

(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
23. Februar 2012 (23.02.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/022349 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/18 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2011/075181
- (22) Internationales Anmeldedatum:
2. August 2011 (02.08.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 033 030.2
2. August 2010 (02.08.2010) DE
10 2010 044 313.1
3. September 2010 (03.09.2010) DE
10 2010 054 182.6
10. Dezember 2010 (10.12.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CENTROTHERM PHOTOVOLTAICS AG** [DE/DE]; Johannes-Schmid-Str. 8, 89143 Blaubeuren (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **OLKOWSKA-OETZEL, Jolanta** [DE/DE]; Weltzienstr. 11, 76135 Karlsruhe (DE). **ISENBERG, Jörg** [DE/DE]; Kapplerstr. 48f, 79117 Freiburg (DE). **TEPPE, Andreas** [DE/DE]; Stifterstr. 8, 78467 Konstanz (DE). **GEIGER, Matthias** [DE/DE]; Volapükweg 3, 78465 Konstanz (DE).
- (74) Anwalt: **HEYERHOFF & GEIGER**; Heiligenbreite 52, 88662 Überlingen (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.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A SOLAR CELL WITH A SELECTIVE EMITTER

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER SOLARZELLE MIT EINEM SELEKTIVEN EMITTER

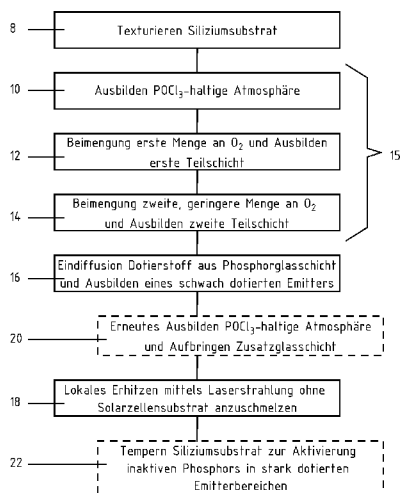


Fig. 1

- 8 Texturing silicon substrate
- 10 Forming POCl₃-containing atmosphere
- 12 Admixing first amount of O₂ and forming first partial layer
- 14 Admixing second, smaller amount of O₂ and forming second partial layer
- 16 Indiffusing dopant from phosphorus glass layer and forming a weakly doped emitter
- 20 Once again forming POCl₃-containing atmosphere and applying additional glass layer
- 18 Local heating by means of laser radiation without melting solar cell substrate
- 22 Heat treatment of silicon substrate for activating inactive phosphorus in heavily doped emitter regions

(57) Abstract: Method for producing a solar cell with a selective emitter comprising the steps of forming (10, 12, 14) a dopant-containing glass layer (55) on at least one part of a surface of a solar cell substrate (50), forming (16) a weakly doped emitter (58) in regions of the solar cell substrate (50) that are covered by the glass layer (55) by indiffusing (16) dopant from the glass layer (55) into the solar cell substrate (50), locally indiffusing (18) additional dopant from the glass layer (55) into the solar cell substrate (50) by locally heating (18) regions of the solar cell substrate (50) that are located below the glass layer (55) for the purpose of locally forming (18) heavily doped emitter regions (60), wherein, as dopant-containing glass layer (55), such a glass layer (55) is formed (10, 12, 14) on the at least one part of the surface of the solar cell substrate (50), which glass layer has a lower dopant concentration in a first partial layer (52) of the glass layer (55), said first partial layer being located nearer the surface of the solar cell substrate (50), than in a second partial layer (54) of the glass layer (55), said second partial layer being located further away from the surface of the solar cell substrate (50).

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/022349 A2



- (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).
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)
- Veröffentlicht:**
- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

mit einem selektiven Emitter aufweisend die Schritte des Ausbildens (10, 12, 14) einer Dotierstoff enthaltenden Glasschicht (55) auf wenigstens einem Teil einer Oberfläche eines Solarzellensubstrats (50), des Ausbildens (16) eines schwach dotierten Emitters (58) in von der Glasschicht (55) bedeckten Bereichen des Solarzellensubstrats (50) durch Eindiffusion (16) von Dotierstoff aus der Glasschicht (55) in das Solarzellensubstrat (50) hinein, der lokalen Eindiffusion (18) zusätzlichen Dotierstoffs aus der Glasschicht (55) in das Solarzellensubstrat (50) hinein durch lokales Erhitzen (18) von unter der Glasschicht (55) gelegenen Bereichen des Solarzellensubstrats (50) zum Zwecke der lokalen Ausbildung (18) stark dotierter Emitterbereiche (60), bei welchem als Dotierstoff enthaltende Glasschicht (55) solch eine Glasschicht (55) auf dem wenigstens einen Teil der Oberfläche des Solarzellensubstrats (50) ausgebildet wird (10, 12, 14), die in einer näher an der Oberfläche des Solarzellensubstrats (50) gelegenen ersten Teilschicht (52) der Glasschicht (55) eine niedrigere Dotierstoffkonzentration aufweist als in einer weiter von der Oberfläche des Solarzellensubstrats (50) entfernt gelegenen zweiten Teilschicht (54) der Glasschicht (55).

Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle mit einem selektiven Emitter

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle mit einem selektiven Emitter gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Seit geraumer Zeit ist bekannt, dass sich der Wirkungsgrad von Solarzellen durch die Ausbildung selektiver Emitterstrukturen verbessern lässt. Eine für die industrielle Solarzellenfertigung interessante Variante der Herstellung eines selektiven Emitters ist die Laserdiffusion. Diese sieht vor, dass zunächst ein homogener, schwach dotierter und somit hochohmiger Emitter auf einem Solarzellensubstrat ausgebildet wird. Im Weiteren wird das Solarzellensubstrat lokal mittels Laserstrahlung erhitzt. Auf diese Weise kann zum einen die Position von bereits im Solarzellensubstrat vorhandenem Dotierstoff verändert werden; beispielsweise kann er tiefer in das Solarzellensubstrat hineingetrieben und auf diese Weise das Emitterprofil lokal verändert werden. Zudem kann das Verhältnis von elektrisch inaktivem Dotierstoff zu elektrisch aktivem Dotierstoff lokal verändert werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, zusätzlichen Dotierstoff aus einer auf dem Solarzellensubstrat vorhandenen Dotierstoffquelle, beispielsweise aus einem Phosphor- oder Borglas, lokal in das Solarzellensubstrat einzudiffundieren und so die Dotierstoffkonzentration lokal zu erhöhen. Die beschriebenen Effekte ermöglichen es, lokal stark dotierte Emitterbereiche auszubilden, welche zusammen mit dem im Übrigen vorhandenen schwachen Emitter den gewünschten selektiven Emitter bilden.

30

In der Praxis ergeben sich für die Laserdiffusion einige Beschränkungen, welche die Ausbildung eines optimalen selektiven

Emitters behindern. So werden beispielsweise Phosphor- oder
Bordiffusionen darauf ausgelegt, ein für die Stromgeneration
optimales Emitterprofil, genauer gesagt Emittertiefenprofil,
auszubilden. Dies führt dazu, dass bei nachfolgenden Laserdif-
5 fusionen weniger Dotierstoff in dotierstoffhaltigen Glas-
schichten zur Verfügung steht, als für die Ausbildung optima-
ler stark dotierter Bereiche des selektiven Emitters erforder-
lich wäre. Hierdurch ergeben sich erhöhte Kontaktwiderstände
zwischen den stark dotierten Emitterbereichen und darauf ange-
10 ordneten Metallkontakten der fertigen Solarzelle, was sich ne-
gativ auf den Wirkungsgrad der Solarzelle auswirkt.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde,
ein verbessertes Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle
15 mit einem selektiven Emitter mittels Laserdiffusion zur Verfü-
gung zu stellen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch das kennzeichnende Merkmal des
Anspruchs 1.

20

Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand abhängiger Unter-
ansprüche.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, als Dotierstoff
25 enthaltende Glasschicht solch eine Glasschicht auf dem wenig-
stens einen Teil der Oberfläche des Solarzellensubstrats auszu-
bilden, die in einer näher an der Oberfläche des Solarzellen-
substrats gelegenen ersten Teilschicht der Glasschicht eine
niedrigere Dotierstoffkonzentration aufweist als in einer wei-
30 ter von der Oberfläche des Solarzellensubstrats entfernt gele-
genen zweiten Teilschicht der Glasschicht.

Auf diese Weise ist es möglich, in stark dotierten Emitterbe-
reichen des Solarzellensubstrats oberflächennah Dotierstoff in

sehr hoher Konzentration vorzusehen und nur eine geringe Menge an Dotierstoff tiefer ins Solarzellensubstrat einzutreiben und dort zu aktivieren. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es somit, aufwandsgünstig Solarzellen mit einem geringen Kon-
5 takt-, beziehungsweise Kontaktübergangswiderstand, zwischen den stark dotierten Emitterbereichen und einer darauf angeordneten Metallisierung herzustellen, ohne dass die Ladungsträgerkombination im Volumen der Solarzelle durch tief eingetriebenen, elektrisch aktiven zusätzlichen Dotierstoff verstärkt
10 wird. Infolgedessen können aufwandsgünstig Solarzellen mit gesteigertem Wirkungsgrad hergestellt werden.

Der Abstand der Teilschichten von der Oberfläche des Solarzellensubstrats ist bezogen auf die nächstgelegene Oberfläche des
15 Solarzellensubstrats zu bestimmen. Als Dotierstoff kann beispielsweise Phosphor oder Bor vorgesehen werden. Als Glasschicht, und somit auch als Teilschichten der Glasschicht, wird bevorzugt eine Phosphor- oder Borglasschicht verwendet. Als Solarzellensubstrat wird vorzugsweise ein Siliziumsubstrat
20 verwendet.

Unter einem schwach dotierten Emitter im vorliegenden Sinne ist ein Emitter mit einem Schichtwiderstand von 80 Ω /square bis 200 Ω /square zu verstehen. Vorzugsweise wird ein schwach
25 dotierter Emitter mit einem Schichtwiderstand von 100 Ω /square bis 180 Ω /square und besonders bevorzugt mit einem Schichtwiderstand von 120 Ω /square bis 160 Ω /square ausgebildet. Stark dotierte Emitterbereiche im vorliegenden Sinne weisen einen Schichtwiderstand von weniger als 60 Ω /square auf.

30

In einer Ausführungsvariante des Verfahrens wird die Glasschicht derart ausgestaltet, dass sie in der zweiten Teilschicht eine mindestens doppelt so hohe Dotierstoffkonzentration aufweist wie in der ersten Teilschicht.

Vorzugsweise wird die zweite Teilschicht nach einem sogenannten Eintreibschritt, welcher häufig als drive-in-Schritt bezeichnet wird und während welchem Dotierstoff aus der Glasschicht in das Solarzellensubstrat eingetrieben wird, ausgebildet.

Ergänzend zu der ersten und zweiten Teilschicht der Glasschicht können weitere Teilschichten vorgesehen werden, die derartige Dotierstoffkonzentrationen aufweisen, dass sich insgesamt eine über die Dicke der Glasschicht hinweg monoton abfallende Dotierstoffkonzentration ergibt. Vorzugsweise werden die Teilschichten und deren Dotierstoffkonzentrationen derart gewählt, dass sich eine über die Dicke der Glasschicht hinweg streng monoton abfallende Dotierstoffkonzentration ergibt.

Vorteilhafterweise wird der wenigstens eine Teil der Oberfläche des Solarzellensubstrats vor dem Ausbilden der Glasschicht mit einer Textur versehen. Diese kann auf jede an sich bekannte Weise ausgebildet werden, beispielsweise durch nasschemisches Ätzen.

Die erste und die zweite Teilschicht der Dotierstoff enthaltenden Glasschicht werden vorzugsweise ausgebildet, bevor Dotierstoff aus der Dotierstoff enthaltenden Glasschicht in erheblichem Umfang in das Solarzellensubstrat eindiffundiert wird. Eine Eindiffusion von Dotierstoff in erheblichem Umfang liegt vor, wenn diese bei dem Solarzellensubstrat einen Schichtwiderstand von weniger als 300 Ω /square bewirkt.

Besonders bevorzugt werden die erste und die zweite Teilschicht der Dotierstoff enthaltenden Glasschicht ausgebildet, bevor zum Zwecke des Ausbildens des schwach dotierten Emitters Dotierstoff aus der Dotierstoff enthaltenden Glasschicht in das Solarzellensubstrat eindiffundiert wird.

Vorteilhafterweise werden die erste und die zweite Teilschicht der Dotierstoff enthaltenden Glasschicht ausgebildet, bevor die lokale Eindiffusion des zusätzlichen Dotierstoffs erfolgt.

5

Bevorzugt wird als Glasschicht im Verlauf einer POCl_3 -Diffusion eine Phosphorglasschicht ausgebildet. Bei dieser Variante wird vorteilhaft einer im Verlauf der POCl_3 -Diffusion gebildeten POCl_3 -haltigen Atmosphäre während eines ersten Zeitraums zum
10 Zwecke des Ausbildens der ersten Teilschicht eine erste Menge an O_2 beigemischt. Ferner wird der im Verlauf der POCl_3 -Diffusion gebildeten POCl_3 -haltigen Atmosphäre während eines späteren zweiten Zeitraums zum Zwecke des Ausbildens der zweiten Teilschicht eine zweite Menge an O_2 beigemischt, welche geringer ist als die erste Menge an O_2 . Auf diese Weise können
15 aufwandsgünstig in einem ohnehin durchgeführten Ofenschritt, nämlich dem der POCl_3 -Diffusion, beide Teilschichten der Glasschicht ausgebildet werden. In der Praxis hat es sich bewährt, zur Ausbildung der POCl_3 -Atmosphäre Stickstoffgas als Trägergas
20 durch eine häufig als „bubbler“ bezeichnete Dotierstoffquelle zu leiten. Die oben beschriebenen monoton oder streng monoton über die Dicke der Glasschicht hinweg abfallenden Dotierstoffkonzentrationen können einfach realisiert werden, indem die Beimischung O_2 kontinuierlich gesteuert oder geregelt wird. Ferner
25 kann es von Vorteil sein, wenn der zweite Zeitraum erst nach Beendigung eines Eintreibschrittes beginnt, die zweite Teilschicht also erst ausgebildet wird, nachdem bereit Phosphor aus der ersten Teilschicht in das Solarzellensubstrat eingetrieben worden ist.

30

Vorteilhafterweise wird der lokal eindiffundierte zusätzliche Dotierstoff bis zu einer maximalen Tiefe von 30 nm in das Solarzellensubstrat eingetrieben, vorzugsweise bis zu einer maximalen Tiefe von 20 nm und besonders bis zu einer maximalen

Tiefe von 10 nm. Da sich herausgestellt hat, dass für einen niedrigen Kontaktwiderstand zwischen den stark dotierten Emitterbereichen und darauf angeordneten Kontakten im Wesentlichen die oberflächennahe Konzentration an elektrisch aktivem und inaktivem Dotierstoff entscheidend ist, kann auf diese Weise
5 eine Veränderung des Emitterprofils in die genannten Werte übersteigenden Tiefen verhindert werden, sodass eine Zunahme der Ladungsträgerrekombination vermieden werden kann.

10 Bevorzugt wird bei dem lokalen Eindiffundieren solch eine Menge elektrisch inaktiven Dotierstoffs in das Solarzellensubstrat eindiffundiert, dass in den stark dotierten Emitterbereichen elektrisch inaktiver Dotierstoff in einer Konzentration von mindestens 10^{20} cm^{-3} vorliegt. Auf diese Weise kann der
15 Kontaktwiderstand zwischen stark dotierten Emitterbereichen und darauf angeordneten Kontakten bei geringer Auger-Rekombination realisiert werden.

Bevorzugt erfolgt das lokale Erhitzen von unter der Glas-
20 schicht gelegenen Bereichen des Solarzellensubstrats mittels gepulster Laserstrahlung mit einer Pulslänge von weniger als 300 ns, vorzugsweise von weniger als 100 ns. Auf diese Weise wird das Solarzellensubstrat nur sehr nahe an seiner Oberfläche erhitzt und damit ein tiefes Eindiffundieren zusätzlichen
25 Dotierstoffs verhindert. In der Praxis haben sich Laser mit einem sogenannten Flattop-Profil bewährt. Vorteilhafterweise wird ein quadratisches oder rechteckiges Flattop-Profil verwendet. Hierdurch kann ein homogener Wärmeeintrag in das Solarzellensubstrat gewährleistet werden. Im Fall eines rechteckigen Flattop-Profiles kann das Seitenverhältnis beispielsweise
30 1:10 betragen, bevorzugt wird jedoch ein Seitenverhältnis von 1:5 und besonders bevorzugt eines von 1:3. Dies ermöglicht einen hohen Durchsatz in der Fertigung.

Die unter der Glasschicht gelegenen Bereiche des Solarzellen-
substrats werden vorzugsweise lokal mittels Laserstrahlung mit
einer Wellenlänge von 532 nm oder weniger erhitzt. Besonders
bevorzugt wird blaue oder ultraviolette Laserstrahlung einge-
5 setzt. Dies erleichtert es, ein tiefes Eindiffundieren des zu-
sätzlichen Dotierstoffs zu verhindern. Zudem wird eine hohe
Bearbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht.

Generell wird bei dem lokalen Erhitzen die Laserstrahlung vor-
10 zugsweise überlappfrei über das Solarzellensubstrat geführt
und ein mehrfaches Abrastern des Solarzellensubstrats vermie-
den.

Nach dem Ausbilden des schwach dotierten Emitters und vor der
15 lokalen Eindiffusion des zusätzlichen Dotierstoffs wird vor-
teilhafterweise eine in der Glasschicht vorherrschende mittlere
Dotierstoffkonzentration erhöht. Die mittlere Dotierstoff-
konzentration berechnet sich dabei aus der Summe des insgesamt
in der gesamten Glasschicht enthaltenen Dotierstoffs bezogen
20 auf das Volumen der gesamten Glasschicht. Auf diese Weise kann
sichergestellt werden, dass auch nach dem Ausbilden des
schwach dotierten Emitters und der damit verbundenen Eindiffu-
sion von Dotierstoff in das Solarzellensubstrat genügend Do-
tierstoff in der Glasschicht zur Verfügung steht, um im Rahmen
25 der Ausbildung stark dotierter Emitterbereiche eine hinrei-
chende Menge zusätzlichen Dotierstoffs lokal in das Solarzel-
lensubstrat eindiffundieren zu können.

Die in der Glasschicht vorherrschende mittlere Dotierstoffkon-
30 zentration kann beispielsweise dadurch erhöht werden, dass
weiterer Dotierstoff in die bestehende Glasschicht eingebracht
wird, beispielsweise durch Eindiffusion von Dotierstoff aus
einer zusätzlichen Dotierstoffquelle in die bestehende Glas-
schicht hinein.

Alternativ oder zusätzlich kann zur Erhöhung der in der Glasschicht vorherrschenden mittleren Dotierstoffkonzentration eine Zusatzglasschicht, welche eine die mittlere Dotierstoffkonzentration der Glasschicht übersteigende Dotierstoffkonzentration aufweist auf die bestehende Glasschicht aufgebracht werden. Hierdurch ergibt sich eine vergrößerte Glasschicht mit einer erhöhten mittleren Dotierstoffkonzentration. Die Zusatzglasschicht kann beispielsweise aufgebracht werden, indem die Glasschicht nach dem Ausbilden des schwach dotierten Emitters einer POCl_3 - oder einer BBr_3 -haltigen Atmosphäre ausgesetzt wird.

Nachdem das Ausbilden des schwach dotierten Emitters und die lokale Eindiffusion des zusätzlichen Dotierstoffs erfolgt ist, wird vor einem Aufbringen einer Metallisierung auf die stark dotierten Emitterbereiche das Solarzellensubstrat vorzugsweise getempert. Hierbei wird in den stark dotierten Emitterbereichen vorliegender, elektrisch inaktiver Phosphor aktiviert. Das Tempern erfolgt vorteilhafterweise bei Temperaturen im Bereich von 750°C bis 1000°C während einer Dauer von zwei Sekunden bis 30 Minuten. Besonders bevorzugt wird in einer aus Stickstoff und/oder Sauerstoff bestehenden Atmosphäre getempert.

Vorteilhafterweise wird bei dem lokalen Erhitzen von unter der Glasschicht gelegenen Bereichen des Solarzellensubstrats ein Oberflächenanteil des Solarzellensubstrats angeschmolzen und rekristallisiert, der weniger als 10%, vorzugsweise weniger als 5% der Gesamtoberfläche aller lokal erhitzten Bereiche beträgt. Besonders bevorzugt wird das Solarzellensubstrat bei dem lokalen Erhitzen überhaupt nicht angeschmolzen. Auf diese Weise kann, wie in der deutschen Patentanmeldung mit Anmeldenummer 10 2010 010 813.8 beschrieben, eine Schädigung der

Kristallstruktur in Folge des lokalen Erhitzens, insbesondere mittels Laserstrahlung, weitestgehend vermieden werden. Dies wirkt sich positiv auf den Wirkungsgrad der gefertigten Solarzelle aus.

5

Das lokale Erhitzen der unter der Glasschicht gelegenen Bereiche des Solarzellensubstrats kann unter einer Schutzgasatmosphäre erfolgen. Zu diesem Zweck kann das Solarzellensubstrat, zumindest teilweise, in der Schutzgasatmosphäre angeordnet werden. Vorzugsweise werden die unter der Glasschicht gelegenen Bereiche des Solarzellensubstrats lokal mittels Laserstrahlung erhitzt und das Solarzellensubstrat dabei wenigstens zum Teil, vorzugsweise vollständig, in der Schutzgasatmosphäre angeordnet. Die Schutzgasatmosphäre kann gebildet sein durch ein Stickstoff und/oder ein Edelgas, beispielsweise Argon, aufweisendes Gasgemisch. Vorzugsweise wird Stickstoff oder Argon als Schutzgas verwendet.

Unabhängig von dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Herstellung einer Solarzelle mit selektivem Emitter mittels Laserdiffusion auf folgende Weisen verbessert werden:

Bei der Laserdiffusion, das heißt bei einer lokalen Eindiffusion zusätzlichen Dotierstoffs in das Solarzellensubstrat hinein durch lokales Erhitzen des Solarzellensubstrats zum Zwecke der lokalen Ausbildung stark dotierter Emitterbereiche, wird Laserstrahlung mit sehr kurzer Pulsdauer von weniger als 300 ns, vorzugsweise von weniger als 100 ns, verwendet. Wie oben beschrieben kann auf diese Weise ein nachteiliges tiefes Eindiffundieren von Dotierstoff in das Solarzellensubstrat verhindert werden. Hierzu trägt überdies die Verwendung von Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 532 nm oder weniger, besonders bevorzugt von blauer oder ultravioletter Laserstrahlung, bei.

Eine alternative oder ergänzende Option zur Verfahrensverbesserung, und damit zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe, besteht darin, zunächst eine dotierstoffhaltige Glasschicht auf einem Siliziumsubstrat auszubilden und während eines nachfolgenden Eindiffundierens, beziehungsweise Eintreibens, von Dotierstoff aus diesem dotierstoffhaltigen Glas in das Siliziumsubstrat eine Siliziumoxidschicht auf das Siliziumsubstrat aufzuwachsen. Die Siliziumoxidschicht beginnt dabei an der Grenzschnitt von dem dotierstoffhaltigen Glas zu dem Siliziumsubstrat aus zu wachsen. Infolgedessen ergibt sich eine flächige Diffusionsbarriere unter dem dotierstoffhaltigen Glas. Diese verhindert eine zu starke Eindiffusion von Dotierstoff aus dem mit einer hohen Dotierstoffkonzentration versehenen dotierstoffhaltigen Glas. Die Siliziumoxidschicht ist dabei derart auszubilden, dass infolge ihrer Barrierenwirkung zunächst nur ein schwach dotierter Emitter ausgebildet wird, dessen Dotierstoffkonzentration an der Oberfläche des Solarzellensubstrats im Falle eines Phosphoremitters weniger als $2 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, vorzugsweise weniger als 10^{20} cm^{-3} , beträgt. In diesem Sinne behindert die Siliziumoxidschicht die Eindiffusion von Dotierstoff aus dem dotierstoffhaltigen Glas in das Siliziumsubstrat hinein. Gleichzeitig ist die Dicke der Siliziumoxidschicht gering genug zu wählen, dass mittels lokalen Erhitzens mit Laserstrahlung lokal erheblich größere Mengen Dotierstoff in das Siliziumsubstrat eingetrieben werden können als in den nicht bestrahlten Bereichen. Im Falle eines Phosphoremitters wird die Siliziumoxidschicht vorzugsweise derart ausgestaltet, dass in den mittels Laser behandelten Bereichen nach der Laserbehandlung eine Konzentration an elektrisch aktivem Phosphor vorliegt, welche der Löslichkeit von Phosphor in Silizium entspricht, das heißt in etwa $3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, sowie eine erhebliche Konzentration an elektrisch inaktivem Phosphor. Im Falle eines Phosphoremitters kann die beschriebene Option

zur Verfahrensverbesserung beispielsweise folgendermaßen realisiert werden: Zunächst wird das Siliziumsubstrat einer POCl_3 -haltigen Atmosphäre ausgesetzt und dabei eine erste Teilschicht einer Phosphorglasschicht ausgebildet. Im Weiteren
5 wird das Siliziumsubstrat einer O_2 -Atmosphäre ausgesetzt und die Siliziumoxidschicht unmittelbar auf das Siliziumsubstrat aufgewachsen. Die Siliziumoxidschicht wird also zwischen der ersten Teilschicht der Phosphorglasschicht und dem Siliziumsubstrat ausgebildet. Nachfolgend wird das Siliziumsubstrat
10 erneut einer POCl_3 -haltigen Atmosphäre ausgesetzt und dabei wenigstens eine weitere Teilschicht der Phosphorglasschicht ausgebildet.

Eine weitere alternative oder ergänzende Option zur Verfahrensverbesserung besteht darin, zunächst eine Dotierstoff enthaltende Glasschicht auf einem Solarzellensubstrat auszubilden und im Weiteren Dotierstoff aus dieser Glasschicht in das Solarzellensubstrat einzudiffundieren und auf diese Weise einen schwach dotierten Emitter auszubilden. Im Weiteren wird noch
20 vor der Laserdiffusion weiterer Dotierstoff in die bestehende Glasschicht eingebracht oder eine Zusatzglasschicht auf die bestehende Glasschicht aufgebracht, wobei die Zusatzglasschicht eine höhere Dotierstoffkonzentration aufweist als die bestehende Glasschicht zum Zeitpunkt des Aufbringens der Zusatzglasschicht. Auf diese Weise steht für eine sich anschließende lokale Eindiffusion zusätzlichen Dotierstoffs aus der Glasschicht in das Solarzellensubstrat hinein, beispielsweise durch lokales Erhitzen des Solarzellensubstrats mittels Laserstrahlung, genügend Dotierstoff zur Verfügung, ohne dass dieser bereits während des Ausbildens des schwach dotierten Emitters
30 vorhanden gewesen wäre. Somit steht für die lokale Eindiffusion zusätzlichen Dotierstoffs genügend Dotierstoff zur Verfügung, ohne dass die Gefahr besteht, dass dieser bereits während des Ausbildens des schwach dotierten Emitters uner-

wünscht tief in das Solarzellensubstrat eindiffundiert. Dem-
entsprechend ist es zu vermeiden, nach dem Einbringen weiteren
Dotierstoffs in die bestehende Glasschicht, bzw. nach Aufbrin-
gen der Zusatzglasschicht, das Solarzellensubstrat längere
5 Zeit hohen Temperaturen auszusetzen.

Eine weitere alternative oder ergänzende Verbesserungsoption
besteht darin, dass, nachdem ein Ausbilden eines schwach do-
tierten Emitters und eine lokale Eindiffusion zusätzlichen Do-
10 tierstoffs erfolgt ist und noch vor einem Aufbringen einer Me-
tallisierung auf stark dotierte Emitterbereiche, das Solarzel-
lensubstrat getempert wird. Hierbei wird in den stark dotier-
ten Emitterbereichen mittels der lokalen Eindiffusion einge-
brachter elektrisch inaktiver Dotierstoff aktiviert, sodass
15 der Schichtwiderstand in diesen Bereichen weiter verringert
wird. Dies ermöglicht wiederum geringe Kontaktübergangswider-
stände zwischen den stark dotierten Emitterbereichen und einer
darauf aufgebrauchten Metallisierung.

20 Getempert wird vorzugsweise in einem Temperaturbereich von
700°C bis 1000°C, besonders bevorzugt in einem Temperaturbe-
reich von 750°C bis 800°C, während einer Zeit von zwei Sekun-
den bis 30 Minuten. Das Tempern erfolgt dabei vorteilhafter-
weise in einer aus Stickstoff und/oder Sauerstoff (O₂) beste-
25 henden Atmosphäre.

Die beschriebenen Weisen der Verfahrensverbesserung können in
vorteilhafter Weise beliebig miteinander kombiniert werden.
30

Unabhängig von dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Her-
stellung einer Solarzelle mit selektivem Emitter mittels La-
serdiffusion zudem auf folgende weitere Weisen verbessert wer-
den:

Eine Dotierstoff enthaltende Glasschicht wird auf wenigstens einem Teil einer Oberfläche eines Solarzellensubstrats ausgebildet. Aus dieser Glasschicht heraus wird Dotierstoff in das Solarzellensubstrat eindiffundiert und in dieser Weise ein
5 schwach dotierter Emitter in von der Glasschicht bedeckten Bereichen des Solarzellensubstrats ausgebildet. Nachfolgend wird auf wenigstens einem Teilbereich derjenigen Bereiche des Solarzellensubstrats, in denen zuvor der schwach dotierte Emitter ausgebildet wurde, eine weitere Dotierstoffquelle auf das
10 Solarzellensubstrat aufgebracht. Diese weitere Dotierstoffquelle kann mittelbar oder unmittelbar auf das Solarzellensubstrat aufgebracht werden. Im Weiteren werden unter der weiteren Dotierstoffquelle gelegene Bereiche des Solarzellensubstrats lokal erhitzt, vorzugsweise mittels Laserstrahlung, und
15 in dieser Weise zusätzlicher Dotierstoff aus der weiteren Dotierstoffquelle in das Solarzellensubstrat eindiffundiert. Dies dient dazu, lokal stark dotierte Emitterbereiche auszubilden.

20

Die weitere Dotierstoffquelle wird vorzugsweise ganzflächig auf eine Emitterseite des Solarzellensubstrats aufgebracht. Unter der Emitterseite ist dabei diejenige Seite des Solarzellensubstrats zu verstehen, auf welcher der Emitter sich über
25 die größte Fläche erstreckt.

Bei derjenigen Variante, bei welcher die weitere Dotierstoffquelle mittelbar auf das Solarzellensubstrat aufgebracht wird, wird die weitere Dotierstoffquelle vorzugsweise auf die Glasschicht aufgebracht. Insbesondere kann sie unmittelbar auf die
30 Glasschicht aufgebracht werden. Nach der Eindiffusion zusätzlichen Dotierstoffs aus der weiteren Dotierstoffquelle in das Solarzellensubstrat werden Reste der weiteren Dotierstoffquel-

le, die Glasschicht und etwaige bei dem lokalen Erhitzen des Solarzellensubstrats gebildete Oxide entfernt.

Bei derjenigen Variante, bei welcher die weitere Dotierstoff-
5 quelle unmittelbar auf das Solarzellensubstrat aufgebracht
wird, wird zuvor die Glasschicht entfernt. Nach der Eindiffu-
sion zusätzlichen Dotierstoffs aus der weiteren Dotierstoff-
quelle in das Solarzellensubstrat werden Reste der weiteren
Dotierstoffquelle und etwaige bei dem lokalen Erhitzen des So-
10 larzellensubstrats gebildete Oxide entfernt.

Bei beiden Varianten kann das Ausbilden der Glasschicht und
die Eindiffusion von Dotierstoff aus der Glasschicht in das
Solarzellensubstrat hinein zum Zwecke der Ausbildung schwach
15 dotierter Emitterbereiche unabhängig von der Ausbildung stark
dotierter Emitterbereiche erfolgen. So braucht die Glasschicht
und deren Dotierstoffgehalt beispielsweise nicht dahingehend
ausgelegt zu werden, das während des lokalen Erhitzens genü-
gend Dotierstoff für die Ausbildung stark dotierter Emitterbe-
20 reiche zur Verfügung steht. Hierdurch ergeben sich vorteilhaf-
te Freiheiten in der Verfahrensführung und für die Optimierung
des selektiven Emitters.

Die weitere Dotierstoffquelle kann mittel chemischer Abschei-
25 dung aus der Dampfphase (CVD), vorzugsweise bei Atmosphären-
druck (APCVD), aufgebracht werden.

Vorzugsweise wird als weitere Dotierstoffquelle eine dotier-
stoffhaltige Flüssigkeit auf das Solarzellensubstrat aufge-
30 bracht. Besonders bevorzugt wird die dotierstoffhaltige Flüs-
sigkeit auf das Solarzellensubstrat aufgesprüht. Alternativ
kann sie beispielsweise mittels eines Tauchverfahrens aufge-
bracht werden.

Als dotierstoffhaltige Flüssigkeit kann beispielsweise Phosphorsäure aufgebracht werden. In der Praxis hat sich die Verwendung von ein- bis zwanzigprozentiger Phosphorsäure bewährt.

5 Die Glasschicht und/oder Reste der weiteren Dotierstoffquelle und/oder etwaige bei dem lokalen Erhitzen gebildete Oxide können durch Ätzen entfernt werden. Beispielsweise kann das Ätzen in einer an sich bekannten Phosphor- oder Borsilikatglasätzanlage erfolgen. Ferner kann das Ätzen der Glasschicht und/oder
10 Reste der weiteren Dotierstoffquelle und/oder etwaiger gebildeter Oxide in Verbindung mit einer an sich bekannten chemischen Isolation von Kanten des Solarzellensubstrats erfolgen.

Sofern eine dotierstoffhaltige Flüssigkeit als weitere Dotierstoffquelle verwendet wird, wird diese, beziehungsweise deren
15 Reste, nach der Eindiffusion zusätzlichen Dotierstoffs aus der weiteren Dotierstoffquelle in das Solarzellensubstrat vorzugsweise durch Abspülen oder Abwaschen entfernt.

20 Die Glasschicht kann beispielsweise im Rahmen einer Röhrendiffusion ausgebildet werden, beispielsweise im Rahmen einer POCl_3 -Diffusion.

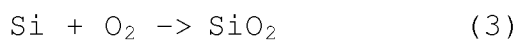
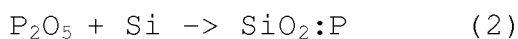
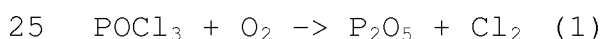
Unabhängig von dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Herstellung einer Solarzelle des Weiteren durch die nachfolgend beschriebenen Weisen verbessert werden, die darauf abzielen, die Oberflächenkonzentration eines in die Emitterseite eines Solarzellensubstrats eindiffundierten Dotierstoffs zu verringern. Hierdurch soll die Bildung sogenannter „dead layers“
25 verhindert werden, in welchen der Dotierstoff in einer derart hohen Konzentration vorliegt, dass elektrisch inaktiver Dotierstoff in relevantem Umfang vorliegt und als Rekombinationszentrum für generierte Elektron-Loch-Paare dienen kann. Zudem verschlechtert sich mit zunehmender Oberflächenkonzentra-
30

tion des Dotierstoffs auf der Emitterseite des Solarzellensubstrats die elektrische Passivierungswirkung einer auf die emitterseitige Oberfläche des Solarzellensubstrats aufgebrachten Antireflexionsbeschichtung, beispielsweise einer Siliziumnitridschicht. Eine verringerte Oberflächenkonzentration des Dotierstoffs auf der Emitterseite des Solarzellensubstrats kann eine reduzierte Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit der Ladungsträger bewirken. Eine geringere Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit ermöglicht, ebenso wie eine geringere Anzahl an Rekombinationszentren für Elektron-Loch-Paare im Emitter der Solarzelle, eine Verbesserung des Wirkungsgrads der Solarzelle.

Im Falle der Ausbildung des Emitters mittels einer POCl_3 -Diffusion besteht eine erste Alternative zur Verfahrensverbesserung durch Reduktion der Phosphor-Oberflächenkonzentration darin, den Diffusionsvorgang mit einem hohen POCl_3 -Fluss zu begünstigen und den POCl_3 -Fluss im Weiteren fortwährend zu verringern.

20

Im Rahmen der POCl_3 -Diffusion wird eine Phosphorglasschicht ausgebildet. Unter Verwendung eines Siliziumsolarzellensubstrats laufen hierbei folgende Reaktionen ab:



Die Reaktion (2) verläuft schnell, während die Reaktion (3) vergleichsweise langsam abläuft. Aufgrund des anfänglich hohen POCl_3 -Flusses wird daher zu Beginn des Emitterdiffusionsvorganges schnell gemäß Reaktionsgleichung (2) die Phosphorglasschicht ausgebildet. Die Phosphorglasbildung, das heißt die Reaktion (2), erfolgt dabei an der Grenzfläche zwischen dem

massiven Silizium des eingesetzten Siliziumsolarzellensubstrats und der darauf bereits ausgebildeten Phosphorglasschicht. Die Phosphorglasschicht wächst also gleichsam von der Grenzfläche zu dem massiven Silizium des Siliziumsolarzellen-

5 substrats an nach außen. Wird nun, wie dies die erste Alternative der Verfahrensverbesserung vorsieht, der POCl_3 -Fluss fortwährend reduziert, so wird die Phosphorglasbildung verlangsamt. Da gemäß Reaktionsgleichung (1) bei einer POCl_3 -Diffusion stets O_2 vorhanden ist und dessen Fluss unverändert bleibt, re-

10 agiert das Silizium des Siliziumsolarzellensubstrats nun vermehrt mit O_2 zu SiO_2 . Infolgedessen wird ein Phosphorglas mit sehr geringem Phosphorgehalt oder gar eine phosphorfremie Siliziumoxidschicht ausgebildet.

15 Während des Emitterdiffusionsvorgangs wird nicht nur die Phosphorglasschicht ausgebildet, sondern auch Phosphor aus der Phosphorglasschicht in das Siliziumsolarzellensubstrat eindiffundiert, wo es den Emitter bildet. Während der Phosphor aus einer anfänglich gebildeten Phosphorglasteilschicht mit hohem

20 Phosphorgehalt in vergleichsweise großer Menge in das Siliziumsolarzellensubstrat eindiffundieren kann, ist die Eindiffusion des Phosphors zu einem späteren Zeitpunkt durch eine zwischenzeitlich ausgebildete, phosphorarme Phosphorglasteilschicht, beziehungsweise durch eine gegebenenfalls gebildete

25 Siliziumoxidschicht, gehemmt, sodass Phosphor nur noch in geringerer Menge die Grenzfläche zu dem Siliziumsolarzellensubstrat überwindet. Der zuvor in größeren Mengen eindiffundierte Phosphor ist zwischenzeitlich bereits tiefer in das Volumen des Siliziumsolarzellensubstrats eindiffundiert. Infolgedessen

30 ergibt sich gegenüber einer konventionellen POCl_3 -Diffusion eine verringerte Oberflächenkonzentration an Phosphor in dem Siliziumsolarzellensubstrat.

Vorzugsweise wird bei der beschriebenen ersten Alternative zur Verfahrensverbesserung eine Phosphorglasschicht mit einer Gesamtdicke von weniger als 200 nm ausgebildet, vorzugsweise mit einer Gesamtdicke von 40 nm oder weniger. Unterhalb einer
5 Phosphorglasschichtgesamtdicke von 200 nm ist eine Begrenzung der Wachstumsgeschwindigkeit aufgrund bereits aufgewachsener Phosphorglasanteile noch unbedeutend, bei größeren Gesamtdicken der Phosphorglasschicht kann sie eine Rolle spielen.

10 Eine Weiterbildung der ersten Alternative zur Verfahrensverbesserung sieht vor, dass zusätzlich zu der kontinuierlichen Verringerung des POCl_3 -Flusses der O_2 -Fluss im Verlauf der Ausbildung der Phosphorglasschicht gesteigert wird, vorzugsweise fortwährend gesteigert wird. Hierdurch werden die bereits
15 durch die fortwährende Verringerung des POCl_3 -Flusses bewirkten und oben beschriebenen Effekte verstärkt, da durch den zusätzlich vorhandenen Sauerstoff die Reaktion (3) verstärkt wird. Die fortwährende Steigerung des O_2 -Flusses erfolgt besonders bevorzugt parallel zur fortwährenden Verringerung des POCl_3 -
20 Flusses.

Bei einer zweiten Alternative zur Verfahrensverbesserung werden zu Beginn der POCl_3 -Diffusion zunächst ein niedriger POCl_3 -Fluss und ein hoher O_2 -Fluss vorgesehen und der POCl_3 -Fluss
25 wird fortwährend gesteigert. Dies bewirkt, dass zunächst eine Siliziumoxidschicht, beziehungsweise eine Phosphorglasschicht mit sehr geringem Phosphorgehalt, an der Grenzfläche zu dem massiven Silizium des Siliziumsolarzellensubstrats ausgebildet wird. Es hat sich gezeigt, dass mittels dieser Siliziumoxidschicht,
30 beziehungsweise Phosphorglasschicht mit geringem Phosphorgehalt, die Eindiffusion von Phosphor aus dem im weiteren Verlauf der POCl_3 -Diffusion gebildeten Phosphorglas in das Siliziumsolarzellensubstrat hinein derart beeinflusst werden kann, dass sich ein Emitter ergibt, welcher gegenüber ver-

gleichbaren, aus dem Stand der Technik bekannten Emittlern eine verringerte Phosphor-Oberflächenkonzentration aufweist.

Bei einer Weiterbildung der zweiten Alternative zur Verfahrensverbesserung wird der O_2 -Fluss im Verlauf der $POCl_3$ -
5 Diffusion verringert. Vorzugsweise erfolgt dies parallel zur Erhöhung des $POCl_3$ -Flusses. Der beschriebene, durch die Steigerung des $POCl_3$ -Flusses bewirkte Effekt kann hierdurch verstärkt werden.

10

Es hat sich gezeigt, dass mittels der beiden beschriebenen Alternativen zur Verfahrensverbesserung der Gehalt an elektrisch inaktivem Phosphor in dem Siliziumsolarzellensubstrat verringert und somit das Verhältnis von elektrisch aktivem zu elektrisch
15 inaktivem Phosphor verbessert werden kann. Die oben beschriebene Rekombination generierter Elektron-Loch-Paare kann somit verringert werden. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass bei einer geringen Phosphorzufuhr bereits vorhandene Phosphoratome Glitterplätze in dem Siliziumkristallgitter
20 des Siliziumsolarzellensubstrats besetzen. Der Gehalt an elektrisch inaktivem Phosphor nimmt somit ab. Wird hingegen eine größere Menge an Phosphor zugeführt, so verbleibt ein Reservoir an elektrisch inaktivem Phosphor im Siliziumsolarzellensubstrat, beziehungsweise auf dessen Oberfläche. Durch eine
25 geeignete Veränderung des $POCl_3$ -Flusses während der $POCl_3$ -Diffusion kann demzufolge die Konzentration an elektrisch inaktivem Phosphor sogar in gewissen Grenzen eingestellt werden. Dies ermöglicht es, den Gehalt an elektrisch inaktivem Phosphor an den jeweiligen Solarzellentyp anzupassen. Beispielsweise kann bei mit einer Siebdruckmetallisierung zu versehenen
30 Solarzellensubstraten eine etwas höhere Konzentration an elektrisch inaktivem Phosphor vorgesehen werden als bei Solarzellensubstraten, die mittels einer direkten Plattierung metallisiert werden.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass mittels der beschriebenen beiden Alternativen zur Verfahrensverbesserung im Vergleich zu konventionellen POCl_3 -Diffusionen homogenere Emitter hergestellt werden können. Bei POCl_3 -Diffusionen sind üblicherweise mehrere Siliziumsolarzellensubstrate nacheinander derart angeordnet, dass die Rückseite eines Siliziumsolarzellensubstrats der Vorderseite eines benachbarten Siliziumsolarzellensubstrats zugewandt ist. Dies hat zur Folge, dass in dem Diffusionsofen POCl_3 oder P_2O_5 vom Substratrand her nach innen zur Substratmitte strömen muss, um im Bereich der Substratmitte an der Eindiffusion von Dotierstoff mitwirken zu können. Infolgedessen ergibt sich bei derartigen Diffusionen ein erhöhter Schichtwiderstand in dem Bereich der Substratmitte, wohingegen in den Randbereichen des Siliziumsolarzellensubstrats geringere Emitterschichtwiderstandswerte vorliegen. Diese Unterschiede in den Emitterschichtwiderstandswerten können durch die beiden Alternativen zur Verfahrensverbesserung reduziert werden. In diesem Zusammenhang hat sich insbesondere eine gezielte Zuführung von zusätzlichem O_2 bewährt.

Es hat sich gezeigt, dass im Falle einer Erhöhung des O_2 -Flusses die Reaktion zwischen Silizium und Sauerstoff umso schneller verläuft, je mehr Phosphor sich bereits im Solarzellensubstrat befindet.

Die beschriebenen Vorteile der beiden Alternativen zur Verfahrensverbesserung können erreicht werden, ohne dass hierfür ein zeitlicher Mehraufwand bei der Prozessführung erforderlich wäre, da die POCl_3 - und O_2 -Flüsse während des gewohnten Prozessverlaufs verändert werden können. Insbesondere kann also die Phosphor-Oberflächenkonzentration und/oder die elektrisch inaktive Phosphorkonzentration in Emittlern aufwandsgünstig verringert werden. Würde man hingegen bei konventionellen POCl_3 -

Diffusionen einen Emitter mit vergleichbarem Emitterprofil ausbilden, ergäben sich Emitter mit einer schlechteren Homogenität oder die Phosphor-Oberflächenkonzentration ließe sich nicht verringern. Zudem ließe sich das Verhältnis von elektrisch inaktivem zu elektrisch aktivem Phosphor nicht verbessern.
5

Grundsätzlich sind die beiden beschriebenen Alternativen zur Verfahrensverbesserung nicht nur bei POCl_3 -Diffusionen vorteilhaft einsetzbar, sondern auch in Verbindung mit BBr_3 -Diffusionen.
10

Die beschriebenen beiden Alternativen zur Verfahrensverbesserung sind bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ausbildung der ersten und zweiten Teilschicht der Glasschicht verwendbar. Daneben sind beide Alternativen auch vorteilhaft bei der Herstellung homogener Emitter einsetzbar. Besonders bevorzugt wird die erste Alternative zur Verfahrensverbesserung bei einem Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle mit einem selektiven Emitter, insbesondere dem erfindungsgemäßen Verfahren, eingesetzt. Die zweite Alternative zur Verfahrensverbesserung hat sich als besonders vorteilhaft bei der Herstellung von Solarzellen mit homogenen Emittlern erwiesen.
15
20

Die im Rahmen der verschiedenen Weisen und Alternativen der Verfahrensverbesserung sowie in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschriebenen Merkmale und Weiterbildungen können in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden. Insbesondere können in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschriebene Merkmale und Weiterbildungen mit den unabhängig von dem erfindungsgemäßen Verfahren beschriebenen Weisen und Alternativen der Verfahrensverbesserung und deren Merkmalen und Weiterbildungen kombiniert werden.
25
30

Im Weiteren wird die Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Soweit zweckdienlich, sind hierin gleichwirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen. Es zeigen:

5 Figur 1 Prinzipdarstellung eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens

Figur 2 Schematische Schnittdarstellungen durch ein das Verfahren nach Figur 1 durchlaufendes Solarzellensubstrat zu verschiedenen Verfahrenszeitpunkten

10 Ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens illustrieren die Prinzipdarstellung der Figur 1 sowie die schematischen Darstellungen der Figur 2. Nach einem Texturieren 8 eines Siliziumsubstrats wird bei diesem Ausführungsbeispiel zunächst eine POCl_3 -haltige Atmosphäre ausgebildet 10. Im
15 Weiteren wird der POCl_3 -haltigen Atmosphäre während eines ersten Zeitraums eine erste Menge an O_2 beigemischt 12 und hierdurch eine erste Teilschicht einer im Verlauf des Verfahrens gemäß Figur 1 hergestellten Phosphorglasschicht 55 ausgebildet. Diese erste Teilschicht 52 ist schematisch in Figur 2a
20 dargestellt, welche eine Schnittdarstellung durch ein das Verfahren gemäß Figur 1 durchlaufendes Siliziumsubstrat 50 zu einem Zeitpunkt nach einer im Weiteren beschriebenen Beimischung 14 einer zweiten Menge an O_2 und vor einer Eindiffusion 16 von Dotierstoff zeigt.

25

Im weiteren Verfahrensverlauf wird der POCl_3 -haltigen Atmosphäre, wie bereits erwähnt, eine zweite Menge O_2 beigemischt 14, welche geringer ist als die erste Menge an O_2 . Auf diese Weise wird eine zweite Teilschicht 54 ausgebildet 14. Die erste
30 Teilschicht 52 und die zweite Teilschicht 54 bilden im vorliegenden Ausführungsbeispiel zusammen die Phosphorglasschicht 55, welche im Verlauf des Verfahrens der Figur 1 ausgebildet

wird 15. Die Teilschichten 52, 54 werden somit in vorteilhafter Weise im Rahmen einer ohnehin durchgeführten POCl_3 -Diffusion ausgebildet. Die Ausbildung 15 der Phosphorglasschicht 55 kann beispielsweise in einem Temperaturbereich von 5 700°C bis 900°C während eines Zeitraums von 10 bis 30 Minuten erfolgen.

Im Rahmen der POCl_3 -Diffusion werden die Teilschichten 52, 54 ausgebildet 12, 14, bevor Dotierstoff in erheblichem Umfang 10 aus der Phosphorglasschicht 55 in das Siliziumsubstrat 50 eindiffundiert wird.

Vorteilhafterweise wird die POCl_3 -Diffusion derart durchgeführt, dass die die erste 52 und die zweite Teilschicht 54 15 ausgebildet werden, bevor zum Zwecke des Ausbildens eines schwach dotierten Emitters 58 Dotierstoff aus der Phosphorglasschicht 55 in das Siliziumsubstrat 50 eindiffundiert wird 16.

20 Gemäß der Darstellung der Figur 2a, ist das verwendete Siliziumsubstrat 50 an seiner Oberfläche emitterseitig mit einer Textur 56 versehen. Wie in Figur 2a schematisch angedeutet ist, weist die diese Textur 56 bedeckende erste Teilschicht 52 einen deutlich geringeren Phosphorgehalt auf als die darüber- 25 liegende zweite Teilschicht 54. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei dem Ausbilden 14 der zweiten Teilglasschicht 54 die geringere zweite Menge an O_2 der POCl_3 -haltigen Atmosphäre beigemischt wird 14, beim Ausbilden 12 der ersten Teilschicht 52 hingegen die größere erste Menge an O_2 beigemischt ist 12. 30 Infolgedessen weist die näher an einer Oberfläche des Siliziumsubstrats 50 gelegene erste Teilschicht 52 eine niedrigere Dotierstoffkonzentration auf als die weiter von der Oberfläche des Siliziumsubstrats 50 entfernt gelegene zweite Teilschicht 54 der Phosphorglasschicht 55.

Im weiteren Verfahrensverlauf wird Dotierstoff, vorliegend Phosphor, aus der Phosphorglasschicht 55 in das Siliziumsubstrat eindiffundiert 16 und in dieser Weise ein schwach dotierter Emitter 58 ausgebildet 16. Hieran schließt sich ein optionaler Verfahrensschritt des erneuten Ausbildens 20 einer POCl_3 -haltigen Atmosphäre und des Aufbringens einer Zusatzglasschicht an.

10 Im Weiteren werden unter der Phosphorglasschicht 55 gelegene Bereiche des Siliziumsubstrats 50 lokal mittels Laserstrahlung erhitzt 18 ohne das Solarzellensubstrat dabei anzuschmelzen. Hierzu wird gepulste Laserstrahlung mit einer Wellenlänge im ultravioletten Spektralbereich verwendet. Die Pulsdauern
15 betragen weniger als 300 ns, vorzugsweise weniger als 100 ns. Die Laserstrahlung wird überlappfrei über die Oberfläche des Solarzellensubstrats geführt, ein mehrfaches Abrastern wird vermieden. Es wird ein Laser mit einem rechteckigen Flattop-Profil verwendet.

20 Im Weiteren kann sich ein optionaler Verfahrensschritt des Temperns 22 des Siliziumsubstrats 50 anschließen. Dieser ermöglicht die Aktivierung elektrisch inaktiven Phosphors in stark dotierten Emitterbereichen 60.

25 Figur 2b illustriert das Siliziumsubstrat 50 aus Figur 2a nach dem lokalen Erhitzen 18 mittels Laserstrahlung. Der in Folge der Eindiffusion 16 von Dotierstoff ausgebildete schwach dotierte Emitter 58 ist mittels einer gestrichelten Linie und Ladungsträgersymbolen geringer Dichte schematisch angedeutet.
30 Die Phosphorglasschicht 55 wurde in der Darstellung der Figur 2b zwischenzeitlich in an sich bekannter Weise entfernt, beispielsweise durch nasschemisches Ätzen. Zudem ist bereits eine Metallisierung 62 auf den stark dotierten Emitterbereichen

ausgebildet worden. In den stark dotierten Bereichen 60 liegt in Nähe der Oberfläche des Siliziumsubstrats 50 eine sehr hohe Dotierstoffkonzentration, vorliegend eine sehr hohe Phosphorkonzentration, vor. In Figur 2b illustrieren dies die gehäuf-
5 ten Landungsträgersymbole. Jedoch wurde bei dem lokalen Erhitzen mittels Laserstrahlung kaum zusätzlicher Dotierstoff tiefer in das Siliziumsubstrat 50 eingetrieben, sodass auch in stark dotierten Emitterbereichen 60 in größeren Tiefen das bei der Eindiffusion 16 von Dotierstoff aus der Phosphorglas-
10 schicht 55 gebildete Emitterprofil gleichsam unverändert ist. Somit ergibt sich in den stark dotierten Emitterbereichen 60 ein niedriger Kontakt-, beziehungsweise Kontaktübergangswiderstand, zwischen der Metallisierung 62 und dem Siliziumsubstrat 50, was sich positiv auf den Wirkungsgrad der fertigen Solar-
15 zelle auswirkt. Gleichzeitig wird eine Verschlechterung des Wirkungsgrades aufgrund von Beeinträchtigungen des Emitterprofils in tiefer liegenden Regionen der stark dotierten Emitterbereiche 60 vermieden. An den Seitenflächen oder der in Figur 2b nach unten orientierten Rückseite des Solarzellensubstrats
20 angeordnete Bestandteile des schwachen Emitters können im weiteren Verlauf eines Solarzellenherstellungsprozesses in an sich bekannter Weise entfernt werden, beispielsweise mittels Plasmaätzen.

Bezugszeichenliste

8	Texturieren Siliziumsubstrat
10	Ausbilden POCl_3 -haltige Atmosphäre
5	12 Beimengung erste Menge an O_2 und Ausbilden erste Teilschicht
14	Beimengung zweite, geringere Menge an O_2 und Ausbilden zweite Teilschicht
15	Ausbilden Phosphorglasschicht
10	16 Eindiffusion Dotierstoff aus Phosphorglasschicht und Ausbilden eines schwach dotierten Emitters
18	Lokales Erhitzen mittels Laserstrahlung ohne Solarzellensubstrat anzuschmelzen
20	Erneutes Ausbilden POCl_3 -haltige Atmosphäre und Aufbringen Zusatzglasschicht
15	22 Tempern Siliziumsubstrat zur Aktivierung inaktiven Phosphors in stark dotierten Emitterbereichen
50	Siliziumsubstrat
52	Erste Teilschicht
20	54 Zweite Teilschicht
55	Phosphorglasschicht
56	Textur
58	Schwach dotierter Emitter
60	Stark dotierter Emitterbereich
25	62 Metallisierung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle mit einem selektiven Emitter aufweisend folgende Schritte:

- 5 - Ausbilden (10, 12, 14) einer Dotierstoff enthaltenden Glasschicht (55) auf wenigstens einem Teil einer Oberfläche eines Solarzellensubstrats (50);
- Ausbilden (16) eines schwach dotierten Emitters (58) in von der Glasschicht (55) bedeckten Bereichen des Solarzellensubstrats (50) durch Eindiffusion (16) von Dotierstoff aus der Glasschicht (55) in das Solarzellen-
- 10 substrat (50) hinein;
- lokale Eindiffusion (18) zusätzlichen Dotierstoffs aus der Glasschicht (55) in das Solarzellensubstrat (50)
- 15 hinein durch lokales Erhitzen (18) von unter der Glasschicht (55) gelegenen Bereichen des Solarzellensubstrats (50) zum Zwecke der lokalen Ausbildung (18) stark dotierter Emitterbereiche (60);

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- 20 dass als Dotierstoff enthaltende Glasschicht (55) solch eine Glasschicht (55) auf dem wenigstens einen Teil der Oberfläche des Solarzellensubstrats (50) ausgebildet wird (10, 12, 14), die in einer näher an der Oberfläche des Solarzellensubstrats (50) gelegenen ersten Teilschicht (52)
- 25 der Glasschicht (55) eine niedrigere Dotierstoffkonzentration aufweist als in einer weiter von der Oberfläche des Solarzellensubstrats (50) entfernt gelegenen zweiten Teilschicht (54) der Glasschicht (55).

2. Verfahren nach Anspruch 1,

- 30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass als Dotierstoff enthaltende Glasschicht (55) eine Glasschicht (55) ausgebildet wird, die in der zweiten Teil-

schicht (54) eine mindestens doppelt so hohe Dotierstoffkonzentration aufweist wie in der ersten Teilschicht (52).

3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

5 dass der wenigstens eine Teil der Oberfläche des Solarzellensubstrats (50) vor dem Ausbilden (10, 12, 14) der Glasschicht (55) mit einer Textur (56) versehen wird.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- 10 - im Verlauf einer POCl_3 -Diffusion (10, 12, 14, 16) als Glasschicht (55) eine Phosphorglasschicht (55) ausgebildet wird;
- 15 - einer im Verlauf der POCl_3 -Diffusion (10, 12, 14, 16) gebildeten POCl_3 -haltigen Atmosphäre während eines ersten Zeitraums zum Zwecke des Ausbildens (12) der ersten Teilschicht (52) eine erste Menge an O_2 beigemischt wird (12); und
- 20 - der im Verlauf der POCl_3 -Diffusion (10, 12, 14, 16) gebildeten POCl_3 -haltigen Atmosphäre während eines späteren zweiten Zeitraums zum Zwecke des Ausbildens (14) der zweiten Teilschicht (54) eine zweite Menge an O_2 beigemischt wird (14), welche geringer ist als die erste Menge an O_2 .

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

25 dadurch gekennzeichnet, dass der lokal eindiffundierte zusätzliche Dotierstoff bis zu einer maximalen Tiefe von 30 nm in das Solarzellensubstrat eingetrieben wird, vorzugsweise bis zu einer maximalen Tiefe von 20 nm und besonders bevorzugt bis zu einer

30 maximalen Tiefe von 10 nm.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei dem lokalen Eindiffundieren (18) solch eine Menge
elektrisch inaktiven Dotierstoffs in das Solarzellensub-
strat (50) eindiffundiert wird, dass in den stark dotierten
5 Emitterbereichen (60) elektrisch inaktiver Dotierstoff in
einer Konzentration von mindestens 10^{20} cm^{-3} vorliegt.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
10 dass das lokale Erhitzen (18) von unter der Glasschicht
(55) gelegenen Bereichen des Solarzellensubstrats (50) mit-
tels gepulster Laserstrahlung mit einer Pulslänge von weni-
ger als 300 ns, vorzugsweise von weniger als 100 ns, er-
folgt.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die unter der Glasschicht (55) gelegenen Bereiche des
Solarzellensubstrats (50) lokal mittels Laserstrahlung mit
einer Wellenlänge von 532 nm oder weniger erhitzt werden
20 (18), vorzugsweise mittels blauer oder ultravioletter La-
serstrahlung.
9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass nach dem Ausbilden (16) des schwach dotierten Emitters
25 (58) und vor der lokalen Eindiffusion (18) des zusätzlichen
Dotierstoffs eine in der Glasschicht (55) vorherrschende
mittlere Dotierstoffkonzentration erhöht wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass zur Erhöhung der in der Glasschicht (55) vorherrschen-

den mittleren Dotierstoffkonzentration weiterer Dotierstoff in die bestehende Glasschicht eingebracht wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

5 dass zur Erhöhung der in der Glasschicht (55) vorherrschenden mittleren Dotierstoffkonzentration eine Zusatzglasschicht, die eine die mittlere Dotierstoffkonzentration der Glasschicht übersteigende Dotierstoffkonzentration aufweist, auf die bestehende Glasschicht (55) aufgebracht
10 wird.

12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

15 dass, nachdem das Ausbilden (16) des schwach dotierten Emitters (58) und die lokale Eindiffusion (18) des zusätzlichen Dotierstoffs erfolgt ist und noch vor einem Aufbringen einer Metallisierung (62) auf die stark dotierten Emitterbereiche (60), das Solarzellensubstrat (50) getempert und hierbei in den stark dotierten Emitterbereichen (60) vorliegender, elektrisch inaktiver Phosphor aktiviert wird.

20 13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass bei dem lokalen Erhitzen (18) von unter der Glasschicht (55) gelegenen Bereichen des Solarzellensubstrats (50) ein Oberflächenanteil des Solarzellensubstrats (50)
25 angeschmolzen und rekristallisiert wird, der weniger als 10%, vorzugsweise von weniger als 5%, der Gesamtoberfläche aller lokal erhitzten Bereiche beträgt.

14. Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle mit einem selektiven Emitter aufweisend folgende Schritte:

- Ausbilden einer Dotierstoff enthaltenden Glasschicht auf wenigstens einem Teil einer Oberfläche eines Solarzellensubstrats;
- Ausbilden eines schwach dotierten Emitters in von der Glasschicht bedeckten Bereichen des Solarzellensubstrats durch Eindiffusion von Dotierstoff aus der Glasschicht in das Solarzellensubstrat hinein;
- lokale Eindiffusion zusätzlichen Dotierstoffs aus der Glasschicht (50) in das Solarzellensubstrat hinein durch lokales Erhitzen von unter der Glasschicht gelegenen Bereichen des Solarzellensubstrats zum Zwecke der lokalen Ausbildung stark dotierter Emitterbereiche;

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zumindest zeitweise während der mit dem Ausbilden des schwach dotierten Emitters verbundenen Eindiffusion von Dotierstoff aus der Glasschicht in das Solarzellensubstrat hinein eine Siliziumoxidschicht unmittelbar auf dem wenigstens einen Teil der Oberfläche des Solarzellensubstrats ausgebildet wird, wobei die Siliziumoxidschicht derart ausgebildet wird, dass sie die Eindiffusion aus der Glasschicht in das Solarzellensubstrat hinein behindert.

15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass das Solarzellensubstrat zumindest zum Teil, vorzugsweise vollständig, in einer Schutzgasatmosphäre angeordnet wird und die unter der Glasschicht (55) gelegenen Bereiche des Solarzellensubstrats (50) lokal mittels Laserstrahlung erhitzt werden (18), während sich das Solarzellensubstrat zumindest zum Teil, vorzugsweise vollständig, in der Schutzgasatmosphäre befindet.

1/2

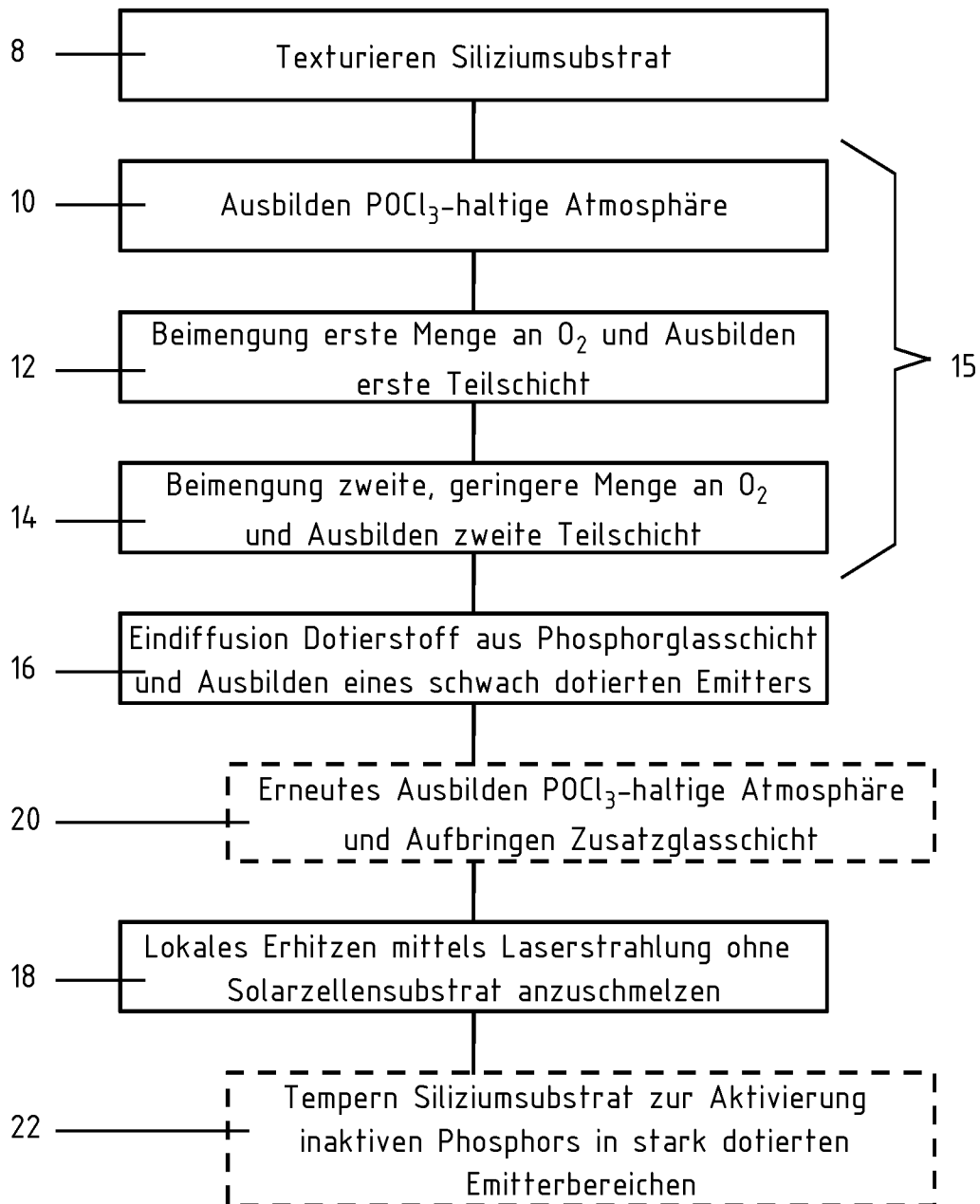
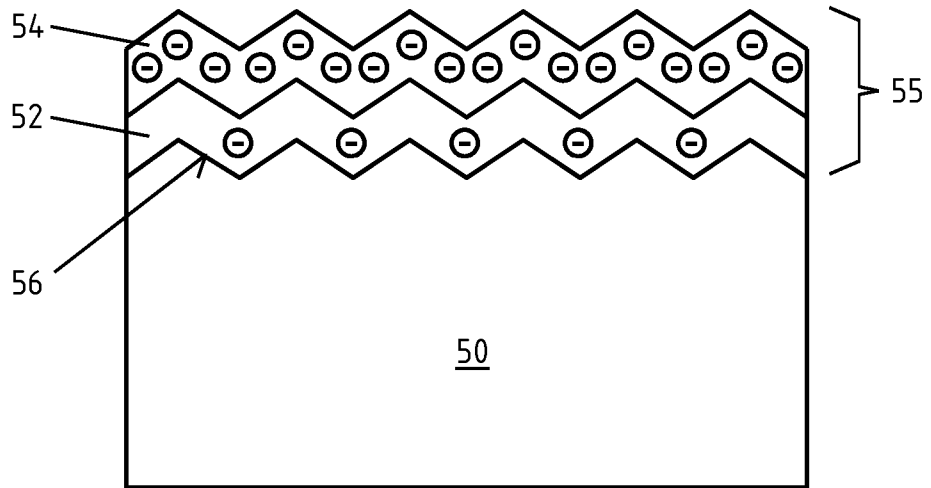


Fig. 1

a)



b)

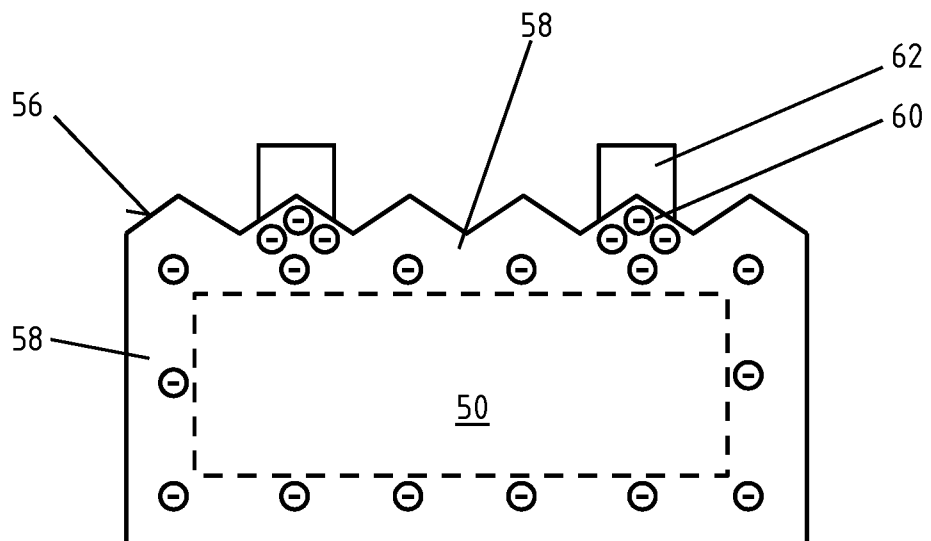


Fig. 2