



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 044 061 A1** 2006.04.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 044 061.1**

(22) Anmeldetag: **11.09.2004**

(43) Offenlegungstag: **20.04.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 31/042** (2006.01)

H01L 31/18 (2006.01)

H01L 31/06 (2006.01)

H01L 29/861 (2006.01)

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/05 (2006.01)

(71) Anmelder:

**RWE Space Solar Power GmbH, 74072 Heilbronn,
DE**

(74) Vertreter:

**Stoffregen, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,
63450 Hanau**

(72) Erfinder:

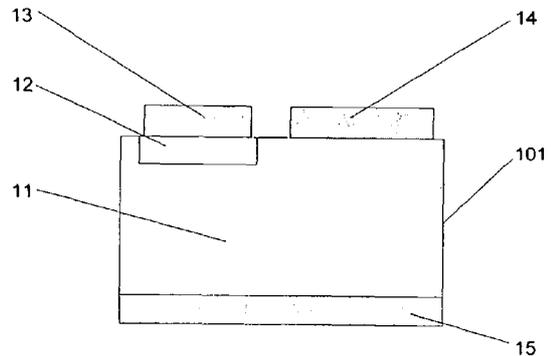
**Hilgarth, Just, Dipl.-Phys., 74360 Ilsfeld, DE;
Poeck, Dieter, Dipl.-Phys., 20146 Hamburg, DE;
Uebele, Paul, Dipl.-Phys., 74199
Untergruppenbach, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Solarzellenanordnung sowie Verfahren zum Verschalten eines Solarzellenstrings**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf eine Solarzellenanordnung, umfassend zumindest eine erste Solarzelle sowie zumindest eine mit der Solarzelle verbundene diskrete Schutzdiode (101). Um im hinreichenden Umfang eine Solarzelle bzw. einen Solarzellenverbund wie string durch eine oder mehrere Schutzdioden zu schützen, ohne das zwingend auf die Materialien der Solarzellen selbst zurückgegriffen werden muss, wird vorgeschlagen, dass die Schutzdiode neben einem Front- und einem Rückkontakt (13, 15) einen zu dem Frontkontakt beabstandeten und elektrisch über einen p/n-Übergang verbundenen dritten Kontakt (14) aufweist, von dem ein Verbinder ausgehen kann, der mit einer zweiten Solarzelle verbunden ist, die ihrerseits mit der ersten Solarzelle zu einem string verschaltet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Solarzellenanordnung umfassend zumindest eine erste Solarzelle mit zwischen Front- und Rückkontakt verlaufenden photoaktiven Halbleiterschichten sowie zumindest eine mit der Solarzelle verbundene diskrete Schutzdiode mit einem aus Halbleitermaterial einer ersten Leitfähigkeit bestehenden Substrat, in einem Oberflächenbereich des Substrats ausgebildeter Schicht zweiter Leitfähigkeit, einem ersten metallischen Kontakt auf dem Oberflächenbereich und einem zweiten metallischen Kontakt auf zum Oberflächenbereich gegenüberliegender Seite des Substrats, wobei von dem ersten und dem zweiten metallischen Kontakt Verbinder zum Verschalten der Schutzdiode mit der Solarzelle ausgehen. Ferner bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Verschalten eines Solarzellenstrings.

[0002] Der Schwerpunkt der Halbleiter-Solarzellen-Fertigung tendiert aufgrund der wesentlich höheren Wirkungsgrade in der Umwandlung von Sonnenlicht in Strom speziell bei Raumfahrtzellen von dem preiswerten Silizium zu den im Material und in der Herstellung wesentlich teureren III-V- Halbleiter-Solarzellen (III = Elemente der III. Gruppe des Periodensystems wie Ga oder In; V = Elemente der V. Gruppe des Periodensystems wie As oder P).

[0003] Bei den entsprechenden Solarzellen erfolgt die Herstellung der photoaktiven Schichten in einem aufwendigen kristallinen Aufwuchsprozess (Epitaxie), durch Abscheiden meist einer Vielzahl von unterschiedlichen Schichten einkristallin meist auf einer im Vergleich zu Silizium sehr teuren einkristallinen Germanium-Scheibe (Ge-Substrat wafer). Diese Epitaxie-wafer enthalten nach der Schichtabscheidung alle zur Umwandlung des Sonnenlichts erforderlichen Elemente. Sie werden nach ihrer Herstellung dann mit in der Halbleitertechnologie üblichen photolithographischen Verfahren und Ätzen, Metallisierungs- und Antireflexions-Bedampfen etc. zu Solarzellen weiterbearbeitet und letztendlich aus der Scheibe geschnitten.

[0004] Durch geeignete Wahl der Schichten und ihrer Zusammensetzung aus verschiedenen III-V-Materialien können hierbei für unterschiedliche Wellenlängen des Lichts unterschiedlich empfindliche Schichtenfolgen übereinander abgeschieden werden und zu sogenannten „Multi-junction“-Solarzellen verarbeitet werden, was den hohen Wirkungsgrad der Zellen mit erklärt. Der aktuelle Stand der Anwendung sind Triple-Zellen, d. h. drei übereinander geschichtete Sub-Zellen, wobei zwei epitaktisch gewachsen aus III-V-Material bestehen und die dritte aus dem aktiv gemischten Ge-Substrat besteht. Üblicherweise werden z. Zt. III-V-Solarzellen aus runden wafern (Substraten) von 100 mm Durchmesser (4"-wafer) gefertigt.

[0005] Entsprechende multi-junction-Solarzellen in Form von triple-Zellen können z. B. aus einer auf dem Ge-Substrat ausgebildeten Ge-Bottom-Zelle, einer GaInAs-Mittelzelle und einer GaInP-Topzelle bestehen.

[0006] Der Preis der Epitaxie-wafer beträgt aktuell mehr als das 20-fache des Preises eines Silizium-wafers gleicher Größe zur Herstellung von Silizium-Solarzellen. Aufgrund des hohen Preises des Ausgangsmaterials in Form der Epitaxie-wafer zur Herstellung von III-V-Solarzellen sollte zur Reduzierung des Ausfalls durch den Solarzellen-Herstellungsprozess die Anzahl der Prozessschritte möglichst gering gehalten werden, um dadurch eine weitere Kostensteigerung des Endpreises der Zelle zu vermeiden.

[0007] Wegen des größeren spezifischen Gewichts der III-V-Verbindungen und des Germaniums verglichen mit Silizium (ca. Faktor 4) und der hohen Transportkosten von Satelliten ins All sind die III-V-Scheiben dünner als in der Standard-Halbleitertechnologie (z.B. IC-Fertigung) üblich, wodurch das Ausfallrisiko bei erhöhtem Fertigungsaufwand noch gesteigert ist, zumal die Ge-Substrate auch wesentlich brüchiger sind als Si-wafer.

[0008] Um den Aufwand zur Verbindung der Zellen zu strings (Einheit der seriell verschalteten Solarzellen zu der auf einem Flügel (panel) gewünschten Betriebsspannung) möglichst gering zu halten, aber auch um nicht zu kurze strings zu erhalten, da die Betriebsspannung der modernen III-V-Zellen ein Vielfaches der Si-Zellen beträgt, sind verhältnismäßig große Zellen erwünscht. Gleichzeitig macht der hohe Preis der Epitaxie-wafer es wünschenswert, möglichst viel Fläche des wafers für die Zellen zu nutzen. Aus Kostengründen sind daher Zellen von ca. 8 cm × 4cm mit zwei abgeschnittenen Ecken (sogenannte cropped corner cells) üblich geworden, wobei aus einem 4"-wafer zwei Zellen erhalten werden. Durch das Abscheiden der Ecken kann dadurch ein größerer Anteil der wafer-Fläche für die Zelle als bei rein rechteckigen Zellen genutzt werden.

[0009] Bei einem als qualitativ nicht ausreichendem Scheibenrand von 2 mm Breite, einer Scheibe von 100 mm Durchmesser ergibt sich eine Fläche von 72,4 cm². Zwei rechteckige Zellen können maximal eine Fläche von 6,79 cm × 6,79 cm = 46,1 cm² (64 %) erreichen, während sich bei zwei Zellen von 8 cm × 4 cm Kantenlänge mit abgeschnittenen Ecken von z. B. 1,35 cm eine Fläche von 60,34 cm² ergibt, so dass 83 % der Scheibenfläche genutzt werden kann. Durch die Geometrie bedingt füllen diese Zellen die Fläche eines panels nicht vollständig aus: an den Ecken zwischen den Zellen verbleibt eine nicht zur Lichtumwandlung genutzte dreieckige Fläche.

[0010] Bei großflächigen Halbleiter-Dioden, wie die-

se die Solarzellen bilden, sind hochohmige, lokale, kleindimensionierte elektrische Verbindungen über den p/n-Übergang des Halbleitermaterials (Mikro-Kurzschlüsse), wie sie z. B. durch Oberflächenverletzungen während der Herstellung oder besonders bei epitaxierten p/n-Übergängen wie bei III-V-Solarzellen durch Dotierstoffanhäufungen (entartetes Halbleitermaterial) z. B. an Kristallstörungen (z. B. Verletzungen aufgrund geringfügig abweichendem Kristallgitter), oft unvermeidlich.

[0011] Diese Mikro-Kurzschlüsse, die die Funktion der Diode als Solarzelle (p/n-Übergang in Flussrichtung) nicht oder nur sehr gering mindern, können im string bei Betrieb der Zelle in Sperrrichtung bekanntermaßen zur Zerstörung der Zelle führen. Bei sperrendem p/n-Übergang kann der Solarstrom von der hohen string-Spannung U_s mit der Leistung $N = U_s \cdot I_s$ durch die hochohmigen Mikro-Kurzschlüsse gepresst werden. Dies kann lokal zur starken Erhitzung, Umdotierung zur Niederohmigkeit (starke Entartung des Halbleiters) und letztlich zur Zerstörung der Zelle führen.

[0012] Schutz gegen diese Zerstörung bewirkt eine sog. Bypass- oder Schutzdiode, d. h. eine antiparallel mit dem p/n-Übergang der abgeschatteten Zelle verbundene Diode, die, wenn der p/n-Übergang der Zelle sperrt, in Flussrichtung gepolt ist und den Strom bei einer Spannung U_d , die der Kennlinie dieser Diode in Flussrichtung bei eben diesem Strom entspricht, durchlässt. Die Spannung U_r an den Enden des strings wird vermindert durch die fehlende Spannung U_m der Zelle und die Flussspannung der Diode $-U_d$: $U_r = U_s - U_m - U_d$. Im nicht abgeschatteten Zustand der Zelle sperrt der p/n-Übergang der Schutzdiode den Stromfluss durch dieselbe bei einer Sperrspannung, die lediglich der Flussspannung der zugehörigen Solarzelle entspricht.

[0013] Die Verwendung von Schutzdioden für die Zellen zur Verhinderung der Zerstörung einzelner Zellen im string bei Abschattung in Form von antiparallel elektrisch mit den Zellen verbundenen Dioden, ist an sich bekannt.

Stand der Technik

[0014] Für III-V-Zellen existieren als Lösung monolithisch integrierte Schutzdioden (monolithische Dioden), d. h. Dioden, die aus ähnlichen Elementen wie die Zellen schon während der Herstellung der Epitaxie direkt auf dem wafer in meist zusätzlichen Prozessschritten hergestellt werden und in zusätzlichen Technologieschritten beim Herstellen der Zellen zu solchen verarbeitet werden, und sich dann auch auf den Zellen befinden (s. z. B. DE-A- 3 826 721, US-A-2002/0179141).

[0015] Ein grundsätzlicher Nachteil dieser Lösun-

gen besteht darin, dass die aktive Fläche der Zelle reduziert wird. Die Schutzdioden werden im Allgemeinen daher möglichst klein in ihrer Dimension gewählt. Hierdurch wird ihre Spannung bei Stromfluss und damit ihre Leistung erhöht. Dies kann zu ihrer Zerstörung auf lange Sicht oder – da die Schutzdiode Teil der Zelle ist – lokal zu unerwünschter starker Erwärmung derselben führen.

[0016] Da monolithische Dioden einen zusätzlichen Aufwand sowohl auf wafer-Ebene, d. h. zusätzliche Epitaxie-Schichten und zusätzliche technologische Prozesse bei der Herstellung der Zellen erfordern, bilden diese einen nicht zu vernachlässigenden zusätzlichen Kostenfaktor. Da die monolithischen Dioden nur aus gitterangepasstem III-V-Material bestehen können, ist auch nur eine geringe Freiheit der Wahl des "Typs der Diode (nur III-V-Dioden mit hoher Flussspannung) möglich.

[0017] Daher wäre eine diskrete Diode, die unabhängig von der Fertigung der Zelle herstellbar ist und somit auch mehr materielle Freiheit bietet, vorzuziehen. Diese hätte zusätzlich den Vorteil, unabhängig von der Zelle ausgewählt und geprüft zu werden, so dass eine schon während der Herstellung schadhaft gewordene Diode nicht gleichzeitig eine teure unbrauchbare Zelle bedeutet.

[0018] Die Anbringung diskreter Dioden an die Solarzellen als Alternative zu den monolithisch integrierten Schutzdioden erfordert von den Herstellern von Solar-Flügeln (panels) im Allgemeinen zusätzlichen Aufwand bei der Anbringung. Dies trifft insbesondere bei rechteckigen Solarzellen zu, die die Fläche des Flügels vollständig ausfüllen, so dass zur Anbringung der Schutzdioden in die dritte Dimension (Zuleitungen und Diode unterhalb der Zellen) ausgewichen werden muss. Dies bedeutet einen hohen Aufwand in der panel-Herstellung. Außerdem würde sich das Gewicht des Flügels durch die zusätzlich notwendigen langen Zuleitungskabel erhöhen.

Aufgabenstellung

[0019] Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zu Grunde, eine Solarzellenanordnung der zuvor beschriebenen Art so weiterzubilden, dass im hinreichenden Umfang eine Solarzelle bzw. ein Solarzellenverbund wie string durch eine oder mehrere Schutzdioden geschützt werden kann, ohne dass zwingend auf die Materialien der Solarzellen selbst zurückgegriffen werden muss. Ferner soll eine problemlose Verschaltung zwischen den Schutzdioden und den Solarzellen möglich sein, wobei gleichzeitig eine hohe Gewichtszunahme vermieden werden soll.

[0020] Erfindungsgemäß wird das Problem im Wesentlichen dadurch gelöst, dass neben dem ersten metallischen Kontakt und ein zu diesem beabstande-

ter und elektrisch über einen p/n-Übergang verbundener dritter metallischer Kontakt vorgesehen ist, der unmittelbar mit dem Substrat kontaktiert ist, und dass von dem ersten oder dritten metallischen Kontakt ein weiterer Verbinder ausgeht, der mit einer weiteren zweiten Solarzelle verbunden ist, die Ihrerseits mit der ersten Solarzelle zu einem string verschaltet ist. Dabei kann der erste oder der dritte metallische Kontakt mit der Rückseite der zweiten Solarzelle und der zweite metallische Kontakt mit der Frontseite der ersten Solarzelle verbunden sein. Ferner wird die Schutzdiode über den ersten oder dritten metallischen Kontakt antiparallel zu der ersten Solarzelle über die zweite Solarzelle verschaltet.

[0021] Insbesondere wird eine Solarzellenanordnung vorgeschlagen, die eine diskrete Schutzdiode umfasst, die in Bezug auf den frontseitigen Bereich derart strukturiert ist, dass neben dem n/p- bzw. p/n-Übergang der Schutzdiode ein unmittelbarer ohmscher Kontakt zwischen dem dritten metallischen Kontakt und dem Substrat der Schutzdiode erzeugt wird, um einerseits eine elektrisch leitende Verbindung zwischen Solarzellen zu ermöglichen und andererseits die Schutzdiode antiparallel zu der zu schützenden Solarzelle zu schalten.

[0022] Erfindungsgemäß wird das Problem des Schutzes einer Solarzelle im string im Wesentlichen durch eine antiparallel verbundene diskrete Diode gelöst, bestehend aus einem Halbleiterkörper einer ersten Leitungsart (Substrat), bei der auf der Vorderseite neben dem ersten metallischen Kontakt auf einem Halbleiterbereich zweiter Leitungsart, zu diesem beabstandet auf dem Halbleiter erster Leitungsart elektrisch durch den p/n-Übergang getrennt ein dritter metallischer Kontakt vorgesehen ist, der unmittelbar mit dem Substrat elektrisch verbunden ist. Dabei kann, je nach Art der Solarzelle und Wahl der Leitungsart des Substrats der Diode, über den ersten oder den dritten Kontakt mittels Verbinders die Rückseite der zu schützenden Solarzelle elektrisch mit der Diode verbunden werden und mit dem dritten respektive ersten metallischen Kontakt der Diode die Rückseite der zu schützenden Zelle im string unmittelbar nachfolgenden Zelle verbunden werden, die ihrerseits mittels des Verbinders zum seriellen Verschalten der Solarzellen zum string elektrisch mit der Vorderseite der vorangehenden zu schützenden Zelle verbunden ist, wodurch die Diode im Verbund eine zur zu schützenden Solarzelle antiparallel angeordnete Schutzdiode bildet.

[0023] In Weiterbildung ist vorgesehen, dass die erste und zweite Solarzelle über zumindest zwei Schutzdioden verbunden sind, dass ein zweiter metallischer Kontakt der einen ersten Schutzdiode sowohl mit dem Rückkontakt der zweiten Solarzelle als auch mit dem dritten metallischen Kontakt der zweiten Schutzdiode verbunden ist, deren zweiter metal-

lischer Kontakt mit dem Frontkontakt der ersten Solarzelle verbunden ist. Somit ergibt sich eine einfache Verschaltung der Solarzellen untereinander bei gleichzeitiger Verschaltung der Schutzdioden zu den zu schützenden Solarzellen.

[0024] Bei dem Verbinden von zwei Solarzellen über zwei Schutzdioden kann eine der Schutzdioden derart ausgebildet sein, dass der dritte metallische Kontakt mit dem ersten metallischen Kontakt verbunden ist und dass sich unter dem ersten und dem dritten metallischen Kontakt der Oberflächenbereich der zweiten Leitfähigkeit erstreckt.

[0025] Um ein einfaches Verbinden der von der ersten und zweiten Schutzdiode ausgehenden und diese miteinander zu verbindenden Verbindern zu ermöglichen, ist nach einem weiteren Vorschlag der Erfindung vorgesehen, dass ein von dem zweiten metallischen Kontakt der ersten Schutzdiode ausgehender Verbinder mit einem von dem dritten metallischen Kontakt der zweiten Schutzdiode ausgehender Verbinder über der Vorderseite der ersten und zweiten Solarzelle bzw. deren Deckgläser vorsteht und außerhalb der Deckgläser vorzugsweise durch Schweißen oder Löten verbunden sind.

[0026] Losgelöst davon, ob die Solarzellen über eine Schutzdiode oder mehrere Schutzdioden verbunden sind, sieht ein eigenerfinderischer Vorschlag der Erfindung vor, dass die erste Solarzelle und/oder die zweite Solarzelle in Draufsicht eine Rechteckform mit abgeschrägten Ecken ist und dass die zumindest eine Schutzdiode im Bereich einer der abgeschrägten Ecken verläuft. Hierdurch ergibt sich eine optimale Nutzung der panel-Oberfläche, wobei gleichzeitig ein einfaches Verschalten von Schutzdioden und Solarzellen ermöglicht wird.

[0027] Insbesondere ist vorgesehen, dass mehrere zu einem string verschaltete Solarzellen über entsprechende Schutzdioden verbunden sind. Dabei kann in jeder abgeschrägten Ecke eine Schutzdiode angeordnet sein.

[0028] Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, dass die Schutzdiode in Draufsicht eine Dreiecksgeometrie aufweist.

[0029] Insbesondere ist vorgesehen, dass die Schutzdiode die Geometrie einer Dreieckssäule aufweist.

[0030] Dabei sollte bei einer Solarzelle quadratischer Fläche mit abgeschrägten Ecken und einer Kantenlänge von 8 cm, bevor die Ecken entfernt sind, die Schutzdiode eine Grundfläche F von vorzugsweise in etwa $0,7 \text{ cm}^2 \leq F \leq 1 \text{ cm}^2$, insbesondere von in etwa $0,8 \text{ cm}^2 \leq F \leq 0,9 \text{ cm}^2$ aufweisen.

[0031] Ferner bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Verschalten eines Solarzellenstrings, das durch die Verfahrensschritte gekennzeichnet ist:

- Anordnen der Solarzellen mit der Rückseite auf einer Unterlage,
- Verbinden frontseitiger Kontakte der Solarzellen mit ersten Verbindern,
- Befestigen einer oder mehrerer transparenter Abdeckungen auf den Frontseiten der Solarzellen,
- Wenden der Solarzellen,
- Verbinden der ersten und zweiten Solarzellen über die ersten Verbinder zu dem string,
- Einbringen von Schutzdioden in zwischen den Solarzellen vorhandene Freiräume,
- Verbinden der Schutzdioden mit den Solarzellen und
- Verbinden so hergestellten strings mit einer Unterlage.

[0032] Dabei werden insbesondere vor dem Einbringen der Schutzdioden benachbarte Solarzellen über die ersten Verbinder in Reihe verschaltet.

[0033] In Weiterbildung ist vorgesehen, dass Schutzdioden mit ihren Rückseitenkontakten im frontseitigen Bereich der Solarzellen angeordnet werden und dass benachbarte Solarzellen über zumindest jeweils eine Schutzdiode in Serie verschaltet werden bei gleichzeitiger antiparalleler Verschaltung der Schutzdiode zu einer der benachbarten Solarzelle.

[0034] Insbesondere sind die Verfahrensschritte vorgesehen:

- a) Anordnen der Solarzellen mit der Rückseite auf einer Unterlage,
- b) Einbringen von Schutzdioden in zwischen den Solarzellen vorhandene Freiräume,
- c) Verbinden frontseitiger Kontakte der Solarzellen mit den im string frontseitig verlaufenden zweiten Kontakten (Rückseitenkontakte) der Schutzdioden,
- d) Befestigen einer oder mehrerer transparenter Abdeckungen auf den Frontseiten der Solarzellen,
- e) Wenden der Solarzellen,
- f) Verbinden der im string rückseitig verlaufenden ersten und dritten Kontakte (Frontkontakte) der Schutzdioden mit rückseitigen Kontakten benachbarter Solarzellen und
- g) Verbinden so hergestellten strings mit einer Unterlage.

[0035] Dabei kann der string vor dem Verbinden mit der Unterlage gewendet werden.

[0036] Ferner sieht die Erfindung vor, dass zwischen zwei benachbarten Solarzellen zwei Schutzdioden angeordnet werden, von denen eine Schutzdiode

mit ihrem Rückseitenkontakt und die andere Schutzdiode mit ihrem Frontseitenkontakt im frontseitigen Bereich der Solarzellen angeordnet werden, dass die benachbarten Solarzellen über die zwei Schutzdioden in Serie verschaltet werden und dass die Schutzdioden über im Bereich der Rückseiten der Solarzellen verlaufende Kontakte verschaltet werden. Dabei können von im Bereich der Rückseiten der Solarzellen verlaufenden Kontakten der Schutzdioden zweite Verbinder ausgehen, die außerhalb der Solarzellenstrings verbunden werden.

[0037] Eigenerfinderisch wird vorgeschlagen eine Diode mit einem aus Halbleitermaterial einer ersten Leitfähigkeit bestehenden Substrat, einer in einem Oberflächenbereich des Substrats ausgebildeten Schicht oder auf den Oberflächenbereich aufgetragenen Schicht zweiter Leitfähigkeit, einem ersten metallischen Kontakt auf der Schicht der zweiten Leitfähigkeit, einem zweiten metallischen Kontakt auf zum Oberflächenbereich gegenüberliegender Seite des Substrats und einem neben dem ersten metallischen Kontakt und zu diesem beabstandet und elektrisch isoliert über einen p/n-Übergang verbundenen dritten metallischen Kontakt, der unmittelbar mit dem Substrat der Schutzdiode kontaktiert ist, zur Verwendung als Schutzdiode in einer Halbleiteranordnung.

[0038] Dabei kann der p/n-Übergang in der Schutzdiode durch einen Schottky-Kontakt ersetzt sein.

Ausführungsbeispiel

[0039] Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen – für sich und/oder in Kombination –, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsformen.

[0040] Es zeigen:

[0041] Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer Schutzdiode,

[0042] Fig. 2 eine zweite Ausführungsform einer Schutzdiode,

[0043] Fig. 3 eine weitere Ausführungsform einer Schutzdiode mit Stromkreislauf,

[0044] Fig. 4 eine Prinzipdarstellung zweier aus einem Halbleiter-wafer hergestellter Solarzellen mit abgeschrägten Ecken,

[0045] Fig. 5 im Querschnitt und im Ausschnitt ein Solarzellenstring,

[0046] Fig. 6 einen Querschnitt durch ein panel mit über Schutzdioden verbundene Solarzellen,

[0047] **Fig. 7** Rückansicht eines Ausschnitts eines strings mit Schutzdioden unterschiedlicher Geometrien,

[0048] **Fig. 8** eine weitere Ausführungsform eines panels im Ausschnitt mit über Schutzdioden verbundene Solarzellen;

[0049] **Fig. 9** lichteinfallseitiger Ausschnitt eines über Schutzdioden verschalteten strings,

[0050] **Fig. 10** die Darstellung gemäß **Fig. 9**, jedoch von der Rückseite her,

[0051] **Fig. 11** eine Prinzipdarstellung einer Solarzelle mit abgeschrägten Ecken,

[0052] **Fig. 12** eine Solarzelle mit abgeschrägten Ecken und in diesen angeordnete Schutzdioden,

[0053] **Fig. 13** einen Querschnitt durch ein panel mit jeweils über zwei Schutzdioden verschalteten Solarzellen,

[0054] **Fig. 14** eine Ausgestaltung der Solarzellenverbindungen über Schutzdioden gemäß **Fig. 13**,

[0055] **Fig. 15** eine Prinzipdarstellung eines ersten Prozesses zur Verschaltung von Solarzellen und

[0056] **Fig. 16** eine Prinzipdarstellung eines zweiten Prozesses zur Verschaltung von Solarzellen.

[0057] **Nachstehend** wird anhand der den Figuren zu entnehmenden Ausführungsbeispiele die Gestaltung diskreter Schutzdioden für Solarzellen und ihre Integration in ein Solarzellenstring bzw. -panel näher beschrieben. Dabei werden gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen oder entsprechenden Bezugszeichen versehen.

[0058] In **Fig. 1** ist eine Schutzdiode **101** einer ersten Ausführungsform dargestellt, die aus einem Halbleitermaterial wie Silizium, Germanium oder einem Material aus der III. und V. Gruppe des Periodensystems wie GaS oder GaP oder GaInAs oder GaInP besteht. Dabei kann der Hauptkörper, d. h. das Substrat **11** p-leitend dotiert sein. In einem Oberflächenbereich und zwar im Bereich der Frontseite der Schutzdiode **101** ist bis hin zur Oberfläche ein n-dotierter Bereich **12** ausgebildet, der mit dem Substrat **11** einen rückwärts gut sperrenden n-/p-Übergang (n-up-Diode), also die eigentliche Schutzdiode bildet.

[0059] Wie die Darstellung gemäß **Fig. 1** verdeutlicht, erstreckt sich der n-dotierte Bereich nur über einen Teil der Oberseite des Substrats **11**. Der n-dotierte Bereich ist außenseitig durch einen metallischen Kontakt **13** abgedeckt. Entlang der Rückseite erstreckt sich ein zweiter elektrisch leitender Kontakt **15**

mit der Leitfähigkeit des Substrats **11** und befindet sich mit diesem im ohmschen Kontakt. Beabstandet zu dem ersten Kontakt **13** und elektrisch isoliert zu diesem ist auf der Oberseite des Substrats **11**, also außerhalb des n-dotierten Bereichs **12**, ein weiterer (dritter) metallischer Kontakt **14** aufgebracht, der im ohmschen Kontakt mit dem Substrat **11** steht. Über die elektrisch leitenden ersten und dritten Kontakte **13**, **14** auf der Vorderseite der Schutzdiode **101** und den Rückkontakt **15** werden in nachstehend beschriebener Weise Solarzellen verschaltet.

[0060] Eine weitere Ausgestaltung einer Schutzdiode **102** ist der **Fig. 2** zu entnehmen. Dabei erstreckt sich der n-dotierte Oberflächenbereich **12** weitgehend entlang der gesamten Oberseite. Der n-dotierte Bereich **12** ist sodann von dem ersten metallischen Kontakt **13** abgedeckt. Ansonsten entspricht die Schutzdiode **102** vom Aufbau her der Schutzdiode **101**.

[0061] In der Praxis können zur Verbesserung der Eigenschaften der Schutzdioden **101**, **102** Isolations-schichten und/oder Passivierung und/oder Metallisierungen auf dem Halbleiter bzw. den Halbleiterschichten **11**, **12** oder auch auf Teilen der metallischen Kontakte **13**, **14**, **15** aufgebracht sein.

[0062] Die Dimensionierung der Schutzdioden **101**, **102** wird zweckmäßigerweise so gewählt, dass sie in einem string in Bereichen angeordnet sind, die von Solarzellen nicht bedeckt sind, die vorzugsweise als cropped corner cells ausgebildet sind, d. h. Solarzellen mit abgeschrägten bzw. abgeschnittenen Ecken. Dabei sollten die Schutzdioden **101**, **102** in den entfernten Ecken der Solarzellen insbesondere im Bereich voneinander angrenzender Solarzellen angeordnet sein, um die Solarzellen in nachstehend beschriebener Weise zu verschalten.

[0063] Anstelle von Schutzdioden **101**, **102** mit n/p-Übergang, als n-up-Dioden, können auch Schutzdioden mit vertauschter Dotierung für entsprechend dotierte Solarzellen benutzt werden. In diesem Fall werden die Dotierungen vertauscht, d. h. p → n und n → p.

[0064] In **Fig. 3** ist eine weitere Ausführungsform einer Schutzdiode **20** dargestellt, die die prinzipiell gleiche Funktion wie die Schutzdiode **101** ausübt. Flächenmäßig kann bei der Schutzdiode **20** zunächst der p/n-Übergang auf eine Seite der Oberfläche ganzflächig hergestellt werden. Beispielhaft ist Diffusion oder Ionen-Implantation eines entsprechenden Dotierstoffs oder epitaktisches Abscheiden von Schichten und anschließendes Entfernen (Abätzen) eines Teils des dem Substrat **21** entgegengesetzt dotierten Bereichs **22** zu nennen. Die in **Fig. 3** dargestellte Schutzdiode **20** ist eine solche des Typs p-up, wobei auf der p-leitenden Schicht **22** ein metallischer

Kontakt **23** aufgebracht ist. Beabstandet und elektrisch isoliert von diesem und im ohmschen Kontakt zum n-leitenden Substrat **21** ist der dritte metallische Kontakt **24** angeordnet. Entlang der Rückseite des Substrats **21** erstreckt sich der zweite metallische Kontakt **25** oder Rückkontakt.

[0065] Dass Schutzdioden zuvor beschriebener Art, also Schutzdioden **101**, **102** und **20** in verschiedenen Anwendungen vorteilhaft eingesetzt werden können, soll anhand der Schutzdiode **20** verdeutlicht werden können. Hierzu sind in dieser das elektrische Schaltbild (StKr) einschließlich der möglichen Anschlusspunkte K1, K2, K3, K4 und die im Inneren elektrisch wirkenden Elemente dargestellt, d. h., die Diode (P(p-up)), die Widerstände R1 und R3, die zwischen den Anschlüssen K1 und K2 bzw. K4 und K3 verlaufen, sowie der Widerstand R4, der im Ausführungsbeispiel horizontal durch das n-leitende Substrat **21** verläuft, und der Widerstand R2 dargestellt, der im rückseitigem Kontakt **25** herrscht.

[0066] Eine grobe Abschätzung des maximalen zusätzlich zum Spannungsabfall am p/n-Übergang auftretenden Spannungsverlustes ΔV in der Diode **20** aufgrund des Spannungsverlusts an den inneren Widerständen R1 bis R4 bei einem angenommenen Strom von $I = 1$ A errechnet sich aus $\Delta V = R \cdot I$ mit $R = [(R1 + R2 + R3) \cdot R4] / [R1 + R2 + R3 + R4]$. Die Abschätzung wurde so ausgeführt, dass die errechneten Widerstände immer größer sind als sie in der Realität tatsächlich wären. Der Spannungsverlust dementsprechend in der Realität kleiner ausfallen wird.

[0067] Als Rechenbeispiel diene eine Diode die der Diode **101** entspricht und aus 20 m Ω cm Si-Substrat ($\rho_1 = 2E-2 \Omega$ cm) hergestellt ist. Die Form entspricht der der **Fig. 6**, die Fläche der Diode **101** betrage $F_1 = 1$ cm², p- (**14**) und n- (**13**) Bereiche betrage jeweils $F_n = F_p = 0.5$ cm², wobei die doppelte Fläche der Diodenunterseite nicht berücksichtigt werde. Die Dicke der Diode **101** sei $D_1 = 150 \mu\text{m} = 0,015$ cm, die Länge der Trennungskante B1 zwischen den Kontakten **13** und **14** betrage $B_1 = 1.2$ cm, ihr Abstand S1 betrage $S_1 = 100 \mu\text{m} (0.01\text{cm})$, die Dicke D2 der Metallisierung ($\rho_2 = 1.6E-6 \Omega$ cm) aus Ag: $D_2 = 10 \mu\text{m} (0,001\text{cm})$, der Abstand A1 zwischen den Verbindern **40a** und **40b** betrage $A_1 = 0.5$ cm.

[0068] Die Abschätzung finde mit Hilfe der Formel für die Berechnung von Widerständen aus Spezifischem Widerstand ρ und äußerer Geometrie des Widerstands, d. h. Länge L und Querschnitt F statt: $R = \rho \cdot \text{Länge} / \text{Querschnitt} F$.

[0069] Für R1 und R3 (vertikaler Widerstand im Substrat **21**) gilt die Abschätzung:
 $\rho_1 = 2E-2 \Omega$ cm Silizium
für beide R1 und R2 gilt: Fläche $F = F_p$ (**14**) = F_n (**13**) = 0.5 cm²,

Länge $L = D_1 = 0.015$ cm

$R_1 = R_3 = 1.5E-4 \Omega$

Für R2 im Kontaktmetall aus Ag; Dicke $D_2 = 10 \mu\text{m} (0.001 \text{cm})$, $\rho = 1.6E-6 \Omega$ cm

F berechnet sich aus $F = D_2 \cdot B_1 = 0.0006\text{cm} \cdot 1,2\text{cm} = 7.2E-4 \text{cm}^2$,

Länge $L = A_1 = 0,5$ cm

$R_2 = 6,6E-4 \Omega$

Für R4 (horizontaler Widerstand im Substrat): $\rho_1 = 2E-2 \Omega$ cm Silizium

F bestimmt sich F aus der Dicke D1 und B1 zu $F = D_1 \cdot B_1 = 1,2$ cm,

Länge $L = A_1 = 0.01$ cm

$R_4 = 1,1E-2 \Omega$

Der Spannungsverlust $\Delta V = R \cdot I$:

$\Delta V = [(R_1 + R_2 + R_3) \cdot R_4] / [R_1 + R_2 + R_3 + R_4] \cdot I$

$\Delta V = 0.88E-3\text{V} = 0.88\text{mV}$.

[0070] In der Praxis wird dieser Spannungsabfall noch geringer zu realisieren sein.

[0071] Da bei Verwendung einer Silizium Diode der Spannungsabfall am p/n- Übergang ca. 0,68 V (680 mV) beträgt, wird der Spannungsabfall an den inneren Widerständen der Schutzdiode daher nur einen sehr geringen zusätzlichen Beitrag liefern.

[0072] Anhand der nachstehenden Erläuterungen soll der Einsatz der erfindungsgemäßen Schutzdioden unter Berücksichtigung von Standard-Verbindungstechniken von Solarzellen näher erläutert werden.

[0073] Das derzeit favorisierte Design einer Solarzelle **30** mit abgeschrägten Ecken („cropped corner“) **32** aus III-V-Material hergestellt unter Zugrundelegung eines Epitaxie-wafers **31** von 100 min Durchmesser ist schematisch der **Fig. 4** zu entnehmen, und zwar von der Lichteinfallseite her dargestellt. Die metallenen Stromsammelbalken **33** mit den Kontaktflächen **34** zum Anbringen der elektrischen seriellen Verbindungen (Verbinder) zwischen den Zellen **30** im string liegen auf der kürzeren Seite der beiden cropped corner **32** begrenzten Seite der beiden längeren Seiten, die unmittelbar an die im string seriell verbundenen Zellen angrenzen. Bei weitgehend optimaler Nutzung der wafer- Fläche betragen die Kantenlängen a, b, c der Zelle **30** z. B. $a = 8$ cm, $b = 4$ cm und $c = 1,35$ cm.

[0074] Auf string-Ebene verbleibt in diesem Fall somit bei einem Winkel von 45° zwischen den Kanten der Ränder b und c als nicht zur Konvertierung des Lichts benutzt eine dreieckige Fläche mit Kanten der Längen $L_d = \text{ca. } 0,95 \text{ cm} / 0,95 \text{ cm} / 1,35 \text{ cm}$, d. h. einer Fläche von $F_d = \text{ca. } 0,9 \text{ cm}^2$.

[0075] In **Fig. 5** ist im Querschnitt und im Ausschnitt rein schematisch eine mögliche Verbindungsart von Zelle zu Zelle und Zelle zu Diode dargestellt, wobei

Letztere dem Typ der [Fig. 2](#) entspricht. Zur Verdeutlichung ist das Stromverlaufsdigramm miteingezeichnet, das mit **4b7** gekennzeichnet ist.

[0076] Bei den Solarzellen **30a**, **30b** handelt es sich um solche des triple-Typs, wobei beispielsweise auf einem Germanium-Substrat eine Ge-Bottomzelle, auf diese eine GaInAs-Mittelzelle und schließlich eine GaInP-Topzelle aufgetragen sind, die durch Tunnelioden getrennt sind. Insoweit wird jedoch auf hinlänglich bekannte Solarzellentypen verwiesen. Die Solarzellen selbst werden über einen Kleber **4b6** auf einer Unterlage **4b5** befestigt. Lichteinfallseitig sind die Solarzellen **30a**, **30b** und damit auch die Schutzdioden **102** über einen Kleber **4b3a**, **4b3b** mittels eines Deckglases **4b2a**, **4b2b** abgedeckt.

[0077] Im Ausführungsbeispiel ist die oberste Halbleiterschicht der Zellen **30a**, **30b** n-leitend (n-up-Zellen), ohne dass hierdurch eine Einschränkung der erfindungsgemäßen Lehre erfolgt.

[0078] In einem üblichen Herstellungsverfahren von strings für panels, die die Funktion des Trägers **4b5** ausüben, werden zunächst die Verbinder **4b1** auf der Lichteinfallseite (Vorderseite) der Solarzellen **30a**, **30b** an den frontseitigen Kontaktflächen **34** befestigt. Sodann wird das Deckglas **4b2a** mittels des Klebers **4b3a** aufgebracht. In diesem Zustand wird die Solarzelle auch als CIC (connector integrated cell) oder SCA (solar cell assembly) bezeichnet. Die Solarzellen werden sodann zur Verbindung zu einem string umgedreht, so dass die Rückseite oben liegt. Sodann werden die Verbinder **4b1** durch z.B. Schweißen oder Löten elektrisch mit der Rückseite der angrenzenden Zelle, im Ausführungsbeispiel der Nachbarzelle **30b**, verbunden.

[0079] Zu diesem Zeitpunkt gestaltet sich die Einbringung einer erfindungsgemäßen Diode **102**, also im Ausführungsbeispiel einer n-up-Diode für eine n-up-Solarzelle **30a**, in eine der abgeschnittenen Ecken (cropped corner) der Zelle **30a** – oder in jede abgeschnittene Ecke eine entsprechende erfindungsgemäße Diode **102** – der gleichen Art, jedoch spiegelsymmetrisch im Design – besonders einfach. So werden an der p-leitenden Seite, also im dargestellten Fall der n-up-Diode auf dem metallischen Kontakt **15**, dem p-Kontakt ein dem Verbinder **4b1** entsprechender Verbinder **40b** und an den den n-leitenden Bereich **12** abdeckenden metallischen Kontakt **13** ein zweiter Verbinder **40a** angebracht, die Diode **102** in eine der cropped corner eingelegt, um sodann elektrisch leitende Verbindungen einerseits zwischen der Rückseite der Zelle **30b** und dem metallischen Kontakt **15** der Schutzdiode **102** und andererseits über den Verbinder **40a** zwischen dem Kontakt **13** und dem Rückkontakt der Solarzelle **30a** herzustellen (s. Stromdiagramm **4b7**). Bei Verwendung einer p-up-Diode sind die Kontakte **13** und **15** zu tau-

schon. Zweckmäßigerweise kann die Diode **102** ebenfalls mit einem Kleber **4b3b** mit einem Deckglas **4b2b** versehen sein oder das Deckglas **4b2a** der Zelle **30a** wird so groß ausgelegt, dass die Diode **102** unmittelbar eingeklebt und elektrisch in zuvor beschriebener Art verbunden werden kann.

[0080] Der weitere Verlauf der panel-Herstellung durch das Aufbringen des strings mittels des Klebers **4b6** auf die Unterlage **4b5** wird erkennbar durch den Einbau der Schutzdiode **102** nicht berührt.

[0081] Für eine p-up-Zelle vom prinzipiell demselben Design wie in [Fig. 5](#) ist z. B. eine Diode **102** mit entsprechender entgegengesetzter Dotierung in derselben Weis einsetzbar.

[0082] Der Einsatz der Diode **101** ([Fig. 1](#)) gestaltet sich noch einfacher, da ein Anbringen von Verbindern an der Diode **101** vor dem Einlegen in die string-Anordnung nicht erforderlich ist, wie sich aus der [Fig. 6](#) ergibt.

[0083] In [Fig. 6](#) ist rein schematisch ein Querschnitt durch eine mögliche Verbindungsart von Zelle **30a** zu Zelle **30b** und den Zellen **30a**, **30b** mit der Schutzdiode **101** dargestellt. Auch hier ist zur Verdeutlichung das Stromverlaufsdigramm **4b7** eingezeichnet.

[0084] Bei den Solarzellen **30a**, **30b** handelt es sich um solche, die im Zusammenhang mit der [Fig. 5](#) beschrieben worden sind, so dass auf die diesbezüglichen Ausführungen verwiesen wird. Folglich handelt es sich, ohne dass hierdurch eine Beschränkung der Erfindung erfolgen soll, um Solarzellen **30a**, **30b** des Typs n-up. Beim Standard-Herstellungsverfahren von strings für panels werden zunächst die Verbinder **4b1** auf der Lichteinfallseite der Solarzellen **30a**, **30b** an die Frontkontakte **34** angebracht, sodann das Deckglas **4b2a** mittels des Klebers **4b3** aufgebracht, die entsprechenden CICs genannten Solarzellen **30a**, **30b** zur Verbindung zu einem string umgedreht, so dass die Rückseite nach oben zeigt, um sodann die Verbinder **4b1** durch z. B. Schweißen oder Löten elektrisch mit der jeweiligen Nachbarzelle zu verbinden, also im Ausführungsbeispiel mit der Zelle **30b**.

[0085] Gleichzeitig wird – wie zuvor erläutert – die Schutzdiode **101** eingebracht, die entsprechend der n-up-Zelle eine n-up-Diode und antiparallel geschaltet ist. Das Anbringen der Schutzdiode **101** erfolgt dabei in einer der cropped corner der Zelle **30a**. Gegebenenfalls kann auch in jede cropped corner eine entsprechende Schutzdiode **101** eingebracht werden, wobei das Design spiegelsymmetrisch ist. Das Anbringen ist dabei im Vergleich zu der Gestaltung der [Fig. 5](#) noch einfacher, da nach dem Einlegen der Diode **101** in die Anordnung der nebeneinander liegenden Zellen **30a**, **30b** einzig und allein die Verbinder **40a** und **40b** zwischen der sich entlang der n-do-

tierten Schicht **12** erstreckenden metallischen Schicht bzw. dem ersten metallischen Kontakt **13** mit der Rückseite der Solarzelle **30a** und der unmittelbar auf dem p-leitenden Substrat **11** verlaufende elektrisch leitende zweite Kontakt **14** mit der Rückseite der Solarzelle **30b** in einer Art verbunden werden muss, wie dies auch zwischen den Zellen erfolgt. Zweckmäßigerweise kann auch hier die Diode **101** durch einen Kleber **4b3b** mit einem Deckglas **4b2b** versehen sein oder das Deckglas der Zelle **4b2a** wird groß genug ausgelegt, um die Diode **101** unmittelbar einzukleben und elektrisch auf diese Art zu verbinden.

[0086] Der weitere Verfahrensablauf der panel-Herstellung wie das Aufbringen des strings mittels eines weiteren Klebers **4b6** auf die Unterlage **4b5** wird durch den Einbau der Diode **101** nicht berührt.

[0087] Der zuvor erläuterte Prozess mit den wesentlichen Verfahrensschritten ist noch einmal rein prinzipiell in der **Fig. 15** dargestellt.

[0088] Für eine p-up-Zelle mit vom Prinzip her demselben Design wie dem der **Fig. 6** ist eine Diode entsprechend der der **Fig. 1** mit der Einschränkung einsetzbar, dass das Substrat n-leitend und die dotierte Oberflächenschicht p-leitend ist.

[0089] Ferner besteht die Möglichkeit, die Schutzdiode **101** zwischen der ersten Solarzelle **30a** und der zweiten Solarzelle **30b** derart zu verschalten, dass der erste Kontakt **13** mit dem Rückseitenkontakt der zweiten Solarzelle **30b** und der dritte Kontakt **14** mit der Rückseite der ersten Solarzelle **30a** verbunden wird. Bei entsprechender Verschaltung muss der p/n-Übergang entsprechend umdotiert sein.

[0090] In **Fig. 7** sind im Ausschnitt zwei Teilansichten eines strings von Zellen **30a**, **30b** mit Schutzdioden **101** von der Rückseite aus betrachtet dargestellt, die zu einem string verschaltet werden. Dabei unterscheiden sich die Zellenstrings dahingehend, dass das Design der Verbindungen zwischen der Schutzdiode **101** und den Solarzellen **30a** bzw. Solarzellen **30b** voneinander abweicht.

[0091] Der **Fig. 8** ist eine bevorzugte Weiterbildung und Nutzung der erfindungsgemäß Schutzdiode zu entnehmen, die nicht nur antiparallel zu einer Solarzelle geschaltet wird, sondern gleichzeitig als Teil der Verbindung zwischen aneinander grenzenden Zellen dient. Die vereinfachte panel-Fertigung ergibt sich aus den **Fig. 8** bis **Fig. 10** und **Fig. 16**, wobei ebenfalls – ohne Einschränkung der Allgemeinheit – die zu verbindenden Solarzellen **50a**, **50b** des Typs n-up-Zelle sind. Dabei werden vorteilhafterweise zwei Schutzdioden **101** – in zweckmäßiger Weise spiegelsymmetrischem Design – zum Verbinden aufeinander folgender Solarzellen **50a**, **50b** benutzt, wie

sich dies unmittelbar aus den **Fig. 9** und **Fig. 10** ablesen lässt. Dabei wird jeweils eine Schutzdiode **101** in einer abgeschrägten Ecke der Solarzelle **50a** vor dem Aufbringen des gemeinsamen Deckglases **5a2** mittels eines Klebers **5a1** durch einen Verbinder **5a3** elektrisch dergestalt verbunden, dass die Vorderseite der Zelle **50a** mit der Unterseite der Diode **101** verbunden ist, d. h. der zweite Kontakt **15** bzw. **25** gemäß **Fig. 1**, **Fig. 3** entlang Frontseite der zu einem string verschalteten Solarzellen **50a**, **50b** verläuft. Hierzu sind im Design der Zelle **50a** Kontaktflächen **5a** am Randbereich der abgeschrägten Ecken (cropped corner) ausgebildet, die mit den Stromsammelbacken **5a7** verbunden sind. Die Solarzelle **50a** mit Schutzdioden **101** ist sodann durch Anbringung eines Verbinders **40a** zwischen dem unmittelbar mit dem Substrat **11** der Schutzdiode **101** kontaktierten metallischen Kontakt **14** und der Rückseite der Zelle **50b** und durch Anbringen eines Verbinders **40b** zwischen dem auf der p-dotierten Schicht **12** angeordneten elektrisch leitendem Kontakt **13** und der Rückseite der Solarzelle **50a** verbunden und in dem string integriert. Die weitere Aufbringung auf das panel entspricht zuvor erfolgter Erläuterungen.

[0092] In **Fig. 8** ist das Stromdiagramm **5a4** mit den relevanten Dioden und Widerständen eingezeichnet.

[0093] Der Verbinder **40b** kann – wie dem Verfahrensablauf in **Fig. 16** zu entnehmen ist – auch vor dem Aufbringen des gemeinsamen Deckglases **5a2** zwischen der Rückseite der Zelle **50a** und dem Kontakt **13** der Diode **101** angebracht werden.

[0094] Der **Fig. 16** ist rein prinzipiell der Verfahrensablauf zu entnehmen, um die Schutzdiode **101** mit den Solarzellen **50a**, **50b** bzw. antiparallel zu der Solarzelle **50a** zu verschalten. So werden zunächst in den „freien“ Ecken der Solarzellen **50a**, **50b** die Schutzdioden **101** angeordnet und die Frontkontakte der ersten Solarzellen **50a** und der zweiten Solarzellen **50b** jeweils mit den üblicherweise als Rückkontakt zu bezeichnenden zweiten Kontakten von Schutzdioden **101** verbunden. Dabei ist jeder ersten und zweiten Solarzelle **50a**, **50b** eine gesonderte Schutzdiode **101** zugeordnet. Hierzu wird ein erster Verbinder **5a3** benutzt. Zu diesem Zeitpunkt kann auch schon der Verbinder **40b** angebracht werden. Sodann wird auf jeweils eine Solarzelle mit dieser verschalteter Schutzdiode ein Deckglas **5a2** geklebt, so hergestellte Einheiten umgedreht und sodann falls teilweise nicht schon zuvor geschehen die ersten und dritten Kontakte **13**, **14** von Schutzdioden **101** mit ersten und zweiten Solarzellen verbunden wie verschießt, um die Solarzellen seriell zu einem string bei gleichzeitiger Integration der Schutzdioden zu verbinden. Nach dem Wenden des so hergestellten strings wird dieser in gewohnter Weise auf ein panel geklebt.

[0095] Eine Abschätzung des durch die Anwendung

der Schutzdiode in der beispielhaften Art entstehenden zusätzlichen Spannungsabfalls zwischen den Zellen **50a** und **50b** kann für dieses Beispiel wieder aus der [Fig. 3](#) entnommen werden. Hierbei fließt der Strom vom Anschlusspunkt K2 nach K4. Der Strom wird durch serielle Widerstände R2 + R3 fließen (die Widerstände R3 + R4 liegen parallel und vermindern höchstens den Gesamtwiderstand), der Spannungsabfall bei I = 1A Stromfluss wird daher höchstens Δ

$$V = (R2 + R3) \cdot I = (6,6E-4 + 1.5E-4) \cdot 1A = 8,1E-4 V = 0.81 \text{ mV}$$

und wird in der Praxis geringer sein.

[0096] Die Tendenz zu größeren Solarzellen macht die Einführung von Solarzellen mit den Hauptachsen von ca. 8 cm·8 cm immer wahrscheinlicher. Dabei wird pro 4"-wafer eine Zelle hergestellt, so dass die Reduzierung des fertigen Aufwandes von besonderer Bedeutung damit die Anwendung leicht zu integrierender diskreter Schutzdioden wichtig ist.

[0097] [Fig. 11](#) zeigt ein mögliches Design einer solchen Solarzelle **60** mit insgesamt 4 cropped corner **62**. Entsprechende Solarzellen **60** können gemäß zuvor erfolgter Erläuterungen mit ein oder zwei Schutzdioden von entsprechendem Design mit Nachbarzellen verschaltet werden.

[0098] Durch ein spezielles Design einer Solarzelle **70** gemäß [Fig. 12](#), bei der Stromsammelbacken **73** elektrisch leitend mit allen vier im Bereich der Ränder bzw. Kanten der cropped corner **76** verlegten Kontaktflächen **7** verbunden ist, können vier Dioden **10a1**, **10a2**, **10b1**, **10b2** die Zelle **70** schützen und die Verbindung zur vorausgehenden Zelle **70a** – nachfolgend Zelle **70b** – entsprechend der Erläuterungen im Zusammenhang mit der [Fig. 8](#) allein entlang der Rückseite erfolgen. Dabei erfolgt eine innere Verbindung der Zellen mit dem erfindungsgemäßen Schutzdioden und äußere Verbindungen untereinander mit den erfindungsgemäßen Schutzdioden. So zeigt [Fig. 13](#) rein prinzipiell einen Querschnitt durch ein panel mit Zellen **70**, die jeweils vier cropped corner aufweisen. Die Verbindung der Zellen untereinander erfolgt über sogen. äußere Verbinder **711** auf der Rückseite der SCA **75** (SCA = solar cell assembly = Solarzelle **70** und verbundene Diode **10a1**, **10a2**, **10b2**, **10b2** vorderseitig (lichteinfallseitig) durch den Kleber **78** mit einem gemeinsamen Deckglas **77** versehen) mittels der Schutzdioden **10a1**, **10a2**, **10b1**, **10b2**, die durch sogen. innere Verbinder **76** (innerhalb des SCAs) mit der Zelle verbunden sind.

[0099] Als Dioden **10b1** und **10b2** können sowohl die Dioden entsprechend der [Fig. 2](#) als auch die den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) entsprechenden Schutzdioden umgekehrter Leitfähigkeit verwendet werden, da der Kontakt **14** der Diode entsprechend [Fig. 1](#) nicht für

die Anbringung eines Verbinders benötigt wird und die Fläche des Kontakts **13** zur Minderung des elektrischen Widerstands in der Diode die ganze Fläche der Vorderseite einnehmen kann.

[0100] Eine Variante der äußeren Verbindung ist der [Fig. 14](#) schematisch zu entnehmen. Da keine Gefahr des Kurzschlusses an den Seiten der Dioden **10a1** und benachbart zu dieser verlaufenden des Typs der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) mit umgekehrter Leitfähigkeit besteht, kann je eine Hälfte des äußeren Verbinders über die Seite des Deckglases **77** auf die Vorderseite des CIC geführt werden, um eine elektrische Verbindung durch z. B. Schweißen oder Löten (s. Pfeil) durchzuführen. Der Vorteil einer diesbezüglichen Technologie liegt darin, dass bis kurz vor der endgültigen Fertigstellung des panels das SCA vermessen werden kann und im Falle von Störungen eine Reparatur, z. B. der Austausch eines SCA relativ einfach durchführbar wäre. Ein diesbezüglicher Verbinder bietet auch die Möglichkeit, Vorderseite des Deckglases **77** gegen elektrostatische Aufladung mit der Zelle zu verbinden.

[0101] Insbesondere aus den [Fig. 7](#), [Fig. 9](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 12](#) ergibt sich, dass die Schutzdioden **20**, **101** in Draufsicht eine Dreiecksgeometrie, vorzugsweise eine solche mit rechtem Winkel und insbesondere gleich langen Schenkeln aufweisen. Andere Geometrien sind gleichfalls möglich. Unabhängig hiervon füllen die Schutzdioden die zwischen den Solarzellen durch die cropped corner bedingten Freiräume aus.

Patentansprüche

1. Solarzellenanordnung umfassend zumindest eine erste Solarzelle (**30a**, **50a**, **60**, **70**) mit zwischen Front- und Rückkontakt (**34**) verlaufenden photoaktiven Halbleiterschichten sowie zumindest eine mit der Solarzelle verbundene diskrete Schutzdiode (**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) mit einem aus Halbleitermaterial einer ersten Leitfähigkeit bestehenden Substrat (**11**, **21**), in einem Oberflächenbereich des Substrats ausgebildeter Schicht (**12**) oder auf den Oberflächenbereich aufgetragener Schicht (**22**) zweiter Leitfähigkeit, einen ersten metallischen Kontakt (**13**, **23**) auf der Schicht der zweiten Leitfähigkeit und einen zweiten metallischen Kontakt (**15**, **25**) auf zum Oberflächenbereich gegenüberliegender Seite des Substrats, wobei von dem ersten und/oder dem zweiten metallischen Kontakt Verbinder (**5a3**, **4b7**, **40a**, **40b**, **40c**, **200**, **2020**) zum Verschalten der Schutzdiode ausgehen, **dadurch gekennzeichnet**, dass neben dem ersten metallischen Kontakt (**13**, **23**) und ein zu diesem beabstandeter und elektrisch über einen p/n-Übergang verbundener dritter metallischer Kontakt (**14**, **24**) vorgesehen ist, der unmittelbar mit dem Substrat (**11**, **21**) der Schutzdiode (**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) kontaktiert ist und dass von dem ersten

oder dem dritten metallischen Kontakt (**13**, **23**; **14**, **24**) ein weiterer Verbinder (**40a**, **40b**) ausgeht, der mit einer weiteren zweiten Solarzelle (**30b**, **50b**, **70b**) verbunden ist, die ihrerseits mit der ersten Solarzelle (**30a**, **50a**, **70**) zu einem string verschaltet ist.

2. Solarzellenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der dritte metallische Kontakt (**14**, **24**) mit Rückseite der ersten Solarzelle (**30a**, **50a**, **70**) und der zweite metallische Kontakt (**15**, **25**) mit Frontseite der zweiten Solarzelle (**30b**, **50b**, **70b**) verbunden ist und umgekehrt.

3. Solarzellenanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzdiode (**101**) über den dritten metallischen Kontakt (**14**) antiparallel zu der ersten Solarzelle (**30a**) über die zweite Solarzelle (**30b**) verschaltet ist.

4. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzdiode (**101**) über den ersten metallischen Kontakt (**13**) antiparallel zu der ersten Solarzelle (**30a**) über die zweite Solarzelle (**30b**) verschaltet ist.

5. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Solarzelle (**70**, **74b**) über zumindest zwei Schutzdioden (**10a1**, **10b2**) verbunden sind und dass ein zweiter metallischer Kontakt (**711**) der einen ersten Schutzdiode (**10b2**) sowohl mit dem Rückkontakt der zweiten Solarzelle (**70b**) als auch mit dem dritten metallischen Kontakt der zweiten Schutzdiode (**10a1**) verbunden ist, deren zweiter metallischer Kontakt mit dem Frontkontakt der ersten Solarzelle (**70**) verbunden ist (Fig. 13, Fig. 14).

6. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein von dem zweiten metallischen Kontakt der ersten Schutzdiode (**10b2**) ausgehender Verbinder (**200**) mit einem von dem dritten metallischen Kontakt der zweiten Schutzdiode (**10a1**) ausgehenden Verbinder (**202**) über der Vorderseite der ersten und zweiten Solarzelle (**70**, **70b**) bzw. deren Deckgläser (**75a**, **75c**) vorsteht und außerhalb der Deckgläser vorzugsweise durch Schweißen oder Löten verbunden sind (Fig. 14).

7. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Solarzelle (**30a**, **50a**, **70**) und/oder die zweite Solarzelle (**30b**, **50b**, **70b**) in Draufsicht eine Rechteckform mit abgeschrägten Ecken ist und dass die zumindest eine Schutzdiode (**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) im Bereich einer der abgeschrägten Ecken verläuft.

8. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere zu einem string verschaltete Solarzellen über im Bereich von abgeschrägten Ecken angeordneten Schutzdioden

(**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) verschaltet sind.

9. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzdiode (**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) in Draufsicht eine Dreiecksgeometrie aufweist.

10. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzdiode (**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) die Geometrie einer Dreieckssäule aufweist.

11. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzdiode (**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) eine Grundfläche F von vorzugsweise in etwa $0,7 \text{ cm}^2 \leq F \leq 1 \text{ cm}^2$, insbesondere von in etwa $0,8 \text{ cm}^2 \leq F \leq 0,9 \text{ cm}^2$ aufweist.

12. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass vorzugsweise in jeder abgeschrägten Ecke der ersten und/oder zweiten Solarzelle (**30a**, **50a**, **70**; **30b**, **50b**, **70b**) eine Schutzdiode (**101**, **20**, **10a1**, **10b2**, **10b3**) angeordnet ist.

13. Solarzellenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei über die Schutzdioden (**102**) verschalteten Solarzellen (**30a**, **30b**) der dritte metallische Kontakt einer der Schutzdioden mit dem ersten metallischen Kontakt verbunden ist und dass sich unter dem ersten und dem dritten metallischen Kontakt (**14**) die Schicht (**12**) der zweiten Leitfähigkeit erstreckt.

14. Solarzellenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Leitfähigkeit n-leitend und die zweite Leitfähigkeit p-leitend oder umgekehrt ist.

15. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Solarzelle (**30a**, **50a**, **70**) und/oder die zweite Solarzelle (**30b**, **50b**, **70b**) eine triple-Zelle mit vorzugsweise einer Ge-Bodenzelle, vorzugsweise einer GaInAs-Mittelzelle und vorzugsweise einer GaInP-Topzelle ist.

16. Solarzellenanordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwei nebeneinander angeordnete Solarzellen (**70**, **70b**) über zwei Schutzdioden (**10a1**, **10b2**) verbunden sind, dass die Solarzellen solarzellenfrontseitig n-leitend sind, dass eine der Schutzdioden (**10b2**) frontseitig p-leitend ist und dass die andere Schutzdiode (**10a1**) rückseitig n-leitend ist und einen dritten metallischen Kontakt auf-

weist ([Fig. 13](#)).

17. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass rückseitiger Kontakt der ersten Schutzdiode (**10b2**) sowohl mit Rückseite einer (zweiten) Solarzellen (**70b**) als auch mit dem dritten metallischen Kontakt der zweiten Schutzdiode (**10a1**) verbunden ist, dass im string frontseitig verlaufender Kontakt der zweiten Schutzdiode mit Frontkontakt der anderen (ersten) Solarzelle (**70**) verbunden ist und dass der im string rückseitig verlaufende erste metallische Kontakt der zweiten Schutzdiode mit Rückseite der ersten Solarzelle verbunden ist ([Fig. 14](#)).

18. Solarzellenanordnung nach zumindest Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei Solarzellen mit p/n-Übergang die erste Schutzdiode einen n/p-Übergang und die zweite Schutzdiode einen p/n-Übergang aufweist.

19. Verfahren zum Verschalten eines Solarzellenstrings vorzugsweise unter Verwendung von Schutzdioden gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

- Anordnen der Solarzellen mit der Rückseite auf einer Unterlage,
- Verbinden frontseitiger Kontakte der Solarzellen mit ersten Verbindern,
- Befestigen einer oder mehrerer transparenter Abdeckungen auf den Frontseiten der Solarzellen,
- Wenden der Solarzellen,
- Verbinden der ersten und zweiten Solarzellen über die ersten Verbinder zu dem string,
- Einbringen von Schutzdioden in zwischen den Solarzellen vorhandene Freiräume,
- Verbinden der Schutzdioden mit den Solarzellen und
- Verbinden so hergestellten strings mit einer Unterlage ([Fig. 6](#)).

20. Verfahren zum Verschalten eines Solarzellenstrings vorzugsweise unter Verwendung von Schutzdioden gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

- Anordnen der Solarzellen mit der Rückseite auf einer Unterlage,
- Einbringen von Schutzdioden in zwischen den Solarzellen vorhandene Freiräume,
- Verbinden frontseitiger Kontakte der Solarzellen mit den im string frontseitig verlaufenden zweiten Kontakten (Rückseitenkontakte) der Schutzdioden,
- Verbinden frontseitiger Kontakte der Solarzellen mit ersten Verbindern,
- Befestigen einer oder mehrerer transparenter Abdeckungen auf den Frontseiten der Solarzellen sowie den Schutzdioden,

- Verbinden der ersten bzw. dritten Kontakte der im string rückseitig verlaufenden ersten und dritten Kontakten (Frontkontakte) der Schutzdioden mit rückseitigen Kontakten benachbarter Solarzellen,
- Wenden der Solarzellen und
- Verbinden so hergestellter strings mit einer Unterlage ([Fig. 8](#)).

21. Verfahren nach zumindest Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass Schutzdioden mit ihren zweiten Kontakten im frontseitigen Bereich der Solarzellen angeordnet werden und dass benachbarte Solarzellen über zumindest jeweils eine Schutzdiode in Serie verschaltet werden bei gleichzeitiger antiparalleler Verschaltung der Schutzdiode zu einer der benachbarten Solarzelle ([Fig. 6](#)).

22. Verfahren nach zumindest Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen zwei benachbarten Solarzellen zwei Schutzdioden angeordnet werden, von denen eine Schutzdiode mit ihrem zweiten Kontakt und die andere Schutzdiode mit ihrem ersten und dritten Kontakt im frontseitigen Bereich der Solarzellen angeordnet werden, dass die benachbarten Solarzellen über die zwei Schutzdioden in Serie verschaltet werden und dass die Schutzdioden über im Bereich der Rückseiten der Solarzellen verlaufende Kontakte verschaltet werden ([Fig. 13](#)).

23. Verfahren nach zumindest Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass von im Bereich der Rückseiten der Solarzellen verlaufenden Kontakten der Schutzdioden zweite Verbinder ausgehen, die außerhalb der Solarzellenstrings und in dessen frontseitigem Bereich verbunden werden ([Fig. 14](#)).

24. Diode (**101, 20, 10a1, 10b2, 10b3**) mit einem aus Halbleitermaterial einer ersten Leitfähigkeit bestehenden Substrat (**11, 21**), einer in einem Oberflächenbereich des Substrats ausgebildeten Schicht (**12, 22**) oder auf den Oberflächenbereich aufgetragenen Schicht zweiter Leitfähigkeit, einem ersten metallischen Kontakt (**13, 23**) auf der Schicht der zweiten Leitfähigkeit, einem zweiten metallischen Kontakt (**15, 25**) auf zum Oberflächenbereich gegenüberliegender Seite des Substrats und einem neben dem ersten metallischen Kontakt und zu diesem beabstandet und elektrisch isoliert über einen p/n-Übergang verbundenen dritten metallischen Kontakt (**14, 24**), der unmittelbar mit dem Substrat der Schutzdiode kontaktiert ist, zur Verwendung als Schutzdiode in einer Halbleiteranordnung.

25. Diode nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der p/n-Übergang in der Schutzdiode durch einen Schottky-Kontakt ersetzt ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

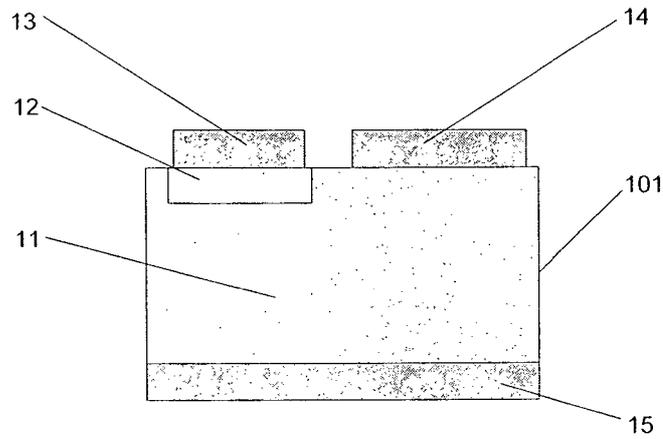


Fig. 1

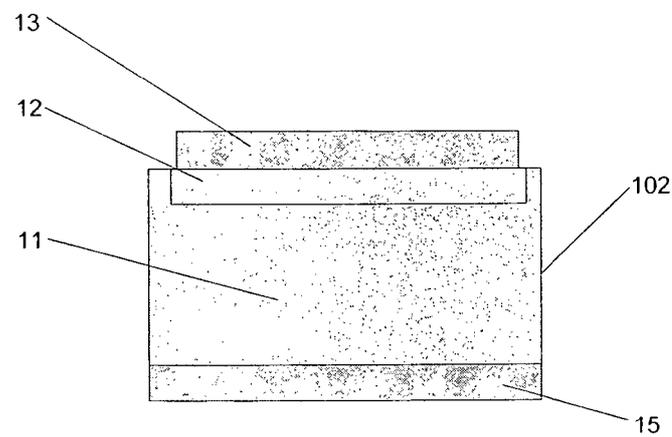


Fig. 2

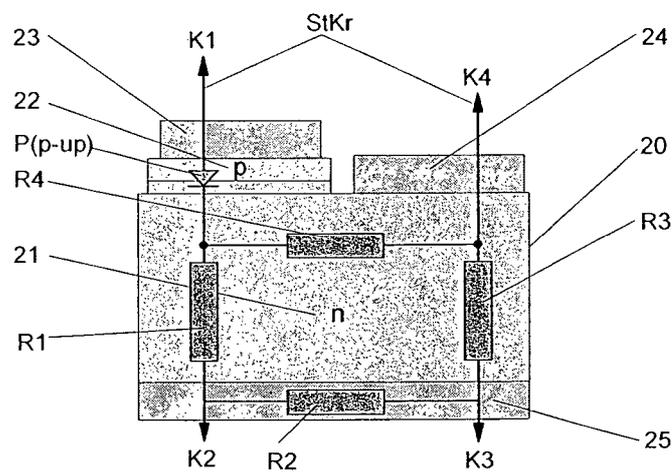


Fig. 3

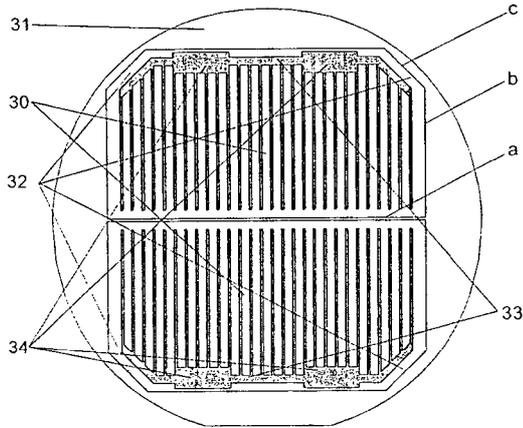


Fig. 4

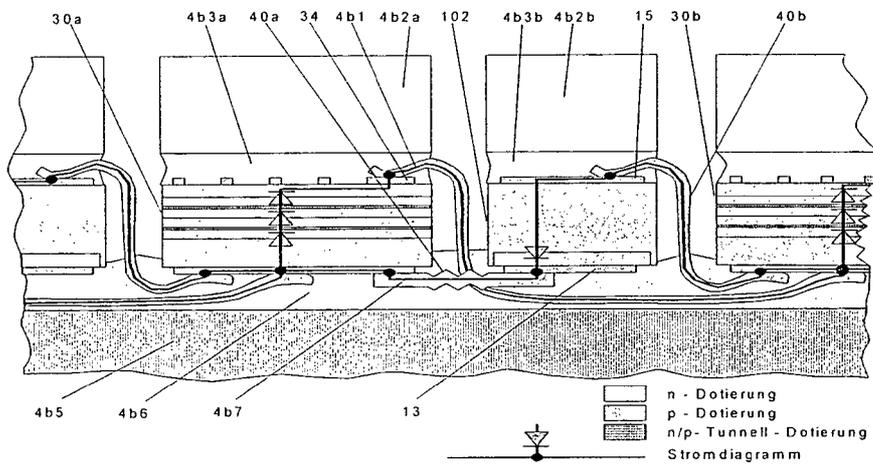


Fig. 5

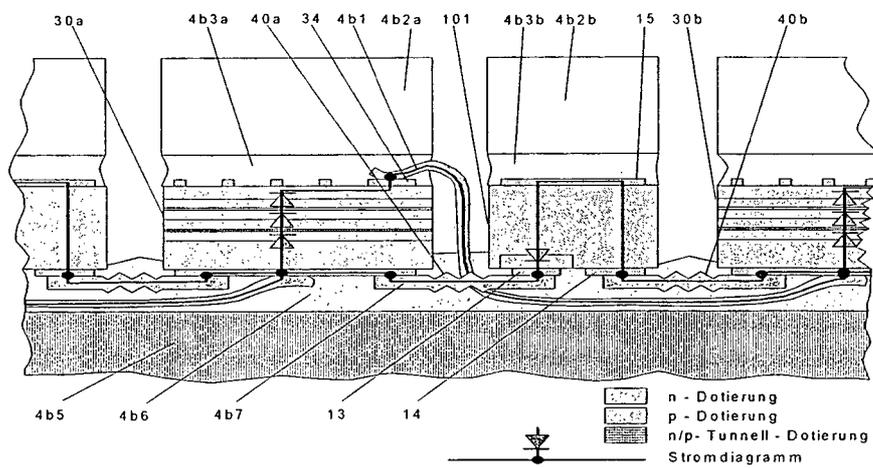


Fig. 6

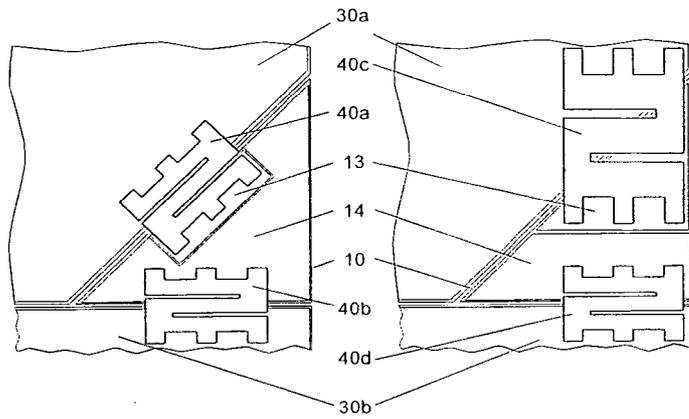


Fig. 7

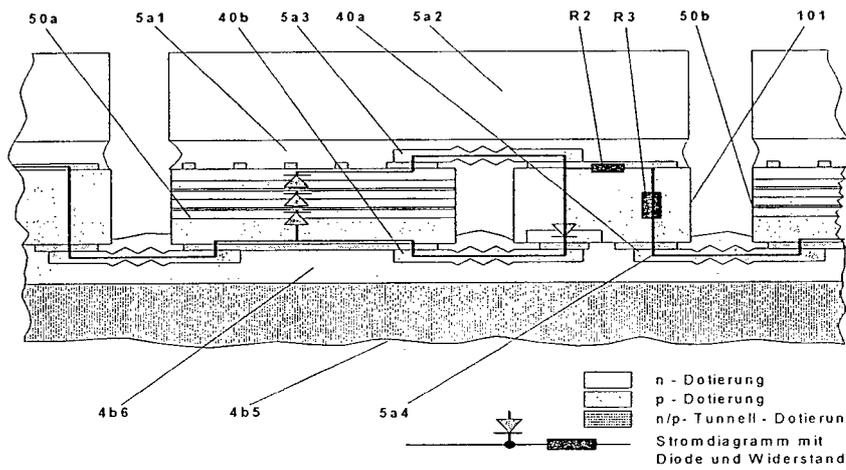


Fig. 8

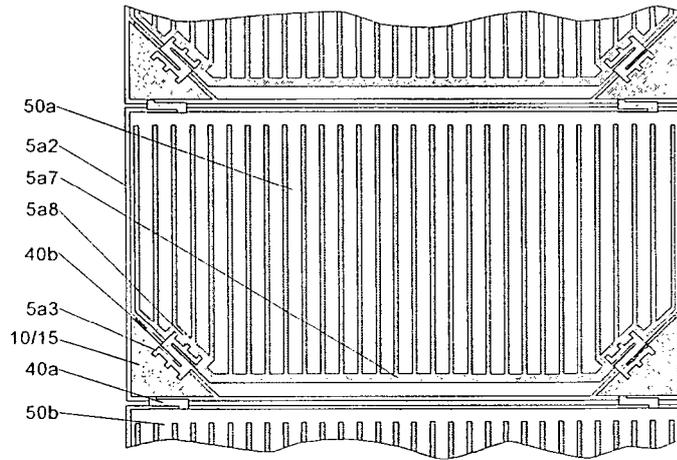


Fig. 9

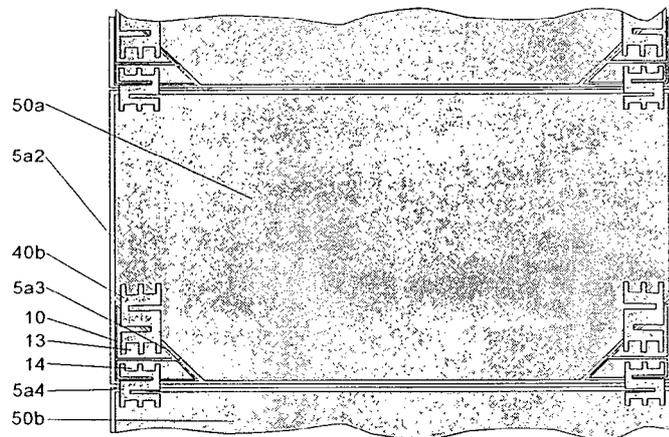


Fig. 10

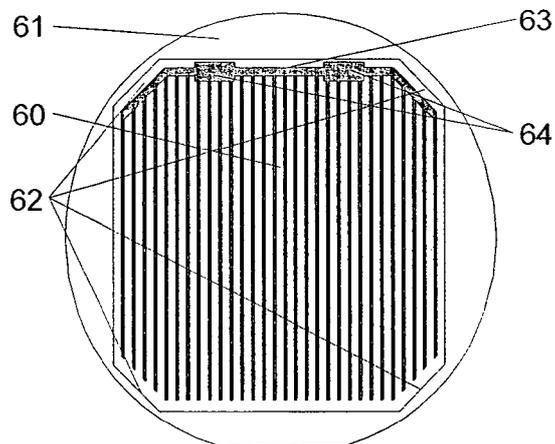


Fig. 11

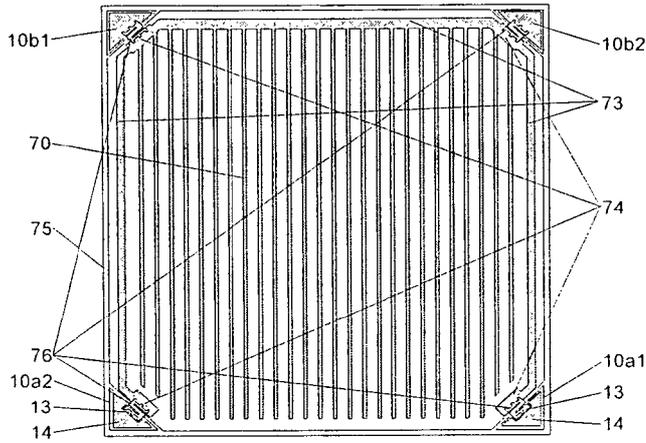


Fig. 12

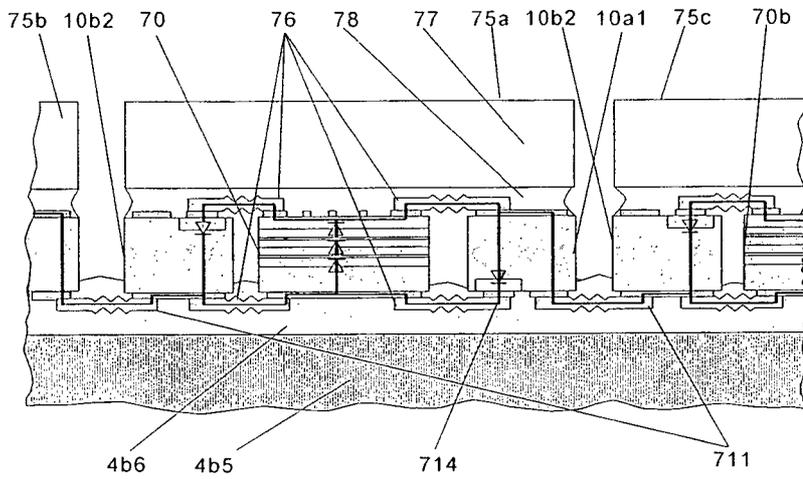


Fig. 13

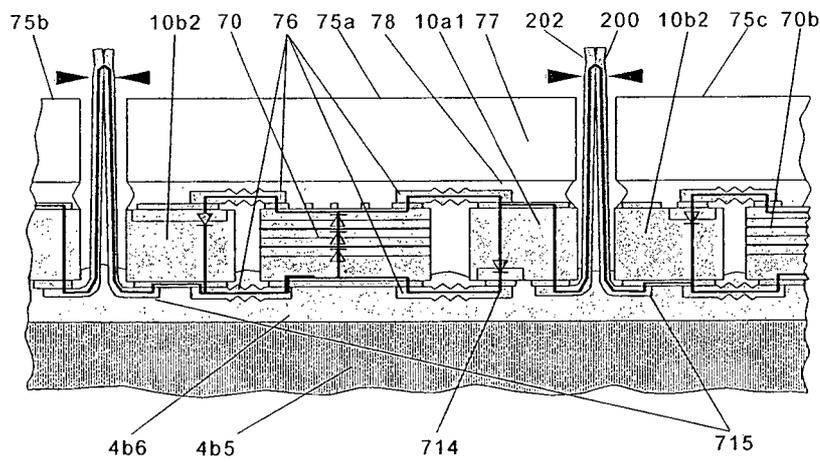


Fig. 14

