

(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
13. Oktober 2011 (13.10.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/124409 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/18 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/052257
- (22) Internationales Anmeldedatum:
16. Februar 2011 (16.02.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 003 784.2 9. April 2010 (09.04.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BOESCKE, Tim** [DE/DE]; Löberwallgraben 2, 99096 Erfurt (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

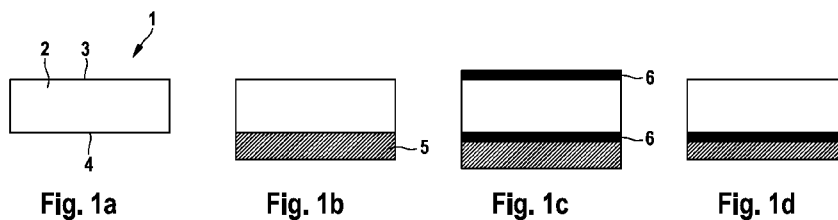
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A SOLAR CELL

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER SOLARZELLE



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a solar cell from a silicon substrate, which has a first main surface serving as a light incidence side during use and a second main surface serving as a rear side, having a passivation layer on the second main surface, comprising the steps of: applying an oxide-containing layer to the second main surface of the silicon substrate; and heating the silicon substrate to a temperature of at least 800°C to compact the oxide-containing layer and to oxidize the interface between the oxide-containing layer and the second main surface of the silicon substrate to form a thermal oxide, wherein an oxygen source delivers oxygen for the oxidation.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle aus einem Silizium-Substrat, das eine im Gebrauchszustand als Lichteinfallseite dienende erste Hauptoberfläche und eine als Rückseite dienende zweite Hauptoberfläche aufweist, mit einer Passivierungsschicht auf der zweiten Hauptoberfläche, umfassend die Schritte : Aufbringen einer oxidhaltigen Schicht auf die zweite Hauptoberfläche des Silizium-Substrats; und Erhitzen des Silizium-Substrats auf eine Temperatur von mindestens 800 °C zum Verdichten der oxidhaltigen Schicht und zur Oxidation der Grenzfläche zwischen der oxidhaltigen Schicht und der zweiten Hauptoberfläche des Silizium-Substrats zur Bildung von thermischem Oxid, wobei eine Sauerstoffquelle Sauerstoff für die Oxidation abgibt.



WO 2011/124409 A2

5

Beschreibung

10

Titel

Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle

15 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle aus einem Silizium-Substrat gemäß Patentanspruch 1.

Stand der Technik

20 Solarzellen bestehen meist aus einem Siliziumsubstrat. Um die Langzeitstabilität von Solarzellen sicherzustellen und ein Eindringen von Fremdatomen in das Substrat zu verhindern, werden Solarzellen mit einer Passivierungsschicht versehen.

25 Zur Passivierung von Siliziumoberflächen von Solarzellen werden bisher dielektrische Dünnschichten eingesetzt. In der industriellen Praxis haben sich vor allem mit einem Plasmaverfahren abgeschiedene Siliziumnitridschichten durchgesetzt. Es ist jedoch bekannt, dass thermisch aufgewachsene Siliziumoxidschichten deutlich bessere Passivierungseigenschaften bieten. Dieses ist vor allem bei der

30 Passivierung von p-dotierten Oberflächen der Fall, da hier hohe positive Ladungen in Siliziumnitrid leistungs-mindernden Einfluss haben (Erzeugung einer Inversionsschicht und „parasitäres Shunting“). Insbesondere für die Passivierung von Rückseiten von PERC (passivated emitter and rear cell)-/PERT (passivated emitter, rear totally-diffused)-/PERL (passivated emitter, rear locally-diffused)-Zellen ist daher der Einsatz von thermischem Oxid

35 wünschenswert.

- 2 -

5 Bei den bisher bekannten Verfahren zur Herstellung von thermischen Oxiden in
der Solarzellenfertigung gibt es viele Nachteile: Der Prozess dauert sehr lange,
da die Prozesszeit mit der Schichtdicke quadratisch zunimmt, was zu hohen
Prozesskosten führt. Zudem erfordert der Prozess ein hohes thermisches
Budget, welches die Diffusionsprofile nachteilig verändern kann. Nachteilig ist
10 außerdem, dass der Prozess inhärent zweiseitig ist. Da die Passivierungs-
schicht typischerweise jedoch nur auf einer Seite der Solarzelle benötigt wird,
muss die andere Seite der Solarzelle maskiert werden.

Für PERC-Zellen ist z.B. ein Prozess bekannt („All-Screen-Printed 120- μ m-Thin
15 Large-Area Silicon Solar Cells Applying Dielectric Rear Passivation and Laser-Fired
Contacts Reaching 18% Efficiency“, L. Gautero et al., 24th EU-PVSEC 2009,
Hamburg, Session 2DO.2.5), der -knapp zusammengefasst- folgende Schritte
umfasst:

- 20 1) Textur
- 2) Reinigung (HNO₃)
- 3) Diffusion von POCl₃ mit Eintreibrschritt
- 4) Wegätzung von PSG (Phosphorsilikatglas)
- 5) SiN Abscheidung Vorderseite
- 25 6) Emitterentfernung Rückseite
- 7) Reinigung Standard Cleaning 1/Standard Cleaning 2
- 8) Oxidation
- 9) SiO₂ Abscheidung Rückseite
- 10) SiN Abscheidung Rückseite

30

Hierbei wird die Einseitigkeit der Oxidation durch eine Vorderseitenmaskierung
mit abgeschiedenem SiN erreicht. Um die Prozesszeit zu reduzieren, wird nur
eine dünne Schicht (\sim 20 nm) Oxid aufgewachsen und dieses anschließend
durch abgeschiedenes Oxid oder Nitrid aufgedickt. Da für die Passivierung
35 vorrangig die Grenzschicht zwischen SiO₂ und Si relevant ist, wird durch den
Schichtstapel eine dem rein thermischen Oxid vergleichbare Passivierqualität
erreicht. Nachteilig hieran ist jedoch, dass das Verfahren technisch aufwändig
und teuer ist.

5

Offenbarung der Erfindung

10 Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle aus einem Silizium-Substrat, das eine im Gebrauchszustand als Lichteinfallseite dienende erste Hauptoberfläche und eine als Rückseite dienende zweite Hauptoberfläche aufweist, mit einer Passivierungsschicht auf der zweiten Hauptoberfläche, umfassend folgende Schritte: Aufbringen einer
15 oxidhaltigen Schicht auf die zweite Hauptoberfläche des Silizium-Substrats; und Erhitzen des Silizium-Substrats auf eine Temperatur von mindestens 800 °C zum Verdichten der oxidhaltigen Schicht und zur Oxidation der Grenzfläche zwischen der oxidhaltigen Schicht und der zweiten Hauptoberfläche des Silizium-Substrats zur Bildung von thermischem Oxid, wobei eine Sauerstoff-
20 quelle Sauerstoff für die Oxidation abgibt. Vorteilhaft an diesem Verfahren ist, dass es technisch einfach und kostengünstig ist.

Eine Prozessatmosphäre des Silizium-Substrats, insbesondere O_2 und/oder H_2O umfassend, kann als Sauerstoffquelle fungieren. Die oxidhaltige Schicht kann
25 derart aufgebracht werden, dass sie, insbesondere SiO_2 , ZrO_2 , SiO_aN_b und/oder SiO_aC_b , wobei jeweils $b \ll a$ ist, umfassend, sauerstoffdurchlässig ist. Vorteilhaft hieran ist, dass das Verfahren technisch weiter vereinfacht wird und kostengünstiger wird.

30 Die oxidhaltige Schicht, insbesondere SiO_2 umfassend, kann durch ein CVD- oder ein PECVD-Verfahren, insbesondere unter Verwendung von SiH_4 , auf die zweite Hauptoberfläche des Silizium-Substrats aufgebracht werden. Hierdurch werden die Kosten des Verfahrens weiter erniedrigt, da das CVD- sowie das PECVD-Verfahren sehr kostengünstige Verfahren sind. Zudem wird die oxidhal-
35 tige Schicht gleichmäßig auf die zweite Hauptoberfläche aufgebracht.

Die oxidhaltige Schicht kann ein überstöchiometrisches Oxid, insbesondere $SiO_{2+x}:H$ und/oder ein Oxid mit geringer Dichte und/oder ein hygroskopisches

- 5 Oxid, vorzugsweise BSG, PSG und/oder TEOS-Oxid, umfassen und die oxidhaltige Schicht kann als die Sauerstoffquelle fungieren. Hierdurch wird das Verfahren technisch weiter vereinfacht, da keine zusätzliche Sauerstoffquelle benötigt wird.
- 10 Bei dem Verfahren kann ferner eine während des Erhitzens des Silizium-Substrats dort entstandene Siliziumoxid-Schicht von der ersten Hauptoberfläche und ein Teil der oxidhaltigen Schicht von der zweiten Hauptoberfläche weggeätzt werden. Ein Vorteil hiervon ist, dass auf einfache Art und Weise das Siliziumsubstrat auf der ersten Hauptoberfläche freigelegt wird, während die
- 15 Passivierungsschicht auf der zweiten Hauptoberfläche nur teilweise entfernt wird.

Bei dem Verfahren kann ferner in die beiden Hauptoberflächen nach dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht ein Dotierstoff, insbesondere Bor,

20 vorzugsweise mittels Bortribromid, und/oder Phosphor, vorzugsweise mittels Phosphoroxychlorid, eindiffundiert werden, wobei der Dotierstoff während des Schritts des Erhitzens des Silizium-Substrats in die erste Hauptoberfläche diffundiert, und wobei die oxidhaltige Schicht während des Erhitzens als Maskierungsschicht der zweiten Hauptoberfläche fungiert. Hierdurch kann auf

25 einfache Art und Weise eine dotierte Schicht auf der ersten Hauptoberfläche des Silizium-Substrats gebildet werden, die als Emitter fungieren kann, während der Dotierstoff nicht in die zweite Hauptoberfläche des Silizium-Substrats diffundiert.

- 30 Während des Erhitzens des Silizium-Substrats entstandene Dotierstoff-Silizium-Verbindungsschichten können von der ersten Hauptoberfläche und/oder der zweiten Hauptoberfläche weggeätzt werden. Ein Vorteil hiervon ist, dass das Silizium des Silizium-Substrats auf der ersten Hauptoberfläche freigelegt wird und die oxidhaltige Schicht auf der zweiten Hauptoberfläche freigelegt wird.

35

Bei dem Verfahren kann ferner vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht eine Oberflächenstruktur auf die erste Hauptoberfläche und/oder die zweite Hauptoberfläche aufgebracht werden. Ein Vorteil hiervon ist, dass gezielt auf

5 Teile der ersten und/oder zweiten Hauptoberfläche keine oxidhaltige Schicht aufgebracht werden kann.

Bei dem Verfahren kann ferner vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht die zweite Hauptoberfläche planarisiert werden. Hierdurch wird das Aufbringen
10 der oxidhaltigen Schicht auf der zweiten Hauptoberfläche deutlich verbessert. Ferner kann bei dem vorgeschlagenen Verfahren die erste Hauptoberfläche und/oder die zweite Hauptoberfläche vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht, insbesondere mit HNO_3 , gereinigt werden. Ein Vorteil hiervon ist, dass das Aufbringen der oxidhaltigen Schicht weiter verbessert wird.

15

Bei dem Verfahren kann ferner Bor oder Phosphor zur Erzeugung einer Back-Surface-Field (BSF)-Schicht in die zweite Hauptoberfläche diffundiert oder durch Ionenimplantation implantiert werden, das beim Erhitzen des Silizium-Substrats aktiviert wird. Durch das Back-Surface-Field wird der Wirkungsgrad
20 der Solarzelle verbessert, da das Back-Surface-Field eine Barriere für die Elektronen darstellt, die daher keinen Zugang zur Oberfläche des Silizium-Substrats erhalten.

Bei dem Verfahren kann ferner eine SiN-Anti-Reflektionsschicht auf die erste
25 Hauptoberfläche und/oder auf die oxidhaltige Schicht der zweiten Hauptoberfläche aufgebracht werden. Durch die Anti-Reflektionsschicht wird weniger Licht von dem Silizium-Substrat reflektiert, wodurch mehr Licht in das Silizium-Substrat eindringt. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Solarzelle erhöht.

30

Ferner können vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht ein oder mehrere Löcher mittels eines Lasers durch das Silizium-Substrat zum Verbinden der ersten Hauptoberfläche mit der zweiten Hauptoberfläche, insbesondere mittels eines Lasers, hergestellt werden. Vorteilhaft hieran ist, dass durch die Löcher
35 auf einfach Art und Weise eine elektrische Verbindung von der ersten Hauptoberfläche zur zweiten Hauptoberfläche bzw. umgekehrt gebildet wird.

5 Bei dem Verfahren können vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht
folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden: ein Dotierstoff, insbesondere
Bor, vorzugsweise mittels Bortribromid, und/oder Phosphor, vorzugsweise
mittels Phosphoroxychlorid, wird in beide Hauptoberflächen eindiffundiert; der
10 Dotierstoff wird durch Erhitzen des Silizium-Substrats in das Silizium-Substrat
diffundiert zur Bildung einer Emitterschicht auf der ersten Hauptoberfläche
und einer Emitterschicht auf der zweiten Hauptoberfläche; durch das Erhitzen
des Silizium-Substrats entstandene Dotierstoff-Silizium-Verbindungsschichten
werden von der ersten Hauptoberfläche und/oder der zweiten Hauptoberfläche
15 weggeätzt; eine Maskierungsschicht, vorzugsweise SiN, wird auf die erste
Hauptoberfläche aufgebracht; und die Emitterschicht der zweiten Haupt-
oberfläche wird, insbesondere durch Ätzen, entfernt, wobei die SiN-Schicht als
Maskierungsschicht der ersten Hauptoberfläche während des Entfernens
fungiert. Vorteilhaft hieran ist, dass gegenüber dem Stand der Technik der
Schritt der Reinigung des Silizium-Substrats, d.h. Standard Cleaning
20 1/Standard Cleaning 2, weggelassen wird bzw. werden kann. Hierdurch werden
Zeit und Kosten eingespart sowie der Prozess technisch vereinfacht.

Zeichnungen

25 Weiter Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung werden durch die Zeich-
nungen veranschaulicht und in der nachfolgenden Beschreibung erläutert.
Dabei ist zu beachten, dass die Zeichnungen nur beschreibenden Charakter
haben und nicht dazu gedacht sind, die Erfindung in irgendeiner Form einzu-
schränken. Es zeigen:

30

Fig. 1a bis 1d ein Silizium-Substrat nach aufeinanderfolgenden Schritten
eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer
Solarzelle aus einem Silizium-Substrat mit einer Passivie-
rungsschicht;

35

Fig. 2a bis 2d ein Silizium-Substrat nach aufeinanderfolgenden Schritten
eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstel-

5 lung einer Solarzelle aus einem Silizium-Substrat mit einer Passivierungsschicht; und

Fig. 3a bis 3d ein Silizium-Substrat nach aufeinanderfolgenden Schritten eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Solarzelle aus einem Silizium-Substrat mit einer Passivierungsschicht.

10

Bei der nachfolgenden Beschreibung werden für gleiche und gleich wirkende Teile dieselben Bezugsziffern verwendet.

15

Fig. 1a bis Fig. 1d zeigen ein Silizium-Substrat **1** jeweils nach Schritten eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Solarzelle aus einem Silizium-Substrat mit einer Passivierungsschicht auf der Rückseite des Substrats. In Fig. 1a ist ein Silizium-Wafer bzw. Silizium-Substrat **1** gezeigt. Das Silizium-Substrat **1** besteht aus kristallinem Silizium **2** und hat eine erste Hauptoberfläche **3**, auch Vorderseite genannt, und eine zweite Hauptoberfläche **4**, auch Rückseite genannt, die der ersten Hauptoberfläche **3** gegenüberliegt. Fig. 1b zeigt das Silizium-Substrat **1** nach dem ersten Verfahrensschritt. In dem ersten Verfahrensschritt wird Siliziumdioxid auf die zweite Hauptoberfläche **4** des Siliziumsubstrats **1** durch ein PECVD-Verfahren aufgebracht. An Stelle des Siliziumdioxids sind andere oxidhaltige Schichten vorstellbar. Auch andere Verfahren zum Aufbringen der Schicht sind vorstellbar.

20

25

Das Siliziumsubstrat **1** wird in einem zweiten Verfahrensschritt auf eine Temperatur von mindestens 800°C erhitzt. Hierdurch wird die oxidhaltige Schicht **5** verdichtet und die Grenzschicht zwischen der oxidhaltigen Schicht **5** und dem Silizium **2** des Silizium-Substrats **1** (re)oxidiert. Hierdurch entsteht an der Grenzschicht eine dünne Schicht hochwertigen thermischen Oxids, welches gute Passivierungseigenschaften aufweist. Die Sauerstoffquelle kann die Prozessatmosphäre des Silizium-Substrats **1** sein (z. B. O₂ oder H₂O). Dabei ist die abgeschiedene oxidhaltige Schicht **5** sauerstoffdurchlässig, was beispielsweise bei SiO₂ und SiO_aN_b oder SiO_aC_b der Fall ist, wenn b viel kleiner als a ist.

30

35

5 Ebenfalls vorstellbar als oxidhaltige Schicht sind andere sauerstoffleitende Metalloxide, wie z. B. ZrO_2 .

Die Sauerstoffquelle kann auch die oxidhaltige Schicht **5** selbst sein. In diesem Fall wird ein überstöchiometrisches Oxid als oxidhaltige Schicht auf die zweite
10 Hauptoberfläche **4** des Silizium-Substrats **1** aufgebracht. Das überstöchiometrische Oxid gibt während des Erhitzens des Silizium-Substrats Wasser und/oder Sauerstoff ab. Das überstöchiometrische Oxid kann beispielsweise $SiO_{2+x}:H$ oder auch ein hygroskopisches Oxid, wie beispielsweise BSG, PSG, oder TEOS-Oxid sein. Zusätzlich bietet sich ein Oxid mit geringer Dichte an,
15 um die Sauerstoffdiffusion zu vereinfachen. Dieses ist typischerweise in SiH_4 -Prozessen bei niedrigen Temperaturen der Fall.

Eine amorphe SiO_2 -Schicht auf dem Silizium-Substrat wird mittels SiH_4 und einer Sauerstoffquelle durch ein PECVD-Verfahren hergestellt. Als Sauerstoff-
20 quelle hierfür kann beispielsweise Lachgas oder reiner Sauerstoff fungieren.

Die SiH_4 -Prozesse laufen bei Temperaturen zwischen Raumtemperatur und ca. 500 °C ab, vorzugsweise bei einer Temperatur um die 200 °C.

25 Fig. 1c zeigt das Silizium-Substrat **1** nach dem Erhitzen. Auf der ersten Hauptoberfläche **3** hat sich eine Siliziumdioxidschicht **6** gebildet. Auf der gegenüberliegenden zweiten Hauptoberfläche **4** hat sich an der Grenzfläche zwischen dem Silizium **2** und der oxidhaltigen Schicht **5** ein thermisches Oxid **6** gebildet.

30 Ein einseitiges Oxid, d. h. eine Solarzelle mit einer Passivierungsschicht auf nur einer Seite des Siliziums **2**, wird nun durch Ätzen der beiden Hauptoberflächen **3**, **4** gebildet. Durch das Ätzen wird die Siliziumdioxidschicht auf der ersten Hauptoberfläche **3** des Silizium-Substrats **1** entfernt. Auf der zweiten Hauptoberfläche **4** wird durch das Ätzen nur ein Teil der oxidhaltigen Schicht **5**
35 entfernt. Somit wird eine Solarzelle hergestellt, die nur auf einer Seite, nämlich auf der Rückseite, eine Passivierungsschicht mit einem hochwertigen thermischem Oxid **6** umfasst.

5 In den Fig. 2a bis 2d wird ein Silizium-Substrat **1** nach aufeinanderfolgenden Schritten eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Solarzelle mit einer Passivierungsschicht auf der Rückseite dargestellt. In Fig. 2a ist auf ein Silizium-Substrat **1**, das einen Wafer aus Silizium **2** umfasst, bereits eine oxidhaltige Schicht **5** auf die zweite Hauptoberfläche **4**, die der
10 ersten Hauptoberfläche **3** gegenüberliegt, aufgebracht. In einem zweiten Verfahrensschritt wird Phosphor eindiffundiert. Hierbei bildet sich PSG **7**, Phosphorsilikatglas, auf der ersten Hauptoberfläche **3** des Silizium-Substrats **1** und auf dem Siliziumdioxid **5** auf der zweiten Hauptoberfläche **4**.

15 Der eindiffundierte Phosphor wird durch Erhitzen des Silizium-Substrats **1** in das Silizium **2** des Silizium-Substrats **1** eingetrieben, zur Bildung eines Emitters **8** auf der ersten Hauptoberfläche **3** des Silizium-Substrats **1**. Während dieses Eintreibschrittes entsteht eine thermische Oxidschicht **6** an der Grenzfläche zwischen dem Silizium **2** und dem auf die zweite Hauptoberfläche **4** des
20 Silizium-Substrats **1** aufgebrachte Siliziumdioxid **5**. Der Zustand der Schichtfolge nach diesem Verfahrensschritt ist in Fig. 2b gezeigt.

Durch Ätzen der ersten Hauptoberfläche **3** und zweiten Hauptoberfläche **4** wird das PSG **7** von den beiden Hauptoberflächen **3**, **4** entfernt. In Fig. 2c ist das
25 Ergebnis nach dem Ätzen der beiden Hauptoberflächen **3**, **4** dargestellt. Auf der ersten Hauptoberfläche **3** liegt nun das Silizium **2** frei, das eine dünne mit Phosphor dotierte Schicht **8** umfasst. Auf der zweiten Hauptoberfläche **4** des Silizium-Substrats **1** befindet sich das thermische Oxid **6** und darauf eine Schicht von Siliziumdioxid **5**. In Fig. 2c ist der Zustand des Silizium-Substrats
30 **1** nach diesem Verfahrensschritt gezeigt.

In einem weiteren Verfahrensschritt wird nun eine SiN-Antireflexionsschicht **9** auf die erste Hauptoberfläche **3** des Silizium-Substrats **1** aufgebracht. In Fig. 2d ist das Silizium-Substrat **1** nach Abschluss des Verfahrens dargestellt. Das
35 Silizium-Substrat **1** weist nur auf der Rückseite eine Passivierungsschicht auf, die ein thermisches Oxid **6** umfasst.

5 In Fig. 3a bis 3d ist ein Silizium-Substrat **1** nach aufeinanderfolgenden Schritten eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Solarzelle mit einer Passivierungsschicht auf einer Seite des Silizium-Substrats **1** dargestellt. In einem ersten Schritt wird eine Borschicht **10** als Back-Surface-Field in die zweite Hauptoberfläche **4** des Silizium-Substrats **1** eingebracht,
10 beispielsweise durch Diffusion. Das Silizium-Substrat **1** nach diesem ersten Schritt ist in Fig. 3a dargestellt.

Danach wird eine Siliziumdioxidschicht **5** auf die zweite Hauptoberfläche **4** des Silizium-Substrats **1** aufgebracht. Die Schichtfolge nach diesem Schritt ist in
15 Fig. 3b dargestellt.

Nun wird Phosphor zur Bildung eines Emitters **8** diffundiert. Hierdurch bildet sich PSG **7** auf der ersten Hauptoberfläche **3** und auf dem Siliziumdioxid **5** auf der zweiten Hauptoberfläche **4**. Während des Eintreibschrittes des Phosphors
20 in das Silizium **2** entsteht an der Grenzfläche zwischen dem Silizium **2** und dem auf der zweiten Hauptoberfläche **4** aufgetragenen Siliziumdioxid **5** eine thermische Oxidschicht **6**. Durch den thermischen Schritt des Erhitzens des Silizium-Substrats **1** wird zudem das Bor der Borschicht **10** aktiviert, und Schäden aus den Implantationsschritten werden ausgeheilt. Das Silizium-
25 Substrat **1** nach diesem Verfahrensschritt ist in Fig. 3c dargestellt.

Nun wird durch Ätzung der ersten Hauptoberfläche **3** und der zweiten Hauptoberfläche **4** PSG **7** von den beiden Hauptoberflächen **3**, **4** entfernt. Als letzter Verfahrensschritt wird nun eine SiN-Antireflectionsschicht **9** auf die erste
30 Hauptoberfläche **3** des Silizium-Substrats **1** aufgebracht.

Das hier beschriebene Verfahren lässt sich mit dem vorher genannten Prozess kombinieren, wodurch der Prozessfluss erheblich vereinfacht wird, da kein zusätzlicher Oxidationsschritt mehr erforderlich ist und die Anzahl der
35 Reinigungsschritte reduziert wird. Zudem kann durch das erfindungsgemäße Verfahren in Kombination mit dem vorbekannten Prozessfluss die benötigte Oxidationszeit/-temperatur reduziert werden.

5 Modifizierter Prozess gemäß vorliegender Erfindung:

- 1) Textur
- 2) Reinigung (HNO_3)
- 3) Diffusion von POCl_3 mit Eintreibrschritt
- 10 4) Wegätzung von PSG
- 5) SiN Abscheidung Vorderseite
- 6) Emitterentfernung RS
- 7) SiO_2 Abscheidung Rückseite
- 8) Oxidation
- 15 9) SiN Abscheidung Rückseite

Gegenüber dem bisher bekannten Prozess sind die Schritte 8) und 9) (nun Schritte 8) und 7)) vertauscht. Der Schritt 7) des vorbekannten Sinto-Prozesses, d.h. der Standard Cleaning 1/Standard Cleaning 2-Schritt zum Entfernen von Metallverunreinigungen, der teuer und aufwändig ist, wird weggelassen bzw. kann weggelassen werden.

Die durch diesen Prozess hergestellte PERC-Zelle kann mit einem Bor-Implant zu einer PERT-Zelle erweitert werden. In diesem Fall erfüllt die $\text{POCl}_3/\text{BBr}_3$ -Diffusion zusätzlich noch die Funktion der Aktivierung der implantierten Dosis, so dass insgesamt zwei Hochtemperaturschritte eingespart werden können.

Neuer PERC-Prozess gemäß vorliegender Erfindung:

- 30 1) Textur (+ Rückseitenplanarisierung)
- 2) Reinigung (HNO_3 , evtl. mehr)
- 3) SiO:H Abscheidung Rückseite
- 4) Diffusion von POCl_3 mit Eintreibrschritt
- 5) Wegätzung von PSG
- 35 6) SiN Abscheidung Vorderseite
- 7) SiN Abscheidung Rückseite

5 Durch diesen neuen PERC-Prozess wird ein zusätzlicher Oxidationsschritt eingespart.

Zudem lässt sich dieses Verfahren mit einem MWT(metal wrap through)-
Prozessfluss kombinieren.

10

Neuer PERC-MWT-Prozess gemäß vorliegender Erfindung:

- 1) Textur (+ Rückseitenplanarisierung)
- 2) Reinigung
- 15 3) SiO:H Abscheidung Rückseite
- 4) Löcher lasern (+ evtl. Ablation der Rückseite im Busbarbereich)
- 5) Diffusion von POCl₃ mit Eintreibschritt
- 6) Entfernung von PSG
- 7) SiN Abscheidung Vorderseite
- 20 8) SiN Abscheidung Rückseite

Neuer PERT-Prozess mit Ionenimplantation gemäß vorliegender Erfindung:

- 1) Textur (+ Rückseitenplanarisierung)
- 25 2) Reinigung
- 3) Implantation BSF (Phosphor oder Bor)
- 4) SiO:H Abscheidung Rückseite
- 5) Diffusion von BBr₃ oder POCl₃ mit Eintreibschritt
- 6) Wegätzung von PSG
- 30 7) SiN Abscheidung Vorderseite
- 8) SiN Abscheidung Rückseite

Da die POCl₃- oder BBr₃-Diffusion bzw. der Eintreibschritt gleichzeitig die
Aktivierung der Borimplantation bewirkt, werden hierbei zwei
35 Hochtemperaturschritte eingespart.

Die vorgeschlagenen Prozessflüsse sind ohne Einschränkung auch auf einen
Zellprozessfluss mit selektiver Vorderseitendiffusion anwendbar. Hierbei kann

- 13 -

5 die Qualität der Rückseitenpassivierung durch einen langen Eintreibrschritt der Vorderseitendiffusion noch verbessert werden.

10 An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass alle oben beschriebenen Schritte des Verfahrens für sich alleine gesehen und in jeder Kombination, insbesondere die in den Zeichnungen dargestellten Details als erfindungswesentlich beansprucht werden. Abänderungen hiervon sind dem Fachmann geläufig.

15 Im Übrigen ist die Ausführung der Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Beispiele und hervorgehobenen Aspekte beschränkt, sondern lediglich durch den Schutzbereich der anhängenden Patentansprüche.

20

25

5

Ansprüche

10

1. Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle aus einem Silizium-Substrat (1), das eine im Gebrauchszustand als Lichteinfallseite dienende erste Hauptoberfläche (3) und eine als Rückseite dienende zweite Hauptoberfläche (4) aufweist, mit einer Passivierungsschicht auf der zweiten Hauptoberfläche (4), umfassend folgende Schritte:

15

- Aufbringen einer oxidhaltigen Schicht (5) auf die zweite Hauptoberfläche (4) des Silizium-Substrats (1); und

20

- Erhitzen des Silizium-Substrats (1) auf eine Temperatur von mindestens 800 °C zum Verdichten der oxidhaltigen Schicht (5) und zur Oxidation der Grenzfläche zwischen der oxidhaltigen Schicht (5) und der zweiten Hauptoberfläche (4) des Silizium-Substrats (1) zur Bildung von thermischem Oxid (6), wobei eine Sauerstoffquelle Sauerstoff für die Oxidation abgibt.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Prozessatmosphäre, insbesondere O₂ und/oder H₂O umfassend, als Sauerstoffquelle fungiert.

30

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die oxidhaltige Schicht derart aufgebracht wird, dass sie, insbesondere SiO₂, ZrO₂, SiO_aN_b und/oder SiO_aC_b, wobei jeweils $b \ll a$ ist, umfassend, sauerstoffdurchlässig ist.

35

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die oxidhaltige Schicht (5), insbesondere SiO₂ umfassend, durch ein CVD- oder ein PECVD-Verfahren, insbesondere unter Verwendung von SiH₄, auf die zweite Hauptoberfläche (4) des Silizium-Substrats (1) aufgebracht wird.

5

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die oxidhaltige Schicht (5) ein überstöchiometrisches Oxid, insbesondere $\text{SiO}_{2+x}:\text{H}$ und/oder ein Oxid mit geringer Dichte und/oder ein hygroskopisches Oxid, vorzugsweise BSG, PSG und/oder TEOS-Oxid, umfasst und die oxidhaltige Schicht (5) als die Sauerstoffquelle fungiert.
- 10
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ferner eine während des Erhitzens des Silizium-Substrats (1) dort entstandene Siliziumoxid-Schicht von der ersten Hauptoberfläche (3) und ein Teil der oxidhaltigen Schicht (5) von der zweiten Hauptoberfläche (4) weggeätzt wird.
- 15
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ferner in die beiden Hauptoberflächen (3) nach dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht (5) ein Dotierstoff, insbesondere Bor, vorzugsweise mittels Bortribromid, und/oder Phosphor, vorzugsweise mittels Phosphoroxychlorid, eindiffundiert wird, wobei der Dotierstoff während des Schritts des Erhitzens des Silizium-Substrats (1) in die erste Hauptoberfläche (3) diffundiert, und wobei die oxidhaltige Schicht (5) während des Erhitzens als Maskierungsschicht der zweiten Hauptoberfläche (4) fungiert.
- 20
- 25
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei ferner während des Erhitzens des Silizium-Substrats (1) entstandene Dotierstoff-Silizium-Verbindungsschichten von der ersten Hauptoberfläche (3) und/oder der zweiten Hauptoberfläche (4) weggeätzt werden.
- 30
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ferner vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht (5) eine Oberflächenstruktur auf die erste Hauptoberfläche (3) und/oder die zweite Hauptoberfläche (4) aufgebracht wird.
- 35

- 5 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ferner vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht (5) die zweite Hauptoberfläche (4) planarisiert wird.
- 10 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ferner die erste Hauptoberfläche (3) und/oder die zweite Hauptoberfläche (4) vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht (5), insbesondere mit HNO_3 , gereinigt werden.
- 15 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ferner Bor oder Phosphor zur Erzeugung einer Back-Surface-Field(BSF)-Schicht (10) in die zweite Hauptoberfläche (4) diffundiert oder implantiert wird, das durch das Erhitzen des Silizium-Substrats (1) aktiviert wird.
- 20 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach einem der Ansprüche 6-12, wobei nach dem Ätzen der beiden Hauptoberflächen (3, 4) eine SiN-Anti-Reflektionsschicht (9) auf die erste Hauptoberfläche (3) und/oder auf die oxidhaltige Schicht (5) der zweiten Hauptoberfläche (4) aufgebracht wird.
- 25 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht (5) ein oder mehrere Löcher durch das Silizium-Substrat (1) zum Verbinden der ersten Hauptoberfläche (3) mit der zweiten Hauptoberfläche (4), insbesondere mittels eines Lasers, hergestellt werden.
- 30 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei vor dem Aufbringen der oxidhaltigen Schicht (5) folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:
- 35 - ein Dotierstoff, insbesondere Bor, vorzugsweise mittels Bortribromid, und/oder Phosphor, vorzugsweise mittels Phosphoroxychlorid, wird in beide Hauptoberflächen (3, 4) eindiffundiert,

- 17 -

- 5 - der Dotierstoff wird durch Erhitzen des Silizium-Substrats (1) in das Silizium-Substrat (1) diffundiert zur Bildung einer Emitter-
schicht auf der ersten Hauptoberfläche (3) und einer Emitter-
schicht auf der zweiten Hauptoberfläche (4),
- 10 - durch das Erhitzen des Silizium-Substrats (1) entstandene Dotier-
stoff-Glasschichten werden von der ersten Hauptoberfläche (3)
und/oder der zweiten Hauptoberfläche (4) weggeätzt,
- 15 - eine Maskierungsschicht, vorzugsweise SiN, wird auf die erste
Hauptoberfläche (3) aufgebracht, und
- 20 - die Emitterschicht der zweiten Hauptoberfläche (4) wird, insbe-
sondere durch Ätzen, entfernt, wobei die SiN-Schicht als Maskie-
rungsschicht der ersten Hauptoberfläche (3) während des Entfer-
nens fungiert.

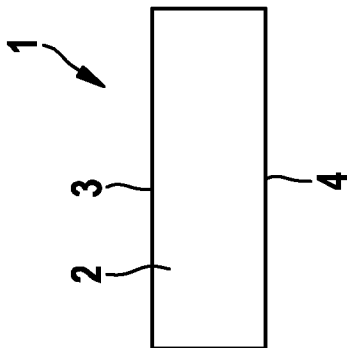


Fig. 1a

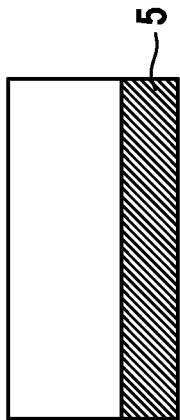


Fig. 1b

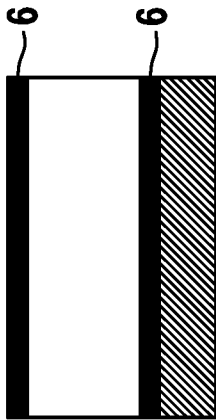


Fig. 1c

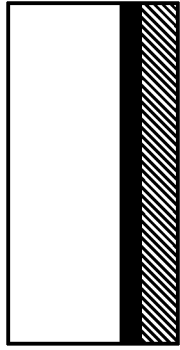


Fig. 1d

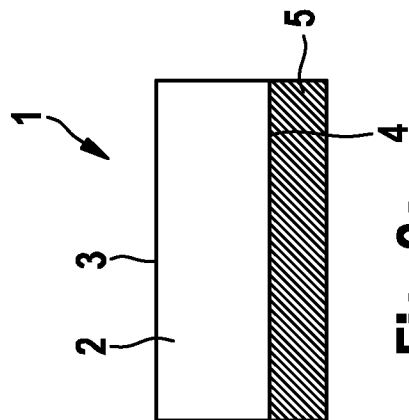


Fig. 2a

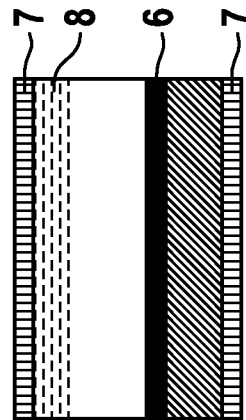


Fig. 2b

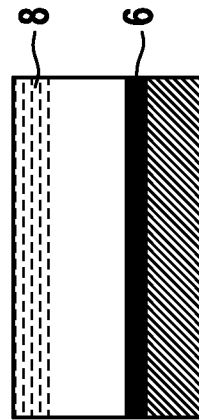


Fig. 2c

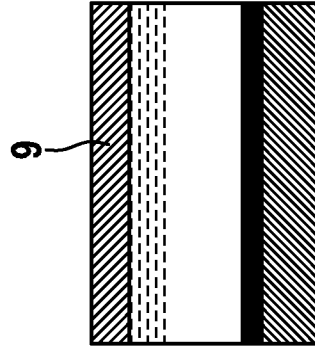


Fig. 2d

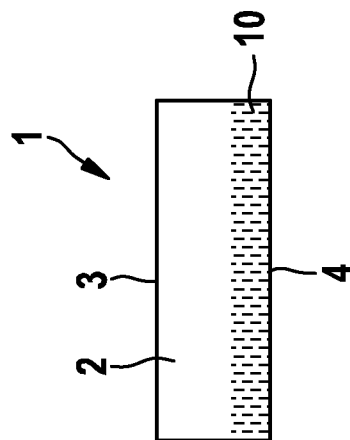


Fig. 3a

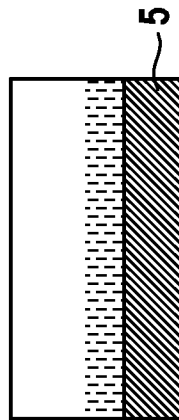


Fig. 3b

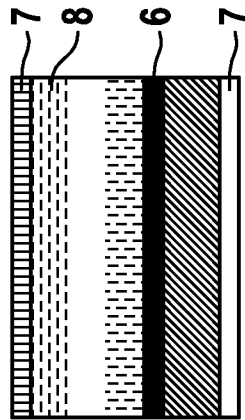


Fig. 3c

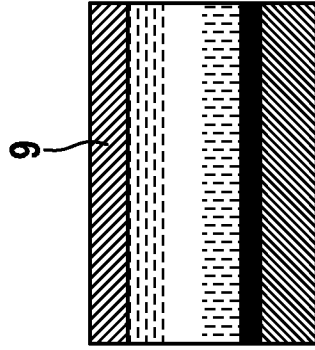


Fig. 3d