



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung zeigt ein Solarzellenelement umfassend eine Halbleiter-Substratschicht (2) mit genau einer ersten Dotierung, eine auf der Frontseite der Substratschicht (2) angrenzend an die Substratschicht angeordnete Schichtstruktur (1), welche mindestens eine zu der ersten Dotierung komplementäre Dotierung aufweist, eine auf der der Schichtstruktur (1) gegenüberliegenden Rückseite der Substratschicht (2) angrenzend an die Substrat Schicht angeordnete Rückseitenmetallisierung (3), und eine erste (4) und eine zweite (6) Frontseitenmetallisierung, wobei die erste Frontseitenmetallisierung (4) die Schichtstruktur (1) elektrisch kontaktiert und die zweite Frontseitenmetallisierung (6) elektrisch isoliert von der ersten Frontseitenmetallisierung und der Schichtstruktur (1) auf der Frontseite der Substratschicht angrenzend an die Substratschicht angeordnet ist.

Frontseitig serienverschaltetes Solarmodul

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Solarz
zellenelement, welches zur frontseitigen Serienver
5 schaltung in einem Solarzellenmodul geeignet ist so
wie auf entsprechende Solarzellenmodule. Die Erfin
dung bezieht sich darüberhinaus auf Herstellungsver
fahren für entsprechende Solarzellenelemente und So
larzellenmodule sowie auf Verwendungen entsprechender
10 Solarzellenelemente und -module in Konzentratorein
richtungen.

Die vorliegende Erfindung findet Anwendung vor allem
im Bereich der hochkonzentrierenden Photovoltaiksys
15 teme (Konzentratoranordnung). Hierbei konzentriert
ein Hohlspiegel Sonnenlicht mit hoher Intensität auf
eine relativ kleine Modulfläche. Bei einer gegenüber
dem normalen Sonnenlicht hundertfach angehobenen
Lichtintensität spricht man hier von einem Lichtkon
20 zentrationsverhältnis von 100 Sonnen. Auf diese Weise

lässt sich teure Solarzellenfläche durch verhältnismäßig günstige Spiegelfläche ersetzen. Bei einem Konzentrationsverhältnis von mehreren 100 Sonnen wird auch die Verwendung von Solarzellen aus III-V Halbleitern und Germanium attraktiv, wie sie sonst typischerweise bei Raumfahrtanwendungen Verwendung finden. Derart hohe Konzentrationsverhältnisse bedingen jedoch sehr hohe elektrische Stromdichten. Ein Quadratcentimeter einer hocheffizienten III-V Solarzelle mit drei pn-Übergängen (Tripelzelle) liefert bei 1000 Sonnen typischerweise einen Strom von 14 A. Um die Verluste im Serienwiderstand der Zelle gering zu halten, müssen Zellen von sehr geringer Breite im Bereich von wenigen Millimetern verwendet werden.

Serienverschaltungen von Solarzellen (die einzelnen Solarzellen werden nachfolgend auch als Solarzellenelemente bezeichnet, mehrere Solarzellenelemente, die zusammenschaltet sind, ergeben dann ggf. samt ihrer zugehörigen Trägerstruktur ein Solarzellenmodul) sind bereits aus dem Stand der Technik bekannt: Typischerweise wird eine bekannte Serienverschaltung von Solarzellen durch gewinkelte Zellverbinder 5 realisiert, die von der Vorderseite einer Solarzelle auf die Rückseite der jeweils nächsten Zelle in der Reihe führen (Fig. 1a). Diese Verbinder 5 verbinden die Frontseitenmetallisierung 4 der einen Zelle mit der Rückseitenmetallisierung 3 der nächsten Zelle. Auf diese Weise wird die Serienverschaltung einer beliebig langen Reihe von Solarzellen hergestellt. Ein Nachteil dieser Verschaltung ist es, dass die gewinkelten Zellverbinder 5 verhältnismäßig viel Raum einnehmen. Ein Chipabstand bzw. Solarzellenelementabstand von deutlich weniger als 1 mm, wie er für dicht gepackte Konzentratormodule notwendig ist, ist so nicht realisierbar: Dicht gepackte Konzentratormodule

sind bzw. eine Schaltung der Zellen zu einem möglichst dicht gepackten Modul ist notwendig, da sonst Licht, das in die Zwischenräume zwischen die Solarzellenchips bzw. Solarzellenelemente fällt, ungenutzt verloren geht.

Die Ausführung nach dem Stand der Technik in Fig. 1 erschwert zudem durch die Zellverbinder 5 auf den Zellrückseiten eine thermische Ankopplung der Solarzellen an eine Kühlfläche 9, wie z.B. ein keramisches Substrat oder einen Kühlkörper. Fig. 1b zeigt eine weitere Möglichkeit zur Kontaktierung nach dem Stand der Technik. Dabei wird ein nicht leitendes Substrat 9 (z.B. Keramik) mit metallisierten Flächen 10 verwendet. Auf diesen Flächen werden die Solarzellen montiert. Die Kontaktierung erfolgt nun von jeder Zelle auf die jeweils nächste Metallfläche durch die Zellverbinder 5. Da hierbei keine rückseitigen Strukturen auf der Zelle notwendig sind, ist eine sehr gute thermische Ankopplung, etwa durch eine dünne Lot- oder Leitkleberschicht möglich. Dabei ist jedoch neben jeder Zelle zur Kontaktierung ein zusätzlicher, verhältnismäßig breiter Streifen notwendig. Hocheffiziente Module sind auf diese Weise aufgrund des relativ hohen Flächenverlusts ebenfalls nicht realisierbar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, Solarzellenelemente und Solarzellemodule zur Verfügung zu stellen, welche so aufgebaut oder ausgebildet sind, dass mit ihnen die Lichtverluste in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Solarzellenelementen minimiert werden können, so dass mit ihnen hocheffiziente, hochkonzentrierende Photovoltaiksysteme bzw. Konzentratoranordnungen ermöglicht werden können.

Diese Aufgabe wird durch ein Solarzellenelement gemäß Patentanspruch 1, ein Solarzellenmodul gemäß Patentanspruch 17 sowie ein Herstellungsverfahren gemäß Patentanspruch 32 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Solarzellenelemente und Solarzellenmodule sowie des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens finden sich in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand einzelner Ausführungsbeispiele beschrieben. Einzelne erfindungsgemäße Merkmale, wie sie in den beispielhaften Ausführungsbeispielen in einer bestimmten Kombination gezeigt sind, können jedoch nicht nur in den gezeigten Kombinationen auftreten, sondern im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch in beliebigen anderen Kombinationen ausgebildet sein bzw. miteinander verknüpft und verwendet werden.

Die vorliegende Erfindung basiert darauf, die Serienschaltung der einzelnen Solarzellenelemente ausschließlich vorderseitig bzw. auf der Frontseite der einzelnen Solarzellenelemente vorzunehmen. Eine Parallelerschaltung mehrerer serienverschalteter Solarzellenstränge kann vorderseitig oder rückseitig erfolgen. Hierzu werden die einzelnen Solarzellenelemente wie nachfolgend noch ausführlich beschrieben, geeignet ausgebildet bzw. aufgebaut. Die einzelnen Solarzellenelemente können aufgrund dieses Aufbaus ausschließlich vorderseitig mit geeignet ausgeführten Zellverbindern zu einer Serien- bzw. Parallelerschaltung zusammengeschaltet werden.

Gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Solarzellenelementen bzw. Solarzellenmodulen vereinen erfindungsgemäßen Solarzellenelemente bzw. -module

die Vorteile einer flachen, metallischen Rückseite (welche die Montage vereinfacht) mit der Möglichkeit, die Solarzellen dicht gepackt zu einem Solarzellenmodul zusammenzuschalten. Wie nachfolgend noch näher
5 gezeigt, lassen sich erfindungsgemäß einzelne Solarzellenelemente mit extrem geringem Abstand im Solarzellenmodul realisieren.

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand einer Reihe von Ausführungsbeispielen beschrieben. In den einzelnen Ausführungsbeispielen weisen identische bzw. sich
10 entsprechende Bauelemente bzw. Bestandteile der Solarzellenelemente bzw. Solarzellenmodule identische Bezugszeichen auf. Ihre jeweilige Beschreibung wird daher nur anhand eines einzelnen Ausführungsbeispiels
15 (bei ihrem ersten Auftreten) vorgenommen und nicht wiederholt.

In den Figuren zu den Ausführungsbeispielen werden
20 die folgenden Bezugszeichen verwendet:

- 1, 1a, 1c: Elektrisch aktive Halbleiterschichten veränderlicher Dotierung
- 2: Tragende Halbleiterschicht (auch Halbleitersubstratschicht oder Substratschicht genannt) mit genau einem Dotierungstyp (n- oder p-Typ) bzw. Wafer
- 3: Rückseitenmetallisierung der Solarzelle bzw. Bypassdiode
- 4: Frontseitenmetallisierung der Solarzelle
- 4a: Frontseitenmetallisierung von 13
- 4b: Frontseitenmetallisierung von 14
- 4c: Frontseitenmetallisierung von 15
- 5: Gewinkelter Zellverbinder zur Kontaktierung von Zellvorder- und Rückseiten nach dem Stand der Technik.

- 6, 6a, 6b, Frontseitige Metallisierung auf dem Substrat 2 eines Solarzellenelements in einer Lücke der elektrisch aktiven Schicht 1 bzw. 1a, 1c.
- S6:
- B6: wie 6, nur bei Bypassdiode
- 7, 7a, 7b: Frontseitiger Zellverbinder zwischen zwei Solarzellenelementen
- B7: Frontseitige Zellverbinder zwischen zwei Bypassdioden
- SB7: Frontseitige Zellverbinder zwischen einem Solarzellenelement und einer Bypassdiode
- 8, 8a, 8b: Solarzelle bestehend aus den Kennziffern 1,2,3,4 und 6 und ggf. weiteren Elementen wie Isolations- oder Antireflexschichten nach dem Stand der Technik.
- 9: Kühlfläche, z.B. ein keramisches Substrat oder eine Kühlplatte oder ein Kühlkörper
- 10: Metallische Leiterbahnstruktur auf der Kühlfläche 9
- 11: Lotschicht oder thermisch leitfähige Klebstoffschicht
- 12: Metallische Busse, die auf das keramische Substrat 9 aufgebracht sind
- 13: Einzelne Bypassdiode, 13a: Einzelne Bypassdiode mit gegenüber 13 umgekehrter Polung
- 14: Bypassdiode, die auf einer gemeinsamen tragenden Halbleiterschicht 2 mit einer Solarzelle 8 platziert ist
- 15: Bypassdiode zur frontseitigen Kontaktierung
- 16: p-dotiertes Germanium Substrat, Basis der Germaniumzelle
- 17: Durch Diffusion n-dotiertes Germanium, Emitter der Germaniumzelle
- 18: Tunnelodiode zwischen der Germanium und GaAs Zelle

- 19: MOVPE abgeschiedenes p-dotiertes Galliumarsenid (p-Typ GaAs), Basis der GaAs Zelle und Bypassdiode
- 20: MOVPE n-Typ GaAs, Emitter der GaAs Zelle und der Bypassdiode
- 21: Tunnelodiode zwischen der GaAs und GaInP Zelle
- 22: MOVPE abgeschiedenes p-dotiertes Gallium-Indium-Phosphid (n-Typ GaInP), Basis der GaInP Zelle
- 23: MOVPE n-Typ GaInP, Emitter der GaInP Zelle
- 24: MOVPE abgeschiedenes GaAs, Deckschicht für niederohmige Metall-Halbleiterkontakte
- 25: Palladium (Pd) Schicht der Metallisierung
- 26: Germanium (Ge) Schicht der Metallisierung
- 27: Hochleitfähige Metallisierungsschicht, z.B. galvanisches Gold oder vakuum-aufgedampftes Silber
- 28: Transparente Frontscheibe
- 29: Transparente Vergussmasse
- 30: Spalte zur Vereinzelung der Solarzellenelemente

Es zeigt:

- 5 Figur 1 eine Serienschaltung von zwei Solarzellenelementen nach dem Stand der Technik.
- 10 Figur 2 eine Serienschaltung von Solarzellenelementen nach der vorliegenden Erfindung.
- Figur 3 die Realisierung der Serienschaltung nach Figur 2 auf einer Trägerstruktur.

- Figur 4 eine weitere Realisierungsmöglichkeit der in Figur 2 gezeigten Anordnung auf einer Trägerstruktur.
- 5
- Figur 5 die Kombination einer erfindungsgemäßen Anordnung nach Figur 2 mit einer Trägerstruktur und mit Bypassdioden.
- 10
- Figur 6 eine weitere Möglichkeit zur Realisierung einer Kombination aus erfindungsgemäßer Anordnung nach Figur 2, aus Bypassdioden und aus einer Trägerstruktur.
- 15
- Figur 7 eine weitere solche Kombinationsmöglichkeit, wie sie in ähnlicher Form in Figuren 5 und 6 gezeigt ist.
- Figur 8 eine bevorzugte Realisierung eines erfindungsgemäßen Solarzellenelements auf Basis einer Dreifachsolarzelle und eine entsprechende Realisierung einer Bypassdiode.
- 20
- Figur 9 eine bevorzugte Montagevariante eines erfindungsgemäßen Solarzellenmoduls.
- Figur 10 eine erreichte Effizienz bei einem nach Figur 2b ausgebildeten Ausführungsbeispiel mit einer ausschließlich vorderseitig kontaktierten Solarzelle.
- 30
- Figur 2 zeigt zwei erfindungsgemäße Solarzellenelemente 8a, 8b sowie eine erfindungsgemäße elektrische Serienverschaltung dieser beiden Solarzellenelemente zu einem erfindungsgemäßen Solarzellenmodul. Figur 2a
- 35

zeigt dies in einer dreidimensionalen Übersichtsskizze, Figur 2b zeigt eines der erfindungsgemäßen Solarzellenelemente (Element 8a) in einer Schnittansicht in der Ebene A-A senkrecht zur Halbleiterschichtebene der Anordnung und senkrecht zu einer Achse, auf der die einzelnen Solarzellenelemente beabstandet voneinander und nebeneinander angeordnet sind (Richtung der elektrischen Hintereinanderschaltung). Figur 2c zeigt eine Aufsicht auf die erfindungsgemäße Anordnung senkrecht zur Halbleiterschichtebene.

Jedes der erfindungsgemäßen Solarzellenelemente 8a, 8b besteht aus den folgenden Bauteilen: einer tragenden Halbleiterschicht 2 (nachfolgend alternativ auch Wafer, Halbleitersubstratschicht oder einfach Substratschicht genannt, obwohl es sich hierbei nicht zwangsläufig um eine elektrisch inaktive Schicht handelt), einer auf einer Seite der Halbleitersubstratschicht 2 und angrenzend an diese angeordneten Rückseitenmetallisierung 3 (im Bild die Unterseite der Schicht 2), und einer auf der Oberseite (der rückseitenmetallisierungsabgewandten Seite) angeordneten ersten Frontseitenmetallisierung 4, zweiten Frontseitenmetallisierung 6 sowie Schichtstruktur 1. Bei der tragenden Halbleiterschicht R handelt es sich um den Wafer. Bei Stapelung kann die Schicht 2 die Basis der untersten Solarzelle bilden. Die Metallisierung 3 kann eine flächige, insbesondere eine ganzflächige, nicht strukturierte Metallisierung sein (in den nachfolgenden Beispielen meist der Fall), es kann sich aber auch um eine nicht die ganze Oberfläche abdeckende (nicht zusammenhängende), strukturierte Metallisierung handeln. Die Schichtstruktur 1 ist auf der Oberseite der Substratschicht 2 angrenzend an diese so angeordnet, dass nicht die gesamte Oberfläche der Substratschicht 2 von der Schichtstruktur 1 bedeckt

wird. Die Oberseite (Frontseite) der Substratschicht 2 weist somit eine Aussparung A auf, die nicht mit der Schichtstruktur 1 bedeckt ist. Innerhalb dieser Aussparung A ist die zweite Frontseitenmetallisierung 6 des Solarzellenelements unmittelbar angrenzend an die Substratschicht 2 und auf dieser seitlich beabstandet von der Schichtstruktur 1 angeordnet. Aufgrund des seitlichen Abstands zwischen der Schichtstruktur 1 und der zweiten Frontseitenmetallisierung 6 sind diese beiden Elemente 1, 6 somit elektrisch voneinander isoliert. Auf der Schichtstruktur 1 und angrenzend an diese ist die erste Frontseitenmetallisierung 4 des Solarzellenelements angeordnet. Diese Struktur 4 ist hier so angeordnet, dass die Schichtstruktur 1 teilweise bedeckt wird, jedoch keine seitlichen Überstände der ersten Frontseitenmetallisierung 4 über die Schichtstruktur 1 realisiert sind.

Wie insbesondere die Aufsicht in Figur 2c zeigt, ist die zweite Frontseitenmetallisierung 6 hier mittels zweier getrennter, beabstandet voneinander auf der Substratschicht bzw. dem Wafer 2 angeordneter Einzellemente 6a und 6b ausgebildet. Diese sind stirnseitig angrenzend an eine Seitenfläche der Solarzellenelemente 8a, 8b so angeordnet, dass sie in Bezug auf die frontseitige Oberfläche der Elemente 8a, 8b gesehen von der Schichtstruktur 1 vollständig umgeben werden (es entsteht somit eine E-förmige Ausbildung der Schichtstruktur 1, welche die gesamte Oberfläche der Substratschicht 2 bis auf die von der zweiten Frontseitenmetallisierung 6a, 6b bedeckten Oberflächenabschnitte sowie zwei schmale Gräben zwischen den Elementen 1 und 6a, 6b vollständig bedeckt). Auf der Schichtstruktur 1 und in Schichtebene gesehen seitlich nicht überstehend über diese, somit ebenfalls

beabstandet und elektrisch isoliert von der zweiten Frontseitenmetallisierung 6 ist hier die erste Frontseitenmetallisierung 4 des Elements 8 kammförmig aufgebracht.

5

Die erste Frontseitenmetallisierung 4 und die zweite Frontseitenmetallisierung 6 sind diejenigen elektrischen Kontakte des Solarzellenelements, welche im Normalbetrieb in einem Solarzellenmodul den Hauptteil des elektrischen Stroms transportieren.

10

Die erste Frontseitenmetallisierung 4 ist hier in Form eines zusammenhängenden Gebiets (Kammform) aufgebracht, die zweite Frontseitenmetallisierung 6 in Form mehrerer, hier zwei, voneinander getrennter, in sich dann wieder jeweils zusammenhängender (hier quadrförmiger) Inseln. Es ist jedoch ebenso gut möglich, die erste Frontseitenmetallisierung in Form mehrerer solcher getrennter Inseln auszugestalten und die zweite Frontseitenmetallisierung 6 in Form eines zusammenhängenden Schichtgebildes. Ebenso ist es natürlich möglich, sowohl die erste, als auch die zweite Frontseitenmetallisierung jeweils in Form mehrerer nicht-zusammenhängender Inseln auszugestalten oder beide Frontseitenmetallisierungen in Form von jeweils einzelnen, zusammenhängenden Schichtgebilden auszugestalten.

15

20

25

Durch die gezeigte Anordnung der Schichtstruktur 1 und der zweiten Frontseitenmetallisierung 6 (in Form der beiden Elemente 6a und 6b) auf der Oberfläche der Substratschicht 2 eines Solarzellenelements wird somit der Vorteil realisiert, dass der Verlust an aktiver Solarzellenfläche minimiert werden kann.

30

35

Wie die Figuren 2a, 2b und 2c zeigen, ist die erste

Frontseitenmetallisierung 4a des linkseitig gezeigten Solarzellenelements 8a über zwei elektrisch leitfähige Zellverbinder 7a und 7b mit der zweiten Frontseitenmetallisierung 6 des rechts gezeigten Solarzellenelements 8b verbunden. Der Zellverbinder 7a verbindet hierbei die erste Frontseitenmetallisierung 4a der linken Solarzelle mit dem Element 6a der zweiten Frontseitenmetallisierung der rechten Solarzelle, der zweite Zellverbinder 7b verbindet das Element 4a entsprechend mit dem Frontseitenelement 6b. Die beiden Zellverbinder 7a, 7b sind hierbei als ultraschallgeschweißte Golddrähte ausgestaltet.

Auf der den Elementen 1, 4 und 6 gegenüberliegenden Rückseite erstreckt sich jeweils die Rückseitenmetallisierung 3 der Solarzellenelemente 8a, 8b vom Bereich der zweiten Frontseitenmetallisierung 6 des Elements 8a, 8b bis in den Bereich der ersten Frontseitenmetallisierung 4 des Elements. Projizierte man die Elemente 1, 4 und 6 daher senkrecht zur Schichtebene auf die Rückseitenmetallisierung 3, so würde diese Rückseitenmetallisierung die projizierten Elemente 1, 4 und 6 vollständig umfassen.

Gezeigt ist somit eine niederohmige, ausschließlich vorderseitige Serienverschaltung der Solarzellen 8a, 8b. Die Solarzellen bestehen aus der tragenden Halbleiterschicht 2 mit einem ersten Dotierungstyp (p- oder n-Typ) und der Schicht oder Schichtstruktur 1 mit veränderlicher Dotierung, die mindestens eine zu 2 abweichende Dotierung hat. Im Allgemeinen ist die Schicht 2 jener Teil der Halbleiterscheibe, der als Basis der (untersten) Solarzelle dient. Die Schicht 1 wird durch den Emitter der (untersten) Solarzelle und ggf. weitere Solarzellenübergänge und Schichten gebildet. Die Schicht 1 ist mit der Frontseitenmetalli-

sierung 4 versehen, die zur Halbleiterschicht einen niedrigen ohmschen Kontaktwiderstand hat. Ebenso ist die Schicht 2 mit der Rückseitenmetallisierung 3 mit niedrigem Kontaktwiderstand versehen. Darüber hinaus ist die Halbleiterschicht 1 auf der Zellvorderseite im Bereich A stellenweise entfernt. An diesen Stellen sind die Metallisierungen 6 mit niedrigem Kontaktwiderstand frontseitig auf die Halbleiterschicht 2 aufgebracht. Die Metallisierungen 6 und 4 können in einem gemeinsamen oder auch in getrennten Metallisierungsschritten aufgebracht werden. Die Serienverschaltung in einer Reihe von Solarzellen erfolgt nun jeweils von der Frontseitenmetallisierung 4 einer Zelle zu den Metallisierungen 6 der nächsten Zelle. Abbildung 2b zeigt einen Querschnitt durch die Zelle samt Zellverbinder. Der Stromweg ist hier durch Pfeile symbolisiert (ohne Beschränkung auf eine Polarität). Der Strom tritt aus dem Zellverbinder 7 durch die Metallisierung 6 in die unmittelbar an diese Metallisierung angrenzende, tragende Halbleiterschicht 2 ein. Er durchströmt die tragende Halbleiterschicht 2 (Wafer) mit hoher Stromdichte und gelangt in die unmittelbar an den Wafer 2 angrenzende, gut elektrisch leitfähige Rückseitenmetallisierung. Dort wird der Strom über die Zellrückseite verteilt. Wesentlich ist, dass sich zwischen der Metallisierung 6 und der Rückseitenmetallisierung 3 ausschließlich die Wafer-schicht 2 befindet. Die eigentliche Generation elektrischer Leistung erfolgt in der Halbleiterschicht (-struktur) 1, wobei die tragende Halbleiterschicht 2 als „Basis“ der (untersten) Solarzelle wirken kann. Der Strom durchfließt dabei über die aktive Solarzellenfläche 1 verteilt einen oder mehrere pn-Übergänge, bis er schließlich in die Frontseitenmetallisierung 4 gelangt. Von dort fließt er durch einen weiteren Zellverbinder 7 zur nächsten Zelle. Zur leichteren

Bezugnahme wird die Solarzelle bestehend aus den Kennziffern 1, 2, 3, 4 und 6 sowie weiteren Elementen wie beispielsweise einer Isolations- und/oder Antireflexschicht mit der Kennziffer 8 bezeichnet. In den
5 folgenden Figuren werden jeweils nur zwei Solarzellen gezeigt. Es versteht sich aber, dass sich größere Solarmodule auf gleiche Weise durch eine entsprechende Serienverschaltung beliebig vieler Solarzellen erreichen lassen. Ebenso kann eine Parallelschaltung beliebig vieler Solarzellen oder serienverschalteter
10 Solarzellenstränge erfolgen.

Figur 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei dem die erfindungsgemäße Solarzellenanordnung (Solarzellenelemente 8a und 8b) der Figur 2 auf einer Trägerstruktur 9, 10, 11 angeordnet ist. Das Element 9 ist eine Kühlplatte mit elektrisch nicht leitender Frontseite (z.B. ein aktiver Wasserkühlkörper mit keramischer Front oder eine keramische Platte, die im
15 Allgemeinen ihrerseits auf einem aktiven Kühlkörper montiert ist). Die Kühlplatte oder der Verbund aus Platte und aktivem Kühlkörper wird nachfolgend alternativ vereinfachend auch als „Kühlkörper“ bezeichnet. Diese Trägerstruktur weist desweiteren auf zwei
20 elektrisch voneinander isolierte, auf der Oberseite der Kühlplatte bzw. des Kühlkörpers 9 angeordnete elektrische Leiterbahnstrukturen 10a und 10b sowie auf der Oberseite (kühlkörperabgewandten Seite) der Leiterbahnstrukturen 10a und 10b jeweils angeordnete
25 Lotschichten 11a und 11b (alternativ kann es sich auch um eine Schicht aus elektrisch und thermisch leitfähigem Klebstoff handeln). Auf der Lotschicht 11a ist das Solarzellenelement 8a angeordnet, auf der Lotschicht 11b das Solarzellenelement 8b. Die in Fig.
30 3 gezeigte Serienverschaltung ist (Positionierung der Solarzellen auf gemeinsamen Leiterbahnen) zur paar-
35

weisen Parallelverschaltung von mehreren serienverschalteten Solarzellensträngen geeignet. Diese Verschaltung erlaubt einen Ausgleich der Stromgeneration bei den parallel verschalteten Solarzellen und damit geringere Verluste bei inhomogener Beleuchtung.

Die gezeigte erfindungsgemäße Anordnung vereint die Vorteile einer flachen, metallischen Solarzellenrückseite, welche die Montage vereinfacht, mit der Möglichkeit, die Solarzellen 8 dicht gepackt zu einem Modul zu verschalten. Hierbei sind die Solarzellen mit Leitklebstoff oder Lotschichten 11 auf einer Leiterbahnstruktur 10 montiert, die sich wiederum auf der Kühlfläche 9 befindet. Die Verschaltung der Zellen untereinander erfolgt vorderseitig durch Zellverbinder 7a. Die Rückseite der ersten Zelle links im Bild wird direkt über eine Leiterbahn der Leiterbahnstruktur 10 kontaktiert und bildet einen Pol der Serienverschaltung. Hingegen verbinden Zellverbinder 7b die Frontmetallisierung der letzten Zelle, rechts im Bild mit einer separaten, seitlich beabstandet von dem Block 10b, 11b, 8b auf dem Kühler 9 angeordneten Leiterbahn 10c der Leiterbahnstruktur 10, welche den anderen Pol der Serienverschaltung bildet. Die auf diese Weise realisierte Serienverschaltung kann auf beliebig viele in Reihe verschaltete Zellen ausgedehnt werden. Ebenso ist es möglich, mehrere dieser serienverschalteten Reihen parallel anzuordnen.

Figur 4 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Anordnung eines erfindungsgemäßen Solarzellenmoduls nach Figur 2 auf einer eine Kühlstruktur 9 aufweisenden Trägerstruktur 9, 11. Der Kühlkörper 9 ist hier ebenfalls als nicht-leitender Kühlkörper mit keramischer Front ausgebildet (z.B. als Keramikfrontplatte, welche ein strukturtragender Teil eines Wasserkühlkörpers z.B.

der Firma Curamik ist), kann aber auch alternativ als metallischer Kühlkörper realisiert sein. Auf der Oberfläche des Kühlkörpers mit keramischer Front ist unterhalb der beiden Solarzellenelemente 8a, 8b jeweils eine elektrisch nicht-leitfähige Schicht 11 aus Kleber bzw. aus einem Isolator (z.B. Keramik) angeordnet. Zusätzlich kann die Schicht 11 ein Dielektrikum wie Polyimid oder SiO_x umfassen. Auf den hier separat und beabstandet voneinander ausgebildeten Schichtabschnitten 11a und 11b ist dann jeweils die Rückseitenmetallisierung 3 der beiden Elemente 8a, 8b angeordnet. Bei der Realisierung in Fig. 4 entfällt die Leiterbahnstruktur 10, diese ist somit zur Serienschaltung der Solarzellen nicht unbedingt erforderlich. Stattdessen werden lediglich seitliche stromzuführende Busse 12 benötigt. Die Funktion der Serienschaltung bleibt davon unbeeinträchtigt. In Verbindung mit einer elektrisch nicht leitfähigen Klebstoffschicht 11 oder einer zusätzlichen Isolatorschicht kann als Kühlfläche 8 sogar ein metallischer Kühlkörper verwendet werden, ohne dass dies den Kurzschluss der Serienschaltung zur Folge hätte. Selbstverständlich dürfen dazu die Busse 12 nicht im elektrischen Kontakt mit dem Kühlkörper stehen. Wird wie hier eine keramische Frontplatte 9 ohne Leiterbahnstruktur 10 verwendet, so kann zur Montage ein nur thermisch leitfähiger Klebstoff verwendet werden, um Kurzschlüsse durch überquellenden Klebstoff zu vermeiden.

In einer Serienschaltung von Solarzellen unterscheiden sich die Kurzschlussströme der Einzelzellen. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Modul inhomogen beleuchtet wird. Die Verteilung des Lichts im Brennfleck eines Konzentratorsystems wird nie ganz homogen sein. Wird nun ein solches Solarmodul im Kurzschluss

betrieben, wird es in der Regel eine Solarzelle geben, die den Strom des Gesamtmoduls begrenzt. An dieser Solarzelle fällt eine hohe Spannung in Sperrrichtung ab, die von den anderen Solarzellen im Modul generiert wird. Bei einer ausreichend hohen Sperrspannung wird diese Zelle zerstört und eine andere Zelle wird strombegrenzend. Deshalb ist es notwendig die Solarzellen durch Bypassdioden zu schützen, die parallel jedoch mit umgekehrter Polarität zu den Zellen verschaltet werden. Im Folgenden wird erläutert, wie erfindungsgemäß ein Schutz der Solarzellen durch Bypassdioden realisierbar ist.

Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der zwei seriell verschaltete Solarzellenelemente 8a, 8b jeweils eine Bypassdiode (z.B. Schottky Diode), welche parallel zum jeweiligen Solarzellenelement, jedoch mit umgekehrter Polarität geschaltet ist, aufweisen. Die Trägerstruktur 9, 10, 11 ist hier wie bei dem in Figur 3 gezeigten Beispiel ausgebildet. Die Leiterbahnstruktur 10 weist hier jedoch eine größere Grundfläche auf, so dass seitlich neben jedem Solarzellenelement jeweils die zugehörige separate Bypassdiode 13 auf der Leiterbahnstruktur platziert werden kann. In der Figur 5a ist gezeigt, wie die Bypassdioden 13 gemeinsam mit den Solarzellenelementen 8 auf Leiterbahnen der Leiterstruktur 10 platziert sind. Durch die elektrische Verbindung der Rückseitenmetallisierung 3 eines Solarzellenelements mit einer entsprechend ausgeführten Rückseitenmetallisierung der zugehörigen Bypassdiode 13 mit Hilfe der Leiterstruktur 10, durch eine Inreihenschaltung der Solarzellenelemente mit Hilfe der Zellverbinder 7 sowie durch eine entsprechende Inreihenschaltung der separaten Bypassdioden 13a, b mit Hilfe analog ausgeführter Zellverbinder B7 wird er-

reicht, dass die Solarzellen in Reihe verschaltet sind und zu jeder Solarzelle eine Bypassdiode mit umgekehrter Polarität parallel geschaltet ist (siehe Schaltbild in Figur 5b).

5

Figur 6 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Aufbaus unter der Verwendung von Bypassdioden 13a, 14, wobei hier die Trägerstruktur 9, 10, 11 wieder wie bei dem in Figur 4 gezeigten Beispiel ausgebildet ist. Die Bypassdioden 14 werden hierbei so realisiert, dass die Substratschicht 2 der Solarzellenelemente mit einer vergrößerten Grundfläche zur Verfügung gestellt wird und dass auf der Frontseite ein Teil 1a der elektrisch aktiven Schichtstruktur 1 der Solarzellenelemente abgetrennt wird (Graben G, in dem die Schichtstruktur 1 auf der Frontseite der Substratschicht 2 fehlt; hierdurch Ausbildung zweier separater Bereiche, des Bypassdiodenbereichs 14 und des Solarzellenelementbereichs 8). Auf der Rückseite der Substratschicht 2 ist dann eine gemeinsame Rückseitenmetallisierung 3 für die beiden Bereiche 8 und 14 ausgebildet. Die elektrische Verschaltung der Bypassdiodelemente 14 und der Solarzellenelemente 8 erfolgt im Prinzip wie in Figur 5 gezeigt (siehe Fig. 6b).

10

15

20

25

Im Bypassdiodenbereich 14 ist auf der Frontseite der Substratschicht 2 auf dem auf der Substratschicht 2 angeordneten abgetrennten Bereich 1a der elektrisch aktiven Schicht eine erste Frontseitenmetallisierung B4 der Bypassdiode angeordnet. Elektrisch separiert von den Elementen 1a und B4 ist seitlich davon ebenfalls im Bypassdiodenbereich 14 eine zweite Frontseitenmetallisierung B6 der Bypassdiode angeordnet. Die Verschaltung benachbarter Bypassdioden geschieht ganz analog wie bei der Verschaltung benachbarter Solar-

30

35

zellenelemente dadurch, dass die zweite Frontseitenmetallisierung B6 einer Bypassdiode 14 mit der ersten Frontseitenmetallisierung B4 einer benachbarten Bypassdiode mittels Zellverbinder B7 verbunden wird.

5

Figur 6a baut somit auf der Realisierung in Fig. 4 auf, bei der unter den Solarzellen keine Leiterstruktur 10 vorgesehen ist. Hier werden die Bypassdiode 14 und die Solarzelle 8 auf einem gemeinsamen Chip vereint. Dazu wird ein Teil der elektrisch aktiven Schicht 1 abgetrennt und nun als 1a bezeichnet. Wenn 1 aus mehreren Diodenübergängen besteht, so ist es möglich eine oder mehrere Diodenübergänge von 1a zu entfernen, ohne die Wirkung als Bypassdiode einzuschränken. Zur Kontaktierung werden auf der Bypassdiode 14 Metallisierungen B4 und B6 aufgebracht. Die Kontaktierung erfolgt nun bei den Solarzellen analog zu Fig. 3. Auf ähnliche Weise, jedoch mit umgekehrter Polarität, werden die Bypassdioden 14 verschaltet. Betrachtet man das Ersatzschaltbild Fig. 6b, so fällt auf, dass die Bypassdiode 14 links im Bild ungenutzt bleibt, wohingegen die Solarzelle 8 rechts im Bild nicht durch eine Bypassdiode 14 geschützt ist. Deshalb ist eine weitere einzelne Bypassdiode 13a notwendig, die parallel zur rechten Zelle geschaltet wird.

10

15

20

25

30

35

Figur 7 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform der Verschaltung von Solarzellenelementen 8 mit Bypassdioden 15. Die Bypassdioden 15 sind hier als separate Bypassdioden ausgebildet, d.h. die Solarzellenelemente 8 und die Bypassdioden 15 weisen keine gemeinsamen Strukturen (wie beispielsweise Substratschichten 2 oder Rückseitenmetallisierungen 3) auf.

Die Trägerstruktur 9, 11 ist hier analog wie in Figur 4 ausgebildet, jedoch ist hier entsprechend zwischen den Rückseitenmetallisierungen 3 der beiden Bypassdioden und den Rückseitenmetallisierungen 3 der beiden separat davon angeordneten Solarzellenelemente jeweils eine elektrisch nicht-leitfähige Kleber- bzw. Isolatorschicht 11 angeordnet.

Eine elektrische Verschaltung der Solarzellenelemente und Bypassdioden analog der vorher beschriebenen lässt sich nun wie folgt realisieren (Figur 7a zeigt hierbei, dass auch ohne eine Leiterstruktur 10 unter den Solarzellenelementen 8 eine solche Verschaltung mit externen Bypassdioden 15 möglich ist): Hierzu müssen die separaten Bypassdioden 15 ähnlich den Solarzellen 8 zur Vorderseitenverschaltung geeignet sein. Sie bestehen daher hier aus einer dotierten, tragenden Halbleiterschicht B2, einer auf deren Frontseite angeordneten Schicht entgegengesetzter Dotierung B1, die nur einen Teil des Halbleitersubstrats B2 bedeckt. Auf der unbedeckten Fläche ist elektrisch isoliert von der Schicht B1 eine Metallisierung B6 als Kontakt auf der tragenden Halbleiterschicht B2 aufgebracht. Auch auf der dotierten Schicht B1 ist ein metallischer Kontakt B4 aufgebracht. Die Rückseitenmetallisierung B3 der separaten Bypassdioden 15 ist wie bei den Solarzellenelementen 8 ausgestaltet. Um die vorbeschriebene elektrische Verschaltung zu realisieren, haben die Solarzellenelemente 8 eine zusätzliche seitliche Fläche, auf denen das Halbleitersubstrat 2 nicht mit der Schichtstruktur 1 versehen ist. Auf dieser Fläche ist dann auf der Frontseite auf der Substratschicht 2 elektrisch isoliert von der Schichtstruktur 1 und seitlich beabstandet von dieser ein zusätzlicher metallischer Kontakt S6 aufgebracht. Dieser elektrische Kontakt S6

jedes Solarzellenelements 8 ist über einen analog den Zellverbindern 7, B7 ausgebildeten Zellverbinder SB7 frontseitig mit dem metallischen Kontakt B4 der zugehörigen Bypassdiode verbunden. Wie in Figur 6 gezeigt, wird dann der metallische Kontakt B4 einer Bypassdiode wieder mit dem metallischen Kontakt B6 der benachbarten Bypassdiode mittels Zellverbinder B7 frontseitig verbunden. Die Bypassdioden und die Solarzellen werden somit, wie in Figur 7 zu sehen, jeweils in Serie verschaltet. Zusätzlich wird durch Zellverbinder SB7 ein Parallelkontakt zwischen den Flächen S6 auf den Solarzellen und B4 auf den Bypassdioden hergestellt. Wie aus dem Ersatzschaltbild in Figur 7b ersichtlich ist, ist auf diese Weise jede Solarzelle durch eine parallel geschaltete Bypassdiode mit umgekehrter Polarität geschützt.

Figur 8 zeigt eine bevorzugte erfindungsgemäße Realisierung eines Solarzellenelements auf Basis einer Dreifachsolarzelle. Figur 8a zeigt hierbei eine dreidimensionale Übersicht, Figur 8b zeigt einen Schnitt durch das Solarzellenelement mit integrierter Bypassdiode auf Höhe des Solarzellenbereichs 8, Figur 8c zeigt entsprechend einen Schnitt auf Höhe des Bypassdiodenbereichs 14 (Schnitte senkrecht zur Schnittebene).

Als tragende Halbleiterschicht 16 (entspricht 2) dient typischerweise eine p-dotierte Germanium Halbleiterscheibe 16 (Germanium Wafer) mit einer Dicke von 150 μm . Um die Durchkontaktierungen zwischen den Metallisierungsschichten 6 bzw. B6 und der Rückseitenmetallisierung 3 möglichst niederohmig zu realisieren, sollte eine möglichst hohe Dotierung $> 10^{17}/\text{cm}^3$ und eine möglichst geringe Germaniumdicke gewählt werden. Durch metallorganische Gasphasenepi-

taxie MOVPE oder Molekularstrahlepitaxie MBE wird nun eine Schichtstruktur abgeschieden. Die unterste abgeschiedene Schicht enthält Dotierstoffe, die durch Diffusion eine n-dotierte Germaniumschicht 17 erzeugen, so dass der pn-Übergang der Germanium-Solarzelle entsteht. Anschließend wird eine Tunneldiodenstruktur 18 abgeschieden, gefolgt von p-dotierten GaAs Schicht 19 und einer und einer n-dotierten GaAs-Schicht 20, die eine GaAs Solarzelle bilden. Nach einer weiteren Tunneldiode 21 wird eine GaInP Solarzelle bestehend aus einer p-dotierten Basis 22 und einem n-dotierten Emitter 23 abgeschieden. Eine GaAs Deckschicht 24 erlaubt die spätere Ausbildung eines niederohmigen Metall-Halbleiterkontakts zwischen der Deckschicht 24 und der Metallisierung 4. Die tatsächliche MOVPE gewachsene Schichtstruktur enthält noch weitere funktionelle Schichten zur Verbesserung des Wirkungsgrads der Solarzellen (z.B. Passivierungsschichten), die zum Verständnis hier jedoch unerheblich sind.

Es folgt die Prozessierung des Wafers 16-24 zu einer Solarzelle. Dazu werden durch Photolithographie und Ätzen die Schichten 17-24 bzw. 21-24 stellenweise entfernt. In einem weiteren Photolithographieschritt wird die Metallisierungsstruktur abgeschieden, die mindestens aus einer Palladiumschicht 25, einer darüberliegenden Germaniumschicht 26 und einer leitfähigen Schicht 27 (in der Regel Silber oder galvanisches Gold) besteht. Die Palladium-Germanium Schichtfolge hat die besondere Eigenschaft, sowohl auf den n-dotierten GaAs Schichten 20 und 24 als auch auf dem p-dotierten Germanium Substrat 16 ohmsche Kontakte mit sehr niedrigen Kontaktwiderständen auszubilden. Dies geschieht durch kontrollierte chemische Reaktionen in fester Phase beim Aufheizen der Halbleiterscheiben unter Schutzgas (Einlegieren der Kontakte).

Auf diese Weise entsteht der Frontkontakt 4 der Solarzelle, der Frontkontakt B4 der Bypassdiode sowie die Kontakte 6 und B6 auf dem p-Germaniumsubstrat.

5 Zur niederohmigen Kontaktierung durch das Germanium Substrat 16 hindurch wird noch ein niederohmiger Kontakt auf der Rückseite 3 benötigt. Dieser kann zum Beispiel aus einlegiertem Aluminium bestehen. Die weiteren Prozessschritte bei der Solarzellenherstellen wie das Mesa- Ätzen oder das Entfernen der Deckschicht 24 mit anschließendem aufdampfen einer Antireflexschicht sind dem Fachmann bekannt und sollen hier nicht eingehender erläutert werden.

15 Typischerweise erfolgt die Herstellung eines Konzentrator-Solarzellenmoduls in der folgenden Reihenfolge:

- Prozessierung von Halbleiterscheiben zu Solarzellen, wobei sich schließlich auf jeder Scheibe eine Vielzahl kleinerer Zellen befinden
- 20 - Zerteilung der Halbleiterscheiben in einzelne Zellen bzw. Solarzellenelemente
- Montage der Zellen auf einer Kühlfläche 9
- Serienverschaltung der Solarzellen

25 Bei Verwendung der erfindungsgemäßen Verschaltungsmethode kann jedoch eine Veränderung dieser Prozessreihenfolge vorteilhaft sein.

- Prozessierung der Halbleiterscheiben zu Solarzellen (mehrfaches Ausbilden der Elemente 1, 3, 4, 6 auf den Substraten 2, so dass nach späterer Auseinzelnung mehrere Solarzellenelemente 8 entstehen).
- 30 - Optional: Zerteilung der Halbleiterscheiben in Stücke, wobei sich auf jedem Stück noch eine
- 35 Vielzahl von Zellen befindet.

- Montage der ganzen Halbleiterscheiben oder der Halbleiterstücke auf einer Kühlfläche 9 durch einen Löt- oder Klebeprozess
- Zertrennen der Halbleiterscheiben oder Halbleiterstücke in einzelne Solarzellen.
- Serienverschaltung der Solarzellen

Zum Zertrennen des Halbleiters auf der Kühlfläche kann beispielsweise eine Chipsäge zum Einsatz kommen. Ihr sehr feines, diamantbesetztes Sägeblatt erlaubt Schnitte von 50 µm Breite und weniger. Damit sind Anordnungen gemäß den Zeichnungen 3 und 4 mit extrem geringem Abstand der Solarzellenchips 8 realisierbar. Alternativ kann beispielsweise Laserschneiden zum Einsatz kommen.

Für den Außeneinsatz insbesondere in Hohlspiegeln muss das Modul verkapselt werden. Dazu bietet sich eine mit Silikon montierte Frontglasplatte an. Dabei ist vor allem die sehr geringe Wärmeleitfähigkeit von Silikon limitierend und erfordert eine extrem dünne Silikonschicht. Bei 1000 Sonnen darf die Schichtdicke z.B. maximal 0,3 mm betragen um eine Überhitzung des Silikons zu vermeiden.

Dabei ist zu beachten, dass die Höhe der Zellverbinder 7 typischerweise mindestens 0,25 mm beträgt. Es ist somit eine Herausforderung die Schichtdicke des Silikons sehr genau zu kontrollieren. Wasserkühler weisen selten die dazu notwendigen geringen Toleranzen auf. Deshalb bietet sich die folgende Montagereihenfolge an.

Gemäß Figur 9a) wird zunächst eine größere Halbleiterfläche, die mehrere Solarzellen umfasst, oder auch ein ganzer Solarzellenwafer mit mehreren Solarzellen zunächst mit Zellverbindern 7 versehen. Anschließend

wird eine Frontscheibe 28 mit einer transparenten Vergussmasse 29 aufgebracht. Hier kann ein Vakuumverfahren verwendet werden um Luftblasen zu vermeiden. Die Einhaltung einer genau bestimmten Dicke der Silikonschicht 28 ist unproblematisch, da die Dicke des Solarzellenwafers und der Frontglasscheibe sehr wenig variiert. Nach Aushärten der Vergussmasse 29 werden Spalte 30 durch die Rückseitenmetallisierung 3 und das Halbleitermaterial 2 angebracht (Fig. 9b). Hiermit ist ein serienverschaltetes, frontseitig verkapseltes Modul hergestellt. Die Ankopplung der Rückseitenmetallisierung 3 an eine Kühlplatte muss so erfolgen, dass ein Kurzschluss der serienverschalteten Solarzellen ausgeschlossen ist.

Eine sehr präzise Methode zur Anfertigung der Spalte ist die Verwendung einer Chipsäge, womit eine Spaltbreite von bis hinunter zu 30 µm realisierbar ist. Weitere Möglichkeiten wären nass oder trockenchemisches Ätzen oder eine Kombination dieser Methoden.

Die vorliegende Erfindung beschreibt somit Solarzellenelemente bzw. Solarzellenmodule mit vorderseitig angebrachten Rückkontakten. Die Kontaktierung zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass mindestens eine vorderseitige metallische Kontaktfläche 6 ausschließlich durch die tragende Halbleiterschicht 2 bevorzugt genau eines Dotierungstyps von einer flächigen rückseitigen Kontaktfläche 3 getrennt ist. Entscheidend für hohe Stromdichten ist die gute Querleitfähigkeit der Rückseitenmetallisierung 3 und der geringe Widerstand beim Durchgang des Stroms durch die Halbleiterschicht 2. Eine solche gute Querleitfähigkeit kann durch eine hochleitfähige Metallschicht, typischerweise aus Al oder Ag, erreicht werden (typische Dicke dieser Schicht etwa 2 bis 3 µm).

Insbesondere sind bei der vorliegenden Erfindung die folgenden Merkmale (welche einzeln oder auch in beliebiger Kombination in vorteilhaften Varianten realisiert werden können) von technischer Bedeutung:

- Die Palladium-Germanium Kontaktstruktur auf der Vorderseite (der tatsächliche Kontakt hat noch deutlich mehr Schichten) und der Aluminiumkontakt auf der Rückseite.
- Die Verwendung von mehreren oder genau einer Metallisierungsflächen 6 pro Solarzelle.
- Das Vereinzeln der Solarzellenchips nach der Montage durch Sägen oder Laserschneiden. Es lässt sich so eine fantastisch hohe Packungsdichte erzielen. Insbesondere auch die Montage eines (nahezu) vollständigen Solarzellenwafers mit anschließender Zerteilung und Serienverschaltung.
- Die Kühlplatte 9 kann ein strukturtragender Teil eines aktiven Wasserkühlkörpers sein. Beispielsweise stellt die Firma Electrovac (Curamik) Wasserkühlkörper her, die aus einer Mikrokanalstruktur zwischen zwei Keramikplatten bestehen. Die vordere Keramikplatte dient dabei gleichzeitig der Festigkeit des Kühlkörpers und als Grundplatte für eine Leiterstruktur.
- Eine Kontaktierung von der Metallschicht 6 zur Metallschicht 3 durch die Halbleiterschicht 2 mit einem flächenspezifischen Widerstand von weniger als $5 \cdot 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$. Experimentell erreicht wurden ca. $1 \cdot 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$. Der flächenspezifische Widerstand bestimmt sich hierbei aus:
 - a) Dem Metall-Halbleiterkontaktwiderstand auf der Vorderseite und Rückseite der Halbleiter-Substratschicht 2.

b) Der spezifischen Leitfähigkeit des Halbleitermaterials 2, welche wiederum proportional zur Dotierung und der Mobilität der Ladungsträger ist. Die Dotierung lässt sich hierbei in gewissen Grenzen wählen, bis bei sehr hoher Dotierung die Leistung der Germaniumzelle leidet. Die Mobilität bestimmt sich aus der Dotierung und der Materialqualität.

c) Und der Dicke der Schicht 2 zwischen den Kontakten 3 und 6.

Variabel sind hier die Dicke und Dotierung der Schicht 2. Es ist auch denkbar, jedoch technisch aufwändig, bis tief in die Halbleiterschicht 2 hineinzuzätzen, um lokal den Abstand zwischen den Metallisierungen 3 und 6 zu verringern, um einen solchen flächenspezifischen Widerstand zu erreichen.

- Ein alternativer Frontseitenkontakt (4,6), der zumindest Gold und Germanium enthält. (Eutektisches Gold-Germanium ist der bekannteste Kontakt auf n-Typ GaAs).
- Solarzellen nach den obigen Ansprüchen, die für eine Lichtintensität von mindestens 100 kW/m^2 ausgelegt sind.
- Die Zellfläche (Zellbreite) werde innerhalb des Moduls variiert, um eine inhomogene Beleuchtung des Solarmoduls auszugleichen.
- Das Anbringen der Zellverbinder erfolgt durch Ultraschallschweißen (thermosonic bonding) von Gold, Aluminium oder Silberdraht im Ball-Wedge oder Wedge-Wedge Verfahren, alternativ durch Elektroschweißen oder Löten.

Die vorliegende Erfindung eignet sich auch für Solarzellen, die unter nicht konzentriertem Sonnenlicht betrieben werden sollen. Insbesondere ist die Reali-

sierung gemäß der Figuren 6 und 8 für Solarzellenmodule im Weltraumeinsatz interessant. Hier sind die Flächenanteile, die für die Kontakte 6 und B6 auszubilden sind, dann im Promillebereich. Wie auch beim Einsatz als Konzentratormodul erfolgt die Verschaltung der Solarzellen und Bypassdioden ausschließlich vorderseitig, was auch die Modulproduktion deutlich vereinfachen kann.

Figur 10 zeigt die Effizienz, welche mit einer Variante gemäß Figur 2b in einer nicht kalibrierten Messung erreicht wurde. Es konnte eine Effizienz von 31,3 % bei 585 Sonnen bei einer Zellfläche von etwa 20x6 mm² erreicht werden. Die Kontaktierung des Rückkontakts erfolgte hierbei über 32 Vorderseitenmetallflächen 6 und 32 Dünndrahtbonds. Es wurden Dreifachepitaxiestrukturen für den Weltraumeinsatz verwendet. Die Prozessierung entspricht weitestgehend der Prozessierung von III-V Weltraumsolarzellen.

20

Patentansprüche

5 1. Solarzellenelement umfassend

eine tragende Halbleiterschicht (2) mit genau einem ersten Dotierungstyp (erste Dotierung),

10 eine auf der Frontseite der tragenden Halbleiterschicht (2) angrenzend an die tragende Halbleiterschicht angeordnete Schichtstruktur (1), welche mindestens eine zu der ersten Dotierung komplementäre Dotierung aufweist,

15 eine auf der der Schichtstruktur (1) gegenüberliegenden Rückseite der tragenden Halbleiterschicht (2) angrenzend an die tragende Halbleiterschicht angeordnete Rückseitenmetallisierung (3), und

20 eine erste (4) und eine zweite (6) Frontseitenmetallisierung, wobei die erste Frontseitenmetallisierung (4) die Schichtstruktur (1) elektrisch kontaktiert und die zweite Frontseitenmetallisierung (6) räumlich beabstandet von der ersten Frontseitenmetallisierung und der Schichtstruktur (1) auf der Frontseite der tra-

25 genden Halbleiterschicht angrenzend an die tragende Halbleiterschicht angeordnet ist.

2. Solarzellenelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

30 sich die Rückseitenmetallisierung (3) in Schichtebene gesehen von der zweiten Frontsei-

tenmetallisierung (6) bis zur ersten Frontseitenmetallisierung (4) erstreckt und/oder dass die Rückseitenmetallisierung eine flächige, unstrukturierte oder eine strukturierte Metallisierung ist.

5

3. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die tragende Halbleiterschicht (2), die Rückseitenmetallisierung (3) und/oder die zweite Frontseitenmetallisierung (6) so angeordnet und/oder ausgebildet sind, dass die elektrische Kontaktierung von der Rückseitenmetallisierung (3) zur zweiten Frontseitenmetallisierung (6) durch die tragende Halbleiterschicht (2) einen flächenspezifischen Widerstand von kleiner $10^{-2} \Omega\text{cm}^2$, insbesondere von kleiner $10^{-3} \Omega\text{cm}^2$, insbesondere von kleiner $5 \cdot 10^{-4} \Omega\text{cm}^2$ aufweist.

10

15

4. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20

dadurch gekennzeichnet, dass

die tragende Halbleiterschicht (2) eine Dotierung von mehr als 10^{16} Atome/ cm^3 , insbesondere von mehr als 10^{17} Atome/ cm^3 , insbesondere von mehr als $5 \cdot 10^{17}$ Atome/ cm^3 , aufweist

25

und/oder

dass die tragende Halbleiterschicht (2) eine Dicke von weniger als 1000 μm , insbesondere von weniger als 500 μm , insbesondere von weniger als 200 μm , aufweist.

30

5. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet durch

5 eine Germaniumschicht, insbesondere eine p-dotierte Germaniumschicht, eine Galliumarsenid-Schicht oder eine Siliziumschicht als tragende Halbleiterschicht (2).

6. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10 *dadurch gekennzeichnet, dass*

die Halbleiterstruktur aufweisend die tragende Halbleiterschicht (2) und die Schichtstruktur (1) monokristallin ist und mindestens zwei, bevorzugt mindestens drei, photoelektrisch aktive pn-Übergänge verschiedener Bandlücke aufweist, wobei diese monokristalline Halbleiterstruktur bevorzugt Elemente der III. und V. Hauptgruppe sowie Germanium aufweist.

15

7. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20

dadurch gekennzeichnet, dass

die Schichtstruktur (1) mindestens eine p- oder n-dotierte GaAs-Schicht (19, 20) aufweist

und/oder

25 die Schichtstruktur (1) eine Germaniumschicht (17), insbesondere eine n-dotierte Germaniumschicht, aufweist

und/oder

dass die Schichtstruktur (1) auf der substrat-
schichtabgewandten Seite eine undotierte GaAs-
Deckschicht (24) oder eine GaInAs-Deckschicht
aufweist.

5 8. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden
Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 die erste (4) und/oder die zweite (6) Frontsei-
tenmetallisierung eine Palladium-Germanium-
Schichtenfolge oder eine Palladium-Germanium-
Legierung aufweist

und/oder

15 dass die erste (4) und/oder die zweite (6)
Frontseitenmetallisierung Gold und Germanium,
insbesondere eine eutaktische Gold-Germanium-
Mischung aufweist oder daraus besteht

und/oder

20 dass die erste (4) und/oder die zweite (6)
Frontseitenmetallisierung eine einlegierte Me-
tallschichtstruktur aufweist, welche bevorzugt
mindestens eine an die Schichtstruktur (1) an-
grenzende Palladiumschicht, eine Germanium-
schicht und eine bevorzugt mehr als 0,5 µm dicke
Leitschicht aus Au und/oder Ag und/oder Al auf-
weist

25

und/oder

dass die erste (4) und/oder die zweite (6)
Frontseitenmetallisierung in Form eines zusam-
menhängenden Schichtgebildes oder in Form mehre-

rer nicht zusammenhängender Inseln ausgebildet ist.

9. Solarzellenelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

5 *dadurch gekennzeichnet, dass*

die Palladium-Germanium-Schichtenfolge oder die Metallschichtstruktur bevorzugt in dieser Reihenfolge eine Palladiumschicht (25), eine Germaniumschicht (26) und eine insbesondere Gold und/oder Silber enthaltende oder daraus bestehende Leiterschicht (27), aufweist.

10. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

15 in der Schichtebene gesehen das Verhältnis des Flächenanteils der zweiten Frontseitenmetallisierung (6) und des Flächenanteils der Schichtstruktur (1) kleiner als 0.1, insbesondere kleiner als 0.05, insbesondere kleiner als 0.01, insbesondere kleiner als 0.005, insbesondere kleiner als 0.002 ist.

11. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 die erste Frontseitenmetallisierung (6) genau eine zusammenhängende Metallisierungsfläche aufweist

oder

dass die erste Frontseitenmetallisierung (6) mindestens zwei voneinander elektrisch isolierte, beabstandet voneinander angeordnete zusammenhängende Metallisierungsflächen (6a, 6b) aufweist.

5

12. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Rückseitenmetallisierung (3) Aluminium enthält oder daraus besteht.

10

13. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

gekennzeichnet durch

eine rückseitenmetallisierungsseitig angeordnete, eine Kühlplatte (9), insbesondere eine Kühlplatte 9 mit nicht-metallischer, insbesondere keramischer Front, aufweisende Trägerstruktur (9, 10, 11).

15

14. Solarzellenelement nach dem vorhergehenden Anspruch,

20

dadurch gekennzeichnet, dass

die Kühlplatte (9) als strukturtragender Teil, insbesondere aus Keramik, eines aktiven Wasserkühlkörpers ausgebildet ist.

25

15. Solarzellenelement nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Trägerstruktur eine zwischen der Kühlplatte (9) und der Rückseitenmetallisierung (3) angeordnete elektrisch nicht leitende Schicht (11), insbesondere eine Klebstoffschicht oder eine Keramikschicht, aufweist

5

oder

dass die Trägerstruktur eine zwischen der Kühlplatte (9) und der Rückseitenmetallisierung (3) angeordnete elektrische Leiterstruktur, welche vorzugsweise rückseitenmetallisierungsseitig eine Leitklebstoff- und/oder Lotschicht (11) und kühlplattenseitig eine Leiterbahnstruktur (10) aufweist.

10

16. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15

dadurch gekennzeichnet, dass

die erste Dotierung eine p-Dotierung oder eine n-Dotierung ist.

17. Solarzellenmodul umfassend

20

mindestens zwei in Serie geschaltete, jeweils mit ihrer Rückseitenmetallisierung (3a, 3b) auf einer Trägerstruktur (9, 10, 11) angeordnete Solarzellenelemente, wobei der elektrische Kontakt mindestens zweier (8a, 8b) der serienverschalteten Solarzellenelemente ausschließlich auf der der Trägerstruktur gegenüberliegenden Frontseite dieser Solarzellenelemente ausgebildet ist (Frontseitenverbindung),

25

dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens eines der mindestens zwei frontseitenverbundenen Solarzellenelemente nach einem der vorhergehenden Solarzellenelementansprüche ausgebildet ist.

- 5 18. Solarzellenmodul nach einem der vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

gekennzeichnet durch

10 einen die beiden frontseitenverbundenen Solarzellenelemente (8a, 8b) jeweils auf ihrer Frontseite kontaktierenden, insbesondere als Draht ausgeführten Zellverbinder (7) als elektrischen Kontakt.

19. Solarzellenmodul nach den beiden vorhergehenden Solarzellenmodulansprüchen,

15 *dadurch gekennzeichnet, dass*

20 der Zellverbinder (7) die erste Frontseitenmetallisierung (4) des ersten der frontseitenverbundenen Solarzellenelemente mit der zweiten Frontseitenmetallisierung (6) des zweiten der frontseitenverbundenen Solarzellenelemente elektrisch verbindet.

20. Solarzellenmodul nach einem der beiden vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

gekennzeichnet durch

25 einen Gold, Silber und/oder Aluminium enthaltenden oder daraus bestehenden Draht als Zellverbinder (7).

21. Solarzellenmodul nach einem der vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

gekennzeichnet durch

eine Parallelschaltung von mindestens zwei Serienschaltungen von Solarzellenelementen, wobei jede dieser Serienschaltungen von Solarzellenelementen mindestens zwei in Serie geschaltete, gemäß einem der vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche frontseitenverbundene Solarzellenelemente aufweist und wobei bevorzugt jedes Solarzellenelement einer Serienschaltung mit einem Solarzellenelement mindestens einer anderen Serienschaltung parallel verschaltet ist (paarweise Parallelverschaltung der serienverschalteten Solarzellenstränge).

22. Solarzellenmodul nach einem der vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

zu mindestens einem der Solarzellenelemente eine Bypassdiode (13, 14, 15) mit umgekehrter Polarität parallel geschaltet ist.

23. Solarzellenmodul nach dem vorhergehenden Solarzellenmodulanspruch,

dadurch gekennzeichnet, dass

zu jedem Solarzellenelement eine Bypassdiode (13, 14, 15) mit umgekehrter Polarität parallel geschaltet ist.

24. Solarzellenmodul nach einem der beiden vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens eines der Solarzellenelemente (8a, 8b) zusammen mit der Bypassdiode (14) einen gemeinsamen Abschnitt der tragenden Halbleiterschicht (2) aufweist.

- 5 25. Solarzellenmodul nach einem der drei vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 mindestens eine der Bypassdioden (14, 15) auf ihrer trägerstruktur-abgewandten Frontseite eine erste (B4) und eine davon elektrisch isolierte zweite (B6) Frontseitenmetallisierung aufweist.

26. Solarzellenmodul nach einem der vier vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

15 mindestens eine der Bypassdioden (13, 14, 15) eine tragenden Halbleiterschicht (B2) mit einer ersten Dotierung, eine auf der trägerstruktur-abgewandten Frontseite der tragenden Halbleiterschicht angrenzend an die tragende Halbleiterschicht angeordnete Schichtstruktur (B1), welche
20 mindestens eine zu der ersten Dotierung komplementäre Dotierung aufweist, und eine auf der der Schichtstruktur (B1) gegenüberliegenden Rückseite der tragenden Halbleiterschicht angrenzend an
25 die tragende Halbleiterschicht angeordnete Rückseitenmetallisierung (B3) aufweist.

27. Solarzellenmodul nach den beiden vorhergehenden Solarzellenmodulansprüchen,

dadurch gekennzeichnet, dass

bei der mindestens einen Bypassdiode (14, 15) die erste Frontseitenmetallisierung (B4) die Schichtstruktur (B1) elektrisch kontaktiert und die zweite Frontseitenmetallisierung (B6) elektrisch isoliert von der ersten Frontseitenmetallisierung (B4) und der Schichtstruktur (B1) auf der Frontseite der tragenden Halbleiterschicht (B2) angrenzend an die tragende Halbleiterschicht (B2) angeordnet ist.

5

10

28. Solarzellenmodul nach einem der drei vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

15

mindestens eines der Solarzellenelemente auf der trägerstruktur-abgewandten Frontseite der tragenden Halbleiterschicht (2) und angrenzend an diese einen elektrisch von den Frontseitenmetallisierungen (4, 6) und der Schichtstruktur (1) isolierten metallischen Frontseitenkontakt (S6) aufweist, welcher mit der ersten Frontseitenmetallisierung (B4) der Bypassdiode (15) über einen Zellverbinder (SB7) elektrisch verbunden ist.

20

29. Solarzellenmodul nach einem der sieben vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

25

dadurch gekennzeichnet, dass

die elektrische Verschaltung der Solarzellenelemente (8) und der Bypassdioden (13, 14, 15) ausschließlich auf der trägerstruktur-abgewandten Frontseite und bevorzugt über Zellverbinder (7, B7) ausgebildet ist.

30

30. Solarzellenmodul nach einem der vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

in der Schichtebene gesehen mindestens zwei der Solarzellenelemente eine unterschiedliche Gesamtfläche und/oder eine unterschiedliche Fläche ihrer Schichtstruktur (1) aufweisen.

31. Solarzellenmodul nach einem der vorhergehenden Solarzellenmodulansprüche,

gekennzeichnet durch

eine frontseitig angeordnete Verkapselung, insbesondere eine mit einer transparenten Vergussmasse, insbesondere Silikon, aufgebrachte transparente Platte, insbesondere Glasplatte.

32. Verfahren zur Herstellung eines Solarzellenmoduls, wobei mindestens zwei Solarzellenelemente jeweils mit ihrer Rückseitenmetallisierung (3a, 3b) auf einer Trägerstruktur (9, 10, 11) angeordnet und in Serie geschaltet werden, wobei der elektrische Kontakt mindestens zweier (8a, 8b) der serien- oder parallelverschalteten Solarzellenelemente ausschließlich auf der der Trägerstruktur gegenüberliegenden Frontseite dieser Solarzellenelemente ausgebildet wird (Frontseitenverbindung),

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Solarzellenelement und/oder ein Solarzellenmodul nach einem der vorhergehenden Solarzellenelementansprüche oder Solarzellenmodulansprüche hergestellt wird.

33. Verfahren nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 auf einer tragenden Halbleiterschicht (2) alle Einzelelemente (1, 3, 4, 6) für ein Solarzellenelement (8) jeweils mehrfach ausgebildet werden,

10 dass danach die tragende Halbleiterschicht (2) samt der mehrfach ausgebildeten Einzelelemente (1, 3, 4, 6) auf der frontseiten-abgewandten Seite auf einer Trägerstruktur (9, 10), welche vorteilhafterweise eine Kühlplatte (9) aufweist, aufgeklebt und/oder aufgelötet wird (11),

15 dass danach die mehreren Solarzellenelemente (8) aus der auf die Trägerstruktur (9, 10) aufgebrachten tragenden Halbleiterschicht (2) ausgeinzelt werden und

dass schließlich die einzelnen Solarzellenelemente (8) miteinander elektrisch verschaltet werden.

20 34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 auf einer tragenden Halbleiterschicht (2) alle Einzelelemente (1, 3, 4, 6) für ein Solarzellenelement (8) jeweils mehrfach ausgebildet werden,

dass danach die Frontseitenmetallisierung (4, 6) mindestens zweier unterschiedlicher, noch zueinander Solarzellenelemente (8) über Zellverbinder (7) elektrisch verschaltet wird,

dass danach frontseitig eine transparente Vergussmasse, insbesondere Silikon, aufgebracht wird,

5 dass danach auf der substratschicht-abgewandten Seite der Vergussmasse auf diese eine transparente Platte, insbesondere Glasplatte, aufgebracht wird,

10 dass danach die mehreren Solarzellenelemente (8) aus der auf die Trägerstruktur (9, 10) aufbrachten tragenden Halbleiterschicht (2) ausgeeinzelt werden, indem von der plattenabgewandten Seite zwischen den noch auszueinzelnden Solarzellenelementen (8) Spalte bis mindestens zur Vergussmasse eingetrieben werden und

15 dass schließlich die tragende Halbleiterschicht (2) samt der ausgeeinzelt Solarzellenelemente (8) auf ihrer frontseiten-abgewandten Seite auf einer Trägerstruktur (9, 10), welche vorteilhafterweise eine Kühlplatte aufweist, aufgeklebt
20 und/oder aufgelötet wird.

35. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Verfahrensansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 das Auseinzeln mit Hilfe einer Säge, insbesondere einer Chipsäge, mittels nass- oder trockenchemischem Ätzen und/oder mittels Laserschneiden durchgeführt wird.

36. Verwendung eines Solarzellenelementes und/oder eines Solarzellenmoduls nach einem der vorhergehenden Solarzellenelementansprüche oder Solar-
30

zellenmodulansprüche in einer Konzentratoranordnung.

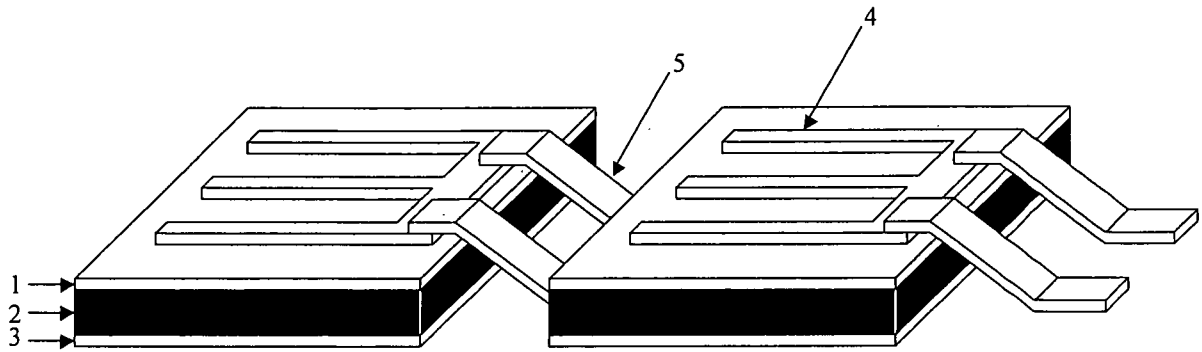


Fig. 1a

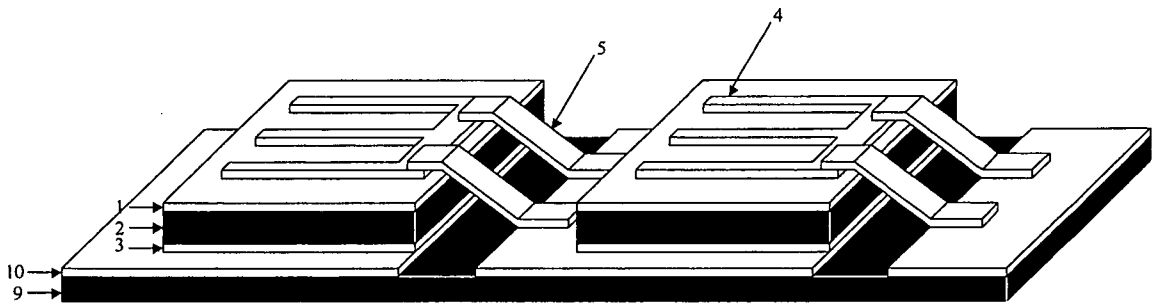


Fig. 1b

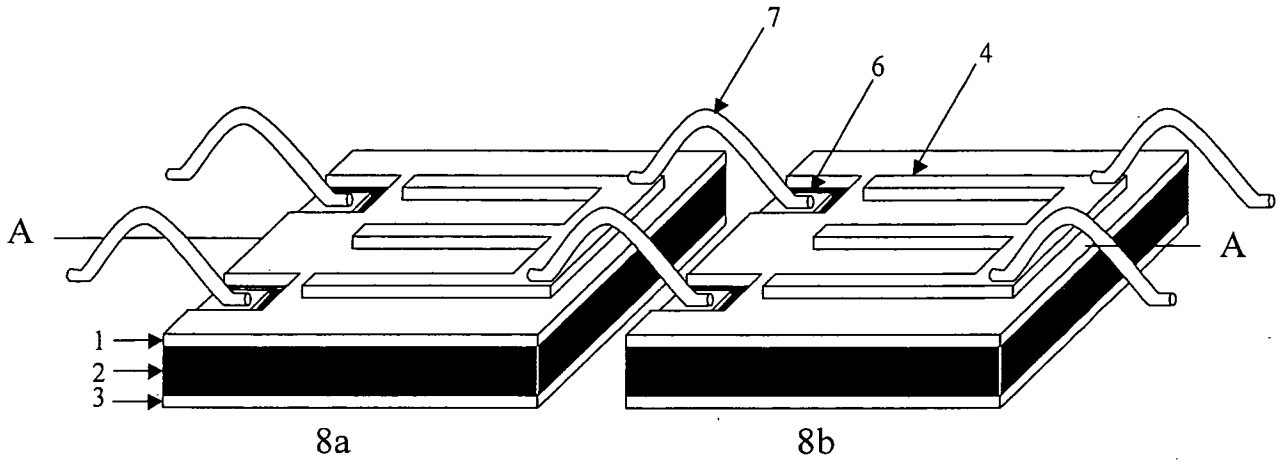


Fig. 2a

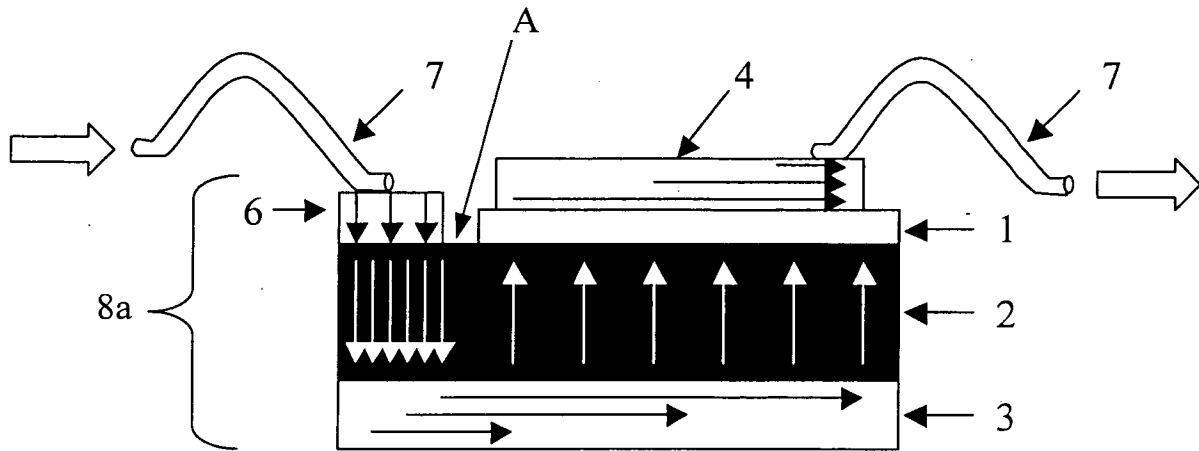
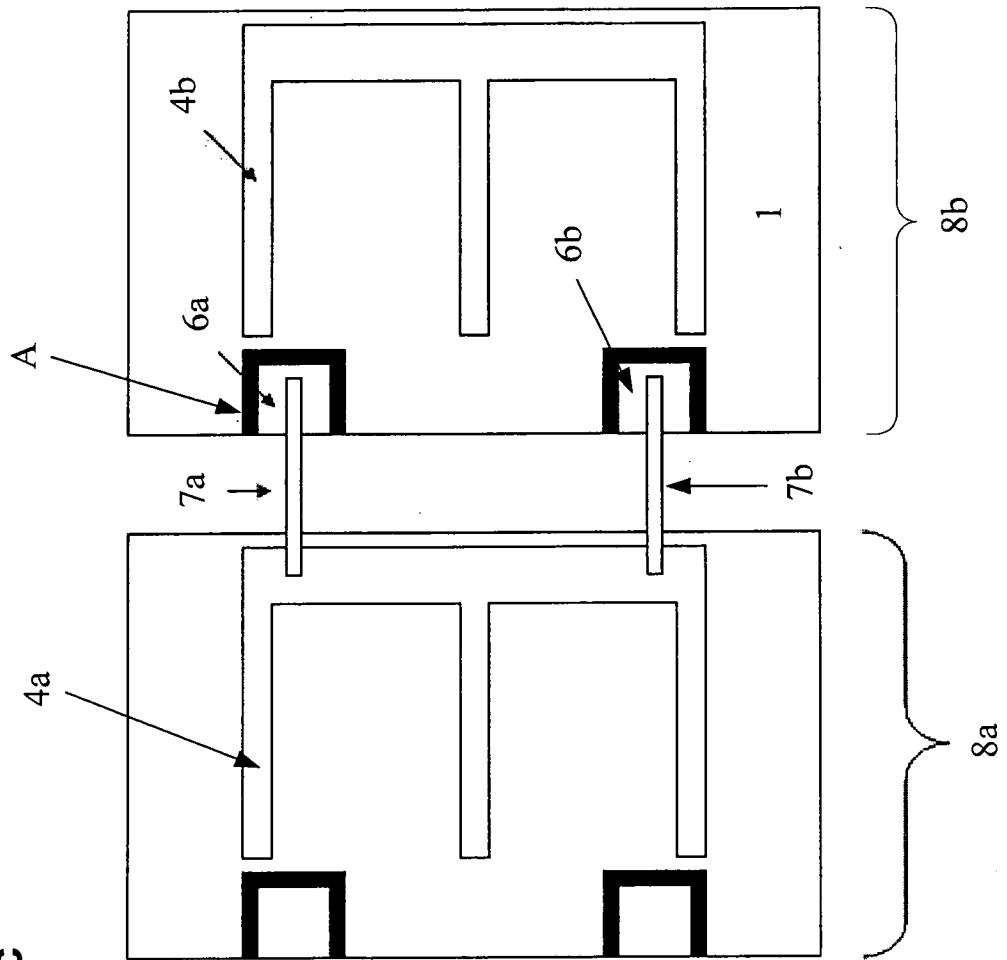


Fig. 2b

3/11

Fig. 2c



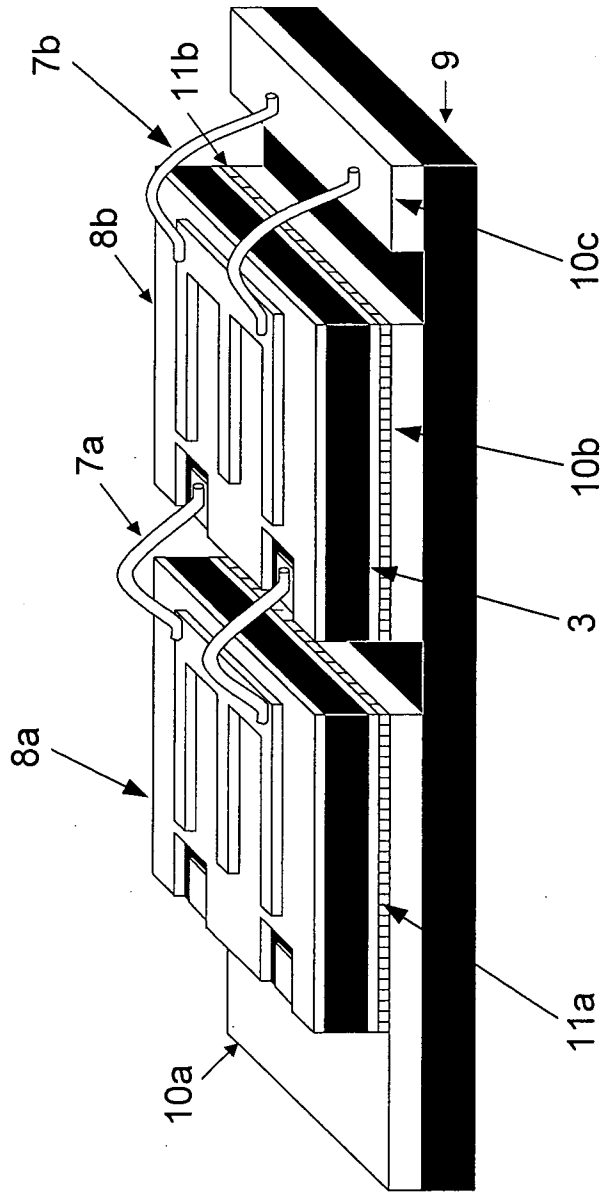


Fig. 3

5/11

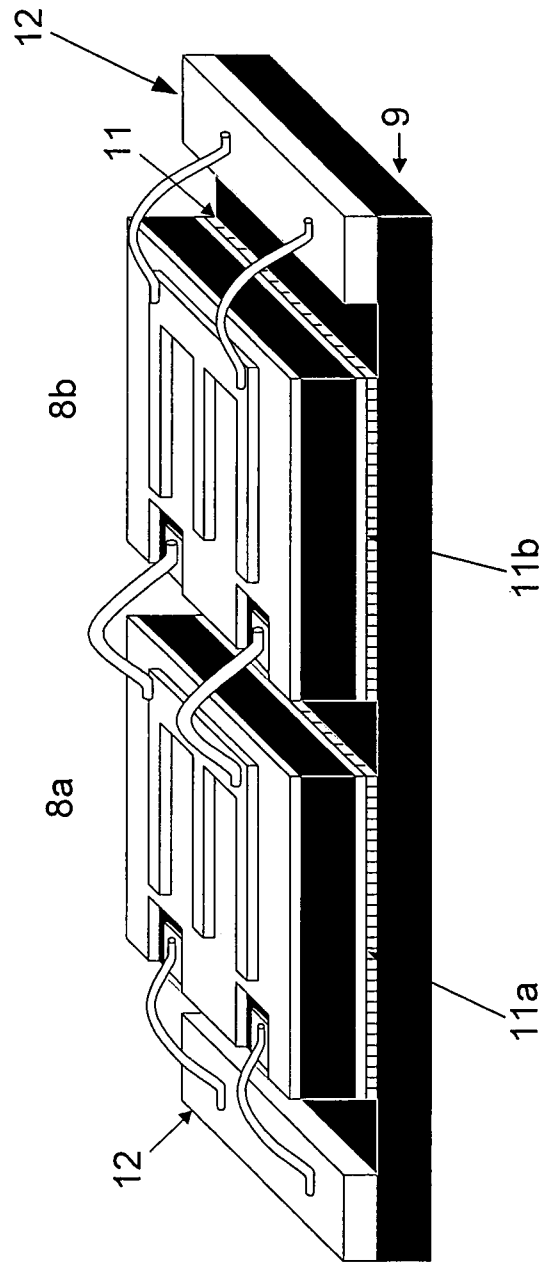


Fig. 4

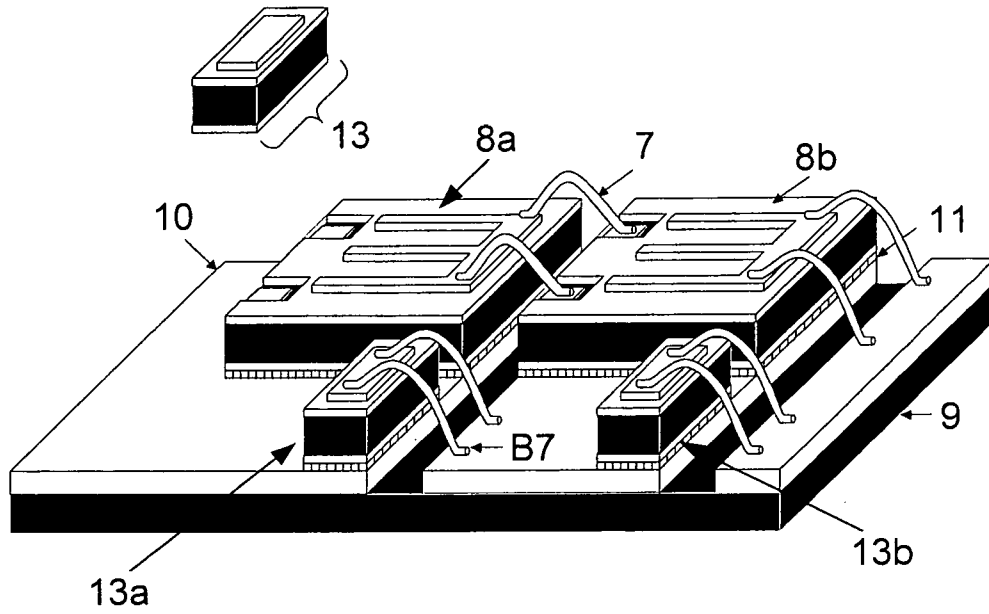


Fig. 5a

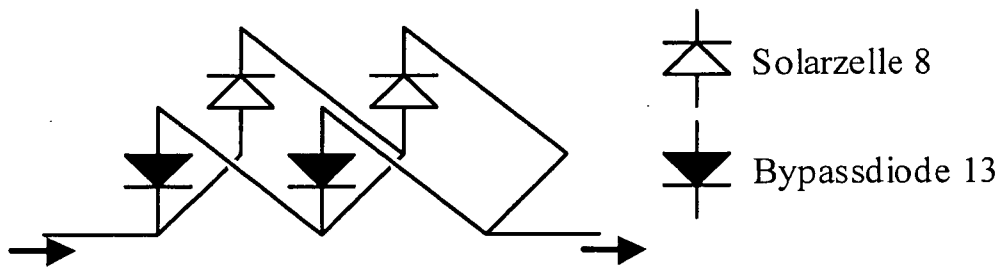


Fig. 5b

7/11

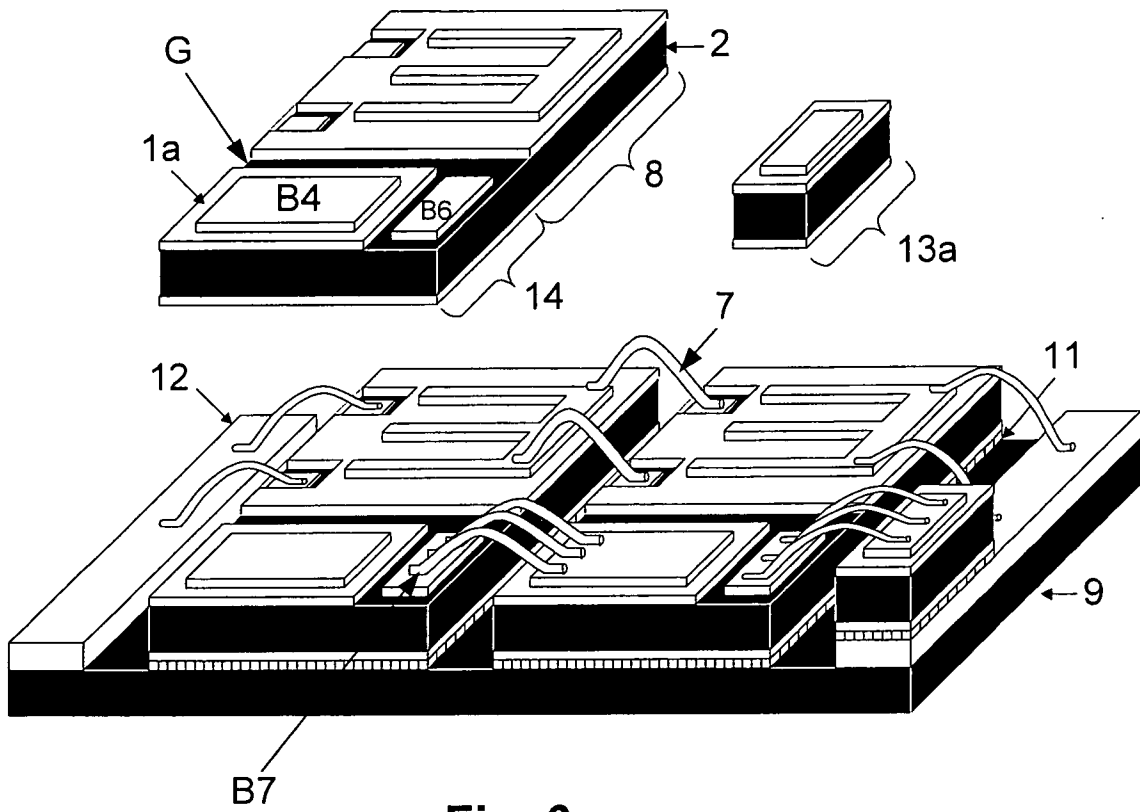


Fig. 6a

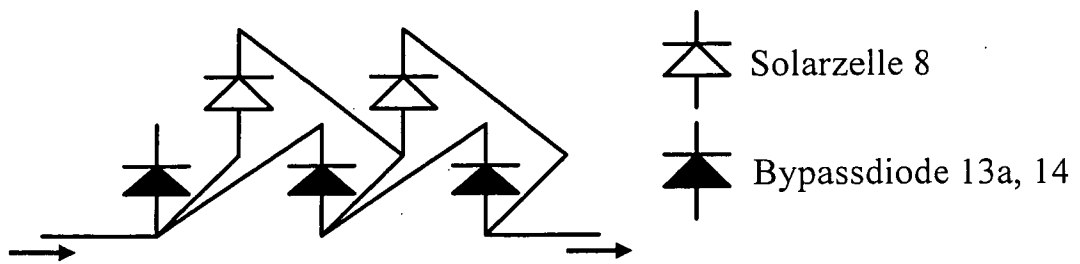
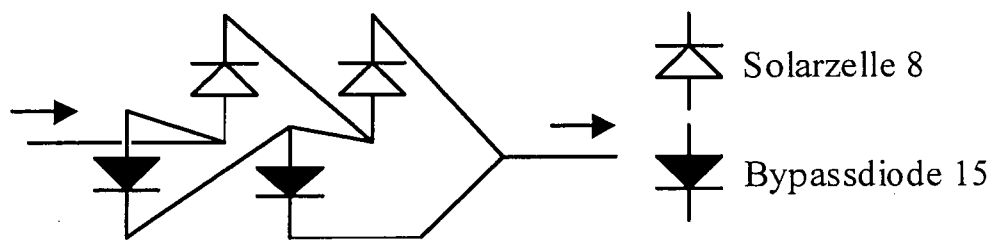
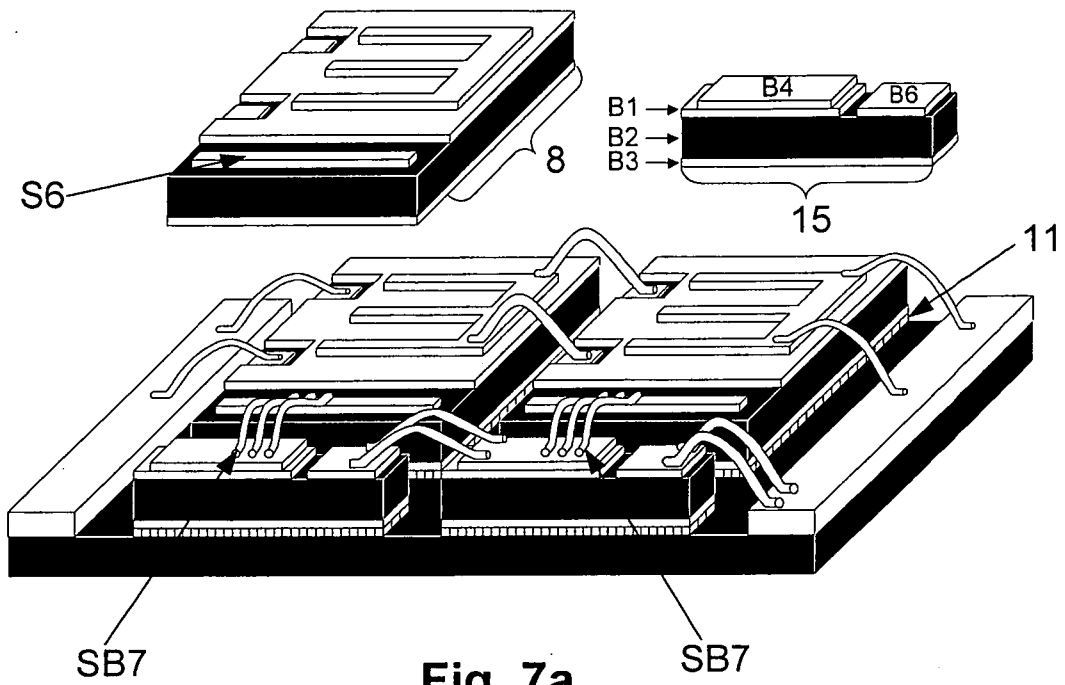


Fig. 6b



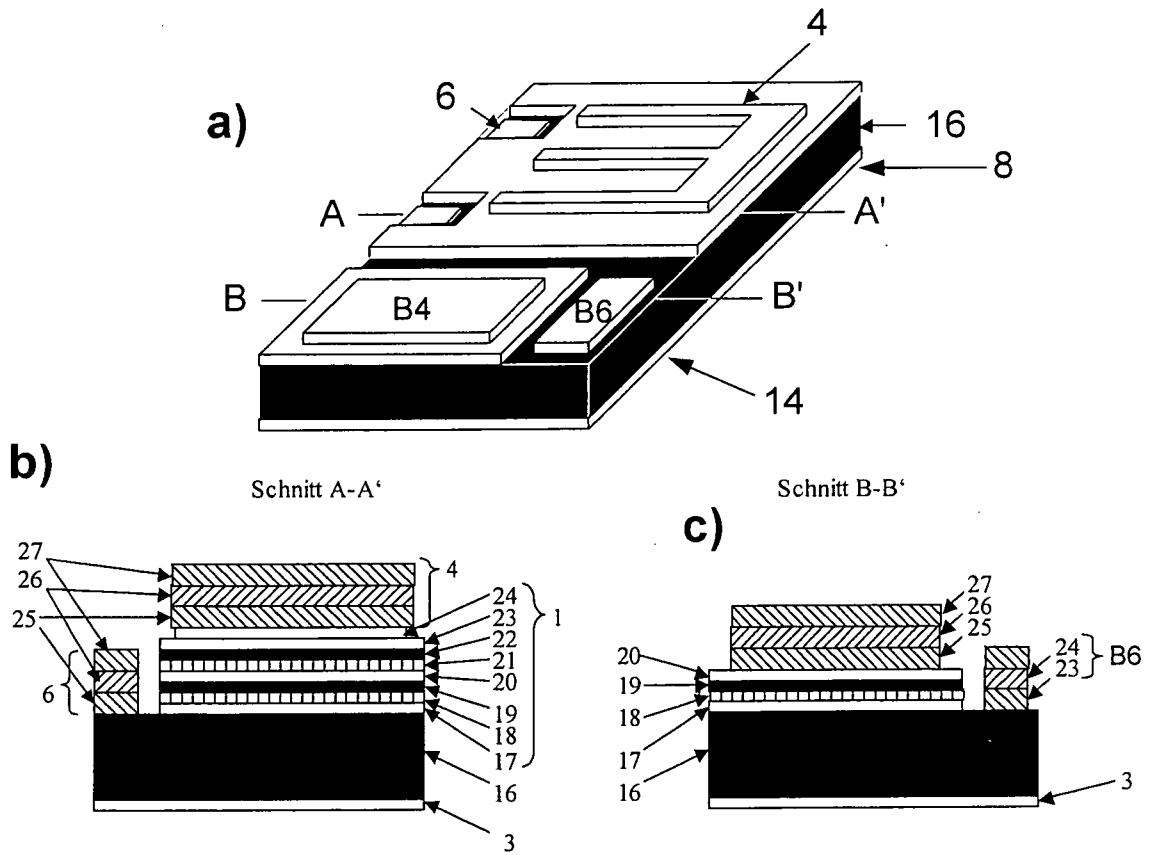


Fig. 8

10/11

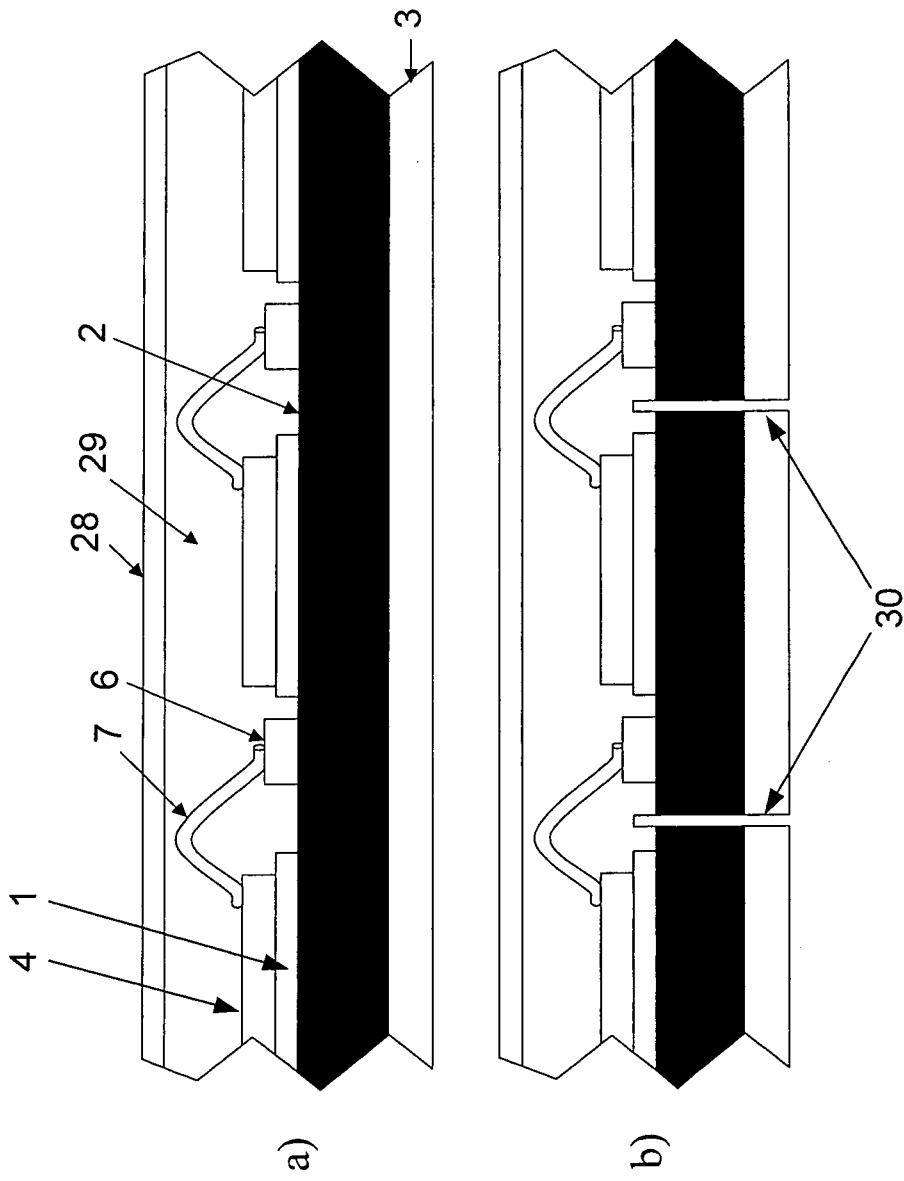


Fig. 9

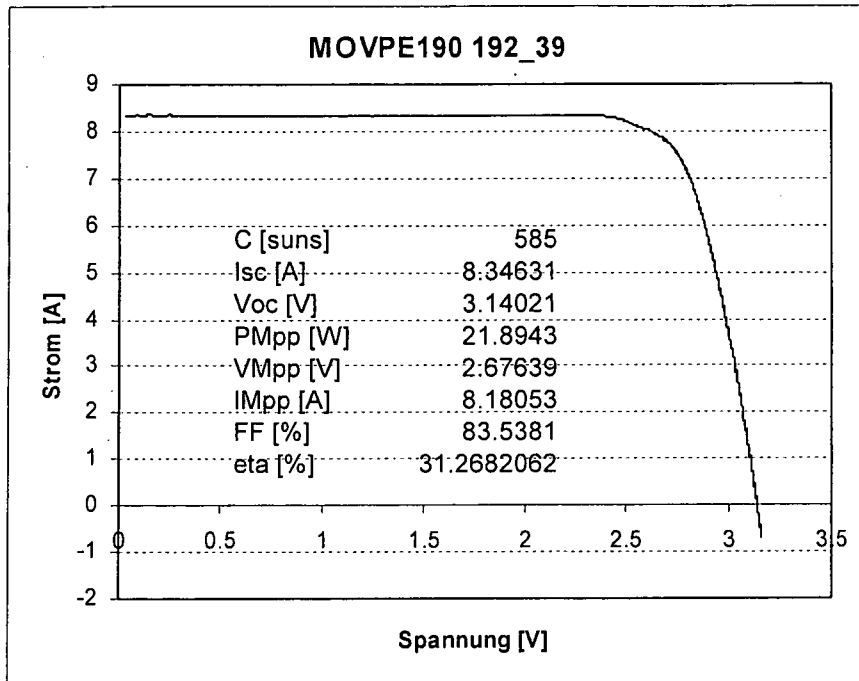


Fig. 10