



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 20 868 A1 2004.12.09

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 20 868.2
(22) Anmeldetag: 09.05.2003
(43) Offenlegungstag: 09.12.2004

(51) Int Cl.7: H01L 31/05
H01L 31/04

(71) Anmelder:
Bayerisches Zentrum für angewandte
Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), 91058
Erlangen, DE

(72) Erfinder:
Brendel, Rolf, Dr., 91058 Erlangen, DE; Kintzel,
Wolfram, 91207 Lauf, DE

(74) Vertreter:
v. Bezdold & Sozien, 80799 München

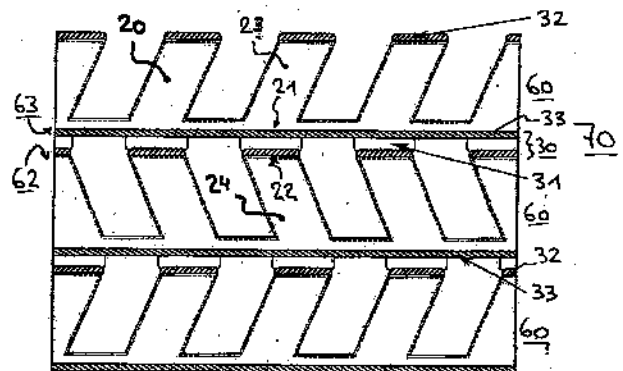
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
US 41 74 561

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Photovoltaikereinrichtung und Verfahren zu deren Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Es werden Verfahren zur Herstellung mindestens eines Solarzellenmoduls mit einer Vielzahl von elektrisch in Reihe geschalteten Solarzellen (20, 23, 24) beschrieben, mit den Schritten: Strukturierung von scheibenförmigen Halbleiterkörpern (60) mit Vorder- und Rückseiten (62, 63), wobei auf den Vorderseiten (62) Solarzellen (20) gebildet werden, die voneinander durch grabenförmige Vertiefungen (64) getrennt sind, Dotierung der Oberfläche der Solarzellen (20) entgegengesetzt zur Dotierung des jeweiligen Halbleiterkörpers (60), Bildung eines Stapels (70) der Halbleiterkörper (60), wobei die Vorder- und Rückseiten (62, 63) benachbarter Halbleiterkörper (60) jeweils über eine elektrisch leitfähige Kontaktschicht (30) miteinander fest so verbunden werden, dass die Solarzellen (20) zueinander ausgerichtet angeordnet sind, und Durchtrennung der Halbleiterkörper (60) entlang den grabenförmigen Vertiefungen (64), so dass das mindestens eine Solarzellenmodul als Stapel von Solarzellen (20, 23, 24) gebildet wird. Es werden auch Photovoltaikereinrichtungen beschrieben, die mit diesen Verfahren hergestellt sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Photovoltaikeinrichtungen mit mindestens einem integrierten Solarzellenmodul und Verfahren zur Herstellung von Photovoltaikeinrichtungen.

[0002] Es ist bekannt, dass der Wirkungsgrad von Solarzellen mit zunehmender Fläche wegen Serienwiderstandsverlusten der Solarzelle abnimmt. Durch die mit der Zellfläche zunehmende elektrische Stromstärke kommt es zu unerwünscht hohen Verlusten. Zur Vermeidung dieser Verluste werden Solarzellen elektrisch in Reihe geschaltet (Bildung eines Solarzellenmoduls), wobei sich vorteilhafterweise die Ausgangsspannungen der einzelnen Solarzellen addieren.

Stand der Technik

[0003] Es ist ferner bekannt, integrierte Solarzellenmodule aus texturierten Solarzellen auf einem Halbleiterwafer herzustellen, auf dem die Solarzellen einzeln verdrahtet und als Modul einlaminiert werden (siehe S. Keller, Dissertation Universität Konstanz, 2000, "Neue Konzepte für monolithisch integrierte kristalline Solarzellen"). Diese Technik ist nachteilig, da sie mit einem erheblichen technischen Aufwand verbunden ist. Die Solarzellen müssen einzeln strukturiert werden. Die Verdrahtung der einzelnen Solarzellen durch Verlöten ist ebenfalls technisch aufwendig und teuer. Ein wesentlicher Nachteil des fertigen Solarzellenmoduls ergibt sich aus den Abschattungsverlusten durch metallische Kontaktfinger, über die die Solarzellen elektrisch verbunden werden. Diese Abschattungsverluste können bis zu 15% betragen.

[0004] Die Abschattungsverluste können mit integrierten Solarzellenmodulen vermindert werden, bei denen die Solarzellen so angeordnet sind, dass gerade ein p-dotierter Bereich einer Solarzelle an den n-dotierten Bereich einer benachbarten Solarzelle angrenzt. Beispielsweise wird in WO 02/45143 beschrieben, durch eine Strukturierung eines Halbleiterwafers streifenförmige Solarzellen herzustellen, die an gegenüberliegenden Längsseiten p- und n-dotiert sind. Die zunächst im Verbund mit dem Halbleiterwafer nebeneinander angeordneten Solarzellen werden vom Halbleiterwafer abgetrennt und zur gewünschten Ausrichtung der p- und n-dotierten Bereiche auf einem Fremdsubstrat fixiert. Nach der Positionierung der Solarzellen auf dem Fremdsubstrat werden elektrische Verbindungen auf den p- und n-dotierten Bereichen hergestellt. Das aus WO 02/45143 bekannte Verfahren besitzt mehrere Nachteile. Erstens kann der Abschattungsverlust nicht vollständig vermieden werden. Des Weiteren ist der technische Aufwand der Modulherstellung sehr hoch. Die streifenförmigen Solarzellen mit typischen Querschnittsdimensionen im mm- bis sub-mm-Bereich er-

fordern besondere Maßnahmen für eine schonende Handhabung. Die Solarzellen müssen auf einem Fremdsubstrat angeordnet werden. Schließlich können die Solarzellenmodule nur beschränkt für spezielle Anwendungen modifiziert werden.

Aufgabenstellung

[0005] Die Aufgabe der Erfindung ist es, verbesserte Photovoltaikeinrichtungen auf der Grundlage mindestens eines Solarzellenmoduls bereitzustellen, mit denen die Nachteile der herkömmlichen Photovoltaikeinrichtungen vermieden werden und die insbesondere einfacher herstellbar sind. Erfindungsgemäße Photovoltaikeinrichtungen sollen sich insbesondere durch die Vermeidung von Abschattungsverlusten und eine erhöhte Gestaltungsflexibilität zur Anpassung an verschiedene Einsatzbedingungen auszeichnen. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, verbesserte Verfahren zur Herstellung von Photovoltaikeinrichtungen bereitzustellen, mit denen die Nachteile der herkömmlichen Techniken vermieden werden. Erfindungsgemäße Verfahren sollen insbesondere einen vereinfachten Verfahrensablauf aufweisen und die Bearbeitung empfindlicher Solarzellenstreifen vermeiden.

[0006] Diese Aufgaben werden mit Photovoltaikeinrichtungen und Verfahren mit den Merkmalen gemäß den Patentansprüchen 1 und 12 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0007] Vorrichtungsbezogen basiert die vorliegende Erfindung auf der allgemeinen technischen Lehre, bei einem integrierten Solarzellenmodul aus einer Vielzahl von elektrisch in Reihe geschalteten Solarzellen elektrische Kontakte zwischen p-dotierten und n-dotierten Bereichen benachbarter Solarzellen jeweils durch eine elektrisch leitfähige Kontaktschicht zu bilden, die zwischen den benachbarten Solarzellen angeordnet ist. Vorteilhafterweise wird der elektrische Kontakt zwischen den aneinanderstoßenden Kontaktbereichen benachbarter Solarzellen mit der Kontaktschicht bereitgestellt. Die übrige Oberfläche der Solarzellen außerhalb der Kontaktbereiche, also die freie Oberfläche des Solarzellenmoduls ist frei von der Kontaktschicht, so dass eine Abschattung vollständig vermieden wird. Die elektrisch leitfähige Kontaktschicht hat ferner den Vorteil, dass die Solarzellen miteinander mechanisch fest verbunden sind, so dass das Solarzellenmodul an sich ein frei tragendes Bauteil bildet. Damit können insbesondere die Größe und Oberflächengestaltung des Solarzellenmoduls und dessen Anwendung in einer Photovoltaikeinrichtung optimal an die jeweiligen Anwendungen angepasst werden. Des Weiteren besitzen jeweils benachbarte Solarzellen Seitenflächen, die relativ zur Ausdehnung des Solarzellenmoduls verschieden ausgerichtet oder geneigt sind, so dass das Solarzel-

render, frei tragender Solarzellenmodule und die Vermeidung des Umgangs mit einzelnen Solarzellen. Dies ermöglicht, dass die einzelnen Solarzellen mit verminderten Querschnittsdimensionen hergestellt werden können, so dass die oben beschriebenen Verluste durch großflächige Solarzellen vermieden werden.

[0017] Wenn gemäß einer Variante der Erfindung die Strukturierung der Halbleiterkörper durch nasschemisches Ätzen erfolgt, können sich Vorteile in Bezug auf eine schonende Bearbeitung des Halbleiters ergeben. Die Bildung effektivitätsmindernder Störstellen im Halbleitermaterial kann vermieden werden. Wenn alternativ die Strukturierung durch eine mechanische Bearbeitung, z.B. durch Sägen erfolgt, können die Solarzellen vorteilhafterweise mit einer hohen Genauigkeit gebildet werden.

[0018] Die elektrisch leitfähige Kontaktschicht zwischen den Halbleiterkörpern wird vorzugsweise durch eine Klebstoffschicht gebildet. Die Verwendung eines Klebstoffs besitzt den Vorteil, dass die Solarzellen innerhalb des Solarzellenmoduls einen festen, stabilen Verbund bilden. Als leitfähiger Klebstoff wird beispielsweise ein kommerziell verfügbarer, elektrisch leitfähiger Epoxidharzkleber verwendet.

[0019] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird zwischen der Kontaktschicht und den angrenzenden Kontaktbereichen des Halbleiterkörpers jeweils eine Metallschicht aufgebracht. Diese Metallisierung erfolgt gemäß einer ersten Variante durch Aufdampfen im Vakuum, wobei sich Vorteile für die schonende Behandlung des Halbleiterkörpers ergeben können. Alternativ kann die Metallschicht mit einer Siebdrucktechnik durch Einbrennen einer elektrisch leitfähigen Siebdruckpaste gebildet werden, wobei sich Vorteile für die Beeinflussung der Dotierung in den Solarzellen ergeben können.

Ausführungsbeispiel

[0020] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im Folgenden unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

[0021] Es zeigen:

[0022] Fig. 1: eine Draufsicht auf einen strukturierten Halbleiterkörper,

[0023] Fig. 2, 3: vergrößerte Schnittansichten strukturierter Halbleiterkörper vor und nach einer Oberflächendotierung,

[0024] Fig. 4: einen Stapel strukturierter Halbleiterkörper (Ausschnitt),

[0025] Fig. 5: drei Solarzellenmodule, die von ei-

nem Stapel gemäß Fig. 4 abgetrennt sind (Ausschnitt), und

[0026] Fig. 6: eine Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Photovoltaikeinrichtung (Ausschnitt).

[0027] Die Umsetzung der Erfindung wird im Folgenden unter Bezug auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel erläutert, bei dem integrierte Solarzellenmodule aus einem Stapel strukturierter Siliziumwafer hergestellt werden. Es wird betont, dass die Erfindung alternativ mit anderen Halbleitermaterialien, die an sich zur Herstellung von Solarzellen bekannt sind, wie z.B. GaAs oder CdTe umsetzbar ist. Des Weiteren wird betont, dass die Umsetzung der Erfindung nicht auf die beispielhaft angegebenen Formen, Größen und Dotierungseigenschaften von Solarzellen und Solarzellenmodulen beschränkt, sondern je nach Anwendung mit abgewandelten Dimensionen, Zellformen und Dotierungen realisiert werden kann.

[0028] Fig. 1 zeigt beispielhaft die Draufsicht auf einen quadratischen Halbleiterkörper **60** mit einer Oberflächenstruktur **61**, der in vergrößerter Schnittansicht entlang der Linie II-II ausschnittsweise in Fig. 2 gezeigt ist. Der Halbleiterkörper **60** besteht beispielsweise aus monokristallinem oder multikristallinem Silizium mit einer anwendungsabhängig gewählten Dicke, z.B. im Bereich von 250 µm bis 5 mm. Der Halbleiterkörper besitzt eine Grunddotierung vom p-Typ mit einem spezifischen Widerstand von 0.5 Ωcm bis 5 Ωcm. Die p-Dotierung wird in an sich bekannter Weise mit Bor erzeugt. Die Fläche des Halbleiterkörpers **60** beträgt beispielsweise 10 cm·10 cm bis 20 cm·20 cm.

[0029] Der Halbleiterkörper **60** besitzt eine ebene Schichtform mit einer Vorderseite **62** und einer Rückseite **63**, wobei auf der Vorderseite **62** durch die Oberflächenstruktur **61** eine Vielzahl von Halbleiterstreifen **65** gebildet sind, die durch grabenförmige Vertiefungen **64** voneinander getrennt sind. Im fertigen Solarzellenmodul repräsentieren die Halbleiterstreifen **65** die Körper der einzelnen Solarzellen **20**, **23**, **24**. Die Halbleiterstreifen **65** bilden zum Beispiel gerade, sich über die Vorderseite **62** erstreckende Stege oder Stränge jeweils mit einer Stirnfläche **25**, einer Rückfläche **26** und Seitenflächen **27**, **28** (siehe Fig. 2). Alternativ können die Halbleiterstreifen eine gekrümmte Form besitzen.

[0030] Die Oberflächenstruktur **61** kann mechanisch erzeugt werden, indem z. B. mit einer Chipsäge die Vielzahl paralleler, voneinander beabstandeter, grabenförmiger Vertiefungen **64** ausgesägt werden. Alternativ erfolgt entsprechend einem an sich bekannten Verfahren nach geeigneter Maskierung der Oberfläche mit dem gewünschten Strukturierungsmuster ein nasschemisches Ätzen der grabenförmigen

gen Vertiefungen **64**. Die Grabenbreite wird im Bereich von 25 µm bis 300 µm gewählt, während die Breite der Halbleiterstreifen **65** zwischen den Vertiefungen **64** im Bereich von 25 µm bis 300 µm gewählt ist. Die Tiefe der grabenförmigen Vertiefungen **64** ist typischerweise einige Mikrometer geringer als die Dicke des Halbleiterkörpers **60**. Die Oberflächenstruktur **61** kann, wie es in den Figuren illustriert ist, auf einem Halbleiterkörper jeweils gleichförmig gebildet sein. Alternativ kann die Oberflächenstruktur **61** ungleichförmig mit einer Form- und/oder Größenverteilung gebildet sein, indem auf einem Halbleiterkörper verschiedene Breiten oder Längen der Halbleiterstreifen, Grabenbreiten oder Winkel der Seitenflächen erzeugt werden.

[0031] Es ist ein besonderer Vorteil der Erfindung, dass die Halbleiterstreifen **65** mit geringen Querschnittsdimensionen im Sub-Millimeter-Bereich ohne verfahrenstechnische Nachteile erzeugt werden können, da die Halbleiterstreifen **65** aufgrund der erfindungsgemäßen Verfahrensführung nicht einzeln bearbeitet oder bewegt werden müssen.

[0032] Fig. 2 illustriert schematisch, dass die grabenförmigen Vertiefungen derart gebildet sind, dass die Seitenflächen **27, 28** gegenüber der Ausrichtung der Vorder- und Rückseiten **62, 63** des Halbleiterkörpers **60** um einen Winkel α geneigt sind. Der Winkel α zwischen den Seitenflächen (Grabenflanke) und der Substratoberfläche (Vorder- oder Rückseiten) ist beispielsweise im Bereich zwischen 10° und 90° gewählt. Wenn der Winkel $\alpha = 90^\circ$ beträgt, so sind die Halbleiterstreifen **65** Quader mit rechteckigem Querschnitt, und die daraus gebildeten Solarzellenmodule besitzen eine ebene Oberfläche.

[0033] Nach der Strukturierung des Halbleiterkörpers **60** erfolgt gegebenenfalls eine Nachbearbeitung. Falls die Vertiefungen **64** mit einer Chipsäge erzeugt wurden, erfolgt beispielsweise ein nasschemisches Ätzen der Oberflächenstruktur **61** zur Beseitigung eventueller Sägeschäden. Vorteilhafterweise werden dadurch Störstellen, die durch den mechanischen Einfluss im Verbund des Halbleiterkörpers **60** erzeugt wurden und unerwünschte Rekombinationsplätze bilden könnten, beseitigt. Das nasschemische Ätzen erfolgt beispielsweise mit einer Kalium- oder Natriumhydroxidlösung oder einem Gemisch aus Flußsäure und Salpetersäure. Alternativ sind Plasmaätzverfahren, wie z.B. ein RIE-Ätzen mit Mikrowellenanregung möglich. Die Nachbearbeitung umfasst das Weiteren einen an sich bekannten, standardmäßigen Reinigungsschritt, wie beispielsweise eine RCA-Reinigung.

[0034] Nach der Reinigung erfolgt eine Dotierung der Oberfläche des Halbleiterkörpers **60** mit einem Dotierstoff, so dass auf der Oberfläche zumindest einseitig auf der Vorderseite **62** eine zum Halbleiter-

körper **60** entgegengesetzte Dotierung (hier: n-Dotierung) erzeugt wird. Der Dotierstoff wird in an sich bekannter Weise beispielsweise durch Diffusion bei erhöhter Temperatur in den Halbleiterkörper **60** eingebracht. Es erfolgt beispielsweise eine Diffusion von Phosphor bei 800°C. Die einseitige Dotierung ist schematisch in Fig. 3 gezeigt.

[0035] Der n-dotierte Bereich ist schematisch vom p-dotierten Halbleiterkörper durch eine gestrichelte Linie getrennt illustriert. Nach der Diffusionsbehandlung wird das auf der Oberfläche verbliebene Restmaterial, z.B. Phosphorglas mit verdünnter Flußsäure entfernt. Falls eine zweiseitige Diffusionsbehandlung erfolgt ist, wird der n-dotierte Bereich auf der Rückseite **63** durch nasschemisches Ätzen mit einer Flußsäure-Salpetersäure-Lösung oder einer alkalischen Lösung (z. B. KOH) oder durch Plasmaätzen entfernt.

[0036] Der Halbleiterkörper **60** besitzt entsprechend den Stirn- und Rückflächen **25, 26** in den Halbleiterstreifen **65** entgegengesetzt dotierte Bereiche. Diese werden hier als Kontaktbereiche **22, 21** bezeichnet, da Kontaktbereiche **22, 21** benachbarter Solarzellen im zusammengesetzten Solarzellenmodul zueinander weisen und elektrisch kontaktiert werden.

[0037] Anschließend werden auf der nach der Strukturierung verbliebenen Vorderseite **62** (Stirnflächen **25**) und auf der Rückseite **63** des Halbleiterkörpers Metallschichten **32, 33** aufgebracht. Die Metallisierung erfolgt vorzugsweise durch Aufdampfen im Vakuum oder durch Siebdruck.

[0038] Zum Aufdampfen im Vakuum wird der Halbleiterkörper im Zustand gemäß Fig. 3 in einer Vakuumkammer mit einer an sich bekannten Bedampfanlage platziert. Als vordere Metallschicht **32** wird ein Mehrschichtsystem aus Titan, Palladium und Silber gebildet. Die Gesamtdicke der Metallschicht **32** beträgt beispielsweise 5 µm. Die rückseitige Metallschicht **33** wird durch Aufdampfen von Aluminium mit einer Dicke von z. B. 5 µm gebildet.

[0039] Zur Metallisierung mittels Siebdrucktechnik wird eine Aluminiumpaste (z. B. Ferro FX 53-038) auf die Rückseite **63** aufgebracht und getrocknet. Auf die Vorderseite (Stirnflächen **25**) wird eine silberhaltige Siebdruckpaste gedruckt und getrocknet.

[0040] Anschließend erfolgt mindestens ein Einbrennschritt zum Einbrennen der Pasten für die Herstellung eines Ohm'schen Metall-Halbleiter-Kontakts (sogenanntes "Feuern"). Es können für jede Paste ein getrennter Einbrennschritt vorgesehen sein oder beide Seiten gleichzeitig gebrannt werden. Das Einbrennen erfolgt bei einer Temperatur von z. B. 750°C.

[0041] Die beschriebene Prozessierung wird gleich-

artig an einer Vielzahl von Halbleiterkörpern durchgeführt, wobei an allen Halbleiterkörpern die gleiche Oberflächenstruktur **61** vorgesehen ist. Diese Anforderung ist erfüllt, wenn die zur Bildung von Solarzellenmodulen in der Oberflächenstruktur **61** vorgesehenen Halbleiterstreifen **65** und die grabenförmigen Vertiefungen **64** zusammenpassen und insbesondere die Kontaktbereiche von allen Halbleiterkörpern die gleiche Form, Größe und/oder Form- und Größenverteilung besitzen. Alternativ kann ein Halbleiterkörper mit ausreichend großer Fläche prozessiert und für die folgenden Schritte des Modulaufbaus in Teilkörper zerlegt werden.

[0042] Im weiteren Verfahren erfolgt die Bildung eines Stapels **70** der Halbleiterkörper **60**, der ausschnittsweise in **Fig. 4** gezeigt ist. Die Vorder- und Rückseiten **62**, **63** benachbarter Halbleiterkörper werden jeweils über eine elektrisch leitfähige Kontaktschicht **30** miteinander fest verbunden. Der Stapel **70** wird so gebildet, dass die Halbleiterstreifen **65** (Solarzellen **20**) und Gräben **64** jeweils übereinanderstehen oder entlang der Neigungsrichtung der Seitenflächen versetzt ausgerichtet sind. Dadurch wird ein p-Kontaktbereich **21** z. B. der Solarzelle **23** der jeweils oberen Scheibe mit dem n-dotierten Kontaktbereich **22** (Emitter) der Solarzelle **24** der darunter liegenden Scheibe elektrisch verbunden. Vorteilhafterweise erhält man dadurch eine integrierte Reihenschaltung der Solarzellen **23**, **24** in einer Aufreihung senkrecht zu den Scheibenebenen der Halbleiterkörper.

[0043] **Fig. 4** zeigt beispielhaft den Stapel **70** aus gleichartigen Halbleiterkörpern (gleiche Dicke, gleiche Oberflächenstruktur). In Abhängigkeit von den jeweiligen praktischen Anforderungen und der gewünschten Geometrie der Solarzellenmodule können alternativ Halbleiterkörper mit verschiedenen Dicken und/oder verschiedenen Oberflächenstrukturen zu einem Stapel verbunden werden. Es können insbesondere in benachbarten Halbleiterkörpern verschiedene Winkel α (siehe **Fig. 2**) vorgesehen sein.

[0044] Die elektrisch leitfähige Kontaktschicht **30** wird durch eine elektrisch leitfähige Klebstoffschicht **31** und die Metallschichten **32**, **33** gebildet. Die Klebstoffschicht **31** besteht vorzugsweise aus einem handelsüblichen, metallhaltigen Epoxidharzkleber (z. B.: EPO-TEK E3084). Die Dicke der Klebstoffschicht **31** liegt im Bereich von 10 μm bis 500 μm . Die Verwendung eines Klebstoffs zur Herstellung der Kontaktschicht besitzt den Vorteil, dass die Halbleiterkörper **60** im Stapel **70** fest miteinander verbunden werden. Es wird ein kompaktes Werkstück geschaffen, das ohne eine Beschädigung des Stapelverbundes zur Abtrennung der Solarzellenmodule einer mechanischen Bearbeitung unterzogen werden kann.

[0045] Nach dem Aushärten des Klebstoffs werden

die Solarzellenmodule **10**, die schematisch vergrößert in **Fig. 5** gezeigt sind (Teilansicht) vom Stapel **70** abgetrennt. Die Abtrennung erfolgt zum Beispiel durch Ausübung einer mechanischen Spannung. Die Böden der grabenförmigen Vertiefungen **64** bilden vorteilhafterweise Sollbruchstellen, an denen die Solarzellenmodule **10** scheibenweise vom Stapel **70** abtrennbar sind. Alternativ erfolgt ein Aussägen der Solarzellenmodule. Die Abtrennung ist ferner mit einer Trennung der Solarzellen vom äußeren, unstrukturierten Rahmen des Halbleiterkörpers **60** verbunden, der um die Oberflächenstruktur **61** gebildet ist (siehe **Fig. 1**).

[0046] Nach der Durchtrennung der Halbleiterkörper **60** liegen eine Vielzahl von Solarzellenmodulen **10** gemäß **Fig. 5** vor, die jeweils eine Vielzahl von Solarzellen **20**, **23**, **24** umfassen. Die äußere Form der Solarzellenmodule **10** wird durch die Geometrie der Oberflächenstruktur **61** in den Halbleiterkörpern **60** bestimmt. Beim dargestellten Beispiel besitzen die Solarzellenmodule **10** wegen der Neigung der Seitenflächen **27**, **28** (siehe **Fig. 2**) und wegen der abwechselnd entgegengesetzten Ausrichtung der Neigung im Stapel **70** (siehe **Fig. 4**) eine gewellte Oberfläche. Alternativ kann mit nicht-geneigten Seitenflächen **27**, **28** oder mit einer gleichsinnigen Neigung der geneigten Seitenflächen **27**, **28** im Stapel **70** eine ebene Oberfläche der Solarzellenmodule **10** bereitgestellt werden.

[0047] Jedes Solarzellenmodul umfasst je nach der gewünschten Anwendung eine Anzahl von Solarzellen, die beispielsweise im Bereich von 2 bis 50 oder darüber liegt. Die Dicke der Solarzellenmodule **10** hängt von der Breite der Halbleiterstreifen **65** und der gebildeten Welligkeit ab und liegt beispielsweise im Bereich von 20 μm bis 300 μm oder darüber.

[0048] Die Solarzellenmodule **10** können einer Nachbearbeitung unterzogen werden, die der Beseitigung von Schäden durch die mechanische Abtrennung und/oder der Aufbringung einer reflektionsmindernden Beschichtung **13** (ausschnittsweise im rechten Teil von **Fig. 5** dargestellt) dient. Die reflektionsmindernde Schicht besteht beispielsweise aus SiN mit einer Dicke von rd. 70 nm.

[0049] Zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Photovoltaikeinrichtung wird mindestens ein Solarzellenmodul **10** auf einem Träger angeordnet und an den jeweils letzten Solarzellen in der Reihenschaltung mit an sich bekannten Anschlussleitungen versehen. Der Träger ist allgemein ein stabiler Festkörper, der der mechanischen Stabilisierung des Solarzellenmoduls im Gebrauch dient. Der Träger kann insbesondere aus einem transparenten, starren oder flexiblen Material (z. B. Kunststoff, Glas) bestehen, da erfindungsgemäße Solarzellenmodule vorteilhafterweise bei beidseitiger Lichtabsorption entspre-

chend auf beiden Oberflächen Ladungsträger generieren können.

[0050] Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass bei Verwendung einer Klebstoffschicht **31** (siehe **Fig. 4**) aus einem flexiblen Klebstoff auch die Solarzellenmodule **10** eine Biegsamkeit mindestens quer zur Längsausdehnung der Solarzellen **20** besitzen. Entsprechend können Solarzellenmodule **10** auf gekrümmten Trägeroberflächen oder auf flexiblen Trägern (z. B. aus Kunststoff) angebracht werden. Durch die Flexibilität ergeben sich besondere Vorteile für die Gestaltung der äußeren Form der Photovoltaikeinrichtung.

[0051] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst der Träger ein Verbundmaterial, das schematisch in **Fig. 6** illustriert ist. Das Verbundmaterial umfasst einen Träger **50**, einen Reflektor **51**, eine transparente Laminatschicht **40** und eine Deckschicht **41**. Der Träger **50** besteht aus Glas oder Kunststoff mit einer Dicke von z. B. 2 mm. Der Reflektor **51** besteht beispielsweise aus Aluminium mit einer Dicke von mindestens 200 nm. Die Laminatschicht besteht aus einer üblicherweise verwendeten Laminiermasse wie z. B. aus EVA (Ethylvinylacetat-Copolymer). Die optional vorgesehene Deckschicht **41** dient einer Verkapselung der Laminatschicht und einer Licht-Rückreflektion.

[0052] **Fig. 6** zeigt zwei wichtige Vorteile erfindungsgemäßer Solarzellenmodule **10**. Erstens kann durch die Bildung der gewellten Oberfläche mit abwechselnd zueinander geneigten Seitenflächen der einzelnen Solarzellen die Sammeleffektivität durch Mehrfachreflektionen erhöht werden. Da die Solarzellen freitragende Bauteile bilden, können sie beim Laminiervorgang mit Abstand vom Träger **50** angeordnet werden, so dass die Mehrfachreflektionen beidseitig vorgesehen sein können. Erfindungsgemäße Photovoltaikeinrichtungen **100** zeichnen sich daher im Vergleich zu herkömmlichen Modulen (mit vergleichbarer Geometrie und Zusammensetzung) durch eine erhöhte Effektivität und Leistungsfähigkeit aus.

[0053] Weitere Vorteile der Erfindung bestehen darin, dass ohne besonderen technischen Aufwand integriert verschaltete Solarzellenmodule unterschiedlichster Größe hergestellt werden können. Da die Solarzellen typische Dimensionen im Mikrometerbereich besitzen können, ermöglicht die Erfindung die Bereitstellung kleiner Solarzellenmodule mit einer hohen Ausgangsspannung. Die Ausgangsspannung eines Moduls mit einer Fläche von 8 cm² kann beispielsweise 12 V betragen. Durch die Flexibilität bei der Wahl der Modulgeometrie ist ferner eine hohe Flexibilität bei der Einstellung der Modulspannung gegeben. Die gewellte Moduloberfläche ermöglicht die Verminderung unerwünschter Reflektionen.

[0054] Ein weiterer wichtiger Vorteil der erfindungsgemäß vorgesehenen Kontaktschichten besteht darin, dass eine Abschattung der aktiven Zelloberfläche durch metallische Kontaktfinger vollständig vermieden werden. Des Weiteren sind die Solarzellenmodule beidseitig beleuchtbar. Der Wirkungsgrad kann insbesondere durch die Verwendung des Reflektors (siehe **Fig. 6**) erhöht werden.

[0055] Verfahrensbezogen besteht ein besonderer Vorteil in der Integration der Prozesse der Solarzellenherstellung einerseits und der Modulherstellung andererseits. Diese Prozesse sind mit den in der industriellen Solarzellenfertigung üblichen Verfahren kompatibel. Die Handhabung dünner Halbleiterfilamente, wie sie beispielsweise bei WO 02/45193 erforderlich ist, wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ausgeschlossen. Es können eine Vielzahl von Solarzellenmodulen parallel, d.h. gleichzeitig und mit hoher Reproduzierbarkeit hergestellt werden.

[0056] Die in der vorstehenden Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

Patentansprüche

1. Photovoltaikeinrichtung (**100**) mit mindestens einem Solarzellenmodul (**10**) aus einer Vielzahl von elektrisch in Reihe geschalteten Solarzellen (**20**, **23**, **24**), die so angeordnet sind, dass jeweils ein p-dotierter und ein n-dotierter Kontaktbereich (**21**, **22**) benachbarter Solarzellen (**23**, **24**) einander gegenüberliegend ausgerichtet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den p-dotierten und n-dotierten Kontaktbereichen (**21**, **22**) der benachbarten Solarzellen (**23**, **24**) eine elektrisch leitfähige Kontaktschicht (**30**) vorgesehen ist, über die die Solarzellen fest verbunden sind, und jeweils benachbarte Solarzellen (**23**, **24**) verschieden ausgerichtete Seitenflächen (**27**, **28**) besitzen, so dass das Solarzellenmodul (**10**) wenigstens eine strukturierte Oberfläche besitzt.

2. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 1, bei der die Solarzellen jeweils eine Streifenform mit einer Stirnfläche (**25**), einer Rückfläche (**26**) und den Seitenflächen (**27**, **28**) besitzen und einerseits an den Stirn- und den Seitenflächen und andererseits an den Rückfläche verschieden p- oder n-dotiert sind, wobei die Kontaktschicht (**30**) jeweils zwischen den Stirn- und Rückflächen benachbarter Solarzellen (**23**, **24**) vorgesehen sind.

3. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 2, bei der die Stirn- und Rückflächen parallel zueinander

verlaufen und wenigstens einer der Seitenflächen relativ zu den Stirn- und Rückflächen senkrecht ausgerichtet sind.

4. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 2, bei der die Stirn- und Rückflächen (25, 26) parallel zueinander verlaufen und die Seitenflächen (27, 28) relativ zu den Stirn- und Rückflächen geneigt ausgerichtet sind.

5. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 3 oder 4, bei der das Solarzellenmodul (10) auf einer Seite eine ebene Oberfläche besitzt.

6. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 5, bei der die Oberfläche des Solarzellenmoduls eine reflektionsmindernde Beschichtung (13) aufweist.

7. Photovoltaikeinrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Kontaktschicht (30) eine elektrisch leitfähige Klebstoffschicht (31) aufweist.

8. Photovoltaikeinrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der zwischen der Klebstoffschicht (31) und den angrenzenden p-dotierten und n-dotierten Bereichen jeweils eine Metallschicht (32, 33) vorgesehen ist.

9. Photovoltaikeinrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Solarzellenmodul (10) mindestens zwei Solarzellen umfasst, die über Kontaktschichten (30) verbunden sind.

10. Photovoltaikeinrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Solarzellenmodul in einer Laminatschicht (40) auf einem Träger (50) angeordnet ist.

11. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 10, bei der das Solarzellenmodul in der Laminatschicht (40) mit Abstand vom Träger (50) angeordnet ist.

12. Verfahren zur Herstellung mindestens eines Solarzellenmoduls (10) mit einer Vielzahl von elektrisch in Reihe geschalteten Solarzellen (20, 23, 24), mit den Schritten:

- Strukturierung von scheibenförmigen Halbleiterkörpern (60) mit Vorder- und Rückseiten (62, 63), wobei auf den Vorderseiten (62) Solarzellen (20, 23, 24) gebildet werden, die voneinander durch grabenförmige Vertiefungen (64) getrennt sind,
- Dotierung der Oberfläche der Solarzellen (20, 23, 24) entgegengesetzt zur Dotierung des jeweiligen Halbleiterkörpers (60),
- Bildung eines Stapels (70) der Halbleiterkörper (60), wobei die Vorder- und Rückseiten (62, 63) benachbarter Halbleiterkörper (60) jeweils über eine elektrisch leitfähige Kontaktschicht (30) miteinander fest so verbunden werden, dass die Solarzellen (20,

23, 24) zueinander ausgerichtet angeordnet sind, und
 – Durchtrennung der Halbleiterkörper (60) entlang den grabenförmigen Vertiefungen (64), so dass das mindestens eine Solarzellenmodul (10) als Stapel von Solarzellen (20, 23, 24) gebildet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die Strukturierung der Halbleiterkörper durch nasschemisches Ätzen, eine mechanische Bearbeitung oder ein Plasma-Ätzverfahren erfolgt.

14. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, bei dem die elektrisch leitfähige Kontaktschicht (30) zwischen den Halbleiterkörpern (60) durch eine Klebstoffschicht (31) gebildet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem als leitfähiger Klebstoff ein elektrisch leitfähiger Epoxidharzkleber verwendet wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem die Klebstoffschicht durch Siebdrucktechnik aufgebracht wird.

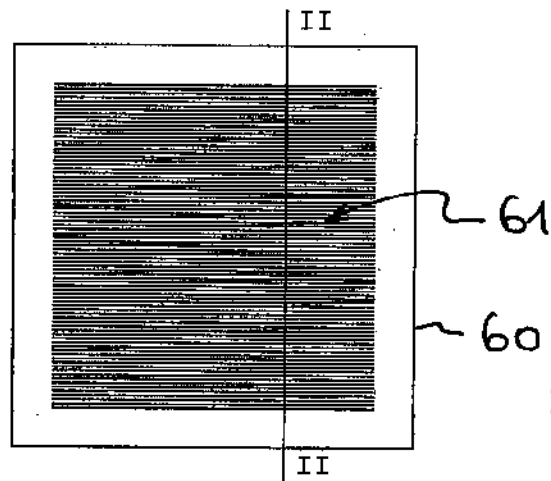
17. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 12 bis 16, bei dem zwischen der Kontaktschicht (31) und angrenzenden Kontaktbereichen (21, 22) der benachbarten Solarzellen (23, 24) jeweils eine Metallschicht (32, 33) aufgebracht wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die Metallschicht (32, 33) durch Aufdampfen im Vakuum aufgebracht wird.

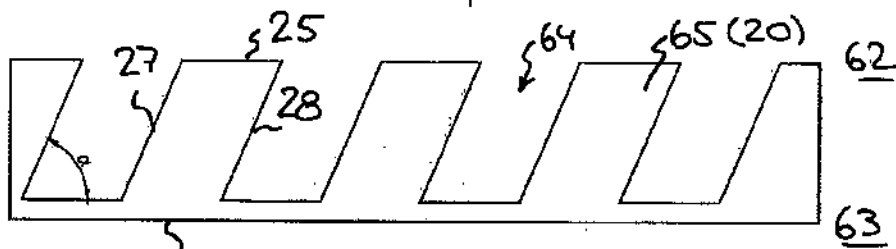
19. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die Metallschicht (32, 33) durch Siebdruck einer elektrisch leitfähigen Siebdruckpaste aufgebracht wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

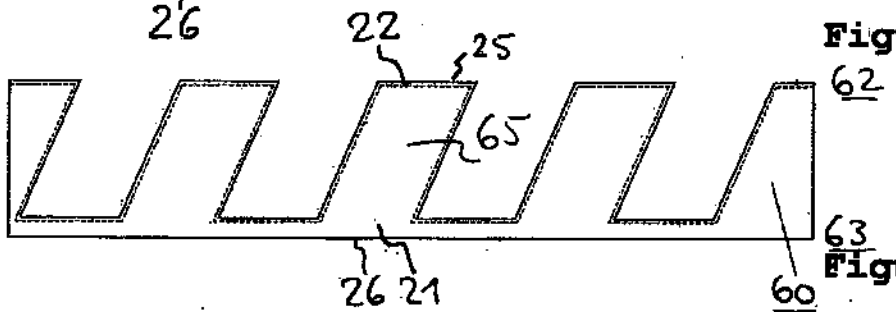
Anhängende Zeichnungen



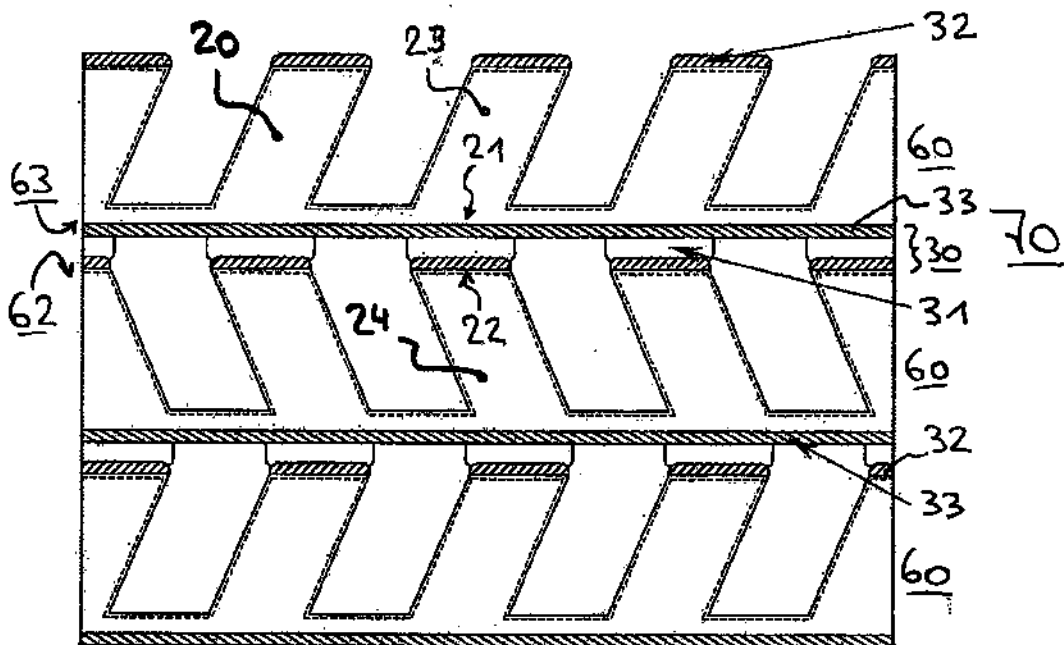
Figur 1



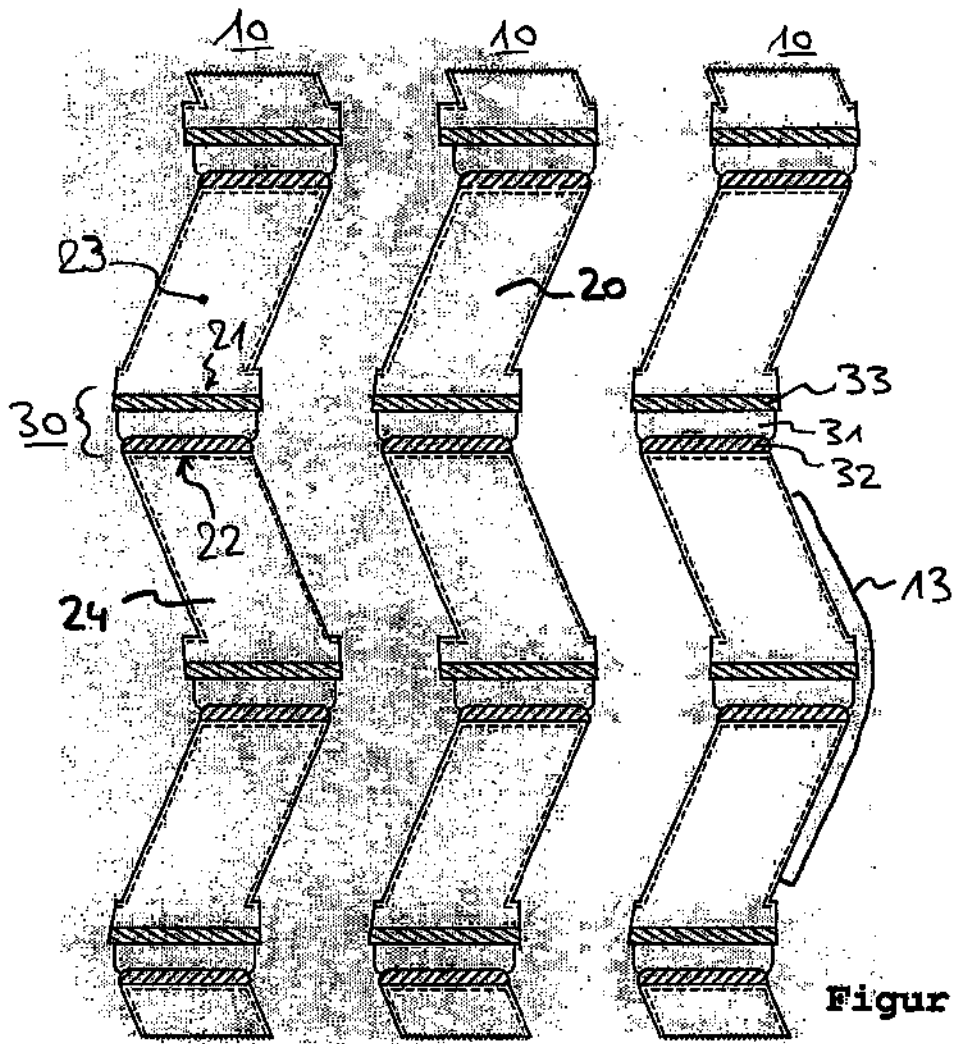
Figur 2



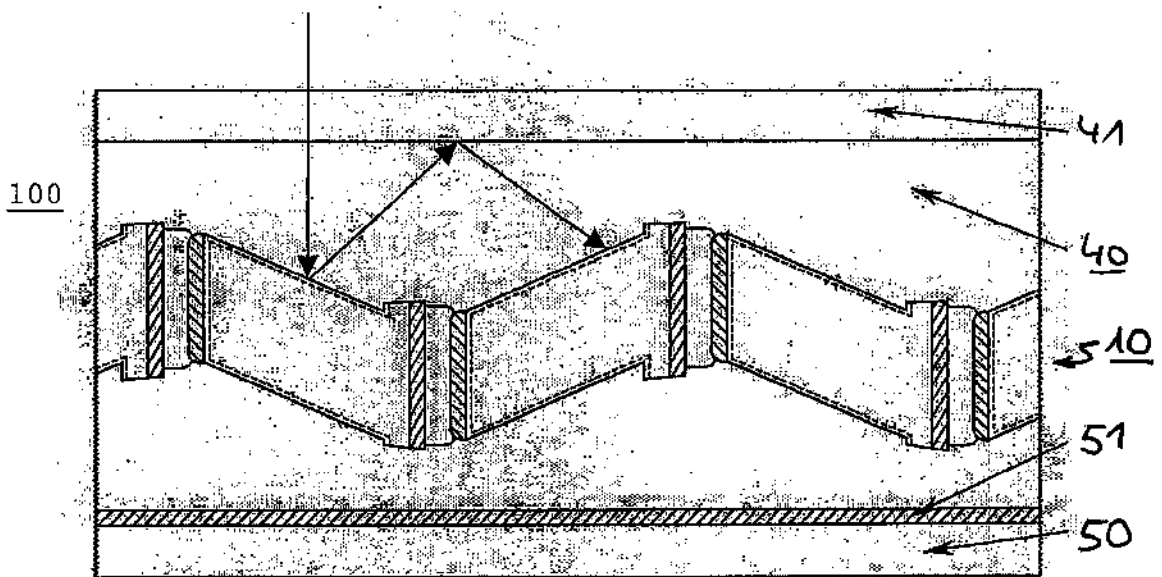
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6