



(10) **DE 10 2012 201 284 B4** 2018.10.31

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 201 284.2**
(22) Anmeldetag: **30.01.2012**
(43) Offenlegungstag: **01.08.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.10.2018**

(51) Int Cl.: **H01L 31/18 (2006.01)**
H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 31/0216 (2014.01)
H01L 31/0392 (2006.01)
H01L 31/0747 (2012.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie
e. V., 26129 Oldenburg, DE**

(74) Vertreter:
**Lemcke, Brommer & Partner, Patentanwälte
Partnerschaft mbB, 76135 Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:
**Vehse, Dr. Martin, 27777 Ganderkesee, DE;
Theuring, Martin, 26123 Oldenburg, DE**

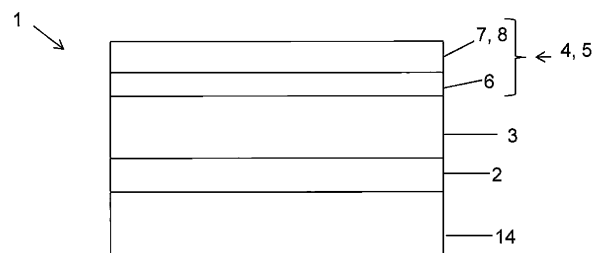
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 042 617	A1
US	2008 / 0 107 799	A1
US	2010 / 0 300 506	A1
US	2011 / 0 277 816	A1
US	2011 / 0 303 904	A1

SAWADA, T. [u.a.]: HIGH-EFFICIENCY a-Si/c-Si HETEROJUNCTION SOLAR CELL. In: Proceedings of the first World Conference on Photovoltaic Energy Conversion on Hawaii (WCPEC), 1994, S. 1219 - 1226.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle (1), mit einem Substrat (14), auf welchem zumindest eine Rückelektrodenschicht (2), eine Halbleiterschicht (3) und eine Frontelektrodenschicht (5) angeordnet wird, welche Rückelektrodenschicht (2) zwischen Halbleiterschicht (3) und Substrat (14) angeordnet wird, mit oder ohne Zwischenschaltung weiterer Zwischenschichten, wobei das Aufbringen der Frontelektrodenschicht (5), welche aus einer Schichtstruktur (4) besteht, welche zumindest eine Metallschicht (6) und eine zur Entspiegelung dienende transparente Deckschicht (7) aufweist, auf die Halbleiterschicht (3) bei einer Prozesstemperatur unterhalb von 200 °C durchgeführt wird, wobei die Solarzelle als Dünnschichtsolarzelle in Substrat-Konfiguration ausgebildet wird, wobei die Solarzelle ausgehend von dem Substrat durch Aufbringen der weiteren Schichten hergestellt wird und wobei die Rückelektrodenschicht zwischen Substrat und Halbleiterschicht angeordnet wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle.

[0002] Im Stand der Technik sind verschiedene Typen von photovoltaischen Solarzellen bzw. Solarzellen, wie beispielsweise Dünnschicht-Solarzellen oder sogenannte HIT-Solarzellen (Heterojunction With Intrinsic Thin Layer), bekannt, in denen kurzwellige Strahlungsenergie aufgrund des photovoltaischen Effekts in elektrische Energie umgewandelt wird.

[0003] US 2008 / 0 107 799 A1 beschreibt eine Solarzelle, welche in Superstrat-Konfiguration ausgehend von einem bei Benutzung der Sonne zugewandtem Glassubstrat hergestellt wird.

[0004] HIT-Solarzellen, wie sie beispielsweise in Sawada T. et al.: „High-efficiency a-Si/c-Si heterojunction solar cell“, Proc. of the 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion Hawaii, USA, 1994 beschrieben sind, sind aus einem dünnen monokristallinen Silizium-Wafer, welcher mit ultradünnen Lagen amorphes Siliziums beschichtet ist, aufgebaut.

[0005] Bei Dünnschicht-Solarzellen wird dagegen überwiegend amorphes Silizium, insbesondere hydrogenisiertes amorphes Silizium (a-Si:H) eingesetzt, welches in Substrat- oder Superstrate-Konfiguration auf einem Substrat vorgesehen wird. Bei Dünnschicht-Solarzellen in der sogenannten Substrat-Konfiguration handelt es sich um Solarzellen, bei denen das Sonnenlicht durch einen semi-transparenten Kontakt auf der vom Substrat abgewandten Seite in das Absorbermaterial gelangt. Dabei ist es bei der Substrat-Konfiguration nicht notwendig, dass das Substratmaterial oder die sich in direktem Kontakt zum Substrat angebrachte Elektrode transparent sind.

[0006] Um diese Zellkonfiguration technisch umzusetzen, muss der Kontakt auf die bereits existierende Dünnschicht-Solarzelle aufgebracht werden.

[0007] Weiterhin sollte der Kontakt einen möglichst hohen Wirkungsgrad der Solarzelle ermöglichen und daher gleichzeitig eine ausreichende Transparenz ($> 80\%$) und eine gute Querleitfähigkeit ($< 20 \text{ Ohm}$) aufweisen. Die üblicherweise in der Solarzellenherstellung verwendeten dünnen Kontaktschichten aus aluminiumdotierten Zinkoxid (AZO) werden dabei üblicherweise mittels aus dem Stand der Technik bekannter Sputter-Prozesse hergestellt.

[0008] Problematisch ist dabei jedoch, dass zur Gewährleistung der oben genannten Anforderungen an die Querleitfähigkeit und Transparenz der Kontaktschicht Prozesstemperaturen verwendet werden müssen, die oberhalb der Zerstörschwelle der eigentlichen Dünnschicht-Solarzellen liegen.

[0009] Daher ist ein im Stand der Technik bekannter Lösungsansatz, ein temporäres temperaturstabiles Trägermaterial zu verwenden und dann die fertige Solarzelle auf ein neues Substrat zu übertragen. Dieses Verfahren ist jedoch äußerst aufwendig und kostspielig.

[0010] Eine weitere bekannte Lösung ist es, als Material für die transparenten Elektroden Indium-Zinn-Oxid (ITO) zu verwenden, was von allen TCOs (Transparent Conductive Oxide) die höchste Transparenz und gleichzeitig die beste Querleitfähigkeit aufweist. Daher können Schichten auch unter nicht ganz optimalen Prozess-temperaturen mit guten Schichteigenschaften abgeschieden werden. ITO ist aber auch von allen einsetzbaren TCOs aufgrund seines hohen Indium-Gehalts eine sehr kostspielige Lösung, da sich der Preis von Indium aufgrund der hohen Nachfrage aus der Display-Industrie in den letzten Jahren vervielfacht hat. Auch in der Zukunft ist hier keine deutliche Senkung des Indium-Preises zu erwarten, da es in der Display-Technik bislang keine kostengünstigen Alternativen zum ITO gibt und die Wertschöpfung der Produkte die hohen Materialkosten auffangen kann.

[0011] Schließlich wird im Stand der Technik ein Niedrigdruck-CVD-Verfahren (LPCVD) in der Silizium-basierten Dünnschicht-Solarzellenproduktion zur Herstellung der Front- und Rückkontakte angewandt. Hierbei wird die Abscheidung jedoch nur auf den dickeren n-dotierten Schichten vorgenommen, die in der oben erwähnten Superstrate-Konfiguration die letzte Schicht vor der TCO-Elektrode sind. In der Substrat-Konfiguration bilden aber die viel zu dünnen p-dotierten Schichten jedoch den Abschluss der Solarzelle vor dem TCO-Kontakt. Die Anwendung eines LPCVD-Prozesses auf die dünneren p-dotierten Schichten kann eine Schädigung der Dotierung in der gesamten p-Schicht und damit eine Schädigung der gesamten Solarzelle zur Folge haben.

Außerdem sind die Transmissionseigenschaften der mittels des LPCVD-Prozesses hergestellten Aluminium-Zink-Oxid-(AZO)-Schicht schlechter.

[0012] Daher ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine photovoltaische Solarzelle bereitzustellen, welche sowohl kostengünstig herstellbar ist als auch einen semitransparenten Kontakt mit hohen Transmissionsseigenschaften und einer ausreichenden Querleitfähigkeit aufweist. Ebenso ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein entsprechendes Verfahren zur Herstellung einer derartigen photovoltaischen Solarzelle bereitzustellen.

[0013] Gelöst ist diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle gemäß Anspruch 1. Vorzugsweise Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens finden sich in den Ansprüchen 2 bis 14.

[0014] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle bereitgestellt, welche ein Substrat aufweist, auf welchem zumindest eine Rückelektrodenschicht, eine Halbleiterschicht und eine Frontelektrodenschicht angeordnet sind, welche Rückelektrodenschicht zwischen Halbleiterschicht und Substrat angeordnet ist, wobei die Frontelektrodenschicht eine Schichtstruktur aufweist, welche zumindest eine Metallschicht und eine zur Entspiegelung dienende transparente Deckschicht umfasst.

[0015] Im Sinne der vorliegenden Erfindung schließen Formulierungen hinsichtlich der Anordnung von Schichten stets mit ein, dass in vorzugsweisen Ausführungsformen zwischen den genannten Schichten auch eine oder weitere zusätzliche Zwischenschichten angeordnet sein können.

[0016] Durch die Ausbildung der Frontelektrodenschicht als Schichtstruktur, welche Schichtstruktur zumindest eine Metallschicht und eine zur Entspiegelung dienende transparente Deckschicht umfasst, wird ein semitransparenter Kontakt mit ausreichender Querleitfähigkeit realisiert. Weiterhin wird die erfindungsgemäße Solarzelle ausgehend von dem Substrat durch Aufbringen der weiteren Schichten hergestellt, wobei insbesondere kein Nachträgliches ablösen etwaiger temporärer Substratschichten während des Herstellungsprozesses wie bei vorbekannten Verfahren notwendig ist. Hierdurch wird eine kostengünstige Solarzelle realisiert.

[0017] Die photovoltaische Solarzelle wird als Dünnschichtsolarzelle in Substrat-Konfiguration ausgebildet, wobei die Rückelektrodenschicht zwischen Substrat und Halbleiterschicht angeordnet ist. Hierdurch wird somit eine kostengünstige Dünnschichtsolarzelle in Substrat-Konfiguration mit teiltransparentem Vorderseitenkontakt realisiert.

[0018] Es liegt im Rahmen der Erfindung, die Halbleiterschicht als eine Schicht auszubilden. Ebenso liegt die Ausbildung der Halbleiterschicht als Schichtstruktur bestehend aus mehreren, vorzugsweise übereinander angeordneten, Teilschichten im Rahmen der Erfindung, insbesondere mit unterschiedlich dotierten Teilschichten zur Ausbildung eines pn-Übergangs an den Schichtgrenzen. Insbesondere liegt die Ausbildung der Halbleiterschicht als sogenannte pin-Schichtstruktur, zu Ausbildung eines pin-Übergangs im Rahmen der Erfindung.

[0019] Die photovoltaische Solarzelle wird als Dünnschichtsolarzelle in Substratkonfiguration ausgebildet.

[0020] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Deckschicht einen Brechungsindex größer als 1 auf.

[0021] Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Deckschicht eine Dicke auf, welche in einem Bereich von 5 nm bis 500 nm liegt, vorzugsweise in einem Bereich von 10 nm bis 100 nm.

[0022] Vorzugsweise ist die Metallschicht semitransparent und weist eine Dicke auf, welche in einem Bereich zwischen 3 nm und 50 nm liegt.

[0023] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Metallschicht eines oder mehrere von Ag, Cu, Au, Al, W, Mo, Zn oder Ni, Erdalkalimetalle, insbesondere Ca, Ba, Mg, oder deren Legierungen, insbesondere MoAg- oder MgAg-Legierungen.

[0024] Vorzugsweise umfasst die Deckschicht dotierte oder undotierte Oxide, insbesondere SiO₂, ZnO, Al₂O₃, In₂O₃, SnO₂ oder deren Legierungen, insbesondere Aluminium-Zink-Oxid (AZO), Fluor-Zinn-Oxid (FTO), Antimon-Zinn-Oxid (ATO) oder Indium-Zinn-Oxid (ITO).

[0025] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die Deckschicht Verbindungshalbleiter mit hoher Bandlücke, insbesondere ZnS, CdSe, GaN, oder InGaN, Polymere, insbesondere 3,4-Polyethylendioxythiophen (PEDOT), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyetherimid (PEI), Polyethylenaphthalat (PEN) oder Polyethylenterephthalat (PET), oder organische Materialien, insbesondere Aluminium-tris(8-hydroxychinolin) (Alq3) oder 1-Brompropan (NPB) umfasst.

[0026] Besonders bevorzugt weist die Deckschicht eine hohe Transparenz in einem Spektralbereich zwischen 400 nm und 1100 nm, insbesondere zwischen 400 nm und 800 nm, auf. Die Transmission liegt vorzugsweise im gesamten Spektralbereich zwischen 400 nm und 800 nm oberhalb von 70%.

[0027] Darüber hinaus ist es bevorzugt, wenn die Deckschicht elektrisch leitend ist. Vorzugsweise sind Deckschicht und Metallschicht derart zusammenwirkend ausgebildet, dass der elektrische Querleitungswiderstand dieses Schichtsystems wesentlich durch die Metallschicht bestimmt wird und insbesondere die Ausbildung eines Flächenwiderstandes durch die Deckschicht vermieden wird.

[0028] Wenn die Deckschicht jedoch nicht elektrisch leitend ist und somit einen Flächenwiderstand ausbildet, ist es von Vorteil, wenn die Deckschicht die Metallschicht nur teilweise abdeckt. Hierdurch kann die Metallschicht an den von der Deckschicht unbedeckten Bereichen ohne zusätzlichen elektrischen Widerstand kontaktiert werden.

[0029] Vorzugsweise umfasst der Schichtstapel eine transparente Zwischenschicht, welche aus einem transparenten Oxid, insbesondere aus einem dotierten oder undotierten Oxid, insbesondere aus SiO₂, ZnO, AlO₃, InO₃, SnO₂ oder deren Legierungen, insbesondere aus Aluminium-Zink-Oxid (AZO), Fluor-Zinn-Oxid (FTO), Antimon-Zinn-Oxid (ATO) oder Indium-Zinn-Oxid (ITO), hergestellt ist.

[0030] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Zwischenschicht zwischen der Metallschicht und der Halbleiterschicht angeordnet.

[0031] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Halbleiterschicht mindestens eine wasserstoffhaltige amorphe Silizium (a-Si:H)-Schicht.

[0032] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle bereitgestellt, welche ein Substrat, auf welchem zumindest eine Rückelektrodenschicht, eine Halbleiterschicht und eine Frontelektrodenschicht angeordnet sind, umfasst, wobei das Aufbringen der Frontelektrodenschicht, welche aus einer Schichtstruktur besteht, welche zumindest eine Metallschicht und eine zur Entspiegelung dienende transparente Deckschicht umfasst, auf die Halbleiterschicht bei einer Prozesstemperatur unterhalb von 200 °C durchgeführt wird, vorzugsweise unterhalb von 150°C, wobei die Solarzelle als Dünnschicht solarzelle in Substrat-Konfiguration ausgebildet wird, wobei die Solarzelle ausgehend von dem Substrat durch Aufbringen der weiteren Schichten hergestellt wird und wobei die Rückelektrodenschicht zwischen Substrat und Halbleiterschicht angeordnet wird.

[0033] Durch die erfindungsgemäße Konfiguration einer photovoltaischen Solarzelle mit einem Schichtsystem aus transparenten Festkörper- und semitransparenten Metallschichten in Mehrfach-Schichtstapeln ist es möglich, Kontakte mit hoher Transparenz und gleichzeitig guter Querleitfähigkeit zu erzeugen. Durch die Wahl der richtigen Schichtdicken kann ein Schichtstapel bzw. eine Schichtstruktur kostengünstig und auf einfache Art und Weise erzeugt werden, welche die gewünschte hohe Transparenz und gute Querleitfähigkeit aufweist. Alle Schichten können darüber hinaus bei Temperaturen hergestellt werden, die weit unter der Zerstörschwelle des opto-elektrischen Bauelements liegen. Die Verringerung der Prozesstemperatur in dem erfindungsgemäßen Verfahren bringt sogar eine Verbesserung der optischen und elektrischen Eigenschaften der Schichtstruktur gegenüber reinen TCO-Schichten mit sich. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens kann der Frontkontakt einer Dünnschicht solarzelle in Substrat-Konfiguration durchgeführt werden, ohne die Solarzelle selbst dabei zu beschädigen oder deren Eigenschaften zu verschlechtern.

[0034] Das Substrat ist vorzugsweise als Glas, Polymer- oder Metallsubstrat oder als aus einem Verbundwerkstoff gefertigtes Substrat ausgebildet und kann aus mehreren Schichten bestehen. Das Substrat weist vorzugsweise eine Gesamtdicke im Bereich zwischen 100 µm und 5 cm auf.

[0035] Im Nachfolgenden wird eine Ausführungsform der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß einer Ausführungsform der Erfindung als Dünnschicht-Solarzelle;

Fig. 2 ein Stromdichte-Spannung-Diagramm zur Darstellung der Strom-Spannungs-Kennlinien einer photovoltaischen Solarzelle gemäß der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer photovoltaischen Solarzelle gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung als Dünnschicht-Solarzelle;

Fig. 4 ein Stromdichte-Spannung-Diagramm zur Darstellung der Strom-Spannungs-Kennlinien einer photovoltaischen Solarzelle gemäß der in **Fig. 3** dargestellten Ausführungsform;

Fig. 5 ein Diagramm zur Darstellung der Transmissionsspektren an einzelnen Frontelektrodenschichten der photovoltaischen Solarzelle gemäß der in **Fig. 3** dargestellten Ausführungsform der Erfindung; und

Fig. 6 in den Teilbildern a und b jeweils eine schematische Darstellung einer nicht erfindungsgemäßen photovoltaischen Solarzelle in Ausbildung als HIT-Solarzelle.

[0036] In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder gleichwirkende Komponenten. Die **Fig. 1**, **Fig. 3** und **Fig. 6** geben schematische Darstellungen wieder, in denen insbesondere die Schichtdicken nicht maßstabsgetreu dargestellt sind.

[0037] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer photovoltaischen Solarzelle **1** gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Die photovoltaische Solarzelle **1** ist als nip a-Si:H Dünnschichtsolarelle in Substrat-Konfiguration ausgebildet und umfasst eine nicht transparente Rückelektrodenschicht **2**, welche auf einem Substrat **14** angeordnet ist, auf welcher eine Halbleiterschicht **3** aufgebracht ist, die wiederum mit einer Schichtstruktur **4** aufweisenden Frontelektrodenschicht **5** beschichtet ist. Die Halbleiterschicht **3** ist als Schichtstruktur umfassend drei übereinanderliegende Teilschichten (hier: n-dotierte a-Si:H Schicht, intrinsische a-Si:H Schicht und p-dotierte a-Si:H Schicht) ausgebildet. Die Schichtstruktur **4** der Frontelektrodenschicht **5** umfasst eine Metallschicht **6** und eine als Entspiegelungsschicht **7** wirkende transparente Deckschicht **8**. Die Entspiegelungsschicht **7** ist aus ZnO:Al (AZO), weist eine Dicke von 50 nm auf und hat einen Brechungsindex von etwa $n = 2$. In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel wurde auf die 350 nm dicke Halbleiterschicht **3** aus hydrogenisiertem amorphem Silizium eine 20 nm dicke semitransparente Metallschicht **6** aufgebracht. Die Abscheidung wurde mit Hilfe eines Elektronenstrahlverdampfers bei einer Substrat-Temperatur von 20 °C durchgeführt. Die Abscheidung der 50 nm dicken AZO Entspiegelungsschicht **7** wurde mit Hilfe eines RF-Magnetron-Sputterprozesses bei einer Substrat-Temperatur von 20 °C durchgeführt.

[0038] Das Aufbringen der Schichtstruktur **4** kann jedoch auch mit Hilfe anderer Beschichtungsverfahren bei Prozesstemperaturen unterhalb von 200 °C erfolgen, wie beispielsweise thermisches Verdampfen, CVD, Spraycoating, Laminieren, etc.

[0039] Weiterhin kann, wenn die Entspiegelungsschicht **7** nicht elektrisch leitfähig ist, die Metallschicht **6** lediglich teilbeschichtet werden.

[0040] **Fig. 2** ist ein Stromdichte-Spannung-Diagramm zur Darstellung der Strom-Spannungs-Kennlinien einer photovoltaischen Solarzelle gemäß der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform. Die Strom-Spannungs-Kennlinie der in **Fig. 1** dargestellten photovoltaischen Solarzelle **1** ist durch das Bezugszeichen **9** gekennzeichnet. Eine weitere Strom-Spannungs-Kennlinie **10** eines Vergleichsbeispiels, welches nicht mit der 50 nm dicken Entspiegelungsschicht **7** aus transparentem ZnO:Al (2 %) versehen ist, ist in **Fig. 2** durch das Bezugszeichen **10** gekennzeichnet. Wie hier erkennbar ist, kann durch Vorsehen der Entspiegelungsschicht **7** auf der Metallschicht **6** eine Verbesserung der Strom-Spannungs-Kennlinie erreicht werden. Der jeweils aus den Strom-Spannungs-Kennlinien **9**, **10** errechnete Wirkungsgrad (η) der verglichenen Dünnschichtsolarellen konnte von 2,5 % (Kennlinie **10**) auf 3,9 % (Kennlinie **9**) gesteigert werden.

[0041] **Fig. 3** ist eine schematische Darstellung einer photovoltaischen Solarzelle **1** gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Die hier dargestellte photovoltaische Solarzelle **1** unterscheidet sich dabei von der in **Fig. 1** dargestellten photovoltaischen Solarzelle **1** lediglich dadurch, dass die Metallschicht **6** aus Silber (Ag) hier lediglich eine Dicke von 8 nm aufweist und nicht direkt auf der Halbleiterschicht **3** sondern auf einer zwischen der Halbleiterschicht **3** und der Metallschicht **6** angeordneten Zwischenschicht **11** aufgebracht ist. Die Zwischenschicht **11** ist ebenfalls aus AZO (ZnO:Al) und ist somit transparent und leitfähig mit einem Brechungsindex von etwa $n = 2$. In der hier dargestellten Ausführungsform weist die Zwischenschicht **11** eine Dicke von 50 nm auf. Die Dicke der Zwischenschicht **11** ist variabel und kann in einem Bereich zwischen 5 nm und 500 nm liegen.

[0042] Wichtige Voraussetzung für die Zwischenschicht **11** ist jedoch, dass sie eine hohe Transparenz im Spektralbereich zwischen 400 nm und 1100 nm, je nach Anwendung, aufweist. Im Gegensatz zu der zur Entspiegelung dienenden Deckschicht **8** ist die elektrische Leitfähigkeit der Zwischenschicht **11** zwingend erforderlich, da ein Stromfluss aus der Halbleiterschicht **3** über die Zwischenschicht **11** in die Metallschicht **6** möglich sein muss. Als Material für die dünne Zwischenschicht **11** eignet sich eine Reihe transparenter dotierter oder undotierter Oxide, wie z. B. SiO, ZnO, AlO, InO, SnO oder deren Legierungen wie z. B. Aluminium-dotiertes Zinkoxid (AZO), Fluor-Zinn-Oxid (FTO), Antimon-Zinn-Oxid (ATO) oder Indium-Zinn-Oxid (ITO). Weiterhin kommen für die Zwischenschicht **11** alle Verbindungshalbleiter mit hoher Bandlücke in Betracht, wie beispielsweise ZnS, CdSe, GaN, InGaN oder AlGaN.

[0043] Fig. 4 ein Stromdichte-Spannung-Diagramm zur Darstellung der Strom-Spannungs-Kennlinien einer photovoltaischen Solarzelle gemäß der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform. Hier ist die Strom-Spannungs-Kennlinie der in Fig. 3 dargestellten photovoltaischen Solarzelle **1** ist durch das Bezugszeichen **12** gekennzeichnet. Eine weitere Strom-Spannungs-Kennlinie **13** eines Vergleichsbeispiels einer nip a-Si:H Dünnschicht-solarzelle in Substrat-Konfiguration, auf die ein 1,5 µm dicker AZO-Kontakt (mit ZnO:Al 1%) aufgebracht wurde, ist in Fig. 2 durch das Bezugszeichen **13** gekennzeichnet. Bei dem Vergleichsbeispiel wurde die Abscheidung mit Hilfe eines RF Magnetron-Sputterprozesses bei einer Substrat-Temperatur von 60 °C durchgeführt. Wie hier erkennbar ist, führt die in der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform verwendete Konfiguration der Schichtstruktur **4** mit Zwischenschicht **11** zu einer Verbesserung der Kenndaten der photovoltaischen Solarzelle **1**. Der Wirkungsgrad (η) der photovoltaischen Solarzelle **1** mit der in Fig. 3 dargestellten Schichtstruktur **4** konnte im Vergleich zu einer gemäß dem Vergleichsbeispiel hergestellten Solarzelle von 2,5 % (Strom-Spannungs-Kennlinie **12**) auf 3,5 % (Strom-Spannungs-Kennlinie) gesteigert werden.

[0044] Fig. 5 ist ein Transmission-Wellenlänge-Diagramm, in welchem Transmissionsspektren an Einzelschichten verschiedener Vergleichsbeispiele mit dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel verglichen werden. Bei den Vergleichsbeispielen handelt es sich um verschiedene kommerziell hergestellte Kontaktschichten auf reinen Glas-Substraten. Die Transmissionmessungen verdeutlichen, dass durch die Optimierung der Schichtdicken des AZO/Ag/AZO-Kontaktstapels, welcher die Schichtstruktur **4** der in Fig. 3 dargestellten Frontelektrodenschicht **5** repräsentiert, ein Transmissionsspektrum erzielt werden kann, welches vergleichbar zu dem Transmissionsspektrum von kommerziell erhältlichem ITO ist. Ein Vergleich zu einer 1,5 µm dicken mittels LPCVD abgeschiedenen AZO-Schicht zeigt, dass der AZO/Ag/AZO-Kontaktstapel (Ausführungsform Fig. 3) deutlich bessere Transmissionseigenschaften aufweist. Die Querleitfähigkeit der Schichten ist, trotz unterschiedlicher Schichtdicken, bei allen Einzelschichten und Schichtsystem annähernd vergleichbar.

[0045] In der unten aufgeführten Tabelle 1 wird ein Vergleich der Querleitfähigkeit von Einzelschichten mit der Querleitfähigkeit der Schichtstruktur **4**, welche in Fig. 3 dargestellt ist, aufgelistet.

Schicht	AZO/Ag/AZO	ITO	LPCVD AZO	Sputter AZO 1	Sputter AZO 2
Querleitfähigkeit	7Ω	13Ω	12Ω	8Ω	17Ω
Schichtdicke	50nm/8nm/50nm	200nm	1,5 µm	1,5 µm	1,5 µm
Prozesstemperatur	60 °C	ca. 200°C	ca. 200°C	200 °C	25 °C

[0046] Somit kann mittels der erfindungsgemäßen Konfiguration eine Frontelektrodenschicht **5** auf eine photovoltaische Solarzelle in Form einer Dünnschicht-solarzelle mit Substrat-Konfiguration insbesondere bei Temperaturen deutlich unterhalb von 200°C aufgebracht werden, ohne dass teure Materialien oder aufwändige Verfahren zur Herstellung verwendet werden müssen.

[0047] In einer nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltung kann anstelle einer Dünnschicht-solarzelle in Substrat-Konfiguration eine HIT-Solarzelle mit der Frontelektrodenschicht **5** gemäß der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform versehen werden. Dies ist in Fig. 6a dargestellt. Ebenso kann in einer nicht erfindungsgemäßen Ausgestaltung eine HIT-Solarzelle mit der Frontelektrodenschicht **5** gemäß der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform versehen werden. Dies ist in Fig. 6b dargestellt.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|----------------------------|
| 1 | photovoltaische Solarzelle |
| 2 | Rüchkelektrodenschicht |
| 3 | Halbleiterschicht |
| 4 | Schichtstruktur |
| 5 | Frontelektrodenschicht |
| 6 | Metallschicht |
| 7 | Entspiegelungsschicht |
| 8 | Deckschicht |
| 9 | Strom-Spannungs-Kennlinie |
| 10 | Strom-Spannungs-Kennlinie |
| 11 | Zwischenschicht |
| 12 | Strom-Spannungs-Kennlinie |
| 13 | Strom-Spannungs-Kennlinie |
| 14 | Substrat |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer photovoltaischen Solarzelle (1), mit einem Substrat (14), auf welchem zumindest eine Rückelektrodenschicht (2), eine Halbleiterschicht (3) und eine Frontelektrodenschicht (5) angeordnet wird, welche Rückelektrodenschicht (2) zwischen Halbleiterschicht (3) und Substrat (14) angeordnet wird, mit oder ohne Zwischenschaltung weiterer Zwischenschichten, wobei das Aufbringen der Frontelektrodenschicht (5), welche aus einer Schichtstruktur (4) besteht, welche zumindest eine Metallschicht (6) und eine zur Entspiegelung dienende transparente Deckschicht (7) aufweist, auf die Halbleiterschicht (3) bei einer Prozesstemperatur unterhalb von 200 °C durchgeführt wird, wobei die Solarzelle als Dünnschichtsolarzelle in Substrat-Konfiguration ausgebildet wird, wobei die Solarzelle ausgehend von dem Substrat durch Aufbringen der weiteren Schichten hergestellt wird und wobei die Rückelektrodenschicht zwischen Substrat und Halbleiterschicht angeordnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (7) mit einem Brechungsindex größer als 1 ausgebildet wird.

3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (7) mit einer Dicke ausgebildet wird, welche in einem Bereich von 5 nm bis 500 nm liegt.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallschicht (6) semitransparent ausgebildet wird, mit einer Dicke in einem Bereich zwischen 3 nm und 50 nm.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallschicht (6) eines oder mehrere von Ag, Cu, Au, Al, W, Mo, Zn oder Ni, Erdalkalimetalle aufweisend ausgebildet wird.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (7) dotierte oder undotierte Oxide aufweisend ausgebildet wird.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (7) Verbindungshalbleiter aus der Gruppe ZnS, CdSe, GaN, oder InGaN, Polymere oder organische Materialien aufweisend ausgebildet wird.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (7) eine Transmission oberhalb von 70% in einem Spektralbereich zwischen 400 nm und 800 nm aufweisend ausgebildet wird.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (7) elektrisch leitend ausgebildet wird.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (7) die Metallschicht (6) nur teilweise abdeckend ausgebildet wird.

11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichtstruktur (4) eine transparente Zwischenschicht (11) aufweisend ausgebildet wird, welche aus einem transparenten Oxid hergestellt wird.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (11) zwischen der Metallschicht (6) und der Halbleiterschicht (3) angeordnet wird.

13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleiterschicht (3) mindestens eine wasserstoffhaltige, amorphe (a-Si:H)-Schicht aufweisend ausgebildet wird, vorzugsweise, dass die Halbleiterschicht (3) als Schichtstruktur aus mehreren Teilschichten ausgebildet wird, von welchen Teilschichten mindestens eine Teilschicht als amorphe (a-Si:H)-Schicht ausgebildet wird.

14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aufbringen der Frontelektrodenschicht (5), welche aus einer Schichtstruktur (4) besteht, welche zumindest eine Metallschicht (6) und eine zur Entspiegelung dienende transparente Deckschicht (7) aufweist, auf die Halbleiterschicht (3) bei einer Prozesstemperatur unterhalb von 150°C erfolgt.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

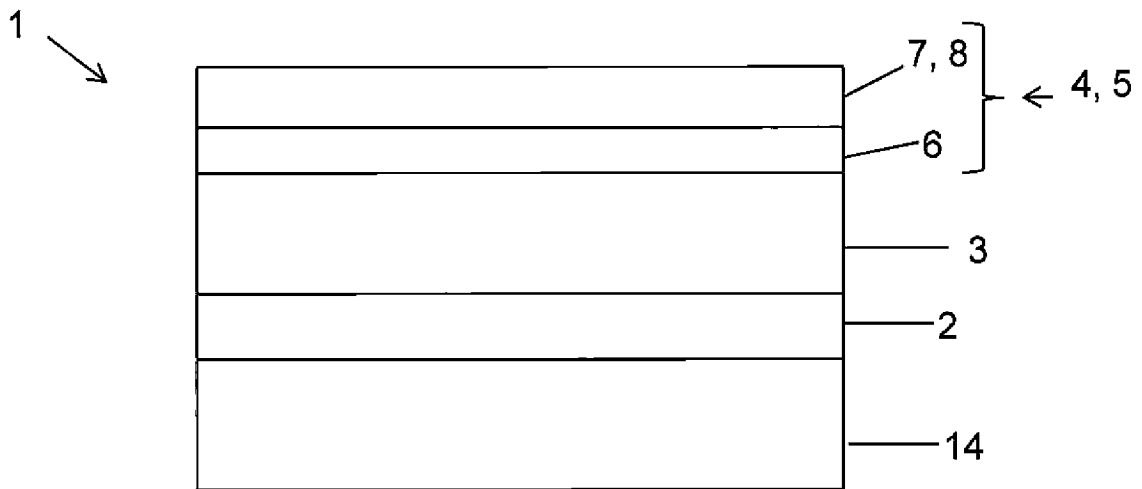


Fig. 1

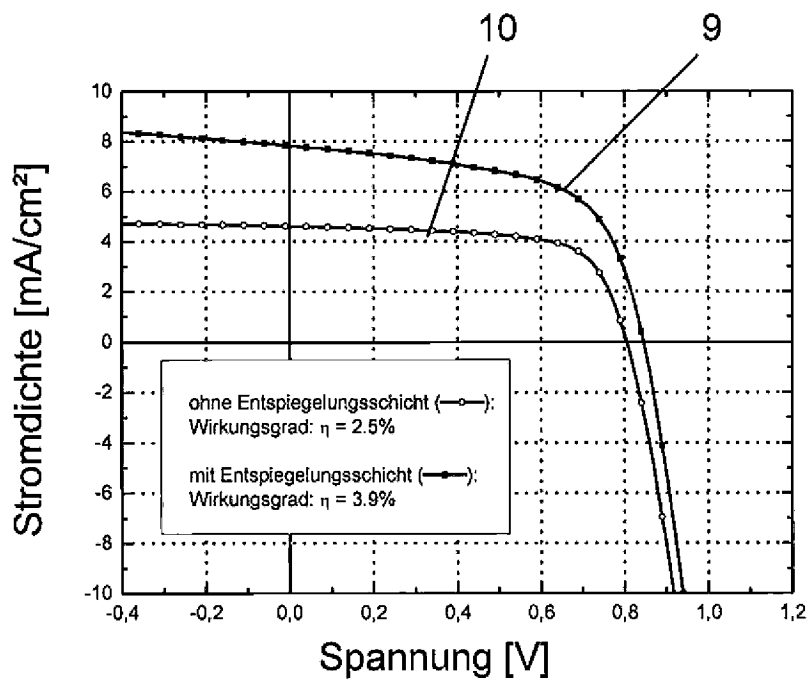


Fig. 2

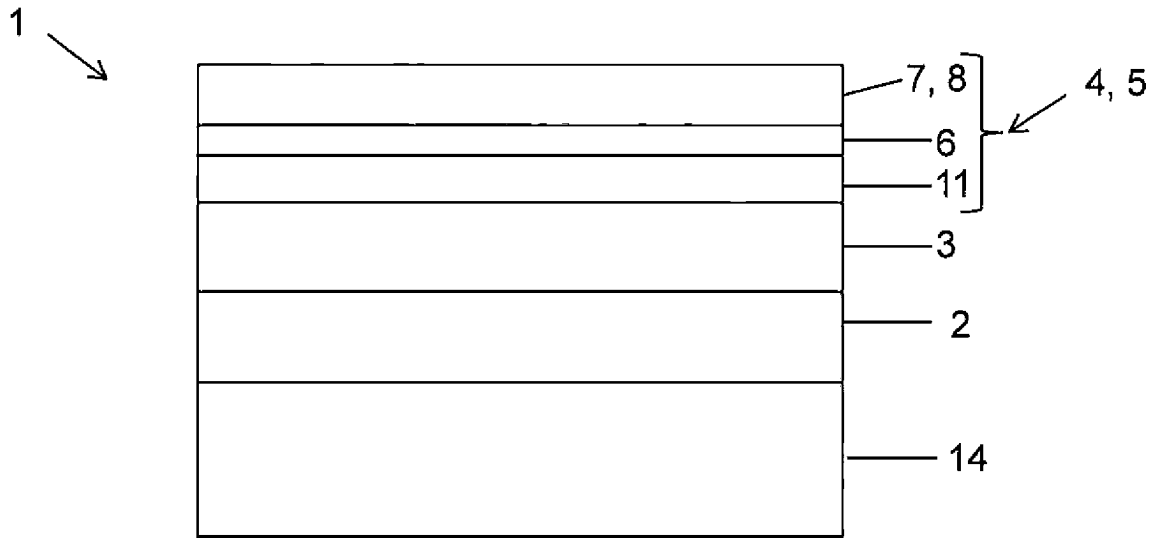


Fig. 3

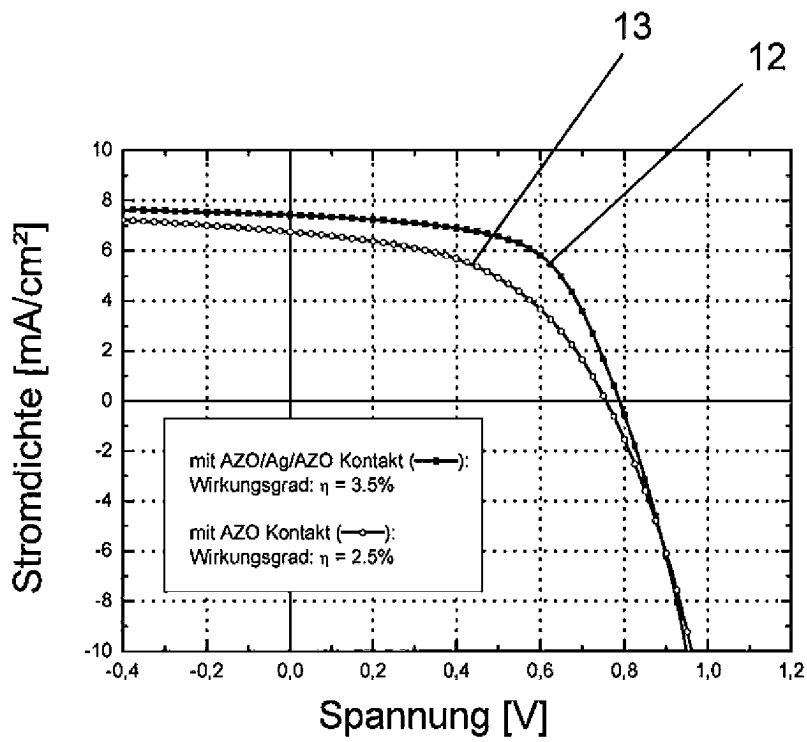


Fig. 4

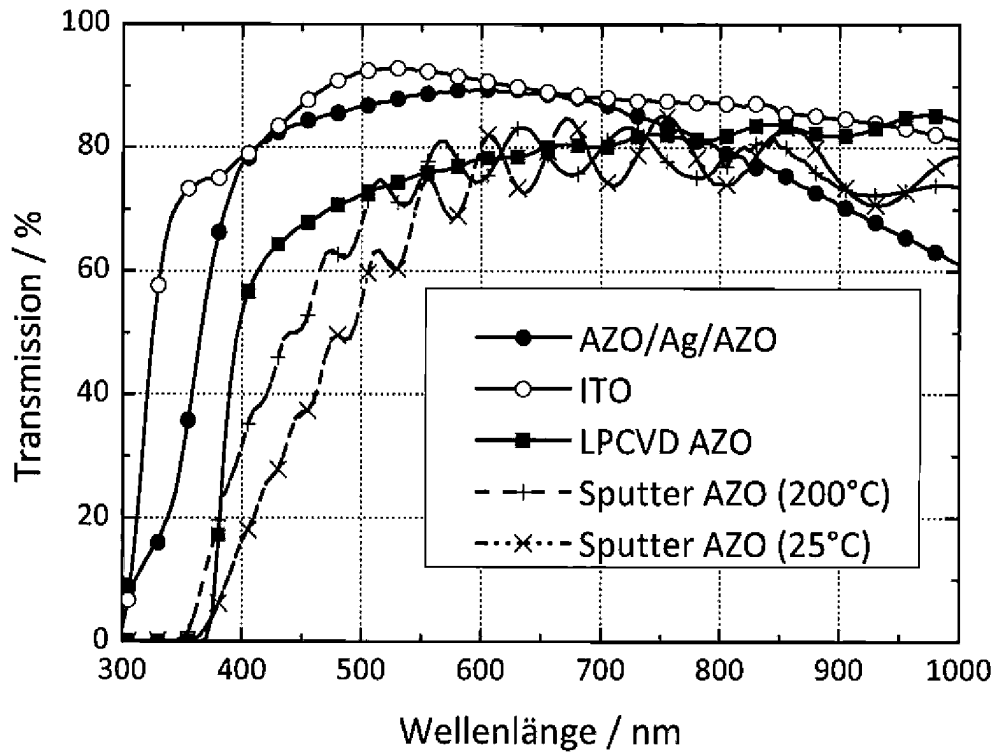


Fig. 5

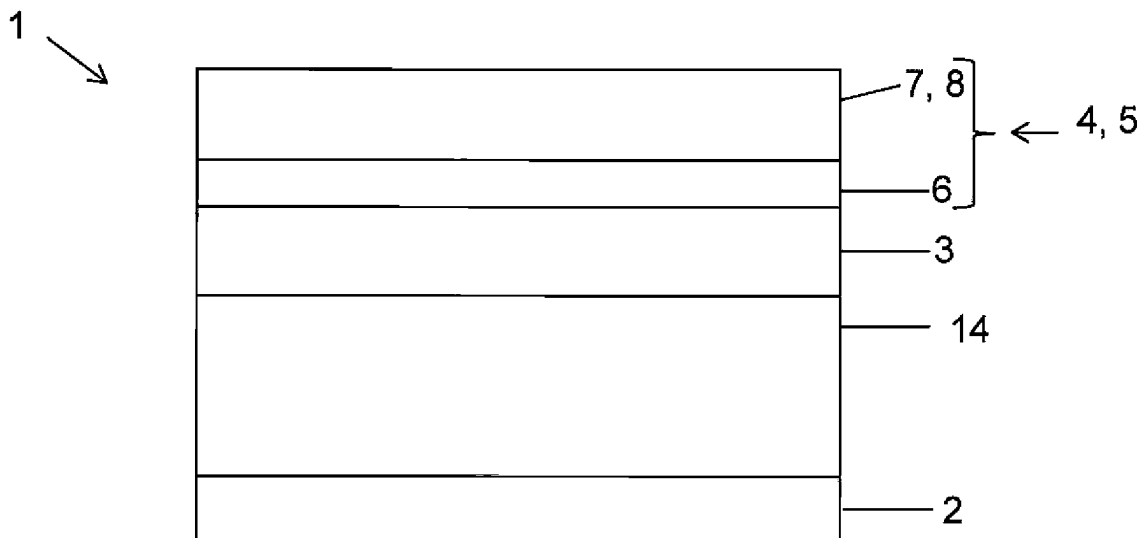


Fig. 6a

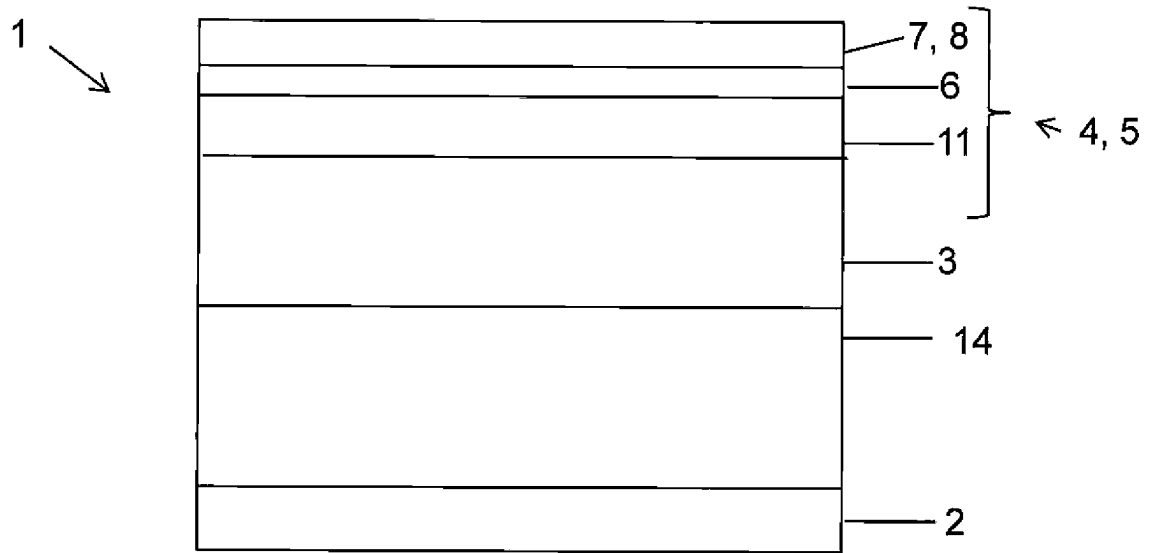


Fig. 6b