

(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
27. Juni 2013 (27.06.2013)



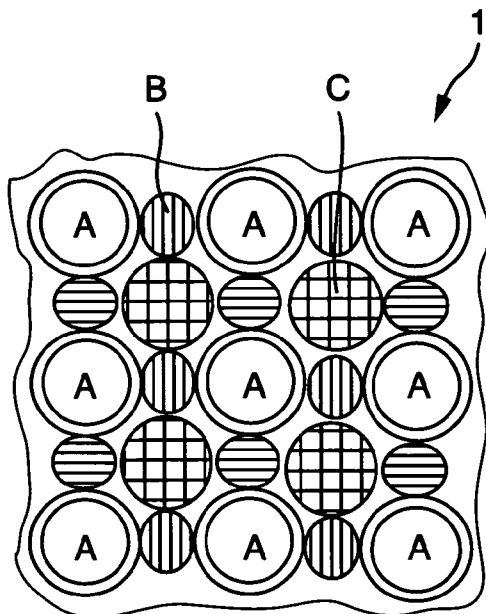
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/092259 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
H01L 31/0232 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2012/074861
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
7. Dezember 2012 (07.12.2012)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 201 1 089 245. 1
20. Dezember 2011 (20.12.2011) DE
- (71) **Anmelder:** EWE-FORSCHUNGSZENTRUM FÜR ENERGIETECHNOLOGIE E.V. [DE/DE]; Carl-von-Ossietzky-Straße 15, 26129 Oldenburg (DE).
- (72) **Erfinder:** SIEPMANN, Ortwin; Rotbuchenweg 2c, 26197 Großenkneten (DE). KABULAKWAO, Chakanga; Herbartstraße 14, 26122 Oldenburg (DE). VON MAYDELL, Karsten; Hörneweg 66, 26129 Oldenburg (DE).
- (74) **Anwälte:** DICKER, Jochen et al; Lemcke, Brommer & Partner, Bismarckstraße 16, 76133 Karlsruhe (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, PA, 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, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** OPTICAL DIFFUSER AND METHOD FOR PRODUCING AN OPTICAL DIFFUSER

(54) **Bezeichnung :** OPTISCHER DIFFUSOR UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES OPTISCHEN DIFFUSORS



(57) **Abstract:** The invention relates to an optical diffuser for photovoltaic solar cells or solar cell modules, comprising a diffuser layer. It is essential that the diffuser layer has a plurality of alternately arranged optically concentrating and optically scattering modification areas, wherein each optically concentrating modification area has a distance in the range of 1 μm to 200 μm from an adjacent optically scattering area. The invention further relates to a method for producing an optical diffuser.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen Optischer Diffuser für photovoltaische Solarzellen oder Solarzellenmodule, umfassend eine Diffusorschicht. Wesentlich ist, dass die Diffusorschicht eine Mehrzahl alternierend angeordneter optisch sammelnder und optisch streuender Modifikationsbereiche aufweist, wobei jeweils ein optisch sammelnder Modifikationsbereich zu einem benachbarten optisch streuenden Bereich einen Abstand im Bereich 1 μm bis 200 μm aufweist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Diffusors.

Fig. 1

WO 2013/092259 A2

Veröffentlicht:

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

Optischer Diffusor und Verfahren zur Herstellung eines optischen Diffusors

5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen optischen Diffusor für photovoltaische Solarzellen oder Solarzellenmodule sowie ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Diffusors für photovoltaische Solarzellen oder Solarzellenmodule.

10

Photovoltaische Solarzellen dienen zur Umwandlung einfallender elektromagnetischer Strahlung in elektrische Leistung. Hierzu weisen solche Solarzellen einen pn-Übergang auf, an welchem mittels der einfallenden Strahlung generierte Elektronen-Lochpaare getrennt und elektrischen Kontakten der Solarzelle zugeführt werden.

15

Für den Wirkungsgrad der Solarzelle ist unter anderem eine hohe Lichtausbeute wesentlich. Es ist daher wünschenswert, auf die Solarzelle auftreffende elektromagnetische Strahlung möglichst schräg, das heißt in einem möglichst flachen Winkel zur Vorder- und Rückseite der Solarzelle in die Solarzelle bzw. eine Absorberschicht der Solarzelle einzukoppeln, damit sich der in der Solarzelle zurückgelegte Strahlenweg gegenüber einer senkrechten Einkopplung verlängert. Denn ein verlängerter Strahlenweg erhöht die Absorptionswahrscheinlichkeit und damit die Wahrscheinlichkeit, dass freie Ladungsträger generiert werden, sodass sich der Wirkungsgrad ebenfalls erhöht.

25

Es ist daher bei photovoltaischen Solarzellen bekannt, an der Vorderseite, das heißt der dem Lichteinfall zugewandten Seite der Solarzelle, eine optisch möglichst transparente, texturierte Schicht vorzusehen. Die Textur ist derart ausgestaltet, dass beispielsweise senkrecht auf die Vorderseite auftreffendes Licht schräg in die Solarzelle eingekoppelt wird.

30

Insbesondere bei sogenannten Dünnschichtsolarzellen, welche typischerweise auf der Vorderseite eine transparente, elektrisch leitende Schicht wie beispielsweise TCO (Transparent Conducting Oxide) aufweisen, ist es bekannt, die TCO-Schicht zu texturieren: In der Herstellung wird dies typischerweise über Parame-

35

tervariationen in den Aufwachsverfahren oder durch chemisches Ätzen erreicht. Hierdurch entstehen beispielsweise an sich bekannte Pyramidenstrukturen. Dies weist jedoch den Nachteil auf, dass auf die TCO-Schicht nachfolgend aufgebraachte Schichten die Oberflächenstruktur der TCO-Schicht aufgrund der Texturierung mit in die nächste Schicht eingebracht wird. Dies kann insbesondere für mikrokristalline Schichten problematisch sein, da der Abscheidungsprozess mittels Aufwachsen einer mikrokristallinen Schicht durch eine nicht plane Oberfläche beeinträchtigt werden kann.

Weiterhin weisen typische vorbekannte Strukturen zur Texturierung einer TCO-Schicht typischerweise Strukturgrößen im Bereich von einigen hundert Nanometern auf. Hierdurch ist der Lichtstreuungseffekt der Textur stark wellenlängenabhängig und typischerweise lediglich im Wellenlängenbereich 350 nm bis 600 nm zufriedenstellend. Insbesondere längerwelliges Licht wird nicht oder kaum abgelenkt. Häufig wäre jedoch insbesondere auch bei längerwelligem Licht, beispielsweise bis 2500 nm, eine Erhöhung des Lichtwegs wünschenswert, da nur dann Licht aus diesem spektralen Bereich noch signifikant zur Erzeugung von Ladungsträgerpaaren beiträgt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen optischen Diffusor für photovoltaischen Solarzellen oder Solarzellenmodule sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung zu schaffen, um die vorgenannten Nachteile zu vermeiden oder zumindest zu verringern.

Gelöst ist die Aufgabe durch einen optischen Diffusor gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren gemäß Anspruch 13. Vorteilhafte Ausgestaltungen des optischen Diffusors finden sich in den Ansprüchen 2 - 12. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens finden sich in den Ansprüchen 14 und 15. Hiermit wird der Wortlaut sämtlicher Ansprüche explizit per Referenz in die Beschreibung miteinbezogen.

Der erfindungsgemäße optische Diffusor ist vorzugsweise mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. einer vorteilhaften Ausführungsform hiervon ausgebildet. Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorzugsweise zur Herstellung des erfindungsgemäßen optischen Diffusors bzw. einer vorzugsweisen Ausführungsform hiervon ausgebildet.

Der erfindungsgemäße optische Diffusor ist zur Verwendung mit einer photovoltaischen Solarzelle oder einem Solarzellenmodul geeignet und umfasst eine Diffusorschicht.

5 Wesentlich ist, dass die Diffusorschicht eine Mehrzahl alternierend angeordneter optisch sammelnder und optisch streuender Modifikationsbereiche aufweist. Der laterale Abstand zweier benachbarten Modifikationsbereiche liegt hierbei im Bereich 1 μm bis 200 μm .

10 Der erfindungsgemäße optische Diffusor weist somit eine Diffusorschicht auf, mit einer Vielzahl Modifikationsbereiche, welche einerseits als optisch sammelnde Bereiche, d.h. mit der optischen Wirkung einer Sammellinse und andererseits als optisch streuende Bereiche, d.h. mit der optischen Wirkung einer Zerstreulinse ausgebildet sind.

15 Die Erfindung ist in der Erkenntnis der Erfinder begründet, dass alternierende Anordnung der optisch sammelnden und streuenden Bereich wie vorbeschrieben die Erzielung einer optischen Diffusorwirkung ermöglicht, ohne dass eine Texturierung der Diffusorschicht zwingend notwendig ist.

20 Insbesondere kann in einer vorteilhaften Ausführungsform die Diffusorschicht eine im Wesentlichen plane Vorder- und/oder Rückseite aufweisen. Weiterhin kann in einer vorzugsweisen Ausführungsform die Diffusorschicht aus einem Material ausgebildet sein, in welchem Material die Vielzahl lateral beabstandeter
25 Modifikationsbereiche ausgebildet ist.

Der erfindungsgemäße optische Diffusor unterscheidet sich weiterhin von vorbekannten Ansätzen, bei denen periodische Strukturen mit Periodenlängen im Wellenlängenbereich des einfallenden Lichts ausgebildet werden, um wellenoptische oder quantenoptische Effekte zu erzielen. Die Modifikationsbereiche des
30 erfindungsgemäßen optischen Diffusors weisen einen lateralen Abstand zweier benachbarter Bereiche im Bereich 1 μm bis 200 μm auf, sodass insbesondere eine weniger komplexe Herstellung möglich ist.

Insbesondere ist vorzugsweise bei dem erfindungsgemäßen optischen Diffusor die Vielzahl der lateral beabstandeten Modifikationsbereiche innerhalb der Diffusorschicht ausgebildet.

5 Mittels des erfindungsgemäßen optischen Diffusors wird somit ohne zwingend notwendige Texturierung einer Oberfläche des Diffusors eine ablenkende Wirkung des einfallenden Lichts erzielt.

Vorzugsweise ist die Mehrzahl optisch sammelnder und optisch streuender Modifikationsbereiche durch einen örtlich inhomogenen Brechungsindex in der Diffusorschicht ausgebildet. Diese vorzugsweise Ausführungsform weist nach den Erkenntnissen des Erfinders den Vorteil auf, dass eine Ausbildung der optisch sammelnden und optisch streuenden Bereiche in einfacher und kostengünstiger Form durch eine örtliche Variation des Brechungsindex in der Diffusorschicht
10 erzielbar ist:

Licht kann aufgrund der lokalen Brechungsindexänderung abgelenkt werden; Licht kann aufgrund des Einfallswinkels auf eine optische Grenzfläche aufgrund der Totalreflexion abgelenkt werden; Licht kann teilweise geführt werden, wenn
20 Brechungsindexgradienten an den Grenzflächen auftreten und/oder Licht kann spektral in einzelnen Wellenlängenanteile aufgelöst werden, da typischerweise der Brechungsindex wellenlängenabhängig ist.

Mit dem erfindungsgemäßen optischen Diffusor ist somit erstmals in konstruktiv einfacher Weise eine Lichtstreuung (zumindest im Sinne einer Lichtablenkung) mittels einer Diffusorschicht bei photovoltaischen Solarzellen oder Solarzellenmodulen erzielbar.
25

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer optischen Diffusors für photovoltaische Solarzellen oder Solarzellenmodule umfasst folgende Verfahrensschritte:
30

In einem Verfahrensschritt A erfolgt das Bereitstellen einer optischen Diffusorschicht. In einem Verfahrensschritt B erfolgt ein Erzeugen einer Mehrzahl alternierend angeordneter optisch sammelnder und optisch streuender Modifikationsbereiche in der Diffusorschicht,
35

wobei jeweils ein optisch sammelnder Modifikationsbereich zu einem benachbarten optisch streuenden Bereich einen Abstand im Bereich 1 μm bis 200 μm aufweist.

5 Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ist erstmals in einfacher und somit kostengünstiger Weise ein optischer Diffusor insbesondere auch großflächig, beispielsweise zur Verwendung bei Dünnschichtsolarzellen oder Solarzellenmodulen herstellbar. Das erfindungsgemäße Verfahren weist darüber hinaus die zuvor genannten Vorteile auf.

10

Vorzugsweise sind die Modifikationsbereiche zumindest in einer lateralen Richtung periodisch angeordnet. Insbesondere ist es vorteilhaft, dass die Modifikationsbereiche in zwei nicht parallelen, vorzugsweise senkrecht zueinander stehenden, lateralen Richtungen periodisch angeordnet sind. Besonders vorteilhaft ist es, dass die Zentren der Modifikationsbereiche eine Gitterstruktur bilden, vorzugsweise eine Gitterstruktur mit einer rechteckigen, bevorzugt quadratischen Einheitszelle. Hierdurch ist eine kostengünstige Herstellung möglich und ebenso wird die zuvor beschriebene Diffusorwirkung in dem genannten Wellenlängenbereich begünstigt.

20

Vorzugsweise liegt der laterale Abstand zwischen den Zentren jeweils zwei benachbarter Modifikationsbereiche im Bereich 2 μm - 100 μm , bevorzugt 5 μm - 50 μm . Je nach Herstellungsverfahren können die Modifikationsbereiche unterschiedliche Formen aufweisen. Typischerweise weisen die Modifikationsbereiche des optischen Diffusors in etwa zylindrische oder kugelförmige Formen auf. Vorzugsweise ist das Zentrum eines Modifikationsbereiches als Mittelpunkt einer den Modifikationsbereich einhüllenden Kugel oder eines den Modifikationsbereich einhüllenden Zylinder definiert.

25

30 Die vorgenannten vorzugsweisen Ausführungsformen hinsichtlich des lateralen Abstands zwischen den Zentren der Modifikationsbereiche begünstigen jeweils die Diffusionswirkung in dem für Solarzellen relevanten Spektralbereich, insbesondere im Bereich 300 nm bis 2500 nm.

35

Vorzugsweise ist die Diffusorschicht aus mindestens einem der Materialien Glas, insbesondere fotosensitives Glas, Kristall, Keramik, Kunststoff, insbeson-

dere Polymer, Lack, Silikon ausgebildet. Hierdurch kann auf sich bekannte Verfahren zur lokalen Modifikation des Brechungsindex zurückgegriffen werden. Weiterhin stellen vorbekannte Materialien bekannte Materialien zur Herstellung von Solarzellen bzw. Solarzellenmodulen dar.

5

Der erfindungsgemäße optische Diffusor ist insbesondere zur inhärenten Integration in eine photovoltaische Solarzelle geeignet. Die erfindungsgemäße Aufgabe wird somit ebenfalls durch eine photovoltaische Solarzelle, umfassend mindestens einen PN-Übergang zur Ladungsträgertrennung, gelöst, welche photovoltaische Solarzelle einen erfindungsgemäßen optischen Diffusor bzw. eine vorteilhafte Ausführungsform hiervon umfasst. Insbesondere ist der erfindungsgemäße Diffusor zur Ausbildung großflächiger, an sich bekannter, Dünnschicht solarzellen geeignet, insbesondere Silizium-Dünnschicht solarzellen.

10

Hierbei ist es vorteilhaft, dass die Diffusorschicht auf der bei Betrieb der einfallenden Strahlung zugewandten Seite des PN-Übergangs angeordnet ist, Auf diese Weise ersetzt der erfindungsgemäße Diffusor somit etwaige Texturerungen bei vorbekannten Dünnschicht solarzellen.

Alternativ oder zusätzlich ist es vorteilhaft, dass die Diffusorschicht auf der beim Betrieb der einfallenden Strahlung abgewandten Seite des PN-Übergangs angeordnet ist und dass auf der bei Betrieb der einfallenden Strahlung abgewandten Seite der Diffusorschicht eine als optischer Spiegel wirkende Schicht, insbesondere bevorzugt eine metallische Schicht, angeordnet ist. In diesem Fall wird eine Wirkungsgrad steigernde Wirkung dadurch erzielt, dass Licht, welches die Solarzelle, insbesondere deren Absorberschicht, durchdringt, an der Rückseite mittels des optischen Spiegels reflektiert wird, hierbei jedoch aufgrund der Diffusorschicht in einem flacheren Winkel die Solarzelle bzw. deren Absorberschicht ein zweites Mal durchläuft, sodass die Absorptionswahrscheinlichkeit erhöht ist.

25

30

Der erfindungsgemäße optische Diffusor kann insbesondere kostengünstig großflächig hergestellt werden und ist damit insbesondere auch zum Einsatz bei der Herstellung eines Solarzellenmoduls geeignet. Die erfindungsgemäße Aufgabe wird somit ebenso durch ein Solarzellenmodul gelöst, welches Solarzellenmodul eine Mehrzahl lateral nebeneinander angeordneter photovoltaischer Solarzellen

35

umfasst, welche Solarzellen elektrisch miteinander verbunden sind, vorzugsweise in an sich bekannter Weise, beispielsweise durch Ausbildung mehrerer Strings, welche in Reihe geschaltet sind. Wesentlich ist, dass das Solarzellenmodul einen erfindungsgemäßen optischen Diffusor bzw, vorzugsweise Ausführungsformen hiervon aufweist, welcher optische Diffusor die Mehrzahl von Solarzellen überdeckt. Vorzugsweise ist der optische Diffusor an der dem einfallenden Licht zugewandten Seite der Solarzellen angeordnet. Hierbei wird somit auf Modulebene eine Wirkungsgradsteigerung erzielt, indem mittels des Diffusors ein längerer Lichtweg des einfallenden Lichts in den Solarzellen erzielt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des optischen Diffusors ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass in Verfahrensschritt B die Modifikationsbereiche mittels lokalen Wärmeeintrags in die optische Diffusorschicht erzeugt werden, Hierdurch ist eine besonders kostengünstige Herstellung möglich. Insbesondere ist es kostengünstig, den lokalen Wärmeeintrag mittels eines Lasers zu erzielen. Hier kann insbesondere auf an sich bekannte Lasersysteme mit entsprechenden Ablenkeinheiten bzw. XY-Tischen zurückgegriffen werden.

Untersuchungen des Anmelders haben ergeben, dass eine verbesserte Lichtstreuungswirkung erzielt wird, indem in Verfahrensschritt B an jedem Modifikationsbereich zusätzlich mindestens ein weiterer Modifikationsbereich über und/oder unter dem Modifikationsbereich erzeugt wird. Insbesondere ist es vorteilhaft, jeweils eine Mehrzahl übereinander liegender Modifikationsbereiche zu erzeugen.

Bei Verwendung eines Lasers zur Erzeugung des Modifikationsbereiches mittels lokalem Wärmeeintrag ist dies in kostengünstiger Weise durch entsprechende Wahl des Fokusbereiches des in die optische Diffusorschicht eindringenden Laserstrahls realisierbar.

Zur Ausbildung der Modifikationsbereiche kann grundsätzlich auf an sich bekannte Verfahren zurückgegriffen werden, beispielsweise auf die in *Siebenmorgen, Herstellung von Wellenleitern mittels Femtosekunden-Laserstrukturierung in Nd- und Yb-dotierten YAG-Kristallen, Dissertation 2010, Universität Hamburg* beschriebenen.

Insbesondere liegt es im Rahmen der Erfindung, zur Ausbildung der Modifikationsbereiche eines oder mehrerer der folgenden Verfahren zu verwenden: spannungsinduzierte Brechungsindexänderung, Erzeugung von Farbzentren, Laserinduzierte Kristallisation in Glasvolumen, Strukturänderung der Glasmatrix, Brechungsindexänderung durch Änderung der fiktiven Temperatur, Mikroexplosion in Dielektrika.

Untersuchungen der Erfinder haben gezeigt, dass insbesondere Ultrakurzpulslaser, vorzugsweise mit einer Pulsdauer im Bereich 10 ps zur Herstellung eines erfindungsgemäßen optischen Diffusors geeignet sind. Insbesondere die Bearbeitung von Glas zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Diffusors ist mit einem Ultrakurzpulslaser möglich.

Weiterhin zeigen Untersuchungen der Erfinder, dass vorzugsweise jeweils 2 - 50, bevorzugt 5 - 30, weiter bevorzugt 10 - 20, insbesondere bevorzugt 15 Modifikationsbereiche übereinander angeordnet werden.

Der erfindungsgemäße optische Diffusor kann an unterschiedlichen Stellen eingesetzt werden. Es ist insbesondere der Einsatzbereich nicht darauf beschränkt, den Diffusor auf der dem Lichteinfall zugewandten Seite einer Solarzelle anzuordnen. Ebenso kann, wie zuvor beschrieben, der Diffusor auch auf der dem Lichteinfall abgewandten Seite der Solarzelle bzw. der absorbierenden Schicht der Solarzelle verwendet werden. Dies ist insbesondere bei flexiblen Materialien vorteilhaft, insbesondere bei Verwendung von Kunststoffen oder Lacken als Material für die Diffusorschicht.

Weitere vorzugsweise Merkmale und Ausführungsformen werden im Folgenden anhand der Figuren und von Ausführungsbeispielen beschrieben. Dabei zeigt;

Figur 1 eine Modelldarstellung eines erfindungsgemäßen Diffusors als Teilausschnitt in Draufsicht von oben;

Figur 2 ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Dünnschichtsolarzelle und

Figur 3 ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Dünnschichtsolarzelle.

Figur 1 zeigt eine zweidimensionale Modelldarstellung eines Teilausschnitts eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Diffusors in Draufsicht auf die dem Lichteinfall zugewandten Seite. In einer als Glassubstrat ausgebildeten Diffusorschicht 1 wurden mittels eines Ultrakurzpuls-Lasers Modifikationsbereiche eingebracht.

Das Glassubstrat weist einen Brechungsindex von $n=1,5078$ (bei einer Wellenlänge von $643,8 \text{ nm}$) auf. Grundsätzlich ist auch die Verwendung von Materialien mit einem anderen Brechungsindex möglich. Vorzugsweise liegt der Brechungsindex im Bereich $n=1,45$ bis $n=1,55$.

Mittels des Lasers wurde an den in Figur 1 mit A gekennzeichneten Positionen durch Wärmeeintrag die Struktur der Diffusorschicht 1 modifiziert:

Die Fokusebene des Lasers lag hierbei innerhalb des Volumens der Diffusorschicht, dementsprechend auch die größte erzeugte Energiedichte. In der Praxis ist die Fokusebene als dreidimensionaler Fokussierbereich anzunehmen, das heißt es ergibt sich ein in etwa tonnenförmiges Fokusvolumen. Für das verwendete Glas existieren zwei kritische Punkte, zum einen der Schmelzpunkt, zum anderen die Zerstörschwelle. Beide Punkte können mit dem Laser direkt über Vorgabe der mittleren Laserleistung angesteuert werden, wobei sich die mittlere Laserleistung typischerweise über die Pulsspitzenleistung und die optische Parameter des Lasers, insbesondere der Brennweite der Fokussieroptik, bestimmt.

Mittels des Lasers wurde an den mit A erzeugten Positionen lokal ein Aufschmelzen des Glases erzielt und damit die Gitterstruktur modifiziert. Hierdurch bildeten sich zum Beispiel kristalline Bereiche mit unterschiedlichem Brechungsindex. Insbesondere wurden durch die Gitterstrukturänderung und die daraus resultierende Volumensänderung kleine Verspannungen im restlichen Glasvolumen erzeugt. Ein weiterer Effekt des Wärmeeintrags kann aufgrund der Erzeugung von Mikrorissen im Glas entstehen, welche Mikrorisse sich an Glasdefekten oder aufgrund zu starker Verspannungen ausbilden. Hieraus ergibt sich eine Brechungsindexänderung im Volumenbereich des Fokuspunktes. Es erfolgt

somit eine Verschiebung des Fokuspunktes bei aufeinander folgenden Laserpunkten, sodass „automatisch“ bei Beaufschlagung des Substrates mit mehreren aufeinander folgenden Laserpulsen übereinander liegende Modifikationsbereiche ausgebildet wurden.

5

In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde an jeder Position A jeweils das Glas mit 15 aufeinander folgenden Laserpulsen beaufschlagt, sodass sich 15 übereinander liegende Modifikationsbereiche ausbildeten.

10 Wie Figur 1 zeigt, bildet sich ein wesentlicher, vorteilhafter Effekt heraus:

In den schraffiert dargestellten Bereichen (ein Bereich ist beispielsweise mit „B“ gekennzeichnet) gemäß Figur 1 tritt eine Verspannung im Glas auf, da jeweils benachbarte Modifikationsbereiche zu einer Glasausdehnung führen und somit
15 in den kariert dargestellten Bereichen durch „Gegeneinanderdrücken“ jeweils zweier benachbarter Bereiche A eine zusätzliche Verspannung im Glasvolumen entsteht. Hierdurch wird der Brechungsindex beeinflusst und daher wirken die kariert dargestellten Bereiche wie eine optische Sammellinse, diese Bereiche stellen somit optisch sammelnde Modifikationsbereiche dar.

20

Die dazwischenliegenden kariert dargestellten Bereichen (ein Bereich ist beispielsweise mit „C“ gekennzeichnet) wirken demgegenüber hingegen wie eine optische Streulinse und stellt somit einen optisch streuenden Modifikationsbereich dar. Zusätzlich können sich in diesen Bereichen Mikrorisse im Glas ausbil-
25 den und als Streuzentren agieren.

Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Solarzelle, welche als an sich bekannte Dünnschichtsolarzelle umfassend eine TCO-Schicht 3, eine amorphe Siliziumschicht 4 und eine rückseitig aufgebrachte metallische
30 Kontaktierungsschicht 5 aufweist.

Die Darstellungen der Dünnschichtsolarzellen in den Figuren 2 und 3 sind schematisch und stark abstrahiert. Es sind Teilschnitte dargestellt, d.h. in den Figuren 2 und 3 steht die den Lichteinfall zugewandte Oberfläche der Solarzelle
35 jeweils senkrecht zur Zeichenebene. Hinsichtlich des strukturellen Aufbaus der Solarzelle, insbesondere Kontaktierung und Anordnung des PN-Übergangs, sind

diese Solarzellen in an sich bekannter Form ausgebildet, wie beispielsweise in *Thin-Film Solar Cells, Y. Hamakawa, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2004, ISBN 3-540-43945-5*, insbesondere auf den Seiten 106ff. und den Figuren 6.1 und 6.2 beschrieben.

5

Wesentlich ist, dass bei dem ersten Ausführungsbeispiel auf der dem Lichteinfall zugewandten Seite, das heißt in Figur 1 oben liegend, ein Ausführungsbeispiel einer optischen Diffusorschicht, beispielsweise die gemäß Figur 1 beschriebene, mittels einer Glasschicht ausgebildete Diffusorschicht 1 angeordnet ist.

10

Hierdurch verändert sich der Wirkungsgrad der Solarzelle, da aufgrund der Schrägeinkopplung des einfallenden Lichtes mittels der Diffusorschicht 1 sich der Lichtweg in der amorphen Siliziumschicht 4 und damit die Lichtabsorption erhöht.

15

Hieraus ergibt sich weiterhin der Vorteil, dass die TCO-Schicht 3 nicht wie bei typischen vorbekannten Dünnschichtsolarellen strukturiert werden muss. Die TCO-Schicht kann vielmehr hinsichtlich der elektrischen Ableitung von Ladungsträgern optimiert werden.

20

Darüber hinaus wird mittels der Diffusorschicht 1 eine Lichtstreuung im Wellenlängenbereich 350 nm bis 2500 nm erzielt, sodass auch hierdurch der Wirkungsgrad erhöht wird.

25

Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer photovoltaischen Solarzelle, welche grundsätzlich analog zu der gemäß Figur 2 dargestellten Solarzelle ausgebildet ist und ebenfalls eine TCO-Schicht 3, eine amorphe Siliziumschicht 4 und eine metallische Kontaktierungsschicht 5 aufweist.

30

Darüber hinaus weist die Solarzelle gemäß des zweiten Ausführungsbeispiels eine zweite TCO-Schicht 3a auf, welche auf der dem Lichteinfall abgewandten Seite der amorphen Siliziumschicht angeordnet ist. Zwischen der zweiten TCO-Schicht 3a und der Kontaktierungsschicht 5 ist die Diffusorschicht 1 angeordnet.

35

In diesem Ausführungsbeispiel wirkt die Diffusorschicht somit dadurch Wirkungsgrad steigernd, dass Licht, welches nicht in der amorphen Siliziumschicht 4 absorbiert wird, mittels der Kontaktierungsschicht 5 reflektiert wird, jedoch zusätzlich mittels der Diffusorschicht gestreut und somit schräg wieder in die amorphe Siliziumschicht 4 eingekoppelt wird, sodass sich bei diesem zweiten Eintreten in die amorphe Siliziumschicht 4 der Lichtweg verlängert und die Absorptionswahrscheinlichkeit erhöht wird.

10

Ansprüche

1. Optischer Diffusor für **photovoltaische** Solarzellen oder Solarzellenmodu-
5 le, umfassend eine **Diffusorschicht (1)**,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Diffusorschicht (1) eine Mehrzahl alternierend angeordneter op-
tisch sammelnder und optisch streuender Modifikationsbereiche aufweist,
wobei jeweils ein optisch sammelnder Modifikationsbereich zu einem be-
10 nachbarten optisch streuenden Bereich einen Abstand im Bereich 1 pm
bis 200 μm aufweist.
2. Optischer Diffusor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass die Mehrzahl optisch sammelnder und optisch streuender Modifika-
tionsbereiche durch einen örtlich inhomogenen Brechungsindex in der
Diffusorschicht (1) ausgebildet sind.
3. Optischer Diffusor nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
20 dadurch gekennzeichnet,
der laterale Abstand zwischen den Zentren jeweils zwei benachbarter
Modifikationsbereiche im Bereich 2 pm bis 100 μm , bevorzugt im Bereich
5 pm bis 50 pm liegt.
- 25 4. Optischer Diffusor nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Modifikationsbereiche zumindest in einer lateralen Richtung pe-
riodisch angeordnet sind, vorzugsweise,
dass die Modifikationsbereiche in zwei nicht parallelen, vorzugsweise
30 senkrecht zueinander stehenden, lateralen Richtungen periodisch ange-
ordnet sind.
5. Optischer Diffusor nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
35 dass die Zentren der optisch sammelnden Modifikationsbereiche und/oder
der optisch streuenden Modifikationsbereiche eine Gitterstruktur bilden,

vorzugsweise eine Gitterstruktur mit einer rechteckigen, bevorzugt quadratischen Einheitszelle.

- 5 6. Optischer Diffusor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der laterale Abstand zwischen den Zentren jeweils zweier benachbarter Modifikationsbereiche im Bereich $2\ \mu\text{m}$ bis $100\ \mu\text{m}$, bevorzugt $5\ \mu\text{m}$ bis $50\ \mu\text{m}$ liegt.
- 10 7. Optischer Diffusor nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Diffusorschicht (1) aus mindestens einem der Materialien Glas, insbesondere fotosensitives Glas, Kristall, Keramik, Kunststoff, insbesondere Polymer, Lack, Silikon ausgebildet ist.
- 15 8. Photovoltaische Solarzelle umfassend mindestens einen pn-Übergang zur Ladungsträgertrennung und einen optischen Diffusor gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche.
- 20 9. Solarzelle nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Solarzelle als Siliziumdünnschicht solarzelle ausgebildet ist.
- 25 10. Solarzelle nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Diffusorschicht (1) auf der bei Betrieb der einfallenden Strahlung zugewandten Seite des pn-Übergangs angeordnet ist.
- 30 11. Solarzelle nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Diffusorschicht (1) auf der bei Betrieb der einfallenden Strahlung abgewandten Seite des pn-Übergangs angeordnet ist und dass auf der bei Betrieb der einfallenden Strahlung abgewandten Seite der Diffusorschicht (1) eine als optischer Spiegel wirkende Schicht, bevorzugt eine metallische Schicht, angeordnet ist.
- 35

12. Solarzellenmodul,

umfassend eine Mehrzahl lateral nebeneinander angeordneter photovoltaischer Solarzellen, welche elektrisch miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet,

5 dass das Solarzellenmodul einen optische Diffusor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 aufweist, welcher optische Diffusor die Mehrzahl von Solarzellen überdeckt.

13. Verfahren zur Herstellung eines optischen Diffusors für photovoltaische Solarzellen oder Solarzellenmodule,

10

folgenden Verfahrensschritte umfassend:

A Bereitstellen einer optischen Diffusorschicht (1);

15

B Erzeugen einer Mehrzahl alternierend angeordneter optisch sammelnder und optisch streuender Modifikationsbereiche in der Diffusorschicht (1),

wobei jeweils ein optisch sammelnder Modifikationsbereich zu einem benachbarten optisch streuenden Bereich einen Abstand im Bereich $1 \mu\text{m}$ bis $200 \mu\text{m}$ aufweist.

20

14. Verfahren nach Anspruch 13,

dadurch gekennzeichnet,

dass in Verfahrensschritt B die Modifikationsbereiche mittels lokalen

25

Wärmeeintrags in die optische Schicht erzeugt werden, insbesondere mittels eines Lasers.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 14,

dadurch gekennzeichnet,

30

dass in Verfahrensschritt B an jedem Modifikationsbereich zusätzlich mindestens ein weiterer Modifikationsbereich über und/oder unter dem Modifikationsbereich erzeugt wird, vorzugsweise, dass jeweils eine Mehrzahl übereinanderliegender Modifikationsbereiche erzeugt werden.

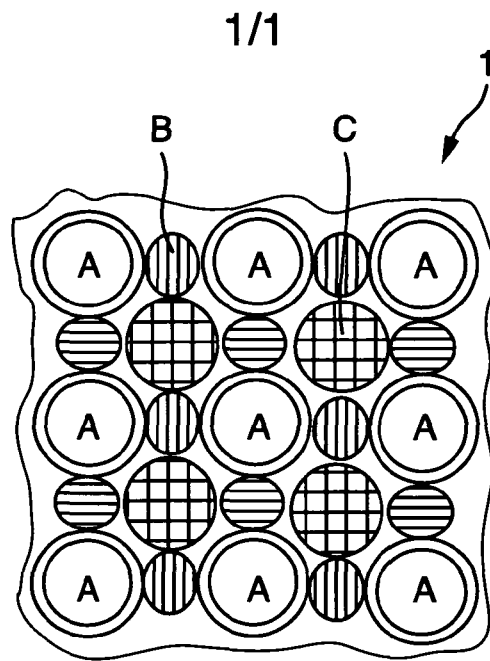


Fig. 1

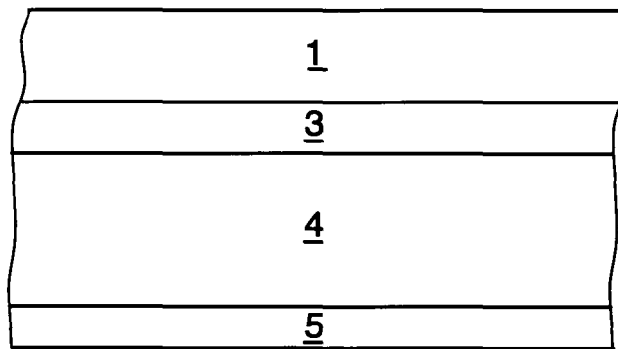


Fig. 2

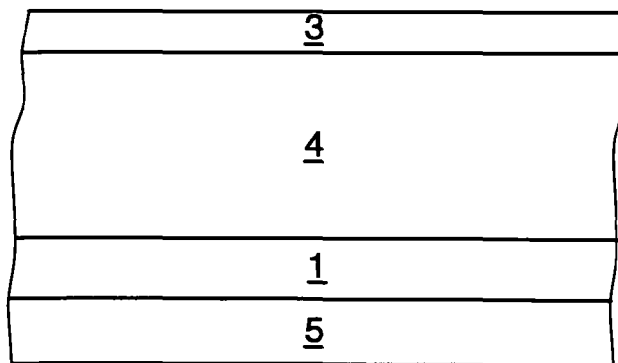


Fig. 3