



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 052 972 A1** 2009.05.14

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 052 972.6**

(22) Anmeldetag: **07.11.2007**

(43) Offenlegungstag: **14.05.2009**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 31/18** (2006.01)

H01L 31/05 (2006.01)

B32B 15/08 (2006.01)

B23K 26/067 (2006.01)

B23K 26/32 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Solarion AG, 04288 Leipzig, DE; Leibniz-Institut
für Oberflächenmodifizierung e.V., 04318 Leipzig,
DE**

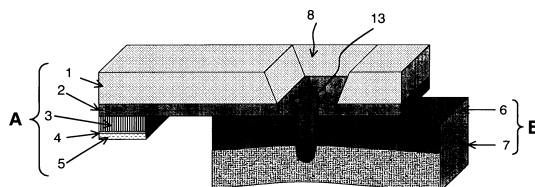
(72) Erfinder:

**Zimmer, Klaus, Dr, 04668 Parthenstein, DE; Braun,
Alexander, Dr., 04103 Leipzig, DE; Otte, Karsten,
Dr., 04277 Leipzig, DE; Gerlach, Lothar,
Oegstgeest, NL**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Mittel zum Verbinden dünner Metallschichten**

(57) Zusammenfassung: Eine Konfiguration zum Verbinden dünner Metallschichten auf zwei Werkstücken {B} und {A}, z. B. Solarzellen {A} mit foliengestütztem /verstärktem Kontaktbändchen {B}, wird vorgestellt. Diese Methode zur stabilen Herstellung einer solchen Verbindung beinhaltet die Schritte (i) Entfernung der Trägerfolie von der Solarzelle, (ii) Zusammenpressen der beiden Folien/Schichten gegeneinander und (iii) Bestrahlung der beiden Teile von der Seite des Rückkontaktes der Dünnschicht solarzelle {A}. Entsprechend der Erfindung werden vorzugsweise zwei oder drei Laserbearbeitungsschritte angewendet, um die Trägerfolie der Dünnschicht solarzelle durch Ablation mit einem Kurzpuls laser zu entfernen und die erste Metallschicht, z. B. den Rückkontakt der Solarzelle, mit der zweiten Metallschicht, z. B. dem Kontaktbändchen, durch Bestrahlung mit einem Langzeitpuls laser zu vernieten. Die Energiedichte, Pulsdauer und temporäre Pulsform, die Pulsfrequenz und die Wellenlänge werden bezüglich der Ablation und des Schweiß/Vernietungsprozesses entsprechend der spezifischen verwendeten Materialien gewählt. Eine derartige Laservernietung kann z. B. zum elektrischen Kontaktieren von Dünnschicht solarzellen mit flexiblen Kontaktbändchen angewendet werden.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zum Bonden von zwei Metallfilmen, die auf flexiblen Trägern aufgebracht sind, und ein Verfahren zur Realisierung dieser Verbindung. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf die elektrische Verbindung von Dünnschicht solarzellen mit flexiblen Leiterplatten und ein Verfahren zur Herstellung derselben.

[0002] Gegenwärtig werden verschiedene Typen von Dünnschicht solarzellen, die Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln, entwickelt. [Abb. 1](#) zeigt den schematischen Aufbau einer solchen Zelle, die im Wesentlichen aus einem Frontkontakt {5}, einem Rückkontakt {2} und einer halbleitenden Absorberschicht {3} besteht. Der Frontkontakt ist dem ankommende Licht zugewandt und besteht aus einem transparenten leitfähigen Oxid (TCO – transparent conductive oxide), der Rückkontakt besteht aus einer Metallschicht. Die Licht umwandelnde Halbleiterschicht (Absorber) {3} kann aus verschiedenen Materialien bestehen, z. B. aus amorphem sowie mikro- oder polykristallinem Silizium, Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) und anderen halbleitenden Materialien. Der pn-Übergang mit der halbleitenden Absorberschicht {3} wird durch einen weiteren dünnen halbleitenden Film {4} mit entgegengesetzter Leitfähigkeit realisiert. Für CIGS-Solarzellen wird der pn-Übergang am Heteroübergang der CIGS-Schicht und einer dünnen CdS-Schicht gebildet. In Dünnschicht solarzellen aus GaAs oder daraus abgeleiteten AlInBV-Halbleitern wird der pn-Übergang durch eine p- und n-Dotierung als Homoübergang realisiert.

[0003] Die Herstellung von dünnen Solarzellen auf flexiblen Substraten ist bekannt, vergleiche hierzu u. a. Kessler et al. in „Technological aspects of flexible CIGS solar cells and modules“, Solar Energy 77 (2004) 685–695. Polymere bieten als Substrate exquisite Eigenschaften wie z. B. gute Festigkeit, geringe Dichte, hohe Oberflächenqualität usw. bei geringem Gewicht. Allerdings ist die maximale Gebrauchstemperatur aufgrund der Stabilität des Polymermaterials begrenzt. Für eine hochwertige Halbleiterschichtabscheidung ist dennoch ein zusätzlicher Energieeintrag in Form von Wärmeenergie oder Strahlung notwendig. Aus diesem Grund werden für den industriellen Prozess der Abscheidung dünner Halbleiterschichten für flexible Solarzellen oft Hochleistungspolymerfolien wie z. B. Kapton[®] verwendet.

[0004] Diese Materialien werden mit oder ohne textile Verstärkung auch für starre und flexible Leiterplatten verwendet. Die Technologie der Herstellung sowohl des Basismaterials als auch verschiedener Produkte ist bekannt.

[0005] Die in der Solarzelle produzierte elektrische

Energie muss zum Verbraucher weitergeleitet werden. Zu diesem Zweck müssen die dünnen Schichten elektrisch kontaktiert und mit einem Leitbahnsystem verbunden werden. Bei Dünnschicht solarzellen und besonders bei flexiblen Solarzellen muss dieser Kontakt ebenfalls flexibel sein, sodass auch dünne Folien mit dünnen metallischen Schichten oder ähnliche dünne metallische Leiter verwendet werden sollten.

[0006] Ein Standardprozess zur Verbindung der Kontaktpads massiver Solarzellen, wie beispielsweise Siliziumwafer-Solarzellen, ist das Anlöten von Kontaktstreifen an Lötunkte von Vorder- und Rückkontakt, z. B. durch Bestrahlung mit Hochleistungslampen. Das Löten dünner Schichten mit Schichtdicken von etwa 1 µm und darunter ist komplizierter, da hier Legierungsprozesse während des Lötens auftreten können, die bekanntermaßen Schädigungen der dünnen Schichten, der Kontaktstellen oder der Trägerfolie verursachen.

[0007] Ein weiteres Verfahren, Dünnschicht solarzellen mit den externen Kontakten zu verbinden, besteht in der Verwendung von Kontaktklebern. Dieser weitverbreitete Prozess setzt allerdings die Verwendung eines zusätzlichen Materials voraus. Die Kontaktfläche sollte wegen der spezifischen Widerstandswerte des Kontaktklebers und der üblichen Applikationstechniken der Pasten, beispielsweise Siebdruck oder ähnlicher Verfahren, von mittlerer Größe sein.

[0008] Ferner sind Verbindungstechnologien bekannt, die ohne zusätzliche Materialien wie Leitkleber oder Lötzinn auskommen. Der Anschluss dünner Drähte an Halbleiterchips ist aus der Halbleiterindustrie bekannt und wird durch einen sogenannten Bondprozess realisiert. Allerdings setzt dieser Prozess spezielle Oberflächen und Materialien voraus und kann nur mit speziellen Metallen wie Gold und Aluminium ausgeführt werden. Außerdem wirken beim Bonden hohe Drücke auf die Oberfläche der dünnen Schichten ein. Die mechanische Flexibilität der Polymerfolien entspricht nicht den Erfordernissen des Bondprozesses, wie er in der Halbleiterindustrie angewendet wird.

[0009] Die moderne Lasertechnologie stellt leistungsfähige Laserquellen mit Leistungen im kW-Bereich zur Verfügung. Maschinenbau-Anwendungen erfordern solche Leistungen, allerdings sind für Mikroprozesse in der Regel einige Watt ausreichend. Des Weiteren kann der Laserstrahl auf sehr kleine Flächen fokussiert und kontrolliert zu beliebigen Punkten auf der Oberfläche geführt werden. Das Aufspalten leistungsstarker Laserstrahlen in Teilstrahlen wird oft benutzt, um die Leistung, die Geschwindigkeit bzw. die Bearbeitungsqualität zu optimieren.

[0010] In JP 2005191584 wird eine integrierte Solar-

batterie vorgestellt, bei der Anschluss pads die Spannung der Solarzelle abgreifen. Um die Solarbatterie mit einer verzinneten Kupferfolie zu verbinden, wurde zusätzlich Lötzinn auf die Bondstellen aufgetragen. Hierdurch kann die Kontaktierung durch Löten realisiert werden.

[0011] Laserstrahlbearbeitung kommt bei der Solarzellenherstellung regelmäßig zur Anwendung. Speziell bei der Dünnschichtsolarzellenherstellung wird das Laserritzen eingesetzt, um die verschiedenen Teile der Solarzelle voneinander zu isolieren. Derartige Ritzverfahren werden auch bei der seriellen Verschaltung von Solarzellen angewendet, wie in EP 1727211 dargestellt ist.

[0012] Ein anderes Konzept der Verbindung von Dünnschichtsolarzellen mit einem externen Kontakt wird in von E. J. Simburger et al. in "Development of a thin film solar cell interconnect for the power sphere concept", Materials Science and Engineering B 116 (2005) 321–325 vorgeschlagen und in ähnlicher Weise in US 20050011551 dargestellt. Das Konzept beruht auf der Verwendung eines umgreifenden Randkontaktes, der an der Kante einer Dünnschichtsolarzelle angeordnet ist, um elektrische Verbindungen zwischen den Schichten einer Dünnschichtsolarzelle und den Kontaktpads, die auf der Rückseite der Solarzelle angeordnet sind, herzustellen. Ein Laserstrahl wird für die Verschweißung der Kupferfolie mit flexiblen Kontaktbändchen benutzt. Bei dieser Ausführungsform muss der umgreifende Randkontakt durch eine komplizierte Folge von Dünnschicht-Beschichtungsprozessen hergestellt werden. Außerdem wird die Verbindung des Umgriffkontaktes mit dem externen Kontaktbändchen durch Laserschweißen hergestellt. Aufgrund der verwendeten Metalle bildet sich ein Metallübergangskontakt, der typisch für die Bildung von Legierungen ist, die während der Vermischung der flüssigen Phasen beim Schweißen auftritt.

[0013] In US 6114185 wird vorgeschlagen, das Laserschweißen zur Verbindung von Halbleiterbauelementen mit Metallteilen anzuwenden. Allerdings ist ein Kontakt zu den Elektroden der Solarzelle nicht vorgesehen. Weiterhin wird betont, dass die Halbleiterbauelemente den Temperaturen während des Schweißvorganges standhalten müssen.

[0014] Die gegenwärtig verfügbaren Lasertechnologien ermöglichen die Verbindung metallischer Teile durch Laserbestrahlung. Typische Prozesse sind Schweißen und Löten mit und ohne zusätzliche Materialien. Für eine zuverlässige Verbindung bewirken Diffusionsprozesse die Vermischung der Metalle und können zur Bildung zusätzlicher Phasen führen. Wenn unterschiedliche Metalle durch Wärme- oder Laserprozesse verbunden werden, kann es aufgrund der unterschiedlichen Phasenübergangstemperatu-

ren, ungenügender Bildung von Legierungen oder das Auflösen der dünnen Schichten während der Bearbeitung im flüssigem bzw. geschmolzenem Zustand zu Problemen kommen.

[0015] Die gegenwärtig verfügbaren Verfahren zur Verbindung von dünnen Schichten mit der Außenverdrahtung haben Nachteile. Sie erfordern zur Herstellung der Verbindung entweder einen hohen technischen, verfahrenstechnischen oder technologischen Aufwand, besondere Materialien oder spezifische Oberflächen. Insbesondere bei flexiblen Trägern gewinnen diese Aspekte besonders an Bedeutung.

[0016] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein neuartiges Verfahren zur Verbindung von dünnen Metallschichten auf flexiblen Trägern bereitzustellen, das mit geringem Aufwand und bei geringem Flächenbedarf eine Verbindung der dünnen Schicht mit der Außenverdrahtung ermöglicht. Insbesondere wird angestrebt, eine zuverlässige Methode zur Verbindung von mindestens zwei Metallschichten zur Verfügung zu stellen, die das mechanische und elektrische Bonden vorzugsweise zweier unterschiedlicher Materialien ermöglicht.

[0017] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Anwendung von gepulster Laserstrahlung entsprechend den in Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst. Die aktuelle Erfindung bietet einen Prozess zur Mikrovernetzung dünner Schichten und Folien an, der die mechanische und elektrische Verbindung dünner Metallschichten durch geometrische Verzahnung der Materialien und die Bildung von Gemischen der beteiligten Materialien ermöglicht. Zusätzlich wird eine Methode zur Herstellung derartiger Mikrovernetzungen für dünne Schichten und Folien bereitgestellt.

[0018] Die aktuelle Erfindung zeigt eine Konfiguration zum Mikrobonden von zwei dünnen Schichten oder zwei Dünnschichtstapeln mittels Mikro(hohl)netzen, die vorzugsweise aus dem Material einer der beiden beteiligten dünnen Schichten bestehen sowie einen Prozess zur Mikrovernetzung derartiger dünner Schichten oder Dünnschichtstapel durch Laserbestrahlung.

[0019] Die Ziele, Charakteristika, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der folgenden detaillierten Beschreibung der Erfindung zusammen mit den beigefügten Abbildungen verdeutlicht.

Beschreibung der Abbildungen

[0020] [Abb. 1](#): Schematische Ansicht des Prinzipaufbaus einer Dünnschichtsolarzelle auf flexiblen Substraten.

[0021] [Abb. 2](#): 3D-Schema des Bereiches des Bon-

dens einer Solarzelle mit dem Kontaktbändchen durch Mikrovernietung.

[0022] [Abb. 3](#): Die wichtigsten Prozessschritte für das Lasernieten bzw. das Laserbonden sind schematisch gezeigt.

[0023] [Abb. 4](#): Beispiele für unterschiedliche Ausführungen von Lasernietverbindungen am Beispiel der Verbindung einer Dünnschicht-Solarzelle mit einer flexiblen Verbindungsleitung.

[0024] [Abb. 5](#): Beispiel für die Anwendung von Lasernieten zur Verbindung von Front- und Rückkontakt einer Solarzelle mit einer flexiblen Verbindungsleitung.

[0025] [Abb. 6](#): Schematische Ansicht des Stromflusses bei der Verbindung von Vorder- und Rückkontakt einer Solarzelle mit einem flexiblen Verbindungssystem.

[0026] [Abb. 7](#): REM-Darstellung einer Laservernietung zwischen einer flexiblen Kupferleiterplatte und einer Dünnschicht-Solarzelle auf einer Kaptonfolie.

[0027] Die Erfindung soll nachstehend anhand von den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den Abbildungen kennzeichnen identische Bezeichnungen (Nummern, Abkürzungen, Namen usw.) identische oder gleichartige Komponenten oder Prozesse.

[0028] In [Abb. 3a](#)) bis g) werden die hauptsächlichen Schritte zum Bonden von Dünnschichtstrukturen mittels Lasernietens schematisch in einer bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung zum Bonden von Dünnschicht-Solarzellen mit einer flexiblen elektrischen Verbindungsleitung dargestellt.

[0029] Wie in [Abb. 3a](#)) dargestellt ist, werden zunächst die oberliegenden Schichten der Solarzelle (insbesondere der Frontkontakt und die Absorberschicht) entfernt, um den Dünnschicht-Rückkontakt {2}, der in diesem Fall aus Molybdän besteht, freizulegen. Des Weiteren wird die Polymerträgerfolie {1} in einem begrenzten Gebiet {8} bis auf die dünne Metallschicht {2} entfernt, wie in [Abb. 3b](#)) dargestellt wird. Das kann durch Ablation mit einem gepulsten UV-Laser geschehen, dessen Pulsdauer geringer als 1 µs ist. Die Laserablationsparameter, z. B. die Laserfluenz, werden so ausgewählt, dass die Ablation der Trägerfolie {1} so zu realisieren ist, dass der zerstörungsfreie Abtrag des Trägerfolienmaterials von der dünnen Metallschicht {2} möglich ist, so dass die Herstellung einer nun freistehenden dünnen Metallschicht gesichert ist. Analoge Prozesse können für die Präparation des Kontaktbereiches der flexiblen Verbindungsleitung angewendet werden. Speziell die Deckschichten {6a} etc., beispielsweise eine mögli-

che Deckschicht des Kontaktmetalls, müssen in dem Bereich entfernt werden, in dem das Lasernieten durchgeführt werden soll.

[0030] Bei einer speziellen Ausführung des Prozesses, welche in [Abb. 3c](#)) gezeigt wird, wird ein kleines Loch in die dünne Metallschicht des Rückkontakts gebohrt. Dieser Bohrprozess wird vorzugsweise nach der Polymerablation der Trägerfolie der Solarzelle entsprechend [Abb. 3b](#)) erfolgen, kann aber auch zuvor geschehen. Bei beiden Ausführungsarten ist eine ausreichend exakte Überdeckungsgenauigkeit bei den Prozessschritten erforderlich, um sicherzustellen, dass das gebohrte Metallloch {9} innerhalb des ablatierten Bereiches {8} liegt. Das ist insbesondere dann garantiert, wenn für beide Prozessschritte dieselbe Anlage oder sogar derselbe Laserstrahl benutzt wird. Eine Kombination der Laserablation der Trägerfolie {1} und der Metallschicht {2} durch Verwendung desselben Laserstrahles, auch wenn erforderlichenfalls unterschiedliche Laserparameter verwendet werden, kann die Herstellung bezüglich Geschwindigkeit und Funktionssicherheit verbessern. Die in [Abb. 3b](#)) bis c) dargestellten Prozessschritte können auch durchgeführt werden, wenn die flexible Verbindungsleitung schon die Solarzellenfolie abstützt, wie in [Abb. 3d](#)) dargestellt ist.

[0031] Im nächsten Schritt, vergleiche [Abb. 3e](#)), wird der so vorbereitete Bereich der Dünnschicht-Solarzelle auf die flexible Verbindungsleitung aufeinandergepresst. In diesem Schritt werden Kräfte {10, 11} an die Dünnschicht-Solarzelle und die flexible Verbindungsleitung {7} angelegt, um die Entfernung zwischen beiden Metallschichtoberflächen ausreichend zu verringern.

[0032] Nun befindet sich der dünne Metallrückkontakt der Dünnschicht-Solarzelle in Kontakt mit dem Metall der flexiblen Verbindungsleitung. Beide Metalle {2, 6} werden durch Laserbestrahlung {12} verbunden, wie in [Abb. 3f](#)) dargestellt ist. Dafür wird vorzugsweise gepulste Laserstrahlung mit Pulslängen von größer 1 µs verwendet. Die Wellenlänge kann entsprechend der Erfordernisse ausgewählt werden. Allerdings wird aus Kostengründen ein Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 1,06 µm bevorzugt. Aufgrund der Laserbestrahlung und der dadurch ausgelösten Prozesse wird eine Verbindung, die beide Metallschichten mechanisch miteinander verbindet und auch einen elektrischen Kontakt bildet, geformt, die im Schnitt einer Nietverbindung ähnelt. Nach dem Lösen der Kräfte, die die beiden Teile aufeinandergepresst haben, ist eine stabile Laser-Nietverbindung {13} entstanden, wie schematisch in [Abb. 3g](#)) dargestellt ist.

[0033] Für ein stabiles und reproduzierbares Bonden einer Dünnschicht-Solarzelle mit einer flexiblen Verbindungsleitung sind üblicherweise mehrere Mi-

kroniete wünschenswert, wie in [Abb. 4](#) dargestellt ist. In der Abbildung sind verschiedene Möglichkeiten der Konfiguration von Mikronieten und dem geöffneten Rückseitenkontakt bezüglich Form, Gestaltung und Größe zu sehen. Andere Formen, Konfigurationen und Größen sind ebenfalls möglich. Die Niete können ebenfalls schlitzförmig sein. Einzelne Lasernietungen können in Reihen angeordnet sein oder eine dichte Anordnung bilden.

[0034] Um qualitativ hochwertige Nietverbindungen zu erreichen, müssen beide Metalloberflächen während des Lasernietens so eng wie möglich beieinander sein. Um dies zu erreichen, können die folgenden Methoden angewendet oder miteinander kombiniert werden: Vakuumsaugtische, Druck eines Gasstroms oder Nutzung des Drucks der Ablationswolke. Des Weiteren können die Folien über gekrümmte Werkstückträger, z. B. Rollen, geführt werden. Andere technische Hilfsmittel sind ebenfalls möglich.

[0035] Speziell zum Lasernieten verschiedener Materialien unterstützt ein in die obere Metallschicht gebohrtes Loch die Bildung der Mikronieten. Dieses Loch kann in verschiedenen Stadien des Produktionsprozesses eingebracht werden. Vorzugsweise wird aber ein Laser verwendet, wobei unterschiedliche Lasertypen nutzbar sind. Der zum Nieten verwendete Laser kann auch zum Bohren benutzt werden. Die hierfür optimale zeitliche Energiezuführung kann durch Steuerung der Ausgangsleistung oder der Pulsdauer des Laserstrahls erfolgen. Eine elegante Methode ist die Modifizierung der Pulsdauer durch geeignete Mittel, z. B. elektrooptische Elemente. Eine ebenfalls bevorzugte Ausführungsart ist die elektrische Kontrolle der Laserausgangsleistung. Unter Einbeziehung derartiger Kontrollverfahren kann der Bohr- und Lasernietprozess mit einem Laser durchgeführt werden. Auch eine Variation der Pulsdauer kann zweckmäßig sein, um mit ein und demselben Laser sowohl zu bohren als auch zu schweißen. Ebenso ist die geeignete Steuerung der Pulsform des Lasers möglich, um mit dem gleichen Laser zu bohren und zu schweißen.

[0036] Um eine Serie von Mikronieten simultan zu erzeugen, kann der Laserstrahl aufgespaltet werden und so gleichzeitig mehrfach für den Lasernietprozess zum Einsatz kommen. Folglich kann eine Reihe von Nietverbindungen simultan erzeugt werden.

[0037] Die Anwendbarkeit der Lasernietmethode zur Kontaktierung von Dünnschichtsolarzellen ist in [Abb. 5](#) schematisch dargestellt. Dargestellt sind Querschnitte des zum Bonden vorbereiteten Front- und Rückkontakts der Solarzelle. Nun kann der Lasernietprozess in der zuvor geschilderten Art und Weise erfolgen. Um die Festigkeit der Bondstelle zu erhöhen, können mehrere Nieten angebracht werden.

[0038] In [Abb. 6](#) wird der Stromfluss von einer ersten dünnen Metallschicht, z. B. einer Solarzelle, zu einer zweiten Metallschicht, z. B. einer flexiblen elektrischen Verbindungsleitung, schematisch dargestellt. Die Lasernietprozesse werden ähnlich den beschriebenen ausgeführt. Die Laserniete realisiert die elektrische Kontaktierung zwischen zwei mit verschiedenen Metallen beschichteten dünnen flexiblen Trägern. Außerdem erzielt die Laserniete auch eine mechanische Verbindung und kann auch nur für diesen Zweck eingesetzt werden.

[0039] Die REM-Abbildung in [Abb. 7](#) zeigt eine Lasernietverbindung zwischen dem Rückkontakt einer Dünnschichtsolarzelle und der Kupferbeschichtung einer flexiblen Leiterplatte. Das Metall des Rückkontaktes ist Molybdän, welches sich weder gut löten noch schweißen lässt. Auf der linken und der unteren Seite der Abbildung sind die Kanten der geöffneten Trägerfolie sichtbar. In der Nähe des Zentrums ist um das gesamte Loch herum ausgeworfenes Material sichtbar, welches während des Lasernietprozesses entsteht und nach dem Wiedererstarren aus dem flüssigen Zustand den Niet bildet.

Anwendungsbeispiele

[0040] Die aktuelle Erfindung wird nun anhand unterschiedlicher Beispiele detaillierter beschrieben.

Erstes Beispiel

[0041] Die aktuelle Erfindung wird nun anhand des Vernietens einer dünnen Molybdänfolie mit einem flexiblen Kupferkontaktbändchen konkreter beschrieben. Derartig dünne Molybdän-schichten werden als Rückkontakte für Solarzellen, z. B. CIGS-Solarzellen wie in [Abb. 1](#), verwendet. Für den Vernietungsprozess können die obersten Schichten der Solarzelle, als Frontkontakt, Absorber usw., bis zum Rückkontakt mechanisch oder mittels Lasers entfernt werden, um die Molybdän-schicht freizulegen, wie in [Abb. 3a](#) zu sehen ist.

[0042] Von der so vorbereiteten Solarzelle wird die Polymerträgerfolie mittels Laserablation entfernt. Um dies durchzuführen, ist die Solarzellenvorderseite im Bereich der rückseitigen Ablation der Polymerträgerfolie eng mit einer stabilen Halterung verbunden und wird mit einem Laser ausreichender Pulsenergie bestrahlt. Um die Polymerfolie (UPILEX 25 S mit Dicke ca. 25 µm) schonend zu ablatieren, wird ein UV-Laserstrahl mit einer Wellenlänge < 300 nm verwendet. Die Energiedichte des ablatierenden Laserstrahles wird während der anhaltenden Ablation mit zunehmender Abtragtiefe und reduzierter Folienrestdicke zum Rückkontakt reduziert, um eine selektive Ablation des Polymerträgers zum metallischen Rückkontakt zu gewährleisten. Bei diesem Beispiel wird ein Excimerlaser mit einer Wellenlänge von 248 nm und

einer Laserfluenz von 200 bis 600 mJ/cm² verwendet. Zum selektiven, lokalen Entfernen der Polymer-schicht können auch alternative Prozesse wie Plasmaätzen angewendet werden.

[0043] Es wird darauf verwiesen, dass ein kleines Loch in der hochschmelzenden Molybdänschicht den Lasernietprozess unterstützen und verbessern kann. Zu diesem Zweck wird nach der Ablation der die Solarzelle stützenden Polymerfolie ein kleines Loch in die Molybdänschicht gebohrt, wie in [Abb. 3c](#)) dargestellt ist. Das Loch unterstützt später die Bildung des Laserniets. Bei diesem Beispiel wurde das Loch in den 5 µm dünnen Molybdän-Rückkontakt innerhalb 0,1 s mit einer Ultrakurzpuls-laserbestrahlung bei einer Wellenlänge von 775 nm und einer Fluenz von 3 J/cm² gebohrt. Aufgrund des ultrakurzen Laserpulses findet fast kein Schmelzen der dünnen Metallschicht außerhalb des Loches statt, sodass eine Randwulst vermieden werden kann. Die Lochgröße wurde etwas geringer als die Größe des für das Lasernieten verwendeten Laserstrahles gewählt. In diesem Beispiel wurde ein Laserspot von ca. 15 µm verwendet. Die passende Bohrlochgröße kann durch kreisförmige Bewegungen des Laserspots auf der zu bohrenden Metallschicht eingestellt werden. Allerdings kann das Loch, obwohl es in diesem Beispiel nach der Ablation der Polymerträgerfolie gebohrt wurde, auch vorher erzeugt werden.

[0044] Eine flexible Verbindungsleitung, bestehend aus einer 25 µm starken Kupferschicht auf einer Kapton®-Trägerfolie (d ~ 50 µm) wurde für die Lasernietversuche verwendet. Die flexible Verbindungsleitung wurde im Bereich der Lasernietung durch Waschen mit Lösungsmitteln und Entfernen loser Kontaminationen gereinigt. Das gewährleistet einen guten Kontakt der Kupferoberfläche der flexiblen Verbindungsleitung mit dem Molybdän-Rückkontakt.

[0045] Nun werden die flexible Verbindungsleitung und die Solarzelle entsprechend [Abb. 3d](#)) verbunden. Zusätzlich wird eine Vakuumspannvorrichtung genutzt, um beide Metalloberflächen zusammenzupressen. Nachdem das Molybdän und die Kupferschicht der flexiblen Verbindungsleitung miteinander entsprechend [Abb. 3d](#)) verbunden sind, wird ein einzelner Laserpuls von 10 ms Dauer und einer Energie von 0,15 J sowie einer Wellenlänge von 1064 nm appliziert. Der Laserstrahl mit einem Durchmesser von ca. 30 µm wurde auf das gebohrte Loch fokussiert. Aufgrund der Energie des Laserstrahls wurden sowohl die Molybdän- als auch die Kupferschicht bis zum Schmelz- und vermutlich auch bis zum Verdampfungspunkt erhitzt. Teile der Laserstrahlung sind auch durch das Loch hindurch bis auf die Oberfläche der Kupferschicht gelangt. Wegen seiner niedrigeren Schmelz- und Verdampfungstemperatur schmilzt und verdampft das Kupfer daraufhin. Teile des geschmolzenen Kupfers werden infolge des

Kupferdampfdrucks durch das Loch hindurch ausgetrieben und lagern sich um das laserbestrahlte Gebiet herum ab. Weil der Laserspot zum Niet größer als das in der Molybdänschicht gebohrte Loch ist, wird die Molybdänschicht vermutlich bis zum Schmelzpunkt oder gar darüber hinaus erhitzt. Daraufhin kommt es unter Beteiligung beider geschmolzener Metalle zur Herausbildung einer stabilen Verbindung infolge metallurgischer Prozesse und einer Verzahnung der Metalle nach dem Wiedererstarren. Der Transport des geschmolzenen Kupfers des Kontaktbändchens kann auch durch die Ablation oder Verdampfung des Leiterplattenträgers, z. B. einer Polyimidfolie, unterstützt werden. Aufgrund der Druckerzeugung während der Ablation eben dieses Kaptons wird das gesamte geschmolzene Kupfer durch das Loch geschleudert und kann so den Niet bilden.

[0046] Generell gilt für das erfindungsgemäße Verfahren, dass die Materialien des Dünnschichtträgers, der Dünnschicht bzw. des Dünnschichtsystems, des verwendeten Lasers sowie der Art, Größe, Form und Abstand der Öffnungen je nach Anwendung unter den Gesichtspunkten der elektrischen Kontaktierung, der elektrischen Leitfähigkeit, der Stabilität, der Zuverlässigkeit oder Herstellungssicherheit und -aufwand ausgewählt werden. Die quantitativen Angaben insbesondere zu Materialien, den generellen Verfahrensschritten sowie den bevorzugten Abmessungen, die im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erfindung oder den einzelnen Ausführungsbeispielen aufgeführt werden, sind nicht auf diese beschränkt, sondern lassen sich auf die anderen, ggfs. für den Fachmann erkennbar, sinngemäß übertragen. Die Erfindung ist nicht auf die Ausführungsbeispiele begrenzt. Dem Fachmann erschließen sich Abwandlungen und Kombinationen.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|--|
| 1 | Träger der Metallschicht #1; Trägerfolie der Solarzelle |
| 2 | Metallschicht #1; Rückkontakt der Solarzelle |
| 3 | Halbleiter Typ 1; Absorberschicht der Solarzelle; z. B. CIGS-Schicht |
| 4 | Halbleiter Typ 2; z. B. CdS-Schicht |
| 5 | Vorderseitenkontakt der Solarzelle |
| 6 | Metallschicht #2; Kupferbeschichtung der flexiblen elektrischen Verbindungsleitung |
| 6a | mögliche Deckschicht auf 6 |
| 7 | Träger der Metallschicht #2; Trägerfolie der flexiblen elektrischen Verbindungsleitung |
| 8 | Öffnen der Trägerschicht zur Freilegung der Metallschicht #1 |
| 9 | Bohrung in der Metallschicht #1 |
| 10 | Andruckkraft |
| 11 | Andruckkraft |

- 12** Laserstrahl
- 13** Laserniet
- 14** Ritzen der Metallschicht zur elektrischen Isolierung
- 15** zusätzlich aufgebrachte Metallschicht; zur Kontaktierung der Vorderseite mit dem isolierten Metall
- 16** Stromfluss
- A** zu kontaktierendes Bauelement, z. B. Dünnschichtsolarzelle
- B** Kontaktbändchen

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 2005191584 [0010]
- EP 1727211 [0011]
- US 20050011551 [0012]
- US 6114185 [0013]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Kessler et al. in „Technological aspects of flexible CIGS solar cells and modules“, Solar Energy 77 (2004) 685–695 [0003]
- E. J. Simburger et al. in "Development of a thin film solar cell interconnect for the power sphere concept", Materials Science and Engineering B 116 (2005) 321–325 [0012]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten auf polymeren Trägern, die insbesondere Teil von Dünnschichtsolarzellen sein können, **dadurch gekennzeichnet**, dass unter Anwendung eines Laserstrahles mit einer Pulslänge $< 1 \mu\text{s}$ in die Trägerfolie einer dünnen Metallschicht **1** eine Öffnung eingebracht wird, wobei diese dünne Schicht freigelegt wird, indem durch Wahl der Laserbestrahlungsparameter eine Zerstörung der Metallschicht **1** ausgeschlossen wird, die Metallschichten der Metallschicht **1** und einer Metallschicht **2**, die auch auf einer Trägerfolie aufgebracht ist, einander zugewandt positioniert werden, beide Metallschichten im Bereich der Öffnung in der Trägerfolie eng zueinander positioniert werden, die aneinander gepressten Metalle durch Lasereinwirkung miteinander verbunden werden, wozu Laserstrahlen mit einer Pulslänge $> 1 \mu\text{s}$ verwendet werden.

2. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die auf eine Trägerfolie aufgebrachte Metallschicht **2** aus Kupfer besteht.

3. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dünne Metallschichten oder Folien unterschiedlicher Materialien auch mit stark differierenden Schmelzpunkten mittel Laserstrahlen miteinander verbunden werden.

4. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Laserstrahl aus gleicher Quelle mit unterschiedlicher Energie oder zeitlicher Steuerung der applizierten Laserenergie eingesetzt wird.

5. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zum Verbinden der beiden Metallfolien ein Nd:YAG-Laser eingesetzt wird, der vorzugsweise eine Wellenlänge von $1,06 \mu\text{m}$ aufweist.

6. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Nietverbindungen eingebracht werden.

7. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasernietung eines Kontaktbändchens oder einer flexiblen elektrischen Verbindung und der Dünnschichtsolarzelle mehrmals wiederholt wird,

8. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Entfernung der oberen Schichten

durch Laserbearbeitung, mechanisches Ritzen oder Maskieren während der Dünnschichtbeschichtung nach der Positionierung des Rückkontakts erfolgt.

9. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die gepulste Laserbestrahlung des Trägermaterials der Metallschicht **1** mit dem Ziel erfolgt, sie bis auf den Rückkontakt zu entfernen, von einer Laserquelle mit einer Wellenlänge im Bereich von 600 bis 190 nm, einer Pulsdauer von $< 1 \mu\text{s}$ und einer Spotgröße im Bereich von 5 bis $500 \mu\text{m}$ ausgeführt wird.

10. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserpuls zum Vernieten eine Pulsdauer $> 1 \mu\text{s}$ und eine Wellenlänge im infraroten oder sichtbaren Spektralbereich hat.

11. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten auf polymeren Trägern, die insbesondere Teil von Dünnschichtsolarzellen sein können, dadurch gekennzeichnet, dass unter Anwendung eines Laserstrahles mit einer Pulslänge $< 1 \mu\text{s}$ in die Trägerfolie einer dünnen Metallschicht **1** eine Öffnung eingebracht wird, wobei diese dünne Schicht freigelegt wird, dass in der Metallschicht **1** ein Loch erzeugt wird, dass das Bohren eines Loches in die Metallschicht **1** von einem gepulsten Laser mit einer Pulsdauer $< 1 \mu\text{s}$ durchgeführt wird, die Metallschichten der Metallschicht **1** und einer Metallschicht **2**, die auch auf einer Trägerfolie aufgebracht ist, einander zugewandt positioniert werden, beide Metallschichten im Bereich der Öffnung in der Trägerfolie eng zueinander positioniert werden, die aneinander gepressten Metalle durch Lasereinwirkung miteinander verbunden werden, wozu Laserstrahlen mit einer Pulslänge $> 1 \mu\text{s}$ verwendet werden.

12. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten auf polymeren Trägern nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnung in die Metallschicht **1** vor oder nach der Rückseitenöffnung der Trägerfolie der Metallschicht **1** oder im Zusammenhang mit dem Nieten erfolgt.

13. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl in mehrere Teilstrahlen zur simultanen Laserbearbeitung aufgeteilt wird.

14. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bohren des Loches in den Rückkontakt derselbe Laser verwendet wird wie zum Vernieten.

15. Verfahren zum Verbinden dünner Metallschichten nach Ansprüchen 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der zeitliche Verlauf oder die momentane Leistung des Laserpulses durch mechanische, elektrooptische oder optische Mittel eingestellt wird.

16. Kontaktbändchen, geeignet zur Mikrovernetzung mit einer flexiblen Dünnschichtsolarzelle.

17. Kontaktbändchen nach Anspruch 16, bestehend aus einer Kupferschicht auf einem Polymersubstrat.

18. Kontaktbändchen nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass es eine flexible Leiterplatte zur Kontaktierung einer CIGS-Solarzelle auf einer flexiblen Polymerfolie ist.

19. Kontaktbändchen nach Ansprüchen 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke des Metallfilms des Kontaktbändchens 2 μm übersteigt.

20. Kontaktbändchen nach Ansprüchen 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der Mikroniete im Bereich von 5 bis 500 μm liegt.

21. Kontaktbändchen nach Ansprüchen 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikroniete in einer definierten Art und Weise angeordnet sind und der Abstand zwischen den Zentren der Mikroniete im Bereich von 1 bis 10 mal der Größe der Mikroniete liegt.

22. Kontaktbändchen nach Ansprüchen 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikronieten dicht in einer Reihe angeordnet sind und ein Schlitz/Spalt/Lasniet bilden.

23. Kontaktbändchen nach Ansprüchen 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass es auf eine Dünnschichtsolarzelle mit einer Rückkontaktschichtdicke $< 5 \mu\text{m}$ befestigt ist.

24. Dünnschichtsolarzellen mit einem durch Lasernieten stabil verbundenem Kontaktbändchen, wobei eine Metallschicht **1** der Dünnschichtsolarzelle aus einem hochschmelzendem Metall mit $d < 50 \mu\text{m}$ besteht, eine Metallschicht **2** des Kontaktbändchens ein niedrigschmelzendes Metall auf polymerem Träger mit einer Metallschichtdicke von $d > 15 \mu\text{m}$ darstellt und die die beiden Metallschichten **1** und **2** verbindende Niet aus Material der Metallschicht **2** besteht.

25. Dünnschichtsolarzellen nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass entsprechend [Abb. 6b](#), in der die Bezugszeichen die folgende Bedeutung haben:

1 Trägerfolie der Dünnschichtsolarzelle

2 Rückkontakt der Dünnschichtsolarzelle

3 Absorberschicht der Dünnschichtsolarzelle

4 entfällt

5 Vorderseitenkontakt der Dünnschichtsolarzelle

6 Kupferbeschichtung des Kontaktbändchens

7 Trägerfolie des Kontaktbändchens

8 Zugang zur Metallschicht der Dünnschichtsolarzelle

13 Laserniet

16 Stromfluss

eine Vielzahl in Reihe oder parallel geschaltet werden können.

26. Dünnschichtsolarzellen nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass entsprechend [Abb. 2](#), in der die Bezugszeichen die folgende Bedeutung haben:

1 Trägerfolie der Dünnschichtsolarzelle

2 Rückkontakt der Dünnschichtsolarzelle

3 Absorberschicht der Dünnschichtsolarzelle

4 CdS-Schicht

5 Vorderseitenkontakt der Dünnschichtsolarzelle

6 Kupferbeschichtung des Kontaktbändchens

7 Trägerfolie des Kontaktbändchens

8 Zugang zur Metallschicht der Dünnschichtsolarzelle

13 Laserniet

eine zuverlässige Durchkontaktierung gesichert ist und die entstandenen Dünnschichtsolarzellen mit Kontaktbändchen beliebig parallel oder in Reihe geschaltet werden.

27. Verfahren zur Herstellung einer Dünnschichtsolarzelle, enthaltend ein durch Lasernieten mit ihr stabil verbundenem Kontaktbändchen nach Ansprüchen 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserniet dergestalt erzeugt wird, dass zunächst eine Metallschicht **1** der Dünnschichtsolarzelle, bestehend aus dem hochschmelzenden Metall Molybdän, von einer Öffnung geringen Durchmessers gezielt durchbrochen, mit einer Metallschicht **2** eines Kontaktbändchens, bestehend aus Kupfer, entsprechend [Abb. 3d](#)) in engen Kontakt gebracht wird, ein Laserpuls von 10 ms Dauer und einer Energie von 0,15 J sowie einer Wellenlänge von 1064 nm appliziert wird, der Laserstrahl mit einem Durchmesser von 30 μm auf die Öffnung geringeren Durchmessers fokussiert wird, das dabei verdampfende Kupfer durch die Öffnung hindurchtritt und mit dem geschmolzenen Molybdän eine metallurgische Legierung bildet, welche den Niet darstellt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

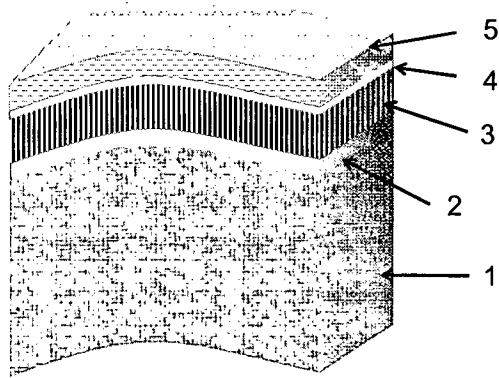


Abb. 1

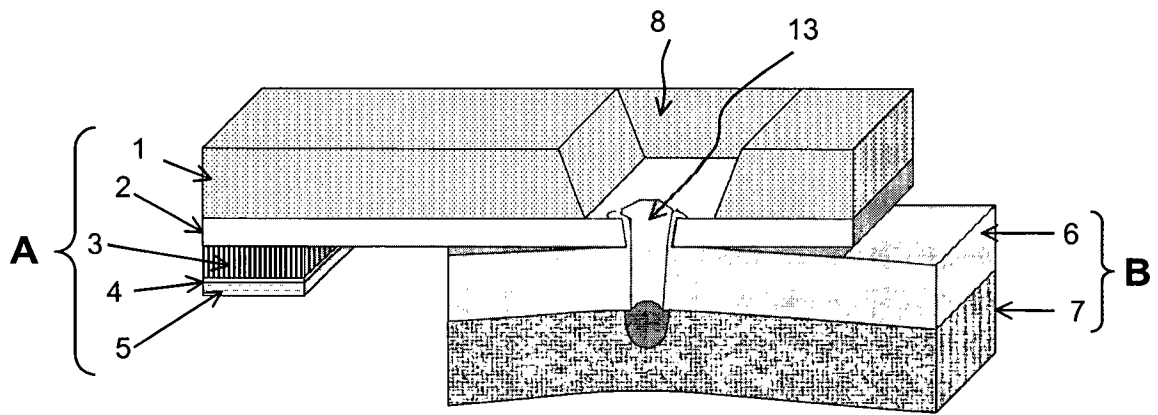
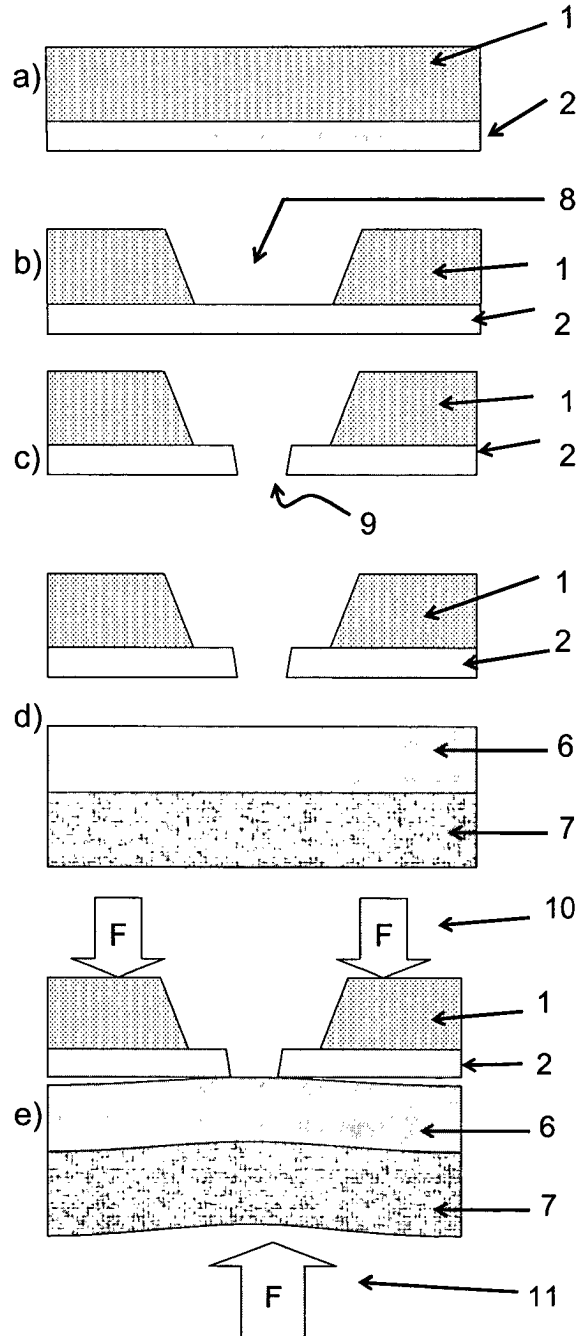
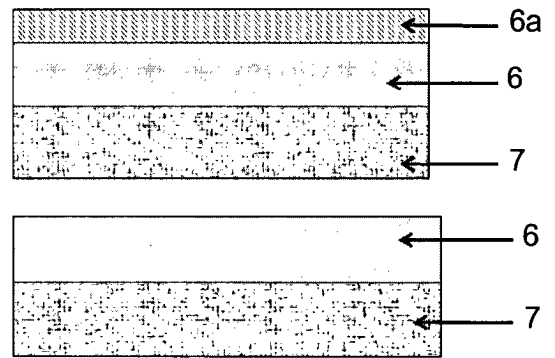


Abb. 2

A Dünnschichtsolarzelle



B Kontaktbändchen



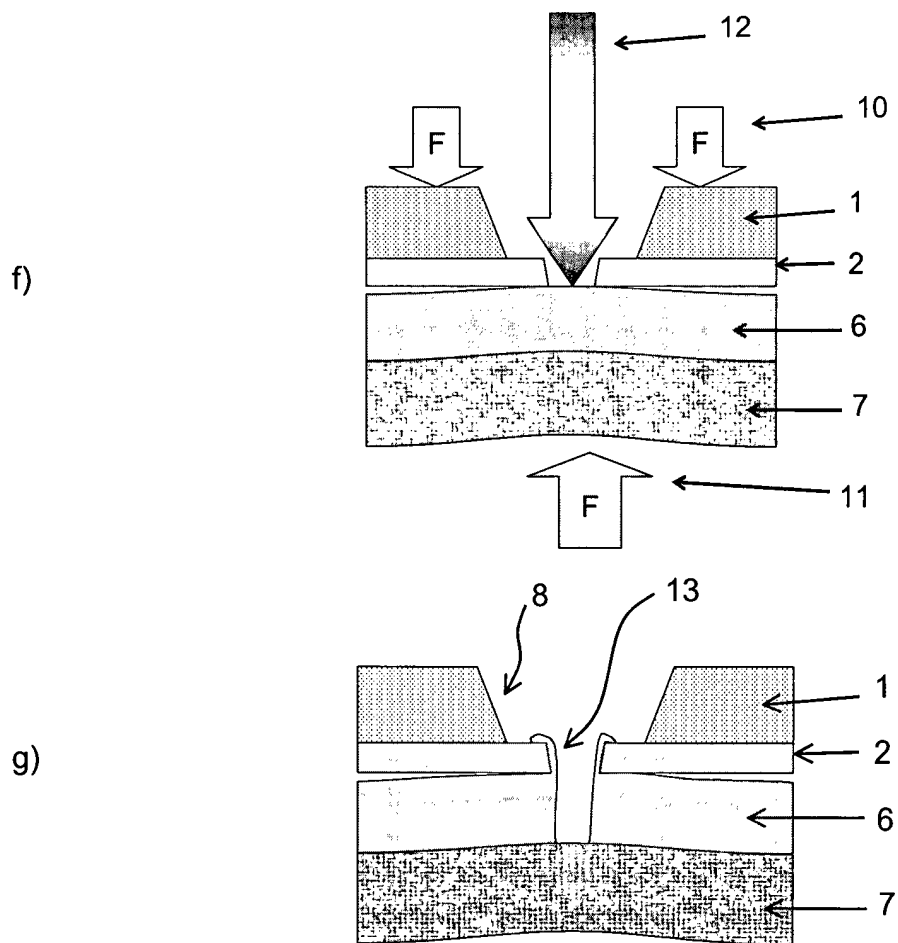


Abb. 3

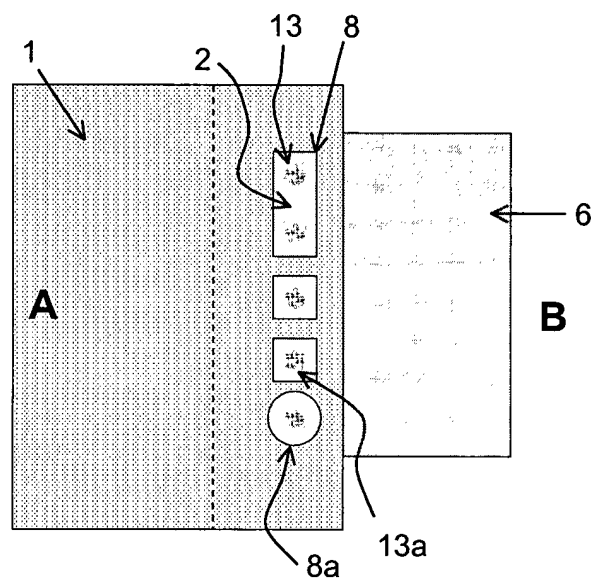


Abb. 4

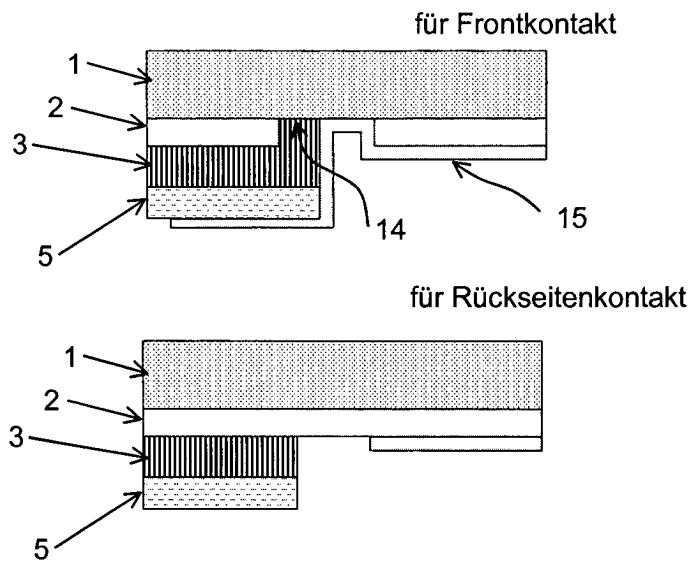
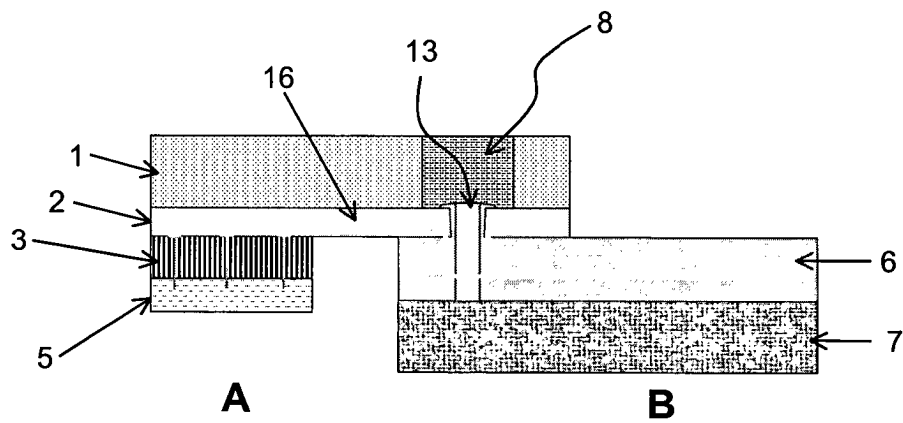


Abb. 5



b)

Abb. 6

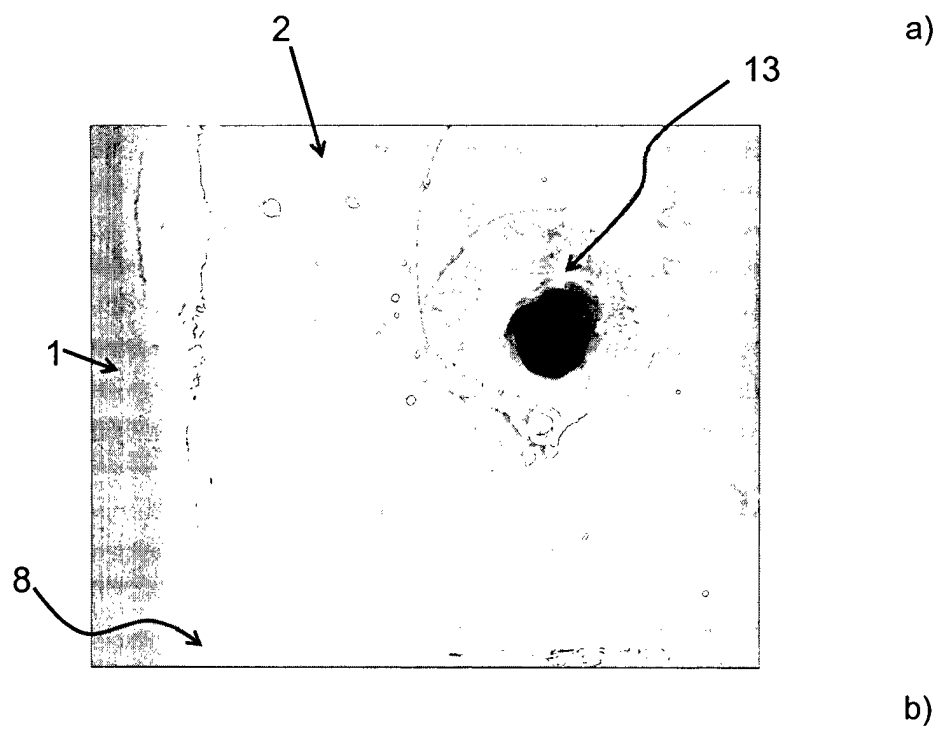


Abb. 7: REM-Abbildung eines Laserniets zwischen einem Kupferbasierenden Kontaktbändchen und einer Dünnschichtsolarzelle