



(10) **DE 10 2010 017 223 A1** 2011.12.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 017 223.5**

(22) Anmeldetag: **02.06.2010**

(43) Offenlegungstag: **08.12.2011**

(51) Int Cl.: **H01L 31/05 (2006.01)**

**H01L 31/0392 (2006.01)**

**H01L 31/18 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Calyxo GmbH, 06766, Wolfen, DE**

(74) Vertreter:  
**Bockhorni & Kollegen, 04109, Leipzig, DE**

(72) Erfinder:  
**Fritsche, Jochen, 06780, Zörbig, DE; Becker,  
Frank, 04105, Leipzig, DE; Huchel, Matthias,  
39359, Calvörde, DE; Bauer, Michael, 04129,  
Leipzig, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

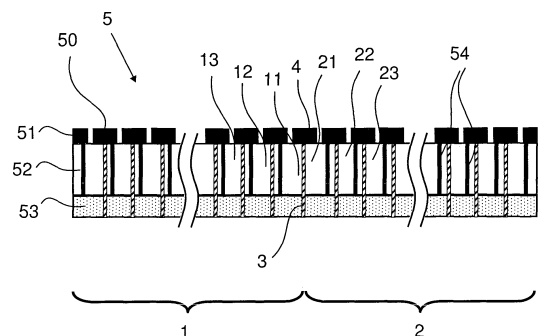
DE	101 09 643	A1
US	2009/02 60 671	A1
US	2008/01 42 070	A1
US	55 93 901	A
US	43 15 096	A
JP	61-0 73 386	A
JP	07-2 97 436	A
JP	2004-3 27 901	A
JP	2003-1 52 211	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Dünnschichtsolarmodul und Herstellungsverfahren hierfür**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Dünnschichtsolarmodul (5) umfassend zumindest ein erstes Teilmodul (1) mit mehreren untereinander serienverschalteten ersten Solarzellen (11, 12, 13, ...) und ein mit dem ersten Teilmodul (1) parallelverschaltetes zweites Teilmodul (2) mit mehreren untereinander serienverschalteten zweiten Solarzellen (21, 22, 23, ...), wobei die Teilmodule (1, 2) auf einem gemeinsamen Substrat gebildet sind und eine erste Verbindungszelle (11) aus den ersten Solarzellen (11, 12, 13, ...) und eine zweite Verbindungszelle (21) aus den zweiten Solarzellen (21, 22, 23, ...) benachbart zueinander angeordnet, mittels eines Isoliergrabens (3) voneinander beabstandet und über einen Gemeinschaftskontakt (4) miteinander elektrisch verbunden sind. Ferner betrifft die Erfindung ein Herstellungsverfahren für ein Dünnschichtsolarmodul (5).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Dünnschichtsolarmodul und ein Herstellungsverfahren für ein Dünnschichtsolarmodul.

**[0002]** Dünnschichtsolarmodule sind in der Regel aus einer Vielzahl einzelner Solarzellen aufgebaut, welche miteinander serienverschaltet sind. Deshalb entspricht der Gesamtstrom des Moduls dem Strom aus einer einzelnen Solarzelle, während sich die Leerlaufspannungen der einzelnen Solarzellen in der Serienschaltung im Wesentlichen addieren. Um eine möglichst hohe Ausgangsleistung zu erzielen, müssen die Solarzellen schmal ausgebildet sein, weil dann Verluste aufgrund geringer Flächenleitfähigkeiten der Kontaktschichten und Serienwiderstände minimiert werden. Ein Beispiel für ein derartiges Dünnschichtsolarmodul ist in JP2001-111083A offenbart. Darin werden einzelne Submodule aus serienverschalteten Solarzellen beschrieben, wobei die Submodule wiederum untereinander in Serie verschaltet sind.

**[0003]** Werden jedoch sehr viele Solarzellen in Reihe geschaltet, was bei Aufteilung des Moduls in viele schmale Solarzellen der Fall ist, erzeugt das Modul eine sehr hohe Spannung und einen sehr niedrigen Strom. Hohe Spannungen sind allerdings für die Verwendung solcher Dünnschichtsolarmodule in Photovoltaik-Anlagen ungeeignet und machen diese unwirtschaftlich. Bei einem derart einfachen Dünnschichtsolarmodul ist also ein Kompromiss zwischen Solarzellenbreite und Modulspannung zu wählen, wodurch aber in der Regel nicht die Ernte des vollen Leistungspotentials der Solarzellen ermöglicht werden kann.

**[0004]** Zur Verringerung der Modulspannung des Solarmoduls werden deshalb gleichartige Teilmodule aus serienverschalteten Solarzellen zueinander parallel verschaltet. Für jedes Teilmodul sind hierbei zwei Sammelleiter oder Zellkontaktbänder notwendig, jeweils ein Zellkontaktband zur Kontaktierung der ersten (positiv) und der letzten (negativ) in einer Reihe serienverschalteter Solarzellen. Alle positiven und negativen Zellkontaktbänder werden dann zu einem Modulaußenanschluss zusammengefasst, an dem die erzeugte Leistung von Außen abgegriffen wird.

**[0005]** In US 2009/0260671 wird ein Dünnschichtsolarmodul mit mehreren Teilmodulen beschrieben, welche untereinander parallel verschalteten sind. Die Parallelverschaltung erfolgt hierbei über eine gemeinsame, photovoltaisch inaktive Solarzelle. Eine photovoltaisch inaktive Solarzelle in jedem Teilmodul führt jedoch insgesamt zu einer geringeren Lichtausbeute für das Dünnschichtsolarmodul.

**[0006]** Einen ähnlichen Weg verfolgt US 2008/0142070 A1. Das darin beschriebene Dünnschichtsolarmodul ist ebenfalls aus Teilmodulen zusammengesetzt, welche über gemeinsame Solarzellen an den Teilmodulenden beziehungsweise Teilmodulrändern parallelverschaltet sind. Gegenüber US 2009/0260671 ist hier zwar die Anzahl an inaktiven Solarzellen reduziert. Die gemeinsamen Solarzellen, welche aktiv sind, unterscheiden sich jedoch von den übrigen Solarzellen. Sie müssen daher an den übrigen Solarzellen angepasst werden, um mit ihnen serienverschaltet werden zu können, was zusätzliche Arbeitsschritte erfordert. Ebenfalls über gemeinsame, sich von den übrigen Solarzellen unterscheidende Solarzellen parallelverschaltete Teilmodule, umfasst das in JP2005-353767A offenbarte Solarzellenmodul.

**[0007]** Demgegenüber wird in JP2000-049369A ein aus mehreren Teilmodulen zusammengesetztes Dünnschichtsolarmodul beschrieben, bei dem die Teilmodule über Randsolarzellen miteinander in alternierender Polarisierung verschaltet sind. Die Verschaltung der Teilmodule erfolgt hierbei über gemeinsame Busbars, welche in die Schichten des Dünnschichtsolarmoduls hinein bis zur Vorderseitenelektrode hineinreichen. Dies erfordert einen zusätzlichen Verfahrensschritt zur Ausbildung der Busbars. Zudem wird wertvolle Solarmoduloberfläche zwischen den Teilmodulen für die Busbars vergeudet, welche dann nicht mehr für die aktive Halbleiterschicht zur Verfügung steht.

**[0008]** Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Dünnschichtsolarmodul und ein Herstellungsverfahren zu seiner Herstellung bereitzustellen, so dass auf kostengünstige Weise die Flächenausbeute und die Effizienz des Dünnschichtsolarmoduls erhöht werden.

**[0009]** Die Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch ein Dünnschichtsolarmodul mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Herstellungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

**[0010]** Die Erfindung beruht auf dem wesentlichen Merkmal, dass die Parallelverschaltung der beiden benachbarten Teilmodule nicht über eine den Teilmodulen gemeinsame Solarzelle erfolgt, sondern über jeweils am Rand eines jeweiligen Teilmoduls angeordnete Verbindungszellen. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Verbindungszellen vorteilhafterweise von den übrigen Solarzellen innerhalb der Teilmodule nicht Wesentlich unterscheiden.

**[0011]** Während der Gemeinschaftskontakt eine Kontaktierung zwischen der ersten und der zweiten Verbindungszelle bildet, sind die Verbindungszellen ansonsten mittels des Isoliergrabens voneinander

der beabstandet und isoliert. Der Gemeinschaftskontakt, welcher die beiden Verbindungszellen kontaktiert, ist vorzugsweise Teil einer Rückseitenkontaktschicht, kann jedoch auch unter Umständen Teil einer Vorderseitenkontaktschicht sein. Als Teil einer ohnehin für die Herstellung der Dünnschichtsolarzelle verwendeten Kontaktschicht ist die Bildung des Gemeinschaftskontakts ohne zusätzliche Verfahrensschritte möglich.

**[0012]** Bei der Herstellung des Dünnschichtsolarmoduls ist es vorteilhaft, zunächst auf einem Substrat nacheinander eine Vorderseitenkontaktschicht, eine Halbleiterschicht und eine Rückseitenkontaktschicht aufzubringen, beispielsweise mittels Abscheidung. Das Substrat und die Vorderseitenkontaktschicht müssen hierbei hinreichend transparent sein, um beim Einsatz des Solarmoduls einfallendes Licht durchzulassen. Hierzu kann als Substrat Fensterglass und als Vorderseitenkontaktschicht ein transparentes leitfähiges Oxid verwendet werden. Die genannten Schichten werden während oder nach dem Aufbringen derart strukturiert, dass sie eine Reihe von serienverschalteten Solarzellen bilden, welche gruppenweise, nämlich in Teilmodulen zusammengefasst, parallelverschaltet sind. Zumindest zwei der Teilmodule werden hierbei über oben genannte Verbindungssolarzellen mittels eines Gemeinschaftskontakts miteinander elektrisch verbunden.

**[0013]** Zur Trennung der beiden Verbindungszellen mittels des Isoliergrabens erstreckt sich der Isoliergraben vorzugsweise zumindest über eine Halbleiterschichtdicke einer Halbleiterschicht. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass sich der Isoliergraben zumindest im Wesentlichen vollständig über eine Halbleiterschichtdicke einer Halbleiterschicht und zudem über eine Kontaktschichtdicke einer Vorderseitenkontaktschicht erstreckt. Dies kann dadurch erreicht werden, dass nach dem Aufbringen der Vorderseitenkontaktschicht und der Halbleiterschicht, diese beiden Schichten gleichzeitig strukturiert werden, indem Isoliergräben durch die beiden Schichten hindurch erzeugt werden. Die Isolierschichten reichen also bis zu dem Substrat.

**[0014]** In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Isoliergraben teilweise oder vollständig mit einem Isoliermaterial gefüllt ist. Zum einen kann mittels Auswahl eines geeigneten Isoliermaterials die Isoliereigenschaft des Isoliergrabens verbessert werden. Zudem verhindert beispielsweise eine vollständige Auffüllung des Isoliergrabens ein Eindringen von weiterem Abscheidungs material beim Abscheiden weiterer Schichten nach dem Bilden des Isoliergrabens, insbesondere bei der Abscheidung einer Rückseitenkontaktschicht. Als Isoliermaterial kann ein Kunststoff oder ein Lack verwendet werden.

**[0015]** Gemäß einer zweckmäßigen Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die erste Verbindungszelle und/oder die zweite Verbindungszelle photovoltaisch aktiv ist. Die Vermeidung von photovoltaisch inaktiven Solarzellen in dem Dünnschichtsolarmodul führt zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades.

**[0016]** Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass der Isoliergraben entlang einer Spiegelfläche verläuft, bezüglich derer das erste Teilmodul und das zweite Teilmodul zueinander im Wesentlichen spiegelbildlich ausgebildet sind. Die spiegelbildliche Ausgestaltung der beiden Teilmodule bezüglich der Spiegelfläche bedingt, dass die Teilmodule im Verhältnis zueinander in entgegengesetzte Richtungen polarisiert sind. Dieses Merkmal der entgegengesetzten Polarisation kann auch ohne eine streng spiegelbildliche Ausgestaltung erreicht werden und bedingt, dass die in den Teilbereichen erzeugten Ströme in Gegenrichtung zueinander fließen, also entweder zu der Spiegelfläche oder von ihr weg.

**[0017]** Bei einer vorteilhaften Ausführungsform sind weitere Teilmodule vorgesehen, wobei die Teilmodule entlang einer parallel zu einer Solarmoduloberfläche verlaufenden Querrichtung alternierend polarisiert sind. Hierbei ist es zweckmäßig, dass zumindest zwei Teilmodule über eine photovoltaisch inaktive Brückensolarzelle miteinander parallelverschaltet sind. Die Brückensolarzelle kann hierbei dadurch photovoltaisch inaktiv geworden sein, dass ihre Halbleiterschicht mittels mit leitfähigem Material gefüllten Kontaktgräben beidseitig kurzgeschlossen ist.

**[0018]** Folglich kann eine Ausführungsform konkret so aussehen, dass in Querrichtung betrachtet benachbarte Teilmodule abwechselnd über zwei aktive Verbindungszellen und über eine inaktive Brückensolarzelle paarweise miteinander verschaltet sind.

**[0019]** Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Solarzellen streifenförmig sind und sich der Isoliergraben im Wesentlichen entlang einer gesamten Länge der angrenzenden Verbindungszellen erstreckt. In dieser Ausführungsform würde die oben genannte Querrichtung quer oder im Wesentlichen senkrecht zu der Längsrichtung verlaufen, entlang der sich die streifenförmigen Solarzellen erstrecken.

**[0020]** Um die derart miteinander parallelverschalteten Teilmodule von außen zugänglich zu machen, werden auf der Solarmoduloberfläche Längssammelleiter und Quersammelleiter angeordnet, welche letztlich mit einem Modulaußenanschluss verbunden sind. Anders ausgedrückt, können die Teilmodule aus serienverschalteten streifenförmigen Solarzellen mittels Sammelleiter miteinander und mit dem Modulaußenanschluss verbunden sein, um von dort die in dem Dünnschichtsolarmodul mittels Umwandlung

einfallenden Lichts erzeugte elektrische Leistung abzugreifen. Hierzu sind vorteilhafterweise sich entlang einer Erstreckungsrichtung der streifenförmigen Solarzellen erstreckende Längssammelleiter vorgesehen, von denen einer auf dem Gemeinschaftskontakt angeordnet und mit diesem elektrisch verbunden ist. Ferner sind zwei quer zu den Längssammelleitern verlaufende und diese kontaktierende Quersammelleiter vorgesehen.

**[0021]** Während die nachfolgend beschriebene Verschaltung des Dünnschichtsolarmoduls mittels Längssammelleiter und Quersammelleiter für die hier beschriebenen Dünnschichtsolarmodule mit über einem Gemeinschaftskontakt verbundene Verbindungszellen besonders angepasst ist, kann sie auch für anders strukturierte Dünnschichtsolarmodule vorteilhaft eingesetzt werden, um die darin erzeugte elektrische Leistung effizient abgreifen zu können.

**[0022]** Kontaktpunkte zwischen den Längssammelleitern und Quersammelleitern können hierbei mittels Lötverbindungen, Schweißstellen, beispielsweise Ultraschallschweißstellen (sogenannten ultrasonic bonds oder US bonds), Klebeverbindungen oder dergleichen gebildet sein. Dies gilt auch für Kontaktpunkte zwischen den Längssammelleitern oder Quersammelleitern und der Rückseitenkontaktschicht der Solarzellen. Die Kontaktpunkte befinden sich an Kreuzungspunkten zwischen Längssammelleitern und Quersammelleitern.

**[0023]** Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass zwischen den Längssammelleitern und den Quersammelleitern Isolierstreifen derart angeordnet sind, dass mittels der Längssammelleiter und der Quersammelleiter die Parallelverschaltung der Teilmodule hergestellt ist. Mittels der Isolierstreifen wird ein elektrischer Kontakt zwischen Längssammelleiter und Quersammelleiter an jenen Kreuzungspunkten verhindert, an denen Kontaktpunkte nicht vorgesehen sind.

**[0024]** Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass zwischen den Quersammelleitern und einer Rückseitenkontaktschicht des Dünnschichtsolarmoduls zumindest ein Isolierband angeordnet ist. Das Isolierband dient hierbei zur elektrischen Trennung der Quersammelleiter gegenüber den Solarzellen und/oder gegenüber den Längssammelleitern an Stellen, an denen ein Kontakt nicht erwünscht ist. Wenn ein einziges Isolierband verwendet wird, sollte dieses zumindest eine Breite aufweisen, welche einer doppelten Quersammelleiterbreite der Quersammelleiter entspricht oder übersteigt, sodass beide Quersammelleiter gleichzeitig darauf Platz finden. Es können jedoch auch zwei oder mehr Isolierbänder eingesetzt werden.

**[0025]** Isolierband und/oder Isolierstreifen können aus flächigem Isoliermaterial geschnitten sein. Vorzugsweise weisen das Isolierband und/oder die Isolierstreifen zur einfachen Handhabung einseitig oder beidseitig Haftmittel auf. In den Ausführungsformen, in denen sowohl ein oder mehrere Isolierbänder als auch Isolierstreifen vorgesehen sind, können beide Isolierungsmittel aus dem gleichen Material gebildet sein.

**[0026]** In einer zweckmäßigen Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Längssammelleiter entlang der Querrichtung alternierend auf einem Gemeinschaftskontakt und auf einem Kontakt einer Brückensolarzelle angeordnet und damit elektrisch verbunden sind. Anders ausgedrückt, ist jeder zweite Längssammelleiter auf einem Gemeinschaftskontakt aufgebracht. Um die Parallelverschaltung der Teilmodule zu bewerkstelligen, sind die auf den Gemeinschaftskontakten angeordneten Längssammelleiter mit einem der Quersammelleiter und die auf den Kontakten der Brückensolarzellen angeordneten Längssammelleiter mit dem anderen der Quersammelleiter elektrisch verbunden. Eine hiervon abweichende Verschaltung ist jedoch möglich, indem eines der Quersammelleiter oder beide nach dem Aufbringen auf das Dünnschichtsolarmodul durchtrennt werden.

**[0027]** Für die Verschaltung des Dünnschichtsolarmoduls mittels Sammelleiter werden ein Isolierband, mehrere Längssammelleiter und zumindest zwei Quersammelleiter nacheinander auf die Solarmoduloberfläche aufgebracht, wobei die Reihenfolge des Aufbringens dieser Elemente von der jeweiligen Ausführungsform abhängt. In jedem Fall werden die Quersammelleiter auf die Solarmoduloberfläche quer zu einer Erstreckungsrichtung der Längssammelleiter aufgebracht, wobei das Aufbringen des Isolierbandes, der Längssammelleiter und der Quersammelleiter derart erfolgt, dass mittels der Längssammelleiter und der Quersammelleiter die Parallelverschaltung der Teilmodule hergestellt wird.

**[0028]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform wird das Isolierband nach dem Aufbringen der Längssammelleiter und vor dem Aufbringen der Quersammelleiter auf die Solarmoduloberfläche aufgebracht, wobei vor, während oder nach dem Aufbringen des Isolierbandes Öffnungen in das Isolierband zur Kontaktierung der Längssammelleiter mit den Quersammelleitern erzeugt werden. Die Reihenfolge in diesem Fall lautet also: Erst die Längssammelleiter, dann das Isolierband oder die Isolierbänder, und schließlich die Quersammelleiter. In dieser Ausführungsform sind keine zusätzlichen Isolierstreifen mehr notwendig, da die elektrische Isolierung der Quersammelleiter gegenüber den Längssammelleitern bereits mittels des Isolierbandes erreicht wird.

**[0029]** In einer alternativen Ausgestaltung des Herstellungsverfahrens ist vorgesehen, dass die Längssammelleiter auf das Isolierband aufgebracht werden, wobei nach dem Aufbringen der Längssammelleiter und vor dem Aufbringen der Quersammelleiter Isolierstreifen an Kreuzungspunkten zwischen den Längssammelleitern und den Quersammelleitern angeordnet werden. Hier lautet die Aufbringungsreihenfolge ausgehend von der Solarmoduloberfläche also: Erst das Isolierband oder mehrere Isolierbänder, dann die Längssammelleiter, dann die Isolierstreifen und schließlich die Quersammelleiter.

**[0030]** Gemäß einer weiter abgewandelten Ausgestaltung des Herstellungsverfahrens ist vorgesehen, dass die Längssammelleiter auf das Isolierband aufgebracht werden, wobei vor dem Aufbringen der Längssammelleiter und nach dem Aufbringen der Quersammelleiter Isolierstreifen an Kreuzungspunkten zwischen den Längssammelleitern und den Quersammelleitern angeordnet werden. In diesem Fall lautet also die Reihendfolge wie folgt: Erst das Isolierband oder mehrere Isolierbänder, dann die Quersammelleiter, dann die Isolierstreifen und schließlich die Längssammelleiter. Gegenüber der vorangehend genannten Ausführungsform wird somit hierbei die Reihenfolge des Aufbringens von Quersammelleiter und Längssammelleiter vertauscht.

**[0031]** In einer zweckmäßigen Ausführungsform wird eines der Quersammelleiter mit beiden Polen eines Modulaußenanschlusses elektrisch verbunden, wobei der Quersammelleiter vor oder nach dem Verbinden mit den Polen des Modulaußenanschlusses durchtrennt wird, um die beiden Pole voneinander elektrisch zu isolieren. Dies hat den erheblichen Vorteil, dass außer den genannten beiden Quersammelleitern keine weiteren Sammelleiter für die Kontaktierung der Längssammelleiter notwendig sind.

**[0032]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren erläutert. Hierbei zeigen:

**[0033]** [Fig. 1](#) eine schematische Querschnittansicht eines Solarmoduls gemäß Stand der Technik;

**[0034]** [Fig. 2](#) schematisch die Stromverläufe in dem Solarmodul aus der [Fig. 1](#);

**[0035]** [Fig. 3](#) eine schematische Querschnittansicht eines Dünnschichtsolarmoduls mit zwei über zwei Verbindungszellen verbundenen Teilmodulen;

**[0036]** [Fig. 4](#) schematisch die Stromverläufe in dem Solarmodul aus der [Fig. 3](#);

**[0037]** [Fig. 5](#) eine Querschnittansicht eines Dünnschichtsolarmoduls mit vier Teilmodulen;

**[0038]** [Fig. 6](#) eine Querschnittansicht eines Dünnschichtsolarmoduls mit vier Teilmodulen gemäß einer zu [Fig. 5](#) alternativen Ausführungsform;

**[0039]** [Fig. 7](#) eine schematische Abbildung eines mittels Sammelleitern verschalteten Dünnschichtsolarmoduls in Draufsicht;

**[0040]** [Fig. 8](#) ein Schaltplan zur Erläuterung der Verschaltung des Dünnschichtsolarmoduls gemäß der [Fig. 8](#); und

**[0041]** [Fig. 9](#) eine Abbildung eines mit Längssammelleitern versehenen Dünnschichtsolarmoduls in Draufsicht mit einem alternativen Isolierband, vor dem Aufbringen von Quersammelleitern.

**[0042]** Anhand der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) werden nachfolgend Solarmodule gemäß dem Stand der Technik aus US 2009/0260671 erläutert. Die [Fig. 1](#) zeigt schematisch eine Querschnittansicht eines bekannten Solarmoduls mit streifenförmigen Solarzellen, wobei die Schnittfläche quer zu einer Längsrichtung der Solarzellenstreifen verläuft. Das Solarmodul umfasst zwei Teilmodule **1'**, **2'**, welche über eine gemeinsame, photovoltaisch inaktive Solarzelle **10'** miteinander verbunden sind.

**[0043]** In der [Fig. 2](#) wird anhand von Stromflusspfeilen P der Stromfluss innerhalb des bekannten Solarmoduls veranschaulicht. Hierzu ist das Solarmodul schematisch über Abgreifkontakte **90** elektrisch kontaktiert dargestellt, wobei die den beiden Teilmodulen **1'**, **2'** gemeinsame Solarzelle **10'** an einem positiven Abgreifkontakt **90** angeschlossen ist. Da die gemeinsame Solarzelle **10'** photovoltaisch inaktiv ist, fließt der Strom beim Betrieb des Solarmoduls von dem positiven Abgreifkontakt **90** aus über zwei die gemeinsame Solarzelle **10'** flankierende Leitungsbereiche in die beiden Teilmodule **1'**, **2'**. Aufgrund des symmetrischen Aufbaus der Teilmodule ausgehend von der gemeinsamen Solarzelle **10'**, ist auch der in [Fig. 2](#) dargestellte Stromfluss symmetrisch.

**[0044]** Die [Fig. 3](#) zeigt ein Dünnschichtsolarmodul **5** mit einer Rückseitenkontaktschicht **51**, einer hierunter angeordneten Halbleiterschicht **52** und einer hierunter angeordneten Vorderseitenkontaktschicht **53**. Ein Substrat, auf dem diese Schichtfolge **51**, **52**, **53** angeordnet ist, ist in der [Fig. 3](#) und in den nachfolgenden Figuren nicht dargestellt, befindet sich jedoch vorzugsweise als Untergrund auf einer der Halbleiterschicht **52** abgewandten Seite der Vorderseitenkontaktschicht **53**. Das Substrat ist aus Fensterglass gebildet, während die darauf angeordnete Vorderseitenkontaktschicht **53** aus einem transparenten leitfähigen Material, beispielsweise einem transparenten leitfähigen Oxid (TCO – transparent conductive oxide), gebildet und somit ebenfalls lichtdurchlässig ist. Die Rückseitenkontaktschicht **51** bildet eine Solar-

duloberfläche **50** aus, auf der mittels Sammelleitern, sogenannten Busbars, der in der Halbleiterschicht **52** erzeugte elektrische Strom abgegriffen wird.

**[0045]** Aufgrund einer Strukturierung der genannten Schichten **51**, **52**, **53**, sind ein erstes Teilmodul **1** umfassend mehrere erste miteinander serienverschaltete Solarzellen **11**, **12**, **13** und ein zweites Teilmodul **2** umfassend mehrere zweite miteinander serienverschaltete Solarzellen **21**, **22**, **23** gebildet. Vorteilhafterweise sind noch weitere Teilmodule vorhanden, in welchem Fall es sich bei der **Fig. 3** nur um eine Teilansicht des Dünnschichtsolarmoduls **5** handelt. Die einzelnen, sich in eine Erstreckungsrichtung senkrecht zur Ansichtsfläche der **Fig. 3** streifenförmig erstreckenden Solarzellen **11**, **12**, ... sind mittels Isoliergräben voneinander getrennt. Die Isoliergräben erstrecken sich durch die Halbleiterschicht **52** und die Vorderseitenkontaktschicht **53** hindurch bis auf zum Substrat.

**[0046]** Demgegenüber erstrecken sich Kontaktgräben **54** lediglich durch die Halbleiterschicht **52** und verbinden die Vorderseitenkontaktschicht **53** mit der Rückseitenkontaktschicht **51**, um die serielle Verschaltung der Solarzellen **11**, **12**, ... untereinander zu bilden. Die Kontaktgräben **54** sind zudem mit elektrisch leitendem Material gefüllt sind, beispielsweise mit dem Material der Rückseitenkontaktschicht **51**, das beim Aufbringen dieser Rückseitenkontaktschicht **51** auch in die Kontaktgräben **54** dringt. Um ein derartiges Eindringen des leitfähigen Materials auch in die Isoliergräben **3** zu verhindern, werden Letztere vorteilhafterweise vollständig mit einem Isoliermaterial gefüllt.

**[0047]** Die beiden Teilmodule **1**, **2** in der **Fig. 3** sind zueinander benachbart angeordnet und mittels eines Gemeinschaftskontakts **4** miteinander verbunden, wobei der Gemeinschaftskontakt **4** einen gemeinsamen Rückseitenkontakt einer ersten Verbindungszelle **11** des ersten Teilmoduls **1** und einer zweiten Verbindungszelle **21** des zweiten Teilmoduls **2** bildet. Der Gemeinschaftskontakt **4** ist zudem Teil der Rückseitenkontaktschicht **51** und bei Strukturierung des Letzteren entstanden. In der in den **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellten Ausführungsform sind die Solarzellen **11**, **12**, ... der Teilmodule **1**, **2** um den unterhalb des Gemeinschaftskontakts **4** angeordneten Isoliergraben **3** spiegelsymmetrisch gebildet.

**[0048]** In der **Fig. 4** ist die gleiche Querschnittansicht wie in der **Fig. 3** dargestellt, wobei hierauf überlagert Stromflusspfeile **P** dargestellt sind, welche den Stromfluss innerhalb des Dünnschichtsolarmoduls **5** bei Betrieb veranschaulichen. Aufgrund der Dotierung der Halbleiterschicht **52** ist hierbei im vorliegend dargestellten Fall der Gemeinschaftskontakt **4** negativ polarisiert. Dies ist anhand schematisch eingezeichneter Abgreifkontakte **90** veranschaulicht,

welche abhängig von der Stromflussrichtung in dem Dünnschichtsolarmodul **5** polarisiert sind.

**[0049]** Dass die beiden Verbindungszellen **11**, **21** photovoltaisch aktiv sind, ist bereits daran erkennbar, dass der Stromverlauf zwischen dem Gemeinschaftskontakt **4** und der Vorderseitenkontaktschicht **53** durch diese Verbindungszellen **11**, **21** verläuft und nicht wie bei der inaktiven Solarzelle **10'** aus der **Fig. 2** über Kontaktgräben, welche die inaktive Solarzelle **10'** flankieren. Wie in der **Fig. 4** anhand des Stromverlaufs erkennbar, sind die Teilmodule **1**, **2** entgegengesetzt zueinander polarisiert. Dies folgt aus der spiegelbildlichen Ausgestaltung des Dünnschichtsolarmoduls **5** bezüglich einer Spiegelfläche, welche durch den die beiden Teilmodule **1**, **2** beabstandende Isoliergraben verläuft. Die streng spiegelbildliche Ausgestaltung kann vorteilhaft sein, ist jedoch nicht notwendig, um eine entgegengesetzte Polarisierung der beiden Teilmodule **1**, **2** zu erreichen.

**[0050]** **Fig. 5** und **Fig. 6** zeigen jeweils ein Dünnschichtsolarmodul **5** mit zwei weiteren Teilmodulen **6**, **7** zusätzlich zu dem ersten und dem zweiten Teilmodul **1**, **2**. Auch die weiteren Teilmodule **6**, **7** sind aus serienverschalteten Solarzellen gebildet. Die Teilmodule **1**, **2**, **6**, **7** sind miteinander parallel verschaltet, wobei die hierzu notwendigen Sammelleiter der Einfachheit halber in den **Fig. 5** und **Fig. 6** nicht eingezeichnet sind, sondern erst in den nachfolgenden Figuren erläutert werden.

**[0051]** In der **Fig. 5** ist eines der weiteren Teilmodule **6** über eine photovoltaisch inaktive Brückensolarzelle **26** mit dem zweiten Teilmodul **2** verbunden. Die photovoltaisch inaktive Brückensolarzelle **26** kann hierbei wie die photovoltaisch inaktive Solarzelle **10'** aus dem Stand der Technik aufgebaut sein, die vorangehend in der Beschreibungseinleitung erläutert wurde. Da die beiden weiteren Teilmodule **6**, **7** wiederum über weitere Verbindungszellen mittels eines Gemeinschaftskontakts **4** verbunden sind, weist das Dünnschichtsolarmodul **5** gemäß **Fig. 5** zwei photovoltaisch aktive Kontaktbereiche auf, nämlich jene, die mit den hier dargestellten negativen Abgreifkontakten **90** verbunden sind. Da es sich jedoch auch bei den äußersten beiden Solarzellen im hier dargestellten Dünnschichtsolarmodul **5** um weitere inaktive Brückensolarzellen **16** handelt, sind in dieser Ausführungsform insgesamt **3** inaktive Kontaktbereiche vorhanden, nämlich jene, die mit den hier dargestellten positiven Abgreifkontakten **90** verbunden sind.

**[0052]** Demgegenüber sind die Teilmodule **1**, **2**, **6**, **7** in dem Dünnschichtsolarmodul **5** gemäß der in **Fig. 6** dargestellten Ausführungsform anders verschaltet. Hier befinden sich die photovoltaisch inaktiven Brückensolarzellen **16**, **26** jeweils zwischen dem ersten Teilmodul **1** und einem weiteren Teilmodul **6** und zwischen dem zweiten Teilmodul **2** und einem weiteren

Teilmodul 7. Aufgrund dieser alternativen Verschaltung, weist das Dünnschichtsolarmodul 5 drei aktive und nur zwei inaktive Kontaktbereiche auf. Somit ist die Ausführungsform gemäß Fig. 6 ein gegenüber der Ausführungsform gemäß Fig. 5 optimiertes Dünnschichtsolarmodul 5 mit vier Teilmodulen.

[0053] In Fig. 7 ist schematisch eine Draufsicht auf ein Dünnschichtsolarmodul 5 dargestellt, welches mittels Längssammelleitern L1, ..., L5 und Quersammelleitern Q1, Q2 verschaltetet ist. Hierzu ist zunächst ein Isolierband 81 auf der Solarmoduloberfläche 50 angeordnet, um einen unerwünschten Kurzschluss der Solarzellen aufgrund der Quersammelleiter Q1, Q2 zu verhindern. Anschließend wurden die Längssammelleiter L1, ..., L5 derart auf die Solarmoduloberfläche 50 aufgebracht, dass sie auf den Gemeinschaftskontakten 4 und/oder auf den Kontakten der inaktiven Brückensolarzellen 16, 26 aufliegen. Nicht auf dem Isolierband 81 aufliegende Abschnitte der Längssammelleiter L1, ..., L5 kontaktieren vorzugsweise vollflächig oder zumindest Abschnittsweise die darunterliegenden Kontakte der Solarzellen 11, 12, ...

[0054] Die Längssammelleiter L1, ..., L5 sind mittels der Quersammelleiter Q1, Q2 derartig elektrisch verbunden, dass die Teilmodule 1, 2, 5, 6 (in der Fig. 7 nicht explizit dargestellt) eine Parallelverschaltung bilden. Ferner sind die Teilmodule 1, 2, 6, 7 über die Quersammelleiter Q1, Q2 mit Polen 91, 92 eines Modulaußenanschlusses 9 zum Abgreifen der im Dünnschichtsolarmodul 5 erzeugten elektrischen Energie verbunden. Während eines der Quersammelleiter Q2 mit drei Längssammelleitern L1, L3, L5 verbunden ist, verhindern Isolierstreifen 82 an Kreuzungspunkten zwischen diesem Quersammelleiter Q2 und zwei weiteren Längssammelleitern L2, L4 einen elektrischen Kontakt mit diesen.

[0055] Diese beiden weiteren Längssammelleiter L2, L4 sind stattdessen mit dem anderen Quersammelleiter Q1 verbunden, welcher an einem Pol 92 des Modulaußenanschlusses 9 angeschlossen ist. Einer der Längssammelleiter L1 ist wiederum über einen Sammelleiterabschnitt Q1' mit dem anderen Pol 91 des Modulaußenanschlusses 9 verbunden. Bei dem Sammelleiterabschnitt Q1' handelt es sich vorzugsweise um einen Abschnitt des Quersammelleiters Q1, welcher nach dem Anordnen auf und Verbinden mit den Längssammelleitern L1, L2, L4 in einem Bereich zwischen den Polen 91, 92 des Modulaußenanschlusses 9 durchtrennt wird.

[0056] Die Verschaltung des Dünnschichtsolarmoduls 5 gemäß der Fig. 7 wird in der Fig. 8 anhand eines Schaltplans erläutert. Bei dem Schaltplan handelt es sich um ein Ersatzschaltbild für das Dünnschichtsolarmodul 5, bei dem die Teilmodule 1, 2, 6, 7 in Form von Dioden dargestellt sind, welche über

Längssammelleiter L1, ..., L5 und Quersammelleiter Q1, Q2 miteinander und mit dem Modulaußenanschluss 9 verbunden sind. Hierbei ist deutlich erkennbar, dass die Teilmodule 1, 2, 6, 7 entlang der Querichtung alternierend polarisiert sind.

[0057] Schließlich veranschaulicht die Fig. 9 eine alternative Möglichkeit, die gleiche Verschaltung der Teilmodule 1, 2, 6, 7 wie anhand der Fig. 7 und Fig. 8 beschrieben, mittels eines speziell vorbereiteten Isolierbandes 81, ohne die Verwendung zusätzlicher Isolierstreifen 82, zu erreichen. Fig. 9 zeigt hierbei die Längssammelleiter L1, ..., L5, welche direkt auf die Solarmoduloberfläche 50 aufgebracht sind, und zwar wie in der Fig. 7, jedoch ohne vorheriges Aufbringen des Isolierbandes 81. Anschließend wird ein Isolierband 81 über die Längssammelleiter L1, ..., L5 gelegt, das an vorgesehenen Kontaktpunkten zwischen den Längssammelleitern L1, ..., L5 und den Quersammelleitern Q1, Q2 Öffnungen 811 aufweist. Alternativ können die Öffnungen 811 auch erst nach dem Aufbringen des Isolierbandes 81 gebildet werden.

[0058] Die Quersammelleiter Q1, Q2, welche anschließend auf dem Isolierband 81 angeordnet und durch die Öffnungen 811 hindurch mit den Längssammelleitern L1, ..., L5 kontaktiert werden, sind in der Fig. 9 zur besseren Übersicht nicht eingezeichnet. Wie in der Ausführungsform gemäß Fig. 7, kann auch in der Ausführungsform gemäß Fig. 9 das Isolierband 81 aus zwei oder mehr Abschnitten bestehen, welche jeweils nur unterhalb eines der Quersammelleiter Q1, Q2 angeordnet sind.

#### Bezugszeichenliste

1', 2'	Teilmodule
10'	photovoltaisch inaktive Solarzelle
1	erstes Teilmodul
11, 12, 13, ...	erste Solarzellen
11	erste Verbindungszelle
2	zweites Teilmodul
21, 22, 23, ...	zweite Solarzellen
21	zweite Verbindungszelle
3	Isoliergraben
4	Gemeinschaftskontakt
5	Dünnschichtsolarmodul
50	Solarmoduloberfläche
51	Rückseitenkontaktschicht
52	Halbleiterschicht
53	Vorderseitenkontaktschicht
54	Kontaktgräben
6, 7	weitere Teilmodule

<b>16, 26</b>	inaktive Brückensolarzellen
<b>81</b>	Isolierband
<b>811</b>	Öffnungen
<b>82</b>	Isolierstreifen
<b>9</b>	Modulaußenanschluss
<b>91, 92</b>	Pole des Modulaußenanschlusses
<b>90</b>	Abgreifkontakte
<b>L1, L2, L3, L4, L5</b>	Längssammelleiter
<b>Q1, Q2</b>	Quersammelleiter
<b>Q1'</b>	Sammelleiterabschnitt
<b>P</b>	Stromflusspfeile



**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2001-111083 A [[0002](#)]
- US 2009/0260671 [[0005](#), [0006](#), [0042](#)]
- US 2008/0142070 A1 [[0006](#)]
- JP 2005-353767 A [[0006](#)]
- JP 2000-049369 A [[0007](#)]

## Patentansprüche

1. Dünnschichtsolarmodul (5) umfassend zumindest ein erstes Teilmodul (1) mit mehreren untereinander serienschalteten ersten Solarzellen (11, 12, 13, ...) und ein mit dem ersten Teilmodul (1) parallelverschaltetes zweites Teilmodul (2) mit mehreren untereinander serienschalteten zweiten Solarzellen (21, 22, 23, ...), wobei die Teilmodule (1, 2) auf einem gemeinsamen Substrat gebildet sind und eine erste Verbindungszelle (11) aus den ersten Solarzellen (11, 12, 13, ...) und eine zweite Verbindungszelle (21) aus den zweiten Solarzellen (21, 22, 23, ...) benachbart zueinander angeordnet, mittels eines Isoliergrabens (3) voneinander beabstandet und über einen Gemeinschaftskontakt (4) miteinander elektrisch verbunden sind.

2. Dünnschichtsolarmodul (5) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Isoliergraben (3) zumindest im Wesentlichen vollständig über eine Halbleiterschichtdicke einer Halbleiterschicht (52) und über eine Kontaktschichtdicke einer Vorderseitenkontaktschicht (53) erstreckt.

3. Dünnschichtsolarmodul (5) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Isoliergraben (3) teilweise oder vollständig mit einem Isoliermaterial gefüllt ist.

4. Dünnschichtsolarmodul (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Verbindungszelle (11) und/oder die zweite Verbindungszelle (21) photovoltaisch aktiv ist.

5. Dünnschichtsolarmodul (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Isoliergraben (3) entlang einer Spiegelfläche verläuft, bezüglich derer das erste Teilmodul (1) und das zweite Teilmodul (2) zueinander im Wesentlichen spiegelbildlich ausgebildet sind.

6. Dünnschichtsolarmodul (5) nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch weitere Teilmodule (6, 7), wobei die Teilmodule (1, 2, 6, 7) entlang einer parallel zu einer Solarmoduloberfläche (50) verlaufenden Querrichtung alternierend polarisiert sind.

7. Dünnschichtsolarmodul (5) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei Teilmodule (2, 6) über eine photovoltaisch inaktive Brückensolarzelle (16, 26) miteinander parallel verschaltet sind.

8. Dünnschichtsolarmodul (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Solarzellen (11, 12, 13, ..., 21, 22, 23, ...) streifenförmig sind und sich der Isoliergraben (3) im Wesentlichen entlang einer gesamten Länge der angrenzenden Verbindungszellen (11, 21) erstreckt.

9. Dünnschichtsolarmodul (5) nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch sich entlang einer Erstreckungsrichtung der streifenförmigen Solarzellen (11, 12, 13, ..., 21, 22, 23, ...) erstreckende Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5), von denen einer auf dem Gemeinschaftskontakt (4) angeordnet und mit diesem elektrisch verbunden ist, und durch zwei quer zu den Längssammelleitern (L1, L2, L3, L4, L5) verlaufende und diese kontaktierende Quersammelleiter (Q1, Q2).

10. Dünnschichtsolarmodul (5) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Längssammelleitern (L1, L2, L3, L4, L5) und den Quersammelleitern (Q1, Q2) Isolierstreifen (82) derart angeordnet sind, dass mittels der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) und der Quersammelleiter (Q1, Q2) die Parallelverschaltung der Teilmodule (1, 2, 6, 7) hergestellt ist.

11. Dünnschichtsolarmodul (5) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Quersammelleitern (Q1, Q2) und einer Rückseitenkontaktschicht (51) des Dünnschichtsolarmoduls (5) zumindest ein Isolierband (81) angeordnet ist.

12. Dünnschichtsolarmodul (5) nach einem der vorangehenden Ansprüche 9 bis 11 mit Merkmalen des Anspruchs 7, dadurch gekennzeichnet dass die Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) entlang der Querrichtung alternierend auf einem Gemeinschaftskontakt (4) und auf einem Kontakt einer Brückensolarzelle (16, 26) angeordnet und damit elektrisch verbunden sind.

13. Herstellungsverfahren eines Dünnschichtsolarmoduls (5) umfassend folgende Verfahrensschritte:

- Erzeugen einer Dünnschichtsolarmodulstruktur mit einer Solarmoduloberfläche (50) und zumindest zwei auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten, miteinander parallelverschalteten Teilmodulen (1, 2), welche jeweils aus mehreren miteinander serienschalteten, streifenförmigen Solarzellen (11, 12, ..., 21, 22, ...) gebildet sind derart, dass eine erste Verbindungszelle (11) aus den ersten Solarzellen (11, 12, 13, ...) und eine zweite Verbindungszelle (21) aus den zweiten Solarzellen (21, 22, 23, ...) benachbart zueinander angeordnet, mittels eines Isoliergrabens (3) voneinander beabstandet und über einen Gemeinschaftskontakt (4) miteinander elektrisch verbunden werden;
- Aufbringen eines Isolierbandes (81) auf die Solarmoduloberfläche (50);
- Aufbringen mehrerer Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) auf die Solarmoduloberfläche (50); und
- Aufbringen zumindest zweier Quersammelleiter (Q1, Q2) auf die Solarmoduloberfläche (50) quer zu einer Erstreckungsrichtung der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5),

wobei das Aufbringen des Isolierbandes (**81**), der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) und der Quersammelleiter (Q1, Q2) derart erfolgt, dass mittels der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) und der Quersammelleiter (Q1, Q2) die Parallelverschaltung der Teilmodule (**1, 2, 6, 7**) hergestellt wird.

14. Herstellungsverfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Isolierband (**81**) nach dem Aufbringen der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) und vor dem Aufbringen der Quersammelleiter (Q1, Q2) auf die Solarmoduloberfläche (**50**) aufgebracht wird, wobei vor, während oder nach dem Aufbringen des Isolierbandes (**81**) Öffnungen (**811**) in das Isolierband (**81**) zur Kontaktierung der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) mit den Quersammelleiter (Q1, Q2) erzeugt werden.

15. Herstellungsverfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) auf das Isolierband (**81**) aufgebracht werden, wobei nach dem Aufbringen der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) und vor dem Aufbringen der Quersammelleiter (Q1, Q2) Isolierstreifen (**82**) an Kreuzungspunkten zwischen den Längssammelleitern (L1, L2, L3, L4, L5) und den Quersammelleitern (Q1, Q2) angeordnet werden.

16. Herstellungsverfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) auf das Isolierband (**81**) aufgebracht werden, wobei vor dem Aufbringen der Längssammelleiter (L1, L2, L3, L4, L5) und nach dem Aufbringen der Quersammelleiter (Q1, Q2) Isolierstreifen (**82**) an Kreuzungspunkten zwischen den Längssammelleitern (L1, L2, L3, L4, L5) und den Quersammelleitern (Q1, Q2) angeordnet werden.

17. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eines der Quersammelleiter (Q1) mit beiden Polen (**91, 92**) eines Modulaußenanschlusses (**9**) elektrisch verbunden wird, wobei der Quersammelleiter (Q1) vor oder nach dem Verbinden mit den Polen (**91, 92**) des Modulaußenanschlusses (**9**) durchtrennt wird, um die beiden Pole (**91, 92**) voneinander elektrisch zu isolieren.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

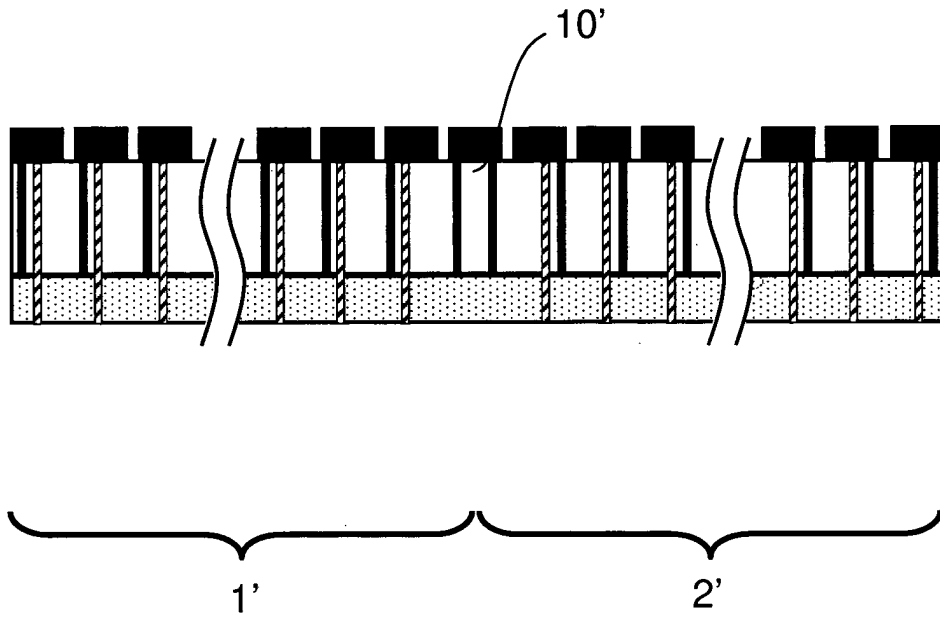


Fig. 1

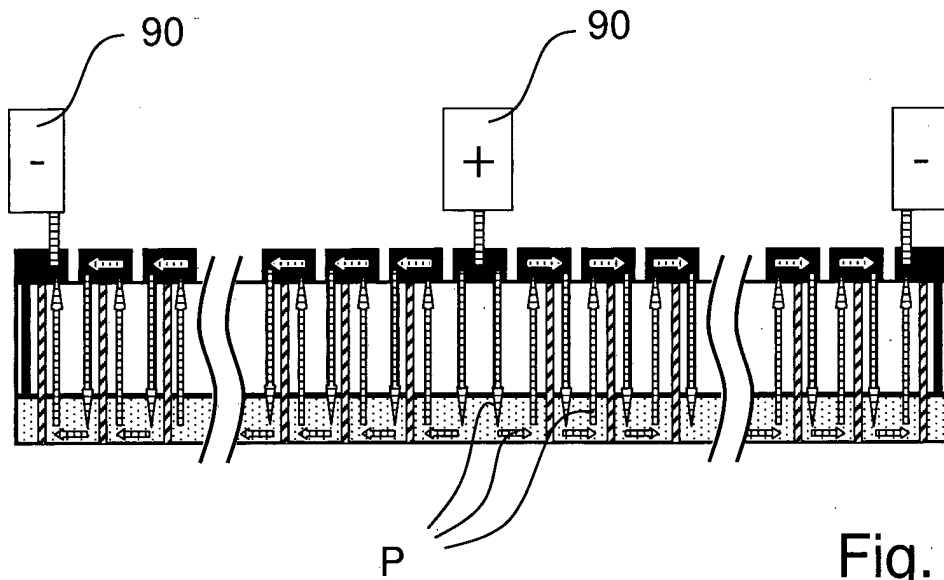
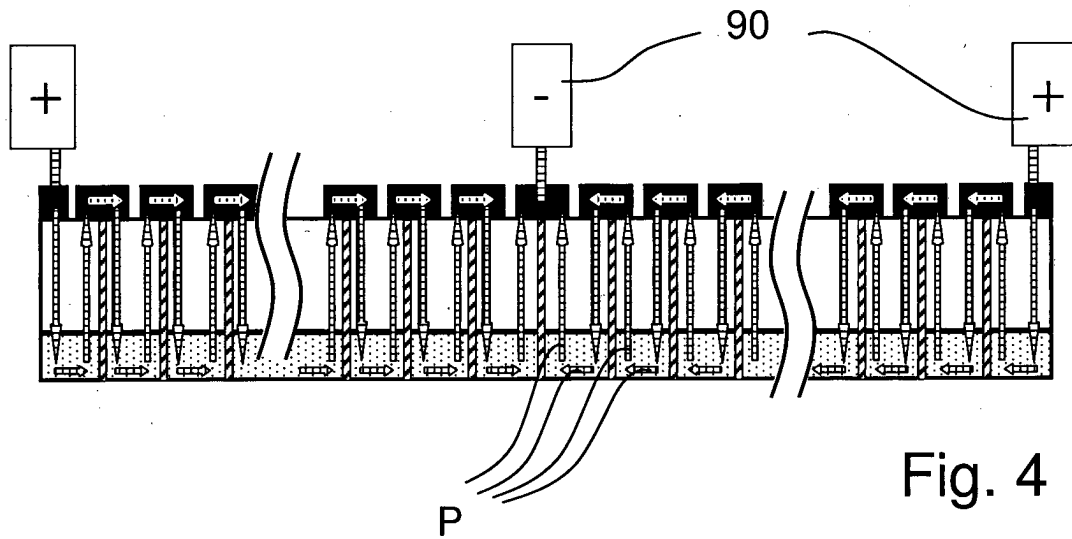
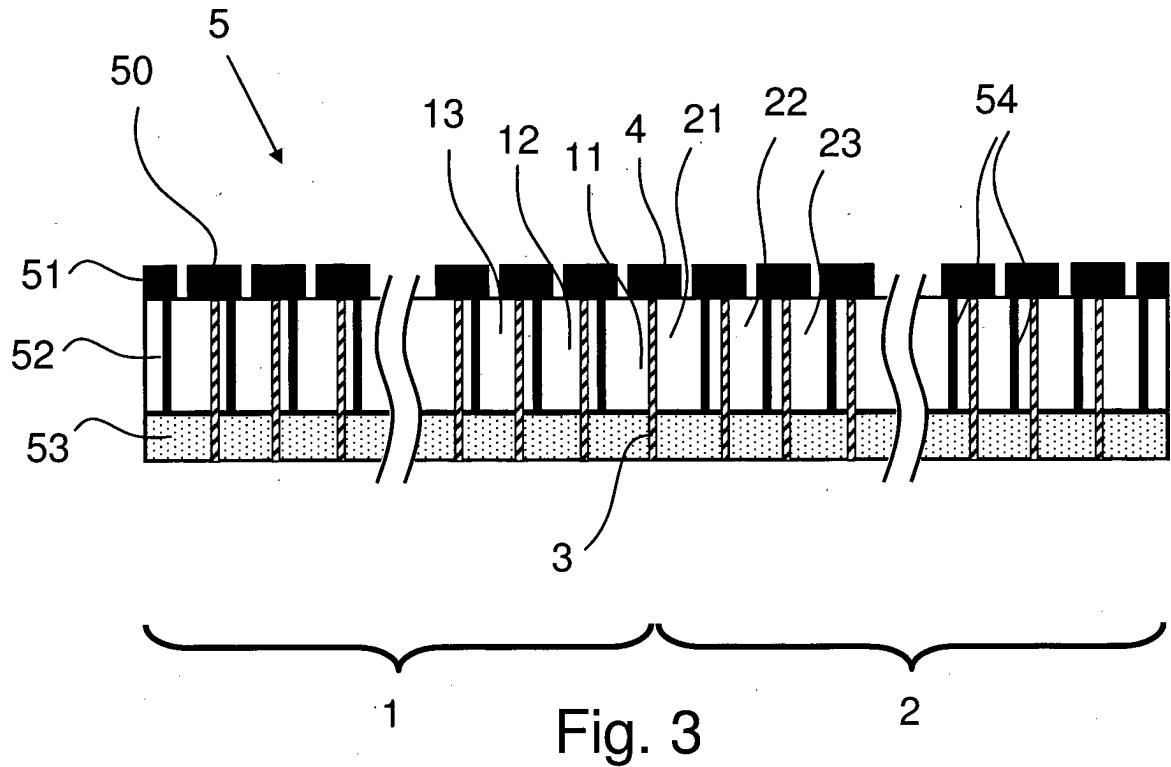
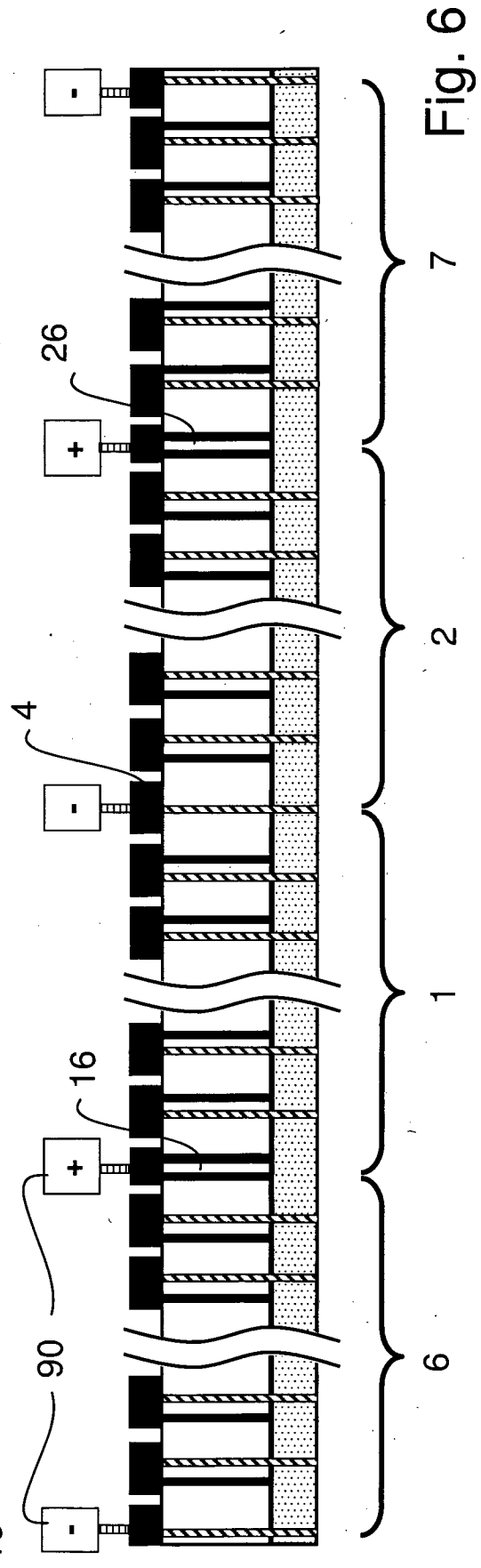
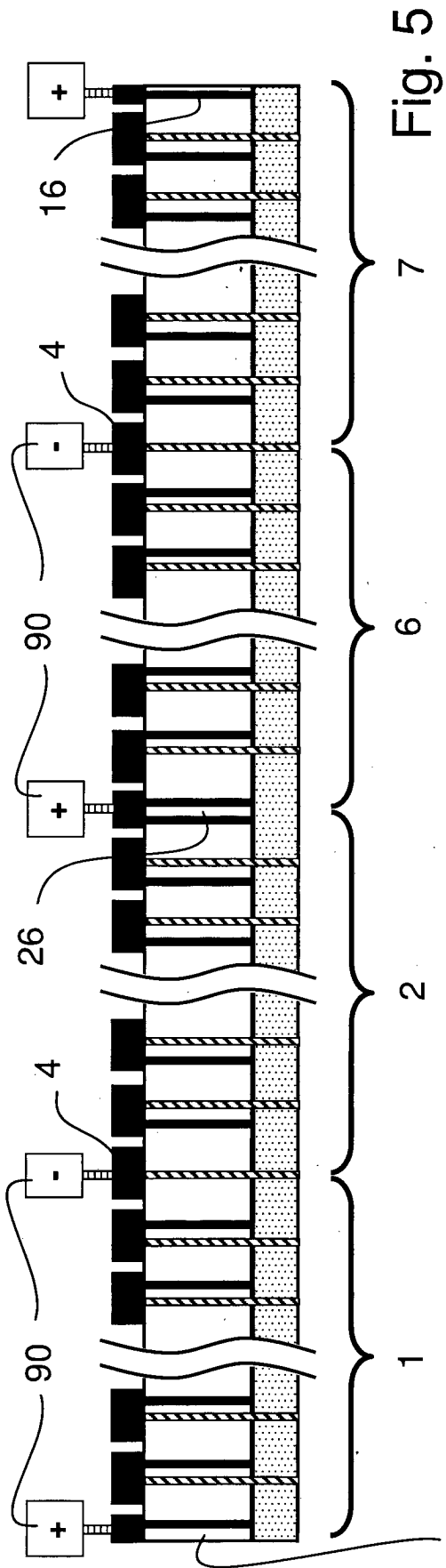


Fig. 2





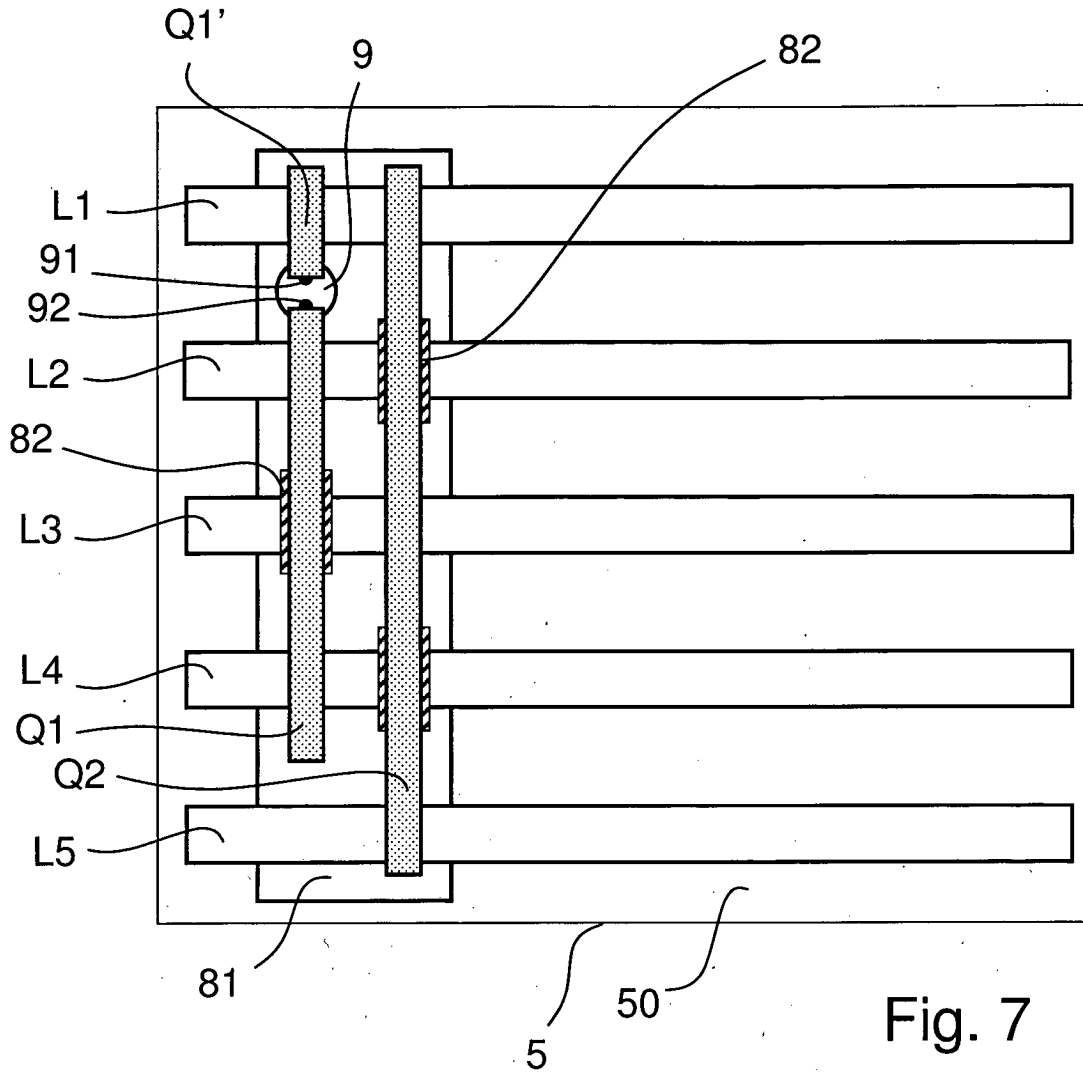


Fig. 7

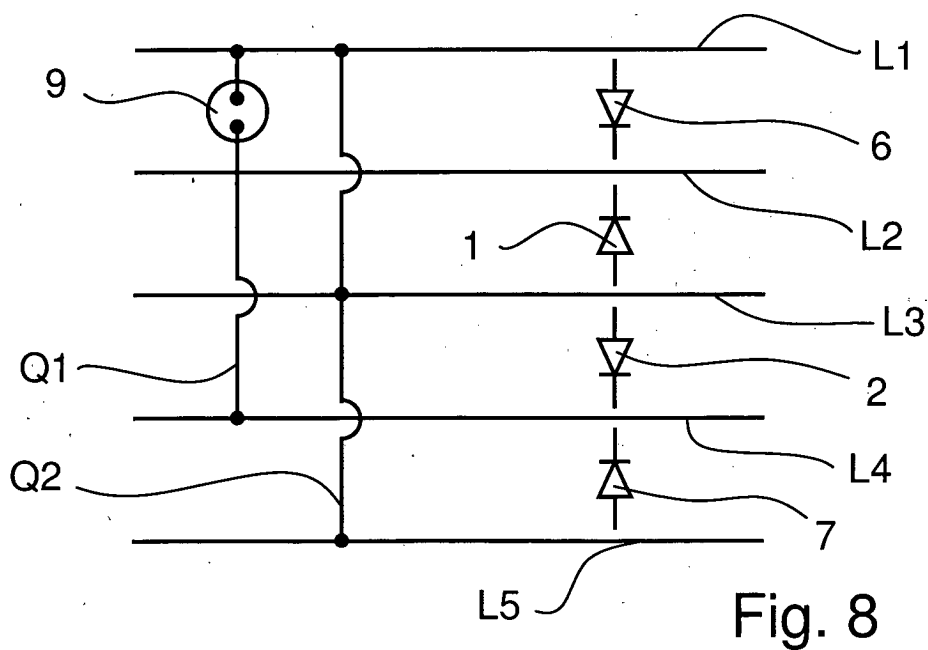


Fig. 8

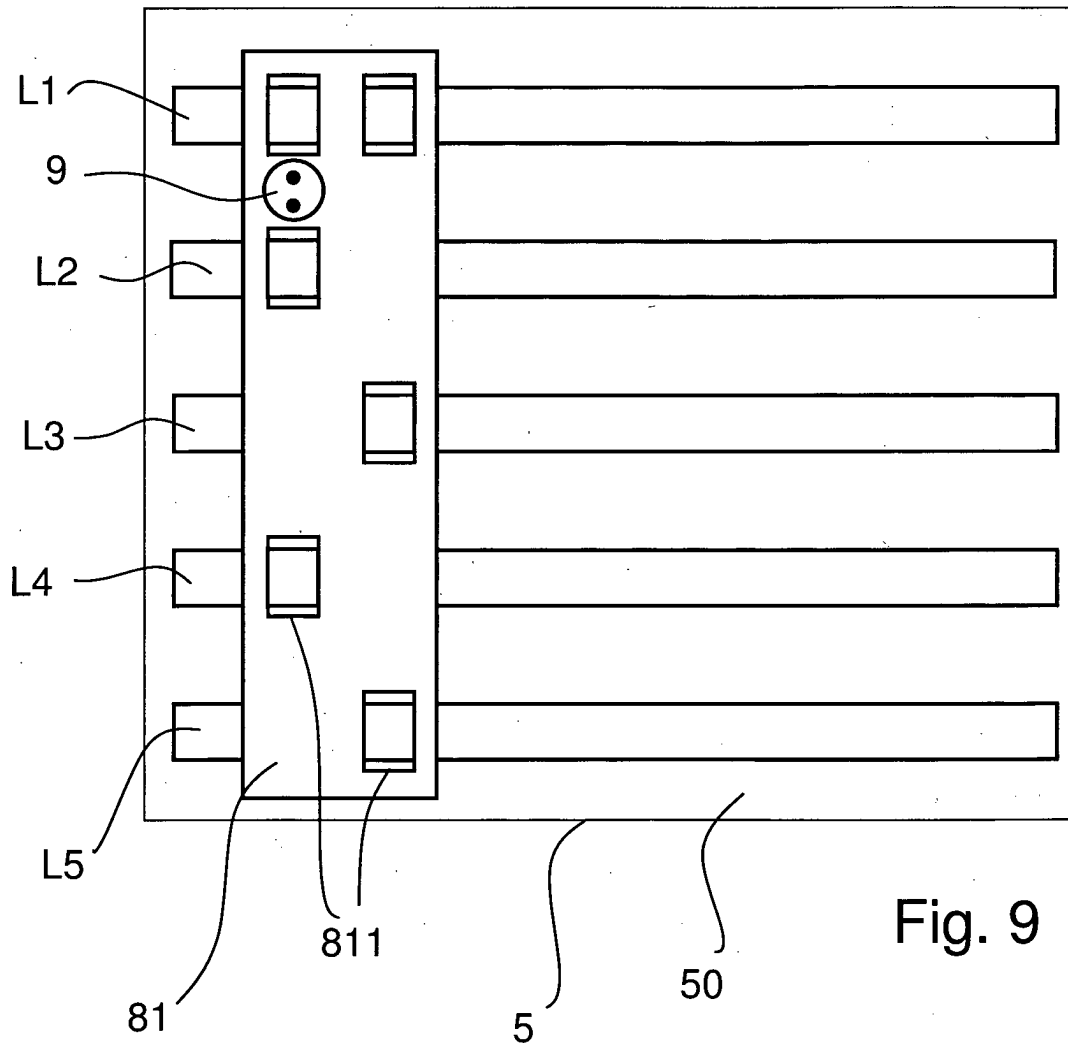


Fig. 9