

(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
16. Juni 2011 (16.06.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/069605 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
H01L 31/0224 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2010/007161
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
25. November 2010 (25.11.2010)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2009 057 984.2
11. Dezember 2009 (11.12.2009) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** REBER, Stefan [DE/DE]; Weiherweg 9, 79194 Gundelfingen (DE). MITCHELL, Emily [IE/DE]; Elsässer Strasse 23, 79110 Freiburg (DE). BRINKMANN, Nils [DE/DE]; Grüner Weg 28, 27472 Cuxhaven (DE).
- (74) **Anwalt:** Pfenning, Meinig & Partner GbR; Patent- und Rechtsanwälte, Theresienhöhe 13, 80339 München (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.
- (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)



WO 2011/069605 A2

(54) **Title:** EPITAXY WRAP-THROUGH SOLAR CELLS HAVING LONGITUDINALLY SHAPED PERFORATIONS AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) **Bezeichnung :** EPITAKTISCHE WRAP-THROUGH-SOLARZELLEN MIT LÄNGLICH AUSGEPRÄGTEN LOCHFORMEN SOWIE VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG

(57) **Abstract:** The invention relates to a thin film solar cell, in particular an epitaxy wrap-through (EpiWT) solar cell, having at least one through-hole, wherein the ratio of the circumference of the contour of the at least one through-hole to the surface area enclosed by the contour of the through-hole is greater than the ratio of the circumference to the surface area of a circle having the same surface area.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Dunnschicht-Solarzelle, insbesondere eine epitaktische Wrap-Through- (EpiWT-) Solarzelle, die mindestens eine Durchbohrung aufweist, wobei das Verhältnis des Umfangs des Umrisses der mindestens einen Durchbohrung zur vom Umriss der Durchbohrung umschlossenen Fläche größer ist als das Verhältnis des Umfangs zur Fläche eines Kreisses gleicher Fläche.

Epitaktische Wrap-Through-Solarzellen mit länglich
ausgeprägten Lochformen sowie Verfahren zu deren
Herstellung

5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Dünnschicht-
Solarzelle, insbesondere eine epitaktische Wrap-
Through-(EpiWT-)Solarzelle, die mindestens eine
Durchbohrung aufweist, wobei das Verhältnis des
Umfangs des Umrisses der mindestens einen Durchboh-
10 rung zur vom Umriss der Durchbohrung umschlossenen
Fläche größer ist als das Verhältnis des Umfangs zur
Fläche eines Kreises gleicher Fläche.

Stand der Technik

15 Die epitaktische Wrap-Through-(EpiWT-)Solarzelle ist
eine kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzelle mit
Rückseitenkontaktierung (siehe E.J. Mitchell und S.
Reber, Proceedings 33rd IEEE Photovoltaic Specialists
20 Conference (2008), S. 510). EpiWT-Solarzellen ver-

einen damit die Vorteile von Dünnschichtsolarzellen, wie z. B. Verminderung der Kosten pro Wattpeak durch Reduzierung des Verbrauchs an hochreinem Siliciummaterial, mit denen von Rückkontaktsolarzellen: keine Abschattung durch das Vorderseitengrid, der Emitter kann hinsichtlich seiner Blauantwort optimiert werden, die Kontakte können hinsichtlich eines geringen Serienwiderstands optimiert werden, einfachere Modulverschaltung und höhere Packungsdichte im Modul (siehe E. van Kerschaver und G. Beaucarne, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 14(2), (2006), S. 107). Die Rückseitenkontaktierung wird erreicht, indem die aktiven Schichten der Solarzelle durch Löcher, die in das Substrat mit Laser gebohrt werden, auf die Substratrückseite gestülpt werden (vgl. Fig. 1). Das Konzept der EpiWT-Solarzelle ist vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) zum Patent angemeldet worden (E.J. Mitchell, S. Reber, E. Schmich, "Thin-film solar cell and process for its manufacture", EP 2 071 632 A1 (2009)). Bezüglich des prinzipiellen Aufbaus derartiger Solarzellen wird auf diese Druckschrift verwiesen.

Das Funktionieren des EpiWT-Zellkonzeptes ist vom Fraunhofer ISE in einer Machbarkeitsstudie gezeigt worden. Die derzeitigen EpiWT-Solarzellen erreichen Wirkungsgrade von bis zu 10,3 % (siehe E.J. Mitchell et al., Proceedings 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference (2009), im Druck). Damit liegen die Wirkungsgrade der EpiWT-Solarzellen noch deutlich unter den Wirkungsgraden der derzeitigen epitaktischen Silicium-Dünnschichtsolarzellen mit Vorderseiten- und Rückseitenkontakt, die auf mc-Silicium-Substraten Wirkungsgrade von 14,2 % erreichen (siehe S. Schmich, Ph.D. Thesis, Universität Konstanz (2008)). Da EpiWT-Solarzellen jedoch auf-

grund des fehlenden Vorderseitenkontaktgitters eine größere Lichteinkopplung haben, ist auch der theoretische Wirkungsgrad der EpiWT-Solarzellen höher als der Wirkungsgrad vergleichbarer kristalliner Silicium-Dünnschichtsolarzellen mit einem Vorderseiten- und Rückseitenkontakt. Eine weitere Optimierung der EpiWT-Solarzelle hinsichtlich ihrer Zellstruktur und ihres Herstellungsprozesses ist daher nötig.

Verglichen mit konventionellen Solarzellen haben EpiWT-Solarzellen zwei zusätzliche konzeptionell bedingte Serienwiderstände, durch die ihr Wirkungsgrad reduziert wird. Dies sind der Ausbreitungswiderstand und der Lochwiderstand (siehe N. Brinkmann, Diplomarbeit, Universität Konstanz (2009)).

Während der Strom bei konventionellen Solarzellen im Emitter parallel auf die Kontaktfinger zu fließt, fließt der Strom bei EpiWT-Solarzellen radial auf die Löcher zu (vgl. Fig. 2) und anschließend durch die Emitterschicht in den Löchern zu den Kontakten auf der Zellrückseite. Dadurch kommt es im Bereich der Löcher zu einer Erhöhung der Ladungsträgerdichte, dem sogenannten "Current Crowding". Das Phänomen des "Current Crowding" führt zu einem Anstieg des Emitterserienwiderstands der EpiWT-Solarzelle im Vergleich zu einer konventionellen Solarzelle. Dieser erhöhte Vorderseitenemitterserienwiderstand der EpiWT-Solarzelle wird als Ausbreitungswiderstand bezeichnet. Der Lochwiderstand ist der Widerstand, den die Elektronen erfahren, wenn sie durch den Emitter im Loch zu den Kontakten auf die Zellrückseite fließen.

Die beiden zusätzlichen Serienwiderstände erhöhen den Gesamtserienwiderstand der EpiWT-Solarzelle und

wirken sich damit negativ auf den Füllfaktor und den Wirkungsgrad der Solarzelle aus. Eine Möglichkeit, diese zusätzlichen Widerstände zu reduzieren, stellt eine Erhöhung der Lochanzahl und/oder eine Vergrößerung der Lochdurchmesser dar (siehe N. Brinkmann, a.a.O.). Beides sorgt allerdings für eine Verkleinerung der aktiven Zellfläche. Durch die Verringerung der aktiven Zellfläche kommt es zu einer Reduzierung des Photostroms, was sich wiederum negativ auf den Wirkungsgrad der EpiWT-Solarzelle auswirkt (siehe N. Brinkmann, a.a.O.). Die Bestimmung der optimalen Lochstruktur der EpiWT-Solarzelle ist damit immer ein Kompromiss zwischen Widerstands- und Photostromverlusten.

Insofern war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ausgehend von der in der EP 2 071 632 beschriebenen Solarzelle eine verbesserte Solarzelle bereitzustellen, mit der sich das oben beschriebene Phänomen des Current Crowding weitestgehend vermeiden und somit der Lochwiderstand erniedrigen und der Wirkungsgrad erhöhen lässt.

Diese Aufgabe wird bezüglich der Dünnschichtsolarzelle mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie bezüglich des Verfahrens zur Herstellung der erfindungsgemäßen Solarzelle mit dem Verfahren gemäß Patentanspruch 10 gelöst. Die jeweiligen abhängigen Patentansprüche stellen dabei vorteilhafte Weiterbildungen dar.

Erfindungsgemäß wird somit eine Dünnschichtsolarzelle mit einer Vorderseite für den Lichteintritt sowie einer Rückseite bereitgestellt, die folgende Mindestbestandteile umfasst:

- a) ein nicht-photovoltaisches bzw. nicht-photoaktives Substrat mit mindestens einer Durchbohrung, die die Vorder- mit der Rückseite verbindet,
- 5 b) mindestens eine photoaktive Basisschicht sowie mindestens eine Emitterschicht, die zumindest auf Teilen oder der Gesamtheit der Vorderseite und Teilen oder der Gesamtheit der Oberfläche der mindestens einen Durchbohrung abgeschieden sind, wodurch in der Durchbohrung ein Kanal gebildet wird,
- 10 c) zumindest ein Emitterkontakt sowie zumindest ein Basiskontakt, die voneinander elektrisch isoliert auf der Rückseite aufgebracht sind.

15 Bezüglich des prinzipiellen Aufbaus der Dünnschicht-Solarzelle sei nochmals auf die EP 2 071 632 A1 verwiesen, deren Ausführungen hierzu mit in die vorliegende Anmeldung aufgenommen sind. Die Basisschicht ist dabei bevorzugt auf dem Substrat aufgewachsen, während die Emitterschicht die oberste

20 Schicht der Basisschicht darstellt und durch dem Fachmann bekannte gängige Prozesse, wie z.B. Dotierverfahren, hergestellt werden kann.

25 Der in der Solarzelle enthaltene Kanal stellt dabei einen Hohlraum dar, der die Vorderseite mit der Rückseite der Dünnschicht-Solarzelle verbindet. Der Kanal ist dabei so aufgebaut, dass auf zumindest Teilen der Oberfläche einer entsprechenden Aussparung bzw. Durchbohrung des Substrates der Dünnschicht-

30 Solarzelle eine photoaktive Basisschicht und eine Emitterschicht aufgewachsen werden. Die Durchbohrung des Substrates kann beispielsweise durch Laserbohren, aber auch mechanische Bohrprozesse hergestellt werden oder auch schon bei der Herstellung des Substrates

35 eingebracht werden, während das Aufwachsen der ent-

sprechenden photoaktiven Schichten auf die Oberfläche des Substrates inkl. der Oberfläche der Durchbohrung durch aus dem Stand der Technik bekannte Abscheideverfahren möglich ist, wodurch der entsprechende Kanal hergestellt werden kann. Die photoaktiven Schichten, d.h. die Basisschicht und die Emitterschicht, können auf der gesamten Oberfläche der Durchbohrung oder nur auf einem Teil dieser Oberfläche abgeschieden sein, so dass sich entsprechend ausgebildete Kanäle ergeben. Die beiden Schichten werden dabei so aufgewachsen, dass die Durchbohrung des Substrates nicht komplett zuwächst, d.h. ein die Vorder- und die Rückseite durchgängig verbindender Hohlraum in der Durchbohrung verbleibt und der so hergestellte Kanal somit röhrenartig ist. Dieser entstehende bzw. überbleibende Hohlraum wird erfindungsgemäß als Kanal bezeichnet.

Das erfindungsgemäße Konzept sieht nun vor, dass der Umriss, d.h. die auf der jeweiligen Seite der Solarzelle aufgebrachte Aussparung der im Substrat enthaltenen Kanäle so gestaltet ist, dass das Verhältnis des Umfangs des Umrisses des mindestens einen Kanals zur vom Umriss des Kanals umschlossenen Fläche größer ist als das Verhältnis des Umfangs zur Fläche eines Kreises gleicher Fläche. Die Fläche des Kanals, d.h. die Fläche des Lochs, das auf der Vorderseite bzw. auf der Rückseite gebildet ist und das Eintritts- und das Austrittsende des Kanals repräsentiert, wird durch eine Kante, die aus dem epitaktischen Emitter besteht, begrenzt. Durch diese Kante wird der Umriss des Kanals festgelegt. Erfindungsgemäß ist der Umfang dieses Umrisses nun größer als der Umfang eines Kreises, der die gleiche Fläche aufweist wie die oben definierte Fläche der Eintrittsöffnung bzw. Austrittsöffnung des Kanals, d. h. des Bereiches, der

auf der Vorder- bzw. der Rückseite des Substrates durch den Kanal ausgespart ist. Insofern wird klar, dass der Umriss des Kanals auf der Vorder- bzw. Rückseite des Substrates einen von einer Kreisform
5 verschiedenen Umriss aufweist.

Mit dieser veränderten Form der Grundfläche des Kanals bzw. der Löcher konnte überraschenderweise eine deutliche Reduktion der konzeptionell bedingten
10 zusätzlichen Serienwiderstände erzielt und damit der Wirkungsgrad der Solarzellen deutlich gesteigert werden.

Die von einer Kreisform abweichende Form der Kanäle
15 kann auf folgende Arten und Weisen erreicht werden:

a) Bereits in das Substrat wird eine Durchbohrung eingebracht, die einen von einer Kreisform verschiedenen Umriss aufweist. Die Oberfläche dieser Durchbohrung wird homogen, d.h. mit gleicher
20 Schichtdicke, mit den jeweiligen photoaktiven Schichten, d.h. Basis- und Emitterschicht, versehen, so dass sich die photoaktiven Schichten der Grundform der vorgegebenen Durchbohrung des Substrates anpassen. Der so entstehende Kanal weist somit die Grundform der Durchbohrung des Substrates auf. Beispielsweise kann in das Substrat bereits eine elliptische Durchbohrung etc.
25 eingebracht werden und die photoaktiven Schichten, wie im Voranstehenden beschrieben, abgeschieden werden.
30

b) Es wird eine kreisförmige Durchbohrung in das Substrat eingebracht, jedoch werden die Schichten
35 asymmetrisch auf der Oberfläche der Durchbohrung abgeschieden, so dass beispielsweise el-

liptische oder rechteckige Strukturen erzielt werden können. Bei diesem Prozedere wird an manchen Stellen des Kanals durchgehend mehr Material der jeweiligen photoaktiven Schichten, d.h. Basis- und Emitterschicht, abgeschieden, als an anderen Stellen, so dass der Kanal, der bei diesem Verfahren resultiert, ebenso einen von einer Kreisform verschiedenen Umriss aufweist, als die vorgegebene kreisförmige Durchbohrung.

5 c) Ebenso sind jedoch Mischformen aus den beiden zuvor genannten Verfahren denkbar, beispielsweise dass eine durch einen asymmetrischen Bohrprozess vorgegebene nicht kreisförmige Durchbohrung
10 weiter durch ein asymmetrisches Abscheiden der jeweiligen photoaktiven Schichten noch weiter asymmetrisch gestaltet wird, d.h. eine weiter von der kreisförmigen Struktur entfernte Form des Kanals erzeugt wird.
15

20 Bevorzugte Ausformungen des Umrisses des Kanals sehen beispielsweise vor, dass die Kanäle einen ellipsoiden, rechteckigen, konkaven, konvexen Umfang bzw. Umriss oder einen rechteckigen Umfang mit abgerundeten Ecken und/oder Kombinationen hieraus aufweisen. Besonders bevorzugt hierbei sind ellipsoide oder
25 rechteckige Umrisse von Durchbohrungen, die abgerundete Ecken aufweisen.

30 Durch die Verwendung von länglich ausgeprägten Kanälen, d. h. von ovalen Löchern bis hin zu Schlitzzen (vgl. Fig. 3 bezüglich der Umrisse), lassen sich Ausbreitungs- und Lochwiderstand drastisch reduzieren und damit der Wirkungsgrad der EpiWT-Solarzelle
35 steigern. Dies ist unabhängig davon, ob der Umriss der Kanäle bzw. Schlitzze rund oder eckig ausgeprägt

sind (vgl. Fig. 3). Auch eine konkave oder konvexe Ausprägung der Kanäle, z.B. als ovale Löcher bzw. Schlitze, ist möglich.

5 Der Vorteil der Verwendung von ovalen Löchern oder Schlitzen geht mit dem größeren Lochumfang einher. Durch den größeren Lochumfang wird einerseits die Ladungsträgerdichte am Lochrand verringert, wodurch der durch das Current Crowding bedingte Ausbreitungs-
10 widerstand stark reduziert wird bzw. bei der Verwendung von Schlitzen ganz wegfällt. Andererseits sinkt der vom Lochumfang reziprok abhängende Lochwiderstand mit zunehmendem Lochumfang.

15 Ein weiterer Vorteil der Schlitze ist, dass sie leichter in das Substrat bzw. den Wafer eingebracht werden können, beispielsweise mit einer Chipsäge. Damit sind EpiWT-Solarzellen mit Schlitzen industriell leichter umsetzbar als solche mit kreisförmigen
20 Löchern.

Ein anderer Vorteil von Schlitzstrukturen ist die leichtere Rückseitenstrukturierung der Zellen, weil beispielsweise die Justage der Rückseitenstrukturen
25 bei der Aufbringung der Schichten und/oder der Kontakte, weil nur in einer Dimension justiert werden muss, durch sie wesentlich einfacher wird.

Durch Metall in den Schlitzen wird der Serienwiderstand der EpiWT-Solarzelle noch einmal deutlich
30 reduziert. Auch kann durch die Schlitze eine vollständige Kontaktierung der Emitterschicht im Schlitz erfolgen, so dass auf der Rückseite der Zelle kein Emitter mehr nötig ist.

35

Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sieht vor, dass die Vorder- und die Rückseite des Substrates im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen und dass der mindestens eine Kanal parallel zur Normalen dieser Flächen durch das Substrat hindurch verläuft, d. h. im Wesentlichen unter einem Winkel von 90° bezüglich der Oberfläche der Vorder- bzw. Rückseite verläuft. Der Durchbohrungskanal weist somit die kürzestmögliche Verbindung zwischen Vorder- und Rückseite auf, wodurch der Widerstand weiter reduziert werden kann.

Ein derartiger im Winkel von 90° zur Oberfläche des Substrates verlaufender Kanal kann auf folgende Arten und Weisen erzeugt werden:

a) Eine Durchbohrung wird senkrecht zu den Substratflächen erzeugt und anschließend erfolgt ein gleichmäßiges Abscheiden der photoaktiven Schichten, d.h. der Basis- und Emitterschicht, so dass eine gleichmäßige Schichtdicke der photoaktiven Schichten über die gesamte Länge der Durchbohrung erzielt wird. Der somit entstehende Kanal weist daher in Richtung der Durchbohrung überall eine gleichmäßige Schichtdicke der Basis- und Emitterschicht auf, so dass der entstehende Kanal ebenso wie die Durchbohrung 90° zur Oberfläche des Substrates verläuft. Die Strukturierung hinsichtlich des von einer Kreisform verschiedenen Umrisses des Kanals kann durch die weiter oben beschriebene Gestaltung erreicht werden.

b) Das Substrat wird mit einem schräg verlaufenden Kanal durchbohrt, wobei die jeweiligen photoaktiven Schichten, d.h. Basis- und Emitterschicht,

schräg in der Durchbohrung abgeschieden werden, so dass in der Summe der Kanal 90° zur Substratoberfläche verläuft. Eine derartige Vorgehensweise ist nur bis zu einem Winkel möglich, bei dem in Projektionsrichtung auf die Substratoberfläche das Eintritts- und das Austrittsende der Durchbohrung noch übereinander angeordnet sind. Ein derartiges Verfahren hängt somit maßgeblich von der Dicke der Durchbohrung ab. Auch hier wird die Strukturierung des Kanals hinsichtlich des von einer Kreisform verschiedenen Umrisses auf die voranstehenden Arten und Weisen erzielt.

Eine alternative Ausführungsform, die beim Vorhandensein von mehreren Kanälen auch zusätzlich zur oben genannten Variante ausgeführt werden kann, sieht vor, dass der mindestens eine Kanal schräg durch das photoaktive Substrat hindurch verläuft und bevorzugt unter einem Winkel $45^\circ \leq \alpha \leq 85^\circ$ zur Vorder- und Rückseite verläuft. Besonders vorteilhaft bei einer derartigen Ausführung ist, dass die photoaktive Oberfläche verglichen mit einer Solarzelle, die keine Kanäle aufweist, im Wesentlichen gleich bleibt, da auch die Wandung der Kanäle selbst mit der photoaktiven Basisschicht sowie der darauf aufgewachsenen Emitterschicht versehen ist. Durch einen schräg verlaufenden Kanal fällt somit unweigerlich z. B. senkrecht auf die Vorderseite der Solarzelle auftreffendes Licht auch in die Kanäle und auf die dort befindlichen photoaktiven Schichten der Solarzelle. Zwar ist hier der Serienwiderstand aufgrund der verlängerten Kanalführung geringfügig höher als bei der zuvor genannten Ausführungsform, allerdings kann dies dadurch wieder kompensiert werden, dass auch die Oberfläche des Kanals selbst zumindest teilweise der

Erzeugung elektrischer Energie dient und somit Lichtverluste vermieden werden.

Die zuvor genannten schräg verlaufenden Kanäle können auf folgende Arten und Weisen erzeugt werden:

5 a) Das Substrat der Solarzelle wird mit schräg verlaufenden Durchbohrungen versehen, deren Oberfläche homogen mit der Basis- und der
10 Emitterschicht versehen wird. Die Strukturierung hinsichtlich des von einer Kreisform verschiedenen Umrisses erfolgt auf die zuvor genannten Arten und Weisen. Der somit erzeugte Kanal verläuft dabei schräg durch das Substrat.

15 b) Es werden senkrecht zur Oberfläche verlaufende Durchbohrungen im Substrat eingebracht. Die Oberfläche dieser Durchbohrungen wird in Richtung des Durchbohrungskanals asymmetrisch mit
20 der Basis- und der Emitterschicht versehen, indem diese Schichten so aufgewachsen werden, dass die Schichtdicke auf einer Seite der Durchbohrung in Kanalrichtung z.B. zunimmt, während sie auf der anderen Seite abnimmt. Der dabei entstehende Kanal weist somit bevorzugt in Kanalrichtung
25 stehend die gleiche Querschnittsfläche auf, verläuft jedoch durch die vorteilhafterweise im Verlauf eines Gradienten aufgebrauchten photoaktiven Schichten schräg durch das Substrat. Eine beispielhafte Ausführungsform ist in Figur 4
30 dargestellt.

Ebenso kann vorgesehen sein, dass die Basis- und die Emitterschicht zumindest auf einer Seite des Kanals
35 zum Kanal hin abgeschrägt ist (siehe Fig. 4). Auch diese besonders bevorzugte Ausführungsform ermöglicht

einen weiter erhöhten Lichteinfall und somit eine optimale Ausnutzung der gesamten photoaktiven Oberfläche der Solarzelle.

5 Die Kontaktierung der Dünnschicht-Solarzelle erfolgt dabei vollständig über die Rückseite. In einer Ausführungsform kann dabei vorgesehen sein, dass die Rückseite der Solarzelle frei von den photoaktiven Schichten, d.h. der Basis- und der Emitterschicht
10 ist. Die Kontaktierung der Emitter erfolgt dabei dadurch, dass in den Kanal von der Unterseite her bis zu einer gewissen Länge der Emitterkontakt eingebracht wird. Auch die Kontaktierung der Basis erfolgt dabei von der Rückseite.

15 Alternativ hierzu ist es möglich, die mindestens eine photoaktive Basisschicht sowie die mindestens eine Emitterschicht auch auf Teilen der Rückseite abzuschneiden, wobei die Schichten dabei in stofflicher Verbindung mit den entsprechenden Schichten, die im
20 Kanal abgeschieden sind, stehen. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass die Schichten über den Kanal hinaus auf die Rückseite fortgesetzt werden, wobei die Kontaktierung dieser Schichten mit den jeweiligen
25 Kontakten dann auf der Rückseite der Solarzelle erfolgt.

Weiter ist es vorteilhaft, dass zwischen dem mindestens einen Emitterkontakt und/oder dem mindestens
30 einen Basiskontakt und dem Substrat mindestens eine Isolationsschicht eingebracht ist. Durch diese Ausführungsform ist vorgesehen, dass die durch die Durchbohrung verlaufenden photoaktiven Basisschichten bzw. Emitterschichten effektiv vom elektrischen
35 Gegenpol der Solarzelle, nämlich dem Substrat und der mit dem Substrat verbundenen Kontaktregion, getrennt

sind. Die Isolationsschicht zwischen Emitter ist dabei vorzugsweise vom n-Typ und zwischen Substrat oder Basis vom p-Typ.

5 Weitere bevorzugte Ausführungsformen der Dünnschicht-
solarzelle sehen vor, dass auf der Vorderseite der
Dünnschichtsolarzelle mindestens eine Passivierungs-
schicht aufgebracht ist, die bevorzugt antireflektiv
10 gebildet ist, aus einem dielektrischen Material
gebildet ist und besonders bevorzugt aus einem di-
elektrischen Material ausgewählt aus der Gruppe
bestehend aus SiO_2 , SiC, SiN sowie Mehrschichten
hiervon gebildet ist.

15 Bevorzugte Substratmaterialien, die für die Dünnschicht-
solarzelle in Frage kommen, sind dabei ausge-
wählt

20 a) aus einem elektrisch leitenden Material, insbeson-
dere aus dotiertem Silicium, oder

b) aus einem elektrischen Isolator, der mit einer
Schicht aus einem elektrisch leitenden Material
beschichtet ist.

25 Bevorzugte Materialien, die für die photoaktive
Basisschicht verwendet werden können, sind dabei
Halbleiter. Bevorzugte Halbleiter können entweder
ausgewählt sein aus der Gruppe bestehend aus Gruppe-
IV-Halbleitern, Gruppe-III/V-Halbleitern, Gruppe-
30 II/VI-Halbleitern, insbesondere aus Si, GaAs und
CdTe.

Erfindungsgemäß wird ebenso ein Verfahren zur Her-
stellung der zuvor genannten Dünnschichtsolarzelle
35 bereitgestellt, bei dem zumindest die folgenden
Verfahrensschritte durchgeführt werden:

a) Einbringen mindestens einer Durchbohrung in ein nicht-photoaktives Substrat,

5 b) Abscheiden mindestens einer photoaktiven Basis-schicht sowie mindestens einer Emitterschicht zumindest auf Teilen der Vorderseite, und der Oberfläche der Durchbohrungen und Ausbilden eines Kanals in den Durchbohrungen, sowie

10 c) Ausbilden mindestens einer Emitterkontaktregion und mindestens einer Basiskontaktregion, die voneinander elektrisch isoliert sind, auf der Rückseite des Substrats und/oder in den Kanälen,

15 wobei der Kanal so ausgebildet wird, dass sein Verhältnis des Umfangs des Umrisses des mindestens einen Kanals zur vom Umriss des Kanals umschlossenen Fläche größer ist als das Verhältnis des Umfangs zur Fläche eines Kreises gleicher Fläche.

20 Die Strukturierung des Kanals erfolgt dabei auf die bereits vorstehend im Detail erläuterten Verfahrensabläufe.

25 Vorteilhafte Verfahrensmöglichkeiten, die Durchbohrung in das Substrat einzubringen, sind dabei Laserbohrverfahren oder Laser-Fräsverfahren, ebenso sind jedoch auch mechanische Methoden anwendbar, wie beispielsweise mittels einer Chipsäge.

30 Jeweils nach den zuvor genannten Schritten a) und/oder b) des erfindungsgemäßen Verfahrens können weiter eine Isolationsschicht auf der Rückseite zur Isolierung der beiden Kontaktregionen voneinander und/oder die Passivierungsschicht auf der Vorderseite
35 abgeschlossen werden.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der beigefügten Figuren näher erläutert, ohne die Erfindung auf die dort ausgeführten Ausführungen zu beschränken.

5

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt einer schematischen Darstellung eines Ausschnitts einer epitaktischen Wrap-Through-Solarzelle, die aus einem nicht-photo-voltischen Substrat 1 besteht, das eine Mehrzahl von senkrecht von der Oberfläche der Vorderseite zur Oberfläche der Rückseite verlaufenden Durchbohrungen aufweist. Auf das Substrat ist auf der Vorderseite vollflächig epitaktisch eine photoaktive Basisschicht 3 aufgewachsen. Diese Basisschicht 3 ist vollflächig mit einer Emitterschicht 4 beschichtet. Die Beschichtung des Substrates 1, d. h. die epitaktisch aufgewachsene Basisschicht 3 und die Emitterschicht 4, sind auch an den Oberflächen der Durchbohrung auf dem Substrat 1 aufgewachsen, d. h., die Durchbohrung ist ebenso vollflächig mit der Basisschicht 3 und der Emitterschicht 4 ausgekleidet, wodurch der Kanal 2 gebildet wird. Insofern bildet die epitaktische Emitterschicht 4 die Oberfläche des Kanals 2. Gegebenenfalls können auch Teile der Rückseite des Substrates 1 mit der Basisschicht 3 bzw. der Emitterschicht 4 versehen sein. Die Rückseite der Solarzelle weist nun zwei Kontakte auf, einen Kontakt 5, der den Emitter kontaktiert (Emitterkontaktregion), diese Kontakte stellen den n-Kontakt dar. Bevorzugt sind diese Kontakte aus Aluminium gebildet. Der weitere Kontakt 6 (p-Kontakt) ist mit dem nicht-photoaktiven Substrat 1 verbunden und stellt die Basiskontaktregion 6 dar. Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass die Grundfläche des Kanals 2 (dies ist gemäß Fig. 1 die Fläche, die von oben, d. h. in Lichteinfallrichtung, wahrgenommen werden kann) kreisrund ausgebildet

10

15

20

25

30

35

ist, was zu den eingangs beschriebenen Nachteilen
derartiger Solarzellen führt. Erfindungsgemäß ist
diese Grundfläche nunmehr so ausgestaltet, dass der
Umriss der Durchbohrung einen von einer Kreisform
5 verschiedenen Umriss aufweist und somit bezogen auf
die Fläche der Durchbohrung einen vergrößerten Umriss
der Durchbohrung aufweist. Dadurch lassen sich gerin-
gere Serienwiderstände derartiger Solarzellen erzie-
len.

10

Fig. 2 zeigt den zuvor unter den Ausführungen zur
Fig. 1 beschriebenen kreisrunden Umfang eines Kanals
2, wie er auf der Vorderseite der Solarzelle gemäß
der EP 2 071 632 vorliegt. Die Pfeile stellen dabei
15 die auf den Kanal 2 zufließenden, an der Oberfläche
der Solarzelle gesammelten Ströme an, die in unmit-
telbarer Umgebung des Kanals so stark werden, dass es
zum Current Crowding kommt.

20

Fig. 3 beschreibt bevorzugte, erfindungsgemäß zum
Einsatz kommende Geometrien von Kanälen 2, die an-
stelle vom Umriss der in Fig. 2 dargestellten Kanäle
zum Einsatz kommen. Insbesondere ellipsoide (a),
konkave (b), konvexe (c), rechteckige mit abgerunde-
25 ten Enden (d) und rechteckige (e) Umrisse von Kanälen
kommen dabei zum Einsatz, wobei die Ausführungsformen
gemäß Fig. 3a und 3b ganz besonders bevorzugt sind.

25

In Fig. 4 ist eine optische Mikroskopaufnahme einer
30 epitaktischen Wrap-Through-Solarzelle in einem Her-
stellungszwischenschritt dargestellt, wobei Fig. 4a
eine Totalperspektive und Fig. 4b eine vergrößerte
Aufnahme eines Teilbereichs darstellt, anhand derer
das bevorzugte Konzept des schrägen Kanalverlaufs
näher erläutert werden soll. Die Perspektive der
35 aufgenommenen Solarzelle entspricht dabei der in Fig.

30

1 dargestellten Perspektive. Die Referenzzeichen aus
Fig. 1 sind ebenso z.T. übernommen. Dargestellt ist
eine epitaktische Wrap-Through-Solarzelle in einem
Herstellungszwischenschritt, bei der ein Kanal 2
5 schräg durch das Substrat 1 verläuft. Deutlich er-
kennbar ist der 90° zur Oberfläche erfolgende Verlauf
der Durchbohrung des Substrates 1. Durch einen schräg
bzw. asymmetrisch verlaufenden Aufwuchs der Basis-
schicht 3 sowie der Emitterschicht 4 wird ein ent-
10 sprechend schräg verlaufender Kanal 2 erhalten,
obwohl die Durchbohrung des Substrates normal zur
Oberfläche verläuft. Weiterhin weist diese Solarzelle
auf der in der Abbildung rechts dargestellten Kante
des Kanals 2 eine Abkappung auf, wodurch der Licht-
15 einfall in den Kanal weiter vergrößert wird und
dadurch ebenso in der Wandung des Kanals 2 photoakti-
ve Prozesse in der Basis- und der Emitterschicht
ablaufen können, so dass auch in Kanal 2 selbst eine
Stromerzeugung stattfinden kann. Dadurch können die
20 bei Vorderseitenkontaktsolarzellen bekannten Abschatt-
ungsverluste nahezu vollständig kompensiert werden.

Patentansprüche

5

1. Dünnschichtsolarzelle mit einer Vorderseite für den Lichteintritt sowie einer Rückseite, umfassend

10

a) ein nicht-photoaktives Substrat (1) mit mindestens einer Durchbohrung, die die Vorderseite mit der Rückseite verbindet,

15

b) mindestens eine photoaktive Basisschicht (3) sowie mindestens eine Emitterschicht (4), die zumindest auf Teilen oder der Gesamtheit der Vorderseite und Teilen oder der Gesamtheit der Oberfläche der mindestens einen Durchbohrung abgeschieden sind, wodurch in der Durchbohrung ein Kanal (2) gebildet wird,

20

c) zumindest einen Emitterkontakt (5) sowie zumindest einen Basiskontakt (6), die voneinander elektrisch isoliert auf der Rückseite aufgebracht sind,

25

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Verhältnis des Umfangs des Umrisses des mindestens einen Kanals (2) zur vom Umriss des Kanals (2) umschlossenen Fläche größer ist als das Verhältnis des Umfangs zur Fläche eines Kreises gleicher Fläche.

30

2. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Kanal (2) einen ellipsoiden, rechteckigen, konkaven, konvexen Umfang

oder einen rechteckigen Umfang mit abgerundeten Ecken und/oder Kombinationen hieraus aufweist.

- 5 3. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorder- und die Rückseite des Substrates (1) parallel zueinander sind und der mindestens eine Kanal (2) normal und/oder unter einem Winkel $45^\circ \leq \alpha \leq 85^\circ$ zur Vorder- und Rückseite verlaufen.
- 10 4. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Basis- und die Emitterschicht (4) zumindest auf einer Seite des Kanals (2) zur Durchbohrung (2) hin abgeschrägt ist.
- 15 5. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine photoaktive Basisschicht (3) sowie die mindestens eine Emitterschicht (4) auf Teilen der Rückseite abgeschieden ist und die Schichten in stofflicher Verbindung mit den entsprechenden in mindestens einem Kanal (2) abgeschiedenen Schichten stehen.
- 20 6. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem mindestens einen Emitterkontakt (5) und/oder dem mindestens einen Basiskontakt (6) und dem Substrat (1) mindestens eine Isolationschicht eingebracht ist.
- 25 7. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Vorderseite der Dünnschichtsolarzelle mindestens eine Passivierungsschicht aufgebracht ist, die bevorzugt antireflektiv ausgebildet ist
- 30

und aus einem dielektrischen Material gebildet ist und besonders bevorzugt aus einem dielektrischen Material ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus SiO₂, SiC, SiN sowie Mehrfachschichten hiervon gebildet ist.

5

8. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (1)

a) aus einem elektrisch leitenden Material, insbesondere aus dotiertem Silicium, oder

10

b) aus einem elektrischen Isolator, der mit einer Schicht aus einem elektrisch leitenden Material beschichtet ist,

gebildet ist.

15

9. Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine photoaktive Basisschicht (3) aus einem Halbleiter, bevorzugt aus einem Halbleiter ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Gruppe IV-Halbleitern, Gruppe III/V-Halbleitern, Gruppe II/VI-Halbleitern, insbesondere aus Si, GaAs und CdTe gebildet ist.

20

10. Verfahren zur Herstellung einer Dünnschichtsolarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, durch

25

a) Einbringen mindestens einer Durchbohrung in ein nicht-photoaktives Substrat (1),

b) Abscheiden mindestens einer photoaktiven Basisschicht (3) sowie mindestens einer

30

Emitterschicht (4) zumindest auf Teilen der Vorderseite und der Oberfläche der Durchboh-

rung und Ausbilden eines Kanals (2) in den Durchbohrungen, sowie

5 c) Ausbilden mindestens einer Emitterkontaktregion (5) und mindestens einer Basiskontaktregion (6), die voneinander elektrisch isoliert sind, auf der Rückseite des Substrats (1) und/oder in den Kanälen (2),

10 dadurch gekennzeichnet, dass der Kanal (2) so ausgebildet wird, dass sein Verhältnis des Umfangs des Umrisses des mindestens einen Kanals zur vom Umriss des Kanals umschlossenen Fläche größer ist als das Verhältnis des Umfangs zur Fläche eines Kreises gleicher Fläche.

15 11. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Kanäle (2) mittels Laser oder mechanisch in das Substrat (1) eingebracht werden.

20 12. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach Schritt a) und/oder b) mindestens eine Isolationschicht auf der Rückseite des Substrats (1) abgeschieden wird.

25 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass nach Schritt a), b) und/oder c) eine Passivierungsschicht auf der Vorderseite abgeschieden wird.

FIG 1

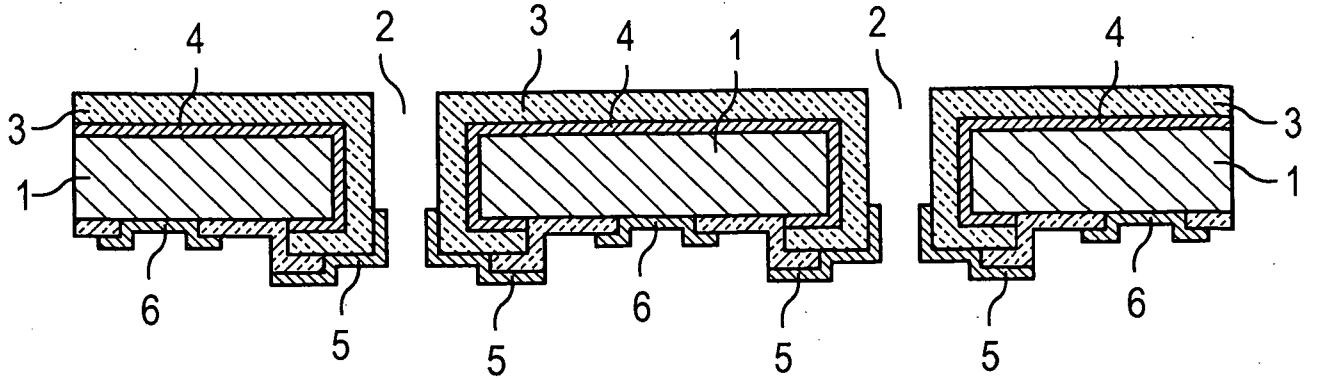


FIG 2

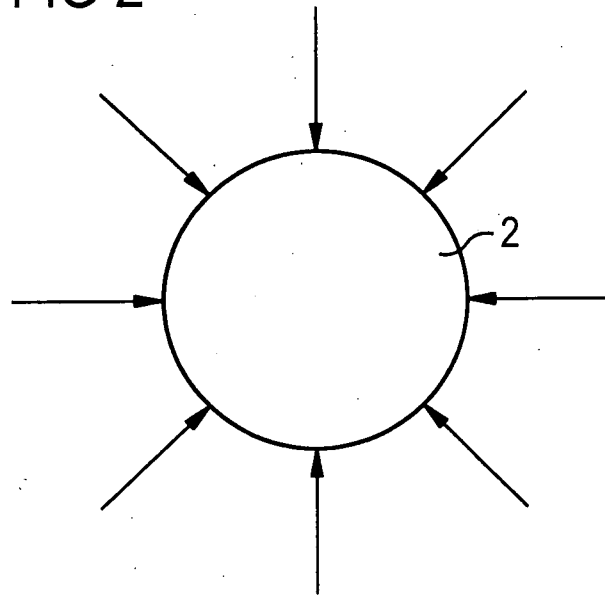


FIG 3

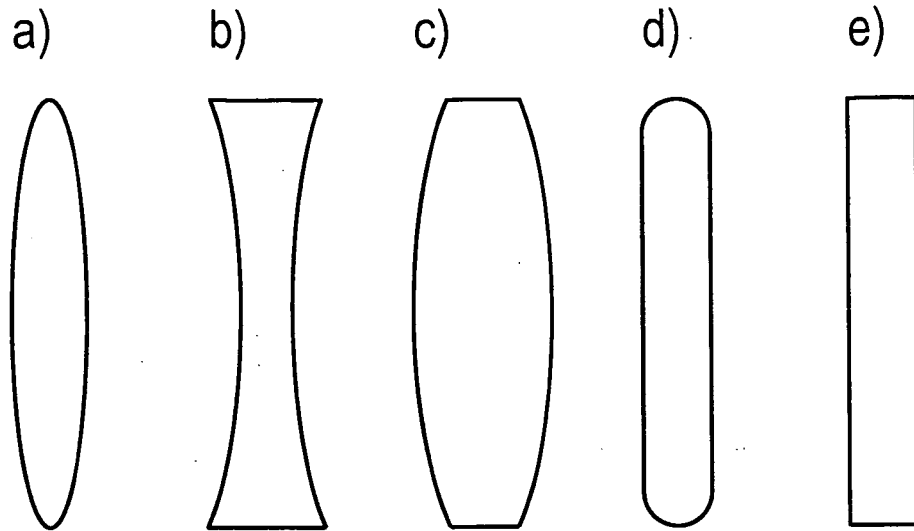


FIG 4

