

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. August 2002 (01.08.2002)

PCT

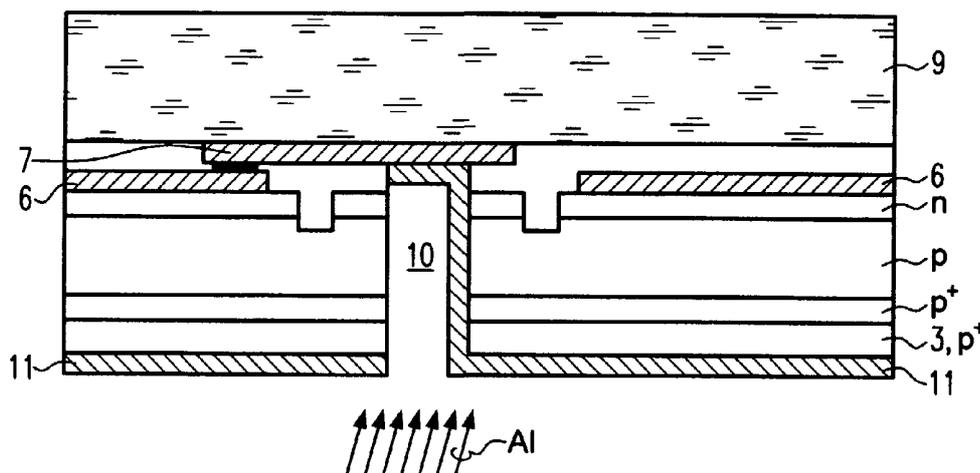
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/059981 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01L 31/0224 (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RINKE, Titus [DE/DE]; Magirushof 53, 89077 Ulm (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/00208 (74) Anwalt: LAMBSDORFF, Matthias; Lambsdorff & Lange, Dingolfinger Strasse 6, 81673 München (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 23. Januar 2002 (23.01.2002) (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 101 03 114.9 24. Januar 2001 (24.01.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): UNIVERSITÄT STUTT GART [DE/DE]; Kepler Str. 7, 70174 Stuttgart (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PRODUCTION OF ELECTRICAL CONNECTIONS IN SUBSTRATE OPENINGS ON CIRCUIT UNITS BY MEANS OF DIRECTED DEPOSITION OF CONDUCTING LAYERS

(54) Bezeichnung: HERSTELLEN ELEKTRISCHER VERBINDUNGEN IN SUBSTRATÖFFNUNGEN VON SCHALTUNGSEINHEITEN MITTELS GERICHTETER ABSCHIEDUNG LEITFÄHIGER SCHICHTEN



(57) Abstract: The method of production can, amongst others, be used for the production of solar modules, in which the individual solar cells are electrically connected in series. At least one recess (10) is thus produced in a semiconductor layered construct, containing a p-n junction and an electrically-conducting substance (Al) deposited in an essentially directed manner on a substrate section comprising the recess (10), whereby the deposition direction, running at a solid angle, is set at such an inclination that only a wall section within the recess (10) is covered by the electrically-conducting material and thus the front electrode layer (6) of a solar cell is electrically contacted with the rear electrode layer (11) of a solar cell neighbouring the above cell. By means of said method metallisation levels of multi-layered circuit boards can be electrically connected to each other.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 02/059981 A2



eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Das Herstellungsverfahren kann unter anderem zur Herstellung von Solarmodulen verwendet werden, in denen die einzelnen Solarzellen elektrisch in Serie geschaltet werden. Dabei wird in einem Halbleiterschichtaufbau enthaltend einen p-n-Übergang mindestens eine Vertiefung (10) erzeugt, und auf einen die Vertiefung (10) enthaltenden Substratabschnitt eine elektrisch leitfähige Substanz (A1) in im wesentlichen gerichteter Weise abgeschieden, wobei die sich über einen Raumwinkel erstreckenden Abscheidungsrichtungen derart schräggestellt ist, dass innerhalb der Vertiefung (10) nur ein Wandabschnitt von der elektrisch leitfähigen Substanz bedeckt wird und somit die vorderseitige Elektrodenschicht (6) einer Solarzelle mit der rückseitigen Elektrodenschicht (11) einer dazu benachbarten Solarzelle elektrisch kontaktiert wird. Mit dem Verfahren können auch Metallisierungsebenen von Mehrlagenleiterplatten elektrisch untereinander kontaktiert werden.

Beschreibung

Herstellen elektrischer Verbindungen in Substratöffnungen von
Schaltungseinheiten mittels gerichteter Abscheidung leitfähiger Schichten

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren für eine elektronische oder optoelektronische Schaltungseinheit und insbesondere eine elektrische Kontaktierungsstruktur
10 darin. Bei diesem Verfahren wird in einem Substrat als einem Zwischenprodukt der Schaltungseinheit eine Öffnung oder Vertiefung in eine Substratoberfläche geformt und ein die Vertiefung enthaltender Substratabschnitt mit einer elektrisch leitfähigen Substanz beaufschlagt. Das Verfahren kann bei-
15 spielsweise auf die Serienverschaltung von photovoltaischen Solarzellen in einem Solarmodul oder auf die Kontaktierung zwischen Metallisierungsebenen einer Mehrfachleiterplatte angewandt werden.

20 Bei der Herstellung elektrischer Kontaktierungsstrukturen für elektronische oder optoelektronische Schaltungseinheiten besteht aufgrund der räumlichen Dichte der vorhandenen oder zu erzeugenden Leiterbahn- und Metallisierungsstrukturen häufig ein Problem darin, elektrische Verbindungen zwischen zwei
25 oder mehr Kontaktanschlüssen gezielt und räumlich selektiv zu erzeugen. Um dieses zu erreichen, müssen in aufwendiger Weise mehrere Strukturierungs- und Abscheideprozesse durchgeführt werden.

30 Ein Beispiel für derartige Schaltungseinheiten sind sogenannte Solarmodule, die eine Mehrzahl von Solarzellen, insbesondere Dünnschichtsolarzellen aufweisen, die durch elektrische Kontaktierungsstrukturen in Serie geschaltet werden sollen. Hierzu sind bisher zahlreiche Vorschläge publiziert worden,
35 die eine derartige Serienverschaltung ermöglichen.

In der US-A-5,593,901 ist ein photovoltaisches Solarmodul und ein Verfahren zu seiner Herstellung beschrieben, bei welchem auf einem isolierenden transparenten Substrat wie einem Glas-
substrat in abwechselnder Weise die einzelnen Schichten abge-
5 schieden und mechanisch strukturiert werden. Dabei wird zu-
erst auf die Substratplatte ein leitfähiger transparenter
Film aufgebracht und in eine Vielzahl von parallelen Fronte-
lektroden strukturiert. Anschließend wird auf den Frontelek-
troden und den zwischen ihnen vorhandenen Gräben eine photo-
10 voltaische Region aus einem dünnen Film wasserstoffdotiertem,
amorphem Siliziums in einer konventionellen PIN-Struktur auf-
gebracht. Das Halbleitermaterial in den Gräben zwischen den
Frontelektroden sorgt dabei für eine elektrische Isolierung
der Frontelektroden voneinander. Dann werden in der photovol-
15 tatischen Halbleiterschicht parallele Gräben erzeugt und die
Halbleiterschicht somit in eine Mehrzahl photovoltaischer
Elemente strukturiert, die jeweils oberhalb der Frontelektro-
den zu liegen kommen. Schließlich wird auf der strukturierten
Halbleiterschicht und die zwischen den Solarzellen geformten
20 Gräben ein dünner Film eines leitfähigen Materials aufge-
bracht. Das die Gräben in der Halbleiterschicht
füllende Material dieser leitfähigen Schicht sorgt für elek-
trische Verbindungen zwischen dem leitfähigen Film und den
Frontelektroden. Durch Formen von Gräben in dem leitfähigen
25 Film wird dieser dann noch in eine Mehrzahl von Rückelektro-
den strukturiert.

In der US-A-6,011,215 wird ein weiteres photovoltaisches So-
larmodul beschrieben, welches eine Mehrzahl von photovol-
30 tatischen Regionen aufweist, die elektrisch parallel zueinan-
der geschaltet sind. Dieses Solarmodul weist dabei insbeson-
dere ein metallisches Substrat, eine auf dem Substrat ange-
ordnete elektrisch isolierende Schicht, eine elektrisch leit-
fähige untere Elektrodenschicht auf der isolierenden Schicht,
35 eine Mehrzahl von in der unteren Elektrodenschicht und der
isolierenden Schicht definierten elektrischen Durchkontaktie-
rungen, eine auf der unteren Elektrodenschicht angeordnete

Halbleiterschicht und eine obere transparente elektrisch leitfähige Materialschicht auf. Die isolierende Schicht und die untere Elektrodenschicht sind somit partiell durch die Durchkontaktierungen durchbrochen und der durch die obere
5 Elektrodenschicht gebildete Vorderseitenkontakt mit dem leitenden Substrat durch die vertikalen Durchkontaktierungen verbunden.

Eine Publikation von S.I. Mizuno et al. in "Technical Digest
10 11th photovoltaic solar energy conference (Sapporo, 1999)", S. 745, beschreibt die Herstellung einer abtrennbaren Epitaxieschicht auf einem Halbleiterwafer, auf die ein Plastikfilm nach Fertigstellung der Solarzelle aufgeklebt wird. Dieser Plastikfilm wird mit dem Laser durchtrennt, ein zweiter La-
15 serstrahl durchtrennt dann vertikal die epitaktische Membran. Anschließend wird der Plastikfilm zusammen mit der Epitaxiemembran vom Wafer abgehoben und die Rückseite des Moduls verkapselt.

Schließlich sei noch erwähnt, daß in der CuInGaSe₂-(CIGS) Solarzellentechnologie üblicherweise ein Glassubstrat verwendet wird, auf das eine Molybdänschicht aufgebracht wird. Dieses Molybdän wird dann mechanisch oder mittels eines Laserstrahls strukturiert, d.h. in einzelne Streifen getrennt. In einem
25 zweiten Schritt wird das CIGS aufgebracht und danach lateral versetzt zu den Molybdänstreifen ebenfalls durchtrennt. Nach Deposition einer Pufferschicht wird in einem dritten Schritt eine transparente Frontelektrode aufgebracht und danach lateral versetzt zu der CIGS-Strukturierung ebenfalls durch-
30 trennt.

Die vorstehend aufgeführten Techniken zur Serienverschaltung in Solarmodulen sind entweder in der Prozessführung zu aufwendig oder erzielen schlechte oder nicht reproduzierbare Mo-
35 dulwirkungsgrade. Andererseits ist jedoch eine Serienverschaltung von Einzelzellen zu Modulen notwendig, da Einzelzellen nur eine Spannung von weniger als 1 Volt liefern und

Module in der Regel mit einer Spannung von mehr als 10 Volt nachgefragt werden.

Eine elektronische Schaltungseinheit, bei der elektrische Kontaktierungen vorgenommen werden, ist beispielsweise in dem hier gebrauchten Wortsinn eine Mehrlagenleiterplatte. Auch bei Mehrlagenleiterplatten besteht im Stand der Technik ein Problem darin, daß Leiterplatten allgemein im Aufbau immer kompakter werden und die einzelnen Leiterbahnen immer feiner werden, so daß die Technologie für deren Herstellung sich der Herstellung von Leiterbahnen auf integrierten Schaltungen annähert. Es wird somit zunehmend schwierig, innerhalb einer Mehrlagenleiterplatte verschiedene Metallisierungsebenen paarweise oder gruppenweise gezielt miteinander elektrisch zu verbinden.

Die Verbindung der einzelnen Metallisierungsebenen von Mehrlagenleiterplatten wird konventioneller Weise durch galvanisches Aufbringen von Metall in sogenannte Via-Holes vollzogen. Dieses Verfahren ermöglicht jedoch in einem Via-Hole nur die Verbindung von zwei bestimmten Ebenen. Bei diesem Verfahren muß galvanisch so viel Metall abgeschieden werden, bis die sich verdickenden Metallebenen sich berühren und so einen elektrischen Kontakt untereinander herstellen.

Aus der Japanischen Patentanmeldung JP 02310994 A ist ein Verfahren zur Beaufschlagung eines Durchgangskontakts einer Leiterplatte mit einem leitfähigen Material bekannt, bei welchem die Leiterplatte auf einer Drehachse befestigt wird, wobei das zu beschichtende Durchgangsloch außerhalb der Drehachse angeordnet ist. Dann wird die Leiterplatte in gerichteter Weise mit leitfähigem Material beaufschlagt, wobei die Abscheidungsrichtung in Bezug auf die Wände des Durchgangslochs schräggestellt ist. Gleichzeitig wird die Leiterplatte um ihre Drehachse in Rotation versetzt. Somit werden nicht nur die der Verdampfungsquelle der leitfähigen Substanz zugewandte Oberfläche der Leiterplatte sondern ebenso die Wände

des Durchgangslochs gleichmäßig mit der leitfähigen Substanz beschichtet. Dabei kann jedoch stets nur die gesamte Innenwand des Durchgangslochs beschichtet werden. Ein selektives Aufbringen der leitfähigen Substanz auf bestimmte Abschnitte
5 der Innenwand ist nicht möglich.

In der US-A-6,147,311 wird eine Mehrlagenleiterplatte beschrieben, in welcher die Metallisierungsebenen zwischen Klebeschichten eingebettet sind, in welchen elektrisch leitfähige Partikel dispergiert sind. Verschiedene Metallisierungsebenen werden dadurch miteinander verbunden, daß mit einer geeigneten Vorrichtung Leiterbahnen an ihren Enden durch die Klebeschicht gegen die Leiterbahn der benachbarten Metallisierungsebene gebogen werden, wobei durch die Wirkung der
10 elektrisch leitfähigen Partikel in der Klebeschicht ein elektrischer Kontakt zwischen den Leiterbahnen der Metallisierungsebenen entsteht. Um Leiterbahnen mehrerer Metallisierungsebenen miteinander zu kontaktieren, sind jedoch entsprechend viele Biegeschritte notwendig. Es ist nicht möglich,
15 mit einem einzigen Verfahrensschritt mehrere Metallisierungsebenen miteinander zu verbinden. Dieses Verfahren stellt sich somit für kompliziertere Kontaktierungsprozesse als zu aufwendig dar.
20

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Herstellungsverfahren für eine elektronische oder optoelektronische Schaltungseinheit, insbesondere für deren elektrische Kontaktierungsstruktur, anzugeben, durch welches die Schaltungseinheit mit geringerem Herstellungsaufwand gefertigt werden
25 kann. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Solarmodul herzustellen, in welchem eine Mehrzahl von photovoltaischen Solarzellen in Serie miteinander verschaltet sind. Ferner ist es insbesondere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Mehrlagenleiterplatte herzustellen und dabei
30 paarweise oder gruppenweise verschiedene Metallisierungsebenen miteinander elektrisch zu kontaktieren.
35

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sowie Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen angegeben.

5

Ein wesentlicher Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, daß in einem Substrat, welches ein Zwischenprodukt der herzustellenden Schaltungseinheit ist, eine Öffnung oder Vertiefung erzeugt wird und die Öffnung mit der Abscheidung mindestens einer elektrisch leitfähigen Substanz beaufschlagt wird. Die Abscheidung kann beispielsweise durch Aufdampfen oder Sputtern der elektrisch leitfähigen Substanz aus einer geeigneten Quelle durchgeführt werden.

10
15 Entscheidend ist dabei, daß die Abscheidung in im wesentlichen gerichteter Weise erfolgt, so daß innerhalb der Vertiefung ein Abschnitt von der elektrisch leitfähigen Substanz nicht bedeckt wird. Dies bedeutet, daß aus einer isotropen Verteilung von Abscheidungsrichtungen mindestens ein Raumwinkelbereich ausgeblendet werden muß, der auf eben diesen nicht zu bedeckenden Abschnitt gerichtet ist.

25 Im allgemeinen bedeutet dies, daß die bei der Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz vorhandenen Abscheidungsrichtungen, die sich in der Praxis über einen bestimmten Raumwinkel erstrecken, in Bezug auf mindestens eine Wand der Substratöffnung schräggestellt sind. Dies hat einen Abschattungseffekt zur Folge, so daß innerhalb der Substratöffnung ein Wand- und/oder Bodenabschnitt der Vertiefung von der elektrisch leitfähigen Substanz während der Abscheidung nicht bedeckt wird. Ein Idealfall liegt dann vor, wenn die Abscheidung vollständig gerichtet ist, also nur eine Abscheidungsrichtung vorliegt und diese zu der betreffenden Wand der Vertiefung schräggestellt und von dieser weggerichtet ist. In
30
35 der Praxis wird dieser Idealfall kaum erreicht werden können, da einerseits die Emission der leitfähigen Substanz von der Quelle in einen Raumwinkel erfolgt und ein Ausblenden nur ei-

ner einzigen Richtung zu einer unvertretbaren Verminderung der Materialausbeute und des Durchsatzes führen würde. Zum anderen werden die verwendeten Aufdampfanlagen meistens so betrieben, daß die zu bedampfenden Substrate während der Bedampfung unterhalb der Quelle verfahren werden, so daß selbst bei vollständig gerichteter Abscheidung seitens der Quelle sich ein Raumwinkel der Abscheidung ergeben würde. Es wird daher zumeist darauf ankommen, diesen Raumwinkel durch am Austritt der leitfähigen Substanz aus der Quelle angebrachte Blenden, gegebenenfalls unter Berücksichtigung einer von dem Substrat während der Bedampfung zurückgelegten Wegstrecke so einzustellen, daß in dem Raumwinkel keine Abscheidungsrichtung enthalten ist, die auf die betreffende Wand der Vertiefung gerichtet ist. In den meisten Fällen müssen also die in dem Raumwinkel enthaltenen Abscheidungsrichtungen zu der betreffenden Wand schräggestellt und von ihr weggerichtet sein.

Dies gilt jedoch nicht generell, sondern hängt außerdem noch von dem Aspektverhältnis der Vertiefung (Tiefe/Breite-Verhältnis) ab. Wenn das Aspektverhältnis groß genug ist, so können auch Abscheidungsrichtungen vorhanden sein, die auf die betreffende Wand gerichtet sind, solange tieferliegende Abschnitte existieren, die von keiner Abscheidungsrichtung erreicht werden können.

Der Terminus „im wesentlichen gerichtet“ ist also zu verstehen, daß die Abscheidung nicht ungerichtet erfolgen soll und daß wie oben erläutert bei der Abscheidung bestimmte Raumwinkelbereiche ausgeblendet werden sollen.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann demnach in der Vertiefung eine räumlich selektive Abscheidung erzielt werden. Diese räumlich selektive Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz in der Substratvertiefung kann auf verschiedene Weise dazu ausgenutzt werden, eine Kontaktierungsstruktur in einer Schaltungseinheit herzustellen. In jedem Fall soll die derart räumlich selektiv abgeschiedene elektrisch leitfähige

Substanz in der Substratöffnung mit einer oder mehreren anderen elektrisch leitfähigen Schichten kontaktiert werden. Dies kann entweder dadurch geschehen, daß diese elektrisch leitfähigen Schichten bereits in der Substratöffnung vorhanden und
5 durch die elektrisch leitfähige Substanz bei ihrer Abscheidung kontaktierbar sind. Es kann aber ebenso vorgesehen sein, daß die elektrisch leitfähige Substanz erst nach ihrer Abscheidung in die Substratöffnung mit der weiteren elektrisch leitfähigen Schicht kontaktiert wird. Im folgenden werden anhand der Ausführungsbeispiele für verschiedene Schaltungseinheiten diese beiden Varianten der Herstellung der Kontaktierungsstruktur deutlich werden.

Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren herzustellende Schaltungseinheit kann beispielsweise gemäß einer ersten Ausführungsform durch ein Solarmodul aus einer Mehrzahl lateral benachbarter photovoltaischer Solarzellen gebildet sein, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in Serie geschaltet werden sollen. Diesbezüglich lassen sich zwei Ausführungsarten
15 des erfindungsgemäßen Verfahrens voneinander unterscheiden, durch die im Aufbau verschiedenartige Solarmodule hergestellt werden können.

Bei einer ersten Ausführungsart wird auf eine Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrats eine Metallisierung in Form von einer Mehrzahl von voneinander beabstandeten, elektrisch leitfähigen Schichten aufgebracht. Anschließend werden eine oder mehrere Vertiefungen oder Öffnungen jeweils bis zu Randbereichen von einer von zwei benachbarten elektrisch leitfähigen
25 Schichten geformt und die Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz wird dann vorzugsweise durch eine Schrägstellung der Abscheidungsrichtungen in bezug auf eine abzuschattende Wand so ausgeführt, daß eine Kontaktierung zwischen der in der Vertiefung angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht und einem an die Vertiefung angrenzenden und der anderen der
30 zwei benachbarten elektrisch leitfähigen Schichten gegenüberliegenden Oberflächenabschnitt bzw. einer auf diesem erzeug-

ten Metallisierung herbeigeführt wird. Dabei kann auch gleichzeitig mit der Abscheidung die Metallisierung dieses Oberflächenabschnitts und die Kontaktierung des Oberflächenabschnitts mit der elektrisch leitfähigen Schicht bewirkt werden. In Folge der Schrägstellung der Abscheidungsrichtung(en) und des dadurch erzielten Abschattungseffektes wird somit der nur auf einer Seite der Vertiefung gelegene Oberflächenabschnitt mit der elektrisch leitfähigen Schicht in der Vertiefung kontaktiert, während der auf der anderen Seite der Vertiefung gelegene Oberflächenabschnitt nicht mit der elektrisch leitfähigen Schicht in der Vertiefung kontaktiert wird.

Bei einer zweiten Ausführungsart zur Herstellung eines Solarmoduls aus einer Mehrzahl lateral benachbarter und in Serie geschalteter photovoltaischer Solarzellen werden in ein Substrat mindestens eine Vertiefung oder Öffnung in die Substratoberfläche geformt. Dann wird eine elektrisch leitfähige Substanz auf einen die Vertiefung enthaltenden Oberflächenabschnitt vorzugsweise durch schräggerichtete Abscheidung abgeschieden, so daß in Folge des durch die Schrägstellung der in dem Raumwinkel enthaltenen Abscheidungsrichtungen bedingten Abschattungseffekts die elektrisch leitfähige Substanz an einer Seitenwand der Vertiefung nicht abgeschieden wird.

Dann wird eine Halbleiterschicht ebenso in im wesentlichen gerichteter Weise auf den die Vertiefung enthaltenden Oberflächenabschnitt abgeschieden, wobei die Schrägstellung der in dem Raumwinkel enthaltenen Abscheidungsrichtungen derart eingestellt wird, daß der von der elektrisch leitfähigen Substanz nicht bedeckte Abschnitt der Vertiefung im wesentlichen auch von der Halbleiterschicht nicht bedeckt wird. Gleichzeitig muß dafür Sorge getragen werden, daß eine im Anschluß daran auf die Halbleiterschicht aufzubringende elektrisch leitfähige Schicht mit der unter der Halbleiterschicht befindlichen elektrisch leitfähigen Substanz kontaktiert werden kann. Dies kann beispielsweise

dadurch geschehen, daß bei der Abscheidung der Halbleitermaterialschi-
tterschicht ein Kontaktabschnitt der abgeschiedenen elek-
trisch leitfähigen Substanz freibleibt, der bei der nachfol-
genden Abscheidung der elektrisch leitfähigen Schicht kontak-
5 tiert wird. Es kann aber auch dieser Kontaktabschnitt nicht
vorgesehen sein und stattdessen durch geeignete Verfahrensführung die Halbleitermaterialschi-
tterschicht so abgeschieden werden, daß sie an einer Stelle Durchgangslöcher aufweist, durch die
eine elektrische Kontaktierung zwischen beidseits der Schicht
10 befindlichen elektrisch leitfähigen Schichten möglich wird.

Schließlich wird die weitere elektrisch leitfähige Schicht
derart auf den die Vertiefung enthaltenden Substratabschnitt
abgeschieden, daß in der Vertiefung ein Abschnitt auf der
15 Halbleitermaterialschi-
tterschicht nicht bedeckt wird. In der Vertiefung ist somit die zuerst abgeschiedene elektrisch leitfähige
Substanz entweder an dem erwähnten Kontaktabschnitt oder
durch die in der Halbleitermaterialschi-
tterschicht enthaltenen Durchgangslöcher mit der später abgeschiedenen elektrisch leitfähigen
20 Schicht elektrisch kontaktiert.

Die elektrisch leitfähige Schicht kann in vorteilhafter Weise
ebenfalls durch eine Schrägrichtung von innerhalb eines Raum-
winkels enthaltenen Abscheidungsrichtungen aufgebracht wer-
25 den, wobei diesmal der Winkel der Abscheidungsrichtungen so
eingestellt wird, daß die Schicht in Folge der Abschattung
auf einer Seitenwand der Vertiefung nicht abgeschieden wird,
die derjenigen Seitenwand gegenüberliegt, auf der die elek-
trisch leitfähige Substanz nicht abgeschieden wurde. Es kann
30 jedoch auch vorgesehen sein, daß die elektrisch leitfähige
Schicht zunächst durch einen ungerichteten Abscheideprozeß
ganzflächig abgeschieden wird und anschließend in einem
Strukturierungsschritt oder durch einfaches mechanisches Rit-
zen ein Teil der Schicht an geeigneter Stelle wieder entfernt
35 wird.

Auf den Oberflächenabschnitten des Substrats beidseits der Vertiefung werden somit Solarzellen gebildet, die durch das erfindungsgemäße Verfahren zueinander in Serie geschaltet werden. Durch Anordnung mehrerer Vertiefungen können somit
5 eine Mehrzahl von Solarzellen in Reihe geschaltet werden.

Bei der zuletzt beschriebenen Ausführungsart kann das Substrat dadurch gebildet werden, indem auf einem Träger, insbesondere einer Glas-, Kunststoff- oder Metallplatte, eine
10 strukturierbare Materialschicht, insbesondere aus einem Kunststoff wie Polyimid aufgebracht wird. Beispielsweise kann ein als Positivresist wirkendes Polyimid oder ein anderer geeigneter Positivresist verwendet werden, der zum Zweck der Erzeugung der Vertiefungen mit Licht geeigneter Wellenlänge
15 belichtet und anschließend entwickelt wird.

Als ein Halbleitermaterial bei dieser zweiten Ausführungsart kann beispielsweise CIGS verwendet werden.

20 Bei der oben beschriebenen ersten Ausführungsart wird somit von einer Variante der Erfindung Gebrauch gemacht, in der die elektrisch leitfähige Substanz in der Vertiefung bei ihrer Abscheidung mit einer elektrisch leitfähigen Schicht kontaktiert wird. In diesem Fall ist nämlich die elektrisch leitfähige Schicht bereits in der Vertiefung, nämlich am Boden der
25 Vertiefung vorhanden. Bei der zweiten, oben beschriebenen Ausführungsart wird dagegen von der anderen Variante der Erfindung Gebrauch gemacht, in der die elektrisch leitfähige Substanz erst nach ihrer Abscheidung in die Vertiefung mit
30 einer elektrisch leitfähigen Schicht kontaktiert wird. In diesem Fall wird nämlich die elektrisch leitfähige Schicht erst nach der Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz in der beschriebenen Weise auf diese aufgebracht.

35 In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Schaltungseinheit durch eine Mehrlagenleiterplatte gebildet.

Bei einer Mehrlagenleiterplatte wird das erfindungsgemäße Verfahren dahingehend angewandt, daß gruppenweise jeweils mehrere Metallisierungsebenen elektrisch miteinander verbunden werden. Dabei wird das Substrat durch eine Mehrlagenleiterplatte gebildet und in einem Abschnitt, in dem eine Verbindung von Metallisierungsebenen erfolgen soll, wird eine Vertiefung mindestens bis zu der untersten zu verbindenden Metallisierungsebene geformt. Die Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz erfolgt dann derart, daß zumindest ein Abschnitt in der Vertiefung bedeckt wird.

Im folgenden werden die Ausführungsformen und Ausführungsarten der vorliegenden Erfindung anhand der Zeichnungsfiguren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A-F Verfahrensschritte zur Herstellung eines Solarmoduls mit serienverschalteten Solarzellen nach einer ersten Ausführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2A-D Verfahrensschritte zur Herstellung eines Solarmoduls mit serienverschalteten Solarzellen nach einer zweiten Ausführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 3A,B Herstellung von elektrischen Kontaktierungsstrukturen bei Mehrlagenleiterplatten;

Fig. 4A-H Verfahrensschritte bei der Herstellung und elektrischen Kontaktierung einer Mehrlagenleiterplatte.

In den Fig. 1A-F wird die Herstellung eines Solarmoduls beschrieben, bei welchem mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Mehrzahl lateral benachbarter photovoltaischer

Solarzellen in Serie geschaltet werden können. Dabei sind in den Zeichnungen jeweils in einem Längsschnitt zwei lateral benachbarte Solarzellen dargestellt.

5 Die Solarzellen sind aus einer dünnen Schicht eines Halbleitermaterials aufgebaut und werden deshalb Dünnschichtsolarellen genannt. Bei der Herstellung wird eine sogenannte Transfertech-
10 nique angewandt, welche auf dem Transfer dünner, einkristalliner Halbleiterschichten von einem Wafer auf ein Fremdsubstrat wie ein Glassubstrat beruhen. Bei dem Transferprozeß wird eine dünne, vom Wafer abtrennbare, einkristalline Oberflächenschicht bis zu einem bestimmten Stadium prozessiert, d.h. mit elektronischen oder optoelektronischen Bauelementen versehen und anschließend – im allgemeinen mit Hilfe
15 des Fremdsubstrats – von dem Wafer abgetrennt. Nach dem Abtrennen der prozessierten Halbleiterschicht steht der Halbleiterwafer für einen neuen Zyklus zur Verfügung.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf dem in der Fig. 1A
20 angedeuteten Transferprozeß, der nachfolgend näher erläutert wird. Es können jedoch auch andere Transfertech-
niken angewandt werden.

Die bei dem Verfahren gemäß der Fig. 1A-F eingesetzte Trans-
25 fertech- nique ist beispielsweise in den Druckschriften EP 0 797 258 oder EP 0 993 029 beschrieben, welche hiermit in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung einbezogen werden. Diese Transfertech-
30 nique beruht im Falle von Silizium auf der Herstellung sogenannter quasi-monokristalliner Siliziumschichten (QMS). Der Prozeß beginnt mit der Herstellung einer 1-2µm dünnen, porösen Siliziumschicht auf der Oberfläche eines einkristallinen Siliziumwafers 1. Der Siliziumwafer 1 wird durch eine flußsäurehaltige Lösung elektrochemisch ge-
35 ätzt. Dabei läßt sich die Porosität durch die elektrische Stromdichte während des Ätzens einstellen. Die oberflächennahe Schicht mit einer relativ niedrigen Porosität wird später in die QMS-Schicht 3 umgewandelt. Wenn diese Schicht die ge-

wünschte Dicke erreicht hat, wird die Stromdichte während des Ätzprozesses erhöht, und es entsteht eine zweite vergrabene, hochporöse sogenannte Trennschicht 2. Diese Trennschicht dient später zur Separation der QMS-Schicht 3 von dem Wafer 1. Das aus feinen, nanoskopisch dünnen Fäden bestehende poröse Material ist kristallin und besitzt die gleiche kristallographische Orientierung wie der Ausgangswafer. Durch eine Erhitzung auf über 1000°C lagern sich die dünnen, fadenartigen Strukturen zu einer kompakten Schicht zusammen, aus der die QMS-Schicht 3 mit niedriger Porosität entsteht.

Die QMS-Schicht 3 bildet die Basis der Dünnschichtsolarzelle. Im Prinzip gibt es zwei Möglichkeiten, diese Dünnschichtso-larzelle herzustellen. Entweder die QMS-Schicht 3 dient selbst als Solarzellenschicht und wird in geeigneter Weise mit Dotierstoffen entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps beaufschlagt, ohne daß weiteres Halbleitermaterial aufgewachsen wird. Die in den Fig. 1A-F dargestellte Alternative beruht dagegen darauf, daß die QMS-Schicht 3 selbst nur als Substratschicht für weitere Epitaxieschichten dient, aus denen dann die Solarzelle gefertigt wird.

Zunächst wird in der QMS-Schicht 3 eine hohe p-Dotierung eingestellt, um für die später aufzubringende Rückseitenmetallisierung einen niedrigen ohmschen Kontaktwiderstand zu ermöglichen. Auf diese p⁺-dotierte QMS-Schicht 3 wird dann zunächst noch eine p⁺-dotierte Zwischenschicht 4 aufgebracht. Auf diese wird dann eine p-dotierte Absorberschicht 5 aufgewachsen. Als Schichtwachstum für die Zwischenschicht 4 und die Absorberschicht 5 kann beispielsweise ein CVD-Verfahren eingesetzt werden. Anschließend wird ein oberflächennaher Bereich der ursprünglich p-dotierten Schicht 5 durch Eindiffundieren eines n-leitenden Materials wie Phosphor in eine n⁺-leitende Oberflächenschicht 5.1 umgewandelt, so daß durch die n⁺-dotierte Schicht 5.1 und die p-dotierte Schicht 5.2 der p-n-Übergang der Solarzelle hergestellt ist. Die n⁺-dotierte Schicht kann auch auf andere Weise hergestellt werden, bei-

spielsweise durch Abscheiden einer n^+ -dotierten, amorphen Si-Schicht.

In den nachfolgenden Figuren sind bereits der Substratwafer 1 und die Trennschicht 2 aus Gründen der vereinfachten Darstellung weggelassen worden, wenngleich der eigentliche Transfer der Dünnschichtsolarzelle auf das Fremdsubstrat erst in einem späteren Schritt folgt.

10 In der Fig. 1B ist zunächst dargestellt, wie auf der Oberfläche der n^+ -dotierten Schicht 5.1 eine Anzahl Elektrodenschichten 6 aufgebracht wird. Diese Elektrodenschichten 6 befinden sich am Rand von streifenförmigen Bereichen, die sich in die Bildebene hinein erstrecken und durch die einzelnen
15 Solarzellen gebildet werden. Da die Elektrodenschichten 6 nur am Rand dieser streifenförmigen Bereiche angeordnet sind, müssen sie für die auftreffende optische Strahlung nicht transparent sein. Die eigentliche Solarzelle wird jeweils durch den nicht von der Elektrodenschicht 6 bedeckten Bereich
20 gebildet, in dem die n^+ -dotierte Si-Schicht an der Oberfläche liegt. Für den Stromtransport bis zu der randseitigen Elektrodenschicht 6 reicht die elektrische Leitfähigkeit der n^+ -dotierten Schicht aus. In den Figuren 1A-F sind zwei benachbarte Elektrodenschichten 6 in der zur Längsrichtung der
25 streifenförmigen Bereiche senkrechten Schnittebene dargestellt. Alternativ dazu kann auch vorgesehen sein, daß die Elektrodenschichten 6 sich jeweils über die gesamte Länge der streifenförmigen Bereiche erstrecken, wobei dann die Elektrodenschichten 6 für die auftreffende Strahlung im wesentlichen
30 transparent sein müssen. In der Praxis wird ein Mittelweg gewählt, indem in die Bildebene hinein eine Anzahl von Elektrodenschichten 6 in Form von Kontaktfingern angeordnet wird, deren Abstand voneinander von der Leitfähigkeit der n^+ -dotierten Schicht abhängt.

35

Durch die sich in die Bildebene hinein erstreckenden streifenförmigen Bereiche werden somit die einzelnen Solarzellen

definiert, die durch elektrisches Verbinden der zugehörigen Elektrodenschichten 6 in Serie geschaltet werden sollen. Im folgenden wird beschrieben, wie die beiden dargestellten Solarzellen in Serie geschaltet werden. In entsprechender Weise werden gleichzeitig alle anderen sich rechts und links davon anschließenden Solarzellen seriell miteinander verschaltet. Zur Trennung benachbarter Solarzellen werden gemäß Fig. 1B zwei Mesagräben A jeweils bis unterhalb des p-n-Übergangs in die Halbleiterschichten geätzt, wie dargestellt, jeweils unmittelbar benachbart zu und entlang den Rändern der streifenförmigen Elektrodenschichten 6. Die Bereiche zwischen den Mesagräben A definieren somit inaktive Bereiche des Solarmoduls. Alternativ dazu können die Zellen durch Ritzen separiert werden oder indem bereits bei dem vorherigen Schritt des Eindiffundierens der n-leitenden Substanz eine laterale Strukturierung vorgenommen wird.

Gemäß Fig. 1C wird jeweils auf eine von zwei benachbarten Elektrodenschichten 6 ein Metallstreifen 7 mit einer Lotpaste aufgeklebt. Dieser Metallstreifen 7 erstreckt sich in lateraler Richtung ausgehend von dem Befestigungspunkt an der Elektrodenschicht 6 in Richtung auf die benachbarte Elektrodenschicht 6.

Dann wird gemäß Fig. 1D auf die erhaltene Struktur ein Glassubstrat 9 mittels eines Harzklebers 8 aufgeklebt. Anschließend erfolgt das Abtrennen der Dünnschichtsolarzelle von dem Halbleiterwafer, wobei gegebenenfalls durch einen Temperaturbehandlungsschritt die Trennschicht 2 aufgelöst wird, so daß die QMS-Schicht 3 nunmehr die unterste Schicht des Bauelements ist.

Dann werden entsprechend Fig. 1E die einzelnen Solarzellen voneinander getrennt, indem entlang der inaktiven Zone in Richtung der streifenförmigen Elektroden 6 Öffnungen oder Vertiefungen 10 in den Halbleiterschichtaufbau jeweils bis zu den Metallstreifen 7 geformt werden. Die Vertiefungen 10 kön-

nen auf verschiedene Weise geformt werden, beispielsweise auf mechanischem Wege durch Ritzen oder Sägen, auf chemische Art durch einen Ätzangriff. Zwischen jedem Paar benachbarter Solarzellen wird somit eine grabenförmige, die Solarzellen
5 trennende und bis zu dem Metallstreifen 7 reichende Vertiefung 10 in den Schichtaufbau geformt, so daß der Boden jeder Vertiefung 10 durch den mit der Frontelektrode einer der beiden benachbarten Solarzellen verbundenen Metallstreifen 7 gebildet wird.

10

Alternativ zu dieser Vorgehensweise kann auch vorgesehen sein, daß anstelle der Befestigung des Metallstreifens 7 an die Elektrodenschicht 6 letztere bereits bei dem vorangegangenen Metallisierungsschritt bis in den inaktiven Bereich
15 zwischen den Mesagräben A aufgebracht wird. In diesem Fall muß die Vertiefung 10 bis zu der Elektrodenschicht 6 geformt werden. Falls dies beispielsweise im Wege eines Ätzschrittes durchgeführt wird, kann dabei die Elektrodenschicht 6 als Ätzstoppschicht verwendet werden.

20

Anschließend werden in einem einzigen selbstjustierenden Verfahrensschritt gemäß Fig. 1F die Rückelektroden der Solarzellen gebildet und diese gleichzeitig mit den Frontelektroden der jeweils benachbarten Solarzellen elektrisch kontaktiert.
25 Dies geschieht durch einen gerichteten Abscheideprozeß einer elektrisch leitfähigen Substanz, wobei die Abscheidungsrichtung gegenüber der Vertiefung 10 bzw. deren Wänden schräggestellt ist. Genaugenommen kommt es nur darauf an, daß bei der Abscheidung nur eine Innenwand der Vertiefung 10 vollständig
30 bedeckt wird, so daß eine Metallisierung nur zwischen dem Metallstreifen 7 und dem auf einer Seite der Vertiefung 10 gelegenen Oberflächenabschnitt herbeigeführt wird. Der auf der anderen Seite der Vertiefung 10 gelegene Oberflächenabschnitt soll dagegen durch den Abscheideprozeß nicht mit dem Me-
35 tallstreifen 7 kontaktiert werden, d.h. die entsprechende Innenwand der Vertiefung 10 soll nicht mit der elektrisch leitfähigen Substanz beaufschlagt werden, bzw. mindestens eine

Unterbrechung aufweisen. Das entscheidende Kriterium ist somit, daß die Abscheidungsrichtung gegenüber der Ebene dieser Innenwand schräggestellt ist und von dieser Ebene weggeführt, so daß sich wie aus der Fig. 1F ersichtlich, ein Abschattungseffekt gegenüber dieser Innenwand der Vertiefung 10 ergibt. Natürlich kann der Abscheidevorgang auch spiegelsymmetrisch zu einer senkrecht durch die Bildebene 3 durch die Vertiefung 10 verlaufenden Symmetrieebene durchgeführt werden, wobei in diesem Fall der linksseitig der Vertiefung 10 gelegene Oberflächenabschnitt der QMS-Schicht 3 durch die Metallabscheidung mit dem Metallstreifen 7 verbunden wird und die rechtsseitige Innenwand der Vertiefung 10 durch die Abscheidung abgeschattet wird, so daß der rechtsseitige Oberflächenabschnitt der QMS-Schicht 3 mit dem Metallstreifen 7 nicht verbunden wird.

In Fig.1F ist der idealisierte Fall einer Abscheidung mit einer einzigen, definierten Abscheidungsrichtung dargestellt. Wie bereits erwähnt, wird in der Praxis die Abscheidung stets über einen bestimmten Raumwinkelbereich erfolgen.

Durch die Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz werden somit in einem einzigen Arbeitsgang gleichzeitig rückseitige Elektrodenschichten 1 für alle vorhandenen Solarzellen erzeugt und diese durch die schräggestellte Abscheidung in der beschriebenen Weise mit den Metallstreifen 7 verbunden, so daß eine Serienverschaltung der Solarzellen bereitgestellt wird. Der Abscheideprozeß kann am einfachsten durch Aufdampfen durchgeführt werden, wobei als Metall Aluminium verwendet werden kann. Als Metall für die vorderseitigen, transparenten Elektrodenschichten 6 kann beispielsweise Indiumzinnoxid (ITO) verwendet werden. Zusätzlich können an der äußeren Oberfläche des Glassubstrats 9 bzw. an internen Grenzflächen zwischen den Materialien geeignete Antireflexschichten aufgebracht werden.

Bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel wird also eine Variante der Erfindung benutzt, in der in der Vertiefung 10 bereits eine elektrisch leitfähige Schicht in Form des Metallstreifens 7 am Boden der Vertiefung 10 vorhanden ist und die elektrisch leitfähige Substanz bei ihrer Abscheidung in die Vertiefung 10 mit dieser elektrisch leitfähigen Schicht verbunden wird.

In dem nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiel wird anhand der Herstellung eines weiteren Solarmoduls eine Variante der Erfindung beschrieben, bei der die elektrisch leitfähige Substanz erst nach ihrer Abscheidung in Substratvertiefungen mit einer weiteren elektrisch leitfähigen Schicht kontaktiert wird.

Auf ein elektrisch isolierendes Festkörpersubstrat 20 (Fig. 2A) wie beispielsweise ein Glassubstrat wird zuerst eine durch lithographische Techniken strukturierbare Materialschicht 21, beispielsweise eine Schicht eines Positivresists, etwa einer als Positivresist ausgebildeten Polyimidschicht, aufgebracht. Die Materialschicht 21 wird dann in der Weise strukturiert, daß eine Schar paralleler Linien in die Materialschicht 21 mit schräggerichteter Belichtung geschrieben und anschließend entwickelt wird. Dadurch werden grabenförmige Vertiefungen 22 erzeugt, von denen eine in der Fig. 2A in einem Querschnitt senkrecht zu ihrer Längsrichtung dargestellt ist. Die Vertiefungen 22 sollen dazu dienen, mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens die noch zu bildenden Solarzellen elektrisch in Serie zueinander zu kontaktieren. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Vertiefung 22 schräggestellte Wände auf. Wie noch zu sehen sein wird, ist dies nicht zwingend erforderlich, vereinfacht jedoch die Herbeiführung der Abschattungseffekte bei den nachfolgenden Abscheideprozessen.

Gemäß Fig. 2B wird die gesamte, die Vertiefungen 22 enthaltende Oberfläche einem Abscheideprozeß einer elektrisch leit-

fähigen Substanz, im vorliegenden Fall Molybdän (Mo), ausgesetzt. Dabei werden wiederum in erfindungsgemäßer Weise die Abscheidungsrichtungen derart eingestellt, daß sich in Bezug auf eine der Wände oder einen Abschnitt davon ein Abschattungseffekt ergibt. In Fig.2B ist wiederum der Idealfall dargestellt, in welchem nur eine einzige Abscheidungsrichtung vorhanden ist, die zu der abzuschattenden Wand schräggestellt und von dieser weggerichtet ist.

10 Im dargestellten Fall werden somit die linksseitigen Innenwände der Vertiefungen 22 abgeschattet, so daß sich das Molybdän auf diesen Wänden nicht niederschlägt. Daraus wird deutlich, daß die linksseitige, nicht zu beschichtende Innenwand der Vertiefung 22 auch eine gerade Wand sein kann, wobei
15 dann jedoch der Raumwinkel der Abscheidungsrichtungen entsprechend zu drehen ist, so daß sich bezüglich dieser Wand wieder ein Abschattungseffekt ergibt. In jedem Fall gilt, daß wenn die abzuschattende Innenwand gegenüber der Ebene einen Winkel β einnimmt, so sollten die Abscheidungsrichtungen im
20 allgemeinen einen Winkel $\alpha > \beta$ zur Ebene (rechtsseitig) einnehmen. Wenn das Aspektverhältnis der Vertiefung 22 groß genug ist, so ist diese Bedingung nicht zwingend. Vielmehr reicht es in diesem Fall, einen bestimmten Raumwinkel definiert auszublenden, so daß sich auf der linksseitigen Wand
25 der Vertiefung 22 eine Unterbrechung der abgeschiedenen Schicht 23 ergibt.

Die auf den Oberflächenabschnitten der Polyimidschicht beidseits der Vertiefung 22 abgeschiedenen Schichten dienen als
30 rückseitige Elektrodenschichten 23 der noch zu fertigenden Solarzellen.

Anschließend wird gemäß Fig. 2C das Halbleitermaterial der Solarzellen aufgebracht. Im vorliegenden Beispielfall wird
35 p-leitendes CIGS auf die Oberfläche aufgedampft und anschließend wird in einen oberflächennahen Bereich der aufgedampften Halbleiterschicht 24 eine Donatorsubstanz eindiffundiert, so

daß unmittelbar unter der Oberfläche der Halbleiterschicht 24 ein p-n-Übergang gebildet wird. Auch die Abscheidung des Halbleitermaterials CIGS wird in gerichteter Weise vorgenommen. Die Abscheidungsrichtung wird erneut so eingestellt, daß sich bezüglich der linksseitigen Innenwand der Vertiefung 22 ein Abschattungseffekt ergibt, so daß das Halbleitermaterial an dieser Innenwand im wesentlichen nicht abgeschieden wird. Im allgemeinen gilt, daß das Halbleitermaterial auf demjenigen Abschnitt, auf dem die elektrisch leitfähige Substanz nicht abgeschieden wurde, mindestens teilweise ebenfalls nicht abgeschieden wird.

Zusätzlich muß das Halbleitermaterial so abgeschieden werden, daß eine nachfolgend darauf abgeschiedene elektrisch leitfähige Schicht einen Kontakt mit der unteren elektrisch leitfähigen Substanz bilden kann. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, indem bei der Abscheidung der Halbleiterschicht 24 der Abschattungseffekt gegenüber der vorherigen Abscheidung des Molybdäns vergrößert wird, so daß auf dem Boden der Vertiefung 22 ein sogenannter Kontaktabschnitt 23a der abgeschiedenen Molybdänschicht von der Halbleiterschicht 24 nicht bedeckt wird. Um den Abschattungseffekt zu vergrößern, kann bei der Abscheidung des CIGS ein Winkel der Abscheidungsrichtungen von $\gamma > \alpha$ eingestellt werden. Im vorliegenden Fall ist $\gamma = 90^\circ$, wie jedoch vorstehend bereits ausgeführt wurde, kann dieser Winkel und ebenso der Winkel α auch größer sein, wenn die freizuhaltende Innenwand der Vertiefung 22 eine gerade Wand ist. Die Fig.2C zeigt wiederum den Idealfall einer Abscheidung des Halbleitermaterials entlang einer einzigen Abscheidungsrichtung.

Alternativ zu der Erzeugung des Kontaktabschnitts 23a kann auch vorgesehen sein, daß das Halbleitermaterial auf mindestens einem Abschnitt der Vertiefung 22 derart abgeschieden wird, daß es Durchgangslöcher (Pinholes) aufweist, durch die die später abgeschiedene elektrisch leitfähige Schicht 25 (Fig.2D) Durchgangskontakte mit der unten liegenden Schicht

23 bilden kann. Hierfür bietet sich bei dem gewählten Ausführungsbeispiel als geeigneter Abschnitt die rechtsseitige Wand der Vertiefung 22 an. An dieser Wand erfolgt die Abscheidung des Halbleitermaterials nämlich unter einem relativ kleinen Winkel, wenn - wie dargestellt - die Abscheidungsrichtung senkrecht von oben auf die Vertiefung 22 gerichtet ist. Ein derartig kleiner Abscheidungswinkel führt erfahrungsgemäß zu lediglich stäbchenförmigen Depositionen auf der betreffenden Wand. Zwischen diesen werden dementsprechend Durchgangslöcher gebildet, die Durchgangskontakte in der beschriebenen Weise ermöglichen. Dann kann die elektrisch leitfähige Schicht 25 beispielsweise ganzflächig abgeschieden werden und nachfolgend auf dem rechtsseitigen Oberflächenabschnitt eine Unterbrechung eingeritzt werden. Bei dieser Ausführungsvariante müßte bei der Abscheidung der Halbleitermaterialschicht kein Kontaktabschnitt 23a vorgesehen werden.

In einem letzten Verfahrensschritt wird dann gemäß Fig. 2D eine die vorderseitigen Elektrodenschichten 25 bildende elektrisch leitfähige und transparente Schicht aus ZnO, ITO oder dergleichen aufgebracht. Auch dies erfolgt vorzugsweise durch einen gerichteten Abscheideprozeß, bei dem diesmal die Abscheidungsrichtungen derart eingestellt werden, daß die rechtsseitige Innenwand der Vertiefung 22 abgeschattet wird, so daß sich an dieser kein Material ablagert. Da im vorliegenden Fall auch die rechtsseitige Innenwand der Vertiefung 22 gegenüber der Ebene einen Winkel β einnimmt, so muß die Abscheidungsrichtung mit einem Winkel $\delta < \beta$ eingestellt werden. Auch hier wird deutlich, daß die entsprechende abzuschattende Innenwand der Vertiefung 22 auch eine gerade Wand sein kann, so daß in diesem Fall die Abscheidungsrichtung mit einem Winkel $\delta < 90^\circ$ eingestellt werden müßte.

Gegenüber der abgeschatteten Wand wird auf dem entsprechenden Oberflächenabschnitt der Halbleiterschicht 24 eine vorderseitige Elektrodenschicht 25 gebildet und diese durch Bedeckung der linksseitigen Innenwand der Vertiefung 22 mit dem Kon-

taktabschnitt 23a der Elektrodenschicht 23 kontaktiert. Somit sind die beidseits der Vertiefung 22 gebildeten Solarzellen in Reihe zueinander geschaltet.

5 Alternativ zu der schräggerichteten Abscheidung im letzten Abscheidungsschritt kann das Metall auch zunächst ganzflächig abgeschieden werden und anschließend ein Strukturierungsschritt vorgenommen werden, bei dem ein Abschnitt der auf der rechten Innenwand der Vertiefung 22 oder auf dem rechtsseitigen
10 Oberflächenabschnitt nahe der Vertiefung 22 abgeschiedenen Schicht 25 beispielsweise durch mechanisches Ritzen wieder entfernt wird. Anstelle mechanisches Ritzen kann auch schräg gerichtetes Sputterätzen durchgeführt werden, bei welchem die linksseitige Wand der Vertiefung als Maske dienen
15 kann. Durch den flachen Einfall des Ätzstrahls wird dabei präferentiell an der rechtsseitigen Wand der Vertiefung im oberen Bereich die gewünschte Unterbrechung geätzt. Bei der Fertigung ist dies unter Umständen effizienter als mechanisches Ritzen, welches in der Regel einzeln für jede Zelle
20 durchgeführt werden muß.

Bei der Herstellung ist ferner darauf zu achten, daß an der linksseitigen Kante der Vertiefung 22 kein Kurzschluß zwischen den Elektrodenschichten 23 und 25 entsteht. Dieser Gefahr kann beispielsweise dadurch begegnet werden, daß von
25 rechts unter einem sehr flachen Winkel entweder weiteres Halbleitermaterial, in dem gewählten Ausführungsbeispiel also CIGS, oder ein beliebiges isolierendes Material aufgedampft wird. Bedingt durch den flachen Aufdampfwinkel, erfolgt die
30 Deposition bevorzugt an der kritischen linken Kante, während auf der restlichen Oberfläche keine Deposition stattfindet. Dann kann die elektrisch leitfähige Schicht 25 abgeschieden werden, ohne daß die Gefahr eines Kurzschlusses mit der Schicht 23 an der kritischen linken Kante besteht.

35

Die vorstehend beschriebene Ausführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens ist besonders vorteilhaft, da sie eine Seri-

enverschaltung von einzelnen Solarzellen mit nur einem einzigen Strukturierungsschritt ermöglicht, der ganz zu Anfang vor dem Einschleusen der Substrate in die Vakuumkammer erfolgen kann. Die weiteren Prozesse erfolgen in selbstjustierender
5 Weise und können nacheinander, ohne das Vakuum zu brechen, durchgeführt werden. Im Falle einer notwendigen Durchtrennung der transparenten leitfähigen Schicht 25 sind zwar zwei Strukturierungsschritte erforderlich, jedoch erfolgt dieser Schritt nach den Vakuumprozessen. Somit ermöglicht dieses
10 Verfahren die Herstellung eines Dünnschichtsolarmoduls, ohne daß die Abscheidung der Schichten durch Strukturierungen unterbrochen werden muß.

Positiv photosensitives Polyimid kann beispielsweise mit dem
15 sogenannten Rollercoat-Verfahren (Walzenbeschichtung) auf das Glassubstrat oder ein beliebiges anderes Substrat aufgebracht werden. Anschließend können die Vertiefungen 22 derart erzeugt werden, daß mit einer blau emittierenden Laserdiode oder einer entsprechenden LED über Spiegel oder Beugungsmuster
20 Linien in die Polyimidschicht geschrieben werden, so daß jeweils schräg belichtete Bereiche entstehen. Mit dieser Vorgehensweise kann die Zellfläche die durch Bildung der Vertiefungen 22 inaktiviert wird, auf Strukturbreiten von z.B. $20\mu\text{m}$ reduziert werden, die mit einem Laserstrahl problemlos erzeugt
25 werden können. Ferner kann bei der Entwicklung des Polyimids im belichteten Bereich eine definierte Schicht Polyimid zurückbleiben. Dadurch bleibt ein isolierender Film auf dem Substrat 20 stehen, so daß bei der Herstellung des Solarmoduls auch ein elektrisch leitfähiges Substrat 20 verwendet
30 werden kann. Zusätzlich kann das Polyimid mit einem Interferenzmuster belichtet werden, so daß Oberflächenstrukturen nach dem Entwickeln gebildet werden können, die auch in die später abgeschiedene Halbleiterschicht 24 übertragen werden. Durch derartige Oberflächenstrukturen kann Mehrfachreflexion
35 an der dem Licht ausgesetzten Oberfläche erzeugt werden, durch die der Wirkungsgrad gesteigert werden kann.

Alternativ zur Verwendung einer zu strukturierenden Materialschicht wie der Polyimidschicht können die grabenartigen Vertiefungen 22 auch direkt in das Substrat 20 geprägt oder geritzt oder mit einem Laserstrahl erzeugt werden.

5

Bezüglich des Halbleitermaterials bei den vorstehend beschriebenen Solarmodulen ist selbstredend, daß der p-n-Übergang auch in umgekehrter Reihenfolge erzeugt werden kann, so daß als oberste Schicht eine p⁺-dotierte Schicht erzeugt

10

wird.

Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsarten der Erfindung beziehen sich auf eine andere Ausführungsform einer Schaltungseinheit, nämlich einer Mehrlagenleiterplatte. Dabei

15

kommt wieder eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Tragen, in der die mit schräger Abscheidungsrichtung aufgebraachte elektrisch leitfähige Substanz bereits bei ihrer Abscheidung in die Vertiefung mit einer darin vorhandenen elektrisch leitfähigen Schicht kontaktiert wird.

20

In den Fig. 3A,B ist zunächst der Fall dargestellt, daß zuerst eine Mehrfachleiterplatte 30 fertiggestellt wird und anschließend mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens verschiedene der in ihr angeordneten Metallisierungsebenen miteinander verbunden werden.

25

Die hergestellte Mehrfachleiterplatte 30 weist in dem gezeigten Ausführungsbeispiel vier Metallisierungsebenen a-d auf, die in bestimmter Weise miteinander elektrisch kontaktiert

30

werden sollen. Zu diesem Zweck wird an geeigneter Stelle der Mehrfachleiterplatte 30 in diese eine Vertiefung 31 bis mindestens zu der untersten zu verbindenden Metallisierungsebene geformt. Wenn beispielsweise die Aufgabe darin besteht, Leiterbahnen der Metallisierungsebenen a und b miteinander zu

35

verbinden, so wird die Vertiefung 31 an einer Stelle geformt, an der an einer ersten Innenwand diese Vertiefung 31 Leiterbahnen dieser Metallisierungsebenen freigelegt werden können.

Wenn gleichzeitig eine weitere Aufgabe darin besteht, die Metallisierungsebenen b und d miteinander elektrisch zu kontaktieren, so sollte die Vertiefung 31 so bestimmt sein, daß an einer zweiten, der ersten Innenwand gegenüberliegenden Innenwand Leiterbahnen der Metallisierungsebenen b und d freigelegt sind. Dann kann in einem ersten Verfahrensschritt (A) durch eine erste Schrägabscheidung, bei der die zweite Innenwand abgeschattet wird und nur die erste Innenwand beschichtet wird, eine elektrische Verbindung zwischen den Metallisierungsebenen a und b herbeigeführt werden. Anschließend kann in einem zweiten Schrägabscheidungsschritt (B), bei der die erste Innenwand abgeschattet wird und nur die zweite Innenwand beschichtet wird eine elektrische Kontaktierung zwischen den Metallisierungsebenen b und d bewirkt werden.

15

Das Ausführungsbeispiel der Fig. 3A,B zeigt eine Vertiefung 31 mit geraden Seitenwänden. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, daß die Vertiefung in Bezug auf die Ebene der Mehrlagenleiterplatte schräggestellt ist, d.h. schräggestellte Innenwände aufweist. In diesem Fall muß die Richtung der Abscheidung entsprechend bestimmt werden, um einen gewünschten Abschattungseffekt in Bezug auf eine bestimmte Innenwand zu erzielen.

25

Das vorangegangene Ausführungsbeispiel zeigt, wie eine konventionelle Mehrlagenleiterplatte 30 hergestellt und anschließend mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens in der gewünschten Weise selektiv elektrisch kontaktiert werden kann. Im folgenden wird anhand der Fig. 4A-G gezeigt, wie bereits während der Herstellung einer Mehrlagenleiterplatte das Ziel einer selektiven elektrischen Kontaktierung herbeigeführt werden kann.

30

Dabei wird im Wechsel mit einem Abscheiden von Metallisierungsebenen bzw. Isolatorschichten und der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens die Mehrlagenleiterplatte aufgebaut. Zuerst wird gemäß Schritt A auf einem Leiterplattensub-

35

strat eine erste Metallschicht a beispielsweise durch Aufdampfen hergestellt. Die Leiterbahnen werden dann herkömmlich strukturiert, beispielsweise durch Verwendung eines Trockenfilmresist und Rückätzen oder durch Aufbringen von Photolack und anschließendem Aufdampfen und einem Lift-off-Prozeß. Anschließend wird gemäß Schritt B eine Isolationsschicht aufgebracht und in diese entweder mit photolithographischen oder mit mechanischen Methoden (Bohren) eine Vertiefung 41 eingebracht. In einem weiteren Schritt C wird die zweite Metalllage b beispielsweise durch Schrägaufdampfen abgeschieden und wieder wie oben beschrieben strukturiert, wobei eine Verschaltung zwischen den Metalllagen a und b erreicht werden kann. Eine mehrfache Wiederholung der Abscheidung einer Isolatorschicht und einer Metallschicht führt so zu einer Mehrlagenleiterplatte 40 mit definierten Verbindungen zwischen einzelnen Lagen.

Patentansprüche

1. Herstellungsverfahren für eine elektronische oder opto-
elektronische Schaltungseinheit, insbesondere für deren elek-
5 trische Kontaktierungsstruktur, bei welchem
- a.) in einem Substrat (3, 4, 5; 21; 30) eine Vertiefung (10;
22; 31; 41) erzeugt wird, und
- b.) auf einen die Vertiefung enthaltenden Substratabschnitt
eine elektrisch leitfähige Substanz in im wesentlichen
10 gerichteter Weise abgeschieden wird, so daß innerhalb der
Vertiefung ein Abschnitt von der elektrisch leitfähigen
Substanz nicht bedeckt wird, und
- c.) die elektrisch leitfähige Substanz in der Vertiefung bei
oder nach ihrer Abscheidung mit einer elektrisch leitfä-
15 higen Schicht (7; 25; 32) kontaktiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
- im Verfahrensschritt b.) die bei der Abscheidung der elek-
20 trisch leitfähigen Substanz vorhandenen Abscheidungsrichtun-
gen sich über einen bestimmten Raumwinkel erstrecken und
- in Bezug auf mindestens eine Wand der Substratöffnung
schräggestellt und von dieser Wand weggerichtet sind.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
- die Vertiefung bis zu einer Tiefe geformt wird, in der die
elektrisch leitfähige Schicht (7; 32) angeordnet ist und
die elektrisch leitfähige Substanz bei ihrer Abscheidung
30 mit der elektrisch leitfähigen Schicht (7; 32) kontaktiert
wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
- 35 - die Schaltungseinheit ein Solarmodul aus einer Mehrzahl la-
teral benachbarter photovoltaischer Solarzellen ist, die
mit dem Verfahren in Serie geschaltet werden, wobei

- auf eine Hauptoberfläche des Halbleitersubstrats (3, 4, 5) eine Mehrzahl von voneinander beabstandeten, elektrisch leitfähigen Elektrodenschichten (6) aufgebracht werden,
- von der gegenüberliegenden Hauptoberfläche des Substrats
5 eine oder mehrere Vertiefungen (10) jeweils bis zu Randbereichen von einer von zwei benachbarten Elektrodenschichten (6) geformt werden, und
- die Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz so ausgeführt wird, daß eine Kontaktierung zwischen der in der
10 Vertiefung (10) angeordneten elektrisch leitfähigen Schicht (7) und einem an die Vertiefung angrenzenden und der anderen Elektrodenschicht (6) gegenüberliegenden Oberflächenabschnitt herbeigeführt wird.

15 5. Verfahren nach Anspruch 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß

- mit der Abscheidung gleichzeitig eine Elektrodenschicht (11) auf den Oberflächenabschnitt und die Kontaktierung der Elektrodenschicht (11) mit der elektrisch leitfähigen
20 Schicht (7) in der Vertiefung (10) bewirkt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß

- die Schaltungseinheit ein Solarmodul aus einer Mehrzahl lateral benachbarter photovoltaischer Solarzellen ist, die
25 mit dem Verfahren in Serie geschaltet werden, wobei
- nach der Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz im Verfahrensschritt b.) eine Halbleitermaterialschiht (24) in im wesentlichen gerichteter Weise auf den die Vertiefung
30 (22) enthaltenden Substratabschnitt abgeschieden wird, wobei der von der elektrisch leitfähigen Substanz nicht bedeckte Abschnitt der Vertiefung (22) von der Halbleitermaterialschiht (24) mindestens teilweise ebenfalls nicht bedeckt wird, und die Halbleitermaterialschiht (24) derart
35 abgeschieden wird, daß sie auf mindestens einem Abschnitt eine Öffnung zu der elektrisch leitfähigen Substanz freiläßt,

- anschließend gemäß Verfahrensschritt c.) eine weitere elektrisch leitfähige Schicht (25) derart auf den die Vertiefung (22) enthaltenden Substratabschnitt abgeschieden wird, daß ein Abschnitt auf der Halbleitermaterialschi-
5 cht (24) von der elektrisch leitfähigen Schicht (25) nicht bedeckt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet, daß

10 - das Substrat (20, 21) dadurch gebildet wird, indem auf einem Träger (20), insbesondere einer Glas-, Kunststoff- oder Metallplatte, eine strukturierbare Materialschi-
 cht (21), insbesondere aus einem Kunststoff wie Polyimid aufgebracht wird.

15

8. Verfahren nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Materialschi-
20 cht (21) zur Erzeugung der Vertiefung (22) belichtet und strukturiert wird.

20

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die weitere elektrisch leitfähige Schicht (25) in gerichteter Weise abgeschieden wird, wobei die Abscheidungsrichtung
25 in Bezug auf die dem nicht zu bedeckenden Abschnitt nächstgelegene Wand der Vertiefung (22) schräggestellt und von dieser weggerichtet ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,

30 dadurch gekennzeichnet, daß

- die weitere elektrisch leitfähige Schicht (25) ganzflächig abgeschieden wird und anschließend ein Abschnitt auf der Halbleitermaterialschi-
 cht entfernt wird.

35

11. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Schaltungseinheit eine Mehrlagenleiterplatte (30,40) ist, in der mit dem Verfahren gruppenweise jeweils mehrere Metallisierungsebenen (a-d) elektrisch miteinander verbunden werden, wobei

5 - das Substrat durch eine Mehrlagenleiterplatte (30) oder ein Zwischenprodukt zu einem Mehrlagenleiterplatte (40) gebildet ist, und in einem Abschnitt, in dem eine Verbindung von Metallisierungsebenen erfolgen soll, eine Vertiefung mindestens bis zu der untersten zu verbindenden Metallisierungsebene ge-
10 formt wird und

- die Abscheidung der elektrisch leitfähigen Substanz derart erfolgt, daß zumindest ein zwischen den zu verbindenden Metallisierungsebenen gelegener Abschnitt in der Vertiefung (31,41) bedeckt wird.

15

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

- die Abscheidung durch Aufdampfen, Sputtern oder ein CVD-Verfahren erfolgt.

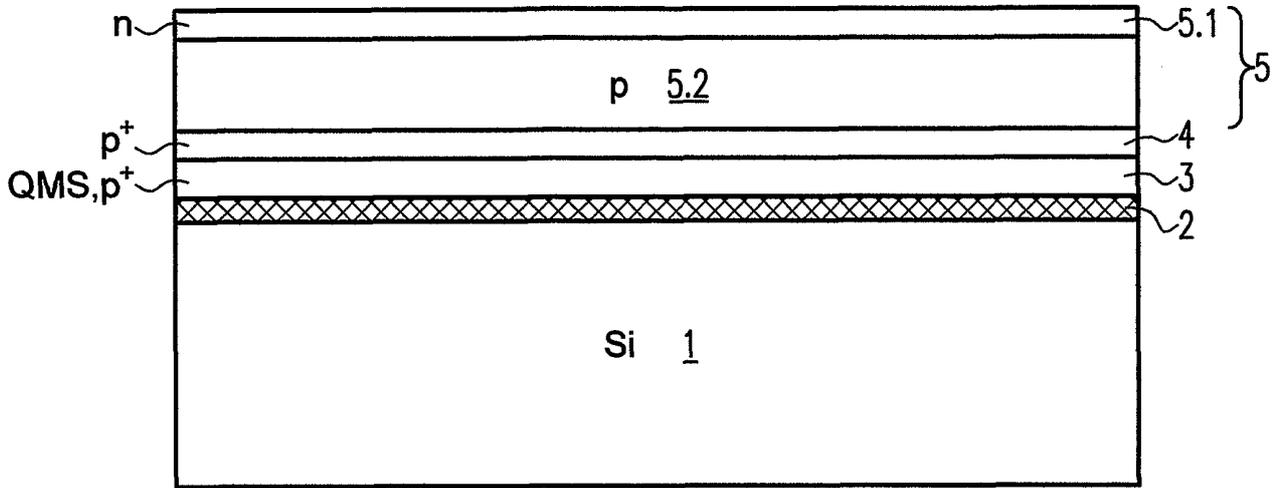


Fig.1A

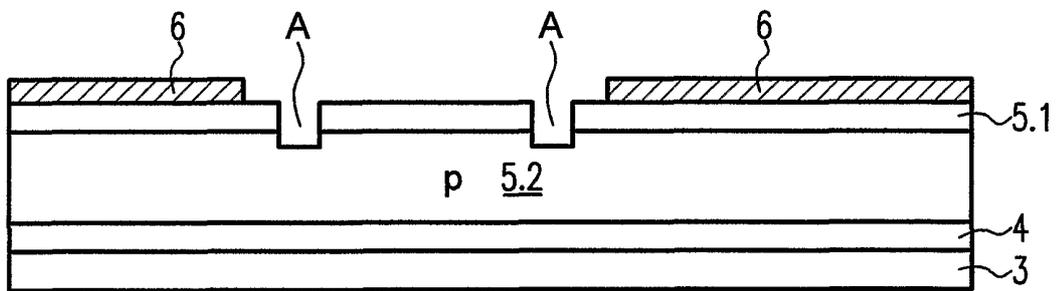


Fig.1B

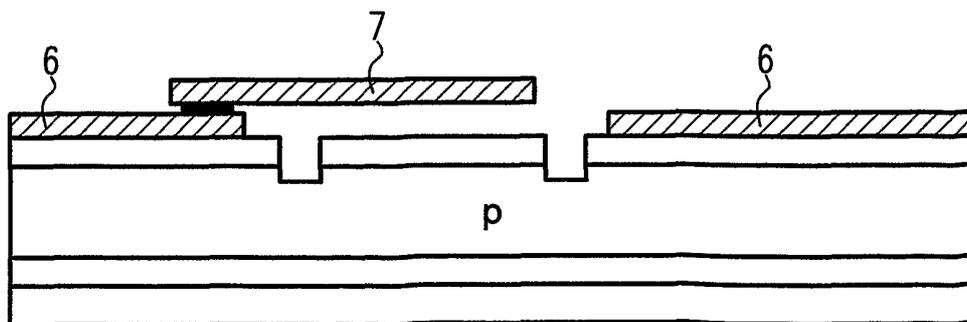


Fig.1C

2/5

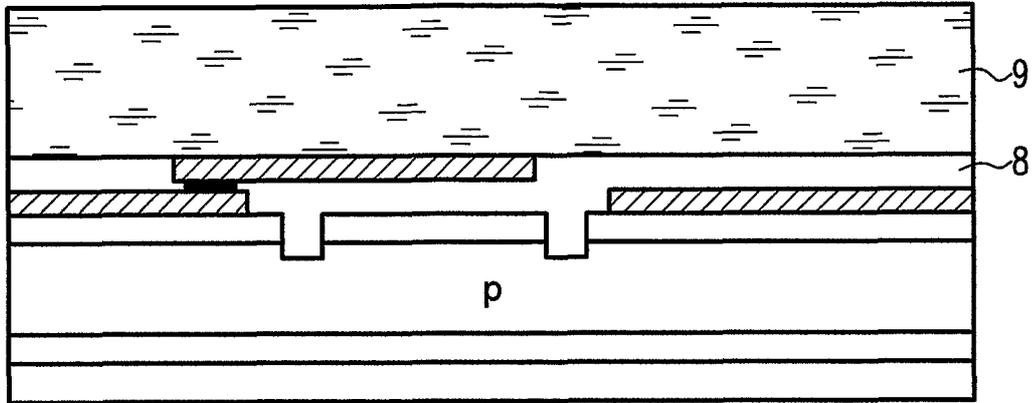


Fig. 1D

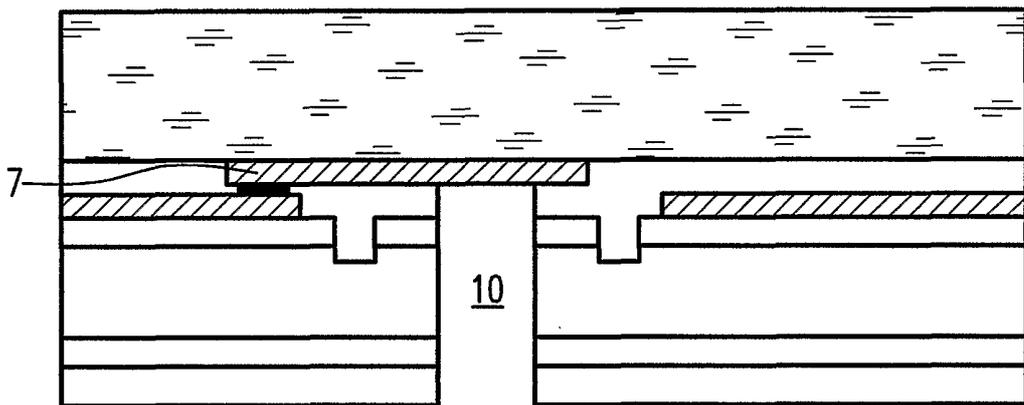


Fig. 1E

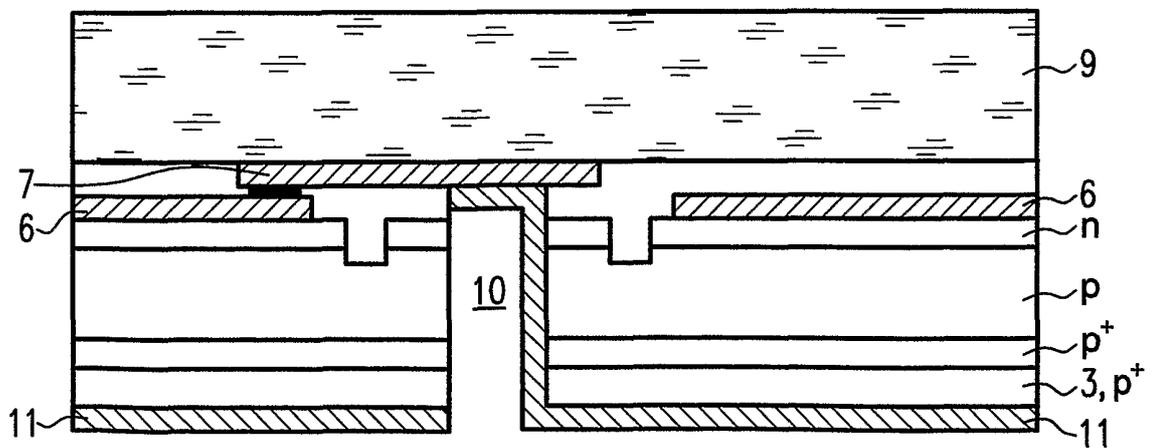


Fig. 1F

3/5

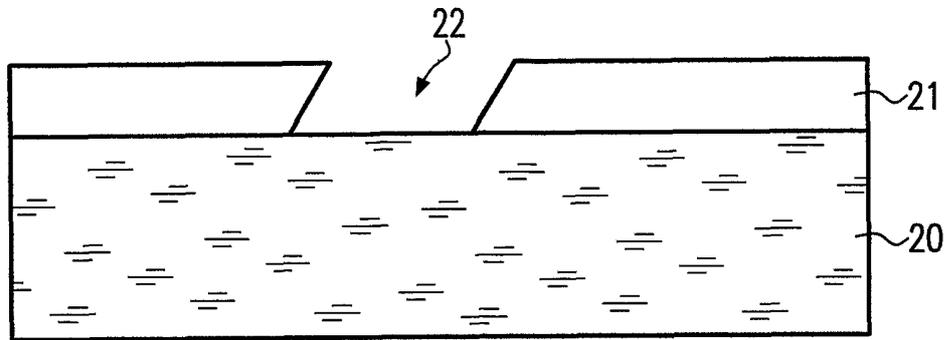


Fig. 2A

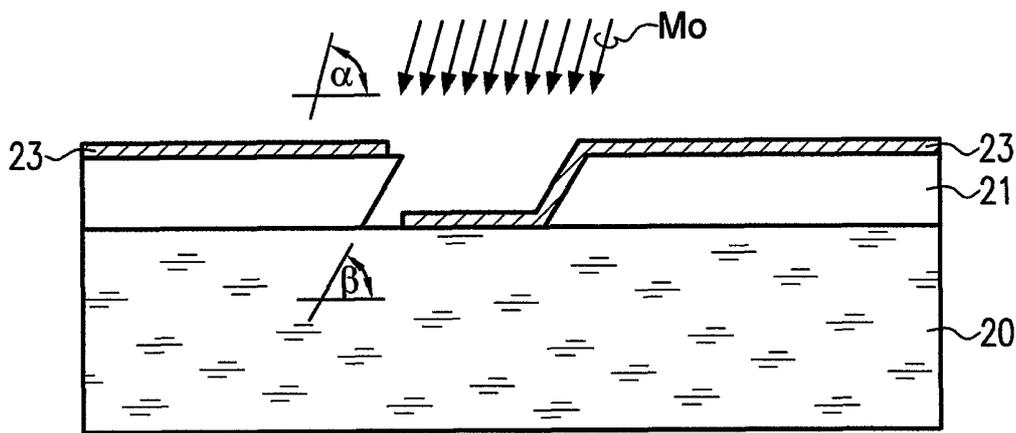


Fig. 2B

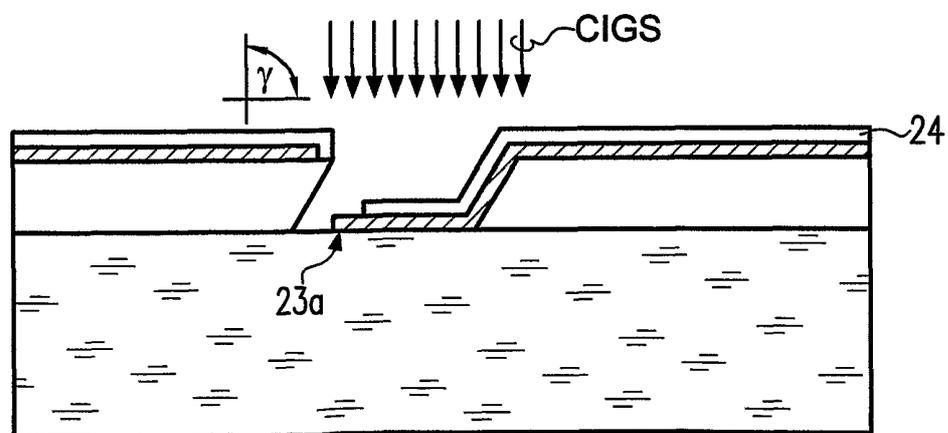
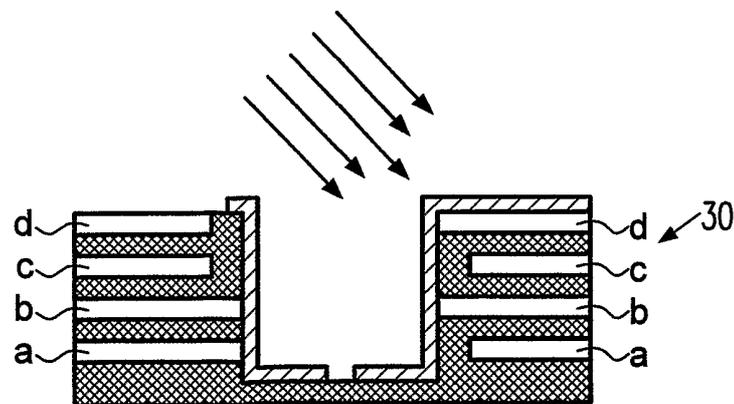
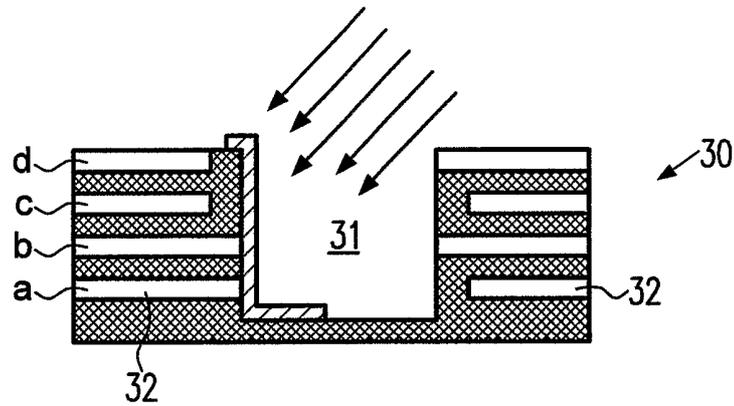
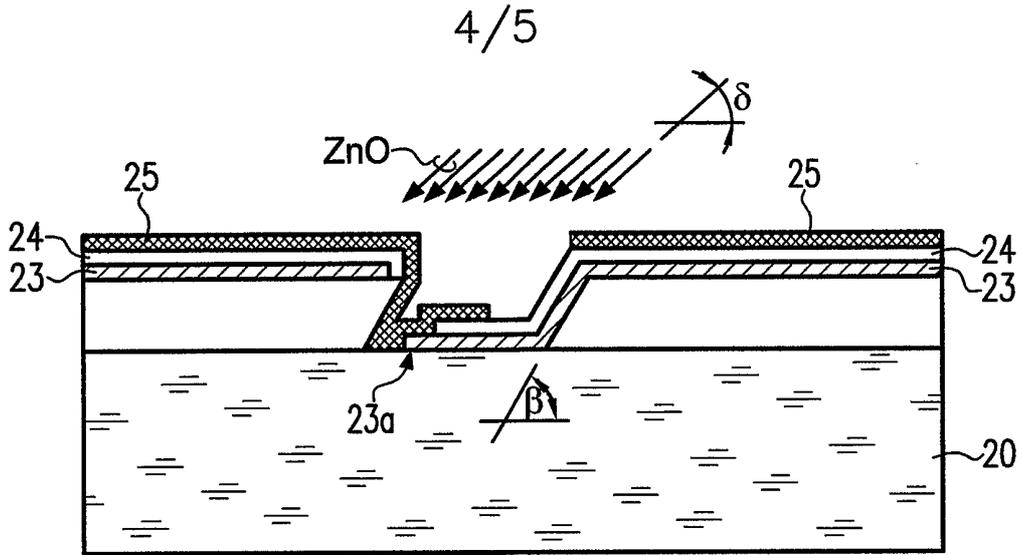


Fig. 2C



5/5

