

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H01L 31/0236, 31/0224	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/25312 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 11. Juni 1998 (11.06.98)
--	-----------	---

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP97/06465

(22) Internationales Anmeldedatum: 19. November 1997 (19.11.97)

(30) Prioritätsdaten:
 196 50 111.3 3. Dezember 1996 (03.12.96) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS SOLAR GMBH [DE/DE]; Frankfurter Ring 153, D-80807 München (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ENDRÖS, Arthur [DE/DE]; Tumblingerstrasse 10, D-80337 München (DE).

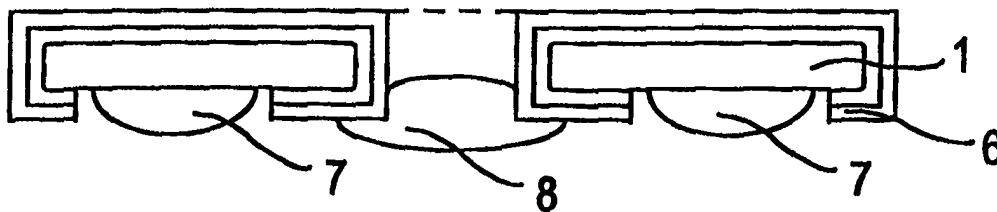
(74) Anwälte: ZANGS, Rainer usw.; Hoffmann . Eitle, Arabellstrasse 4, D-81925 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: AU, JP, RU, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht
*Mit internationalem Recherchenbericht.
 Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.*

(54) Title: SOLAR CELL WITH REDUCED SHADING AND METHOD OF PRODUCING THE SAME

(54) Bezeichnung: SOLARZELLE MIT GERINGER ABSCHATTUNG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG



(57) Abstract

In order to produce a high-output solar cell with more than 20 % efficiency a (110)-oriented silicon substrate is used, all the contacts are disposed on the rear side (RS), and the electrical connection for the front side (VS) is brought about through the substrate by means of a pattern of highly doped slots which are etched in a crystal-oriented manner and aligned parallel to (111) planes in the substrate.

(57) Zusammenfassung

Für eine Hochleistungssolarzelle mit einem Wirkungsgrad von über 20 Prozent wird vorgeschlagen, ein (110)-orientiertes Siliziumsubstrat zu verwenden, alle Kontakte auf die Rückseite (RS) zu verlegen und den elektrischen Anschluß der Vorderseite (VS) über ein Muster von hochdotierten Schlitzten durch das Substrat hindurch vorzunehmen, welche kristallorientiert geätzt und parallel zu (111)-Ebenen im Substrat ausgerichtet sind.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshjan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Solarzelle mit geringer Abschattung und Verfahren zur Herstellung.

5

Eine geringe Abschattung kann zum Beispiel in einer Solarzelle realisiert werden, bei der sich sowohl die n- als auch die p-Kontakte auf der Rückseite befinden. Auf diese Weise wird die Vorderseite durch keinen Kontakt abgeschattet und steht

10 daher uneingeschränkt zur Lichteinstrahlung zur Verfügung.

Eine Solarzelle ohne Vorderseitenmetallisierung ist beispielsweise aus R. A. Sinton, P. J. Verlinden, R. A. Crane, R. M. Swanson, C. Tilford, J. Perkins and K. Garrison,

15 „Large-Area 21 % Efficient Si Solar Cells“, Proc. of the 23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Louisville, 1993, Seiten 157 bis 161 bekannt. Zu deren Herstellung werden in mehreren Maskenschritten unterschiedlich dotierte Gebiete nebeneinander erzeugt und durch Darüberaufbringen einer mehrschichtigen Metallstruktur metallisiert bzw. kontaktiert. Das

20 Aufbringen der Metallstrukturen erfolgt dabei durch Dünnschichtverfahren.

Nachteilig ist dabei, daß das Verfahren mehrere Maskenschritte benötigt und dadurch aufwendig ist. Außerdem müssen sämtliche Ladungsträger durch Diffusion zur Rückseite der Solarzelle gelangen, wobei eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Ladungsträgerrekombination besteht, die den Sammelwirkungsgrad der Solarzelle wieder reduziert.

30

Ein weiteres Konzept einer Solarzelle ohne Vorderseitenmetallisierung ist aus dem Artikel „Emitter Wrap-Through Solar Cell“ von James M. Gee et al in einem Beitrag zur 23rd Photovoltaic Specialists Conference 1993, Louisville, Seiten 265

35 bis 270, bekannt. Die dort beschriebene Solarzelle weist eine in der Nähe der Vorderseite gelegene Emitterschicht mit daran angrenzendem pn-Übergang auf. Mit einem Laser gebohrte und

metallisierte Kontaktlöcher verbinden die Emitterschicht mit auf der Rückseite gelegenen metallisierten Kontakten. Die Rückseitenkontakte sind interdigital zu den „Vorderseitenkontakten“ ebenfalls auf der Rückseite angeordnet. Nachteilig an dieser Solarzelle ist die hohe Anzahl der mit einem Laser zu bohrenden Kontaktlöcher, die für eine typische 100 cm² große Solarzelle und einem typischen Kontaktlochabstand von 1 mm ca. 10.000 Kontaktlöcher pro Solarzelle erfordert. Dies reduziert den Durchsatz in einer automatisierten Fertigung. Zusätzlich müssen die Kontaktlöcher und die dazugehörigen auf der Rückseite angeordneten Kontakte zueinander justiert werden. Außerdem kann es in den mit einem Laser gebohrten Kontaktlöchern zu unerwünschten Strukturumwandlungen im Silizium kommen, womit zusätzliche Rekombinationszentren für Ladungsträgerpaare geschaffen werden können, die den Sammelwirkungsgrad weiter reduzieren. Die reduzierte mechanische Festigkeit kann bei diesen Solarzellen zum Bruch führen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Solarzelle ohne abschattende Vorderseitenkontakte anzugeben, die einfach und preisgünstig herzustellen ist und die weiteren Erfordernisse für eine Hochleistungssolarzelle erfüllt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Solarzelle nach Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sowie ein Verfahren zur Herstellung sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Die erfindungsgemäße Solarzelle ist aus einem kristallinen Siliziumsubstrat mit (110)-Orientierung aufgebaut. Dieses Material hat den Vorteil, daß es vertikal zur (110)-Oberfläche ausgerichtete (111)-Ebenen aufweist. Mittels einer an der Kristallstruktur orientierten anisotropen Ätzung ist es so möglich, Vertiefungen, Löcher oder Durchbrechungen mit hohem Aspektverhältnis und zwei vertikalen Seitenwänden im (110)-Substrat zu erzeugen. Die erfindungsgemäße Solarzelle weist eine Vielzahl von parallel zu (111)-Ebenen ausgerichteten,

länglichen Schlitzen auf, die durch die gesamte Dicke des Siliziumsubstrats reichen bzw. dieses durchbrechen. Die inneren Oberflächen der Schlitze weisen eine hohe Dotierung entsprechend dem Leitfähigkeitstyp der zumindest auf der Vorderseite erzeugten flachen Emitterschicht auf. Auf der Rückseite der Solarzelle befindet sich ein gridförmiges erstes Kontaktmuster zum elektrischen Anschluß des Bulkmaterials. Interdigital dazu ist ein zweites gridförmiges Kontaktmuster auf der Rückseite angeordnet, welches mit den Schlitzen zumindest teilweise überlappt und so den elektrischen Anschluß der Emitterschicht gewährleistet.

Die Vorderseite der erfindungsgemäßen Solarzelle ist bis auf die Schlitze ungestört und weist eine hochwertige Oberfläche auf, die eine gute Passivierung und eine wirkungsvolle Antireflexschicht ermöglicht. Wegen der guten anisotropen Ätzbarkeit im (110)-orientierten Silizium können die Schlitze mit hohen Aspektverhältnissen von beispielsweise 1:600 im Siliziumsubstrat erzeugt werden. Auf diese Weise gelingt es, die Größe der Schlitze und damit die Oberflächenverluste zu minimieren. Anisotrop in (110)-Silizium geätzte Schlitze besitzen Seitenwände, die aus (111)-Ebenen bestehen. Zwei dieser Ebenen sind vertikal zur Substratoberfläche angeordnet, während die beiden „Schmalseiten“ schräg durch das Substrat verlaufen. Bei Ätzung von der Rückseite des Siliziumsubstrats her verjüngt sich somit der Querschnitt der Schlitze zur Vorderseite hin, so daß dadurch die Oberflächenverluste durch die Schlitze auf der Vorderseite weiter reduziert werden. Die längliche Ausdehnung der Schlitze erleichtert die Justierung des zweiten Kontaktmusters, welches die Schlitze auf der Rückseite überlappt.

In den Schlitzen ist das Siliziumsubstrat hoch dotiert. Dadurch werden elektrisch ausreichend leitfähige Strompfade geschaffen, die die Vorderseite der Solarzelle mit der Rückseite, beziehungsweise mit dem dort aufgebrauchten Kontaktmuster verbinden. Durch ein ausreichend dichtes Muster an Schlitzen

und durch die relativ geringe Substratdicke bleiben die Strompfade für auf der Vorderseite gesammelte Ladungsträger kurz. So ist auch der Serienwiderstand der Solarzelle gering und es wird ein hoher Füllfaktor möglich.

5

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird als Substrat ein sogenannter Trikristallwafer verwendet, wie er beispielsweise aus einem Artikel von G. Martinelli in Solid State Phenomena Vol. 32 to 33, 1993, pp 21 - 26 bekannt ist.
10 Ein solcher Wafer weist drei gegeneinander verkippte monokristalline Bereiche auf, die jeweils für sich (110)-orientiert sind. Die Grenzflächen zwischen den monokristallinen Bereichen verlaufen radial zur Wafermitte hin, so daß die monokristallinen Bereiche Kreissektoren des Trikristallwafers bilden.
15 Zwei der drei Grenzflächen sind dabei Zwillingskorngrenzen erster Ordnung an (111)-Ebenen, die besonders störstellenarm sind.

Eine aus einem solchen Trikristallwafer gefertigte erfindungsgemäße Solarzelle hat den Vorteil, daß die mechanische Stabilität des Wafers und damit der Solarzelle im Vergleich zu einem monokristallinen Substrat stark erhöht ist. Auf diese Weise läßt sich die Substratdicke auf Werte von 30 bis 70 µm reduzieren, ohne daß bei der Verarbeitung eine erhöhte
20 Bruchgefahr in Kauf genommen werden muß. Für die Erfindung ist der Trikristallwafer besonders geeignet, da er ausschließlich (110)-orientierte Oberflächen besitzt, bzw. (110)-orientierte Siliziumsubstrate erstmals ausreichend verfügbar macht. Das Kristallziehen monokristalliner (110)-
25 orientierter Stäbe ist erheblich schwieriger als das von herkömmlichen (100)-Siliziumstäben, da es schneller zu Kristallversetzungen und Strukturverlust kommt, der zum vorzeitigen Abbruch des Ziehverfahrens führt. Das Kristallziehen eines Trikristalls ist dagegen 2 bis 3 mal schneller als bei (110)-
30 orientierten Siliziumstäben. Am Stabende ist kein Konus erforderlich. Es läßt sich daher quasikontinuierlich und ver-

setzungsfrei durchführen. Ein Tiegel kann bis zu zehn mal genutzt werden.

5 Eine Solarzelle mit einem dünneren Siliziumsubstrat hat neben der Materialersparnis noch zusätzliche technische Vorteile. Die Anforderung an eine Hochleistungssolarzelle, daß die Diffusionslänge der Minoritätsladungsträger größer als die dreifache Dicke des Substrats ist, wird mit einem dünneren Substrat bereits von einem Material niedrigerer elektroni-
10 scher Güte erfüllt. Ein dünneres Siliziumsubstrat führt daher in einer Solarzelle zu geringeren Rekombinationsverlusten als ein dickeres Substrat.

15 Eine Solarzelle mit einem trikristallinen Siliziumsubstrat ist auch bei einer Vielzahl von das Substrat durchbrechenden Schlitzen ausreichend stabil. Dennoch ist es vorteilhaft, wenn die parallel zu (111)-Ebenen verlaufenden Schlitzte gegeneinander versetzt sind, so daß in ein und derselben (111)-Ebene nicht mehrere Schlitzte hintereinander angeordnet sind,
20 die einen Bruch des Substrates parallel zu Kristallebenen durch die vorgegebene „Perforation“ unterstützen könnten.

Ein erstes und ein zweites Kontaktmuster auf der Rückseite der Solarzelle werden vorzugsweise als Dickfilmkontakte und
25 insbesondere als aufzusinternde leitfähige Paste aufgebracht. Erstes und zweites Kontaktmuster bilden eine interdigitale Struktur, bei der fingerförmige Kontakte alternierend angeordnet sind, wobei die fingerförmigen Kontakte des ersten und zweiten Kontaktmusters wie die Zähne eines Reißverschlusses
30 ineinandergreifen. Jedes Kontaktmuster umfaßt zumindest eine Busstruktur, die sämtliche fingerförmigen Kontakte miteinander verbindet. Vorzugsweise ist eine der Busstrukturen umlaufend in der Nähe des Randes der Solarzellenrückseite angeordnet. Vorzugsweise sind die Flächenanteile von erstem und
35 zweitem Kontaktmuster annähernd gleich, da für beide Ladungsträgertypen gleiche Ladungsmengen transportiert werden müssen und so der Serienwiderstand minimiert ist.

Das Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Solarzelle wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen zehn Figuren näher erläutert. Die Figuren sind dabei ausschließlich den Ausführungsbeispielen zugehörig und nicht als einschränken d zu betrachten.

Figuren 1 bis 7 zeigen anhand schematischer Querschnitte durch das Substrat verschiedene Verfahrensstufen bei der Herstellung der Solarzelle.

Figuren 8 und 9 zeigen anhand schematischer Querschnitte durch das Substrat verschiedene Verfahrensstufen einer Verfahrensvariante

Figur 10 zeigt einen Schlitz in perspektivischer Draufsicht auf ein Siliziumsubstrat.

Figur 11 zeigt einen Trikristallwafer in der Draufsicht.

Figur 12 zeigt eine mögliche Anordnung für erstes und zweites Kontaktmuster auf der Rückseite.

Ausgangspunkt für das erfindungsgemäße Verfahren ist ein beispielsweise p-dotierter Siliziumwafer 1 mit (110)-Orientierung. Im ersten Schritt werden die Schlitzze bzw. ein Muster von Schlitzzen erzeugt. Dazu wird zunächst rundum eine Oxid- oder Nitridschicht 2 ganzflächig auf Vorderseite VS und Rückseite RS aufgebracht. Photolithographisch werden anschließend in dieser Oxid- oder Nitridschicht 2 rechteckige, dem Schlitzmuster entsprechende Öffnungen 3 definiert und frei geätzt. In Figur 1 ist diese Verfahrensstufe anhand eines schematischen und nicht maßstabsgetreuen Querschnitts durch ein Siliziumsubstrat dargestellt.

Durch kristallorientiertes alkalisches Ätzen werden nun entsprechend dem in der Maskenschicht 2 definierten Muster von

Öffnungen 3 Schlitz 4 im Substrat 1 erzeugt. Figur 2 stellt diesen Zustand nach Entfernen der Maskenschicht 2 dar.

Figur 3: Durch eine rundum erfolgende Phosphordotierung wird auf sämtlichen Oberflächen des Siliziumsubstrats 1 einschließlich der Schlitz 4 eine flache, n^+ -dotierte Emitter-schicht 5 erzeugt, zum Beispiel in einer Tiefe von 0,3 bis $2\mu\text{m}$.

Figur 4: Im nächsten Schritt wird rundum auf allen Oberflächen eine Passivierungsschicht 6 aufgebracht, beispielsweise eine typischerweise 70nm dicke Oxid- oder Nitridschicht.

Figur 5: Im nächsten Schritt werden die elektrischen Kontakte auf der Rückseite in einer Dickfilmtechnik aufgebracht. Für das erste Kontaktmuster 7 werden dazu beispielsweise fingerförmige Kontakte zur Kontaktierung des Bulk-Materials, also zur Kontaktierung des inneren p-dotierten Substratbereiches, neben den Schlitz 4 auf der Rückseite RS aufgebracht. Dies kann beispielsweise durch Aufdrucken einer Silber- oder Aluminiumpartikel enthaltenden sinter- und leitfähigen Siebdruckpaste erfolgen. Die Paste enthält entweder Aluminium oder einen anderen, eine p-Dotierung erzeugenden Dotierstoff, zum Beispiel Bor. Ein zweites Kontaktmuster 8 wird zumindest teilweise über den Schlitz 4 aufgebracht, beispielsweise durch Aufdrucken einer silberhaltigen leitfähigen Paste. Erstes und zweites Kontaktmuster 7 bzw. 8 sind gridförmig ausgebildet und umfassen je zumindest eine Busstruktur und davon ausgehende fingerförmige Kontakte. Die Anordnung der beiden Kontaktmuster auf der Rückseite des Substrates erfolgt dabei so, daß die fingerförmigen Kontakte interdigital ineinander greifen und räumlich voneinander getrennt sind. Figur 5 zeigt die Anordnung nach dieser Verfahrensstufe.

Figur 6: Im nächsten Schritt werden die Kontakte eingebrannt und gesintert, wobei die Passivierungsschicht 6 unter den Kontaktmustern 7 und 8 elektrisch leitend legiert wird. Der

in der Paste für das erste Kontaktmuster 7 enthaltene Dotierstoff erzeugt eine p^+ Dotierung 9, die die Emitterschicht 5 überkompensiert und den ohm'schen Kontakt zum innen gelegenen p-dotierten Bereich des Substrats 1 herstellt. Das Material des zweiten Kontaktmusters 8 erzeugt eine leitende Verbindung zum n^+ -dotierten Bereich 5, der Emitterschicht.

Figur 7: Mit Hilfe von erstem und zweitem Kontaktmuster 7 bzw. 8 als selbstjustierende Maske kann im nächsten Schritt der pn-Übergang zwischen erstem und zweitem Kontaktmuster gegebenenfalls aufgetrennt werden, beispielsweise durch Plasmaätzen, wobei zwischen erstem und zweitem Kontaktmuster Vertiefungen 13 entstehen. Wenn die p^+ Dotierung 9, die gleichzeitig ein back surface field (BSF) darstellt, eine leitende Verbindung des Kontaktmusters 7 zur Emitterschicht verhindert, ist das Plasmaätzen aber nicht erforderlich.

Figur 8: In einer Verfahrensvariante (anschließend an die Verfahrensstufe entsprechend Figur 4) wird die Passivierungsschicht 6 und die Emitterschicht 5 in einem lift off Verfahren, zum Beispiel durch eine kurzes Plasmaätzen, in einem Bereich 14 entfernt, der zur Aufnahme des ersten Kontaktmusters vorgesehen ist. Er ist daher etwas größer dimensioniert als das erste Kontaktmuster.

Figur 9: Anschließend werden erstes und zweites Kontaktmuster 7,8 zum Beispiel durch Aufdrucken aufgebracht und gegebenenfalls eingebrannt. Das erste Kontaktmuster kann dabei wiederum eine zur Erzeugung eines BSF geeignete Dotierung enthalten.

Möglich ist es jedoch auch, im Anschluß an den in Figur 4 dargestellten Zustand zunächst das zweite Kontaktmuster 8 aufzubringen und als Maske für das lift off Verfahren zum Entfernen von Passivierungsschicht 6 und Emitterschicht 5 zu verwenden, wobei den Bereichen 14 entsprechende und bis ins bulk Material reichende Ausnehmungen erzeugt werden. In die-

sen Ausnehmungen wird anschließend das erste Kontaktmuster 7 aufgebracht. In dieser Variante ist es vorteilhaft, das zweite Kontaktmuster 8 mit größerer Fläche zu erzeugen als das erste Kontaktmuster 7, um eine maximale Emitterfläche nach dem lift off Verfahren zu behalten.

In jedem Fall erfolgt das Aufbringen von erstem und zweitem Kontaktmuster 7 und 8 so, daß die beiden nicht überlappen und elektrisch voneinander getrennt sind.

10

Figur 10 zeigt in perspektivischer Darstellung die Rückseite des Siliziumsubstrats 1 mit einem der Schlitze 4. Dieser weist zwei gegenüberliegende vertikale Wände 11 auf, die (111)-Ebenen im Substrat entsprechen. Die Schmalseiten der Schlitze 4 dagegen sind von schräg dazu verlaufenden Kristallflächen 12 begrenzt, die ebenfalls (111)-Ebenen darstellen. Bei der Definition des Schlitzmusters in der Maskenschicht 2 zu Anfang des Verfahrens wird darauf geachtet, daß die Längsachse der Schlitze parallel zu den vertikalen (111)-Ebenen angeordnet ist. Länge l und Breite b der Schlitze (auf der Rückseite) werden so gewählt, daß beim kristallorientierten Ätzen grade eben eine das Substrat 1 durchbrechende Öffnung erzeugt ist. Die Schlitzbreite b wird auf 5 bis 50 μm eingestellt und liegt beispielsweise bei 15 bis 20 μm . Die Schlitzlänge l ist abhängig von der Dicke des Siliziumsubstrats 1. Vorzugsweise wird die Länge l so gewählt, daß der virtuelle Schnittpunkt der die Schmalseiten des Schlitzes begrenzenden Flächen 12 knapp über der Vorderseite VS des Siliziumsubstrats 1 angeordnet ist. Auf diese Weise wird ein von der Vorderseite VS des Substrats 1 betrachteter Schlitz erhalten, dessen „Länge“ b entspricht und dessen „Breite“ parallel zur Schlitzlänge l minimiert ist.

Figur 11 zeigt einen Trikristallwafer, der vorzugsweise als Substrat für die erfindungsgemäße Solarzelle eingesetzt wird. Dieser weist drei monokristalline Bereiche M1, M2, M3 auf, die alle (110)-orientiert sind aber gegeneinander verkippt

sind. In der Figur ist der Trikristallwafer so angeordnet, daß zwischen den monokristallinen Bereichen M1 und M2 eine Zwillingskorngrenze KG12 erster Ordnung mit (111)-Ebenen als kornbegrenzenden Kristallflächen entsteht. Auch die Korngrenze KG13 zwischen M1 und M3 ist eine Zwillingskorngrenze erster Ordnung mit begrenzenden (111)-Kristallebenen. Ein optimal gewachsener Trikristall mit den zwei Zwillingskorngrenzen erster Ordnung besitzt ideale Innenwinkel zwischen den verschiedenen monokristallinen Bereichen, die für W1 exakt 109,47° und für W2 und W3 exakt 125,26° betragen. Doch auch davon abweichende Innenwinkel führen zu einem stabilen Trikristallwafer. Dieser kann durch Sägen aus entsprechenden Trikristallstäben erhalten werden, wobei bis hinab zu Waferdicken von 30 µm eine sichere Handhabung des entsprechenden Wafers ohne erhöhte Bruchgefahr gewährleistet ist. Für eine Solarzelle bevorzugte Waferdicken liegen beispielsweise im Bereich von 60 bis 150 µm.

Figur 11 zeigt ein Ausführungsbeispiel für die Anordnung von erstem und zweiten Kontaktmuster auf der Rückseite eines Trikristallwafers. Entsprechend der in Figur 9 dargestellten Orientierung bilden die beiden unteren Schenkel des durch die Korngrenzen gebildeten „Sterns“ Zwillingskorngrenzen erster Ordnung. Vorzugsweise werden die Schlitze im Trikristallwafer so angeordnet, daß deren Länge l parallel zu einer der Zwillingskorngrenzen erster Ordnung ausgerichtet ist. Vorzugsweise sind die Schlitze parallel zu der Zwillingskorngrenze erster Ordnung ausgerichtet, die dem Schlitz am nächsten liegt. Entsprechend der in Figur 9 dargestellten Anordnung des Trikristallwafers wird das Schlitzmuster in einer ersten Waferhälfte links der gedachten Achse A parallel zur Korngrenze KG13 ausgerichtet, in der rechts von der Achse A gelegenen Waferhälfte dagegen parallel zur Korngrenze KG12. Die Schlitze sind vorzugsweise versetzt gegeneinander angeordnet, so daß in einer Reihe nebeneinander angeordnete Schlitze nicht in ein und derselben (111)-Ebene zu liegen kommen. Vorzugs-

weise sind sie um mehr als eine ganze Schlitzbreite gegeneinander versetzt.

Ein dazu passendes zweites Kontaktmuster 8, das sämtliche
5 Schlitzze überlappt ist beispielsweise in Figur 12 dargestellt. Das erste Kontaktmuster 7 weist eine Busstruktur auf, die umlaufend in der Nähe des Substratrandes angeordnet ist. Davon ausgehende Kontaktfinger weisen schräg zur zentralen Achse des Substrats. Das zweite Kontaktmuster 8 dagegen weist
10 eine zentrale Busstruktur auf, die beispielsweise parallel zur in Figur 9 dargestellten Achse A angeordnet ist. Die davon ausgehenden fingerförmigen Kontakte sind interdigital zur ersten Kontaktstruktur 7 angeordnet, ohne diese zu berühren. Die geometrische Ausrichtung des ersten Kontaktmusters 8 ist
15 im Ausführungsbeispiel so gewählt, daß die Kontaktfinger parallel zur Länge l der Schlitzze ausgerichtet sind und diese daher in der Länge überlappen. Das erste Kontaktmuster 7 überlappt keinen der Schlitzze. Möglich ist es jedoch auch, die Zuordnung der Kontaktmuster zu den p- bzw. n-dotierten
20 Gebieten der Solarzelle zu vertauschen, so daß beispielsweise das Kontaktmuster mit der umlaufenden Busstruktur die Schlitzze überlappt und daher die n-dotierten Gebiete kontaktiert, während das Kontaktmuster mit der zentralen Busstruktur zur Kontaktierung des p-dotierten Bulk-Materials dient.

25

Die Breite der fingerförmigen Kontakte für erstes und zweites Kontaktmuster wird beispielsweise auf ca. 300 µm eingestellt. Ein solches Kontaktmuster läßt sich mit herkömmlichen Siebdrucktechniken sicher und reproduzierbar herstellen. Es sind
30 jedoch auch deutlich breitere oder schmalere fingerförmige Kontakte möglich. Entsprechend dem Abstand der Schlitzze sind die fingerförmigen Kontakte einer Kontaktstruktur ca. 3 mm voneinander entfernt.

35 Anschließend können noch eine oder mehrere Antireflexschichten geeigneter Dicke auf der Passivierungsschicht 6 aufge-

bracht werden, beispielsweise weitere Oxid-, Nitrid- oder Titanoxidschichten.

Eine so hergestellte erfindungsgemäße Solarzelle weist alle
5 Voraussetzungen auf, die zum Erreichen eines Sammelwirkungs-
grads von über 20 Prozent erforderlich sind. Die Forderung,
daß die Diffusionslänge für die Minoritätsladungsträger grö-
ßer als die dreifache Dicke des Siliziumsubstrats ist, wird
mit der erfindungsgemäßen Solarzelle bereits mit preiswertem
10 CZ-Silizium erfüllt, bei der die Diffusionslänge L die
Substratdicke d um das 1,5-fache übertrifft (bei $d = 60\mu\text{m}$,
 $L \geq 120\mu\text{m}$). Eine hohe Oberflächengüte, die sich durch eine
niedrige Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit S aus-
drückt, läßt sich sowohl auf Vorder- als auch auf Rückseite
15 mit Passivierungsschichten in einfacher Weise sicher errei-
chen. Über dem Emitter läßt sich eine hohe Oberflächengüte
von $S < 1000$ cm/s mit einer Oxidpassivierung einstellen. Für
die Güte der Rückseite wird eine Oberflächenrekombinationsge-
schwindigkeit $S < 100$ cm/s gefordert, die sich bei der erfin-
20 dungsgemäßen Solarzelle auch ohne weitere Maßnahmen erreichen
läßt. Geforderte Abschattungsverluste unter 4 Prozent werden
mit der erfindungsgemäßen Solarzelle ebenfalls übererfüllt,
da sie praktisch keine Abschattung aufweist. Niedrige gefor-
derte Reflexionswerte < 4 Prozent werden mit Standard-
25 Antireflexschichten erhalten. Auch ein hoher Füllfaktor von
zumindest 80 Prozent wird mit der Erfindung erreicht.

Ein weiterer Vorteil von Solarzellen mit ausschließlich auf
der Rückseite aufgebrachten Kontakten besteht darin, daß eine
30 maschinelle Verschaltung verschiedener Solarzellen zu einem
Modul erleichtert ist, da zum Anlöten entsprechender Verbin-
dungen keine Durchführungen auf die Vorderseite mehr erfor-
derlich sind. Dies vereinfacht das Verschaltungsverfahren und
erhöht die Verfahrenssicherheit. Die erfindungsgemäßen Solar-
35 zellen sind daher vollautomatisiert und großtechnisch her-
stellbar.

Patentansprüche

1. Solarzelle

- 5 - mit einem kristallinen Siliziumsubstrat (1), das auf Vorderseite (VS) und Rückseite (RS) kristallographische (110) Ebenen aufweist
- mit einer flachen dotierten Emitterschicht (5) auf zumindest der Vorderseite (VS)
- 10 - mit einer Vielzahl von parallel zu kristallographischen (111) Ebenen ausgerichteten, länglichen Schlitzen (4), die durch das gesamte Dicke des Siliziumsubstrats reichen
- mit einer dem Leitfähigkeitstyp der Emitterschicht entsprechenden hohen Dotierung in den Schlitzen
- 15 - mit einem ersten gridförmigen Kontaktmuster (7) auf der Rückseite zum elektrischen Anschluss des Bulkmaterials
- mit einem zweiten gridförmigen Kontaktmuster (8) auf der Rückseite zum elektrischen Anschluss der Emitterschicht, wobei das zweite Kontaktmuster (8) die Schlitze (4) zumindest teilweise überlappt.

20

2. Solarzelle nach Anspruch 1,

- bei dem das Siliziumsubstrat (1) einen Trikristallwafer umfasst, der drei gegeneinander verkippte, monokristalline, jeweils (110) orientierte Bereiche aufweist, deren gegenseitige
- 25 Grenzflächen (KG_{n,n+1}) radial verlaufen und Kreissektoren des Trikristallwafers bilden, und bei dem zwei der Grenzflächen Zwillingskorngrenzen erster Ordnung an (111) Ebenen bilden.

3. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 oder 2,

- 30 bei der erstes und zweites Kontaktmuster (7,8) aufgedruckte Dickfilmkontakte umfassen.

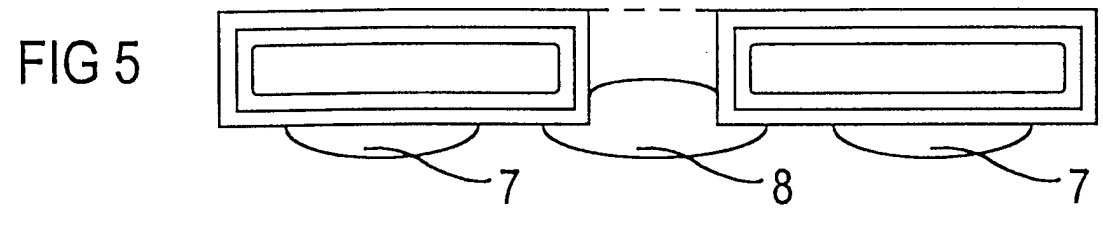
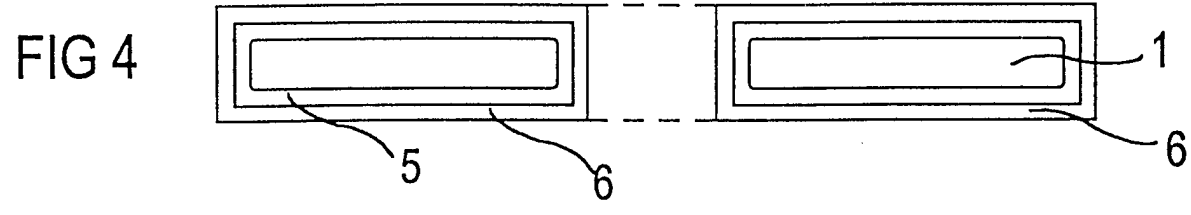
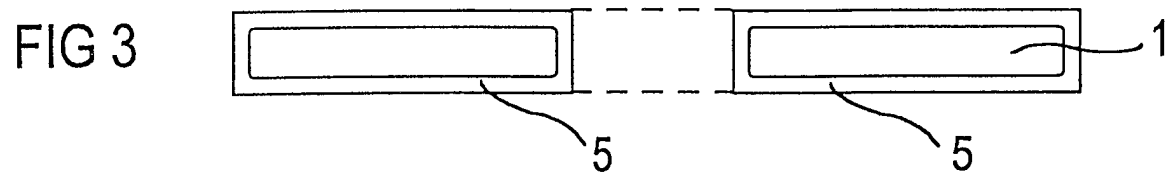
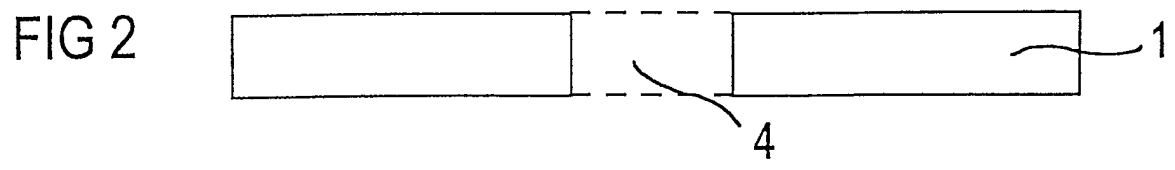
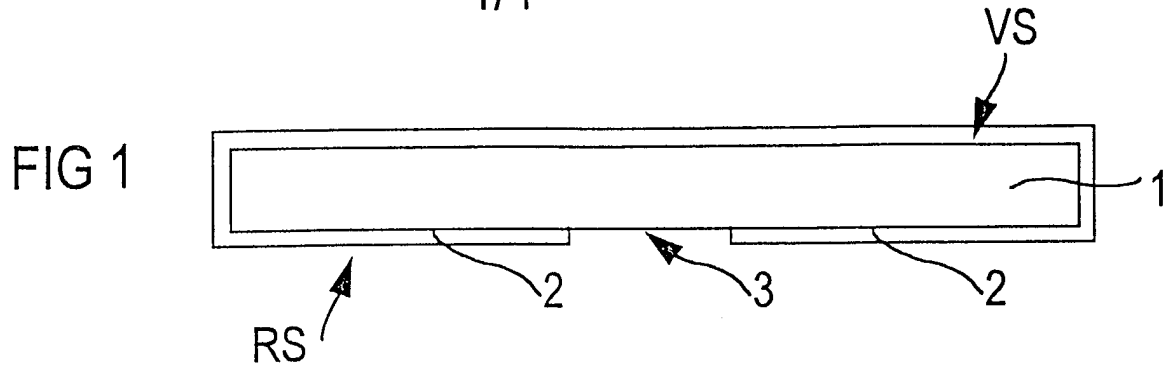
4. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

- 35 bei der die Schlitze (4) regelmäßig über die Oberfläche der Solarzelle verteilt sind und eine Breite von 5 bis 50 µm aufweisen.

5. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem die Schlitze (4) von der Rückseite (RS) her kristallographisch anisotrop geätzt sind, so dass in den Schlitzen (111) Ebenen (11,12) als begrenzende Oberflächen freigelegt sind, wobei sich die Schlitze durch zwei schräg zur Oberfläche der Solarzelle verlaufende Wände (12) zur Vorderseite (VS) der Solarzelle hin verzüngen.
6. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
bei der die Schlitze (4) parallel zu (111) Ebenen verlaufen, aber gegeneinander versetzt sind.
7. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
bei dem erstes und zweites Kontaktmuster (7,8) fingerförmige, interdigital ineinander greifende Kontakte und jeweils zumindest eine Busstruktur umfassen, die jeweils sämtliche fingerförmigen Kontakte miteinander verbindet, wobei eine der Busstrukturen (7) auf der Rückseite (RS) außen in der Nähe des Solarzellenrands umlaufend angeordnet ist.
8. Verfahren zum Herstellen einer Solarzelle mit auf die Rückseite (RS) verlegten Vorderseitenkontakten,
- bei dem ein (110) orientiertes kristallines Siliziumsubstrat (1) verwendet wird,
- bei dem von der Rückseite her alkalisch, kristallorientiert und maskiert eine Vielzahl von durch die gesamte Dicke des Siliziumsubstrats reichenden Schlitzen (4) parallel zu (111) Ebenen in das Siliziumsubstrat geätzt wird
- bei dem eine flache Emitterschicht (5) durch Diffusion eines Dotierstoffs erzeugt wird
- bei dem auf der Rückseite (RS) ein erstes und zweites Kontaktmuster (7,8) durch Aufdrucken und Einbrennen einer leitfähigen Paste erzeugt werden, wobei das zweite Kontaktmuster (8) die Schlitze (4) überlappend angeordnet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8,

- bei dem die Diffusion des Dotierstoffs rundum erfolgt,
 - bei dem die Dotierung der Emitterschicht (5) im Bereich des ersten Kontaktmusters (7) durch entsprechende Dotierung der Paste beim Einbrennen überkompensiert werden
- 5 - bei dem die Emitterschicht (5) auf der Rückseite zwischen erstem und zweitem Kontaktmuster aufgetrennt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9,
bei dem das Ätzen der Schlitze (4) mit Hilfe einer photolithographisch strukturierten Ätzmaske (2) aus Nitrid oder Oxid erfolgt.
- 10
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10,
bei dem das Ätzen der Schlitze (4) zeitlich kontrolliert durchgeführt und beendet wird, wenn gerade eben eine durch das Siliziumsubstrat (1) reichende Öffnung entstanden ist.
- 15
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11,
bei dem die Länge der Schlitze (4) in Abhängigkeit von der Dicke des Siliziumsubstrats (1) so gewählt wird, dass der virtuelle Schnittpunkt der beiden schräg zur Oberfläche des Siliziumsubstrats verlaufenden und einen Schlitz begrenzenden (111) Ebenen (12) gerade eben außerhalb des Siliziumsubstrats über der Vorderseite (VS) angeordnet ist.
- 20
- 25
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12,
bei dem die Emitterschicht (5) auf der Rückseite (RS) zwischen erstem und zweitem Kontaktmuster durch maskiertes Ätzen aufgetrennt wird, wobei die Kontaktmuster (7,8) als Maske verwendet werden.
- 30

1/4



2/4

FIG 6

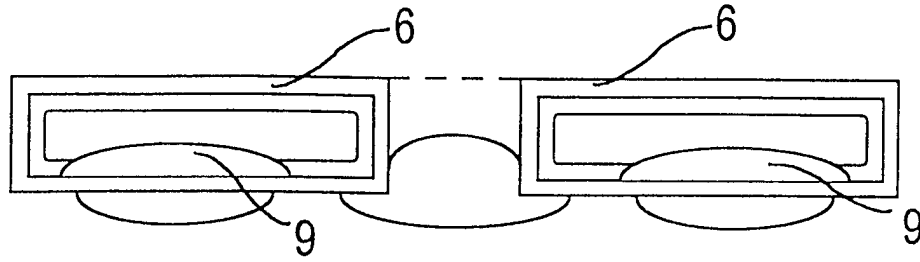


FIG 7

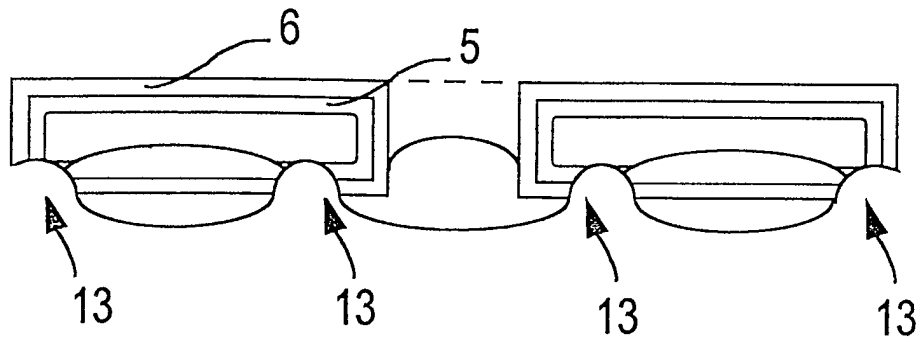


FIG 8

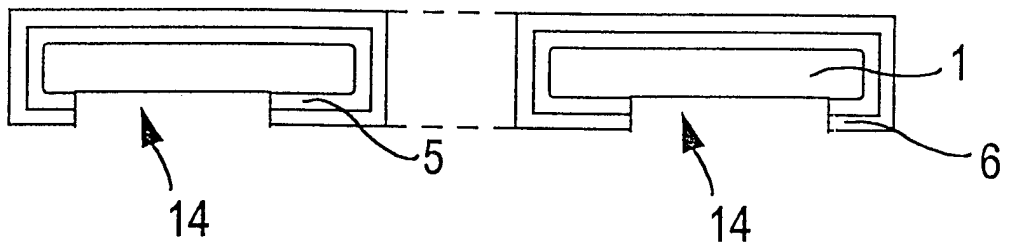


FIG 9

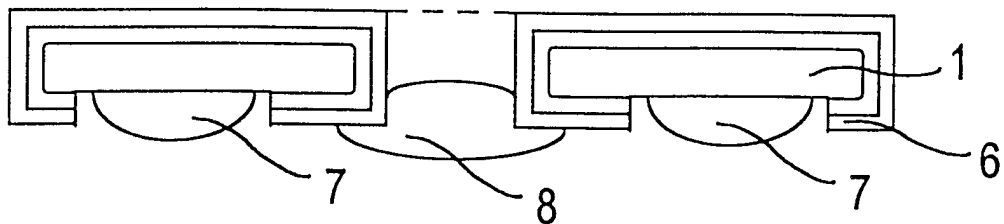


FIG 10

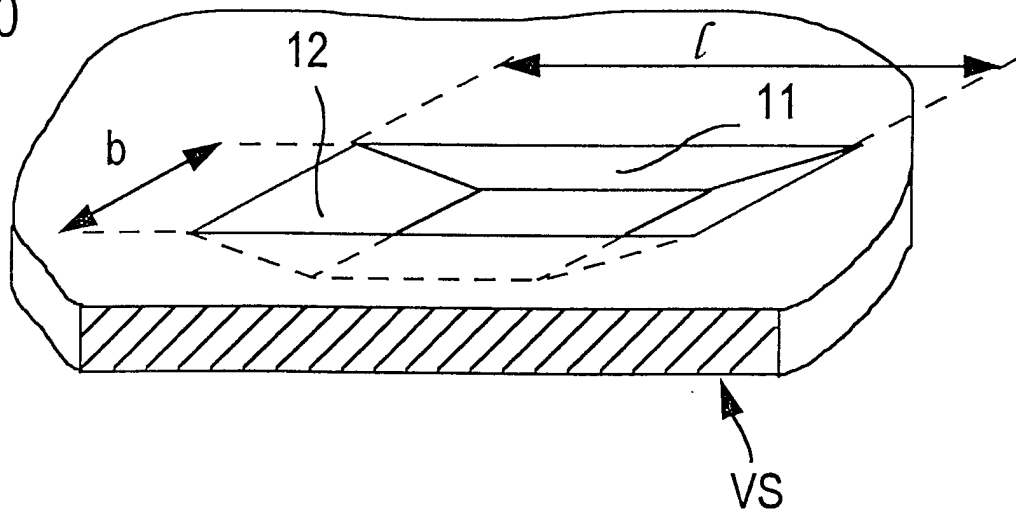


FIG 11

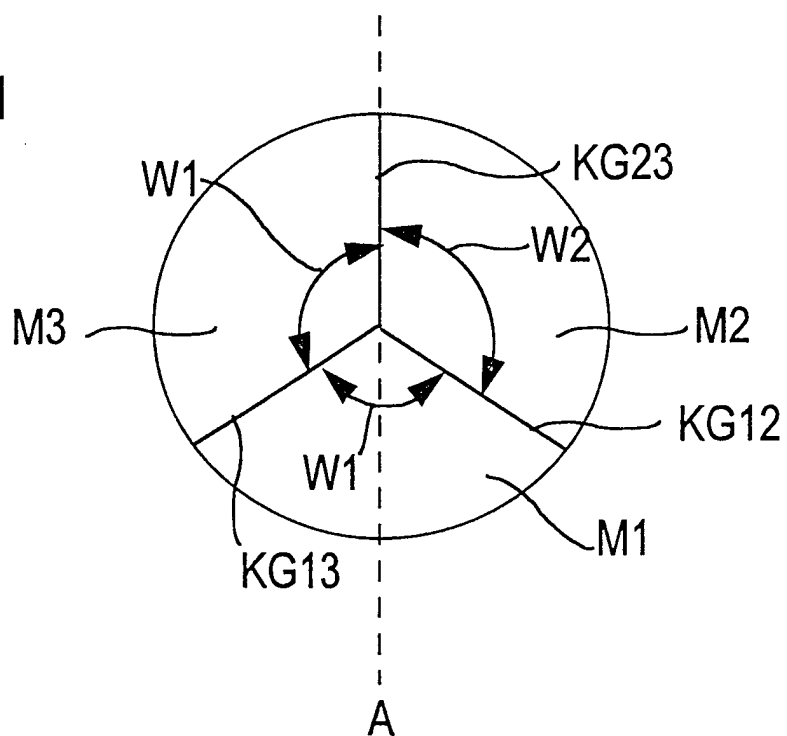
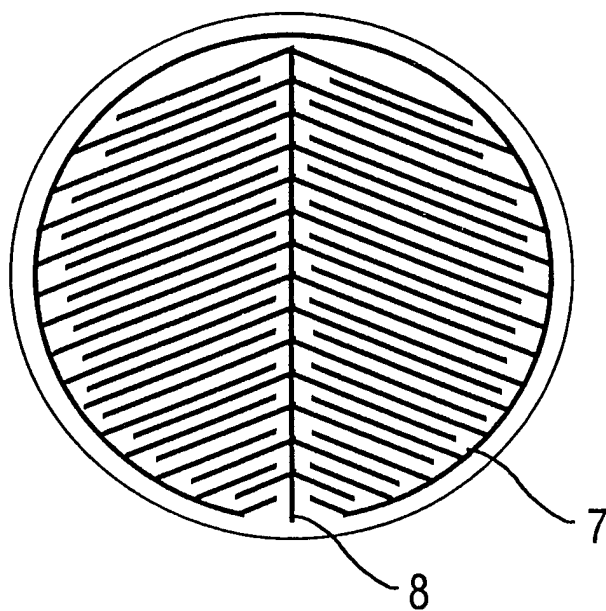


FIG 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 97/06465

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 6 H01L31/0236 H01L31/0224

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 067 985 A (CARVER MICHAEL W ET AL) 26 November 1991 figures 1,5 and corresponding text	1,3-13
Y	---	2
Y	MARTINELLI G ET AL: "GROWTH OF STABLE DISLOCATION-FREE 3-GRAIN SILICON INGOTS FOR THINNER SLICING" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 62, no. 25, 21 June 1993, pages 3262-3263, XP000380976 see the whole document ---	2
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 April 1998

Date of mailing of the international search report

30.04.98

Name and mailing address of the ISA
 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Machek, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal Application No
PCT/EP 97/06465

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>GEE J M ET AL: "EMITTER WRAP-THROUGH SOLAR CELL" PROCEEDINGS OF THE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, LOUISVILLE, MAY 10 - 14, 1993, no. CONF. 23, 10 May 1993, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, pages 265-270, XP000437966 see the whole document -----</p>	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 97/06465

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5067985 A	26-11-91	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/06465

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 H01L31/0236 H01L31/0224

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 067 985 A (CARVER MICHAEL W ET AL) 26. November 1991 figures 1,5 and corresponding text	1,3-13
Y	---	2
Y	MARTINELLI G ET AL: "GROWTH OF STABLE DISLOCATION-FREE 3-GRAIN SILICON INGOTS FOR THINNER SLICING" APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 62, Nr. 25, 21. Juni 1993, Seiten 3262-3263, XP000380976 siehe das ganze Dokument ---	2
	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

^o Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. April 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30. 04. 98

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Machek, J

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>GEE J M ET AL: "EMITTER WRAP-THROUGH SOLAR CELL" PROCEEDINGS OF THE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, LOUISVILLE, MAY 10 - 14, 1993, Nr. CONF. 23, 10.Mai 1993, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, Seiten 265-270, XP000437966 siehe das ganze Dokument -----</p>	1-13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/06465

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5067985 A	26-11-91	KEINE	