

(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
18. Juni 2009 (18.06.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/074468 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/066439

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. November 2008 (28.11.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102007059490.0
11. Dezember 2007 (11.12.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **Institut für Solarenergieforschung GmbH**
[DE/DE]; Am Ohrberg 1, 31860 Emmerthal (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HARDER, Nils-Peter**
[DE/DE]; Klütstrasse 27, 31787 Hameln (DE).

(74) Anwalt: **Maiwald Patentanwalts GmbH**; Dr. KÜHN,
Ralph, Elisenhof, Elisenstr. 3, 80335 Munich (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, 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, PG,
PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REAR-CONTACT SOLAR CELL HAVING AN INTEGRATED BYPASS DIODE FUNCTION AND METHOD FOR
PRODUCING THE SAME

(54) Bezeichnung: RÜCKKONTAKTSOLARZELLE MIT INTEGRIERTER BYPASSDIODEN-FUNKTION SOWIE
HERSTELLUNGSVERFAHREN HIERFÜR

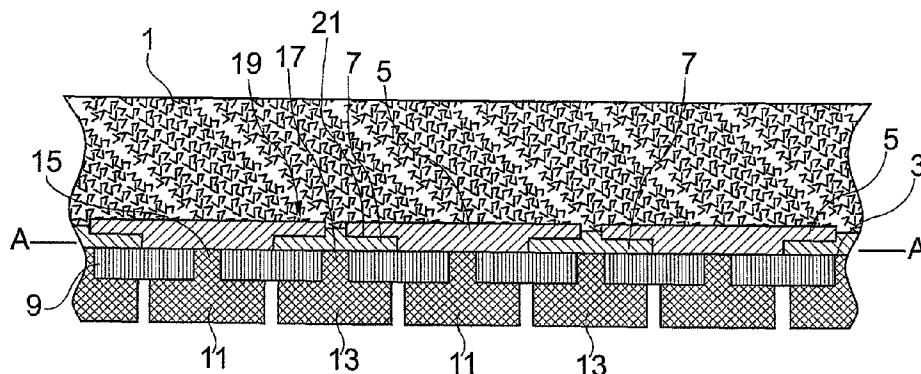


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a rear-contact solar cell wherein emitter regions (5) and highly doped base regions (7) are defined on a semiconductor substrate of the base semiconductor type on a surface of a rear side of the cell, the emitter regions and the base regions being electrically contacted with emitter contacts (11) and base contacts (13), respectively. An interface (21) in which highly doped base regions (7) adjoin highly doped emitter regions (5) is larger than 5% of the rear side surface (3) of the semiconductor substrate (1). To achieve this, the emitter regions (5) overlap the base regions (7) in overlap regions (19) laterally in planes that are parallel relative to the rear side surface (3) of the semiconductor substrate (1). Owing to the large interface (21) between the highly doped emitter and base regions (5, 7), it is possible to produce a p^+n^+ junction in this region which junction allows a sufficiently strong current to flow in the reverse direction when the voltages are high enough, to function as a bypass diode for the solar cell.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/074468 A2



EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, 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*

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Rückkontakt-Solarzelle vorgeschlagen, bei der an einem Halbleitersubstrat vom Basis-Halbleitertyp an einer Rückseitenoberfläche sowohl Emitterbereiche (5) als auch stark dotierte Basisbereiche (7) ausgebildet sind, die jeweils von Emitterkontakten (11) und Basiskontakten (13) elektrisch kontaktiert werden. Eine Grenzfläche (21), an der stark dotierte Basisbereiche (7) an stark dotierte Emitterbereiche (5) angrenzen, ist größer als 5 % der Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrats (1). Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Emitterbereiche (5) die Basisbereiche (7) in Überlappungsbereichen (19) lateral in Ebenen parallel zur Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrats (1) überlappen. Aufgrund der großen Grenzfläche (21) zwischen hoch dotierten Emitter- und Basisbereichen (5, 7) kann in dieser Region eine p^+n^+ -Junction erzeugt werden, die bei entsprechend hohen Spannungen einen ausreichend hohen Strom in Sperrrichtung fließen lässt, um für die Solarzelle als Bypass-Diode wirken zu können.

Rückkontaktsolarzelle mit integrierter Bypassdioden-Funktion sowie Herstellungsverfahren hierfür

BEREICH DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Rückkontakt-Solarzelle mit integrierter Bypass-Dioden-Funktion sowie ein Herstellungsverfahren für eine solche Rückkontakt-Solarzelle.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Eine übliche Form der Nutzung von Solarzellen ist ihre Verschaltung zu Modulen. In diesen Modulen wird jeweils eine bestimmte Anzahl von Solarzellen zu sogenannten „Strings“ in Reihe geschaltet. Die Reihenschaltung ist erstrebenswert, da sich in dieser Weise die Spannungen der einzelnen Solarzellen des Strings addieren und die durch die gesamte Reihenschaltung fließende Stromstärke der von einer einzelnen Solarzelle generierten Stromstärke entspricht. Da Widerstandsverluste eine Funktion der Stromstärke sind, wird durch die Reihenschaltung der Solarzellen zu Strings der Verlust an elektrischer Energie in den Widerständen der stromführenden Leitungen innerhalb eines Moduls minimiert.

Ist in einem solchen String jedoch eine der Solarzellen abgeschattet oder defekt, so wird nicht nur in dieser abgeschatteten Zelle kein Beitrag zur Generation von elektrischer Energie geleistet, sondern diese Zelle blockiert den Stromfluss durch den gesamten String. Das heißt,

der Licht-generierte Strom der nicht abgeschatteten Zellen wird, soweit es die summierte Spannung der nicht abgeschatteten Zellen zulässt, durch die abgeschattete Zelle, die in diesem Fall als pn-Diode in Sperrrichtung wirkt, getrieben. Hierbei wird eine unter Umständen erhebliche elektrische Leistung in der abgeschatteten Zelle umgesetzt, die zu starken lokalen Erwärmungen und letztendlich zu Beschädigungen des Moduls führen kann.

Aus diesem Grunde werden in Modulverschaltungen sogenannte Bypass-Dioden eingebaut, die einen ganzen String, Teilbereiche eines Strings oder auch nur eine einzelne Solarzelle eines Strings derart überbrücken können, dass bei Teilabschattungen die in dem verbleibenden Teil des Strings erzeugte elektrische Energie durch die Bypass-Diode fließen kann, anstatt durch die abgeschattete oder defekte Solarzelle. Hierzu wird herkömmlicherweise eine normale pn-Diode in Durchlassrichtung parallel zu dem zu überbrückenden Stringbereich geschaltet.

Diese Art der Verschaltung mit Bypass-Dioden ist eine Methode, bei der eine Schädigung von Solarzellen bzw. des ganzen Solarmoduls, vermieden werden kann und die erreicht, dass zumindest ein Teil der beleuchteten Solarzellen noch zur Bereitstellung elektrischer Energie beitragen kann.

Es ist jedoch anzumerken, dass für den Fall, dass eine Bypass-Diode einem ganzen String oder einem aus mehreren Solarzellen bestehenden Teilbereich eines Strings zugeordnet wird, auch bei Abschattung nur einer einzelnen Solarzelle auch die Leistung der anderen Solarzellen in dem String bzw. Teilstring der Stromerzeugung in dem Modul nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Solarzellen im Modul werden daher bei Abschattung einzelner Zellen nicht optimal für die Bereitstellung elektrischer Energie genutzt. Der hierzu alternative Fall, jede einzelne Solarzelle mit einer ihr zugeordneten Bypass-Diode zu versehen, bedeutet bei herkömmlichen Solarzellen einen erheblichen zusätzlichen Verschaltungs- und Kostenaufwand.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es kann ein Bedarf an einer Solarzelle bestehen, die derart ausgestaltet ist, dass, wenn sie mit anderen Solarzellen in Serie zu einem String verschaltet ist, eine Abschattung der Solarzelle lediglich zu einem geringfügigen Leistungsverlust bezogen auf die von dem String zur Verfügung gestellte elektrische Leistung bewirkt. Ferner kann ein Bedarf für eine Solarzelle mit der genannten Eigenschaft bestehen, bei der kein zusätzlicher Verschaltungsaufwand nötig ist. Es kann außerdem Bedarf an einem Herstellungsverfahren für eine solche Solarzelle bestehen.

Dieser Bedarf kann durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche erfüllt werden. Vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Rückkontakt-Solarzelle vorgeschlagen, aufweisend: ein Halbleitersubstrat, das einen Basis-Halbleitertyp mit einer ersten Dotierungskonzentration aufweist; Emitterbereiche entlang einer Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats, wobei die Emitterbereiche einen dem Basis-Halbleitertyp entgegengesetzten Emitter-Halbleitertyp aufweisen; hochdotierte Basisbereiche entlang der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats, wobei die Basisbereiche den Basis-Halbleitertyp mit einer zweiten Dotierungskonzentration aufweisen, wobei die zweite Dotierungskonzentration größer ist als die erste Dotierungskonzentration; Emitterkontakte zur elektrischen Kontaktierung der Emitterbereiche; und Basiskontakte zur elektrischen Kontaktierung der Basisbereiche. Hierbei soll eine Grenzfläche, an der hochdotierte Basisbereiche an Emitterbereiche angrenzen, größer sein als 5 % der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats.

- 4 -

Dieser erste Aspekt der vorliegenden Erfindung kann als auf der folgenden Idee basierend angesehen werden: bei der beschriebenen Rückkontakt-Solarzelle grenzen von Emitterkontakten kontaktierte Emitterbereiche an von Basiskontakten kontaktierte hochdotierte Basisbereiche, wobei diese Basisbereiche eine höhere Dotierungskonzentration aufweisen als die Grunddotierungskonzentration des die Solarzelle bildenden Halbleitersubstrats. Somit weisen zumindest die hochdotierten Basisbereiche, vorzugsweise aber auch die Emitterbereiche, eine verhältnismäßig hohe Dotierungskonzentration auf. An den Grenzflächen, das heißt, dort, wo hochdotierte Basisbereiche an Emitterbereiche angrenzen, bildet sich somit eine pn-Diode, bei der zumindest eine, vorzugsweise aber beide Dotierungsregionen hoch dotiert sind, das heißt es bildet sich eine p^+n -junction bzw. eine pn^+ -junction oder eine p^+n^+ -junction. Die entstehende Diode kann dabei als parallel und in gleicher Polungsrichtung zu einer die eigentliche Solarzelle bildenden flächigen pn-junction geschaltet angesehen werden. Solche parallel geschalteten Dioden, bei denen zumindest eine Dotierungsregion, vorzugsweise jedoch beide Dotierungsregionen, stark dotiert sind, können bereits bei relativ niedrigen Spannungen in Sperrrichtung verhältnismäßig hohe Ströme zulassen. In besonderen, weiter unten detaillierter beschriebenen Ausführungsformen, können solche Dioden sogar oberhalb gewisser Grenzspannungen in Sperrrichtung einen plötzlichen Anstieg der Leitfähigkeit aufweisen.

Die Stärke der in Sperrrichtung möglichen Ströme hängt dabei unter anderem linear von der zur Verfügung stehenden Grenzfläche zwischen den Basisbereichen und den Emitterbereichen ab. Wenn die Grenzfläche groß genug ist, beispielsweise größer als 5 % der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats, kann der auf diese Weise zulässige Sperrstrom bei angelegten Spannungen, wie sie typischerweise in einem in Reihe geschalteten Solarzellenzellenstring auftreten, eine Größenordnung annehmen, die in etwa der von den Solarzellen zur Verfügung gestellten Stromstärke entspricht. Die durch die stark dotierten Emitter- und/oder Basisbereiche erzeugten, parallel zu der eigentlichen pn-junction der

Solarzelle geschalteten p^+n^+ -junctions können somit für die Rückkontakt-Solarzelle wie eine integrierte Bypass-Diode wirken.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und mögliche Vorteile von Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Rückkontakt-Solarzelle werden im Anschluss erläutert.

Unter einer Rückkontakt-Solarzelle kann vorliegend eine Solarzelle verstanden werden, bei der sowohl die Emitterkontakte als auch die Basiskontakte an einer Rückseite, das heißt einer im Einsatz dem eingestrahlten Licht abgewandten Seite der Solarzelle angeordnet sind. Hierzu werden zumindest Teile des die Strom-sammelnde pn-junction bildenden Emitters an der Rückseitenoberfläche der Solarzelle ausgebildet und dort von den Emitterkontakten kontaktiert. Zusätzlich zu den allgemeinen Vorteilen von Rückkontaktsolarzellen, dass aufgrund des Verzichts auf Emitterkontakte auf der Solarzellen-Vorderseite Abschattungsverluste vermieden werden, und dass aufgrund der Tatsache, dass sowohl die Emitterkontakte als auch die Basiskontakte auf der Zellrückseite angeordnet sind, die Zellen in einfacher Weise miteinander verschaltet werden können, weist die hier vorgestellte Rückkontakt-Solarzelle aufgrund der flächigen Ausgestaltung von aneinander grenzenden Emitter- und hochdotierten Basisbereichen die Möglichkeit einer Integration einer Bypass-Dioden-Funktion in die Solarzelle auf.

Das Halbleitersubstrat kann beispielsweise ein Silizium-Wafer sein. Es kann beispielsweise mit Bor in einer ersten relativ geringen Dotierungskonzentration von etwa $0,1 - 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ dotiert sein, so dass der Basis-Halbleiter ein p-Halbleitertyp ist. Alternativ kann das Halbleitersubstrat mit Phosphor dotiert sein, so dass der Basis-Halbleitertyp ein n-Halbleitertyp ist.

Alternativ kann das Halbleitersubstrat auch aus einem beliebigen anderen Halbleiter bestehen. Es kann auch als Halbleiter-Dünnschicht vorgesehen werden.

Die Emitterbereiche können sich entlang der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats direkt an der Oberfläche erstrecken, es können aber auch Teile der Emitterbereiche, insbesondere in Überlappungsbereichen mit den Basisbereichen, nicht direkt an die Oberfläche angrenzen, sondern sich etwas tiefer im Inneren des Halbleitersubstrats erstrecken. Diese im Inneren „vergrabenen“ Emitterbereiche können in elektrischem Kontakt mit den an die Rückseitenoberfläche angrenzenden Regionen der Emitterbereiche stehen, so dass sie von dort aus auch elektrisch durch die Emitterkontakte kontaktiert werden können.

Die Emitterbereiche können durch Eindiffundieren von Dotanden in das Halbleitersubstrat erzeugt werden. Beispielsweise kann in einem Halbleitersubstrat vom p-Typ durch lokales Eindiffundieren von Phosphor ein Emitterbereich vom n-Typ erzeugt werden. Alternativ können die Emitterbereiche jedoch auch durch andere Verfahren wie zum Beispiel durch Ionenimplantation oder Legieren erzeugt werden, so dass sich eine sogenannte Homo-Junction, das heißt ein pn-Übergang mit gegensätzlich dotierten Bereichen eines gleichen Halbleitergrundmaterials, zum Beispiel Silizium, ergibt. Alternativ können die Emitterbereiche auch epitaktisch abgeschieden werden, beispielsweise aufgedampft oder aufgesputtert werden, so dass sich Homo- oder sogenannte Hetero-Junctions ergeben, das heißt, dass im Falle von Hetero-Junctions pn-Übergänge vorliegen zwischen einem ersten Halbleitermaterial vom Basis-Halbleitertyp und einem zweiten Halbleitermaterial eines Emitter-Halbleitertyps. Ein mögliches Beispiel sind Emitterbereiche aus mittels der PECVD-Technik aufgebrachten amorphen Siliziumschichten (a-Si) auf einem Halbleitersubstrat aus kristallinem Silizium (c-Si).

Auch die Basisbereiche können mittels eines der oben genannten Herstellungsverfahren erzeugt werden, wobei jedoch eine Erzeugung durch lokales Eindiffundieren eines Dotanden zur Bildung der Basisbereiche bevorzugt sein kann.

Die Emitterbereiche und die Basisbereiche können, in einer Draufsicht auf die Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats gesehen, jeweils eine kammartige Struktur aufweisen, bei der jeweils lineare fingerartige Emitterbereiche an benachbarte lineare fingerartige Basisbereiche angrenzen. Eine solche verschachtelte Struktur wird auch als „interdigitated“ bezeichnet.

Sowohl die Emitterkontakte als auch die Basiskontakte können jeweils in Form einer lokalen Metallisierung beispielsweise in Form von fingerartigen Grids ausgebildet sein. Hierzu können Metalle wie zum Beispiel Silber oder Aluminium lokal beispielsweise durch eine Maske oder unter Verwendung von Photolithographie oder Siebdruck oder andere Verfahren auf die Basis- bzw. Emitterbereiche abgeschieden werden, beispielsweise durch Aufdampfen oder Aufspütern oder auch durch Verwendung von Siebdruck- oder Dispensverfahren. Generell können alle Verfahren verwendet werden, die es ermöglichen, Kontakte lokal, beispielsweise Finger- oder Grid-förmig, an einer Substratrückseite auszubilden, einschließlich der Möglichkeit, ganzflächige Metallschichten aufzubringen, die im Nachhinein durch lokales Entfernen strukturiert werden. Zur Vermeidung von Kurzschlüssen zwischen den Emitterkontakten und den Basiskontakten kann zwischen den beiden jeweils ein elektrisch isolierender Spalt vorgesehen sein.

Ein wesentliches Merkmal für die erfindungsgemäße Rückkontakt-Solarzelle ist die große Grenzfläche, an der an der Rückseite des Halbleitersubstrats hochdotierte Basisbereiche an Emitterbereiche grenzen. Je größer diese Grenzfläche ist, desto stärker ausgeprägt wird die Bypass-Dioden-Funktion sein, d.h. desto höhere Ströme können schon bei geringen Spannungen von wenigen Volt in Sperrrichtung durch die p^+n^+ -Junction fließen. Die Grenzfläche kann größer als 5%, vorzugsweise größer als 10%, stärker bevorzugt größer als 20% und noch stärker bevorzugt größer als 30% der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrates sein. Generell hängt die für eine ausreichende Bypass-Dioden-Funktion nötige Grenzfläche stark von den Eigenschaften der aneinandergrenzenden Emitter- und

hochdotierten Basisbereiche, insbesondere ihrer Dotierungskonzentration und ihres Dotierungsprofils, ab. Idealerweise sollten diese Eigenschaften so gewählt sein, dass die aneinandergrenzenden Emitter- und hochdotierten Basisbereiche zwar den Wirkungsgrad der Solarzelle unter normalen beleuchteten Betriebsbedingungen, z.B. bei einer über der Zelle anliegenden Spannung von ca. 0,45 – 0,65V, kaum negativ beeinflussen, dass aber bei Abschattung der Zelle aufgrund der dann an der Zelle anliegenden, von den benachbarten Zellen im String generierten Spannung von beispielsweise mehr als 0,5V oder einigen wenigen Volts ein ausreichend hoher Strom in Sperrrichtung durch die Zelle fließen kann, beispielsweise etwa in Höhe des Kurzschlussstroms einer entsprechenden Solarzelle (z.B. 30 – 40mA/cm² x Fläche der Solarzelle).

Die große Grenzfläche kann, wie weiter unten für spezifische Ausführungsbeispiele beschrieben, auf verschiedene Art und Weise erzeugt werden. Sowohl die Emitterbereiche als auch die Basisbereiche können sich hierbei sehr nahe der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats erstrecken, insbesondere angesichts der im Vergleich zur Dicke der Emitter- bzw. Basisbereiche von z.B. wenigen Mikrometern üblicherweise großen Dicke des Halbleitersubstrats, die bei einem Siliziumwafer beispielsweise etwa 200 µm ausmachen kann. Der Emitterbereich kann sich jedoch, insbesondere in Überlappungsbereichen mit den Basisbereichen, tiefer in das Halbleitersubstrat hinein erstrecken als die Basisbereiche. Beispielsweise kann der Emitterbereich sich bis in eine Tiefe von mehr als 1 µm, vorzugsweise mehr als 2 µm unterhalb der Rückseitenoberfläche erstrecken, wohingegen die Basisbereiche beispielsweise lediglich weniger als 1 µm tief, beispielsweise etwa 0,5 µm tief, in das Halbleitersubstrat hineinreichen.

Die Emitterbereiche erstrecken sich hierbei in der fertigen Solarzelle nicht entlang der gesamten Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats, sondern es verbleiben kleine lokale Bereiche, die nicht den Emitter-Halbleitertyp aufweisen und die später zur elektrischen Verbindung zwischen den an der Rückseitenoberfläche ausgebildeten hochdotierten

Basisbereichen und den Basisbereichen im Inneren des Halbleitersubstrats dienen können. Diese Verbindungsbereiche, in denen entweder bereits bei der Erzeugung der Emitterbereiche keine entsprechende Emitter-Dotierung bewirkt wurde oder in denen eine zuvor erzeugte Emitter-Dotierung nachträglich wieder entfernt wurde, beispielsweise durch Wegätzen oder Weglasern, oder in denen bei der nachfolgenden Bildung der rückseitigen Basisbereiche die Emitterschicht lokal überkompensiert wurde, so dass ein Durchgang von den rückseitigen Basisbereichen zu dem Basis-dotierten Hauptvolumen des Halbleitersubstrates besteht, können linienartig, beispielsweise parallel oder senkrecht zu den später auszubildenden Basiskontakten, oder punktförmig sein.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Basisbereiche und die Emitterbereiche derart ausgebildet, dass sich an der Grenzfläche, an der hochdotierte Basisbereiche an Emitterbereiche angrenzen, ein pn-Übergang mit den Eigenschaften einer Zener-Diode ergibt.

Dioden haben generell die Eigenschaft, dass sie bei Anlegen einer Spannung in Vorwärtsrichtung einen Strom durchlassen, wobei die Stromstärke exponentiell von der angelegten Spannung abhängt, wohingegen sie bei einer in Sperrrichtung angelegten Spannung zumindest bis hin zu einer Grenzspannung, die als Durchbruchspannung bezeichnet wird, quasi keinen Stromfluss zulassen. Die Durchbruchspannung und der Durchbruchmechanismus hängen vom Bandabstand des verwendeten Halbleitermaterials und von der Dotierung der die Diode bildenden Halbleiterschichten in der Nachbarschaft des pn-Übergangs ab. Bei beidseitig sehr hoher Dotierung, beispielsweise in der Größenordnung von 10^{19} cm^{-3} oder höher, kommt es bei pn-Dioden aus Silizium bei Anlegen einer Sperrspannung von beispielsweise nur wenigen Volt zu einer solch hohen Feldstärke in der Raumladungszone, dass Elektronen vom Valenzband des Halbleiters ins Leitungsband „tunneln“ können und sich dadurch ein durchbruchsartiger Stromanstieg ergeben kann. Dieser

nach seinem Entdecker als „Zener-Durchbruch“ benannte Effekt ist die physikalische Basis für in der Elektronik häufig verwendete Zener-Dioden.

Unter der Zenerdioden-Eigenschaft kann hierbei verstanden werden, dass die Diode zwar bei einer in Vorwärtsrichtung angelegten Spannung sich wie eine Diode verhält, d.h. der geleitete Strom nicht linear sondern beispielsweise exponentiell von der Spannung abhängt, dass andererseits aber die Diode bei in Sperrrichtung angelegter Spannung nicht wie eine konventionelle Diode verhält und den Strom sperrt, sondern schon bei geringen Sperrspannung gut leitet.

Diodentypen, die sich ähnlich verhalten wie Zenerdioden, sind die sogenannten Back-Dioden oder die Tunnelioden. Diese Diodentypen können somit auch eine Zenerdioden-Eigenschaft im Sinne dieser Anmeldung aufweisen.

Gemäß der vorliegend beschriebenen Ausführungsform können insbesondere die Dotierungskonzentrationen und -profile in den Emitter- und/oder Basisbereichen derart gewählt werden, dass die in den Grenzflächenbereichen der entstehenden p^+n^+ -Junction geeignete Zener-Dioden-Eigenschaften bzw. Tunnel- oder Back-Dioden-Eigenschaften für die Realisierung einer Bypass-Diode aufweisen. Beispielsweise können die Zener-Dioden-Eigenschaften so gewählt werden, dass sich ein Durchbruch bereits bei geringen Sperrspannungen, beispielsweise der einfachen oder doppelten offenen Klemmspannung der Solarzelle, vorzugsweise jedoch bei noch kleineren Spannungen, einstellen kann, so dass im Falle einer Abschattung der Solarzelle bereits die von einer oder zwei weiteren, intakten Solarzellen im gleichen String erzeugte Spannung ausreicht, um die Zener-Dioden zum Durchbrechen zu veranlassen und ihnen somit eine Eigenschaft einer Bypass-Diode zu geben.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung überlappen Emitterbereiche und Basisbereiche in Überlappungsbereichen zumindest teilweise in Ebenen parallel zur Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats. Mit anderen Worten kann es Überlappungsbereiche geben, in denen Emitterbereiche und Basisbereiche nicht nur seitlich aneinander grenzen, sondern sich die Emitterbereiche und die Basisbereiche im Wesentlichen parallel zueinander und parallel zur Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats erstrecken und dabei direkt aneinander grenzen.

Sowohl die Emitterbereiche als auch die Basisbereiche sind meist aufgrund ihrer Herstellung, beispielsweise durch Eindiffundieren von Dotanden, als dünne Schichten mit einer Dicke von höchstens wenigen μm ausgebildet. Dadurch, dass die Emitterbereiche und die Basisbereiche nicht nur nebeneinander angeordnet sind und sich an ihren seitlichen Rändern nur über eine der Schichtdicke entsprechende Höhe von wenigen μm kontaktieren, sondern flächig parallel zueinander und zur Rückseitenoberfläche aneinander angrenzend angeordnet sind, kann die für die Bildung einer Bypass-Dioden-Eigenschaft wichtige Grenzfläche zwischen den Emitterbereichen und den hochdotierten Basisbereichen in einfacher Weise vergrößert werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist diese Grenzfläche zwischen parallel zueinander angeordneten flächigen Emitterbereichen und Basisbereichen größer als 5 %, vorzugsweise größer als 10 % und stärker bevorzugt größer als 20 % der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind Emitterbereiche und Basisbereiche in Verzahnungsbereichen kammartig miteinander verzahnt. Durch die kammartige Verzahnung, die parallel oder quer zur Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats ausgebildet sein kann, kann ebenfalls die für die Bypass-Dioden-

Eigenschaft wichtige Grenzfläche zwischen den Emitter- und Basisbereichen vergrößert werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Grenzfläche, an der Basisbereiche an Emitterbereiche angrenzen, im Wesentlichen homogen über die Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats verteilt. Mit anderen Worten kann es vorteilhaft sein, die für die Bypass-Dioden-Eigenschaft zur Verfügung gestellte Grenzfläche nicht auf einen kleinen, zusammenhängenden Flächenanteil der Rückkontakt-Solarzelle zu beschränken, das heißt, beispielsweise lediglich eine zusammenhängende Fläche, die 5 % der Gesamtfläche der Rückkontakt-Solarzelle ausmacht, als eine solche Grenzfläche auszubilden, sondern die gesamte Grenzfläche in Form einzelner kleinerer Teil-Grenzflächen zur Verfügung zu stellen, die gleichmäßig über die gesamte Fläche der Rückkontakt-Solarzelle angeordnet sind. Da in dem Fall, in dem die entsprechende Rückkontakt-Solarzelle in einem Modul abgeschattet wird, diese Grenzflächen als Bypass-Dioden wirken sollen und dabei erhebliche Ströme durch die Grenzflächen strömen sollen, kann durch eine homogene Verteilung der Grenzflächen eine Wärmedissipation verbessert werden. Auf diese Weise kann vermieden werden, dass sich die in Sperrrichtung betriebene Rückkontakt-Solarzelle lokal übermäßig erhitzt und dabei sie selbst oder das Modul beschädigt wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die hochdotierten Basisbereiche und/oder die Emitterbereiche durch Eindiffusion von Dotanden in das Halbleitersubstrat erzeugt. Zwar können die Basisbereiche und/oder die Emitterbereiche auch durch andere Verfahren wie beispielsweise Epitaxie, Einlegieren oder Ionenimplantation erzeugt werden, es hat sich jedoch herausgestellt, dass auch durch Eindiffusion von Dotanden erzeugte Basis- bzw. Emitterbereiche aufgrund des für die Eindiffusion typischen Dotierungskonzentrationsprofils vorteilhafte Eigenschaften aufweisen können.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Basisbereiche Phosphor-dotiert und die Emitterbereiche sind Bor-dotiert. In diesem Fall können somit zur Herstellung der erfindungsgemäßen Rückkontakt-Solarzelle zunächst flächige Emitterbereiche durch Eindiffusion von Bor erzeugt werden und anschließend können in Teilbereiche der Rückseitenoberfläche der Solarzelle Basisbereiche durch Eindiffusion von Phosphor eingebracht werden. Dabei kann der sogenannte Emitter-Push-Effekt ausgenutzt werden, bei dem bei der Eindiffusion von Phosphor das zuvor in dieser Region vorhandene Bor vor sich hergeschoben wird. Dementsprechend bilden sich an der Rückseitenoberfläche Phosphor-dotierte Basis-Bereichsschichten und parallel daran angrenzend, tiefer im Halbleitersubstrat drin, die aufgrund des Emitter-Push-Effekts nach innen verlagerten Bor-dotierten Emitter-Bereichsschichten.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Herstellen einer Solarzelle vorgestellt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: Bereitstellen eines Halbleitersubstrats, das einen Basis-Halbleitertyp aufweist; Ausbilden von Emitterbereichen entlang einer Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats, wobei die Emitterbereiche einen dem Basis-Halbleitertyp entgegengesetzten Emitter-Halbleitertyp aufweisen; Ausbilden von hochdotierten Basisbereichen entlang der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats, wobei die hochdotierten Basisbereiche den Basis-Halbleitertyp und eine zweite Dotierungskonzentration aufweisen, wobei die zweite Dotierungskonzentration größer ist als die erste Dotierungskonzentration; Ausbilden von Emitterkontakten zur elektrischen Kontaktierung der Emitterbereiche; und Ausbilden von Basiskontakten zur elektrischen Kontaktierung der Basisbereiche. Die Emitterbereiche und die Basisbereiche werden hierbei derart ausgebildet, dass eine Grenzfläche, an der Basisbereiche an Emitterbereiche angrenzen, größer ist als 5 % der Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats.

Die Emitterbereiche und die hochdotierten Basisbereiche können mittels unterschiedlicher Verfahren erzeugt werden, beispielsweise durch lokales Eindiffundieren unter Verwendung

beispielsweise von Masken oder Lithographie, durch Ionenimplantation, durch lokales Einlegieren, durch epitaktisches Aufbringen entsprechender Schichten, etc.

Die Emitter- und Basiskontakte können ebenfalls mittels verschiedener Verfahren ausgebildet werden, beispielsweise durch lokales Aufdampfen von Metallen zum Beispiel unter Verwendung von Masken oder Lithographie oder auch durch Verwendung von Siebdruck- oder Dispensverfahren. Generell können alle Verfahren verwendet werden, die es ermöglichen, Kontakte lokal, beispielsweise Finger- oder Grid-förmig, an einer Substratrückseite auszubilden, einschließlich der Möglichkeit, ganzflächige Metallschichten aufzubringen, die im Nachhinein durch lokales Entfernen strukturiert werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden zuerst die Emitterbereiche mit einer ersten Tiefe und einer ersten Dotierungskonzentration und dann die Basisbereiche mit einer zweiten Tiefe und einer zweiten Dotierungskonzentration ausgebildet, wobei die erste Tiefe größer ist als die zweite Tiefe und wobei die erste Dotierungskonzentration kleiner ist als die zweite Dotierungskonzentration. Mit anderen Worten wird zunächst ein relativ schwach dotierter, tiefer Emitter gebildet, der dann lokal von einem stärker dotierten, flacheren Basisbereich lokal überkompensiert werden kann. Dabei können außerhalb der überkompensierten Bereiche tiefer gelegene Emitterbereiche verbleiben, so dass sich die gewünschte großflächige Grenzfläche zwischen Emitterbereichen und hoch dotierten Basisbereichen bildet.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden zunächst die Emitterbereiche mit einer Bor-Dotierung ausgebildet und anschließend werden die Basisbereiche mit einer Phosphor-Dotierung ausgebildet, insbesondere durch Eindiffusion von Phosphor. Hierbei ist es nicht zwingend notwendig, dass die Basisbereiche durch Überkompensieren der zuvor erzeugten Emitterbereiche erzeugt werden. Stattdessen kann in dieser Ausführungsform der Emitter-Push-Effekt genutzt werden, wobei während dem

Eindiffundieren des Phosphors die zuvor dort vorhandene Bor-Dotierung vor sich hergeschoben wird und einen tiefer gelegenen Emitter-Bereich bildet. Entsprechend muss die Dotierungskonzentration in den Basisbereichen nicht unbedingt größer sein als in den ursprünglichen Emitterbereichen und die Tiefe der ursprünglichen Emitterbereiche muss nicht von vornherein tiefer sein als die Tiefe der nachfolgenden Basis-artigen Diffusion.

Es wird angemerkt, dass die Ausführungsformen, Merkmale und Vorteile der Erfindung hauptsächlich in Bezug auf die erfindungsgemäße Rückkontakt-Solarzelle beschrieben wurden. Ein Fachmann wird jedoch aus der vorangehenden und auch aus der nachfolgenden Beschreibung erkennen, dass, sofern dies nicht anders angegeben ist, die Ausführungsformen und Merkmale der Erfindung auch analog auf das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren für eine Solarzelle übertragen werden können. Insbesondere können die Merkmale der verschiedenen Ausführungsformen auch in beliebiger Weise untereinander kombiniert werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden dem Fachmann aus der nachfolgenden Beschreibung von beispielhaften Ausführungsformen, die jedoch nicht als die Erfindung beschränkend auszulegen ist, und unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen ersichtlich.

Fig. 1 zeigt in Querschnittsdarstellung eine Rückkontakt-Solarzelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit sich parallel zur Rückseitenoberfläche des Halbleitersubstrats überlappenden Emitter- und Basisbereichen.

Fig. 2 zeigt eine Schnittdarstellung entlang der Ebene A-A aus Fig. 1.

Fig. 3 zeigt in Querschnittsdarstellung eine Rückkontakt-Solarzelle gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit ineinander verzahnt ausgebildeten Emitter- und Basisbereichen.

Fig. 4 zeigt eine Schnittdarstellung entlang der Ebene B-B aus Fig. 3.

Alle Figuren sind lediglich schematisch und nicht maßstabsgetreu. In den Figuren sind ähnliche oder gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen beziffert.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Die in Fig. 1 im Querschnitt dargestellte erfindungsgemäße Rückkontakt-Solarzelle weist ein Halbleitersubstrat 1 in Form eines Silizium-Wafers auf. An der Rückseitenoberfläche 3 des Halbleitersubstrats 1 sind sowohl Emitterbereiche 5 als auch hochdotierte Basisbereiche 7 ausgebildet. Wie in Fig. 2 zu erkennen, verlaufen die Emitterbereiche 5 und die hoch dotierten Basisbereiche 7 als längliche Finger parallel zueinander. An der Rückseitenoberfläche 3 befindet sich ferner eine dielektrische Schicht 9 aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid, die zur Passivierung der Oberfläche des Halbleitersubstrats 1 und/oder als Rückseiten-Reflektor dienen kann. Über der dielektrischen Schicht 9 sind dann die Emitterkontakte 11 und die Basiskontakte 13 ausgebildet. Sowohl die Emitter- als auch die Basiskontakte 11, 13 sind in Form länglicher, fingerförmiger, senkrecht zur Zeichenebene verlaufender Kontakte ausgebildet und kontaktieren durch linienförmige Öffnungen 15, 17 die jeweiligen darunter liegenden Emitter- bzw. Basisbereiche 5, 7.

Die Emitterbereiche 5 sind von der Rückseitenoberfläche 3 her gesehen tiefer ausgebildet als die hochdotierten Basisbereiche 7 und überlappen diese in lateraler Richtung. In dem Überlappungsbereich 19, in den die Emitterbereiche über die hochdotierten Basisbereiche hinweg und an diese angrenzend verlaufen, entsteht eine großflächige Grenzfläche 21

zwischen dem hochdotierten Emitter-Bereich 5 und dem ebenfalls hochdotierten Basis-Bereich 7. Aufgrund der hohen Dotierung der beiden dort aneinander grenzenden Bereiche 5, 7 kann die entstehende p^+n^+ -Diode Eigenschaften einer Zener-Diode oder Tunnelodiode oder Back-Diode aufweisen und somit für die Solarzelle bei einer ausreichend hohen und vorzugsweise im Vergleich zur OffeneKlemm-Spannung geringen in Sperrrichtung angelegten Spannung wie eine Bypass-Diode wirken. Wie insbesondere in Fig. 2 zu erkennen, verlaufen die Überlappungsbereiche 19 und die dort entstehenden Grenzflächen 21 jeweils parallel zu allen Kontakten 11, 13, so dass sich eine über die Gesamtfläche der Solarzelle im Wesentlichen homogen verteilte p^+n^+ -Grenzfläche 21 ergibt.

Bei der in den Fign. 3 und 4 gezeigten alternativen Ausführungsform sind die Emitterbereiche 5 und die hoch dotierten Basisbereiche 7 kammartig miteinander verzahnt, wobei längliche schmale „Zähne“ 23 eines Emitterbereichs 5 in den benachbarten Basisbereich 7 hineinragen, um auf diese Weise in einem Verzahnungsbereich 25 die Grenzfläche 21 zwischen den dotierten Bereichen 5, 7 zu vergrößern.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass die Begriffe „umfassen“, „aufweisen“ etc. das Vorhandensein weiterer Elemente nicht ausschließen. Der Begriff „ein“ schließt auch das Vorhandensein einer Mehrzahl von Gegenständen nicht aus. Die Bezugszeichen in den Ansprüchen dienen lediglich der besseren Lesbarkeit und sollen den Schutzbereich der Ansprüche in keiner Weise einschränken.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Rückkontaktsolarzelle, aufweisend:

ein Halbleitersubstrat (1), wobei das Halbleitersubstrat (1) einen Basis-Halbleitertyp mit einer ersten Dotierungskonzentration aufweist;

Emitterbereiche (5) entlang einer Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1), wobei die Emitterbereiche (5) einen dem Basis-Halbleitertyp entgegengesetzten Emitter-Halbleitertyp aufweisen;

hochdotierte Basisbereiche (7) entlang der Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1), wobei die hochdotierten Basisbereiche (7) den Basis-Halbleitertyp mit einer zweiten Dotierungskonzentration aufweisen, wobei die zweite Dotierungskonzentration größer ist als die erste Dotierungskonzentration;

Emitterkontakte (11) zur elektrischen Kontaktierung der Emitterbereiche (5);

Basiskontakte (13) zur elektrischen Kontaktierung der Basisbereiche (7);

wobei eine Grenzfläche (21), an der hochdotierte Basisbereiche (7) an Emitterbereiche (5) angrenzen, größer ist als 5% der Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1).

2. Rückkontaktsolarzelle nach Anspruch 1, wobei die hochdotierten Basisbereiche (7) und die Emitterbereiche (5) derart ausgebildet sind, dass sich an der Grenzfläche (21), an der hochdotierte Basisbereiche (7) an Emitterbereiche (5) aneinander angrenzen,

ein pn-Übergang mit Eigenschaften einer Zenerdiode ergibt.

3. Rückkontaktsolarzelle nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei eine Dotierungskonzentration in den Emitterbereichen (5) und in den hochdotierten Basisbereichen (7) an der Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1) höher ist als $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.
4. Rückkontaktsolarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei Emitterbereiche (5) und hochdotierte Basisbereiche (7) in Überlappungsbereichen (19) zumindest teilweise in Ebenen parallel zur Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1) überlappen.
5. Rückkontaktsolarzelle nach Anspruch 4, wobei eine Grenzfläche (21), an der hochdotierte Basisbereiche (7) innerhalb der Überlappungsbereiche (19) an Emitterbereiche (5) angrenzen, größer ist als 5% der Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1).
6. Rückkontaktsolarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei Emitterbereiche (5) und hochdotierte Basisbereiche (7) in Verzahnungsbereichen (25) kammartig miteinander verzahnt sind.
7. Rückkontaktsolarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Grenzfläche (21), an der hochdotierte Basisbereiche (7) an Emitterbereiche (5) angrenzen, im Wesentlichen homogen über die Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1) verteilt ist.
8. Rückkontaktsolarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die hochdotierten Basisbereiche (7) und/oder die Emitterbereiche (7) durch Eindiffusion von Dotanden

- 20 -

in das Halbleitersubstrat (1) erzeugt sind.

9. Rückkontaktsolarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die hochdotierten Basisbereiche (7) Phosphor-dotiert sind und die Emitterbereiche (5) Bor-dotiert sind.

10. Verfahren zum Herstellen einer Solarzelle, aufweisend:

Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (1), das einen Basis-Halbleitertyp mit einer ersten Dotierungskonzentration aufweist;

Ausbilden von Emitterbereichen (5) entlang einer Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1), wobei die Emitterbereiche (5) einen dem Basis-Halbleitertyp entgegengesetzten Emitter-Halbleitertyp aufweisen;

Ausbilden von hochdotierten Basisbereichen (7) entlang der Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1), wobei die hochdotierten Basisbereiche (7) den Basis-Halbleitertyp und eine zweite Dotierungskonzentration aufweisen, wobei die zweite Dotierungskonzentration größer ist als die erste Dotierungskonzentration;

Ausbilden von Emitterkontakten (11) zur elektrischen Kontaktierung der Emitterbereiche (5);

Ausbilden von Basiskontakten (13) zur elektrischen Kontaktierung der Basisbereiche (7);

wobei die Emitterbereiche (5) und die hochdotierten Basisbereiche (7) derart ausgebildet werden, dass eine Grenzfläche (21), an der hochdotierte Basisbereiche (7)

an Emitterbereiche (5) angrenzen, größer ist als 5% der Rückseitenoberfläche (3) des Halbleitersubstrates (1).

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei zuerst die Emitterbereiche (5) mit einer ersten Tiefe und einer ersten Dotierungskonzentration und dann die hochdotierten Basisbereiche (7) mit einer zweiten Tiefe und einer zweiten Dotierungskonzentration ausgebildet werden, wobei die erste Tiefe größer ist als die zweite Tiefe und wobei die erste Dotierungskonzentration kleiner ist als die zweite Dotierungskonzentration.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei zuerst die Emitterbereiche (5) mit einer Bor-Dotierung ausgebildet werden und dann die hochdotierten Basisbereiche (7) mit einer Phosphor-Dotierung ausgebildet werden.

1/2

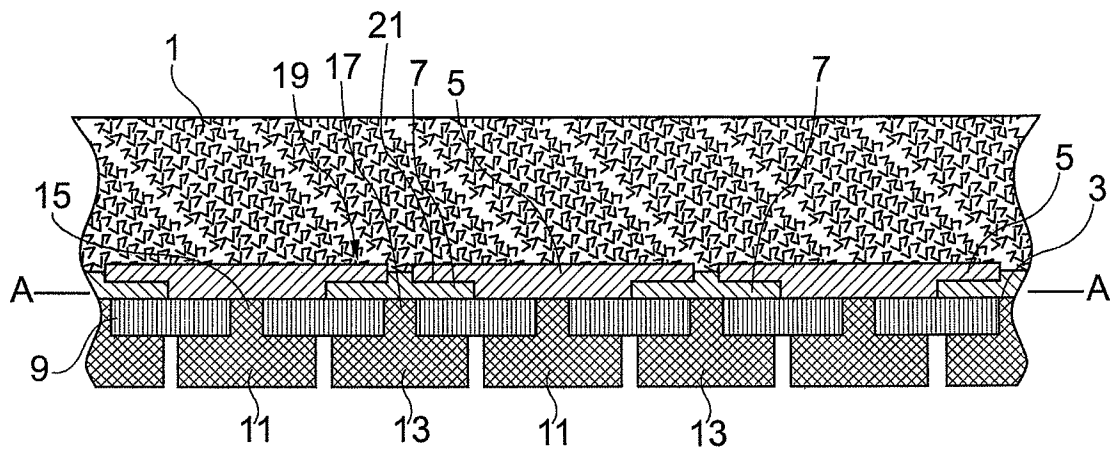


Fig. 1

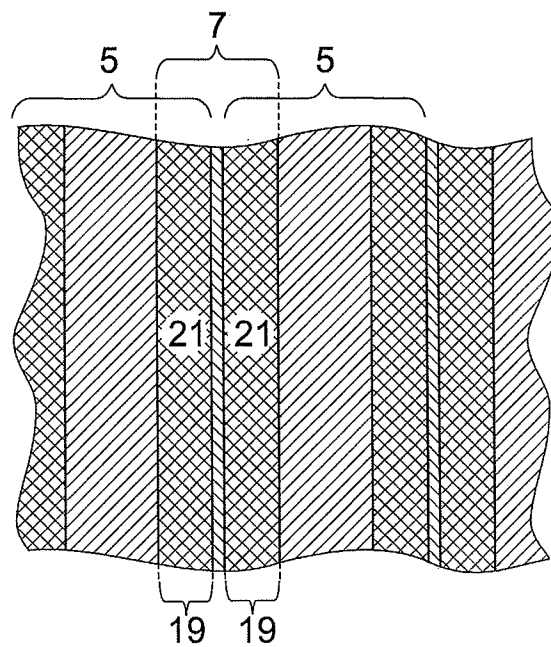


Fig. 2

2/2

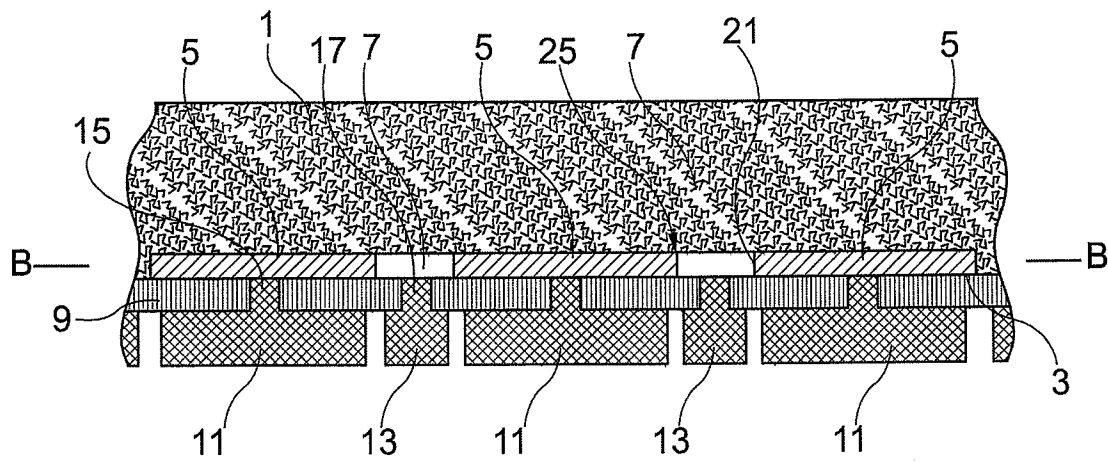


Fig. 3

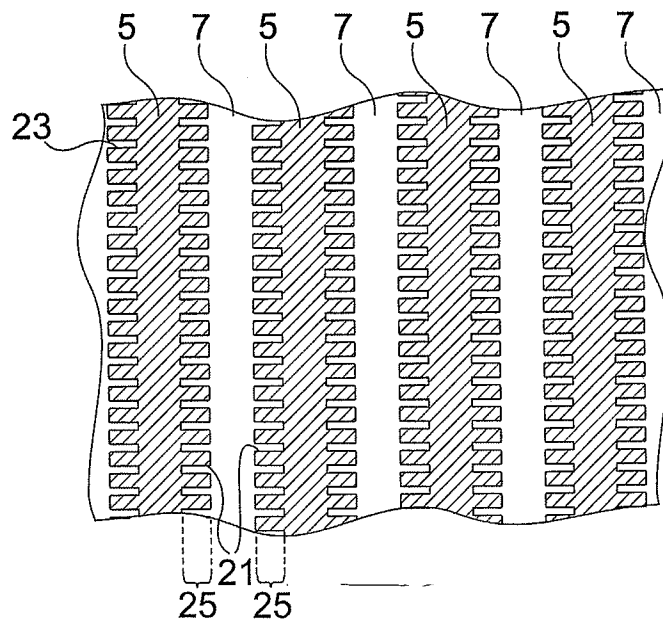


Fig. 4