(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
4. August 2011 (04.08.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/091959 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/0224 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/000180

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Januar 2011 (18.01.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 006 315.0
29. Januar 2010 (29.01.2010) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27, 80686 München (DE). **ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG** [DE/DE]; Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **SUWITO, Dominik** [DE/DE]; Hermann-Löns-Strasse, 79100 Freiburg (DE). **BENICK, Jan** [DE/DE]; Kandelstrasse 52, 79106 Freiburg (DE). **JÄGER, Ulrich** [DE/DE]; Offenburger Strasse 23, 79108 Freiburg (DE).

(74) Anwälte: **DICKER, Jochen** et al.; Lemcke, Brommer & Partner, Bismarckstraße 16, 76133 Karlsruhe (DE).

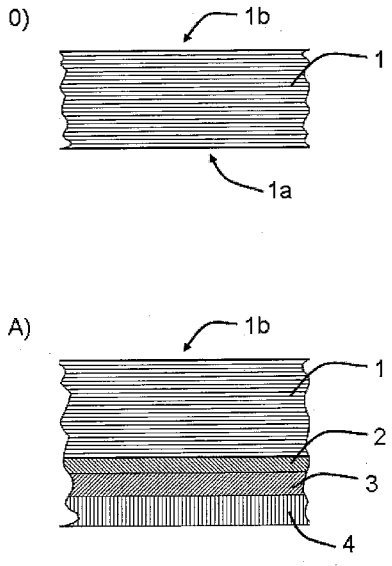
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR LOCAL HIGH-DOPING AND CONTACTING OF A SEMICONDUCTOR STRUCTURE WHICH COMPRISES A SOLAR CELL OR A PRECURSOR OF A SOLAR CELL

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR LOKALEN HOCHDOTIERUNG UND KONTAKTIERUNG EINER HALBLEITERSTRUKTUR, WELCHE EINE SOLARZELLE ODER EINE VORSTUFE EINER SOLARZELLE IST

Figur 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for local high-doping and contacting of a semiconductor structure which comprises a solar cell or a precursor of a solar cell and has a silicon semiconductor substrate (1) of a base doping type. The high-doping and contacting is effected by producing a plurality of local high-doping regions of the base doping type in the semiconductor substrate (1) on a contacting side (1 a) of the semiconductor substrate and applying a metal contacting layer (7) to the contacting side (1 a) or, if applicable, one or more intermediate layers wholly or partially covering the contacting side (1 a), to form electrically conductive connections between the metal contacting layer (7) and the semiconductor substrate (1) at the high doping regions. It is important that the method comprises the following steps: A) producing a layer structure covering the contacting side (1 a) of the semiconductor substrate, comprising a doping layer (3), which contains a dopant of the base doping type and is in the form of a layer of amorphous silicon or a layer of amorphous silicon carbide having a carbon content less than 10 at.% and a reflective layer (4), which at least in the wavelength range between 800 nm and 1200 nm is constructed with a refractive index n_R smaller than the refractive index n_{Hs} of the semiconductor substrate, wherein the doping layer (3) lying in the layer sequence closer to the contacting side (1 a) is constructed as the reflective layer (4); B) local heating of layer structure and the surface lying thereunder of the semiconductor substrate at a plurality of zones to form local high-doping regions, wherein the local heating is effected such that at each of the locally heated regions a melt mixture of at least the doping layer (3) and a portion of the semiconductor substrate is formed locally on the contacting side (1 a), and on solidification of the melt mixture a high doping region (6) more strongly doped by at least the dopant of the doping layer (3) is formed in the semiconductor substrate (1) on the contacting side (1 a), and applying a metal contacting layer (7) to form an electrically conductive connection between semiconductor substrate (1) and contacting layer (7) at the high-doping regions.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/091959 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).

Veröffentlicht:

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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung einer Halbleiterstruktur, welche eine Solarzelle oder eine Vorstufe einer Solarzelle ist und ein Silizium-Halbleitersubstrat (1) eines Basisdotierungstyps umfasst, wobei die Hochdotierung und Kontaktierung erfolgt durch Erzeugen mehrerer lokaler Hochdotierungsbereiche des Basisdotierungstyps in dem HaIbleitersubstrat (1) an einer Kontaktierungsseite (1 a) des Halbleitersubstrates und Aufbringen einer metallischen Kontaktierungsschicht (7) auf die Kontaktierungsseite (1 a) oder gegebenenfalls eine oder mehrere die Kontaktierungsseite (1 a) ganz oder teilweise bedeckende Zwischenschichten, zur Ausbildung elektrisch leitender Verbindungen zwischen der metallischen Kontaktierungsschicht (7) und dem Halbleitersubstrat (1) an den Hochdotierungsbereichen. Wesentlich ist, dass das Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst: A Erzeugen einer die Kontaktierungsseite (1 a) des Halbleitersubstrates bedeckende Schichtstruktur, umfassend - eine Dotierschicht (3), welche einen Dotierstoff des Basisdotierungstyps enthält und ausgebildet wird als Schicht aus amorphem Silizium oder als Schicht aus amorphem Siliziumcarbid mit einem Kohlenstoffgehalt kleiner 10 at% und eine Reflexionsschicht (4), welche zumindest in dem Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm mit einem Brechungsindex n_R kleiner dem Brechungsindex n_{Hs} des Halbleitersubstrates ausgebildet wird, wobei die Dotierschicht (3) in der Schichtabfolge näher an der Kontaktierungsseite (1 a) liegend als die Reflexionsschicht (4) ausgebildet wird, B lokales Erhitzen der Schichtstruktur und der darunter liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrates an mehreren Zonen zur Ausbildung von lokalen Hochdotierungsbereichen, wobei die lokale Erhitzung derart erfolgt, dass sich an den lokal erhitzten Bereichen jeweils lokal eine Schmelzmischung aus zumindest der Dotierschicht (3) und einem Teilbereich des Halbleitersubstrates an der Kontaktierungsseite (1 a) ausbildet und sich bei Erstarren der Schmelzmischung ein durch zumindest den Dotierstoff der Dotierschicht (3) stärker dotierter Hochdotierungsbereich (6) in dem Halbleitersubstrat (1) an der Kontaktierungsseite (1 a) ausbildet und Aufbringen einer metallischen Kontaktierungsschicht (7), zur Ausbildung einer elektrisch leitenden Verbindung zwischen Halbleitersubstrat (1) und Kontaktierungsschicht (7) an den Hochdotierungsbereichen.

Verfahren zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung einer Halbleiterstruktur, welche eine Solarzelle oder eine Vorstufe einer Solarzelle ist

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1 zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung einer Halbleiterstruktur, welche eine Solarzelle oder eine Vorstufe einer Solarzelle ist und ein Halbleitersubstrat eines Basisdotierungstyps umfasst.

Bei photovoltaischen Solarzellen, aufbauend auf einem Silizium-Halbleitersubstrat, sind vielfältige Ansätze zur Erreichung hoher Wirkungsgrade bei der Konversion von einfallender elektromagnetischer Strahlung in elektrische Energie einerseits und andererseits kostengünstiger industrieller Herstellung entwickelt worden. Insbesondere bei Solarzellen, bei denen ein Emitter und somit auch der die erzeugten Ladungsträgerpaare trennende pn-Übergang an oder im Bereich der zum Lichteinfall ausgebildeten Vorderseite der Solarzelle ausgebildet ist, erfolgt typischerweise die elektrische Kontaktierung der Basis mittels einer rückseitig angeordneten metallischen Kontaktierungsschicht, welche elektrisch leitend mit dem Halbleitersubstrat verbunden ist. Hierbei ist zur Erzielung hoher Wirkungsgrade eine effiziente rückseitige Passivierung, d. h., die Erzielung einer geringen Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit für Minoritätsladungsträger, insbesondere im Bereich der rückseitigen Oberfläche des Halbleitersubstrates sowie eine Kontaktierung mit niedrigem Kontaktwiderstand wesentlich.

So sind Solarzellenstrukturen bekannt, bei denen die Rückseite des Halbleitersubstrates im Wesentlichen ganzflächig mit einer Siliziumnitrid oder Siliziumdioxidschicht bedeckt ist, so dass niedrige Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeiten erzielt werden. Lediglich an Punktkontakten ist die passivierende Schicht punktartig geöffnet und es besteht eine elektrisch leitende Verbindung zu einer metallischen Kontaktierungsschicht. Eine Wirkungsgradsteigerung wird

BESTÄTIGUNGSKOPIE

durch eine lokale Hochdotierung im Bereich der Punktkontakte erreicht, da durch die lokale Hochdotierung eine Verringerung der rückseitigen Rekombination und zusätzlich eine Verringerung des Kontaktwiderstands zwischen metallischer Kontaktierungsschicht und Halbleitersubstrat erzielt wird. Eine solche Solarzellenstruktur ist beispielsweise die PERL-Struktur (passivated emitter, rear locally defused), wie in J. Benick, B. Hoex, G. Dingemans, A. Richter, M. Hermle, and S. W. Glunz „High-efficiency n-type silicon solar cells with front side boron emitter," in Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference (Hamburg, Germany), 2009 beschrieben. Diese Struktur, welche eine rückseitige Kontaktierung zur Erreichung hoher Wirkungsgrade ermöglicht, erfordert bei der Herstellung neben der zusätzlichen Diffusion zur Erzielung der Hochdotierungsbereiche einige zusätzliche Fotolithografieschritte, so dass eine industrielle Implementierung dieser Solarzellenstruktur nicht praktikabel oder zumindest sehr kostenintensiv ist.

Eine Solarzellenstruktur mit niedrigen Rekombinationsgeschwindigkeiten an der Rückseite konnte durch die HIT-Struktur realisiert werden, die verglichen mit der PERL-Struktur eine einfachere industrielle Implementierung ermöglicht. Die HIT-Struktur ist in EP 1 187 223 A2 und M. Taguchi, Y. Tsunomura, H. Inoue, S. Taira, T. Nakashima, T. Baba, H. Sakata, and E. Maruyama, „High-efficiency HIT solar cell on thin (<100µm) silicon wafer," in Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference (Hamburg, Germany), 2009 beschrieben. Auf der Rückseite einer HIT-Solarzelle wird ein Heteroübergang ausgebildet, indem eine Schichtstruktur mit einer dünnen intrinsischen Schicht aus amorphem Silizium, einer dünnen dotierten Schicht aus amorphem Silizium und einem transparenten leitfähigem Oxid auf die Rückseite des Silizium-Halbleitersubstrates aufgebracht wird. Die Schicht aus intrinsischem amorphem Silizium gewährleistet eine hocheffiziente Passivierung der Rückseite und somit geringe Rekombinationsgeschwindigkeiten für die Minoritätsladungsträger. Diese Schicht muss jedoch gleichzeitig dünn genug sein, um einen Ladungsträgertransport über Tunnelprozesse in die darüber liegende dotierte Schicht aus amorphem Silizium zu ermöglichen. Hieraus folgt, dass die Anforderungen an die Schichtdicken und die Qualität der amorphen Siliziumschichten sehr hoch sind, insbesondere bei der Genauigkeit beim Auftragen der Schichten hinsichtlich der Schichtdicke und ebenso der Materialqualität. Nur wenn diese hohen Anforde-

rungen gewährleistet sind, können mit diesem Solarzellenkonzept hohe Wirkungsgrade erzielt werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung einer Halbleiterstruktur, welche eine Solarzelle oder eine Vorstufe einer Solarzelle ist und ein Silizium-Halbleitersubstrat eines Basisdotierungstyps umfasst, zu schaffen. Das Verfahren soll eine lokale Hochdotierung und Kontaktierung der Halbleiterstruktur schaffen, die die Erzeugung einer Solarzelle mit hohen Wirkungsgraden ermöglicht und darüber hinaus technisch unaufwändig im Vergleich zu vorbekannten Verfahren und somit industriell und kostengünstig implementierbar sein.

Gelöst ist diese Aufgabe durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens finden sich in den Ansprüchen 2 bis 15.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung einer Halbleiterstruktur, welche eine Solarzelle oder eine Vorstufe einer Solarzelle ist. Die Halbleiterstruktur umfasst ein Silizium-Halbleitersubstrat eines Basisdotierungstyps. Dotierungstypen sind hierbei der n-Dotierungstyp oder der hierzu entgegengesetzte p-Dotierungstyp. Das erfindungsgemäße Verfahren ist für Solarzellen sowohl mit n-, als auch mit p-dotierter Basis anwendbar.

Die Hochdotierung und Kontaktierung erfolgt durch Erzeugen mehrerer lokaler Hochdotierungsbereiche des Basisdotierungstyps in dem Halbleitersubstrat an einer Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates und Aufbringen einer metallischen Kontaktierungsschicht auf die Kontaktierungsseite oder gegebenenfalls eine oder mehrere die Kontaktierungsseite ganz oder teilweise bedeckende Zwischenschichten, so dass elektrisch leitende Verbindungen zwischen der metallischen Kontaktierungsschicht und dem Halbleitersubstrat an den Hochdotierungsbereichen ausgebildet werden.

Wesentlich ist, dass das erfindungsgemäße Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst:

In einem Verfahrensschritt A wird eine die Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrats bedeckende Schichtstruktur erzeugt. Die Schichtstruktur umfasst eine

Dotierungsschicht, welche einen Dotierstoff des Basisdotierungstyps enthält. Die Dotierschicht ist als Schicht aus amorphem Silizium ausgebildet oder als Schicht aus amorphem Siliziumcarbid mit einem Kohlenstoffgehalt kleiner 10 Atomprozent (at%). Wesentlicher Bestandteil der amorphen Dotierschicht ist somit Silizium sowie der Dotierstoff des Basisdotierungstyps und gegebenenfalls Kohlenstoff.

Die Angaben von Atomprozent beziehen sich hierbei und im Folgenden – wie in Fachkreisen üblich – immer auf eine Referenzatomdichte (100at%) von Kristallinem Silicium, da die genaue Atomdichte der abgeschiedenen Schichten nicht bekannt ist.

Die Schichtstruktur umfasst weiterhin eine Reflexionsschicht. Die Reflexionsschicht ist derart ausgebildet, dass sie zumindest in dem Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm einen Brechungsindex n_R aufweist, der kleiner dem Brechungsindex n_{HS} des Halbleitersubstrates ist.

Ausgehend von der Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrats folgt in der Schichtabfolge die Dotierschicht vor der Reflexionsschicht.

In einem Verfahrensschritt B erfolgt ein lokales Erhitzen der Schichtstruktur und der darunter liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrates an mehreren Zonen zur Ausbildung von lokalen Hochdotierungsbereichen. Die lokale Erhitzung erfolgt derart, dass sich an den Zonen der lokalen Erhitzung jeweils lokal eine Schmelzmischung aus zumindest der Dotierschicht der Schichtstruktur und einem Teilbereich des Halbleitersubstrates an der Kontaktierungsseite ausbildet. Bei Abkühlen und Erstarren der Schmelzmischung bildet sich ein durch zumindest den Dotierstoff der Dotierschicht gegenüber der Basisdotierung des Halbleitersubstrates stärker dotierter Hochdotierungsbereich in dem Halbleitersubstrat an der Kontaktierungsseite aus.

In einem Verfahrensschritt C wird eine metallische Kontaktierungsschicht aufgebracht, zur Ausbildung einer elektrisch leitenden Verbindung zwischen Halbleitersubstrat und Kontaktierungsschicht an den Hochdotierungsbereichen.

Die durch das erfindungsgemäße Verfahren erzeugte lokale Hochdotierung und Kontaktierung weist somit die Vorteile auf, dass durch Aufbringen der Schichtstruktur an der Kontaktierungsseite eine elektrische Passivierung der Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates erfolgt und somit bereits eine Verringerung der Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit an der Kontaktierungsseite erzielt wird. Weiterhin erfolgt durch das lokale Aufschmelzen unter anderem der Dotierschicht eine lokale Hochdotierung des Halbleitersubstrates an mehreren Bereichen, wobei die elektrische Kontaktierung durch elektrisch leitende Verbindungen zwischen der metallischen Kontaktierungsschicht und dem Halbleitersubstrat an den Hochkontaktierungsbereichen erfolgt, so dass, wie zuvor beschrieben, eine weitere Verringerung der Gesamtrekombination an der Kontaktierungsseite sowie des Gesamtkontaktwiderstandes an der Kontaktierungsseite erfolgt. Zusätzlich ergibt sich der Vorteil, dass im Zusammenspiel der Reflexionsschicht und der metallischen Kontaktierungsschicht eine erhöhte Reflexion an der Kontaktierungsseite zumindest im Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm erzielt wird, sodass insbesondere in diesem Wellenlängenbereich elektromagnetische Strahlung in das Halbleitersubstrat zurückreflektiert wird und hierdurch zusätzlich die Lichtausbeute der Solarzelle und damit der Wirkungsgrad weiter erhöht wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist weiterhin die Vorteile auf, dass keine Fotolithografieschritte notwendig sind und zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereits auf vorbekannte, industriell implementierbare Verfahren zurückgegriffen werden kann:

Das Aufbringen der genannten Schichten kann ganzflächig erfolgen, so dass insbesondere keine kostenintensiven Maskierungsschritte notwendig sind. Weiterhin ist die Erzeugung der genannten Schichten durch vorbekannte Verfahren, insbesondere CVD (Chemical Vapour Deposition), wie beispielsweise PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) oder durch PVD (Physical Vapour Depostion) wie beispielsweise durch Sputtern, möglich, zu denen bereits Vorrichtungen und Prozessparameter für die industrielle Implementierung existieren.

Insbesondere das lokale Erhitzen der Schichtstruktur stellt einen kostengünstigen und einfach industriell implementierbaren Verfahrensschritt zur Erzeugung lokaler Hochdotierungen dar.

Es ist bereits bekannt, lokale Kontaktierungen durch lokales Erhitzen mittels eines Lasers zu erzeugen. Ein solches Verfahren ist beispielsweise in DE 100 46 170 A1 und in E. Schneiderlöchner, R. Preu, R. Lüdemann, and S. W. Glunz, „Laser-fired rear contacts for crystalline silicon solar cells," Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 10, pp. 29-34, 2002 and S. W. Glunz, E. Schneiderlöchner, D. Kray, A. Grohe, H. Kampwerth, R. Preu, and G. Willeke, „Laser-fired contact solar cells on p- and n-type substrates," in Proceedings of the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference (Paris, Franke), pp. 408-411, 2004. beschrieben. Das hier beschriebene Verfahren kann zur Erzeugung der lokalen Hochdotierungsbereiche in Verfahrensschritt B des erfindungsgemäßen Verfahrens angewendet werden, so dass auch hier auf etablierte bereits industriell einsetzbare Verfahren zurückgegriffen werden kann. Im Unterschied zu dem vorbekannten Verfahren zur Erzeugung lokaler Kontaktierungen erfolgt bei dem erfindungsgemäßen Verfahren jedoch nicht die Kontaktierung durch lokales Erhitzen. In Verfahrensschritt B wird lediglich die lokale Hochdotierung durch lokales Erzeugen einer Schmelzmischung aus den Schichten der Schichtstruktur und einem Teilbereich des Halbleitersubstrates erzeugt.

Anschließend erfolgt in Verfahrensschritt C die Kontaktierung, indem vorzugsweise ganzflächig auf die Schichtstruktur die metallische Kontaktierungsschicht aufgebracht wird, wodurch sich an den Hochdotierungsbereichen die elektrisch leitende Verbindung zwischen Halbleitersubstrat und Kontaktierungsschicht ausbildet.

Eine weitere Verringerung der Gesamtrekombination an der Kontaktierungsseite wird in einer vorzugsweisen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dadurch erzielt, dass in Verfahrensschritt A die Schichtstruktur zusätzlich eine amorphe Passivierungsschicht mit einem Siliziumanteil von mindestens 90 at% umfasst. Die Passivierungsschicht weist keinen Dotierstoff des Basisdotierungstyps oder nur eine vernachlässigbar geringe Konzentration kleiner $1x10^{19}$ cm^{-3} eines solchen Dotierstoffes auf. Weiterhin ist die Passivierungsschicht in der Schichtabfolge näher an der Kontaktierungsseite liegend als die

Dotierschicht ausgebildet. Vorzugsweise wird die Passivierungsschicht unmittelbar und/oder ganzflächig auf die Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates aufgebracht.

Hierdurch wird eine besonders effiziente Passivierung der Kontaktierungsseite und somit eine besonders hohe elektrische Güte des Halbleitersubstrates an der Kontaktierungsseite erzielt, so dass eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrades erreicht wird. In dieser vorzugsweisen Ausführungsform wird durch die Isolierungsschicht im Wesentlichen die niedrige Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit an der Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates gewährleistet, durch die Dotierschicht die Erzeugung der lokalen Hochdotierungsbereiche in Verfahrensschritt B ermöglicht und durch die Reflexionsschicht die optische Güte der Kontaktierungsseite insbesondere im Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm erhöht.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass sämtliche in Verfahrensschritt A aufgebrachte Schichten auf der Solarzelle verbleiben können und somit nicht in technisch aufwändigen und gegebenenfalls Verunreinigungen oder Störstellen im Halbleitersubstrat verursachenden weiteren Prozessschritten wieder entfernt werden müssen. Hierdurch werden die Kosten des Herstellungsverfahrens weiter verringert und gleichzeitig werden Fehlerquellen, die den Wirkungsgrad der Solarzelle beeinträchtigen können, vermieden.

Untersuchungen des Anmelders haben ergeben, dass die Passivierungsschicht vorzugsweise eine Dicke zwischen 5 nm und 100 nm, vorzugsweise zwischen 30 nm und 50 nm aufweist. Hierdurch wird eine Optimierung zwischen der benötigen Gesamtprozesszeit zur Aufbringung der Schichtstruktur einerseits und der Passivierungswirkung andererseits erzielt.

Insbesondere wird die Passivierungsschicht vorzugsweise als Siliziumcarbidschicht (SiC_x) ausgebildet, bevorzugt mit einem Kohlenstoffanteil kleiner 10 at%. Hierdurch wird eine sehr gute Passivierungswirkung erzielt.

Weiterhin ergaben Untersuchungen des Anmelders, dass die Dotierschicht vorzugsweise eine Dicke zwischen 10 nm und 100 nm, vorzugsweise zwischen 30 nm und 50 nm aufweist. Auch hierdurch ergibt sich eine Optimierung zwi-

schen der Dotierungswirkung bei Erzeugung der lokalen Hochdotierungsbereiche und einer geringen Prozessdauer bei Erzeugen der Schichtstruktur. Vorzugsweise enthält die Dotierschicht Dotierstoff in einer Konzentration größer als $1x10^{20}$ cm^{-3}.

Die Hauptfunktion der Dotierschicht ist der Bereitstellung des Dotierstoffes zur Dotierung der Hochdotierungsbereiche. Für den Dotiervorgang ist es vorteilhaft, dass während des Aufschmelzens eine flüssig-flüssig Diffusion zwischen den aufgeschmolzenen Teilbereichen der Dotierschicht und des Halbleitersubstrates stattfindet, da hierdurch eine besonders schnelle und effiziente Dotierung des aufgeschmolzenen Teilbereiches des Halbleitersubstrates erfolgt. Hierfür ist insbesondere ein niedriger Schmelzpunkt der Dotierschicht vorteilhaft, vorzugsweise weist die Dotierschicht in etwa den Schmelzpunkt des Halbleitersubstrates auf.

Die Zugabe von Kohlenstoff zu der Dotierschicht erhöht den Schmelzpunkt. Es ist daher zur Erreichung der flüssig-flüssig Diffusion vorteilhaft, dass die Dotierschicht keinen Kohlenstoffanteil aufweist. Eine Dotierschicht ohne Kohlenstoff weist jedoch den Nachteil auf, instabil gegenüber einer Erwärmung von beispielsweise etwa 400°C zu sein. Prozessschritte mit solchen Temperaturen werden jedoch häufig nach Aufbringen der Kontaktierungsschicht zur Verbesserung der Kontakteigenschaften angewandt (so genannte „Temperschritte").

Vorzugsweise weist die Dotierschicht daher einen geringen Kohlenstoffanteil auf, so dass einerseits der Schmelzpunkt der Dotierschicht nur geringfügig erhöht und damit eine flüssig-flüssig Diffusion wie zuvor beschrieben gewährleistet ist und gleichzeitig die Dotierschicht resistent gegenüber einer Erwärmung auf 400°C, insbesondere in Temperschritten, ist.

Die Dotierschicht ist daher vorzugsweise als Siliziumcarbidschicht ausgebildet, welche Kohlenstoff aufweist, wobei bevorzugt der Kohlenstoffanteil zwischen 0 at% und 10 at% liegt, insbesondere vorzugsweise im Bereich zwischen 2 at% und 10 at%.

Die Reflexionsschicht ist vorzugsweise als amorphe, Silizium enthaltende Schicht ausgebildet, wie beispielsweise Siliziumoxid oder Siliziumnitrid. Dies hat

den Vorteil, dass eine solche Schicht prozesstechnisch einfach herstellbar ist. Ebenso liegt die Ausbildung der Reflexionsschicht als Aluminiumoxidschicht oder Titandioxidschicht oder Magnesiumfluridschicht im Rahmen der Erfindung.

Weiterhin ergaben Untersuchungen des Anmelders, dass die Reflexionsschicht vorzugsweise eine Dicke zwischen 50 nm und 300 nm, vorzugsweise zwischen 100 nm und 300 nm aufweist. Hierdurch ergibt sich eine Optimierung aus Erhöhung der optischen Güte einerseits und einer Verringerung der Gesamtprozessdauer bei Erzeugung des Schichtsystems andererseits.

Insbesondere ist die Reflexionsschicht vorzugsweise als Siliziumcarbidschicht ausgebildet. Bevorzugt weist die Reflexionsschicht einen Kohlenstoffanteil größer 40 at%, insbesondere größer 50 at% auf. Der Kohlenstoffanteil der Reflexionsschicht ist ein wesentlicher Parameter hinsichtlich des resultierenden Brechungsindexes der Reflexionsschicht. Durch die genannten vorteilhaften Kohlenstoffanteile wird ein Brechungsindex kleiner 2.5 in dem Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm erzielt, so dass ein geringerer Brechungsindex gegenüber dem Brechungsindex von (kohlenstofffreiem) Silizium in diesem Wellenlängenbereich erreicht wird und die Erhöhung der optischen Güte an der Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates gewährleistet ist.

Vorzugsweise weist die Reflexionsschicht zumindest in dem Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm einen Brechungsindex n_R kleiner 2,5 und größer 1 zur Erzielung der vorgenannten optischen Güte auf.

Zur Erzielung einer optimalen elektrischen Güte, insbesondere hinsichtlich der Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit an der Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates wird vorzugsweise vor Verfahrensschritt A eine Reinigung zumindest der Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates durchgeführt, so dass eventuelle Verunreinigungen oder geringfügige Kristallstörungen beseitigt werden. Insbesondere eine nasschemische Reinigung ist hierfür geeignet.

Vorzugsweise werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in Verfahrensschritt A alle Schichten mittels Niedertemperaturverfahren bei Temperaturen kleiner 300 °C erzeugt. Hierdurch ist das erfindungsgemäße Verfahren auch für Solarzellenstrukturen anwendbar, die Heterostrukturen beispielsweise auf der

der Kontaktierungsseite entgegengesetzten Seite des Halbleitersubstrates aufweisen. Verfahrensschritte über der genannten Grenztemperatur könnten Heterostrukturen beschädigen. Das Aufbringen der vorgenannten Schichten zur Erzeugung des Schichtsystems in Verfahrensschritt A ist mit vorbekannten Verfahren, insbesondere mittels PECVD bei Temperaturen kleiner der vorgenannten Grenztemperatur möglich. Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit insbesondere zur Ausbildung hocheffizienter Siliziumsolarzellen geeignet, welche einen so genannten Hetero-Emitter aufweisen, d. h. einen Emitter, der durch Aufbringen einer dotierten Schicht, welche einen dem Basisdotierungstyp entgegengesetzten Dotierungstyp aufweist, ausgebildet wird.

Ebenso ist das erfindungsgemäße Verfahren jedoch auch bei Solarzellenstrukturen anwendbar, die einen oder mehrere mittels Diffusion in dem Halbleitersubstrat erzeugte Emitter aufweisen.

Die Erzeugung der Schichtstruktur in Verfahrensschritt A erfolgt vorzugsweise durch PECVD, da hier auf vorhandene Anlagen für den industriellen Einsatz und vorhandenen Prozessparameter zur Erzeugung dieser Schichten zurückgegriffen werden kann. Vorzugweise erfolgt hierbei die Erzeugung der Dotierschicht oder anderer Dotierstoff enthaltender Schichten durch Zugabe eines Dotiergases während des Abscheideprozesses, im Besonderen vorzugsweise durch Zugabe von Phosphingas.

Die lokale Erhitzung im Verfahrensschritt B erfolgt vorzugsweise durch einen Laser und ist insbesondere vorzugsweise gemäß DE 100 46 170 A1 und E. Schneiderlöchner, R. Preu, R. Lüdemann, and S. W. Glunz, „Laser-fired rear contacts for crystalline silicon solar cells," Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 10, pp. 29-34, 2002 und S. W. Glunz, E. Schneiderlöchner, D. Kray, A. Grohe, H. Kampwerth, R. Preu, and G. Willeke, „Laser-fired contact solar cells on p- and n-type substrates," in Proceedings of the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference (Paris, Franke), pp. 408-411, 2004. ausgebildet.

Vorzugsweise erfolgt die Erhitzung durch einen gepulsten Laser, da hierdurch eine ausreichende Erwärmung zur Erzielung der Schmelzmischung erreicht werden kann. Die Wellenlänge des Lasers ist vorzugsweise kleiner 1200 nm, da bei

größeren Wellenlängen die Absorption in Silizium stark abnimmt und keine Aufschmelzung, sondern allenfalls eine Ablation der Schichten erfolgen würde.

Insbesondere die Anwendung eines Lasers, der über ein Spiegelsystem nacheinander auf unterschiedliche Punkte der Kontaktierungsseite zur Erzeugung der Hochdotierungsbereiche abgelenkt wird, ist vorteilhaft. Hierbei kann auf bereits vorhandene Vorrichtungen mit Piezo-Ablenkspiegeln zurückgegriffen werden, so dass in kurzer Prozesszeit eine Vielzahl von Hochdotierungsbereichen an der Kontaktierungsseite erzeugbar ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist grundsätzlich an der Vorder- und/oder an der Rückseite einer Solarzelle bzw. einer Vorstufe einer Solarzelle anwendbar. Wird das Verfahren an der Vorderseite einer Solarzelle angewendet, so wird die Metallschicht derart aufgebracht, dass sie die Vorderseite lediglich teilweise zumindest in den Hochdotierungsbereichen bedeckt, so dass an den nicht durch die Metallschicht bedeckten Bereichen ein Eintritt von elektromagnetischer Strahlung in das Halbleitersubstrat möglich ist. Besonders vorteilhaft ist die Anwendung zur erfindungsgemäßen Verfahren an der Rückseite einer Solarzelle bzw. einer Vorstufe einer Solarzelle. Insbesondere an der Rückseite ist die optische Güte in dem vorgenannten Wellenlängenbereich wesentlich, da Silizium in diesem Wellenlängenbereich eine verglichen mit direkten Halbleitern geringe Absorption aufweist und somit ein erheblicher Anteil an elektromagnetischer Strahlung in diesem Wellenlängenbereich durch das Halbleitersubstrat hindurchtreten kann und somit eine Erhöhung der Gesamtabsorption durch die Reflexion der Strahlung in diesem Wellenlängenbereich mittels dem Zusammenspiel von Reflexionsschicht und Metallschicht erzielt wird.

Vorzugsweise ist die Kontaktierungsseite daher die bei Betrieb der Solarzelle der Einstrahlung elektromagnetischer Strahlung abgewandte Rückseite.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist grundsätzlich sowohl auf Solarzellen mit n-Basisdotierungen, als auch auf Solarzellen mit p-Basisdotierung anwendbar. Insbesondere Siliziumsolarzellen mit n-Basisdotierung besitzen jedoch ein großes Potential in der industriellen Herstellung. Das n-dotierte Silizium besitzt gegenüber dem p-dotierten Silizium inherente Vorteile in Bezug auf die Materialeigenschaften: Es gibt keinen mit der Bildung von Dotierstoff-Sauerstoff-

Komplexen verbundenen Degradationseffekt. Die Lebensdauer der Minoritätsladungsträger ist somit sowohl in Floating-Zone-Silizium als auch in Czrochalsky-Silizium gegenüber p-dotiertem Silizium höher. Weiterhin ist die Toleranz bei n-dotiertem Silizium gegenüber Verunreinigungen wie Eisen hinsichtlich der Lebensdauer höher verglichen mit p-dotiertem Silizium. Darüber hinaus zeichnet sich n-dotiertes Silizium durch eine erhöhte Leitfähigkeit bei gleicher Dotierstoffkonzentration aus, was insbesondere die Effektivität von Hochdotierungsbereichen bei n-Dotierung erhöht gegenüber Hochdotierungsbereichen bei p-Dotierung. Entsprechend werden die höchsten Wirkungsgrade in der Solarzellenproduktion momentan auf der Basis von Solarzellen mit n-Basisdotierung erreicht.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird daher vorzugsweise mit einer n-Basisdotierung angewandt.

Die Reflexionsschicht erfüllt, wie zuvor ausgeführt, primär die Funktion, im Zusammenspiel mit der Metallisierungsschicht eine Reflexion zumindest in dem Infrarotbereich (zwischen 800 nm und 1200 nm) zu bewirken. Vorzugsweise weist die Reflexionsschicht ebenfalls einen Dotierstoff in einer Konzentration von über 10^{20} cm^{-3} auf. Hierdurch wird der Vorteil erzielt, dass während des Aufschmelzens bei der Diffusion von Dotierstoff aus der Dotierschicht keine oder nur in geringerem Maße eine Segregation von Dotierstoff in die Reflexionsschicht erfolgt und somit der Dotierstoff der Dotierschicht im Wesentlichen in den Hochdotierungsbereich diffundiert.

Die Dotierschicht und gegebenenfalls die Passivierungsschicht werden als amorphe, Silizium enthaltende Schichten ausgebildet. Solche amorphe Schichten weisen einerseits gute elektrische Passivierungseigenschaften hinsichtlich der Oberflächenrekombination der angrenzenden Kontaktierungsseite des Halbleitersubstrates auf. Die Passivierungswirkung verbessert sich mit steigender Schichtdicke. Allerdings weisen Schichten aus amorphem Silizium gegenüber kristallinem Silizium erheblich geringere elektrische Leitfähigkeiten auf, so dass auch der elektrische Durchleitungswiderstand bei Stromfluss senkrecht zur Kontaktierungsfläche mit steigender Schichtdicke zunimmt. Dies bei dem erfindungsgemäßen Verfahren jedoch nicht von Nachteil, da die Abführung von Ladungsträgern wesentlich über die Hochdotierungsbereiche und die daran an-

schließenden Punktkontakte mit der Kontaktierungsschicht erfolgen. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann somit eine Optimierung der Schichtdicke hinsichtlich der Passivierungswirkung erfolgen, ohne dass im Gegenzug Nachteile durch erhöhte elektrische Leitungswiderstände entstehen. Vorzugsweise weist die Dotier- und/oder die Passivierungsschicht daher eine Dicke von mindestens 30 nm, insbesondere von mindestens 50 nm auf. Denn Schichten aus amorphem Silizium mit solchen Mindestdicken weisen eine sehr gute elektrische Passivierungseigenschaften auf.

Weitere vorzugsweise Merkmale und Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens werden im Folgenden anhand der Figuren und eines Ausführungsbeispiels erläutert. Dabei zeigt

Figur 1 Verfahrensschritte 0 und A eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung der Rückseite eines Siliziumwafers und

Figur 2 Verfahrensschritte B und C des Ausführungsbeispiels.

In den Figuren 1 und 2 ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung einer Halbleiterstruktur, welche eine Vorstufe einer Siliziumsolarzelle ist, dargestellt. In allen Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente.

Das als Siliziumwafer ausgebildete Halbleitersubstrat 1 weist eine homogene n-Dotierung mit einer Dotierstoffkonzentration von $5x10^{15}$ cm^{-3} auf. Die herzustellende Solarzelle ist somit eine n-Typ-Siliziumsolarzelle.

In sämtlichen in den Figuren dargestellten schematischen Darstellungen ist lediglich ein Teilausschnitt der Halbleiterstruktur dargestellt, die Halbleiterstruktur setzt sich nach rechts und links jeweils fort. Zur besseren Darstellbarkeit ist die schematische Darstellung nicht maßstabsgerecht, insbesondere bezüglich des Verhältnisses von Höhe und Breite.

Das Halbleitersubstrat 1 weist eine Kontaktierungsseite 1a auf, welche die Rückseite des Halbleitersubstrates ist. Bei der fertig gestellten Solarzelle erfolgt

im Betrieb eine Beaufschlagung des Halbleitersubstrates 1 mit elektromagnetischer Strahlung über die der Kontaktierungsseite 1a gegenüberliegende Vorderseite 1b.

In einem Verfahrensschritt 0 erfolgt zunächst eine Reinigung der Kontaktierungsseite 1a. Diese wird als an sich bekannte RCA-Reinigung durchgeführt, wie in W. Kern, D. Puotinen: *Cleaning Solutions Based on Hydrogen Peroxide for Use in Silicon Semiconductor Technology*. In: RCA Review 187 (Juni 1970) beschrieben und umfasst vorzugsweise folgende Schritte:

- Reinigung mit Ammoniumhydroxid, Wasserstoffperoxid, DI-Wasser, im Verhältnis 1:1:5 bis 1:2:7, dann
- Reinigung mit Salzsäure, Wasserstoffperoxid, DI-Wasser, im Verhältnis 1:1:6 bis 1:2:8.

Anschließend erfolgt in einem Verfahrensschritt A die Abscheidung einer Schichtstruktur.

Die Schichtstruktur umfasst eine Passivierungsschicht 2, eine Dotierschicht 3 und eine Reflexionsschicht 4.

Alle drei Schichten werden mittels PECVD abgeschieden und als amorphe Siliziumcarbidschichten ausgebildet. Die Schichten unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich des Gehalts an Kohlenstoff und Dotierstoff:

Zunächst wird die Passivierungsschicht 2 als amorphe Siliziumcarbidschicht mittels PECVD abgeschieden. Die Schichtdicke beträgt vorzugsweise zwischen 5 nm und 50 nm, in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt die Schichtdicke 20 nm. Die Passivierungsschicht 2 ist eine intrinsische Schicht, d. h. sie weist keinen Dotierstoff des Basisdotierungstyps (in diesem Fall keinen n-Dotierstoff) auf. Weiterhin ist die Passivierungsschicht als siliziumreiche Schicht ausgebildet und weist einen Siliziumgehalt von über 90 at% auf. Es liegt im Rahmen der Erfindung, dass die Passivierungsschicht keinerlei Kohlenstoff aufweist in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wird die Dotierschicht mit einem Siliziumgehalt von 95 at% ausgebildet.

Die Passivierungsschicht 2 bewirkt eine Absättigung der Oberflächendefekte der Kontaktierungsseite 1a des Halbleitersubstrates 1, so dass eine effiziente Verringerung der Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit an der Kontaktierungsseite erzielt wird und somit eine hohe elektrische Güte hinsichtlich der Rekombinationseigenschaften an der Kontaktierungsseite 1a des Halbleitersubstrates 1 vorliegt.

Anschließend wird die Dotierschicht 3 abgeschieden. Die Dotierschicht 3 ist ebenfalls als siliziumreiche amorphe Siliziumcarbidschicht ausgebildet und weist einen Siliziumanteil größer 90 at% auf. Auch hier liegt es im Rahmen der Erfindung, dass die Dotierschicht 3 keinen Kohlenstoff aufweist. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beträgt der Siliziumanteil der Dotierschicht 95 at%.

Die Dotierschicht 3 weist eine hohe Dotierung eines Dotierstoffs des Basisdotierungstyps auf, vorzugsweise eine Dotierstoffkonzentration größer 10^{20} cm^{-3}. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Dotierschicht 3 mit Phosphor in einer Konzentration von $8x10^{20}$ cm^{-3} angereichert. Die Dotierung wird erzielt, indem bei der Abscheidung mittels PECVD ein Dotiergas, im vorliegenden Ausführungsbeispiel Phosphin, zu den Precursor-Gasen während des Abscheideprozesses hinzugegeben wird.

Die Dotierschicht 3 dient einerseits als Dotierstoffquelle zur Ausbildung der lokalen Hochdotierungsbereiche in nachfolgenden Verfahrensschritten. Andererseits erhöht die Dotierschicht 3 in Kombination mit der Passivierungsschicht 2 die elektrische Güte der Kontaktierungsseite 1a des Halbleitersubstrates 1 durch Verringerung der Rekombinationsgeschwindigkeit an der Kontaktierungsseite.

Es ist insbesondere notwendig, dass die Dotierschicht 3 als siliziumreiche Schicht mit einem Siliziumanteil größer 90 at% ausgebildet wird, denn eine siliziumreiche Schicht weist verglichen mit einer Schicht mit einem höheren Kohlenstoffanteil und damit einem geringeren Siliziumanteil eine geringere Schmelztemperatur auf. Durch die Ausbildung insbesondere der Dotierschicht 3 und zusätzlich der Passivierungsschicht 2 als siliziumreiche Schichten erfolgt während des nachfolgend beschriebenen lokalen Erhitzens ein lokales Aufschmelzen sowohl des Siliziums, als auch der darüber liegenden siliziumreichen Schichten,

so dass eine Flüssig-Flüssigdiffusion des Dotierstoffes insbesondere aus der Dotierschicht 3 stattfindet und somit eine schnelle Diffusion und damit fehlerunanfällige Ausbildung eines Hochdotierungsbereiches gewährleistet ist. Vorzugsweise sind daher die Dotierschicht und/oder die Passivierungsschicht mit einem Kohlenstoffanteil kleiner 10 at% ausgebildet, insbesondere weisen vorzugsweise beide Schichten einen Kohlenstoffanteil kleiner 10 at% auf.

Die Dotierschicht 3 weist vorzugsweise eine Schichtdicke zwischen 10 nm und 100 nm auf. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beträgt die Dicke der Dotierschicht 50 nm.

Anschließend wird die Reflexionsschicht 4 abgeschieden. Auch die Reflexionsschicht 4 ist als amorphe Siliziumcarbidschicht ausgebildet und weist vorzugsweise eine Schichtdicke zwischen 50 nm und 300 nm auf. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beträgt die Schichtdicke der Reflexionsschicht 100 nm. Im Gegensatz zu Dotierschicht 3 und Passivierungsschicht 2 wird bei der Reflexionsschicht 4 der Kohlenstoffanteil höher gewählt. Entsprechend weist die Reflexionsschicht 4 vorzugsweise einen Siliziumanteil kleiner 40 at% insbesondere vorzugsweise kleiner 50 at% auf. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beträgt der Siliziumanteil der Reflexionsschicht etwa 40 at% und der Kohlenstoffanteil der Reflexionsschicht etwa 60 at%. Hintergrund hierfür ist, dass der optische Brechungsindex der Reflexionsschicht wesentlich von dem Kohlenstoffanteil bestimmt wird und dass für die Reflexionsschicht 4 ein Brechungsindex n_R kleiner dem Brechungsindex des Halbleitersubstrates 1, insbesondere kleiner 2,5 vorteilhaft ist, um eine hohe optische Güte der Rückseite zu erzielen, insbesondere im Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein Brechungsindex n_R im Bereich von 1,8 bis 2,3 erzielt.

Die primäre Funktion der Reflexionsschicht 4 ist, im Zusammenspiel mit einer nachfolgenden Kontaktierungsschicht die Reflexionseigenschaften im Infrarotbereich insbesondere im Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm zu verbessern, so dass elektromagnetische Strahlung in diesem Wellenlängenbereich reflektiert wird und hierdurch die optische Lichtausbeute in dem Halbleitersubstrat 1 und damit der Wirkungsgrad der Solarzelle erhöht wird.

Vorzugsweise weist die Reflexionsschicht 4 zusätzlich Dotierstoff des Basisdotierungstyps auf, so dass sie als zusätzliche Dotierstoffquelle zur Ausbildung des Hochdotierungsbereichs dient und/oder einer Segregation von Dotierstoff aus der Dotierschicht in die Reflexionsschicht entgegenwirkt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird durch Zugabe von Phosphingas wie zuvor beschrieben während der Abscheidung der Reflexionsschicht 4 eine Phosphorkonzentration von etwa $5x10^{20}$ cm^{-3} in der Reflexionsschicht 4 erzielt.

Das Halbleitersubstrat 1 mit der in Verfahrensschritt A erzeugten Schichtstruktur ist in Figur 1A dargestellt.

Anschließend erfolgt in einem Verfahrensschritt B ein lokales Erhitzen der Schichtstruktur und der darunter liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrates an mehreren Zonen zur Ausbildung von lokalen Hochdotierungsbereichen. In Figur 2 ist in den Unterfiguren B und C jeweils ein solcher Hochdotierungsbereich 6 dargestellt.

Die Ausbildung des Hochdotierungsbereichs erfolgt durch lokale Erwärmung mittels eines Lasers, wobei der Laser vorzugsweise ein gepulster Laser ist. In Figur 2B ist schematisch ein Laserpuls 5 dargestellt.

Die lokale Erwärmung mittels des Lasers führt zu einem lokalen Aufschmelzen der aus der Passivierungsschicht 2, der Dotierschicht 3 sowie eines Teilbereichs des Halbleitersubstrats 1 an der Kontaktierungsseite 1a. Die gegenüber den übrigen Schichten kohlenstoffreiche Reflexionsschicht wird aufgrund des höheren Schmelzpunktes durch die lokale Erwärmung ablatiert.

In dem Schmelzgemisch löst sich der Dotierstoff aus der Dotierschicht 3 und im vorliegenden Ausführungsbeispiel auch aus der Reflexionsschicht 4 in der Schmelzmischung, so dass nach Erstarren des Schmelzgemisches ein Hochdotierungsbereich 6 vorliegt, wie in den Figuren 2B und 2C dargestellt. Durch die kurzzeitige lokale Erhitzung erfolgt auch ein geringfügiger Materialabtrag, so dass näherungsweise das erstarrte Schmelzgemisch eine tiefer liegende Oberfläche verglichen mit der das erstarrte Schmelzgemisch umgebenden Reflexionsschicht 4 aufweist, wie in Figur 2B dargestellt.

In Verfahrensschritt B wird somit eine lokale Hochdotierung 6 an der Kontaktierungsseite 1a des Halbleitersubstrates 1 erzeugt, so dass eine Kontaktierung des Halbleitersubstrates möglich ist, bei der einerseits aufgrund der Hochdotierung ein niedriger Kontaktwiderstand gewährleistet ist und andererseits die Rekombinationseigenschaften insbesondere an dem Kontaktierungsbereich, d. h. insbesondere im Hochdotierungsbereich verbessert sind, verglichen mit einer Kontaktierung ohne Hochdotierungsbereich. Im Ergebnis erfolgt somit eine weitere Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades der Solarzelle.

In einem Verfahrensschritt C wird anschließend eine metallische Kontaktierungsschicht 7 aufgebracht. Dies erfolgt vorzugsweise durch ganzflächiges Aufbringen einer Metallschicht auf die unterste Schicht der Schichtstruktur, im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Reflexionsschicht 4. Hierbei entsteht ein elektrisch leitender Kontakt zwischen der Kontaktierungsschicht 7 und dem Hochdotierungsbereich 6.

Das Aufbringen der Kontaktierungsschicht 7 kann in an sich bekannter Weise erfolgen, beispielsweise durch Aufdampfen der Kontaktierungsschicht. Ebenso liegt es im Rahmen der Erfindung, die bereits bekannten Metallisierungsarten für Rückseitenkontaktierungen bei Siliziumsolarzellen zu verwenden, insbesondere die Kontaktierungsschicht aus Aluminium auszubilden. Ebenso liegt die Ausbildung der Kontaktierungsschicht 7 als Schichtsystem bestehend aus mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien im Rahmen der Erfindung.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Kontaktierungsschicht 7 als Aluminiumschicht ausgebildet und mittels Aufdampfen aufgebracht.

Vorzugsweise wird in einem nachfolgenden Sinterschritt, d. h. einem Temperaturschritt bei einer Temperatur zwischen 300 °C und 450 °C die Ausbildung des elektrischen Kontaktes zwischen der Kontaktierungsschicht 7 und dem Halbleitersubstrat 1 an dem Hochdotierungsbereich 6 verbessert.

Die Aufbringung von Passivierungsschicht 2, Dotierschicht 3 und Reflexionsschicht 4 erfolgt wie zuvor ausgeführt mittels PECVD und in an sich bekannter Weise in Niederdruckumgebung. Das Aufbringen von Schichten mittels PECVD

ist dem Fachmann bekannt und beispielsweise in „Principles of plasma discharges and materials processing", M.A. Lieberman, A.J. Lichtenberg, John Wiley & Sons, inc. beschrieben.

Die lokale Erwärmung in Verfahrenschritt B mittels des Lasers erfolgt vorzugsweise wie zuvor beschrieben bei den vorbekannten Verfahren zur Ausbildung von Punktkontakten mittels lokaler Erwärmung durch einen Laser. Insbesondere eignen sich Lichtpulse eines Lasers mit einer Pulsdauer, die zwischen 1 ns und 5 µs liegt für das erfindungsgemäße Verfahren um die thermische Belastung der angrenzenden Materialschichten möglichst gering zu halten, aber gleichzeitig die thermische Einwirkung lang aufrecht zu erhalten, um das Aufschmelzen des Schichtsystems und des Siliziums bis in eine Tiefe von ca. 100 nm bis einigen µm zu gewährleisten, vorzugsweise Tiefen zwischen 0,1 µm bis 10 µm. Als Prozesswellenlängen eignen sich Wellenlängen in einem Bereich von 200 bis 1200 nm. Als Laser wird vorzugsweise ein jeweils gepulster Festkörperlaser (z.B. Nd:YAG-Laser, Yb:YAG-Laser, ein Faserlaser oder Faserverstärker) verwendet, dessen Laserstrahl mittels Ablenkspiegeln auf die entsprechenden Punkte zur Erzeugung von Hochdotierungsbereichen abgelenkt wird. Hierdurch kann in sequentieller Abfolge eine Vielzahl von Hochdotierungsbereichen in kurzer Zeit erzeugt werden, da nur eine sehr geringe Einwirkungszeit des Lasers auf einen Punkt zur Erzeugung eines Hochdotierungsbereiches benötigt wird.

Wie zuvor beschrieben, ist das erfindungsgemäße Verfahren sowohl bei Solarzellen mit eindiffundierten Emittern, als auch bei Solarzellen mit durch Heterostrukturen erzeugten Emitter, d. h. Emittern, die durch Aufbringen von Schichten mit einer zu der Dotierung des Halbleitersubstrates entgegengesetzten Dotierung erzeugt werden, anwendbar.

Da sämtliche Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens Niedertemperaturschritte sind und somit keine globale Erwärmung der Halbleiterstruktur auf Temperaturen größer 450 °C (gegebenenfalls abgesehen von der lokalen Erwärmung an den Hochdotierungsbereichen) erfolgt, ist eine Implementierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in bereits bestehende Verfahren zur Herstellung von Solarzellen problemlos möglich. Vorzugsweise erfolgt die Erzeugung des Emitters vor Durchführen der Verfahrensschritte A, B und C.

Ansprüche

1. Verfahren zur lokalen Hochdotierung und Kontaktierung einer Halbleiterstruktur, welche eine Solarzelle oder eine Vorstufe einer Solarzelle ist und ein Silizium-Halbleitersubstrat (1) eines Basisdotierungstyps umfasst, wobei die Hochdotierung und Kontaktierung erfolgt durch
Erzeugen mehrerer lokaler Hochdotierungsbereiche des Basisdotierungstyps in dem Halbleitersubstrat (1) an einer Kontaktierungsseite (1a) des Halbleitersubstrates und
Aufbringen einer metallischen Kontaktierungsschicht (7) auf die Kontaktierungsseite (1a) oder gegebenenfalls eine oder mehrere die Kontaktierungsseite (1a) ganz oder teilweise bedeckende Zwischenschichten, zur Ausbildung elektrisch leitender Verbindungen zwischen der metallischen Kontaktierungsschicht (7) und dem Halbleitersubstrat (1) an den Hochdotierungsbereichen,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst:

   A Erzeugen einer die Kontaktierungsseite (1a) des Halbleitersubstrates bedeckende Schichtstruktur, umfassend
      - eine Dotierschicht (3), welche einen Dotierstoff des Basisdotierungstyps enthält und ausgebildet wird als Schicht aus amorphem Silizium oder als Schicht aus amorphem Siliziumcarbid mit einem Kohlenstoffgehalt kleiner 10 at%
      und
      - eine Reflexionsschicht (4), welche zumindest in dem Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1200 nm mit einem Brechungsindex n_R kleiner dem Brechungsindex n_{HS} des Halbleitersubstrates ausgebildet wird,

   wobei die Dotierschicht (3) in der Schichtabfolge näher an der Kontaktierungsseite (1a) liegend als die Reflexionsschicht (4) ausgebildet wird,

   B lokales Erhitzen der Schichtstruktur und der darunter liegenden Oberfläche des Halbleitersubstrates an mehreren Zonen zur Ausbildung

von lokalen Hochdotierungsbereichen, wobei die lokale Erhitzung derart erfolgt, dass sich an den lokal erhitzten Bereichen jeweils lokal eine Schmelzmischung aus zumindest der Dotierschicht (3) und einem Teilbereich des Halbleitersubstrates an der Kontaktierungsseite (1a) ausbildet und sich bei Erstarren der Schmelzmischung ein durch zumindest den Dotierstoff der Dotierschicht (3) stärker dotierter Hochdotierungsbereich (6) in dem Halbleitersubstrat (1) an der Kontaktierungsseite (1a) ausbildet und

C Aufbringen einer metallischen Kontaktierungsschicht (7), zur Ausbildung einer elektrisch leitenden Verbindung zwischen Halbleitersubstrat (1) und Kontaktierungsschicht (7) an den Hochdotierungsbereichen.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass in Verfahrensschritt A die Schichtstruktur mit zusätzlich einer amorphen Passivierungsschicht (2) mit einen Siliziumanteil von mindestens 90at% ausgebildet wird, wobei die Passivierungsschicht (2) keinen Dotierstoff des Basisdotierungstyps oder nur eine Konzentration kleiner $1x10^{19}$ cm^{-3} eines solchen Dotierstoffes enthält und
die Passivierungsschicht (2) in der Schichtabfolge näher an der Kontaktierungsseite (1a) liegend als die Dotierschicht (3) ausgebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Passivierungsschicht (2) mit einer Dicke zwischen 5 nm und 100 nm, vorzugsweise zwischen 30 nm und 50 nm ausgebildet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Passivierungsschicht (2) als Siliziumcarbidschicht ausgebildet wird, welche Kohlenstoff aufweist, insbesondere, dass die Schicht mit einem Kohlenstoffanteil zwischen 1 at% und 10 at% ausgebildet wird.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dotierschicht (3) mit einer Dicke zwischen 10 nm und 100 nm, vorzugsweise zwischen 30 nm und 50 nm ausgebildet wird.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dotierschicht (3) als Siliziumcarbidschicht ausgebildet wird, welche Kohlenstoff aufweist, insbesondere, dass die Schicht mit einem Kohlenstoffanteil zwischen 1 at% und 10 at% ausgebildet wird.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsschicht (4) mit einer Dicke zwischen 50 nm und 300 nm, vorzugsweise zwischen 100 nm und 300 nm ausgebildet wird.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsschicht (4) als Siliziumcarbidschicht ausgebildet wird, welche Kohlenstoff aufweist, insbesondere, dass die Schicht mit einem Kohlenstoffanteil größer 40 at%, bevorzugt größer 50 at% ausgebildet wird.

9. Verfahren nach einem der vorangegangen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsschicht (4) zumindest in dem Wellenlängebereich zwischen 800 nm und 1200 nm mit einem Brechungsindex n_R kleiner 2.5 und größer 1 ausgebildet wird.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor Verfahrensschritt A eine Reinigung zumindest der Kontaktierungsseite (1a) des Halbleitersubstrates erfolgt, vorzugsweise eine nasschemische Reinigung.

11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritt A alle Schichten mittels Niedertemperaturverfahren bei Temperaturen kleiner 300°C erzeugt werden.

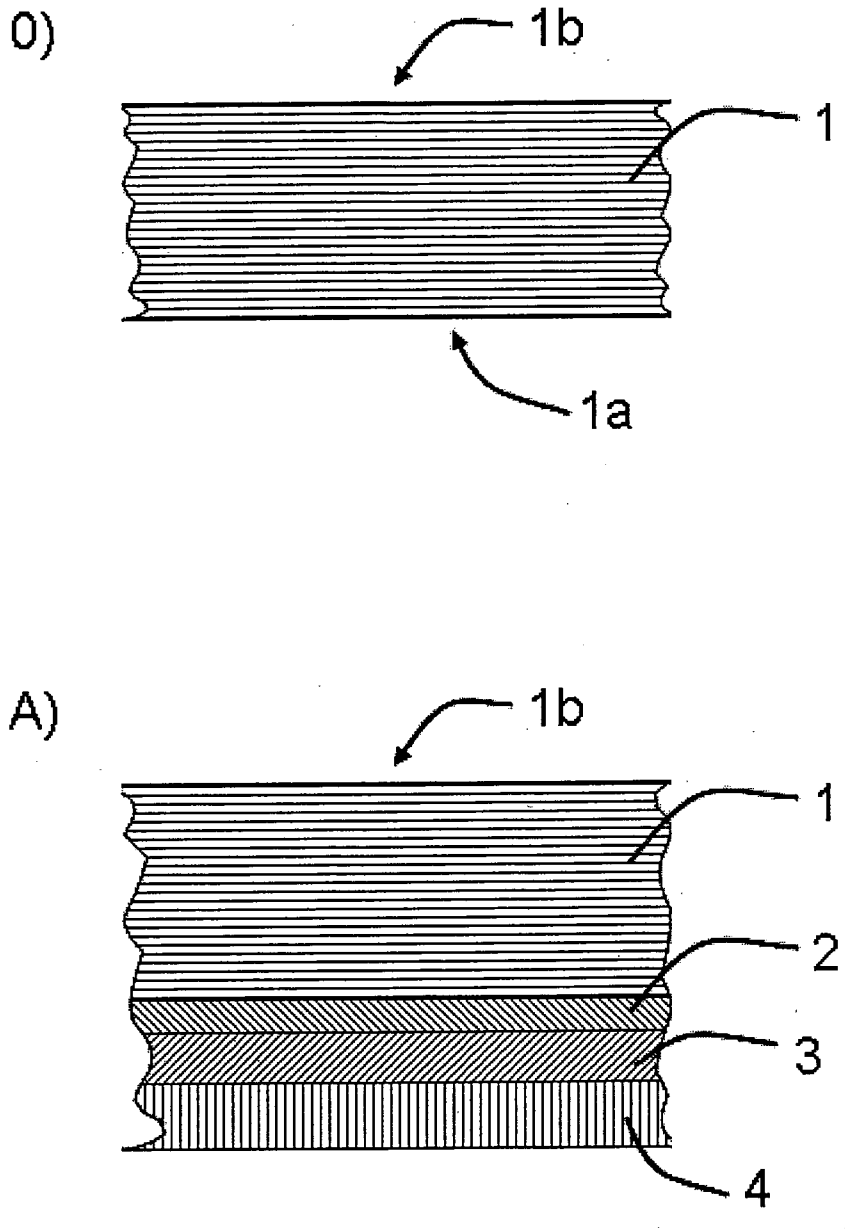
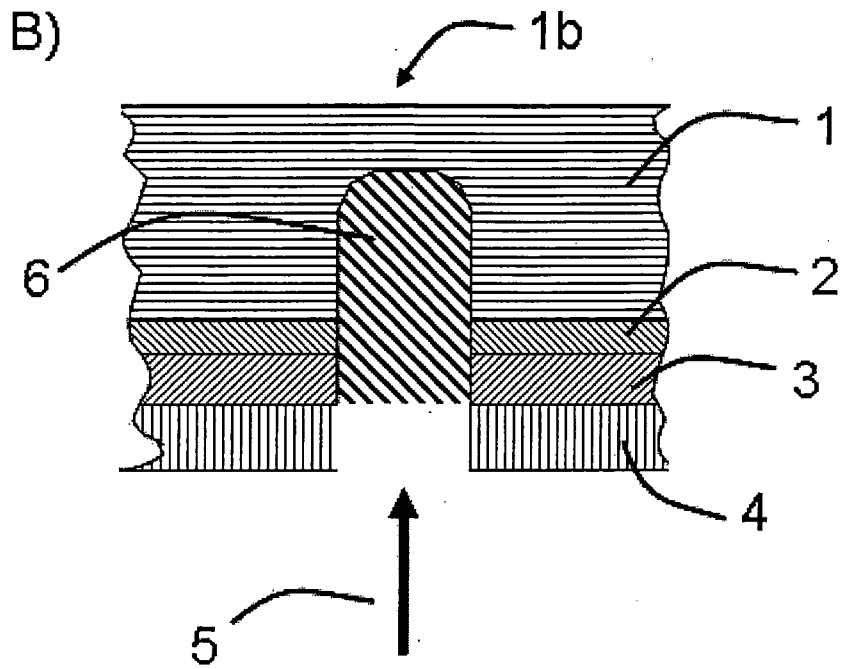
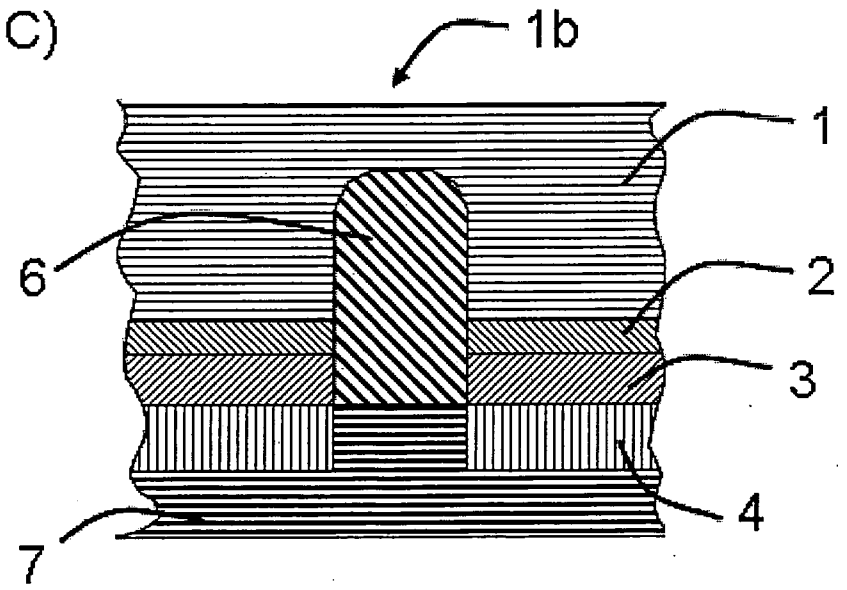
12. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritt A die Schichtstruktur durch PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) erzeugt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritt A eine oder mehrere der Dotierstoff enthaltenden Schichten durch Zugabe eines Dotiergases während des Abscheideprozesses erzeugt wird, vorzugsweise durch Zugabe von Phosphingas.

14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in Verfahrensschritt B das lokale Erhitzen mittels eines Lasers erfolgt.

15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktierungsseite (1a) die bei Betrieb der Solarzelle der Einstrahlung elektromagnetischer Strahlung abgewandte Rückseite ist.

Figur 1



Figur 2