

(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
20. Dezember 2012 (20.12.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/171512 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L 27/142 (2006.01) H01L 31/18 (2006.01)
H01L 31/0224 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2012/000421

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. April 2012 (20.04.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 104 020.3 11. Juni 2011 (11.06.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH**
[DE/DE]; 52425 Jülich (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BUNTE, Eerke**
[DE/DE]; Asternweg 4, 39291 Möser (DE). **HAAS, Stefan**

[DE/DE]; Gebrüder-Grimm-Strasse 2, 52499 Baesweiler
(DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **FORSCHUNGSZENTRUM
JÜLICH GMBH**; Fachbereich Patente, 52425 Jülich
(DE).

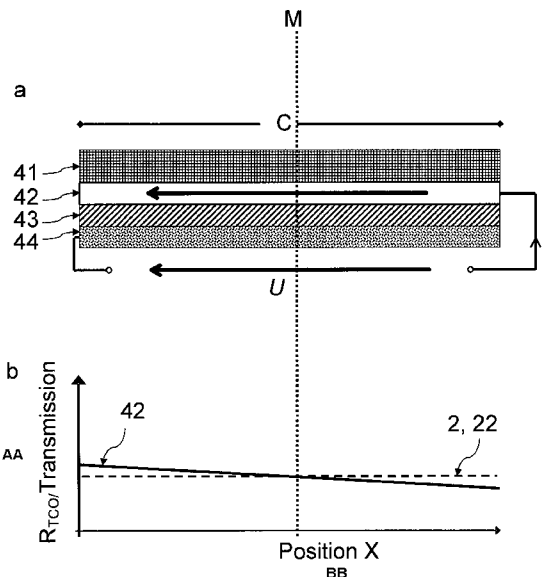
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, 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, QA, RO, RS, RU, RW, 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, RW, SD, SL, SZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A CONTACT LAYER OF A SOLAR MODULE AND SOLAR MODULE PRODUCED
IN SUCH MANNER

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER KONTAKTSCHICHT EINES SOLARMODULS UND AUF
DIESE WEISE HERGESTELLTES SOLARMODUL



Figur 4

AA $R_{TCO}/\text{Transmittance}$
BB Position X

(57) Abstract: The invention relates to a method for
producing a contact layer of a solar module, the material of
the contact layer being arranged on a substrate in order to
form a surface. The method is characterized in that a
gradient is formed in the contact layer and the electrical
resistance and the transmittance increase along the gradient
in the same direction as that of the surface. The invention
further relates to a solar module produced in such manner.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein
Verfahren zur Herstellung einer Kontaktschicht eines
Solarmoduls, wobei auf einem Trägersubstrat das Material
der Kontaktschicht zur Ausbildung einer Fläche
angeordnet wird. Das Verfahren ist dadurch
gekennzeichnet, dass ein Gradient in der Kontaktschicht
ausgebildet wird und entlang des Gradienten der
elektrische Widerstand und die Transmission in derselben
Richtung der Fläche zunehmen. Ein auf diese Weise
hergestelltes Solarmodul ist offenbart.



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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

B e s c h r e i b u n g

Verfahren zur Herstellung einer Kontaktschicht eines Solarmoduls und auf diese Weise hergestelltes Solarmodul

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung einer Kontaktschicht eines Solarmoduls und ein auf diese Weise hergestelltes Solarmodul.

Stand der Technik

5 Ein bekanntes Verfahren um eine integrierte Serienschaltung eines großflächigen Dünnschicht-Solarmoduls zu realisieren, ist in Figur 1 grob schematisch im Querschnitt für ein Siliziumbasiertes Modul dargestellt.

10 Zunächst wird eine Kontaktschicht, z. B. eine transparente leitfähige Schicht 2, z. B. aus ZnO oder aus SnO_2 auf ein transparentes Substrat 1 als Trägermaterial aufgebracht, siehe Figur 1b. Als Trägersubstrat wird z. B. Glas oder Folie verwendet. Eine typische Prozesstemperatur für das Aufbringen einer ZnO Schicht mittels Sputterverfahren ist 300 °C.

Anschließend werden die P1-Linien bei Raumtemperatur mittels Laser durch Ablation gebildet. Dabei werden parallel zueinander angeordnete erste Gräben 5 über die Länge des Moduls hergestellt (Fig. 1c).

15 Im Weiteren wird die Bezeichnung „über die Länge des Moduls“ in der Weise verwendet, das damit eine Strukturierung gemeint ist, die in der Tiefe der Blattebene der Figuren verläuft. Dabei werden die für Solarmodule charakteristischen Linien gebildet. In Aufsicht auf das fertige Solarmodul sind die Linien erkennbar, siehe Figur 1h.

20 Danach wird ein Absorberschichtsystem aus Halbleiter-Schichten aufgebracht, z. B. eine a-Si/ μc -Tandemsolarzelle (siehe Fig. 1d). Dabei werden die ersten Gräben 5 verfüllt. Eine typische Prozesstemperatur für das Aufbringen von Siliziumschichten mittels PECVD Verfahren beträgt 100-250°C.

Dann werden die P2-Linien wiederum durch Ablation gebildet. Parallel zu den ersten Gräben werden die zweiten Gräben 6 hergestellt und zwar in Figur 1 immer rechts von den ersten Gräben.

5 Im Anschluss daran wird eine zweite Kontaktschicht 4 als Rückkontakt auf die Halbleiter-Schichten 3 aufgebracht, z. B. ein ZnO/Ag-Kontakt, siehe Fig. 1f. Dabei werden die zweiten Gräben 6 verfüllt. Eine typische Prozesstemperatur für das Aufbringen eines ZnO/Ag Rückkontakts mittels Sputterverfahren ist die Raumtemperatur.

10 Anschließend werden wiederum mit einem Laser die P3 Linien hergestellt, siehe Fig. 1g. Dabei werden dritte Gräben 7 parallel und im Bild immer rechts von den ersten und zweiten Gräben gebildet. Es entstehen also gleich viele Gräben 5, 6 und 7. Damit ist die Serienverschaltung der Zelle A mit der Zelle B und die der Zelle B mit der Zelle C und so weiter abgeschlossen.

15 Bei der anhand der Figuren 1a – 1g erläuterten Verschaltungsmethode wird nach der Abscheidung der ersten Kontaktschicht 2 (Frontkontakt, TCO), und nach der Abscheidung der Halbleiterschichten 3 und nach der Abscheidung der zweiten Kontaktschicht 3 (Rückkontakt) jeweils eine Auftrennung der Schichten während der P1-P3-Strukturierung z. B. mittels Laserablation durchgeführt. Die Gräben bzw. Linien der P1-Strukturierung werden also jeweils parallel zueinander über die Länge des Solarmoduls hergestellt. Seitlich versetzt hierzu werden ebenfalls parallel zueinander die Gräben bzw. Linien der P2-Strukturierung und die der
20 P3-Strukturierung über die Länge des Solarmoduls geschrieben.

Für eine Laserablation des TCO als erster elektrischer Kontaktschicht (Frontkontakt) wird in der Regel ein anderer Laser als für die Halbleiter-Schichten bzw. für die zweite elektrische Kontaktschicht, den Rückkontakt, verwendet. Hierfür muss ein Laser mit einer Wellenlänge gewählt werden, bei welcher das TCO Material absorbierend ist.

25 Es ist im Übrigen bekannt, dass das Material ZnO als Material der ersten Kontaktschicht in Säure oder in Lauge ätzbar ist. Eine Ätzung erfolgt regelmäßig vor der Anordnung der Halbleiter-Schichten 3. Dabei wird die Oberfläche des ZnO 2 mit einem nasschemischen Ätzprozess z. B. mit Salzsäure aufgeraut. Es tritt dabei ein anisotroper Schichtabtrag des ZnO auf.

Die Aufrauung der ZnO-Schicht ist wichtig, um eine bessere Lichteinkopplung und Lichtstreuung des eingefangenen Lichts in die Halbleiter-Schichten zurück zu gewährleisten.

Aus der Druckschrift Lu et al. (Hui Lu, Yaoquan Tu, Xian Lin, Bin Fang, Duanbin Luo, Aatto Laaksonen (2010). Effects of laser irradiation on the structure and optical properties of ZnO thin films. Materials Letters 64, 2072–2075) ist bekannt, dass ZnO-Filme in ihren optischen und strukturellen Eigenschaften durch Laserbehandlung verändert werden können. Die Korngröße als Maß für die Kristalleigenschaft wird durch die Laserbehandlung gezielt vergrößert und die optische Bandlücke des Materials erhöht.

Es sind Verfahren zur Herstellung und Serienschaltung von Dünnschichtsolarmodulen bekannt, bei denen abweichend von Figur 1 zunächst mehrere der Schichten nacheinander abgeschieden werden und sodann die P1-P3 Strukturen geschrieben werden.

Solarmodule werden allgemein mit dem Ziel hergestellt, möglichst homogene Schichteigenschaften in Bezug auf Schichtdicke und Schichteigenschaft bzw. Schichtqualität über der gesamten beschichteten Fläche bereit zu stellen. Dies gilt unabhängig für die Kontaktschichten als Front- und Rückkontakt sowie für die Absorberschichten (Halbleiter-Schichten). Unerwünschte Inhomogenitäten und Abweichungen von Normparametern wie der Dicke der Schichten in sich, führen zu erhöhten elektrischen und / oder optischen Verlusten des Solarmoduls.

Die P1-P3-Strukturen werden geschrieben, um die Stromdichte in einem großflächigen Solarmodul zu reduzieren. Das Solarmodul wird deshalb in kleinere Teilzellen, die Streifen A, B, C, D und so weiter, unterteilt. Die Zellstreifen haben alle die gleiche Größe und sind in Serie miteinander verschaltet. Figur 1g zeigt eine schematische Darstellung eines serienschalteten Solarmoduls.

Figur 2 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung eines Siliziumdünnschichtsolarmoduls an. Die Pfeile im Modul deuten die Richtung des Stromflusses im Betrieb des Solarmoduls über die vier serienschalteten Zellstreifen A-D durch Pfeile an. Das Solarmodul besteht aus dem Träger Glas 21, einer ersten Kontaktschicht 22, dem sogenannten transparenten Frontkontakt (TCO), den Silizium(Halbleiter)schichten 23 mit dem Absorberschichtsystem sowie dem Rückkontakt 24. Die Schichteigenschaften sind über der Zellstreifenfläche A, B, C

und D in sich, wie gewünscht, sehr homogen verteilt, und die einzelnen Zellstreifen A, B, C, D und so weiter identisch in ihren Eigenschaften wie Breite und so weiter ausgeführt.

Der Wirkungsgrad eines Einfachsolarmoduls mit einer p-i-n-Struktur oder mit einer n-i-p-Struktur der Halbleiter-Schichten, das heißt ohne eine Tandemanordnung ist, trotz großer
5 Anstrengungen bisher immer noch vergleichsweise niedrig.

Nachteilig ist es bisher mit keinem der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren gelungen, ein Solarmodul mit verbessertem Wirkungsgrad bereit zu stellen.

Aufgabe und Lösung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zur Herstellung eines Solarmoduls mit hohem
10 Wirkungsgrad anzugeben. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es das Solarmodul als solches bereit zu stellen.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und durch das Modul gemäß dem Nebenanspruch gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den jeweils darauf rückbezogenen Ansprüchen.

15 Beschreibung der Erfindung

Auf einem Trägersubstrat wird ganzflächig gleichmäßig eine erste Kontaktschicht angeordnet. Der Kontakt dient im fertigen Solarmodul als Frontkontakt oder als Rückkontakt. Beides ist möglich.

Als Substrat kommt insbesondere ein Glas, eine Kunststofffolie, oder ein Metall mit einer
20 isolierenden Schicht in Betracht. Das Material der ersten elektrischen Kontaktschicht weist eine gute Leitfähigkeit auf. Hierfür kommen insbesondere aber nicht ausschließlich ZnO:Al, ZnO:Ag, ZnO:B, ZnO:Ga, SnO₂:F, ITO, oder TiO₂ sowie Legierungen wie z. B. ZnMgO in Frage. Ferner können Metalle eingesetzt werden.

Besonders vorteilhaft wird das aluminiumdotierte Zinkoxid (ZnO:Al) verwendet, da dies
25 besonders gut zu behandeln ist.

Als Substrat wird auch eine Struktur aus einem Trägersubstrat mit einer hierauf aufgebracht Kontaktschicht sowie hierauf angeordneten Halbleiterschichten angesehen, auf die sodann eine erfindungsgemäße Kontaktschicht angeordnet wird.

5 Die Fläche des Trägersubstrats beträgt z. B. bis $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Die abgeschiedene Kontaktschicht ist etwas kleiner, da der Rand des Substrats frei gelassen werden sollte.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch das Verfahren zur Herstellung der Kontaktschicht des Solarmoduls auf dem Trägersubstrat und zwar insbesondere der Abscheidung einer Frontkontaktschicht gelöst.

10 Die Kontaktschicht weist per se einen Bereich erster Ordnung auf. Ein Bereich erster Ordnung ist definiert als eine flächige Anordnung in sich homogenen, gleichmäßig abgeschiedenen Materials der Kontaktschicht auf dem Trägersubstrat, wie z. B. einer gleichmäßig abgeschiedenen Aluminiumdotierten Zinkoxidschicht (ZnO:Al).

15 Die Kontaktschicht auf dem Trägersubstrat weist abweichend vom Stand der Technik ortsabhängig angepasste Schichteigenschaften in Bezug auf den elektrischen Widerstand und die Transmission in der Fläche auf. Das Material der Kontaktschicht wird zur Ausbildung einer Fläche auf dem Trägersubstrat angeordnet. Mögliche Beschichtungsmethoden für die Kontaktschicht sind Sputtern, Aufdampfen und PECVD-Verfahren und weitere Abscheidungsverfahren.

20 Die Dicke der Kontaktschicht beträgt vorzugsweise zwischen 100 bis 1000 nm. Die Anordnung der Kontaktschicht erfolgt erfindungsgemäß in der Weise, dass in der Kontaktschicht in dem Bereich erster Ordnung ein Gradient ausgebildet wird. Entlang des Gradienten nehmen der elektrische Widerstand und die Transmission in derselben Richtung der Fläche der Kontaktschicht zu. Der Gradient verläuft somit vorzugsweise in der Fläche. Es ist denkbar, diesen auch in der Tiefe der erfindungsgemäßen Kontaktschicht auszubilden.

25 Der Gradient wird in der Kontaktschicht vorzugsweise streifenförmig, das heißt über mehrere Streifen hinweg gebildet. Der Gradient wird in Richtung einer erwarteten abnehmenden Stromdichte auf der Kontaktschicht so hergestellt, dass der elektrische Widerstand und die

Transmission der Kontaktschicht im fertigen Solarmodul mit abnehmender Stromdichte zunehmen.

Mit dem Begriff „Streifen“ ist vorzugsweise eine Form umfasst, die in der XY-Ebene (kartesisch) der Schicht eine größere Ausdehnung in der Länge als in der Breite aufweist, siehe die Ausführungen zur Figur 1g in Bezug auf die Begriffsbestimmungen Länge und Breite. Abweichungen von der Streifenform sind zugelassen, sofern eine größere Länge als Breite gebildet wird. Es können auch mäandrierende Bereiche eine Streifenform bilden. Mit diesen Zellstreifen zweiter Ordnung sind im Gegensatz zu den voneinander getrennten Bereichen erster Ordnung, wie für den Stand der Technik angegeben, sich berührende Bereiche bzw. Streifen der erfindungsgemäßen Kontaktschicht gemeint. Die Kontaktschicht wird flächig abgeschieden und sodann wird vorzugsweise durch Laserbehandlung der Gradient in der Schicht ausgebildet, ohne dass ein Abtrag des Materials erfolgt. Diese Maßnahme ist somit grundsätzlich verschieden von einer Laserablation zur Ausbildung der aus dem Stand der Technik bekannten Streifen erster Ordnung, bei der das Material der Schicht abgetragen und entfernt wird und Gräben zwischen den Bereichen erster Ordnung ausgebildet werden.

Die Bereiche zweiter Ordnung können auch schon bei der Abscheidung hergestellt werden, indem unmittelbar nebeneinander das Material der Kontaktschicht unterschiedliche Leitfähigkeiten aufweist. Dies wird erreicht, indem Targets mit unterschiedlicher Konzentration leitfähiger Dotieratome verwendet werden.

Diese Bereiche bzw. Streifen zweiter Ordnung werden in der übergeordneten Struktur, das heißt in den Bereichen oder Streifen erster Ordnung, wie sie für den Stand der Technik angegeben sind (siehe Figur 1), ausgebildet. Die Transmission und der Widerstand nehmen gleichmäßig in derselben Richtung der Fläche entlang des Gradienten das heißt von einem Bereich zweiter Ordnung zum nächsten Bereich zweiter Ordnung und so weiter zu, bis dass das Ende in dem Bereich erster Ordnung erreicht ist.

Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass in Siliziumdünnschichtsolarmodulen mit einem hochleitfähigen Rückkontakt, z. B. mit ZnO:Al und Silber als Rückkontakt der Widerstand der Kontaktschichten insgesamt weitgehend durch den Widerstand des transparenten leitfähigen Frontkontakts z. B. mit ZnO:Al als Frontkontakt gebildet wird. Der transparente

leitfähige Frontkontakt wird also vorzugsweise aus einem sogenannten TCO (transparent conductive oxide) Material wie z. B. ZnO:Al ausgeführt. Bei diesen Materialkombinationen konkurrieren die Eigenschaften Transmission und Leitfähigkeit. Wenn eine TCO Schicht mit geringerem elektrischem Widerstand (höhere Leitfähigkeit) hergestellt werden soll, z. B. durch Erhöhung der Schichtdicke oder durch Erhöhung der Konzentration der freien Ladungsträger im Material, so reduziert sich die Transmission. Umgekehrt lässt sich eine höhere Transmission der TCO Schicht als Frontkontakt dadurch erzielen, dass der elektrische Widerstand erhöht wird, z. B. durch eine geringere Schichtdicke oder durch eine Reduzierung der Konzentration der freien Ladungsträger. Es wurde in diesem Zusammenhang erkannt, dass ZnO:Al Schichten mit höherer Ladungsträgerkonzentration niedrigere Transmission zeigen. Dieser Effekt zeigt sich insbesondere im nahen infraroten (NIR) Spektralbereich > 800 nm Wellenlänge.

Es ist auch möglich beide Kontaktschichten, also den Front- und den Rückkontakt mit dem erfindungsgemäßen Gradienten auf dem Substrat anzuordnen, insbesondere wenn es sich um zwei TCO-Kontaktschichten als Front- und Rückkontaktschicht handelt.

Die TCO Schicht als Kontaktschicht auf dem Trägersubstrat muss im fertigen Solarmodul also bezüglich ihrer Fähigkeit, den elektrischen Strom zu leiten, und in Bezug auf ihre Transmission optimiert werden, da eine Erhöhung der Transmission eine Erhöhung des Photostroms zur Folge hat.

Es wurde erkannt, dass in den Modulen nach dem Stand der Technik regelmäßig eine nicht homogene Stromdichteverteilung von einer in sich homogenen TCO Schicht als Frontkontaktschicht abgeführt wird.

Daher wird durch die Ausbildung des erfindungsgemäßen Gradienten erfindungsgemäß eine lokale Anpassung der Kontaktschicht an die Stromdichteverteilung über eine lokale Variation des Schichtwiderstands und damit über die Stromdichteverteilung vorgenommen, um auf diese Weise zu einer Verringerung der optischen und / oder elektrischen Verluste zu gelangen.

Der erfindungsgemäße Gradient der Parameter wird in einer ersten Alternative durch eine Laserbehandlung ausgebildet.

Vorzugsweise wird der Gradient durch Zunahme des Energieeintrags während der Laserbehandlung in der Fläche der Kontaktschicht gebildet. Ein hoher Energieeintrag kann beispielsweise durch lange Behandlungszeit während einer langsamen Führung des Lasers und / oder durch höhere Leistung eingestellt werden. Dabei wird vorteilhaft bewirkt, dass der Widerstand und die Transmission mit steigendem Energieeintrag erhöht werden. Die elektrische Leitfähigkeit hingegen sinkt.

Mit variierenden Parametern während der Laserbehandlung wird vorteilhaft der Gradient in den Bereichen erster Ordnung in Bezug auf den elektrischen Widerstand und die Transmission der Kontaktschicht hergestellt. So kann die Laserleistung zwischen 0 und 5 Watt betragen um berührende Bereiche zweiter Ordnung in einem Bereich erster Ordnung zu bilden. Alternativ kann zur Erzeugung des Gradienten die Geschwindigkeit, mit der der Laser lateral über die Oberfläche der Kontaktschicht geführt wird, variiert werden. So kann die Lasergeschwindigkeit zwischen $0,1$ bis $15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ innerhalb eines Bereichs erster Ordnung eingestellt werden um den Gradienten zu erzeugen. Dies hängt maßgeblich von der Wahl des Lasers ab. Ein Fachmann wird hierzu nach Verfügbarkeit den Laser auswählen und die Parameter anpassen.

In einer weiteren Alternative wird der Gradient in der Kontaktschicht durch zeitlich aufeinanderfolgendes Sputtern von Targets mit unterschiedlich leitfähigem Material hergestellt. Hierzu wird eine Relativbewegung zwischen Trägersubstrat mit einer hierauf angeordneten Maske und dem Target ausgeführt. Besonders vorteilhaft werden die Targets während der Relativbewegung gewechselt. Dies erhöht die Geschwindigkeit des Verfahrens. Es sollten vorteilhaft Targets mit einer Targetdotiermenge zwischen $0,2$ und 1% in der Relativbewegung gesputtert werden. Dann ergibt sich vorteilhaft die gewünschte Leitfähigkeit, bzw. der gewünschte elektrische Widerstand und damit Transmission.

Es ist in einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung denkbar, dass der Gradient durch unterschiedliche Schichtdicke in den aneinander grenzenden Bereichen zweiter Ordnung gebildet wird. Dann ist die Kontaktschicht keilförmig über die Fläche auf dem Trägersubstrat angeordnet.

Mit den genannten Alternativen werden einander berührende Bereiche zweiter Ordnung in einem Bereich erster Ordnung der Kontaktschicht ausgebildet. Der Widerstand in den Bereichen zweiter Ordnung beträgt vorzugsweise von 5 Ohm bis 30 Ohm. Abweichungen sind selbstverständlich möglich, solange im Rahmen der Erfindung die Transmission und der elektrische Widerstand verändert werden. Damit ergibt sich im Bereich erster Ordnung, der die Bereiche zweiter Ordnung umfasst, ebenfalls ein Gradient von etwa 7 Ohm bis etwa 25 Ohm von einem Ende zum gegenüberliegenden Ende des Bereichs.

Im Falle einer Laserbehandlung wird der Bereich zweiter Ordnung mit einem Widerstand von etwa 5 Ohm ohne Behandlung der Schicht mit dem Laser bewirkt. Der Bereich mit beispielsweise 25-30 Ohm wird durch Laserbehandlung mit geringer Geschwindigkeit bzw. hoher Leistung erzielt. Die dazwischen angeordneten Bereiche werden durch hieran angepasste Bedingungen für die Laserbehandlung bereit gestellt.

Im Falle von Sputtern von Targets mit unterschiedlichen Aluminiumkonzentrationen im Zinkoxid werden z. B. über eine Breite B des Bereichs erster Ordnung Targets mit einer Konzentration an Aluminium von 0,1-2% Targetdotiermenge verwendet.

Das auf diese Weise hergestellte Solarmodul zeichnet sich dadurch aus, dass mindestens eine Kontaktschicht des Moduls in Richtung abnehmender Stromdichte den Gradienten mit zunehmenden elektrischen Widerstand und Transmission aufweist. Entsprechend nimmt die Leitfähigkeit ab.

In der abgeschiedenen (Front-)Kontaktschicht sind nach der ganzflächigen Anordnung zunächst keine Strukturen enthalten (Bereich erster Ordnung). Die Kontaktschicht kann mehrfach, z. B. linienförmig, abladiert werden, sodass mehrere parallel angeordnete Bereiche erster Ordnung, insbesondere streifenförmige Bereiche, in der Kontaktschicht gebildet werden, wie sie exemplarisch in der Figur 1h dargestellt sind. Dies entspricht der P1-Struktuierung zur Bildung mehrerer Bereiche erster Ordnung, wie sie aus dem Stand der Technik heraus bekannt sind. Mehrere Bereiche erster Ordnung, z. B. Streifen sind zueinander identisch. Sie liegen parallel nebeneinander auf dem Trägersubstrat vor und bilden die Basis zur Ausbildung streifenförmiger photovoltaischer Elemente. Diese Anordnung ist vorteilhaft, um die Stromdichte in dem späteren großflächigen Solarmodul zu reduzieren. Das Solarmo-

dul wird hierzu in kleinere Teilzellen, die Streifen A, B, C, D und so weiter, unterteilt. Die Zellstreifen haben alle die gleiche Größe und werden zu einem späteren Zeitpunkt des Verfahrens mit den Streifen des auf der anderen Seite der Halbleiter-Schichten angeordneten Kontakts in Serie verschaltet. Das Verfahren zeichnet sich vorzugsweise auch dadurch aus, dass
5 mehrere, zueinander parallele und räumlich durch erste Gräben voneinander getrennte Zellbereiche erster Ordnung in der Kontaktschicht mit entsprechenden Gradienten gebildet werden. Jeder dieser Bereiche weist den gewünschten Gradienten auf. Zwischen den Bereichen erster Ordnung liegt das Material des Trägersubstrats frei.

Auf der erfindungsgemäßen Kontaktschicht sind ganzflächig die aktiven Halbleiterschichten
10 angeordnet. Als Halbleiter-Schichten können die Schichten für eine a-Si:H- μ c-Si:H-Tandemsolarzelle oder jedwede andere Schichtenfolge wie sie üblicherweise in der Solarzellenindustrie genutzt werden. Insbesondere werden p-i-n- oder p-i-n-p-i-n-Schichten oder n-i-p- oder n-i-p-n-i-p-Schichten abgeschieden. Die Erfindung ist in diesem Sinne nicht eingeschränkt.

Mögliche Halbleiterschichtsysteme sind amorphes, mikrokristallines, polykristallines Silizium,
15 Siliziumgermanium, Siliziumkohlenstoff, SiO₂, Si₃N₄, SiO_x, SiON, CdTe und CIGS. Es können auch einfache p-i-n-Dioden aus a-Si oder μ c-Si oder auch p-i-n-p-i-n-Tandemstrukturen aus a-Si/a-Si oder auch a-Si/ μ c-Si und den jeweiligen Legierungen des Siliziums mit Germanium oder Kohlenstoff angeordnet werden.

Die P1-Strukturen können vor oder nach der Bildung der erfindungsgemäßen Gradienten
20 gebildet werden. Die P1-Strukturen können auch nach der Anordnung der Halbleiterschichten und sogar nach der Anordnung einer weiteren Kontaktschicht auf den Halbleiterschichten gebildet werden. P2- und P3-Strukturen und Gräben werden dann parallel zu den ersten Gräben gebildet. Damit erfolgt die Serienverschaltung der streifenförmigen photovol-
25 taischen Elemente.

Es werden dann benachbart und seitlich versetzt zu den ersten Gräben der ersten P1-Strukturierung durch eine zweite P2-Strukturierung zweite Gräben gebildet. Alle zweiten Gräben werden parallel in derselben Ausrichtung zu den ersten Gräben gebildet. In den zweiten Gräben muss die Oberfläche der erfindungsgemäßen Kontaktschicht freigelegt sein, da

hier die Serienschaltung benachbarter Elemente erfolgt. Die zweiten Gräben werden vorzugsweise eng benachbart und parallel zu den ersten Gräben gebildet. Mit eng benachbart sind wenige μm Abstände der parallelen Gräben zueinander umfasst.

Die zweite Kontaktschicht, z. B. Silber, Aluminium oder eine Kombination aus ZnO:Al und Silber, wird auf die Halbleiter-Schichten und in die zweiten Gräben abgeschieden. In den zweiten Gräben erfolgt vorteilhaft der elektrische Kontakt zur Serienschaltung benachbarter streifenförmiger Elemente. Mögliche Beschichtungsmethoden für die zweite elektrische Kontaktschicht sind Sputtern, Aufdampfen und PECVD-Verfahren. Die zweite elektrische Kontaktschicht wird durch die ersten Gräben nicht eingerissen. Auf Grund der zweiten Gräben werden die gewünschten Kontakte zur Serienschaltung der zweiten elektrischen Kontaktschicht eines ersten streifenförmigen Elements, z. B. eines Elements A, zu einer ersten elektrischen Kontaktschicht eines hierzu benachbarten zweiten streifenförmigen Elements, z. B. eines Elements B, und so fort gebildet.

Es werden parallel und eng benachbart sowie seitlich versetzt zu den ersten und zu den zweiten Gräben jeweils dritte Gräben durch eine dritte Strukturierung P3 entsprechend der Anzahl der ersten und zweiten Gräben gebildet. Die dritten Gräben trennen die benachbarten streifenförmigen Elemente A, B, C und so weiter elektrisch voneinander.

Die ersten, zweiten und / oder dritten Gräben zur Trennung der streifenförmigen Elemente werden insbesondere durch Laserablation hergestellt.

Die ersten Gräben werden durch Ablation der ersten Kontaktschicht und anschließendes nasschemisches Ätzen erzeugt. Für den Laserprozess kommt z. B. ein Laser der Wellenlänge 1064 nm zum Einsatz. Dieser Laser ablatiert nur die Halbleiter-Schichten.

Die zweiten Gräben werden durch Ablation der Halbleiter-Schichten erzeugt. Hierzu kommt in der Regel ein Laser der Wellenlänge 532 nm zum Einsatz.

Die dritten Gräben werden typischerweise durch gleichzeitige Ablation der Halbleiter-Schichten und der zweiten elektrischen Kontaktschicht erzeugt. Hierzu kommt ebenfalls ein Laser der Wellenlänge 532 nm zum Einsatz.

Alle Ablationsschritte können durch das Substrat erfolgen.

Das erfindungsgemäße Modul weist entsprechend eine Vielzahl an benachbarten streifenförmigen Elementen auf. Jedes streifenförmige Element weist eine Schichtenfolge aus Träger-substrat, einer ersten erfindungsgemäßen Kontaktschicht auf dem Substrat, den aktiven Halbleiter-Schichten auf der ersten elektrischen Kontaktschicht und hierauf angeordneter zweiter Kontaktschicht auf. Für die Serienschaltung ist die zweite elektrische Kontaktschicht eines streifenförmigen Elements, z. B. Element A, bis auf die erste elektrische Kontaktschicht eines hierzu benachbarten streifenförmigen photovoltaischen Elements, z. B. Element B angeordnet. Das Modul ist dadurch gekennzeichnet, dass in der ersten elektrischen Kontaktschicht jeweils Gradienten vorhanden sind, in denen der elektrische Widerstand und die Transmission der Kontaktschicht zunehmen.

In Richtung abnehmender Stromdichte der erfindungsgemäßen Kontaktschicht werden die Transmission und damit der elektrische Widerstand im Bereich erster Ordnung immer erhöht. Diese Maßnahme allein bewirkt, dass die elektrischen und optischen Verluste geringer ausfallen als im Stand der Technik und damit der Wirkungsgrad des Solarmoduls erhöht wird, und zwar um etwa 0,5% relativ.

Spezieller Beschreibungsteil

Im Weiteren wird die Erfindung an Hand von Ausführungsbeispielen und den beigelegten Figuren näher beschrieben, ohne dass es hierdurch zur Einschränkung der Erfindung kommen soll.

Es zeigen:

Figur 1: Herstellung und Serienschaltung streifenförmiger photovoltaischer Elemente nach dem Stand der Technik. 1a-g: Schnitt; 1h: Aufsicht.

Figur 2: Stromfluss im serienschalteten Solarmodul nach dem Stand der Technik. Die streifenförmigen photovoltaischen Elemente A-D entsprechen je vier Bereichen erster Ordnung.

Figur 3: a) Ausschnittvergrößerung zu einem Bereich erster Ordnung aus Figur 2.
b) Stromfluss im Bereich erster Ordnung (Zellstreifen C).

Figur 4: a) Stromfluss im streifenförmigen photovoltaischen Element, beispielhaft Element C, als Bereich erster Ordnung. b) Schnitt mit zunehmender Transmission und elektrischen Widerstand entlang des Gradienten in Schicht 42 der erfindungsgemäßen Kontaktschicht.

- 5 Figur 5-6: Schematische Darstellung der Zunahme der Laserbehandlung und damit der Zunahme der Transmission und des elektrischen Widerstands (Pfeil J). Die Leitfähigkeit nimmt entlang des Gradienten ab.

Figur 7: Abhängigkeit der Absorption von der Wellenlänge verschieden behandelter Bereiche zweiter Ordnung.

- 10 Figur 8: Maskenstruktur für die Abscheidung der Kontaktschicht.

Figur 1 zeigt schematisch den Herstellungsprozess nach dem Stand der Technik, wie er in der Einleitung dargestellt wurde.

In Figur 2 ist eine vereinfachte schematische Darstellung eines Siliziumdünnschichtsolarmoduls angegeben. Die Pfeile im Modul deuten die Richtung des Stromflusses an.

- 15 Im Rahmen der Erfindung wurde erkannt, dass die Stromdichteverteilung in den Kontaktschichten eines Dünnschichtsolarmodul bzw. eines Zellstreifens gerade im Fall einer perfekt homogenen Schichtabscheidung tatsächlich nicht homogen ist, siehe Figur 3. Es wurde erkannt, dass sich prinzipbedingt bei einer sogenannten homogenen Abscheidung sich über der Zellstreifenbreite eine positionsabhängige Stromdichte ergibt.

- 20 Folgende Eigenschaften treten je Zellstreifen A-D tatsächlich auf. In Figur 2 ist in den Zellstreifen A-D tatsächlich eine Stromdichteverteilung gegeben, wie sie im Ausschnitt exemplarisch für Zellstreifen C in Figur 3 dargestellt ist.

Figur 3a zeigt beispielhaft das streifenförmige photovoltaische Element C aus der Figur 2 in Vergrößerung. Figur 3 zeigt schematisch in etwa den Kreis des Ausschnitts aus der Figur 2.

- 25 Tatsächlich tritt im streifenförmigen photovoltaischen Element C nicht eine homogene Stromdichteverteilung auf, wie bisher vermutet. Tatsächlich tritt die in Figur 3b gezeigte Stromdich-

teverteilung auf. Im rechten Teil entstehen hohe elektrische Verluste auf Grund der hohen Stromdichte. Im linken Teil der Zelle entstehen durch zu geringe Transmission des TCO zu hohe optische Verluste.

5 Es wurde daher ein erfindungsgemäß modifiziertes Herstellungsverfahren zur Herstellung der Kontaktschicht auf dem Trägersubstrat wie folgt angewendet.

Erstes Ausführungsbeispiel

Ein 10x10 cm² großes Glassubstrat 1 (Corning, Eagle XG) wird mittels Kathodenzerstäubung („Sputtern“) mit aluminiumdotiertem Zinkoxid (ZnO:Al) 2 beschichtet, welches der Solarzelle als Frontelektrode dient. Das Trägersubstrat 1 wird dabei mit Ausnahme seines Rands ganzflächig mit der ersten Kontaktschicht 2 beschichtet. Die Substrattemperatur beträgt wäh-
10 rend des Beschichtungsprozesses etwa 300°C. Die erste Kontaktschicht 2 ist etwa 800 nm dick. Sie ist homogen in Bezug auf Dicke, Widerstand und Transmission und so weiter auf dem Trägersubstrat 1 angeordnet. Nach Abkühlen des beschichteten Substrats 1 auf Raumtemperatur wird die Schichtenfolge für 30 Sekunden in verdünnter Salzsäure (0,5% wt) ge-
15 ätzt. Dieser Ätzschritt dient der Aufrauung der Schicht und verbessert die optischen Eigenschaften der Schicht.

Das Ergebnis ist in der Figur 1b gezeigt. Bis hierhin ist das Verfahren aus dem Stand der Technik bekannt.

1. Erfindungsgemäße Anpassung einer Frontkontaktschicht (Figur 4)

20 Am Beispiel eines transparenten leitfähigen Frontkontakts 42 wird das weitere Verfahren erläutert. Figur 4 zeigt die schematische Darstellung des Zellstreifens C der Figur 2 in einem erfindungsgemäßen Silizium-Dünnschichtsolarmodul. In Pfeilrichtung, das heißt in Richtung abnehmender lokaler Stromdichte in der TCO-Schicht 42 (vergleiche Figur 3b), wird das Material vorteilhaft weniger leitfähiger gemacht, das heißt der elektrische Widerstand der
25 Schicht 42 über die Position X nimmt nach links gerichtet zu. Der elektrische Widerstand nimmt zu und ebenso die Transmission. Der Einfachheit halber wird hier ein linearer Trend für den Schichtwiderstand angedeutet (durchgezogene Linien).

Für ein Modul nach dem Stand der Technik mit homogenem Widerstand der TCO-Schicht 2, 22 über der Zellstreifenbreite (vergleiche Abbildung 4, unten, gestrichelte Linie) gibt es eine optimale Kombination aus TCO-Schichtwiderstand und Zellstreifenbreite. Ausgehend von einem derartigen, optimierten Modul lässt sich eine Reduzierung der optischen und elektrischen Verluste der Schicht erzielen, wenn die Bereiche des Frontkontakts 42, die eine vergleichsweise hohe Stromdichte aufweisen in ihrer Leitfähigkeit verbessert werden. Dies sind in Figur 4 schematisch die Bereiche rechts der Mitte M. Die Bereiche des Frontkontakts 42, die eine vergleichsweise niedrige Stromdichte aufweisen sollen in ihrer Leitfähigkeit verringert werden. Dies sind die Bereiche der Kontaktschicht 42 links der Mitte, siehe auch Figur 3b. Wichtig hierbei ist, dass gleichzeitig mit der Reduzierung der Leitfähigkeit eine Erhöhung der Transmission eintritt. Dies ist bei den typischen Materialien des Frontkontakts insbesondere im nahen infraroten Spektralbereich der Fall. Folglich hat das resultierende, erfindungsgemäße Solarmodul im Vergleich zum Stand der Technik reduzierte elektrische und optische Verluste und somit einen höheren Wirkungsgrad.

Figur 5 zeigt die Anwendbarkeit der oben beschriebenen Methode am Beispiel eines angepassten Frontkontakts aus gesputtertem und nasschemisch geätztem ZnO:Al. Der Gradient der ZnO:Al Eigenschaften wird mittels Laser-Annealing dargestellt durch den dicken Pfeil erzeugt. Der Laser trägt die Energie J ein. Der Zellstreifen C erster Ordnung (siehe Figur 2) wird dabei Abschnittsweise zur Erzeugung von Bereichen zweiter Ordnung mit Laserlicht bestrahlt. Durch die Bestrahlung und die Absorptionseigenschaften des bestrahlten TCO-Materials kommt es zur lokalen Erhitzung des Materials. Infolge dessen verändern sich die Eigenschaften des ZnO:Al: Es wird beim Laser-Annealing tendenziell weniger leitfähig, das heißt der Widerstand und gleichzeitig die Transmission nehmen zu.

Gezeigt ist die ZnO:Al-Oberfläche noch vor der Aufbringung der Silizium-Halbleiterschichten und des Rückkontakts. Es werden n streifenförmige Bereiche unterschieden, welche eine unterschiedliche Behandlungsintensität erfahren haben. In Pfeilrichtung nimmt die Behandlungsintensität so zu, dass eine Abnahme der Leitfähigkeit bei Zunahme der Transmission in den streifenförmigen Bereichen erreicht wird. Die Richtung des Stromflusses erfolgt entgegen der Pfeilrichtung. Die n Bereiche weisen einen Gradienten auf, welcher derart gestaltet ist, dass die elektrischen und optischen Verluste im Zellstreifen erster Ordnung minimal ausfallen.

Praktisch realisiert wurde ein Modul auf einem 10 x 10 cm² Glassubstrat, bei dem jeder zweite von insgesamt 16 Zellstreifen erster Ordnung in n=5 streifenförmige Bereiche zweiter Ordnung unterteilt wurden. Figur 6 zeigt die schematische Darstellung des Front-ZnO 42 in Aufsicht noch vor der späteren Deposition des Siliziums 43.

5 Das Front-ZnO 42 wird auf folgende Weise hergestellt: Ein 10x10 cm² großes Glassubstrat (Corning, Eagle XG) wird mittels Kathodenzerstäubung („Sputtern“) mit aluminiumdotiertem Zinkoxid (ZnO:Al) beschichtet, welches der Solarzelle als Frontelektrode 42 dient. Die Anregungsfrequenz beträgt 13,56 MHz in einer Depositionsanlage VISS 300 von Von Ardenne Anlagentechnik (VAAT). Ein keramisches Target mit 1% (wt) Aluminiumoxidgehalt (Al₂O₃)
10 in ZnO wurde gewählt. Die Substrattemperatur beträgt 300°C bei einer Entladungsleistung von 1,5 kW. Der Argon Depositionsdruck beträgt 0,1 Pa. Die Schichtdicke der Schicht nach der Abscheidung beträgt etwa 800 nm. Nach Abkühlen des beschichteten Substrats auf Raumtemperatur wurden die zukünftigen Zellstreifen erster Ordnung A, B, C, D und so weiter definiert, indem mittels Laserablation die ZnO:Al-Schicht 42 lokal entfernt wurde, sodass
15 elektrisch voneinander isolierte, streifenförmige ZnO:Al Bereiche erster Ordnung zurückblieben. Anschließend wurde die Probe für 50 Sekunden einem nasschemischen Ätzprozess in 0,5%iger (Gewichtsprozent) Salzsäure unterzogen. Dabei werden etwa 150 nm entfernt und die Oberfläche der ZnO:Al-Schicht wird aufgeraut. Die Ätzung wurde bei 25°C ausgeführt.

Danach folgte das erfindungsgemäße Laser-Annealing jedes zweiten aufeinanderfolgenden
20 Zellstreifens. Dabei wurde jeder behandelte Zellstreifen in fünf streifenförmige Bereiche zweiter Ordnung unterteilt um den erfindungsgemäßen Gradienten zu erzeugen. Eine schematische Darstellung eines gradierten Zellstreifens in Aufsicht vor der Siliziumdeposition zeigt Figur 6.

Die fünf Bereiche, bezeichnet mit 1-5 unterscheiden sich in der Intensität ihrer jeweiligen
25 Laser-Behandlung und somit in ihrem elektrischen Widerstand und der Transmission. Von Bereich 1 ausgehend nimmt die Intensität der Laserbehandlung zu. Bereich 2 wird entsprechend sehr stark und Bereich 5 am meisten mit Laserstrahlung behandelt. Als Maß dient auch hier der absolute Energieeintrag in J je Fläche.

Ziel ist die Ausbildung eines Gradienten der Eigenschaften Transmission und Widerstand des ZnO:Al. Tabelle 1 zeigt exemplarisch die verwendeten Laserparameter und deren Auswirkungen auf die gesputterten, geätzten ZnO:Al-Schichten.

Bereich zweiter Ordnung	Laserleistung	Frequenz	Geschwindigkeit	Linienversatz	Schichtwiderstand
5	5 W	cw	2,5 mm/s	25 μ m	23,6 Ohm
4	5 W	cw	5 mm/s	25 μ m	18,8 Ohm
3	5 W	cw	10 mm/s	25 μ m	14,5 Ohm
2	5 W	cw	15 mm/s	25 μ m	10,3 Ohm
1	unbehandelt	--	--	--	7 Ohm

5 Tabelle 1: cw=continuous wave; Laserparameter für die Behandlung der Bereiche 1-5 und die Auswirkungen auf den Schichtwiderstand und die Transmission einer 800 nm dicken rf-gesputterten und anschließend nasschemisch geätzten ZnO:Al Schicht.

10 Auf dem so gestalteten transparenten Frontkontakt 42 wurde anschließend das Solarmodul aus mikrokristallinem Silizium 43 angeordnet. Die Absorberschichtdicke betrug etwa 1 μ m. Der Rückkontakt 44 bestand aus 80 nm ZnO und 200 nm Silber. Es zeigte sich, dass die gradierten Zellstreifen im Mittel einen um etwa 7% höheren Wirkungsgrad aufweisen als die Zellstreifen ohne entsprechenden Gradienten.

15 Figur 7 zeigt die Auswirkungen auf die Transmission bzw. Absorption als Graphen. Die Laserbehandlung beeinflusst auch die optischen Eigenschaften des TCO 42. Der Spotdurchmesser des Lasers betrug bei der Behandlung etwa 600 μ m Durchmesser. Verwendet wurde ein Laser der Firma Rofin, Typ Powerline 10E. Dargestellt ist die die Absorption der Schicht 42 als Funktion der Wellenlänge. Bei zunehmender Laserbehandlung, ausgeführt durch geringe Überfahrgeschwindigkeit, wird die Absorption insbesondere im langwelligen Bereich reduziert und somit die Transmission erhöht.

Zweites Ausführungsbeispiel (Figur 8):

20 Ein 10x10 cm² großes Glassubstrat (Corning, Eagle XG) wurde mittels Kathodenzerstäubung („Sputtern“) mit aluminiumdotiertem Zinkoxid (ZnO:Al) beschichtet, welches der Solarzelle als erfindungsgemäße Frontelektrode dient. Hierbei wird zunächst eine Maske mit 16 streifenförmigen Aussparungen 91.1-91.16 vor dem Substrat angebracht. Die Aussparungen der

Maske besitzen eine Größe von $1,76 \times 80 \text{ mm}^2$ und einen Abstand von 5 mm zueinander. Sodann wird eine erste Schicht gesputtert. Es bildet sich je Aussparung ein streifenförmiger Bereich zweiter Ordnung aus ZnO:Al auf dem Substrat. Anschließend wird die Maske 91 in die Richtung entlang der kurzen Seite der ersten Schicht, siehe Pfeil, seitlich versetzt. Die Maske wird hierbei um 1,66 mm versetzt. Es wird anschließend parallel zur ersten Schicht eine zweite Schicht aufgebracht. Die erste Schicht und die zweite Schicht besitzen somit entlang ihrer langen Seite einen Überlappbereich von 0,1 mm. Danach wird die Maske seitlich in gleicher Richtung um 1,66 mm versetzt und eine weitere Schicht abgeschieden. Durch die Schichten 1-3 werden am Ende 16 Streifen erster Ordnung mit je drei Bereichen zweiter Ordnung definiert.

Dimensionen: Die Streifen erster Ordnung haben z. B. eine Gesamtbreite von 5 mm. Dann haben die Bereiche zweiter Ordnung jeweils eine Breite von 1,66 mm. Die Länge der streifenförmigen Elemente betrage z. B. 8 cm.

Mögliche Abscheidungsbedingungen für die Schichten 1-3 sind der Tabelle 2 entnehmen.

Tabelle 2: Bereiche 1 bis 3 und die Auswirkungen auf den Schichtwiderstand und die Transmission bei 1000 nm Wellenlänge einer 800 nm dicken rf-gesputterten ZnO:Al-Schicht.

	Schichtdicke	Substrattemperatur	Targetdotiermenge	Transmission bei 1000 nm	Schichtwiderstand
1	800 nm	300 °C	1 %	82	3,4 Ohm
2	800 nm	375 °C	0,5 %	88	6,5 Ohm
3	800 nm	400 °C	0,2 %	90	19,2 Ohm

Grundsätzlich ist es für beide Ausführungsbeispiele denkbar, jede der beteiligten Schichten und auch mehrere gleichzeitig, z. B. auch den Rückkontakt, einen Zwischenreflektor, die dotierten Schichten (p bzw. n), Antireflexschichten etc. mit einem erfindungsgemäßen Gradienten zu versehen, welcher zu einer Verringerung der Verluste oder aber zur Materialeinsparung der gradierten Schicht oder auch einer anderen Schicht führt.

Dabei können für die Anordnung der verschiedenen Schichten selbstverständlich auch die Verfahren nach den Ausführungsbeispielen miteinander kombiniert werden.

Die Abscheidung der Halbleiter-Schichten und / oder des zweiten Kontakts kann aber auch geschehen wie für Figur 1, dem Stand der Technik beschrieben.

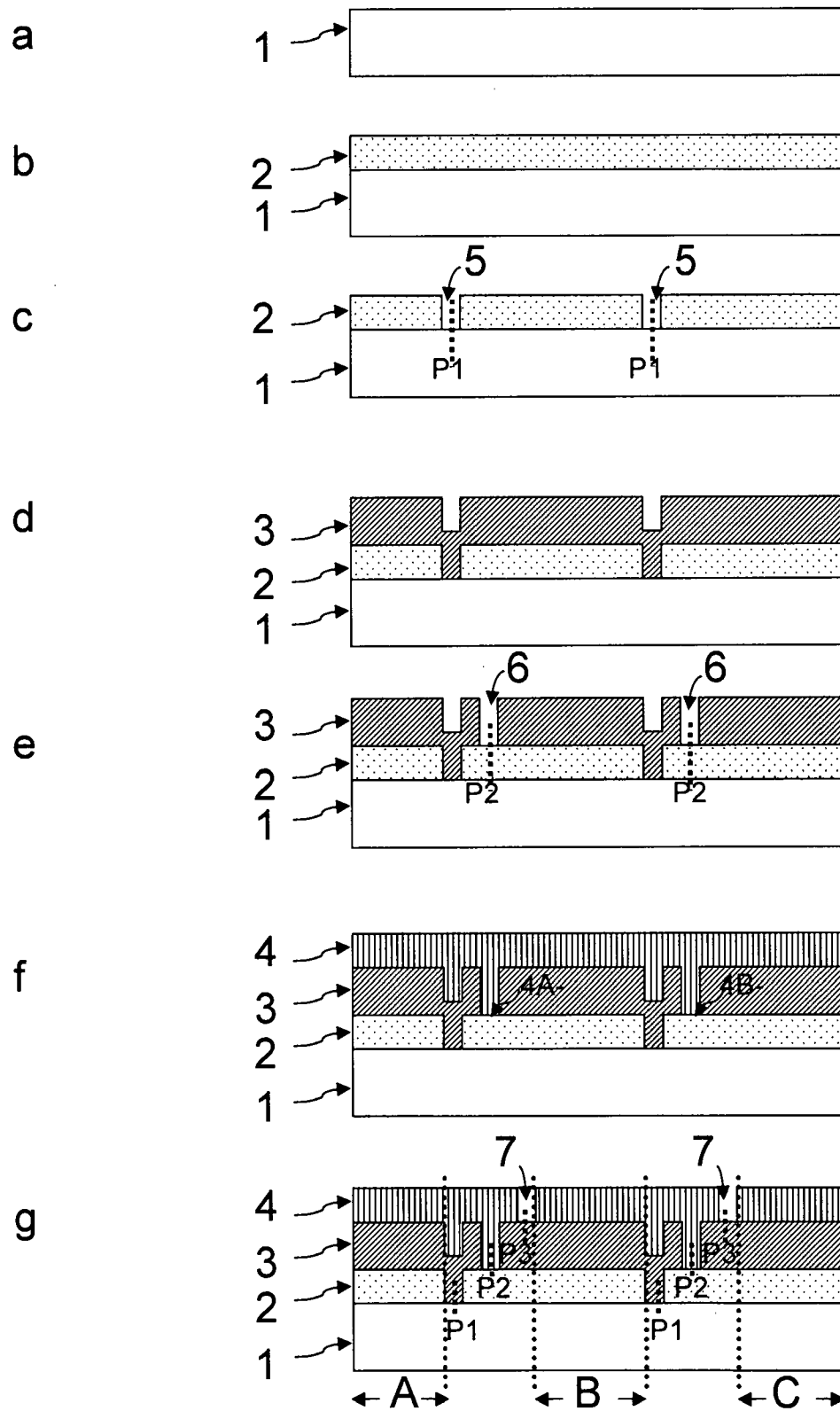
P a t e n t a n s p r ü c h e

-
1. Verfahren zur Herstellung eines Solarmoduls, wobei auf einem Substrat das Material der Kontaktschicht zur Ausbildung einer Fläche angeordnet wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
während der Herstellung des Solarmoduls mindestens ein Gradient in der Kontakt-
schicht ausgebildet wird und in dem Gradienten der elektrische Widerstand und die
Transmission in derselben Richtung der Fläche der Kontaktschicht zunehmen.
 2. Verfahren nach vorherigem Anspruch
gekennzeichnet dadurch, dass
mehrere Gradienten in der Kontaktschicht ausgebildet werden, in denen der elektrische
Widerstand und die Transmission in derselben Richtung der Fläche der Kontaktschicht
zunehmen.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2
dadurch gekennzeichnet, dass
der Gradient mit einer Laserbehandlung ausgebildet wird.
 4. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch,
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Erzeugung des Gradienten des elektrischen Widerstands und der Transmission der
Kontaktschicht die Laserleistung variiert wird.
 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden zwei Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
zur Erzeugung des Gradienten die Geschwindigkeit, mit der der Laser lateral über die
Oberfläche der Kontaktschicht geführt wird, variiert wird.
 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Gradient in der Kontaktschicht durch zeitlich aufeinanderfolgendes Sputtern von
Targets mit unterschiedlich leitfähigem Material hergestellt wird.

7. Verfahren nach vorherigem Anspruch
dadurch gekennzeichnet, dass
hierzu eine Relativbewegung zwischen Substrat mit einer hierauf angeordneten Maske
und dem Target ausgeführt wird.
- 5 8. Verfahren nach vorherigem Anspruch
gekennzeichnet durch
Wechseln des Targets während der Relativbewegung.
9. Verfahren nach einem der vorherigen drei Ansprüche
gekennzeichnet durch
- 10 Sputtern von Targets mit einer Konzentration von 0,2 bis 2% im Target.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
mehrere, zueinander parallele und räumlich durch erste Gräben voneinander getrennte
Zellstreifen in der Kontaktschicht gebildet werden, die jeweils einen Gradienten aufwei-
sen, und in dem Gradienten der elektrische Widerstand und die Transmission in dersel-
ben Richtung der Fläche der Kontaktschicht zunehmen.
- 15 11. Verfahren nach vorherigem Anspruch bei dem zur Bildung und Serienschaltung
streifenförmiger photovoltaischer Elemente weitere folgende Schritte ausgeführt wer-
den:
- 20 a) auf den Zellstreifen der Kontaktschicht wird ein Halbleiterschichtsystem angeordnet,
b) es werden eine Mehrzahl parallel zu den ersten Gräben angeordneter zweiter Gräben
in dem Halbleiterschichtsystem gebildet und darin die Oberfläche der Kontakt-
schicht freigelegt,
- 25 c) es wird eine zweite Kontaktschicht auf dem Halbleiterschichtsystem angeordnet, so
dass in den zweiten Gräben ein Kontakt von der zweiten elektrischen Kontakt-
schicht eines ersten streifenförmigen Elements (A) zu einer ersten elektrischen Kon-
taktschicht eines benachbarten zweiten streifenförmigen Elements (B) gebildet wird,

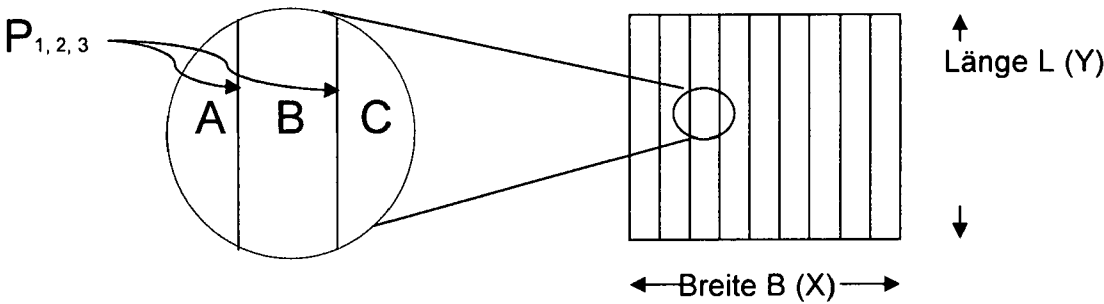
d) benachbart und seitlich versetzt zu den ersten und zweiten Gräben werden jeweils dritte Gräben in der zweiten elektrischen Kontaktschicht gebildet, die benachbarte streifenförmige Elemente (A, B, C) voneinander trennen.

- 5 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
beide Kontaktschichten des Solarmoduls mindestens einen Gradienten aufweisen, und
in dem Gradienten der elektrische Widerstand und die Transmission in derselben Richtung der Fläche der Kontaktschicht zunehmen.
- 10 13. Solarmodul, mit einem Substrat auf dem das Material einer Kontaktschicht zur Ausbildung einer Fläche angeordnet ist
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kontaktschicht einen Gradienten aufweist und entlang des Gradienten der elektrische Widerstand und die Transmission in derselben Richtung der Fläche zunehmen.
- 15 14. Solarmodul mit einer Vielzahl an benachbarten streifenförmigen, photovoltaischen Elementen, wobei jedes photovoltaische Element auf einem Trägersubstrat eine Schichtenfolge umfassend eine erste Kontaktschicht, aktive Halbleiterschichten und hierauf angeordnete zweite Kontaktschicht aufweist, und zur Serienschaltung die zweite Kontaktschicht eines photovoltaischen Elements (A) bis auf die erste elektrische Kontaktschicht eines hierzu benachbarten photovoltaischen Elements (B) angeordnet ist
20 dadurch gekennzeichnet, dass
jede erste Kontaktschicht und / oder zweite Kontaktschicht der Elemente einen Gradienten aufweist und entlang des Gradienten der elektrische Widerstand und die Transmission in derselben Richtung der Fläche zunehmen.

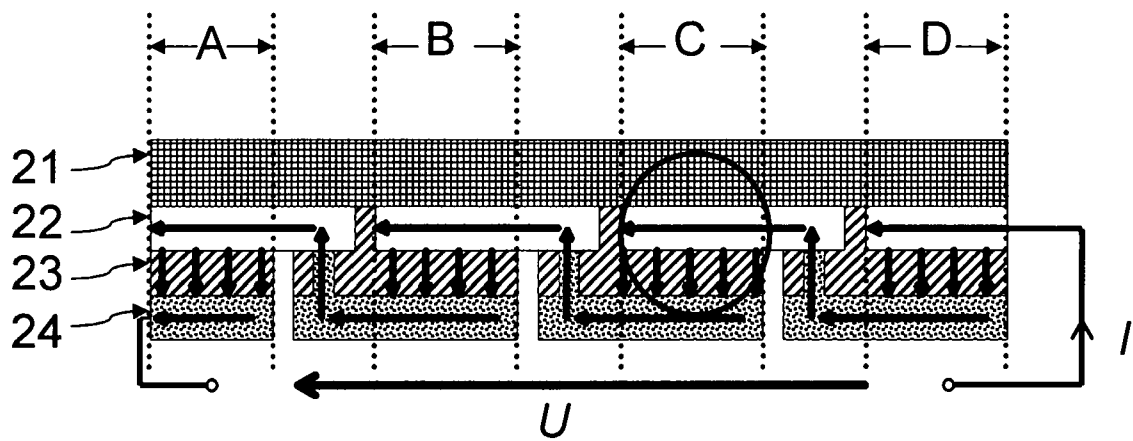


Figur 1 (Stand der Technik)

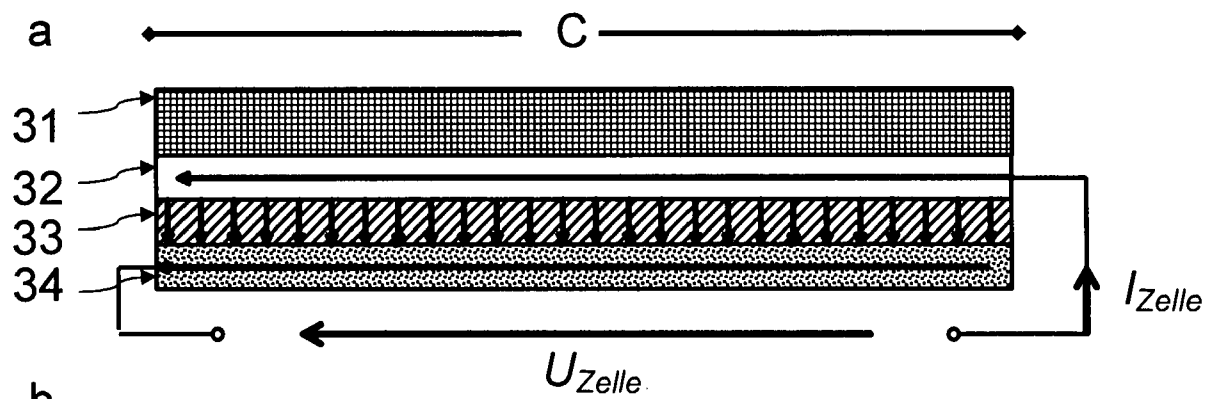
h



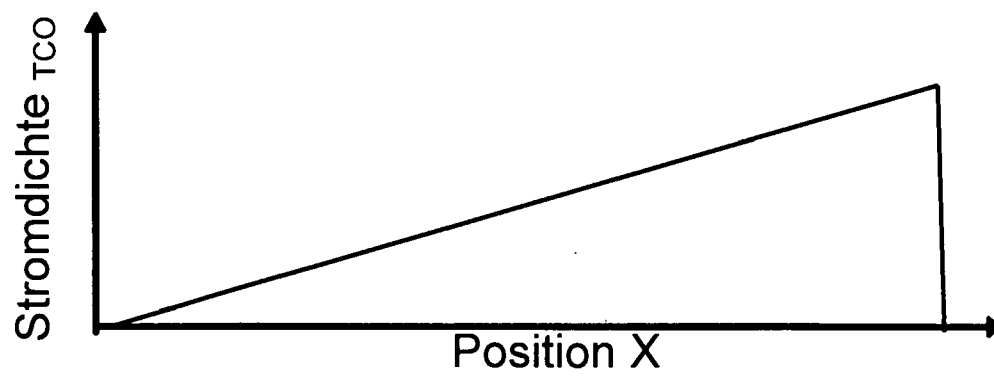
Figur 1 (Fortsetzung)



Figur 2

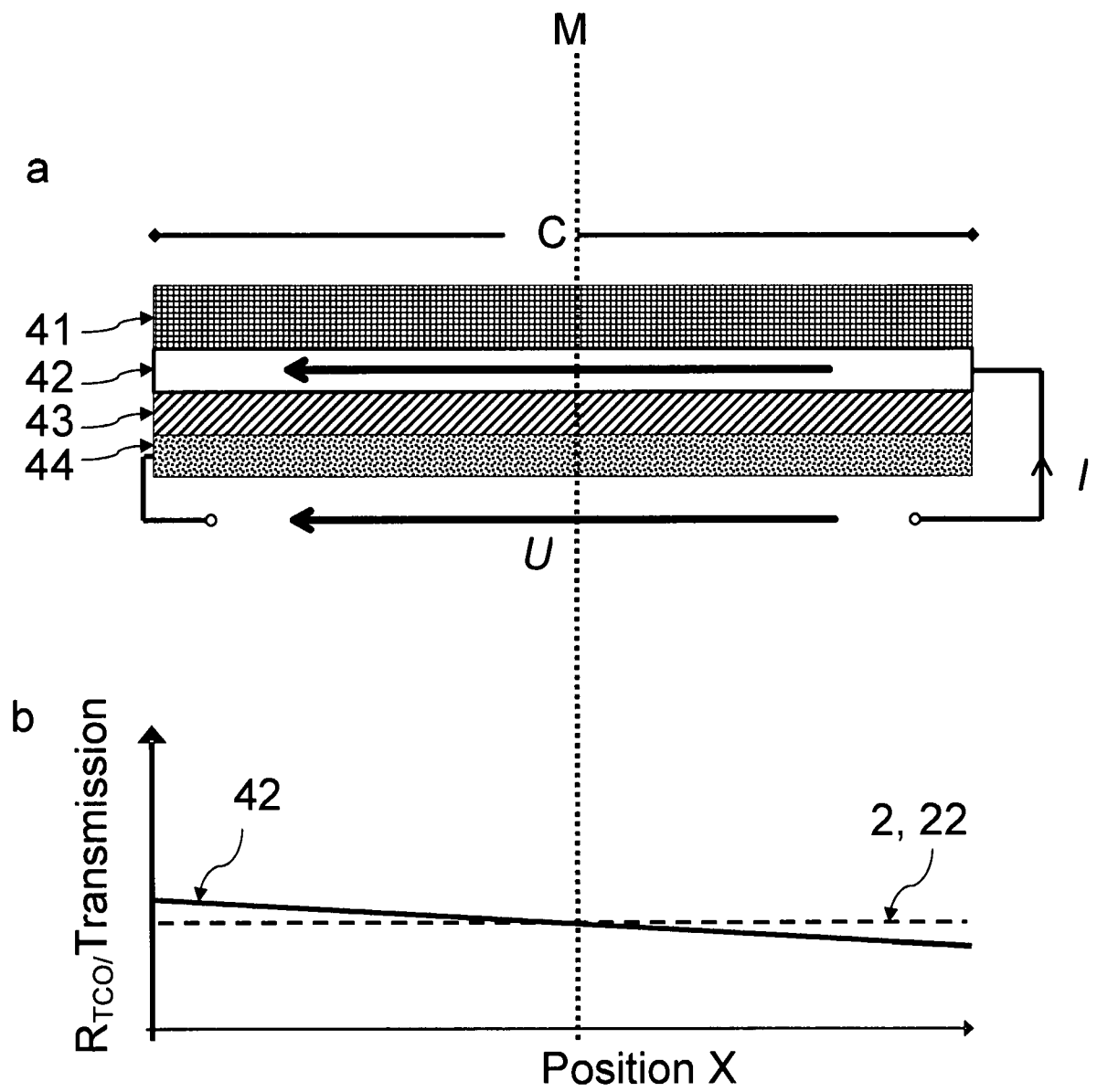


b

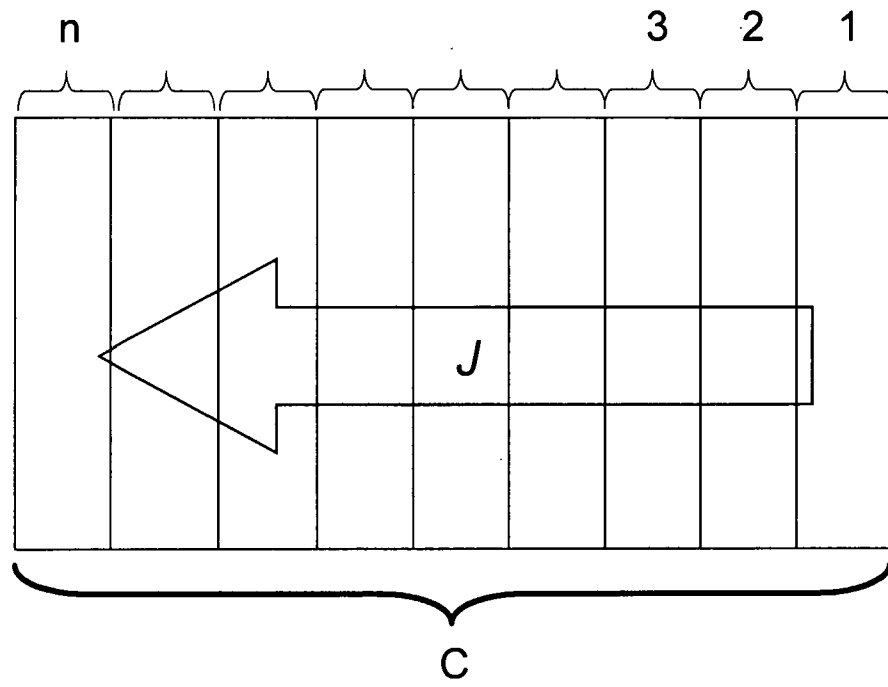


Figur 3

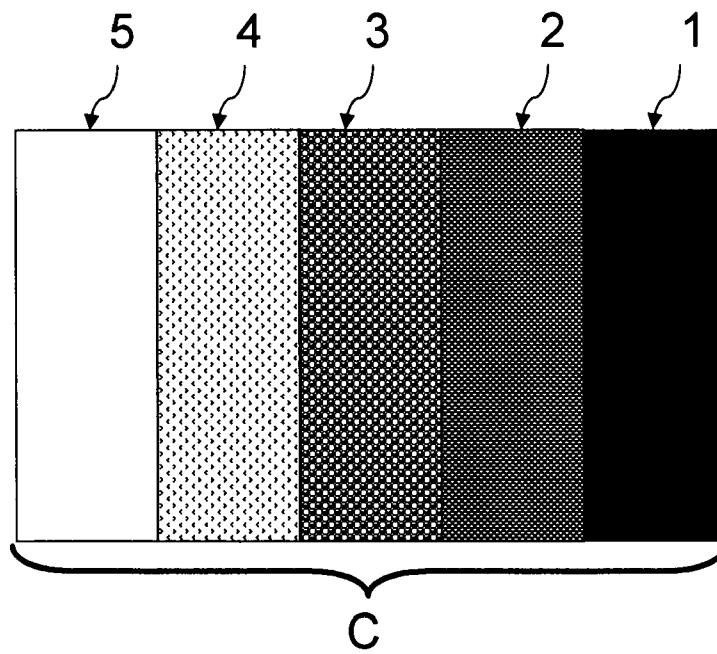
4/7



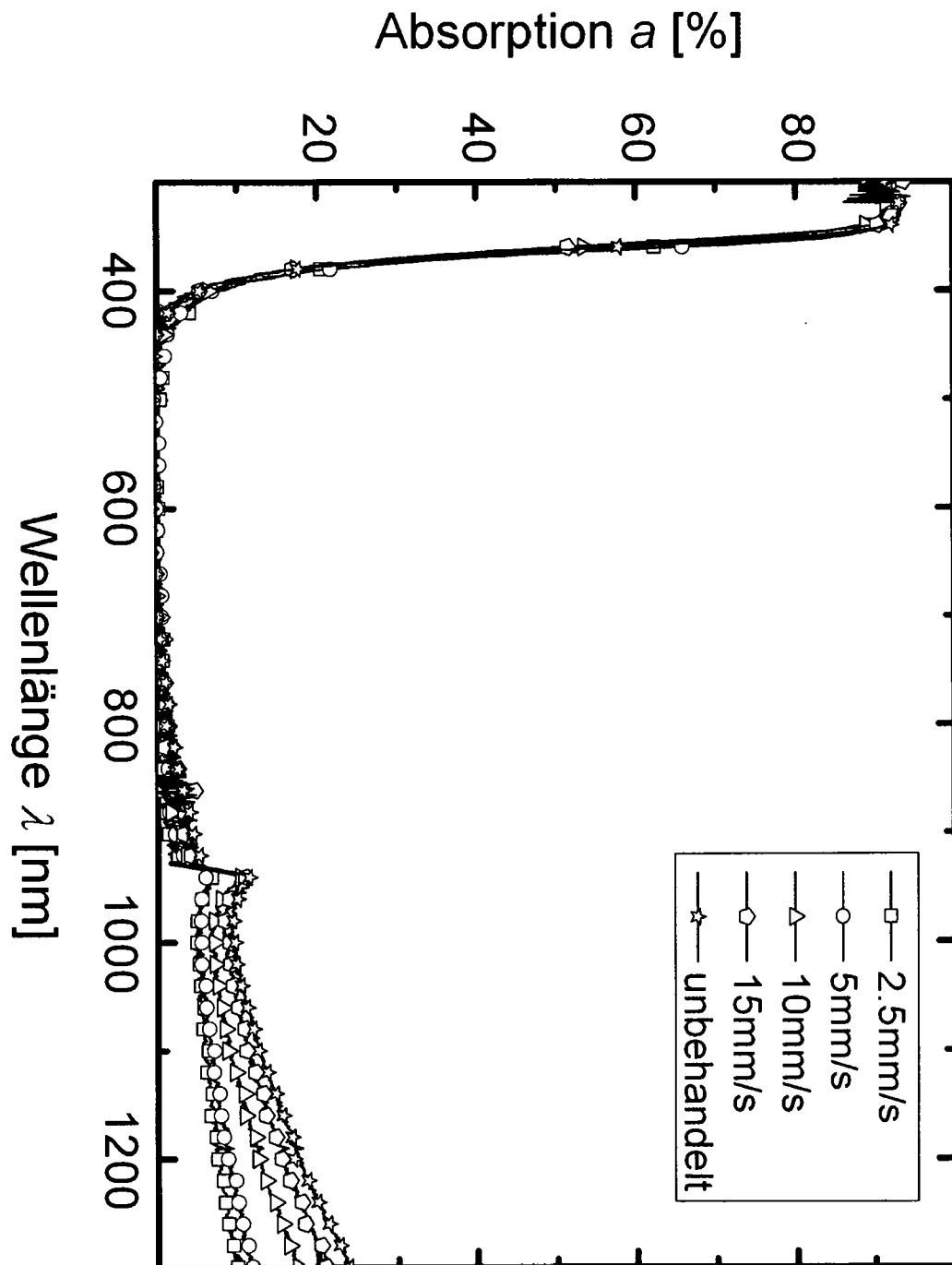
Figur 4



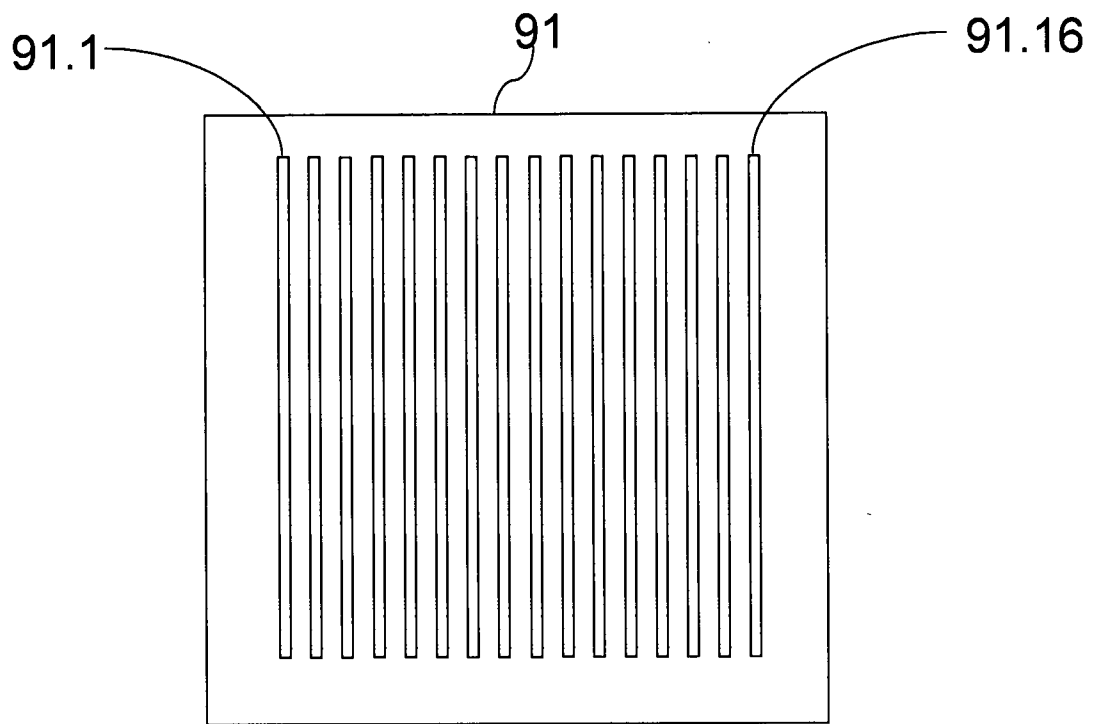
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2012/000421

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01L27/142 H01L31/0224 H01L31/18
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2010/063970 A2 (ECOLE POLYTECH [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; JOHNSON ERIK V [FR];) 10 June 2010 (2010-06-10)	1-5, 10-14
Y	the whole document	6-9
Y	MICHAEL BERGINSKI ET AL: "Design of ZnO:Al films with optimized surface texture for silicon thin-film solar cells", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 6197, 5 April 2006 (2006-04-05), pages 61970Y-61970Y-10, XP55034139, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.661667 page 1 - page 3; figure 1	6-9
	----- -/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 July 2012

Date of mailing of the international search report

03/08/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoffmann, Niels

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2012/000421

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 36 06 557 A1 (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM [DE]) 3 September 1987 (1987-09-03) column 2, line 59 - column 3, line 5; figure 2 -----	1,2,10,13
X	JP 2004 214442 A (SANYO ELECTRIC CO) 29 July 2004 (2004-07-29) abstract; figures -----	1,2,13
A	M. BERGINSKI ET AL: "ZNO Films with Tailored Material Properties for Highly Efficient Thin-Film Silicon Solar Modules", 21ST EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE : PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN DRESDEN, GERMANY, 4 - 8 SEPTEMBER 2006, WIP RENEWABLE ENERGIES, MÜNCHEN, 4 September 2006 (2006-09-04), XP040512510, ISBN: 978-3-936338-20-1 the whole document -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2012/000421

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2010063970	A2	10-06-2010	
		AU 2009323922 A1	30-06-2011
		CA 2745500 A1	10-06-2010
		CN 102301486 A	28-12-2011
		EP 2353184 A2	10-08-2011
		FR 2939239 A1	04-06-2010
		JP 2012510722 A	10-05-2012
		KR 20110099009 A	05-09-2011
		US 2011240090 A1	06-10-2011
		WO 2010063970 A2	10-06-2010

DE 3606557	A1	03-09-1987	NONE

JP 2004214442	A	29-07-2004	NONE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2012/000421

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L27/142 H01L31/0224 H01L31/18
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2010/063970 A2 (ECOLE POLYTECH [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; JOHNSON ERIK V [FR];) 10. Juni 2010 (2010-06-10)	1-5, 10-14
Y	das ganze Dokument	6-9
Y	MICHAEL BERGINSKI ET AL: "Design of ZnO:Al films with optimized surface texture for silicon thin-film solar cells", PROCEEDINGS OF SPIE, Bd. 6197, 5. April 2006 (2006-04-05), Seiten 61970Y-61970Y-10, XP55034139, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.661667 Seite 1 - Seite 3; Abbildung 1	6-9
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
 - "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 - "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
 - "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
 - "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
 - "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
 - "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
 - "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
 - "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
30. Juli 2012	03/08/2012
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Hoffmann, Niels

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 36 06 557 A1 (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM [DE]) 3. September 1987 (1987-09-03) Spalte 2, Zeile 59 - Spalte 3, Zeile 5; Abbildung 2 -----	1,2,10, 13
X	JP 2004 214442 A (SANYO ELECTRIC CO) 29. Juli 2004 (2004-07-29) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1,2,13
A	M. BERGINSKI ET AL: "ZNO Films with Tailored Material Properties for Highly Efficient Thin-Film Silicon Solar Modules", 21ST EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE : PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN DRESDEN, GERMANY, 4 - 8 SEPTEMBER 2006, WIP RENEWABLE ENERGIES, MÜNCHEN, 4. September 2006 (2006-09-04), XP040512510, ISBN: 978-3-936338-20-1 das ganze Dokument -----	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2012/000421

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2010063970 A2	10-06-2010	AU 2009323922 A1	30-06-2011
		CA 2745500 A1	10-06-2010
		CN 102301486 A	28-12-2011
		EP 2353184 A2	10-08-2011
		FR 2939239 A1	04-06-2010
		JP 2012510722 A	10-05-2012
		KR 20110099009 A	05-09-2011
		US 2011240090 A1	06-10-2011
		WO 2010063970 A2	10-06-2010

DE 3606557 A1	03-09-1987	KEINE	

JP 2004214442 A	29-07-2004	KEINE	
