

5

10

15

**Titel: Rückseitenkontaktierte Solarzelle**

20

### **Beschreibung**

Die Erfindung betrifft eine Solarzelle und ein Verfahren  
25 zum Herstellen einer Solarzelle.

Solarzellen dienen bekanntermaßen als photovoltaische  
Elemente zur Umwandlung von Licht in elektrische Energie.  
Ladungsträgerpaare, die bei Absorption von Licht in einem  
30 Halbleitersubstrat erzeugt werden, werden am Übergang  
zwischen einem Emitterbereich, der einen ersten  
Dotierungstyp, bspw. n-Typ oder p-Typ, (zur Erzeugung einer  
ersten Polarität) aufweist, und einem Basisbereich, der  
einen entgegengesetzten Dotierungstyp (zur Erzeugung einer  
35 entgegengesetzten Polarität) aufweist, getrennt. Über

Emitterkontakte, die den Emitterbereich kontaktieren, und Basiskontakte, welche den Basisbereich kontaktieren, können die derart erzeugten und separierten Ladungsträgerpaare einem externen Stromkreis zugeführt werden.

5

Bekannt sind Solarzellen, bei denen Kontakte einer Polarität an der Vorderseite angeordnet sind und Kontakte der entgegengesetzten Polarität an der Rückseite angeordnet sind. Als Vorderseite wird die der Sonne zugewandten Seite bezeichnet, die Rückseite ist auf der abgewandten Seite. Um Verluste, welche aus Abschattung durch die Kontakte an der Vorderseite resultieren, zu minimieren, wurden Rückkontaktsolarzellen entwickelt, bei denen beide Kontakttypen, d.h. die Emitterkontakte und die

10 Basiskontakte, an einer Rückseite des Halbleitersubstrats angeordnet sind.

15

Rückkontaktsolarzellen haben großes Potential für höhere Wirkungsgrade, da es auf der Vorderseite der Solarzellen zu keiner Abschattung kommt und die einfallende Strahlung somit mehr freie Ladungsträger erzeugt. Die Elektroden der beiden Polaritäten liegen nebeneinander angeordnet auf der Rückseite der Solarzelle. Die generierten Ladungsträger müssen somit auch lateral in der Solarzelle fließen. Um die

20 Widerstandsverluste durch diesen lateralen Stromfluss zu minimieren und zu verhindern, dass die freien Ladungsträger rekombinieren, bevor sie die Elektroden erreichen, sollten die Elektroden der beiden Polaritäten möglichst nah aneinander liegen. Da die Elektroden je nach Polarität mit

25 p- oder n-Typ Silizium verbunden sind, liegen auch die pn-

30

Übergänge möglichst dicht beisammen. Die pn-Übergänge, feine, kammartige Strukturen mit einer Auflösung unter 500  $\mu\text{m}$ , können z.B. mittels Laserbestrahlung realisiert werden. Bei diesem Prozess treibt ein gepulster Laserstrahl zwei  
5 unterschiedliche Dotierstoffe, z.B. Bor und Phosphor, durch zeitlich und örtlich getrenntes Aufschmelzen der Oberfläche lokal in das Silizium ein und erzeugt je nach Dotierstoff entweder eine hohe p-Typ oder n-Typ Dotierung. Solch feine Strukturen ermöglichen geringe interne Serienwiderstände  
10 und Wirkungsgrade  $\eta$  bis  $\eta = 24 \%$ . Höhere Wirkungsgrade sind im Wesentlichen durch Rekombinationsmechanismen in der Basis als auch an den hochdotierten kontaktierten und nicht kontaktierten Oberflächen begrenzt. Die Rekombination in der Basis ist abhängig von der Waferqualität und kann nur  
15 wenig im weiteren Fertigungsprozess der Solarzelle beeinflusst werden. Die Rekombination an den hochdotierten n- und p-Typ Oberflächen ist im nicht kontaktierten Bereich bei einer guten Oberflächenpassivierung, wie z.B. mit amorphem hydrogenierten Silizium, durch Auger-Rekombination  
20 begrenzt, welche mit der Dotierstoffkonzentration im Silizium steigt. Im kontaktierten Bereich ist das Silizium in Kontakt mit einem Metall, was eine hohe Grenzflächenrekombination zur Folge hat. Im Solarzellenprozess lässt sich die Auger-Rekombination an  
25 den nicht kontaktierten Oberflächen reduzieren, wenn sich dort möglichst wenig Dotierstoff im Silizium befindet, während die Grenzflächenrekombination an den Metall/Silizium-Kontakten durch eine möglichst kleine Kontaktfläche reduziert werden kann. Allerdings hat eine  
30 einfache Reduzierung des Dotierstoffs und der

Kontaktflächen eine Steigerung des Serienwiderstands zu Folge, der dann der limitierende Faktor für den Wirkungsgrad wird.

- 5 Aus diesem Grund werden passivierte oder auch selektive Kontakte verwendet. Die Metallelektroden sind dabei nicht direkt mit der kristallinen Basis elektrisch verbunden, sondern durch ein dünnes Tunneloxid getrennt, welches die Siliziumoberfläche passiviert aber gleichzeitig so dünn
- 10 ist, dass die Elektronen bzw. von der Elektrode in den Halbleiter je nach Polarität durch das Oxid vom Halbleiter in die Elektrode tunneln können. Um die Elektronen zum Tunneln anzuregen, muss sich am Tunneloxid ein elektrisches Feld befinden. Das elektrische Feld kann durch ein
- 15 hochdotiertes n- oder p-Typ Silizium auf dem Tunneloxid generiert werden. Da die Dotierung dieses Siliziums oberhalb des Tunneloxids zu einer Bandverbiegung in der Siliziumbasis unterhalb des Tunneloxids führt, ist eine höhere Dotierung der Siliziumbasis nicht mehr erforderlich.
- 20 Am hochdotieren n-Typ Silizium treten nur Elektronen durch das Tunneloxid, auch Elektronenfluss genannt, während am hochdotierten p-Typ Silizium nur ein sogenannter Löcherfluss stattfindet: Elektronen treten aus dem hochdotierten p-Typ Silizium in die Siliziumbasis ein. Die
- 25 Metallelektroden selbst stehen nur noch in elektrischem und mechanischem Kontakt zu dem hochdotierten n- oder p-Typ Silizium oberhalb des Tunneloxids. Die Selektivität der hochdotierten Siliziumbereiche in Kombination mit dem Tunneloxid sorgt, abhängig von der Dotierung, für den
- 30 Transport fast ausschließlich einer Art der Ladungsträger

an die Metall/Silizium-Kontaktflächen und minimiert die Grenzflächenrekombination. Die vorgestellte Struktur senkt weiter die Auger-Rekombination an der Oberfläche der Siliziumbasis zum Tunneloxid, da an dieser Grenzfläche  
5 keine hohe Dotierung für den pn-Übergang oder den ohmschen Kontakt zu der Basis erforderlich ist.

Rückseitenkontaktsolarzellen mit passivierten Kontakten erreichten bisher einen Rekordwirkungsgrad von  $\eta = 26,7 \%$ . Die Herstellung solcher Zellen ist bisher jedoch sehr  
10 aufwendig, da die beiden unterschiedlich dotieren selektiven Kontakte nur mit diversen aufwendigen Maskierungs- und Strukturierungsschritten aufgebracht werden können. Dabei muss auf eine hohe Präzision und feine Auflösung der Maskierung/Strukturierung geachtet werden.  
15 Der Abstand der selektiven Kontakte darf nicht zu groß und sollte die Diffusionslänge der freien Ladungsträger nicht übersteigen und auch nicht zu einem Anstieg des internen Serienwiderstands aufgrund des lateralen Stromflusses in der Basis führen.

20

Diese Nachteile werden durch eine erfindungsgemäße Solarzelle und ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Herstellen einer solchen Solarzelle überwunden.

25 Erfindungsgemäß wird für eine rückseitenkontaktierte Solarzelle umfassend ein Halbleitersubstrat, insbesondere einen Siliziumwafer, umfassend eine der Sonne zugewandten Vorderseite und eine Rückseite, wobei die Solarzelle auf der Rückseite Elektroden einer ersten Polarität und  
30 Elektroden einer zweiten Polarität umfasst, vorgeschlagen,

dass sich unter den Elektroden der ersten Polarität eine  
Tunnelschicht und eine hochdotierte Siliziumschicht  
befinden und die Elektroden der zweiten Polarität das  
Halbleitersubstrat direkt elektrisch und mechanisch  
5 kontaktieren.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die  
Elektroden der zweiten Polarität das Halbleitersubstrat an  
einem hochdotierten Basisbereich kontaktieren. Die hohe  
10 Dotierung ist für einen geringen Kontaktwiderstand  
erforderlich.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass ein nicht  
kontaktierter, niedrigdotierter Bereich die hochdotierte  
15 Siliziumschicht von dem Basisbereich trennt. In diesem  
nicht kontaktierten, passivierten Bereich kann eine  
niedrigere Dotierung als in dem kontaktierten hochdotierten  
Basisbereich von Vorteil sein.

20 Weitere Ausführungsformen betreffen ein Verfahren zum  
Herstellen einer rückseitenkontaktierten Solarzelle gemäß  
den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen. Die  
Herstellung einer fein aufgelösten Strukturierung auf der  
Rückseite erfolgt maskenfrei. Sie wird durch lokale  
25 Laserbestrahlung realisiert. Das Verfahren wird im  
Folgenden beschrieben.

Das Halbleitersubstrat, insbesondere der Siliziumwafer, der  
Solarzelle umfasst eine, insbesondere polierte oder  
30 texturierte, Rückseite und eine, insbesondere texturierte,

Vorderseite. In einem ersten Schritt des Verfahrens wird auf einer Oberfläche der Vorderseite und/oder auf einer Oberfläche der Rückseite, eine Tunnelschicht, insbesondere umfassend Siliziumoxid, aufgebracht wird. Die Tunnelschicht

5 umfasst eine Dicke von vorzugsweise maximal etwa vier Nanometer. Die Tunnelschicht wird beispielsweise in einem thermischen oder nasschemischen Prozess oder durch Deposition hergestellt.

Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Verfahren weiter

10 einen Schritt zum Abscheiden einer, insbesondere vollflächigen, hochdotierten Siliziumschicht einer ersten Polarität auf der Tunnelschicht auf der Rückseite. Die Abscheidung der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität kann beispielsweise mittels plasmaunterstützter

15 chemischer Gasphasenabscheidung, PECVD, atmosphärischer chemischer Gasphasenabscheidung, APCVD, chemischer Niederdruck-Gasphasenabscheidung (LPCVD) oder Kathodenzerstäubung erfolgen. Die hochdotierte Siliziumschicht der ersten Polarität weist eine Dicke von

20 ca. 100 Nanometer bis 300 Nanometer auf.

Die Abscheidung der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität kann statt in einem auch in zwei Schritten erfolgen. Gemäß einer Ausführungsform umfasst das

25 Abscheiden der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität das Abscheiden von undotiertem Silizium und anschließendes Einbringen eines Dotierstoffs. Das Einbringen des Dotierstoffes erfolgt beispielsweise mittels Ionenimplantation, Ofendiffusion oder Laserdiffusion. Bei

dem Dotierstoff handelt es sich beispielsweise um Bor, Aluminium oder Gallium.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum Entfernen der Tunnelschicht, insbesondere Siliziumdioxid, und/oder der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität von der Vorderseite umfasst. Die Tunnelschicht und/oder die hochdotierte Siliziumschicht der ersten Polarität kann vollflächig oder lokal weggeätzt werden.

10

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum Anbringen einer Precursorschicht umfassend einen Dotierstoff einer zweiten Polarität, auf der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität auf der Rückseite und/oder auf der Vorderseite, umfasst. Wenn es sich bei der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität um eine p-Typ Siliziumschicht handelt, handelt es sich bei dem Dotierstoff für das Dotieren des Siliziums gemäß der zweiten Polarität beispielsweise um Phosphor. Zum Aufbringen der Precursorschicht kann beispielsweise ein Ofendiffusionsprozess gefahren werden, bei dem Phosphorsilikatglas auf der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht auf der Rückseite und auf der Vorderseite wächst. Der Ofendiffusionsprozess kann so gefahren werden, dass nach dem Ofendiffusionsprozess in dem Phosphorsilikatglas ein hoher Anteil an Phosphor enthalten ist. Während der Ofendiffusion diffundiert Phosphor in die Vorderseite der Solarzelle und dotiert die Oberfläche der Vorderseite zu n-Typ. Auf der Rückseite diffundiert das Phosphor ebenfalls in die hochdotierte p-Typ

30

Siliziumschicht. Die Parameter der Ofendiffusion werden dabei so gewählt, dass die Dotierstoffkonzentration des Phosphors die Dotierstoffkonzentration von Bor in der p-Typ Siliziumschicht nicht übersteigt. Die Precursorschicht,  
5 z.B. Phosphorsilikatglas, kann auch mittels anderer Verfahren wie z.B. PECVD aufgebracht werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass während der Ofendiffusion ein Teil des zweiten Dotierstoffes aus  
10 der Precursorschicht in die hochdotierte Siliziumschicht diffundiert. Die Ofendiffusion wird so gefahren, dass die eindiffundierte Dotierstoffkonzentration des zweiten Dotierstoffes nicht die Dotierstoffkonzentration des ersten Dotierstoffes in der hochdotierten Siliziumschicht  
15 übersteigt. So wird während der Ofendiffusion verhindert, dass es zu einer Überkompensation des ersten Dotierstoffes kommt. Wenn es sich bei der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität um eine p-Typ Siliziumschicht und bei dem Dotierstoff der zweiten Polarität um Phosphor handelt,  
20 bleibt die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht also weiterhin p-Typ dotiert. Dagegen liegt die Dotierstoffmenge des zweiten Dotierstoffes, die sich noch in der Precursorschicht befindet, über der Dotierstoffmenge des ersten Dotierstoffs in der hochdotierten Siliziumschicht.

25

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum Laserbestrahlen der Rückseite, insbesondere zum Erzeugen von lokal hochdotierten Basisbereichen einer zweiten Polarität, umfasst. Handelt es  
30 sich bei dem zuvor aufgetragenen Dotierstoff der zweiten

Polarität um Phosphor, dient das Phosphorsilikatglas als Dotierquelle während der Laserbestrahlung für die Erzeugung von lokal hochdotierten n-Typ Basisbereichen. Die Energie der Laserstrahlung schmilzt das Phosphorsilikatglas, die

5 hochdotierte p-Typ Siliziumschicht, die Tunnelschicht und die Oberfläche der Rückseite in selektierten Bereichen lokal auf. Die Dotierstoffe aus dem Phosphorsilikatglas und der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht diffundieren in die Siliziumschmelze an der Oberfläche der Rückseite. Nach

10 Abklingen der Laserstrahlung kühlt und erstarrt die Schmelze. Beide Dotierstoffe verbleiben im Silizium, wobei es zur Anreicherung eines oder beider Dotierstoffe an der Oberfläche kommen kann. Aufgrund der größeren Dotierstoffmenge des Dotierstoffes der zweiten Polarität in

15 der Precursorschicht ist die Konzentration des zweiten Dotierstoffes in der erstarrten Siliziumoberfläche wesentlich höher als die Konzentration des ersten Dotierstoffes aus der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht und führt so durch Überkompensation zu einer lokal hohen n-

20 Typ Dotierung in den selektierten Bereichen. Durch geeignete Wahl der Laserparameter können in den selektierten Bereichen auch lokal selektiv unterschiedlich hochdotierte Abschnitte von n-Typ Silizium erzeugt werden.

25 Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum selektiven Entfernen der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität und/oder der Precursorschicht, umfasst. Durch das Entfernen der Schicht oder Schichtstapel in angrenzenden Bereichen

30 unterschiedlicher Polarität wird der Kontakt der beiden

unterschiedlich dotierten Bereiche unterbrochen und es kann verhindert werden, dass es zu hoher Rekombination oder Kurzschlüssen in den Kontaktbereichen kommen kann. Das selektive Entfernen der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität kann z.B. durch Laserbestrahlung, nasschemisches Ätzen oder eine Kombination beider Prozesse erfolgen. Das Entfernen der Precursorschicht, insbesondere Phosphorsilikatglas, kann beispielsweise durch nasschemisches Ätzen erfolgen. Wenn es sich bei der hochdotierten Siliziumschicht der ersten Polarität um eine p-Typ Siliziumschicht und bei dem Dotierstoff der zweiten Polarität um Phosphor handelt kann durch das Rückätzen einiger Nanometer der p-Typ Siliziumschicht ein Teil der Siliziumschicht mit hohem Phosphorgehalt entfernt und eine Zunahme des Schichtwiderstands der p-Typ Siliziumschicht durch Phosphordiffusion begrenzt werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum Aufbringen einer Passivierschicht auf der Oberfläche der Vorderseite und/oder Rückseite umfasst. Die Passivierschicht umfasst beispielsweise thermisch gewachsenes Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid oder einen Schichtstapel aus zwei oder mehreren dielektrischen Schichten. Dabei kann sich die Dicke, Brechungsindex und Zusammensetzung der Passivierschicht auf der Rückseite von der Dicke, Brechungsindex und Zusammensetzung der Passivierschicht auf der Vorderseite unterscheiden. Die Dicken der Passivierschichten sind vorteilhafterweise so optimiert,

dass die Reflexion auf der Vorderseite verringert und auf der Rückseite erhöht wird.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum Aufbringen von Elektroden auf der Rückseite der Solarzelle umfasst. Das Aufbringen der Elektroden kann beispielsweise mittels Siebdruck, Aufdampfen, Sputtern oder galvanischer Abscheidung eines oder mehrerer Metallen oder anderer leitfähiger Schichten erfolgen. Die Elektroden können beispielsweise Silberpaste, Silber/Aluminium-Paste, Aluminiumpaste oder reines Aluminium, Kupfer, Zinn, Palladium, Silber, Titan, Nickel oder Schichtstapel oder Legierungen der genannten Metalle oder andere leitfähige Schichten, insbesondere leitfähige Polymere oder Oxide, oder eine Kombination solcher Schichten mit Metallen umfassen. Die Zusammensetzung und der Abscheidungsprozess der Elektroden kann sich bei beiden Polaritäten unterscheiden. Die Elektroden können, insbesondere in einem Hochtemperaturschritt nach dem Siebdrucken, lokal die Passivierschicht durchdringen und, je nach Polarität der Elektroden, entweder die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht oder die hochdotierten Basisbereiche kontaktieren.

Gemäß einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verfahren einen Schritt zum selektiven Entfernen der Passivierschicht umfasst. Vor der Deposition der Elektroden kann die Passivierschicht lokal, z.B. durch Laserbestrahlung entfernt werden.

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle  
5 beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung  
10 bzw. in der Zeichnung.

In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Ausschnitts  
15 einer erfindungsgemäßen Solarzelle, und

Fig. 2a bis 2h zeigen eine Solarzelle gemäß Figur 1 in verschiedenen Schritten eines Verfahrens zur Herstellung der Solarzelle.

20

Figur 1 zeigt einen Ausschnitt einer Solarzelle 10 mit einem Halbleitersubstrat 12, insbesondere einem Siliziumwafer, einer Rückseite 14 und einer der Sonne zugewandten Vorderseite 16. Der Siliziumwafer 12 kann  
25 entweder n- oder p-Typ dotiert sein. Die Solarzelle 10 wird beispielhaft anhand einer n-Typ Dotierung des Siliziumwafers 12, der "Basis", erläutert.

Auf der Rückseite 14 ist eine polykristalline hochdotierte  
30 p-Typ Siliziumschicht 20 vorgesehen. Diese bildet eine

erste Polarität auf der Rückseite 14. Im Bereich der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 passiviert eine Tunnelschicht 18, insbesondere umfassend Siliziumdioxid, 18 die Oberfläche des Siliziumwafers 12.

5

Die Solarzelle 10 umfasst auf der Rückseite 14 Elektroden 34 einer ersten Polarität und Elektroden 36 einer zweiten Polarität. Unter den Elektroden 34 der ersten Polarität befindet sich die Tunnelschicht 18 und die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20. Die Elektroden 36 der zweiten Polarität kontaktieren das Halbleitersubstrat 12 direkt elektrisch und mechanisch. Die Elektroden 36 der zweiten Polarität kontaktieren das Halbleitersubstrat 12 gemäß der dargestellten Ausführungsform in hochdotierten Basisbereichen 26. Ein nicht kontaktierter Randbereich 28 trennt die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20 und den hochdotierten n-Typ Basisbereich 26.

Der Herstellungsprozess der Solarzelle 10 wird im Weiteren anhand der Figuren 2a bis 2h erläutert. Die Figuren 2a bis 2h illustrieren den Prozessablauf für die maskenfreie Fertigung einer Solarzelle 10 mit einer einzigen Art von selektiven Kontakten. Als Ausgangsmaterials kann der Siliziumwafer 12 mit einer Vorderseite 14 und einer Rückseite 16 entweder n- oder p-Typ dotiert sein. Der Prozessablauf wird anhand einer n-Typ Dotierung des Wafers, der "Basis", erläutert.

Figur 2a zeigt den Siliziumwafer 12 mit einer polierten Rückseite 14 und einer texturierten Vorderseite 16. Auf

beiden Oberflächen, oder vorzugsweise nur der Rückseite 14, wird eine Tunnelschicht 18, z.B. ein Siliziumdioxid, mit einer Dicke von vorzugsweise maximal etwa vier Nanometer, beispielsweise in einem thermischen oder nasschemischen  
5 Prozess oder durch Deposition, hergestellt.

In einem nächsten Schritt des Verfahrens wird eine, insbesondere vollflächige, hochdotierte Siliziumschicht 20 einer ersten Polarität auf der Tunnelschicht 18 auf der  
10 Rückseite 14 abgeschieden. Im Weiteren wird von einer p-Typ Dotierung als erste Polarität ausgegangen. Figur 2b zeigt die vollflächige Abscheidung der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 auf der Tunnelschicht 18 auf der Rückseite 14. Die Abscheidung der hochdotierten p-Typ  
15 Siliziumschicht 20 kann beispielsweise mittels plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung, PECVD, atmosphärischer chemischer Gasphasenabscheidung, APCVD, chemischer Niederdruck-Gasphasenabscheidung (LPCVD) oder Kathodenzerstäubung erfolgen. Die hochdotierte p-Typ  
20 Siliziumschicht 20 weist eine Dicke von ca. 100 Nanometer bis 300 Nanometer auf.

Das Abscheiden der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 kann statt in einem auch in zwei Schritten erfolgen. In  
25 diesem Fall umfasst das Abscheiden der p-Typ Siliziumschicht 20 das Abscheiden von undotiertem Silizium und anschließendes Einbringen eines Dotierstoffs. Das Einbringen des Dotierstoffs erfolgt beispielsweise mittels Ionenimplantation, Ofendiffusion oder Laserdiffusion. Bei

dem Dotierstoff handelt es sich beispielsweise um Bor, Aluminium oder Gallium.

Wenn sich auf der Vorderseite 16 eine Tunnelschicht 18  
5 und/oder eine, insbesondere unbeabsichtigt abgeschiedene, hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20 befindet, wird in einem nächsten Schritt des Verfahrens die Tunnelschicht 18, und/oder die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20 von der Vorderseite 16 entfernt. Die Tunnelschicht 18 und/oder die  
10 hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20 kann vollflächig oder lokal weggeätzt werden. Dies ist in Figur 2c dargestellt.

In einem nächsten Schritt des Verfahrens, der in Figur 2d dargestellt ist, wird eine Precursorschicht 22 umfassend  
15 einen Dotierstoff, insbesondere Phosphor, auf der hochdotierten Siliziumschicht 20 der ersten Polarität auf der Rückseite 14 und/oder auf der Vorderseite 16, angebracht. Gemäß der dargestellten Ausführungsform handelt es sich bei dem Dotierstoff der zweiten Polarität um  
20 Phosphor. Zum Anbringen der Precursorschicht 22 wird beispielsweise ein Ofendiffusionsprozess oder eine PECVD-Abscheidung gefahren, bei dem Phosphorsilikatglas 22 auf der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 auf der Rückseite 14 und auf der Vorderseite 16 wächst. Während der  
25 Ofendiffusion diffundiert Phosphor aus dem Phosphorsilikatglas 22 in die Vorderseite 16 der Solarzelle 10 und dotiert die Oberfläche der Vorderseite 16 zu n-Typ. Auf der Rückseite 14 diffundiert das Phosphor ebenfalls in die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20. Der  
30 Ofendiffusionsprozess wird vorteilhafterweise so gefahren,

dass nach dem Ofendiffusionsprozess in dem Phosphorsilikatglas 22 ein hoher Anteil an Phosphor enthalten ist.

Vorteilhafterweise ist eine Konzentration der Dotierstoffe  
5 in der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 und der Precursorschicht 22 so gewählt, dass nach der Ofendiffusion in der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 zum einen die Dotierstoffkonzentration des ersten Dotierstoffes höher ist als die Dotierstoffkonzentration des zweiten Dotierstoffes  
10 zum anderen aber in der Precursorschicht die Dotierstoffmenge des zweiten Dotierstoffes höher ist als die Dotierstoffmenge des ersten Dotierstoffes in der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20. So wird verhindert, dass es während der Ofendiffusion zu einer Überkompensation  
15 des ersten Dotierstoffes kommt. Die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht bleibt also weiterhin p-Typ dotiert. Für den folgenden Schritt der Laserbestrahlung ist auf diese Weise aber ausreichend Dotierstoff im Phosphorsilikatglas 22 vorhanden um während der Laserbestrahlung den  
20 Dotierstoff der ersten Polarität zu überkompensieren.

Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Verfahren einen Schritt zum Laserbestrahlen der Rückseite 14, insbesondere zum Erzeugen von lokal hochdotierten n-Typ Basisbereichen  
25 26. Figur 2e zeigt die Solarzelle 10 nach dem die Rückseite 14 lokal mit Laser bestrahlt wurde. Das Phosphorsilikatglas 22 dient als Dotierquelle während der Laserbestrahlung für die Erzeugung einer lokal hochdotierten n-Typ Basisoberfläche in den lokal hochdotierten n-Typ  
30 Basisbereichen 26. Die Energie der Laserstrahlung schmilzt

das Phosphorsilikatglas 22, die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20, die Tunnelschicht, nämlich das Siliziumdioxid 18 und die Oberfläche der Rückseite 14 lokal auf, so dass die lokal hochdotierten n-Typ Basisbereichen  
5 26 entstehen. Die Dotierstoffe aus dem Phosphorsilikatglas 22 und der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 diffundieren in die Siliziumschmelze an der Oberfläche der Rückseite 14. Nach Abklingen der Laserstrahlung kühlt und erstarrt die Schmelze. Beide Dotierstoffe verbleiben im  
10 Silizium, wobei es zur Anreicherung eines oder beider Dotierstoffe an der Oberfläche kommen kann. Aufgrund der größeren Dotierstoffmenge des Dotierstoffes der zweiten Polarität im Phosphorsilikatglas 22 ist die Konzentration des zweiten Dotierstoffes in der erstarrten  
15 Siliziumoberfläche wesentlich höher als die Konzentration des ersten Dotierstoffes aus der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 und führt so durch Überkompensation zu einer lokalen hohen n-Typ Dotierung in lokal hochdotierten n-Typ Basisbereichen 26. Durch geeignete Wahl der  
20 Laserparameter können in den lokal hochdotierten n-Typ Basisbereichen 26 auch lokal selektiv unterschiedlich hochdotierte Abschnitte von n-Typ Silizium erzeugt werden.

Bei Rückkontaktsolarzellen mit selektiven Kontakten beider  
25 Polaritäten kann es zu hoher Rekombination kommen, wenn die beiden unterschiedlich dotierten Siliziumschichten sich kontaktieren. Daher umfasst das Verfahren einen Schritt zum selektiven Entfernen der hochdotierten Siliziumschicht 20 der ersten Polarität und/oder der Precursorschicht 22.

Figur 2f zeigt die Solarzelle 10 nach dem die hochdotierte p-Typ Siliziumschicht 20 in den Randbereichen 28 der lokal hochdotierten n-Typ Basisbereichen 26 entfernt wurde. Das Entfernen der p-Typ Siliziumschicht 20 in den Randbereichen  
5 28 kann z.B. durch Laserbestrahlung, nasschemisches Ätzen oder eine Kombination beider Prozesse erfolgen. Weiter kann ein nasschemischer Prozess verwendet werden, um das Phosphorsilikatglas 22 von der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht und der Vorderseite 16 der Solarzelle zu  
10 entfernen. Ein Rückätzen einiger Nanometer der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 kann eine Siliziumschicht mit hohem Phosphorgehalt entfernen und eine Zunahme eines Schichtwiderstands der hochdotierten p-Typ Siliziumschicht 20 durch Phosphordiffusion begrenzen.

15

Figur 2g zeigt die Solarzelle 10 nach dem eine Passivierschicht 30, 32 auf der Oberfläche der Vorderseite 16 und/oder Rückseite 14 angebracht wurde. Die Passivierschicht 30, 32 umfasst beispielsweise thermisch  
20 gewachsenes Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid oder einen Schichtstapel aus zwei oder mehreren dielektrischen Schichten. Dabei kann sich die Dicke, Brechungsindex und Zusammensetzung der Passivierschicht 30 auf der Rückseite 14 von der Dicke, Brechungsindex und  
25 Zusammensetzung der Passivierschicht 32 auf der Vorderseite 16 unterscheiden. Die Dicken, Zusammensetzung und Brechungsindices der Passivierschichten 30, 32 sind vorteilhafterweise so optimiert, dass die Reflexion auf der Vorderseite 16 verringert und auf der Rückseite 14 erhöht  
30 wird.

Figur 2h zeigt die Solarzelle 10 nach dem Elektroden 34, 36 auf der Rückseite 14 der Solarzelle 10 aufgebracht wurden. Das Aufbringen der Elektroden 34, 36 kann beispielsweise  
5 mittels Siebdruck, Aufdampfen, Sputtern oder galvanischer Abscheidung eines oder mehrerer Metallen oder anderer leitfähiger Schichten erfolgen. Die Elektroden 34, 36 können beispielsweise Silberpaste, Silber/Aluminium-Paste, Aluminiumpaste oder reines Aluminium, Kupfer, Zinn,  
10 Palladium, Silber, Titan, Nickel oder Schichtstapel oder Legierungen der genannten Metalle oder andere leitfähige Schichten, insbesondere leitfähige Polymere oder Oxide, oder eine Kombination solcher Schichten mit Metallen umfassen. Die Zusammensetzung und der Abscheidungsprozess  
15 der Elektroden 34, 36 kann sich bei beiden Polaritäten unterscheiden. Die Elektroden 34, 36 können, insbesondere in einem Hochtemperaturschritt nach dem Siebdrucken, lokal die Passivierschicht durchdringen und, je nach Polarität der Elektroden, entweder die hochdotierte p-Typ  
20 Siliziumschicht 20 oder die lokal hochdotierten n-Typ Basisbereiche 26 kontaktieren.

Optional kann vor dem Aufbringen der Elektroden 34, 36 die Passivierschicht selektiv, beispielsweise durch  
25 Laserbestrahlung, entfernt werden, sodass die Elektroden die p-Typ Siliziumschicht 20 oder die lokal hochdotierten n-Typ Basisbereiche 26 direkt kontaktieren.