

(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  
2. Februar 2012 (02.02.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/013798 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
H01L 31/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/063137

(22) Internationales Anmeldedatum:  
29. Juli 2011 (29.07.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10171464.0 30. Juli 2010 (30.07.2010) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SCHÜCO TF GMBH & CO. KG [DE/DE]; Karolinenstraße 1-15, 33609 Bielefeld (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): AHN, Kun Ho [KR/DE]; Heinrich-Budde-Str. 15, 04157 Leipzig (DE).

(74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENT-ANWALTSGESELLSCHAFT MBH; Ridlerstraße 55, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

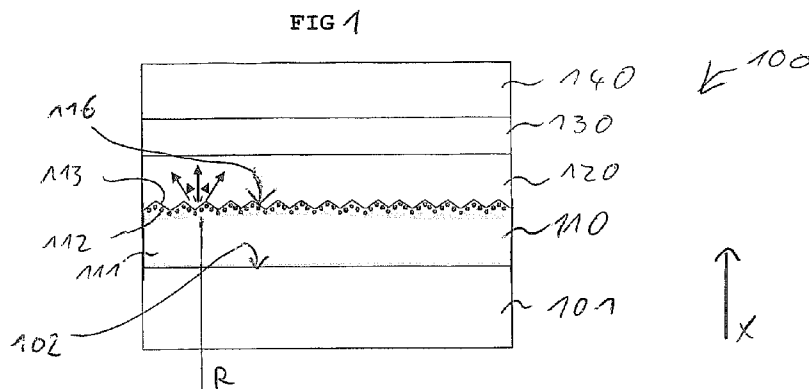
— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A TRANSPARENT ELECTRODE, METHOD FOR PRODUCING A PHOTOVOLTAIC CELL AND ARRAY

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER TRANSPARENTEN ELEKTRODE, VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER FOTOVOLTAIKZELLE SOWIE ANORDNUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a transparent electrode (110) on a substrate (101), comprising: providing the substrate (101), depositing a first transparent electrically conductive layer (111) on the substrate (101), depositing a metal oxide layer (115) on a surface (114) of the electrically conductive layer (111) which faces away from the substrate (101), dividing the metal oxide layer (115) into a plurality of metal particles (112) by thermal decomposition, and depositing a second transparent electrically conductive layer (113) on the metal particles (112). In order to produce a photovoltaic cell, a photoactive layer stack (120) is deposited on the second transparent electrically conductive layer (113). A photovoltaic cell thus produced comprises a plurality of metal particles (112) made of a metal oxide.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/013798 A2



---

Ein Verfahren zur Herstellung einer transparenten Elektrode (110) auf einem Substrat (101) umfasst: Bereitstellen des Substrats (101), Abscheiden einer ersten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht (111) auf das Substrat (101), Abscheiden einer Metall-Oxid-Schicht (115) auf eine dem Substrat (101) abgewandte Oberfläche (114) der elektrisch leitfähigen Schicht (111), Aufteilen der Metall-Oxid-Schicht (115) in eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) durch ein thermisches Dekomponieren, Abscheiden einer zweiten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht (113) auf die Metallpartikel (112). Zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle wird ein fotoaktiver Schichtstapel (120) auf die zweite transparente elektrisch leitfähige Schicht (113) abgeschieden. Eine so hergestellte Fotovoltaikzelle weist eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) aus einem Metall-Oxid auf.

## Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer transparenten Elektrode,  
Verfahren zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle sowie  
5 Anordnung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer  
transparenten Elektrode auf einem Substrat, insbesondere für  
eine Fotovoltaikzelle. Weiterhin betrifft die Erfindung  
10 Verfahren zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle. Die  
Erfindung betrifft weiterhin eine Anordnung für eine  
Fotovoltaikzelle sowie Anordnungen mit einer  
Fotovoltaikzelle.

15 Zur Nutzung der im Sonnenlicht enthaltenen Energie finden  
unter anderem Fotovoltaikmodule Anwendung, die auch als  
Solarmodule bezeichnet werden. Fotovoltaikmodule umfassen  
üblicherweise eine Mehrzahl von untereinander elektrisch  
gekoppelten Fotovoltaikzellen, die in Betrieb über den  
20 fotoelektrischen Effekt die im Licht enthaltene  
Strahlungsenergie zumindest teilweise in elektrische Energie  
umwandeln.

Fotovoltaikzellen weisen eine oder mehrere pn-Übergänge auf.  
25 Diese werden jeweils aus einer p-Typ- und einer n-Typ-Schicht  
gebildet. Zwischen der p- und der n-Schicht kann eine i-  
Schicht angeordnet sein, also eine im Wesentlichen  
intrinsische Schicht, die nicht dotiert oder im Vergleich zu  
der p- und der n-Schicht nur sehr gering dotiert ist. Die p-  
30 Schicht ist eine positiv dotierte Schicht, die n-Schicht eine  
negativ dotierte Schicht.

Fotovoltaikzellen umfassen beispielsweise mikrokristalline Siliziumschichten, amorphe Siliziumschichten, polykristalline Siliziumschichten und/oder andere Halbleiter. Zur elektrischen Kontaktierung der Halbleiterschichten werden in  
5 Fotovoltaikzellen transparente elektrisch leitfähige Schichten (TCO, transparent conductive oxide) verwendet.

Durch eine strukturierte und aufgeraute Oberfläche dieser Kontaktschichten kann einfallendes Sonnenlicht an dieser  
10 Schicht gestreut werden und dadurch ein größerer Anteil der Strahlungsenergie in elektrische Energie umgewandelt werden. Dadurch wird die Effektivität der Fotovoltaikzelle erhöht.

Es ist wünschenswert, ein Verfahren zur Herstellung einer  
15 transparenten Elektrode auf einem transparenten Substrat anzugeben, die eine gute Effektivität einer Fotovoltaikzelle ermöglicht. Weiterhin ist es wünschenswert, Verfahren zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle anzugeben, durch die Fotovoltaikzellen mit einer guten Effektivität realisierbar  
20 sind. Weiterhin ist es wünschenswert, eine Anordnung für eine Fotovoltaikzelle anzugeben, die eine gute Effektivität einer Fotovoltaikzelle ermöglicht. Zudem ist es wünschenswert, Anordnungen mit einer Fotovoltaikzelle anzugeben, die eine gute Effektivität aufweisen.

25

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umfasst ein Verfahren zur Herstellung einer transparenten Elektrode auf einem Substrat ein Bereitstellen des Substrats. Eine erste transparente elektrisch leitfähige Schicht wird auf das  
30 Substrat abgeschieden. Eine Metalloxidschicht wird auf eine dem Substrat abgewandte Oberfläche der elektrisch leitfähigen Schicht abgeschieden. Die Metalloxidschicht wird in einer Mehrzahl von Metallpartikeln aufgeteilt durch ein thermisches



bei der als Target ein Metall verwendet wird, sodass die Metalloxidschicht beispielsweise Silber, Gold und/oder Platin enthält.

5 Die Temperatur während des thermischen Dekomponierens zum Aufteilen der Metalloxidschicht in die Mehrzahl von Metallpartikeln beträgt gemäß weiteren Aspekten weniger oder gleich 500 °C. Insbesondere ist die Temperatur zum thermischen Dekomponieren größer als 200 °C, insbesondere  
10 größer als 250 °C. Gemäß weiteren Ausführungsformen ist die Temperatur zum thermischen Dekomponieren größer als 300 °C und kleiner oder gleich 400 °C. Gemäß weiteren Aspekten ist die Temperatur zum thermischen Dekomponieren kleiner oder gleich 450 °C, beispielsweise kleiner oder gleich 380 °C,  
15 insbesondere kleiner oder gleich 350 °C.

Während des Abscheidens der Metalloxidschicht wird gemäß weiteren Aspekten Sauerstoff zugeführt. Durch den Anteil des Sauerstoffs in Bezug auf das Metall wird die Dichte der  
20 Metalloxidschicht gesteuert. Durch den Anteil des Sauerstoffs in Bezug auf das Metall ist gemäß Aspekten die Größe der Metallpartikel steuerbar. So ist es möglich, Metallpartikel herzustellen, deren durchschnittlicher Durchmesser kleiner oder gleich 100 nm ist. Die Größe der Metallpartikel ist  
25 insbesondere abhängig von dem Verhältnis Sauerstoff zu Metall. Die Größe der Metallpartikel ist zudem abhängig von der Temperatur beim thermischen Dekomponieren, wodurch die Metalloxidschicht in die Metallpartikel zerlegt wird.

30 Gemäß weiteren Aspekten wird nachfolgend auf das thermische Dekomponieren, bevor die zweite transparente elektrisch leitfähige Schicht abgeschieden wird, ein so genannter Glühprozess (englisch: annealing) durchgeführt, durch den die

Größe der Metallpartikel weiterhin einstellbar ist. Die Metallpartikel werden angewärmt und bei einer konstanten Temperatur gehalten und nachfolgend abgekühlt. Dadurch werden definierte vorgegebene Eigenschaften der Metallpartikel erreicht. Stoffeigenschaften der Metalloxidschicht werden verändert, sodass die Metallpartikel andere Stoffeigenschaften als die ursprüngliche Metalloxidschicht aufweisen.

10 Durch die Metallpartikel in der Elektrode wird im Betrieb Licht, das auf das Substrat fällt und durch das Substrat zur Elektrode gelangt, in der Elektrode absorbiert. Insbesondere findet die Absorption an den Metallpartikeln statt. Durch die Absorption werden Plasmonen gebildet, wenn Licht auf die  
15 Metallpartikel trifft. Das eintreffende Licht regt Plasmonen auf den Metallpartikeln an.

Plasmonen werden die quantisierten Dichteschwankungen von Ladungsträgern in Halbleitern, Metallen und Isolatoren  
20 genannt. Plasmonen können auch als Elektronen angesehen werden, die relativ zu den positiven Ionen oszillieren. Die Elektronen oszillieren beispielsweise mit der Plasmafrequenz. Plasmonen sind die Quantisierung dieser Eigenfrequenz.

25 Gemäß Aspekten übertragen die angeregten Plasmonen in Betrieb ihre Energie wieder auf den auf der Elektrode angeordneten fotoaktiven Schichtstapel. Dort wird die Energie in elektrische Energie umgewandelt.

30 Der Energieübertrag zwischen den Plasmonen und dem fotoaktiven Schichtstapel ist auf mehrere Arten möglich. Beispielsweise wird die Energie der Plasmonen wieder abgestrahlt und radiativ auf den fotoaktiven Schichtstapel

übertragen. Beispielsweise findet ein nicht-radiativer Energieübertrag statt, insbesondere durch ein Einkoppeln von Wellenmoden von den Plasmonen in den fotoaktiven Schichtstapel. Beispielsweise wird die Energie als so  
5 genannte begrenzte Wellenmode (englisch: trapped waveguide mode) übertragen.

Gemäß weiteren Aspekten wird die Größe der Metallpartikel abhängig von dem fotoaktiven Schichtstapel vorgegeben,  
10 beispielsweise von dem Material des fotoaktiven Schichtstapels und/oder dem Wellenlängenbereich der Absorption des fotoaktiven Schichtstapels. Dadurch wird ein guter Energieübertrag möglich.

15 Gemäß weiteren Aspekten wird das Material der Metallpartikel abhängig von dem fotoaktiven Schichtstapel vorgegeben, beispielsweise von dem Material des fotoaktiven Schichtstapels und/oder dem Wellenlängenbereich der Absorption des fotoaktiven Schichtstapels. Dadurch wird ein  
20 guter Energieübertrag möglich.

Wird das Substrat und die darauf angeordnete Elektrode für Fotovoltaikzellen verwendet, resultiert der Energieübertrag von den Plasmonen zu dem auf der Elektrode angeordneten  
25 fotoaktiven Schichtstapel in einem Fotostrom. Folglich ist der Fotostrom beziehungsweise die Effizienz der Fotovoltaikzelle durch die Metallpartikel erhöht in Bezug auf herkömmliche Fotovoltaikzellen ohne Metallpartikel.  
Insbesondere ist es durch die Metallpartikel möglich, auf  
30 eine Aufrauung der Elektrode zu verzichten, die herkömmlich zur Lichtstreuung verwendet wird, da die Metallpartikel für eine genügend hohe Ausbeute des eintreffenden Lichts sorgen.

Gemäß weiteren Aspekten werden zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle weitere Schichten auf die zweite transparente elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht, insbesondere der fotoaktive Schichtstapel, eine  
5 Rückreflektorschicht und/oder eine Rückelektrodenschicht.

Gemäß weiteren Aspekten wird die Metalloxidschicht alternativ oder zusätzlich zur Frontelektrode auf eine erste Teilschicht der Rückreflektorschicht abgeschieden, die auf dem  
10 fotoaktiven Schichtstapel aufgebracht ist. Die Metalloxidschicht wird durch ein thermisches Dekomponieren in eine Mehrzahl von Metallpartikeln aufgeteilt und eine zweite Teilschicht der Rückreflektorschicht aufgebracht. Somit sind die Metallpartikel in der Rückreflektorschicht angeordnet.

15

In so genannten Tandem-Junction-Fotovoltaikzellen, die zwei fotoaktive Schichtstapel mit jeweiligen p-i-n-Schichten aufweisen, wird gemäß weiteren Aspekten eine erste Teilschicht einer Zwischenschicht auf den ersten fotoaktiven  
20 Schichtstapel abgeschieden, bevor der zweite fotoaktive Schichtstapel abgeschieden wird. Eine Metalloxidschicht wird auf die erste Teilschicht der Zwischenschicht abgeschieden. Die Metalloxidschicht wird durch ein thermisches Dekomponieren in eine Mehrzahl von Metallpartikel aufgeteilt  
25 und eine zweite Teilschicht der Zwischenschicht wird auf die Metallpartikel aufgebracht. Der zweite fotoaktive Schichtstapel wird auf die Metallpartikel aufgebracht.

Es ist also möglich, die Metallpartikel in zumindest eine der  
30 Schichten Frontelektrode, Zwischenschicht beziehungsweise Rückreflektorschicht einzubinden. Es ist auch möglich, die Metallpartikel in zwei der Schichten oder in alle der genannten Schichten einzubinden.

Bei so genannten Triplezellen, die drei fotoaktive Schichtstapel übereinander aufweisen, sind insbesondere zwei Zwischenschichten mit jeweiligen Metallpartikeln vorgesehen, die jeweils zwischen zwei der drei fotoaktiven Schichtstapeln angeordnet sind.

Gemäß weiteren Aspekten sind mehr als drei fotoaktive Schichtstapel angeordnet. Die möglichen Positionierungen der Metallpartikel in Haupteinfallrichtung des in Betrieb einfallenden Lichts sind vor dem ersten fotoaktiven Schichtstapel, zwischen dem ersten und dem zweiten fotoaktiven Schichtstapel, zwischen dem zweiten und dem dritten fotoaktiven Schichtstapel bis zu zwischen dem (n-1)-ten und dem n-ten fotoaktiven Schichtstapel sowie nach dem n-ten fotoaktiven Schichtstapel.

Die Metallpartikel sind jeweils von dem fotoaktiven Schichtstapel durch eine dünne Schicht, die beispielsweise eine Dicke von kleiner oder gleich 50 nm aufweist, getrennt. So werden ein direkter Kontakt zwischen dem fotoaktiven Schichtstapel und den Metallpartikeln vermieden. Dadurch ist insbesondere ein guter Energieübertrag von den Metallpartikeln beziehungsweise Plasmonen zu dem fotoaktiven Schichtstapel realisiert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere Vorteile, Merkmale und Weiterbildungen ergeben sich aus den nachfolgenden in Verbindung mit den Figuren 1 bis 8 erläuterten Beispielen.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer optoelektronischen Anordnung gemäß einer Ausführungsform,

5

Figuren 2A und 2B eine schematische Darstellung des Plasmoneneffekts,

Figur 3 eine schematische Darstellung des Plasmoneneffekts,

10

Figur 4 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle gemäß einer Ausführungsform,

Figur 5 eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Anordnung zu einem Zeitpunkt der Herstellung,

15

Figur 6 eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Anordnung gemäß einer Ausführungsform,

20 Figur 7 eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Anordnung gemäß einer Ausführungsform, und

Figur 8 eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Anordnung gemäß einer Ausführungsform.

25

Gleiche, gleichartige und gleich wirkende Elemente können in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen sein. Die dargestellten Schichten und Bereiche und deren Größenverhältnisse zueinander sind grundsätzlich nicht als maßstabsgerecht anzusehen, vielmehr können einzelne Elemente, wie beispielsweise Schichten und Bereiche, zur besseren Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis übertrieben dick oder groß dimensioniert dargestellt sein.

30

Detaillierte Beschreibung von Ausführungsformen

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer  
5 Schnittansicht einer Fotovoltaikzelle 100. Auf einer  
Oberfläche 102 eines flächig ausgedehnten Substrats 101 ist  
eine ebenfalls flächig ausgedehnte transparente Elektrode 110  
angeordnet. Die transparente elektrisch leitfähige Elektrode  
110 ist schichtförmig in Hauptrichtung der während des  
10 Betriebs einfallenden Strahlung auf dem Substrat 101  
angeordnet. Die Hauptrichtung der während des Betriebs  
einfallenden Strahlung ist der X-Richtung der Figur 1  
gleichgerichtet.

15 Auf der transparenten elektrisch leitfähigen Elektrode 110  
ist ein fotoaktiver Schichtstapel 120 angeordnet, der  
ingerichtet ist durch den fotoelektrischen Effekt  
Strahlungsenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Auf dem  
fotoaktiven Schichtstapel 120 ist eine Rückreflektorschicht  
20 130 angeordnet. Durch die Rückreflektorschicht 130 ist  
Strahlung, die durch den fotoaktiven Schichtstapel 120  
gelangt ohne in elektrische Energie umgewandelt zu werden,  
zurück in Richtung des fotoaktiven Schichtstapels 120  
reflektierbar. Auf der Rückreflektorschicht 130 ist eine  
25 weitere Elektrode 140 angeordnet, die so genannte  
Rüchkelektrode.

Das Substrat 101 ist gemäß Ausführungsformen für Sonnenlicht  
möglichst transparent. Insbesondere ist das Substrat 101 für  
30 Licht im sichtbaren Spektrum und im Infrarotbereich besonders  
durchlässig und weist eine Transparenz von größer als 85 % in  
einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1200 nm auf. Das  
Substrat umfasst beispielsweise Glas, insbesondere eisenarmes

Flachglas, Silikatglas oder Walzglas. Das Substrat 101 ist ausgebildet, den Schichtstapel, der auf dem Substrat 101 angeordnet ist, zu tragen.

5 Der fotoelektrische Schichtstapel 120 umfasst gemäß Ausführungsformen eine p-dotierte Schicht und eine n-dotierte Schicht sowie eine im Wesentlichen intrinsische Schicht, die zwischen der p-dotierten Schicht und der n-dotierten Schicht angeordnet ist. Der fotoaktive Schichtstapel ist flächig  
10 ausgedehnt. Gemäß Ausführungsformen ist die p-dotierte Schicht in X-Richtung auf einer Oberfläche 116 der transparenten Elektrode 110 angeordnet. Gemäß weiteren Ausführungsformen ist die n-dotierte Schicht auf der Oberfläche 116 angeordnet.

15 Die im Wesentlichen intrinsische Schicht ist undotiert beziehungsweise im Vergleich zu den angrenzenden p-beziehungsweise n-dotierten Schichten sehr gering dotiert. Die im Wesentlichen intrinsische Schicht ist eingerichtet,  
20 Licht zu absorbieren und fotoelektrisch umzuwandeln. Die im Wesentlichen intrinsische Schicht ist eingerichtet, Energie zu absorbieren und in elektrische Energie umzuwandeln. Die fotoelektrische Anordnung ist eingerichtet, insbesondere Licht in einem Wellenlängenbereich von 400 bis 1200 nm zu  
25 absorbieren.

Gemäß weiteren Ausführungsformen ist das Substrat 101 opak, also im Wesentlichen nicht Durchlässig für Licht in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1200 nm. Die  
30 Schichtenfolge gemäß Ausführungsformen ist opakes Substrat, darauf angeordnet eine optionale elektrische Isolationsschicht, darauf angeordnet optional die Rückreflektorschicht, darauf angeordnet optional der

metallischer Rückkontakt, darauf angeordnet die elektrisch leitfähige Schicht mit Metallpartikeln, darauf angeordnet der fotoaktive Schichtstapel 120, darauf angeordnet die elektrisch leitfähige Schicht 110 mit Metallpartikeln. Gemäß  
5 weiteren Ausführungsformen ist ein weiterer fotoaktiver Schichtstapel 160 (Figur 7) zwischen der elektrisch leitfähigen Schicht 130 und der elektrisch leitfähigen Schicht 110 angeordnet. Insbesondere sind drei oder mehr fotoaktive Schichtstapel zwischen der elektrisch leitfähigen  
10 Schicht 130 und der elektrisch leitfähigen Schicht 110 angeordnet.

In X-Richtung ist auf dem fotoaktiven Schichtstapel 120 die Rückreflektorschicht 130 und darauf die Rückelektrode 140  
15 angeordnet, die eingerichtet ist, Strom beziehungsweise Spannung aus dem fotoaktiven Schichtstapel 120 abzuführen. Gemäß weiteren Aspekten ist mindestens der weitere fotoaktive Schichtstapel 160 (Figur 7) zwischen der Elektrode 110 und der Rückreflektorschicht 130 beziehungsweise der Elektrode  
20 140 angeordnet.

Die transparente elektrisch leitfähige Schicht 110 umfasst beispielsweise Zinkoxid. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst die transparente Elektrode 110 ein anderes  
25 transparentes elektrisch leitfähiges Oxid, beispielsweise ITO oder SnO<sub>2</sub>. Die transparente elektrisch leitfähige Schicht 110 weist eine gute optische Transmissivität sowie eine gute elektrische Leitfähigkeit auf.

30 Der fotoaktive Schichtstapel 120 umfasst insbesondere Silizium, beispielsweise mikrokristallines Silizium und/oder amorphes Silizium. Die Fotovoltaikzelle 100 ist als so genannte Dünnschicht- beziehungsweise Dünnschichtsolarzelle

ausgeführt. Die Schichten der Fotovoltaikzelle 100 weisen eine Dicke in X-Richtung im Bereich von wenigen 10 nm bis einigen Mikrometern auf. Üblicherweise werden die fotoaktiven Schichten zusammen mit den Elektroden und gegebenenfalls der Reflexionsschicht großflächig auf das Substrat 101  
5 aufgebracht. Mit Hilfe von einem oder mehreren Strukturierungsschritten wird eine Mehrzahl von einzelnen streifenförmigen Solarzellen gebildet, die elektrisch in Serie verschaltet sind. Die Breite der streifenförmigen Solarzellen, auch Zellstreifen genannt, liegt im Bereich von  
10 Millimetern bis Zentimetern. So sind Solarmodule mit einer Mehrzahl von Fotovoltaikzellen 100 ausgebildet. Auf die äußeren Zellstreifen werden üblicherweise Stromabnehmer aufgebracht, über die das Dünnschichtsolarmodul angeschlossen  
15 wird und die erzeugte elektrische Leistung abgeführt werden kann.

Die dem Substrat abgewandte Oberfläche 116 der transparenten Elektrode 110 weist gemäß Ausführungsformen eine möglichst  
20 homogen ausgebildete raue Textur auf, sodass die Oberfläche 116 ein gutes Streuvermögen für das einfallende Licht in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1200 nm aufweist. Dadurch kann die Effektivität des fotoaktiven Schichtstapels 120 erhöht werden, da der Weg der einfallenden Strahlung  
25 durch den fotoaktiven Schichtstapel 120 im Mittel verlängert wird, das einfallende Licht besser in den fotoaktiven Schichtstapel 120 eingekoppelt wird und eine höhere Absorptionswahrscheinlichkeit der einfallenden Strahlung erreicht wird.

30

Gemäß weiteren Ausführungsformen ist die Oberfläche 116 der transparenten Elektrode 110 glatt ausgebildet. Auf die raue Texturierung der Oberfläche 116 wird in diesen

Ausführungsformen verzichtet. Wie nachfolgend näher erläutert wird, ist es erfindungsgemäß dennoch möglich, eine hohe Absorptionswahrscheinlichkeit der eintreffenden Strahlung in dem fotoaktiven Schichtstapel 120 und damit eine hohe  
5 Effektivität zu ermöglichen.

Die transparente Elektrode weist eine Mehrzahl von Metallpartikeln 112 auf. Die Metallpartikel 112 sind entlang der Oberfläche 116 angeordnet. Die Metallpartikel 112 weisen  
10 einen Abstand zu dem fotoelektrischen Schichtstapel 120 auf und haben keinen direkten Kontakt zu dem fotoaktiven Schichtstapel 120. Zwischen den Metallpartikeln 112 und dem fotoaktiven Schichtstapel 120 ist eine transparente elektrisch leitfähige Teilschicht 113 der transparenten  
15 Elektrode 110 angeordnet. Die transparente elektrisch leitfähige Teilschicht 113 weist eine Dicke 117 (Figur 6) in X-Richtung von weniger als 50 nm auf, insbesondere ist die Dicke 117 kleiner oder gleich 40 nm, beispielsweise kleiner oder gleich 35 nm.

20 Zwischen den Metallpartikeln 112 und dem Substrat 101 ist eine transparente elektrisch leitfähige Teilschicht 111 der Elektrode 110 ausgebildet. Die Metallpartikel 112 sind von Material der elektrisch leitfähigen Schicht 110 umgeben. Die  
25 elektrisch leitfähige Teilschicht 111 und die elektrisch leitfähige Teilschicht 113 weisen jeweils ein transparentes elektrisch leitfähiges Oxid auf und umschließen gemeinsam die Metallpartikel 112.

30 Die Hauptausbreitungsrichtung des flächig ausgedehnten Bereichs, in dem die Metallpartikel 112 angeordnet sind, ist im Wesentlichen gleichgerichtet zu der flächigen Ausdehnung der Oberfläche 102 und der Oberfläche 116.

Die Metallpartikel 112 sind im Wesentlichen kugelförmig. Sie können auch eine andere Form aufweisen, beispielsweise scheibenförmig. Die Metallpartikel 112 weisen einen

5 durchschnittlichen Durchmesser von kleiner oder gleich 100 nm auf. Die jeweilige Größe der Metallpartikel ist jeweils kleiner oder gleich 120 nm im Querschnitt, beispielsweise kleiner oder gleich 80 nm, insbesondere kleiner oder gleich 70 nm. Die Metallpartikel 112 sind so an der Elektrode 110

10 angeordnet, dass sie näher an der Oberfläche 116 und damit näher an dem fotoaktiven Schichtstapel 120 angeordnet sind als an der Oberfläche 102 und damit dem Substrat 101. Die Metallpartikel 112 umfassen jeweils beispielsweise Silber. In weiteren Ausführungsformen umfassen die Metallpartikel

15 jeweils Gold. Gemäß weiteren Aspekten umfassen die Metallpartikel 112 jeweils Platin.

Die im Betrieb eintreffende Strahlung R trifft auf die Metallpartikel 112. Die eintreffende Strahlung wird an den

20 Metallpartikeln 112 modifiziert und daraufhin Energie aus der Strahlung auf den fotoaktiven Schichtstapel 120 übertragen. Durch die Modifikation der eintreffenden Strahlung R an den Metallpartikeln 112 wird der durchschnittliche Weg der Strahlung durch den fotoaktiven Schichtstapel 120 erhöht und

25 damit wird eine Erhöhung der Effektivität der Solarzelle erreicht, da die Absorptionswahrscheinlichkeit steigt.

Beispielsweise wird die eintreffende Strahlung R an den Metallpartikeln 112 durch den Plasmoneneffekt modifiziert.

30

Figur 2A zeigt schematisch die eintreffende Strahlung R, die jeweils örtlich begrenzte Oberflächenplasmonen auf den Metallpartikel 112 anregt. Die Anregung verursacht ein Feld

E, das zum Zeitpunkt  $t$  unterschiedlich ist im Vergleich zum Zeitpunkt  $t + \Delta t$ . Die Absorption der Strahlung  $R$  führt zur Ausbildung von Plasmonen. Die Energie der Plasmonen wird in den fotoaktiven Schichtstapel 120 übertragen und dort in  
5 elektrische Energie umgewandelt. Dadurch wird die Effektivität in Betrieb erhöht, da ein größerer Anteil der eintreffenden Strahlung  $R$  in elektrische Energie umgewandelt wird als herkömmlich. Die Absorptionswahrscheinlichkeit ist im Vergleich zu herkömmlichen Fotovoltaikzellen durch die  
10 Anordnung der Metallpartikel 112 und den daraus resultierenden Plasmoneneffekt erhöht.

Figur 2B zeigt eine Form der nicht-radiativen Energieübertragung. Die eintreffende Strahlung  $R$  regt  
15 beispielsweise eine Oberflächenplasmonenresonanz an den Metallpartikeln 112 an. Diese Resonanz und damit die Energie des Plasmons wird nachfolgend als begrenzte Wellenmode  $M$  in auf den fotoaktiven Schichtstapel übertragen. Diese wird wiederum in dem fotoaktiven Schichtstapel 120 in elektrische  
20 Energie umgewandelt. Somit wird durch die Metallpartikel 112 ein höherer Anteil der eintreffenden Strahlung  $R$  in elektrische Energie umgewandelt als ohne Metallpartikel 112.

Figur 3A zeigt eine Nahfeldverteilung von Metallpartikeln 112  
25 aus Silber mit einer niedrigen Dichte.

Figur 3B zeigt eine Nahfeldverteilung der Metallpartikel 112 aus Silber mit einer hohen Dichte von Metallpartikeln 112.

30 Figur 4 zeigt schematisch einen Ablauf eines Verfahrens zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle gemäß Ausführungsformen.

In Schritt 201 wird das Substrat 101 bereitgestellt und die elektrisch leitfähige transparente Teilschicht 111 auf das Substrat 101 abgeschieden.

- 5 Gemäß Ausführungsformen wird eine raue Oberfläche der Teilschicht 111 ausgebildet. Gemäß weiteren Ausführungsformen wird eine möglichst flache und gleichmäßig ebene Oberfläche 114 (Figur 5) der Teilschicht 111 ausgebildet.
- 10 Nachfolgend wird in Schritt 202 auf die Oberfläche 114 der Teilschicht 111 eine Metalloxidschicht 115 (Figur 5) abgeschieden. Die Metalloxidschicht 115 wird durch ein Sputterdepositionsverfahren abgeschieden. So ist ein gleichmäßiges Abscheiden der Metalloxidschicht auch auf  
15 großen Flächen von beispielsweise über 5 Quadratmetern möglich. Die Metalloxidschicht 115 umfasst gemäß Ausführungsformen zumindest eines aus Gold, Silber und Platin.
- 20 Im Schritt 202 wird gemäß Ausführungsformen während dem Abscheiden der Metalloxidschicht 115 gasförmiger Sauerstoff in die Abscheidekammer eingeführt. Mittels der Menge an zugeführten Sauerstoff ist die Metalldichte pro Fläche der Metalloxidschicht 115 steuerbar. Zudem wird in Schritt 202  
25 die Dicke in X-Richtung der Schicht 115 gemäß Vorgaben gesteuert. Die Metalldichte und die Dicke werden in Schritt 202 so gesteuert, dass die Metallpartikel 102, die nachfolgend in Schritt 203 ausgebildet werden, einen durchschnittlichen Durchmesser von kleiner oder gleich 100 nm  
30 aufweisen.

In Schritt 203 wird eine thermische Dekomposition (englisch: thermal decomposition) durchgeführt. Gemäß weiteren Aspekten

wird in Schritt 203 ein Glühverfahren (englisch: annealing) durchgeführt. Die Metalloxidschicht 115 wird in Schritt 203 erhitzt und wieder abgekühlt. In Schritt 203 wird die Metalloxidschicht 115 in die Mehrzahl von Metallpartikeln 112 aufgeteilt. In Schritt 203 zerfällt die Metalloxidschicht 115 in die Mehrzahl von Metallpartikeln 112. Die Metallpartikel werden aus der Metalloxidschicht 115 gebildet. Das Aufteilen der Metalloxidschicht 115 und das Ausbilden der Metallpartikel 112 findet bei einer Temperatur von kleiner oder gleich 500 °C statt. Das Aufteilen der Metalloxidschicht 115 findet bei einer Temperatur statt, sodass der durchschnittliche Durchmesser der Metallpartikel 112 kleiner oder gleich 100 nm beträgt.

Nachfolgend wird in Schritt 204 die transparente elektrisch leitfähige Schicht 113 abgeschieden. Insbesondere wird die Schicht 113 mittels Sputterdeposition abgeschieden. Die Schicht 113 wird so abgeschieden, dass sie die Metallpartikel 112 abdeckt. Die Oberfläche 116 (Figur 6) der Schicht 113 ist beabstandet zu den Metallpartikeln 112, sodass die Metallpartikel 112 nicht nach außerhalb der Elektrode 110 reichen. Die Metallpartikel 112 haben keinen Kontakt zu der Oberfläche 116.

Nachfolgend wird in Schritt 205 der fotoaktive Schichtstapel 120 auf die Oberfläche 116 abgeschieden, insbesondere mittels plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD).

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung des Substrats 101 mit der Schicht 111 und der Schicht 115 gemäß einer Ausführungsform nach dem Verfahrensschritt 202 der Figur 4.

Auf der dem Substrat 101 abgewandten Oberfläche 114 der ersten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht 111 ist die flächig ausgedehnte Metalloxidschicht 115 aufgebracht. Die Metalloxidschicht 115 ist so aufgebracht, dass sie durch  
5 ein thermisches Dekomponieren, insbesondere durch ein Aufheizen und Abkühlen, in die Metallpartikel 112 zerfällt, die einen durchschnittlichen Durchmesser von kleiner oder gleich 100 nm aufweisen.

10 Figur 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht des Substrats 101 mit der Schicht 111 und der Schicht 113 sowie den Metallpartikeln 112 nach dem Verfahrensschritt 204 der Figur 4. Die Metallpartikel 112 sind aus der Metalloxidschicht 115 gebildet und von der  
15 zweiten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht 113 bedeckt. Die Schicht 113 bedeckt die Metallpartikel 112 so, dass die Schicht 113 in X-Richtung die Dicke 117 von etwa 50 nm aufweist.

20 Die Anordnung der Figur 6 umfasst das Substrat 101 und die Elektrode 110 mit den Metallpartikeln 112. Auf die Anordnung der Figur 6, insbesondere auf die Oberfläche 116, kann nachfolgend der fotoaktive Schichtstapel 120 abgeschieden werden.

25

Die Oberfläche 114 der Figur 5 und die Oberfläche 116 der Figur 6 sind glatt und möglichst eben über die gesamte flächige Ausdehnung der Schichten 111 beziehungsweise 113 dargestellt. Gemäß weiteren Ausführungsformen sind die  
30 Oberflächen jeweils rau texturiert. Die Schicht 111 ist in X-Richtung dicker als die Schicht 113, sodass der flächig ausgedehnte Bereich, in dem die Metallpartikel 120 angeordnet

sind, näher an der Oberfläche 116 angeordnet ist, als an der Oberfläche 102 des Substrats 101.

Figur 7 zeigt eine schematische Darstellung einer  
5 Schnittansicht einer Tandem-Junction-Fotovoltaikzelle, die zwei fotoaktive Schichtstapel 120 und 160 in X-Richtung gestapelt aufweist.

Auf einer Oberfläche 121 des fotoaktiven Schichtstapels 120,  
10 die dem Substrat abgewandt ist, ist eine Zwischenschicht 150 angeordnet. Der zweite fotoaktive Schichtstapel 160 ist auf einer dem fotoaktiven Schichtstapel 120 abgewandten Oberfläche der Zwischenschicht 150 angeordnet. Die Zwischenschicht 150 ist in X-Richtung zwischen den beiden  
15 fotoaktiven Schichtstapeln 120 und 160 angeordnet.

Die Zwischenschicht 150 umfasst eine erste Teilschicht 151, die an den fotoaktiven Schichtstapel 120 angrenzt. Eine zweite Teilschicht 152 der Zwischenschicht 150 grenzt an den  
20 zweiten fotoaktiven Schichtstapel 160 an. Die Zwischenschicht 150 umfasst insbesondere eines aus dotiertem  $\text{SiO}_x$ ,  $\text{SiCO}$ ,  $\text{SiN}_x$ ,  $\text{SiC}_x\text{O}_y$ ,  $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ITO}$  und  $\text{SnO}_2$ .

Gemäß Ausführungsformen ist auf dem zweiten fotoaktiven  
25 Schichtstapel 160 die Rückreflektorschicht 130 angeordnet.

Gemäß Ausführungsformen ist auf dem zweiten fotoaktiven Schichtstapel 160 eine weitere Zwischenschicht angeordnet, die in ihrer Funktion der Zwischenschicht 150 entspricht. Auf  
30 der weiteren Zwischenschicht ist ein weiterer fotoaktiver Schichtstapel angeordnet, so dass eine so genannte Triple-Zelle ausgebildet ist.

Gemäß Aspekten absorbieren die beiden fotoaktiven Schichtstapeln 120 und 160 jeweils in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen besonders gut, so dass insgesamt in einem breiten Wellenlängenbereich besonders gut absorbiert wird. Die Zwischenschicht 150 ist in Ausführungsformen halb durchlässig, was insbesondere durch die Anordnung von Metallpartikeln 112 in der Zwischenschicht 150 ermöglicht ist. Die Zwischenschicht 150 reflektiert Strahlung des Wellenlängenbereichs, der besonders gut im fotoaktiven Schichtstapel 120 absorbiert wird, zurück in den fotoaktiven Schichtstapel 120. Die Zwischenschicht 150 ist transparent für Strahlung des Wellenlängenbereichs, der besonders gut im fotoaktiven Schichtstapel 160 absorbiert wird.

Die Zwischenschicht 150 umfasst eine Mehrzahl von Metallpartikeln 112. Die Metallpartikel 112 sind in einem flächig ausgedehnten Bereich entlang der Oberfläche 121 zwischen den beiden fotoaktiven Schichtstapeln 120 und 160 angeordnet. Die Metallpartikel 112 entsprechen in Form und Funktion den Ausführungen der Figuren 1 bis 6.

Bei der Herstellung wird nachfolgend auf das Abscheiden des fotoaktiven Schichtstapels 120 die Teilschicht 151 auf die Oberfläche 121 abgeschieden. Daraufhin wird die Metalloxidschicht 115 auf die Teilschicht 151 abgeschieden und mittels Aufheizen und Abkühlen bei Temperaturen von unter 500 °C in Metallpartikel 112 zerlegt. Daraufhin wird die zweite Teilschicht 152 abgeschieden. Auf die Teilschicht 152 wird dann der zweite fotoaktive Schichtstapel 160 abgeschieden.

Die Metallpartikel 112 werden von den Teilschichten 151 und 152 abgedeckt, sodass sie nicht in direktem Kontakt zu den

fotoaktiven Schichtstapeln 120 und 160 stehen. So wird eine ungewollte elektrische Verbindung der beiden fotoaktiven Schichtstapel 120 und 160 durch die Metallpartikel 112 vermieden. Zudem ist so ein guter Energieübertrag von der  
5 Zwischenschicht zu den fotoaktiven Schichtstapeln 120 und 160 ermöglicht. Das Material und die Größe der Metallpartikel 112 in der Zwischenschicht 150 wird insbesondere in Abhängigkeit von den Materialien und den Wellenlängenbereichen der Absorption der beiden fotoaktiven Schichtstapel 120 und 160  
10 vorgegeben.

Figur 8 zeigt eine schematische Darstellung einer Schnittansicht einer Fotovoltaikzelle mit dem Substrat 101 gemäß weiteren Ausführungsformen. Die Rückreflektorschicht  
15 130 weist eine erste Teilschicht 131 auf, die auf der Oberfläche 121 des fotoaktiven Schichtstapels 120 angeordnet ist und an diesem angrenzt. Die Rückreflektorschicht 130 weist eine zweite Teilschicht 132 auf, die von dem fotoaktiven Schichtstapel 120 abgewandt ist. Die erste  
20 Teilschicht 131 und die zweite Teilschicht 132 schließen eine Mehrzahl von Metallpartikeln 112 ein. Der flächig ausgedehnte Bereich, in dem die Metallpartikel 112 angeordnet sind, verläuft im Wesentlichen entlang der Oberfläche 121. Eine Dicke 133 der Teilschicht 131 zwischen der Oberfläche 121 und  
25 den Metallpartikeln 112 ist kleiner oder gleich 50 nm.

Durch die Metallpartikel 112 in der Rückreflektorschicht 130 wird Strahlung, die ohne absorbiert zu werden durch den fotoaktiven Schichtstapel 120 bis zu der Rückreflektorschicht  
30 130 gelangt, zurück in Richtung des fotoaktiven Schichtstapels 120 geleitet, sodass die Strahlung dann absorbiert werden kann.

Gemäß weiteren Aspekten sind die Mehrzahl von Metallpartikel 112 sowohl in der Frontelektrode 110 angeordnet als auch im Rückreflektor 130. Gemäß wiederum weiteren Ausführungsformen bei Tandem-Junction-Zellen, wie beispielsweise in Figur 7  
5 dargestellt, sind die Metallpartikel 112 sowohl in der Zwischenschicht 150 als auch in der Frontelektrode 110 angeordnet. Gemäß wiederum weiteren Ausführungsformen sind die Metallpartikel 112 auch bei Tandem-Junction-Zellen in der Frontelektrode 110 und in der Rückelektrode 130 angeordnet.  
10 Die Metallpartikel sind gemäß Ausführungsformen bei Tandem-Junction-Solarzellen auch ohne Zwischenschicht in der Frontelektrode und/oder der Rückelektrode angeordnet.

Die Metallpartikel 112 sind gemäß Ausführungsformen in X-  
15 Richtung vor dem dem Substrat 101 nächstliegenden fotoaktiven Schichtstapel 120 angeordnet. Alternativ oder zusätzlich sind die Metallpartikel 112 gemäß Ausführungsformen jeweils zwischen zwei unmittelbar benachbarten fotoaktiven Schichtstapeln angeordnet. Alternativ oder zusätzlich sind  
20 die Metallpartikel 112 gemäß Ausführungsformen nach dem dem Substrat 101 abgewandt angeordneten fotoaktiven Schichtstapeln angeordnet. Die Metallpartikel 112 sind gemäß Ausführungsformen jeweils vor und/oder nach jedem der fotoaktiven Schichtstapel angeordnet.

25

Insbesondere wird die durchschnittliche Größe und/oder das Material der Metallpartikel 112 abhängig von der Schicht, in der die Metallpartikel angeordnet sind, vorgegeben. Beispielsweise ist die durchschnittliche Größe und/oder das  
30 Material der Metallpartikel 112 für die Elektrode 110 anders vorgegeben als die durchschnittliche Größe und/oder das Material der Metallpartikel 112 für die Rückreflektorschicht 130. Beispielsweise ist die durchschnittliche Größe und/oder

das Material der Metallpartikel 112 für die Elektrode 110 und/oder die Rückreflektorschicht 130 anders vorgegeben als die durchschnittliche Größe und/oder das Material der Metallpartikel 112 für die Zwischenschicht 150.

5

In Ausführungsformen werden in Tanden-Junction-Zellen die Metallpartikel 112 so ausgebildet, dass Strahlung des Wellenlängenbereichs, der besonders gut im fotoaktiven Schichtstapel 120 absorbiert wird, zurück in den fotoaktiven Schichtstapel 120 reflektiert wird und Strahlung des Wellenlängenbereichs, der besonders gut im fotoaktiven Schichtstapel 160 absorbiert wird, nicht reflektiert wird. Auch eine Absorption der Strahlung des Wellenlängenbereichs, der besonders gut im fotoaktiven Schichtstapel 120 absorbiert wird, und eine anschließende nicht-radiative Übertragung zurück in den fotoaktiven Schichtstapel 120 ist möglich.

Gemäß weiteren Aspekten werden in Tanden-Junction-Zellen die Metallpartikel 112 so ausgebildet, dass Strahlung des Wellenlängenbereichs, der besonders gut im fotoaktiven Schichtstapel 160 absorbiert wird, in der Zwischenschicht 150 Plasmonen anregt, deren Energie in den fotoaktiven Schichtstapel 160 übertragen wird.

Durch das Anordnen der Metallpartikel 112 in der Fotovoltaikzelle 110 wird die Absorptionswahrscheinlichkeit der eintreffenden Strahlung und damit die Effektivität der Solarzelle erhöht. Dadurch kann die Dicke des fotoaktiven Schichtstapels 120 beziehungsweise des Schichtstapels 160, insbesondere die Dicke der im Wesentlichen intrinsischen Schicht, verringert werden, wodurch insbesondere die Herstellungskosten reduziert werden. Durch das Aufbringen der Metalloxidschicht 115 mittels Sputterdeposition können die

Metallpartikel auch bei großflächigen Fotovoltaikmodulen mit einer Größe von mehr als 5 m<sup>2</sup>, insbesondere mehr als 5,7 m<sup>2</sup>, verwendet werden, da sie auch bei diesen großflächigen Solarmodulen gleichmäßig über die gesamte Fläche des Solarmoduls beziehungsweise der Zellen des Solarmoduls verteilt sind. Zudem kann der Sputterdepositionsprozess und das nachfolgende Aufheizen und Abkühlen einfach in bereits bestehende Herstellungsprozesse in Filmsolarzellen eingegliedert werden.

10

Durch den Einsatz der Metallpartikel 112 ist es möglich, auf die Strukturierung der Elektroden beziehungsweise der Zwischenschicht zu verzichten, da auch ohne die Texturierung eine hohe Absorptionswahrscheinlichkeit erzielt wird. Dadurch kann die Spannung der Solarzellen erhöht werden, da ohne die Oberflächentexturierung bei gesputtert/geätzttem Zinkoxid ein geringerer Serienwiderstand auftritt. Zudem ist es gemäß Ausführungsformen durch die Anordnung der Metallpartikel 112 in der Rückreflektorschicht 130 möglich, auf die zusätzliche Rückelektrode 140 zu verzichten.

20

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer transparenten Elektrode (110) auf einem Substrat (101), umfassend:

- 5 - Bereitstellen des Substrats (101),
- Abscheiden einer ersten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht (111) auf das Substrat (101),
- Abscheiden einer Metall-Oxid-Schicht (115) auf eine dem Substrat (101) abgewandte Oberfläche (114) der elektrisch
- 10 leitfähigen Schicht (111),
- Aufteilen der Metall-Oxid-Schicht (115) in eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) durch ein thermisches Dekomponieren,
- Abscheiden einer zweiten transparenten elektrisch
- 15 leitfähigen Schicht (113) auf die Metallpartikel (112).

2. Verfahren zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle (100), umfassend:

- Bereitstellen eines Substrats (101),
- 20 - Abscheiden einer ersten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht (111) auf das Substrat (101),
- Abscheiden einer Metall-Oxid-Schicht (115) auf eine dem Substrat (101) abgewandte Oberfläche (114) der elektrisch leitfähigen Schicht (111),
- 25 - Aufteilen der Metall-Oxid-Schicht (115) in eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) durch ein thermisches Dekomponieren,
- Abscheiden einer zweiten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht (113) auf die Metallpartikel (112),
- 30 - Aufbringen von Schichten (120, 130, 140) auf die zweite transparente elektrisch leitfähige Schicht (113) zum Fertigstellen der Fotovoltaikzelle.

3. Verfahren zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle (100), umfassend:

- Bereitstellen eines Substrats (101),
- Abscheiden einer transparenten elektrisch leitfähigen Elektrode (110) auf das Substrat (101),
- Aufbringen eines ersten fotoaktiven Schichtstapels (120) auf die transparente elektrisch leitfähige Elektrode (110),
- Aufbringen einer ersten Zwischenschicht (151) auf den ersten fotoaktiven Schichtstapel (120),
- Abscheiden einer Metall-Oxid-Schicht (115) auf eine dem Substrat (101) abgewandte Oberfläche der ersten Zwischenschicht (151),
- Aufteilen der Metall-Oxid-Schicht (115) in eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) durch ein thermisches Dekomponieren,
- Aufbringen einer zweiten Zwischenschicht (152) auf die Metallpartikel (112),
- Aufbringen eines zweiten fotoaktiven Schichtstapels (160) auf die zweite Zwischenschicht (152).

20

4. Verfahren zur Herstellung einer Fotovoltaikzelle (100), umfassend:

- Bereitstellen eines Substrats (101),
- Abscheiden einer transparenten elektrisch leitfähigen Elektrode (110) auf das Substrat (101),
- Aufbringen eines fotoaktiven Schichtstapels (120) auf die transparente elektrisch leitfähige Elektrode (110),
- Aufbringen einer ersten Rückreflektorschicht (131) auf den fotoaktiven Schichtstapel (120),
- Abscheiden einer Metall-Oxid-Schicht (115) auf eine dem Substrat (101) abgewandte Oberfläche der ersten Rückreflektorschicht (131),

30

- Aufteilen der Metall-Oxid-Schicht (115) in eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) durch ein thermisches Dekomponieren,

5 - Aufbringen einer zweiten Rückreflektorschicht (132) auf die Metallpartikel (112).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Metall-Oxid-Schicht (115) durch Sputtern abgeschieden wird.

10 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Metall-Oxid-Schicht (115) Silber, Gold und/oder Platin enthält.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die 15 Temperatur zum thermisches Dekomponieren kleiner oder gleich 500° Celsius ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Metall-Oxid-Schicht (115) so zerlegt wird, dass die 20 Metallpartikel (122) einen durchschnittlichen Durchmesser von kleiner oder gleich 100 Nanometer aufweisen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem während des Abscheidens der Metall-Oxid-Schicht (115) 25 gasförmiger Sauerstoff zugeführt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Dicke (117) der zweiten transparenten elektrisch leitfähigen Schicht (113) kleiner oder gleich 50 Nanometer ist.

30

11. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Dicke (133) der ersten Rückreflektorschicht (131) kleiner oder gleich 50 Nanometer ist.

12. Anordnung für eine Fotovoltaikzelle, umfassend:

- ein Substrat (101),
- eine transparente elektrisch leitfähige Elektrode (110) auf dem Substrat (101), die zwei transparente elektrisch leitfähige Teilschichten (111, 113) umfasst sowie einen flächig ausgedehnten Bereich zwischen den zwei Teilschichten (111, 113), der eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) aus einem Metall-Oxid umfasst.

10

13. Anordnung, umfassend:

- ein Substrat (101),
- eine transparente elektrisch leitfähige Elektrode (110) auf dem Substrat (101), die zwei transparente elektrisch leitfähige Teilschichten (111, 113) umfasst sowie einen flächig ausgedehnten Bereich zwischen den zwei Teilschichten (111, 113), der eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) aus einem Metall-Oxid umfasst,
- einen fotoaktiven Schichtstapel (120) auf der elektrisch leitfähigen Elektrode (110).

15  
20

14. Anordnung, umfassend:

- ein Substrat (101),
- eine transparente elektrisch leitfähige Elektrode (110) auf dem Substrat (101),
- einen ersten fotoaktiven Schichtstapel (120) auf der transparenten elektrisch leitfähigen Elektrode (110),
- eine Zwischenschicht (150) auf dem fotoaktiven Schichtstapel (120), die zwei Teilschichten (151, 152) umfasst sowie einen flächig ausgedehnten Bereich zwischen den zwei Teilschichten (151, 152), der eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) aus einem Metall-Oxid umfasst,

25

30

- einen zweiten fotoaktiven Schichtstapel (160) auf der Zwischenschicht (150).

15. Anordnung, umfassend:

- 5 - ein Substrat (101),  
- eine transparente elektrisch leitfähige Elektrode (110) auf dem Substrat (101),  
- einen ersten fotoaktiven Schichtstapel (120) auf der elektrisch leitfähigen Elektrode (110),  
10 - eine Rückreflektorschicht (130) auf dem fotoaktiven Schichtstapel (120), die zwei Teilschichten (131, 132) umfasst sowie einen flächig ausgedehnten Bereich zwischen den zwei Teilschichten (131, 132), der eine Mehrzahl von Metallpartikeln (112) aus einem Metall-Oxid umfasst.

15

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, bei der die Metallpartikel (112) jeweils Silber, Gold und/oder Platin enthalten.

- 20 17. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, bei der die Dicke (117, 133) der dem fotoaktiven Schichtstapel (120, 160) zugewandten Teilschicht (113, 131) kleiner oder gleich 50 Nanometer ist.

FIG 1

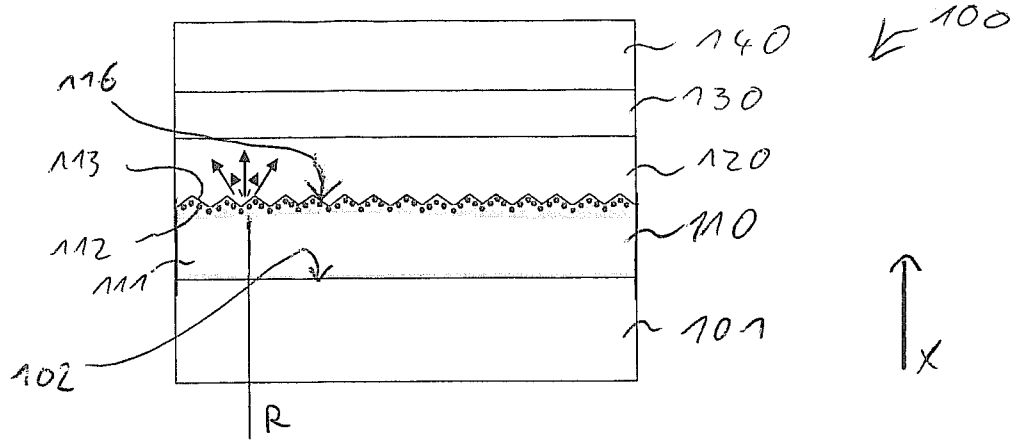


FIG 2 A

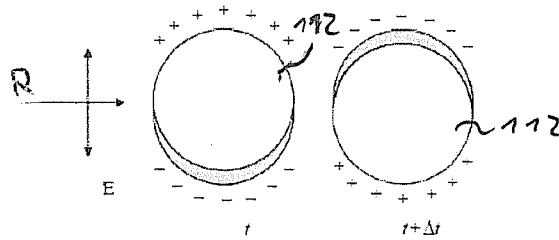


FIG 2 B

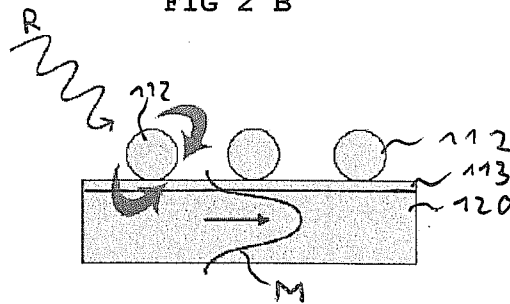


FIG 3

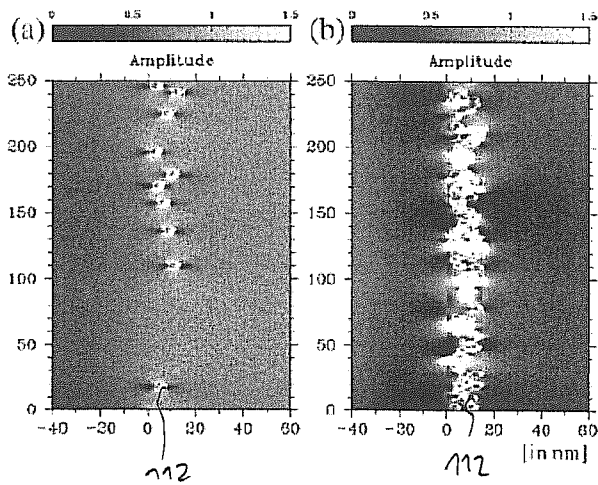


FIG 4

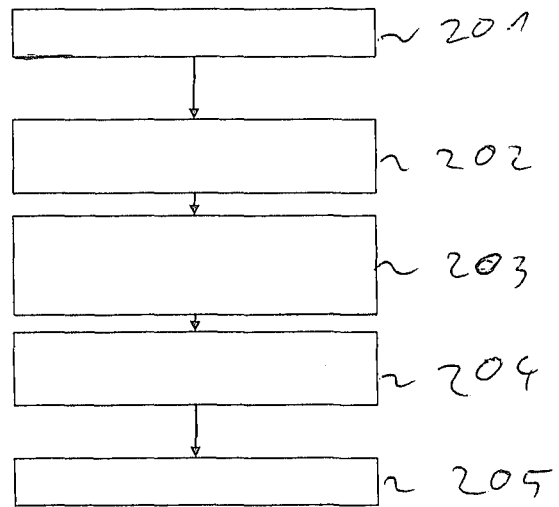


FIG 5

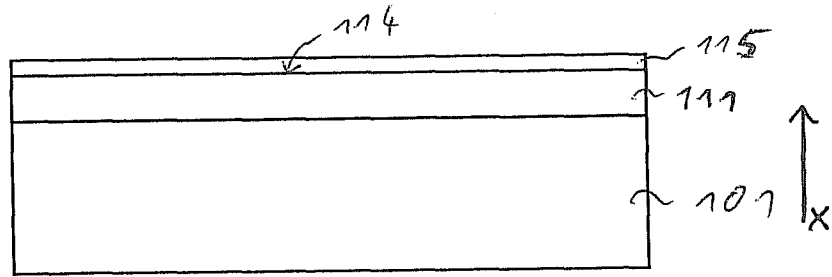


FIG 6

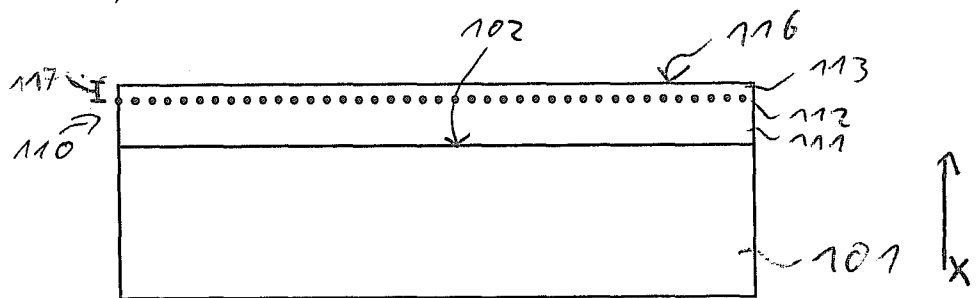


FIG 7

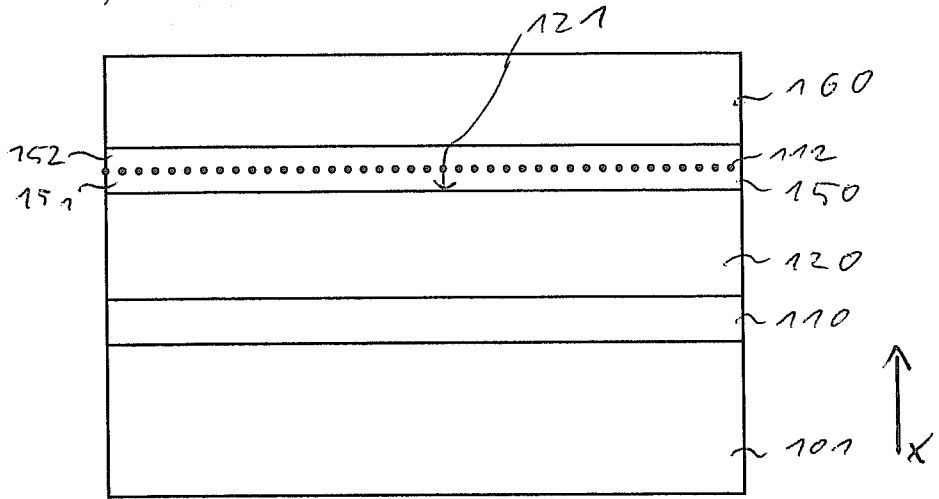


FIG 8

