen eine hoch dotierte Zone. Die Metallisierung wird
10 nach dem Rückätzen des entstehenden Phosphorsilikatglases (PSG) durch stromlose Abscheidung in einer metallhaltigen Flüssigkeit gebildet. Nachteil dieses Verfahrens ist die durch den Laser eingebrachte Schädigung sowie der notwendige Ätzschritt, um das PSG zu
15 entfernen. Zudem besteht das Verfahren aus einigen Einzelschritten, die viele Handling-Schritte erforderlich machen.

20 Ausgehend hiervon war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein effizienteres Verfahren zur Herstellung von Solarzellen bereitzustellen, bei dem die Zahl der Prozessschritte reduziert werden kann und auf kostspielige Lithographieschritte im Wesentlichen verzichtet werden kann. Ebenso sollte eine Reduzierung
25 der eingesetzten Mengen an Metall für die Kontaktierung angestrebt werden.

30 Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und die hiernach hergestellte Solarzelle mit den Merkmalen des Anspruchs 18 gelöst. Die weiteren abhängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen auf.

35 Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Herstellung von beidseitig kontaktierten Solarzellen bereitgestellt, bei dem

- a) ein Wafer auf der Front- und der Rückseite zumindest bereichsweise mit mindestens einer dielektrischen Schicht beschichtet wird,
- 5 b) eine Mikrostrukturierung der mindestens einen dielektrischen Schicht erfolgt,
- c) eine Dotierung der mikrostrukturierten Oberflächenbereiche erfolgt, indem mindestens ein auf die Oberfläche des Festkörpers gerichteter und
10 mindestens einen Dotierstoff enthaltender Flüssigkeitsstrahl über zu dotierende Bereiche der Oberfläche geführt wird, wobei die Oberfläche vorher oder gleichzeitig durch einen Laserstrahl lokal aufgeheizt wird,
- 15 d) eine metallhaltige Keimschicht auf der Rückseite des Wafers zumindest bereichsweise abgeschieden wird und
- e) eine zumindest bereichsweise galvanische Abscheidung einer Metallisierung auf der Front-
20 und der Rückseite des Wafers zu dessen beidseitiger Kontaktierung erfolgt.

Es ist bevorzugt, dass die Mikrostrukturierung durch
25 Behandlung der Oberfläche mit einem trockenen Laser oder einem wasserstrahlgeführten Laser oder einem ein Ätzmittel enthaltenden flüssigkeitsstrahl-geführten Laser erfolgt. Der Einsatz eines ein Ätzmittel enthaltenden flüssigkeitsstrahl-geführten Lasers erfolgt dabei in der Weise, dass ein auf die Oberfläche des
30 Wafers gerichteter und mindestens ein Ätzmittel für den Wafer enthaltender Flüssigkeitsstrahl über zu strukturierende Bereiche der Oberfläche geführt wird, wobei die Oberfläche vorher oder gleichzeitig durch

einen Laserstrahl lokal aufgeheizt wird.

Als Ätzmittel wird dabei ein Mittel vorzugsweise ausgewählt, das auf die mindestens eine dielektrische Schicht eine stärker ätzende Wirkung als auf das Substrat besitzt. Die Ätzmittel sind besonders bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus H_3PO_4 , H_3PO_3 , PCl_3 , PCl_5 , $POCl_3$, KOH , HF/HNO_3 , HCl , Chlorverbindungen, Schwefelsäure und Mischungen hiervon.

Der Flüssigkeitsstrahl kann besonders bevorzugt aus reiner oder hoch konzentrierter Phosphorsäure oder auch verdünnter Phosphorsäure gebildet werden. Die Phosphorsäure kann z.B. in Wasser oder einem anderen geeigneten Lösungsmittel verdünnt und in unterschiedlicher Konzentration verwendet werden. Auch können Zusätze zur Veränderung von pH-Wert (Säuren oder Laugen), Benetzungsverhalten (z.B. Tenside) oder Viskosität (z.B. Alkohole) zugesetzt werden. Besonders gute Ergebnisse werden bei Verwendung einer Flüssigkeit erzielt, die Phosphorsäure mit einem Anteil von 50 bis 85 Gew.-% enthält. Damit lässt sich insbesondere eine zügige Bearbeitung der Oberflächenschicht ohne Beschädigung des Substrats und umliegender Bereiche realisieren.

Durch die erfindungsgemäße Mikrostrukturierung wird mit sehr geringem Aufwand zweierlei erreicht.

Einerseits kann die Oberflächenschicht in den genannten Bereichen vollständig abgetragen werden, ohne dass das Substrat dabei beschädigt wird, weil die Flüssigkeit auf letzteres eine weniger (vorzugsweise gar keine) ätzende Wirkung hat. Zugleich wird durch das lokale Aufheizen der Oberflächenschicht in den abzutragenden Bereichen, wodurch vorzugsweise aus-

schließlich diese Bereiche aufgeheizt werden, ein gut lokalisiertes, auf diese Bereiche beschränktes Abtragen der Oberflächenschicht ermöglicht. Das ergibt sich aus der Tatsache, dass die ätzende Wirkung der Flüssigkeit typischerweise mit zunehmender Temperatur zunimmt, so dass eine Beschädigung der Oberflächenschicht in benachbarten, nicht aufgeheizten Bereichen durch evtl. dorthin gelangende Teile der ätzenden Flüssigkeit weitgehend vermieden wird.

Die dielektrische Schicht, die auf dem Wafer abgeschieden wird, dient der Passivierung und/oder als Antireflexionsschicht. Die dielektrische Schicht ist bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus SiN_x , SiO_2 , SiO_x , MgF_2 , TiO_2 , SiC_x und Al_2O_3 .

Es ist auch möglich, dass mehrere derartige Schichten übereinander abgeschieden werden.

Vorzugsweise wird die Dotierung in Schritt c) mit einem H_3PO_4 , H_3PO_3 und/oder POCl_3 enthaltenden Flüssigkeitsstrahl, in den ein Laserstrahl eingekoppelt ist, durchgeführt.

Der Dotierstoff ist vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Phosphor, Bor, Aluminium, Indium, Gallium und Mischungen hiervon, insbesondere Phosphorsäure, Phosphorige Säure, Lösungen von Phosphaten und Hydrogenphosphaten, Borax, Borsäure, Boraten und Perboraten, Borverbindungen, Galliumverbindungen und deren Mischungen.

Eine weitere bevorzugte Variante sieht vor, dass die Mikrostrukturierung und die Dotierung simultan mit einem flüssigkeitsstrahlgeführten Laser durchgeführt werden.

Eine weitere erfindungsgemäße Variante umfasst, dass bei der Präzisionsbearbeitung im Anschluss an die Mikrostrukturierung eine Dotierung des mikrostrukturierten Silicium-Wafers erfolgt und das Bearbeitungsreagenz einen Dotierstoff enthält.

Dies lässt sich dadurch realisieren, dass anstelle der den mindestens einen Dotierstoff enthaltenden Flüssigkeit eine mindestens eine das Festkörpermateriale ätzende Verbindung enthaltende Flüssigkeit verwendet wird. Diese Variante ist besonders bevorzugt, da in der gleichen Vorrichtung zunächst die Mikrostrukturierung und durch den Austausch der Flüssigkeiten anschließend die Dotierung durchgeführt werden kann. Alternativ kann die Mikrostrukturierung auch mittels eines Aerosol-Strahls durchgeführt werden, wobei bei dieser Variante nicht zwingend Laserstrahlung erforderlich ist, da vergleichbare Ergebnisse dadurch erreicht werden können, dass das Aerosol bzw. dessen Komponenten vorgeheizt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren bedient sich, bevorzugt für Mikrostrukturierung und Dotierung, eines technischen Systems, bei dem ein Flüssigkeitsstrahl, der mit verschiedenen Chemikaliensystemen bestückt sein kann, als flüssiger Lichtleiter für einen Laserstrahl dient. Der Laserstrahl wird über eine spezielle Einkopplungsvorrichtung in den Flüssigkeitsstrahl eingekoppelt und durch interne Totalreflexion geführt. Auf diese Weise wird eine zeit- und ortgleiche Zufuhr von Chemikalien und Laserstrahl zum Prozessherd garantiert. Das Laserlicht nimmt dabei verschiedene Aufgaben wahr: Zum einen ist es in der Lage, an der Auftreffstelle auf der Substratoberfläche diese lokal aufzuheizen, optional dabei zu schmelzen und im

Extremfall zu verdampfen. Durch das zeitgleiche Auftreffen von Chemikalien auf die beheizte Substratoberfläche können chemische Prozesse aktiviert werden, die unter Standardbedingungen nicht ablaufen, weil sie kinetisch gehemmt oder thermodynamisch ungünstig sind. Neben der thermischen Wirkung des Laserlichts ist auch eine photochemische Aktivierung möglich, dahingehend, dass das Laserlicht an der Oberfläche des Substrats beispielsweise Elektronen-Lochpaare generiert, die den Ablauf von Redoxreaktionen in diesem Bereich fördern oder gar erst ermöglichen können.

Der Flüssigkeitsstrahl sorgt neben der Fokussierung des Laserstrahls und der Chemikalienzufuhr auch für eine Kühlung der randständigen Bereiche des Prozessherds und für einen schnellen Abtransport der Reaktionsprodukte. Letztgenannter Aspekt ist eine wichtige Voraussetzung für die Förderung und Beschleunigung schnell ablaufender chemischer (Gleichgewichts-) Prozesse. Die Kühlung der randständigen Bereiche, welche nicht in die Reaktion involviert und vor allem dem Materialabtrag nicht unterworfen sind, können durch den Kühleffekt des Strahls vor thermischen Spannungen und daraus resultierenden kristallinen Schädigungen geschützt werden, was ein schadigungsarmes oder schadigungsfreies Strukturieren der Solarzellen ermöglicht. Darüber hinaus verleiht der Flüssigkeitsstrahl den zugeführten Stoffen durch seine hohe Fließgeschwindigkeit einen erheblichen mechanischen Impuls, der besonders dann wirksam wird, wenn der Strahl auf eine geschmolzene Substratoberfläche trifft.

Laserstrahl und Flüssigkeitsstrahl bilden zusammen ein neues Prozesswerkzeug, das in seiner Kombination prinzipiell den Einzelsystemen, aus denen es besteht,

überlegen ist.

Die metallhaltige Keimschicht wird vorzugsweise durch Aufdampfen, Sputtern oder durch Reduktion aus wässriger Lösung abgeschieden. Dies erfolgt vorzugsweise
5 simultan auf der Front- und der Rückseite des Wafers. Die metallhaltige Keimschicht enthält dabei vorzugsweise ein Metall aus der Gruppe Aluminium, Nickel, Titan, Chrom, Wolfram, Silber und deren Legierungen.

10 Nach Aufbringung der Keimschicht wird diese vorzugsweise thermisch behandelt, z.B. durch Laser-Annealing.

15 Nach Abscheidung der metallhaltigen Keimschicht wird vorzugsweise auf der Frontseite des Wafers eine Schicht zur Adhäsionssteigerung zumindest bereichsweise abgeschieden.

20 Diese Schicht zur Adhäsionssteigerung enthält vorzugsweise ein Metall ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Titan, Kupfer, Wolfram und Legierungen hiervon oder besteht aus diesen Metallen.

25 Nach Aufbringen der metallhaltigen Keimschicht erfolgt vorzugsweise eine zumindest bereichsweise Verdickung der Keimschicht durch galvanische Abscheidung einer Metallisierung, insbesondere von Silber oder Kupfer, wodurch eine Kontaktierung der Front- und der
30 Rückseite des Wafers erfolgt.

Vorzugsweise wird ein möglichst laminarer Flüssigkeitsstrahl zur Durchführung des Verfahrens verwendet. Der Laserstrahl kann dann in besonders effektiver Weise durch Totalreflexion in dem Flüssigkeitsstrahl geführt werden, so dass letzterer die Funktion

35

eines Lichtleiters erfüllt. Das Einkoppeln des Laserstrahls kann z.B. durch ein zu einer Strahlrichtung des Flüssigkeitsstrahls senkrecht orientiertes Fenster in einer Düseneinheit erfolgen. Das Fenster kann dabei auch als Linse zum Fokussieren des Laserstrahls ausgeführt sein. Alternativ oder zusätzlich kann auch eine von dem Fenster unabhängige Linse zum Fokussieren oder Formen des Laserstrahls verwendet werden. Die Düseneinheit kann dabei bei einer besonders einfachen Ausführung der Erfindung so ausgelegt sein, dass die Flüssigkeit von einer Seite oder von mehreren Seiten in zur Strahlrichtung radialer Richtung zugeführt wird.

Als verwendbare Lasertypen sind bevorzugt:

Verschiedene Festkörperlaser, insbesondere die kommerziell häufig eingesetzten Nd-YAG-Laser der Wellenlänge 1064 nm, 532 nm, 355 nm, 266 nm und 213 nm, Diodenlaser mit Wellenlängen < 1000 nm, Argon-Ionen-Laser der Wellenlänge 514 bis 458 nm und Excimer-Laser (Wellenlängen: 157 bis 351 nm).

Tendenziell steigt die Qualität der Mikrostrukturierung mit sinkender Wellenlänge an, weil dabei zunehmend die durch den Laser induzierte Energie in der Oberflächenschicht immer besser an der Oberfläche konzentriert wird, was tendenziell zur Verringerung der Wärmeeinflusszone und damit verbunden zur Verringerung der kristallinen Schädigung im Material, vor allem im phosphordotierten Silizium unterhalb der Passivierungsschicht führt.

Als besonders effektiv erweisen sich in diesem Zusammenhang blaue Laser und Laser im nahen UV-Bereich (z.B. 355 nm) mit Pulslängen im Femtosekunden- bis

Nanosekundenbereich. Durch den Einsatz insbesondere kurzwelligen Laserlichts besteht darüber hinaus die Option einer direkten Generation von Elektronen/Loch-Paaren im Silizium, die für den elektrochemischen Prozess bei der Nickelabscheidung genutzt werden können (photochemische Aktivierung). So können beispielsweise durch Laserlicht generierte freie Elektronen im Silizium zusätzlich zum oben bereits beschriebenen Redoxprozess der Nickel-Ionen mit phosphoriger Säure direkt zur Reduktion von Nickel an der Oberfläche beitragen. Diese Elektronen/Loch-Generation kann durch permanente Beleuchtung der Probe mit definierten Wellenlängen (insbesondere im nahen UV mit $\lambda \leq 355$ nm) während des Strukturierungsprozesses permanent aufrechterhalten werden und den Metallkeimbildungsprozess nachhaltig fördern.

Hierzu kann die Solarzelleneigenschaft ausgenutzt werden, um über den p-n-Übergang die Überschussladungsträger zu trennen und damit die n-leitende Oberfläche negativ aufzuladen.

Eine weitere bevorzugte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass der Laserstrahl in zeitlicher und/oder räumlicher Pulsform aktiv eingestellt wird. Hierzu zählt die Flattop-Form, ein M-Profil oder ein Rechteckpuls.

Erfindungsgemäß wird ebenso eine Solarzelle bereitgestellt, die nach dem zuvor beschriebenen Verfahren herstellbar ist.

Anhand der nachfolgenden Figur und dem nachfolgenden Beispiel soll der erfindungsgemäße Gegenstand näher erläutert werden, ohne diesen auf die hier gezeigten speziellen Ausführungsformen einschränken zu wollen.

Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform der erfindungsgemäß hergestellten Solarzelle.

5 Die erfindungsgemäße Solarzelle 1 in Fig. 1 weist einen Wafer auf Si-Basis 2 auf, der auf der Rückseite mit einem flachen, ganzflächigen Emitter 3 beschichtet ist. Auf der Emitterschicht ist eine Passivierungsschicht 4 angeordnet. In definierten Bereichen ist hier ein elektrisches Feld auf der Rückseite 5 (engl. back surface field) und ein Rückseitenkontakt 6 dargestellt. Auf der Frontseite des Wafers 2 ist ein flacher, ganzflächiger Emitter 7 sowie eine Passivierungsschicht 8 angeordnet. In den Oberflächenbereichen sind an definierten Stellen Bereiche mit einem hoch dotierten Emitter (n^+) 9 und Frontseitenkontakte 10 angeordnet.

Beispiel 1

20 Ein gesägter p-Typ-Wafer wird zunächst einer Schadensätze zur Beseitigung des Drahtsägeschadens unterzogen, wobei diese Schadensätze in 40 %-iger KOH bei 80 °C 20 Minuten lang durchgeführt wird. Es folgt eine einseitige Texturierung des Wafers in 1 %-iger KOH bei 98 °C (Dauer ca. 35 Minuten). In einem folgenden Schritt erfolgt eine leichte Emitter-Diffusion im Rohrofen mit Phosphoryl-Chlorid ($POCl_3$) als Phosphorquelle. Der Schichtwiderstand des Emitters liegt in einem Bereich von 100 bis 400 Ohm/sq. Im Anschluss wird eine dünne thermische Oxidschicht im Rohrofen durch Überströmen mit Wasserdampf hergestellt. Die Dicke der Oxidschicht liegt hierbei in einem Bereich von 6 bis 15 nm. Im folgenden Prozessschritt erfolgt eine PECVD-Abscheidung von Siliciumnitrid (Brechungsindex $n = 2,0$ bis $2,1$, Dicke der Schicht: etwa 60

nm) auf der Vorderseite und einer Siliciumdioxid-
schicht (Dicke: etwa 200 nm), auf der Rückseite. Der
so behandelte Wafer wird im Anschluss mit dem Flüssigkeitsstrahl strukturiert. Hierbei erfolgt ein
5 Schneiden und gleichzeitiges Dotieren der Grabenwände
mit Hilfe eines Lasers, der in einen Flüssigkeits-
strahl eingekoppelt ist (sog. laser chemical proces-
sing, LCP). Als Strahlmedium wird 85 %-ige Phosphor-
säure eingesetzt. Die Linienbreite der Strukturen be-
10 trägt etwa 30 μm und der Abstand zwischen 2 Linien 1
bis 2 mm. Es wird dabei ein Nd:YAG-Laser bei 532 nm
(P = 7 W) eingesetzt. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt
400 mm/s. Der so strukturierte und dotierte Wafer
wird im Anschluss einer stromlosen Abscheidung von
15 Nickel mit Hilfe des LCP-Verfahrens unterzogen. Als
Strahlmedium wird hier eine wässrige Lösung mit NiSO_4
(c = 3 mol/L) und H_3PO_3 (c = 3 mol/L) eingesetzt. La-
serparameter und Fahrgeschwindigkeit sind mit dem
vorherigen Verfahrensschritt identisch. Im Anschluss
20 erfolgt die Bildung eines lokalen Back-Surface-Fields
(BSF) mittels LCP, wofür Borsäure
(c = 40 g/L) eingesetzt wird. Die Linienbreite be-
trägt etwa 30 μm und der Abstand zwischen den Linien
200 μm bis 2 mm. Auch hier sind Laserparameter und
25 Fahrgeschwindigkeit identisch zu den beiden vorheri-
gen Verfahrensschritten. Im Anschluss erfolgt ein
Aufdampfen von Aluminium auf der Rückseite (Dicke:
etwa 50 nm) und das sich anschließende Aufdampfen des
Kontaktmetalls auf der Rückseite (z.B. Titan, Dicke:
30 etwa 30 nm). Optional erfolgt im Anschluss ein Sin-
tern der Vorderseiten- und der Rückseitenkontakte bei
Temperaturen von 300 bis 500 °C in einer Formiergas-
atmosphäre (N_2H_2). Abschließend erfolgt eine Licht-
induzierte Abscheidung von Silber oder Kupfer zur
35 Verdickung der Front- und Rückseitenkontakte bis zu
einer Dicke der Kontakte von etwa 10 μm . Für das gal-

vanische Bad werden als Silberquelle hier Silbercyanid ($c = 1 \text{ mol/L}$) eingesetzt. Die Badtemperatur beträgt $25 \text{ }^\circ\text{C}$, die angelegte Spannung an der Waferrückseite $0,3 \text{ V}$. Für die Lichtinduktion wird eine Halogenlampe mit einer Wellenlänge von 253 nm eingesetzt.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Herstellung von beidseitig kontaktierten Solarzellen, bei dem
 - a) ein Wafer auf der Front- und der Rückseite zumindest bereichsweise mit mindestens einer dielektrischen Schicht beschichtet wird,
10
 - b) eine Mikrostrukturierung der mindestens einen dielektrischen Schicht erfolgt,
 - c) eine Dotierung der mikrostrukturierten Oberflächenbereiche erfolgt, indem mindestens ein auf die Oberfläche des Festkörpers gerichteter und mindestens einen Dotierstoff enthaltender Flüssigkeitsstrahl über zu dotierende Bereiche der Oberfläche geführt wird, wobei die Oberfläche vorher oder gleichzeitig durch einen Laserstrahl lokal aufgeheizt wird,
15
 - d) eine metallhaltige Keimschicht auf der Rückseite des Wafers zumindest bereichsweise abgeschieden wird und
20
 - e) eine zumindest bereichsweise galvanische Abscheidung einer Metallisierung auf der Front- und der Rückseite des Wafers zu dessen beidseitiger Kontaktierung erfolgt.
25
2. Verfahren nach Anspruch 1,
30 dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrostrukturierung durch Behandlung der

Oberfläche mit einem trockenen Laser oder einem wasserstrahlgeführten Laser oder einem ein Ätzmittel enthaltenden flüssigkeitsstrahlgeführten Laser erfolgt, indem ein auf die Oberfläche des Festkörpers gerichteter und mindestens ein Ätzmittel für den Wafer enthaltender Flüssigkeitsstrahl über zu strukturierende Bereiche der Oberfläche geführt wird, wobei die Oberfläche vorher oder gleichzeitig durch einen Laserstrahl lokal aufgeheizt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Ätzmittel auf die mindestens eine dielektrische Schicht eine stärker ätzende Wirkung als auf das Substrat hat und insbesondere ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus H_3PO_4 , H_3PO_3 , PCl_3 , PCl_5 , $POCl_3$, KOH , HF/HNO_3 , HCl , Chlorverbindungen, Schwefelsäure und Mischungen hiervon.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die dielektrische Schicht ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus SiN_x , SiO_2 , SiO_x , MgF_2 , TiO_2 , SiC_x und Al_2O_3 .

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dotierung mit einem H_3PO_4 , H_3PO_3 und/oder $POCl_3$ enthaltenden Flüssigkeitsstrahl, in den ein Laserstrahl eingekoppelt ist, durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine
Dotierstoff ausgewählt ist aus der Gruppe
5 bestehend aus Phosphor, Bor, Aluminium, Indium,
Gallium und Mischungen hiervon, insbesondere
Phosphorsäure, Phosphorige Säure, Lösungen von
Phosphaten und Hydrogenphosphaten, Borax,
Borsäure, Boraten und Perboraten,
10 Borverbindungen, Galliumverbindungen und deren
Mischungen.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrostrukturierung
und die Dotierung simultan mit einem flüssigkeitsstrahlgeführten
Laser durchgeführt werden.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden
Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die metallhaltige
Keimschicht durch Aufdampfen, Sputtern oder
25 durch Reduktion aus wässriger Lösung, bevorzugt
simultan auf der Front- und der Rückseite des
Wafers, abgeschieden wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
30 dadurch gekennzeichnet, dass die metallhaltige
Keimschicht ein Metall aus der Gruppe Aluminium,
Nickel, Titan, Chrom, Wolfram, Silber und deren
Legierungen enthält.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass nach der Aufbringung der Keimschicht diese thermisch behandelt
5 wird, insbesondere durch Laser-Annealing.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass nach Abscheidung
10 der metallhaltigen Keimschicht auf der Frontseite eine Schicht zur Adhäsionssteigerung zumindest bereichsweise abgeschieden wird.
12. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch,
15 dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht zur Adhäsionssteigerung ein Metall ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Titan, Kupfer, Wolfram und Legierungen hiervon enthält oder aus diesem besteht.
- 20
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass nach Aufbringen der
25 metallhaltigen Keimschicht eine zumindest bereichsweise Verdickung der Keimschicht durch galvanische Abscheidung einer Metallisierung, insbesondere von Silber oder Kupfer, erfolgt, wodurch eine Kontaktierung der Front- und der Rückseite des Wafers erfolgt.
- 30
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl

durch Totalreflexion im Flüssigkeitsstrahl geführt wird.

- 5 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Flüssigkeitsstrahl laminar ist.
- 10 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Flüssigkeitsstrahl einen Durchmesser von 10 bis 500 μm hat.
- 15 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl in zeitlicher und/oder räumlicher Pulsform, insbesondere Flattop-Form, M-Profil oder Rechteckpuls, aktiv eingestellt wird.
- 20 18. Solarzelle herstellbar nach dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

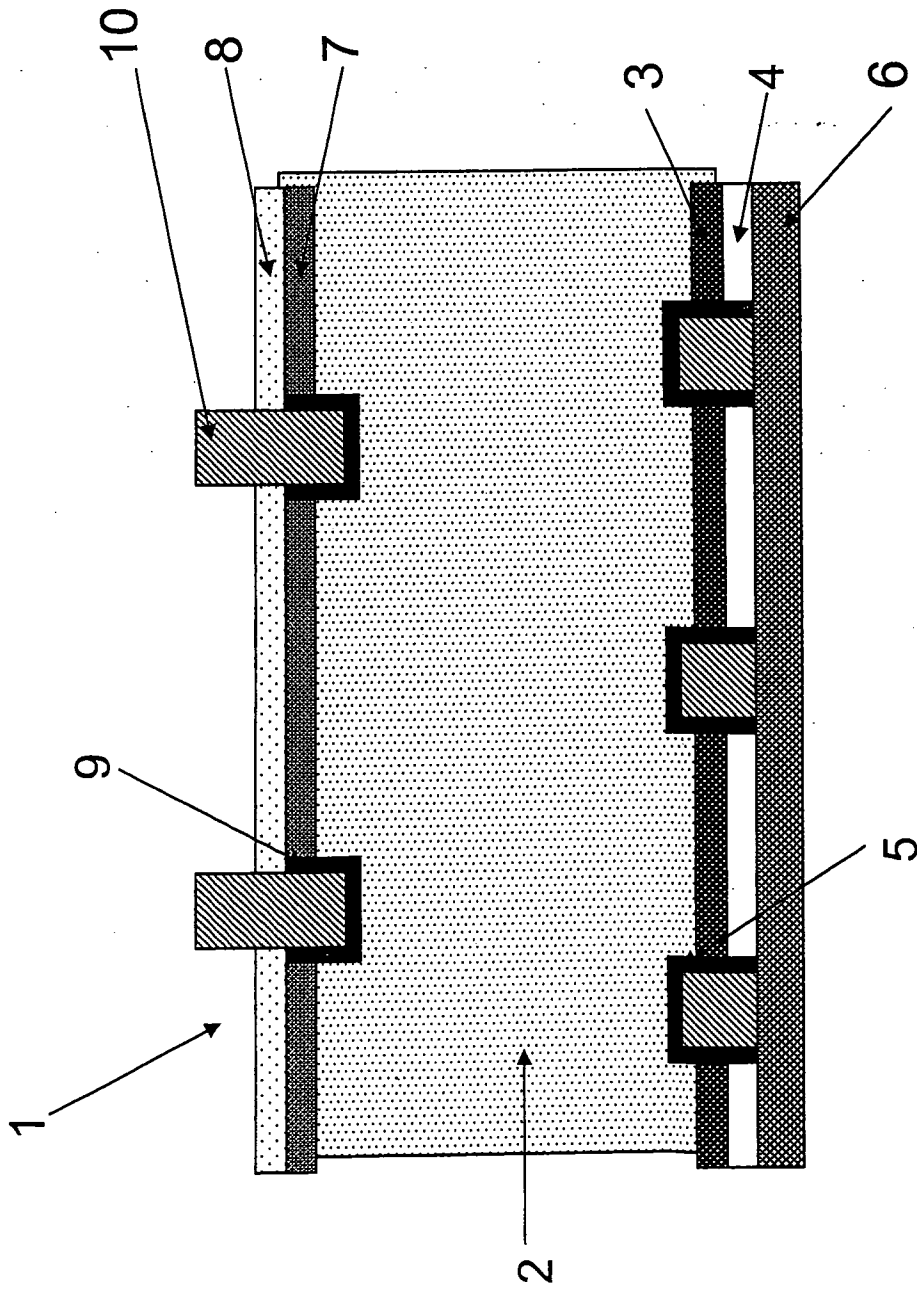


Fig. 1