



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 20 2009 007 771 U1** 2009.09.24

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2009 007 771.3**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 31/052** (2006.01)

(22) Anmeldetag: **03.06.2009**

(47) Eintragungstag: **20.08.2009**

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **24.09.2009**

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
Danz, Rudi, Dr. habil., 14532 Kleinmachnow, DE

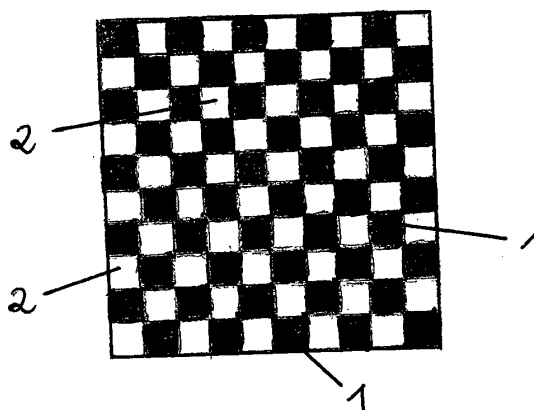
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Photovoltaik-Module zur Strahlungskonzentration**

(57) Hauptanspruch: Photovoltaik-Modul zur Strahlungskonzentration gekennzeichnet dadurch, dass Solarzellen und Licht transportierende Schichten oder mit Licht transportierenden Schichten versehene optische Chips schachbrettartig auf einem optisch hoch transparenten Solarglas- oder Polymer-Substrat aufgebracht sind und in den Licht transportierenden Schichten Materialien enthalten sind, die

(a) durch Fluoreszenz kurzwellige in längerwellige Strahlung (down-conversion) und/oder längerwellige in kurzwellige (up-conversion) Strahlung wandeln und/oder

(b) die Strahlung diffus reflektieren und als Lambertsche Strahler wirken.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein neuwertiges Modul zur photovoltaischen Energieerzeugung und Strahlungsdetektion.

[0002] Die Konzentrator-Photovoltaik (CPV-Technik) stellt eine Technologie dar, die es prinzipiell ermöglicht, durch Lichtkonzentration hochwertige Solarzellen einzusparen und damit die Kosten der Solarstromerzeugung zu senken. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die optischen Systeme zur Lichtbündelung weniger kosten als effiziente Solarzellen (<http://www.solarserver.de/news/news-10404.html>, 23.03.2009). Zur Bündelung der Solarstrahlung verwendet man entweder Spiegel (DE 11 2006 001229 T5) oder Linsen (DE 20 2007 000529 U1, DE 10 2005 047132 A1, DE 10 2004 001248 B3, DE 20302944 U1, DE 19937448 A1). Die vorgestellten CPV-Technologien sind aufgrund ihrer komplizierten Konstruktion und Beschaffenheit meist nur für den Laborbetrieb und nicht für den praktischen Einsatz in Solarkraftwerken und Eigenheimen geeignet. Photovoltaik-Konzentratoren bündeln z. B. mit Reflektorspiegeln die einfallende Solarstrahlung zweifach konzentriert auf Solarzellen auf der Fokuslinie des Kollektors. Dadurch reduziert sich der Anteil an teuren Solarzellen, die Spiegelfläche ist billiger als die Solarzellenfläche (R. Hug, „Konzentrator-Photovoltaik bringt die Sonne auf den Punkt: neue deutsche Technologie für effiziente Solar-Kraftwerke“, http://www.solarserver.de/solarmagazin/solar-report_0408.html). Unter Anwendung von aufwändigeren CPV-Technologien erhält man durch Lichtbündelung mit Fresnel-Linsen 500-fach konzentrierte Solarstrahlung, die auf Hochleistungssolarzellen auf Basis von GaInP/GaInAs mit einem Durchmesser von ca. 2 mm geleitet wird (E. R. Weber, „Mit der Kraft der Sonne“, Fraunhofer Magazin 3. 2007, S. 48, Presse-Mitteilung der Concentrix Solar GmbH, 06. Mai 2009, Concentrix Solars Flatcon®-Technologie). Die beschriebenen CPV-Technologien können nur direktes Sonnenlicht in Strom wandeln und benötigen ein optisches Nachführsystem, das ihre Einsatzmöglichkeiten stark begrenzt. Als weitere Nachteile sind ihre zum Teil sehr aufwändige Fertigung und Justage sowie ihre fehlende Kompatibilität zu herkömmlichen Solarmodul-Technologien zu nennen. Des weiteren werden zur Lichtkonzentration auch in die Solarzellen integrierte dielektrische Mikroprismen verwendet (O. Korech, J. M. Gordon, E. U. Katz, D. Feuermann, N. Eisenberg, „Dielectric microconcentrators for efficiency enhancement in concentrator solar cells“, Optics Letters, Vol. 32 (2007), No. 19, S. 2789–2791). Die Fertigung der Mikrokonzentratoren benötigt aufwändige Mikrostrukturtechniken und ihr Einsatz ist nur für Spezialanwendungen geeignet.

[0003] Mit organischen Fluoreszenzfarbstoffen dotierte Fluoreszenzkollektor-Platten auf Acrylglas-Ba-

sis dienen auch der Strahlungskollektion. Dabei wird die Strahlung großflächig aufgesammelt und gelangt zu den schmalen Kanten des Fluoreszenzkollektors, wo die Solarzellen aufgebracht sind (P. D. Swift, G. B. Smith, „Color considerations in fluorescent solar concentrator stacks“, Applied Optics, Vol. 42 (2003), No. 25, S. 5112–5117). Fluoreszenzkollektoren gelangten kaum zu einem praktischen Einsatz, da durch optische Verluste im Kollektor ihr Wirkungsgrad nicht ausreichte.

[0004] Es ist demnach Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Photovoltaik-Modul bereitzustellen, das teure Solarzellen einspart, einfach und preiswert herzustellen sowie kompatibel zu herkömmlichen Solarmodultechnologien ist und eine wesentliche Kostenreduzierung bezogen auf die erzeugte elektrische Leistung ermöglicht und die Effizienz der Solarzellen steigert.

[0005] Bei der Herstellung von Solarmodulen werden Dünnschicht-Solarzellen oder Solarzellen aus Silizium-Wafern auf ein hoch transparentes Solarglas-Substrat aufgebracht, das die Solarstrahlung zu den Solarzellen leitet und sie vor äußeren Einwirkungen schützt.

[0006] Die vorliegende Erfindung stellt ein Solarmodul bereit, in dem Dünnschicht-Solarzellen auf Basis von Silizium, Cadmium-Tellurid, Cadmium-Sulfid, Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid, Kupfer-Indium-Sulfid, Kupfer-Indium-Gallium-Schwefel-Selen und weiteren Mischverbindungen aus diesen Elementen und/oder Solarzellen aus Silizium-Wafern, Gallium-Arsenid und Indiumphosphid-Verbindungen, Germanium, Selen, Gallium-Indium-Phosphid, Gallium-Indium-Arsenid und weiteren Mischverbindungen aus diesen Elementen oder organische Solarzellen und Licht transportierende optische Schichten auf dem Solarglas-Substrat in einer Schachbrettanordnung aufgebracht sind. Dabei wird die der Solarstrahlung abgewandte Oberfläche des Solarglases gemäß [Fig. 1](#) schachbrettartig aufgeteilt und auf den den schwarzen Feldern zuzuordnenden Flächenbereichen Solarzellen **1** aufgebracht, während die den weißen Feldern zuzuordnenden Flächenbereiche mit den Licht transportierenden Schichten **2** versehen werden. Dadurch wird mit der vorliegenden Erfindung auf Kosten von mehr Fläche nur die Hälfte an teuren Solarzellen benötigt. Aufgrund der Schachbrettanordnung von Solarzellen und Licht transportierenden Schichten ist jede Solarzelle von vier Licht transportierenden Segmenten umgeben, die die Solarstrahlung, die nicht direkt auf die Solarzellen trifft, zu den Solarzellen leitet und dort zu einer Lichtkonzentration -bzw. verstärkung von mindestens 1,5 führt. Durch die schachbrettartige Anordnung von Solarzellen und Licht transportierenden Schichten wird das von den Licht transportierenden Schichten kommende ungerichtete Licht immer in eine Solarzel-

le geleitet, da in allen Lichtausbreitungsrichtungen – aufgrund der Schachbrettanordnung – eine Solarzelle angeordnet ist. Darüber hinaus erhält überraschenderweise die entsprechende Solarzelle nicht nur Licht von den sie umgebenden vier Licht transportierenden Schichten, sondern auch weiter von der Solarzelle entfernt angeordnete Licht transportierende Schichten versorgen sie mit Strahlung.

[0007] Die Licht transportierenden Schichten **2** setzen sich gemäß [Fig. 2](#) aus organischen und anorganischen Fluoreszenzmaterialien **5**, und/oder als Lambertsche Strahler wirkende diffus reflektierende Materialien **6** zusammen, die die auf sie auftreffende Solarstrahlung **7** absorbieren, Frequenz verschoben emittieren und optisch isotrop bzw. diffus in das Solarglas **3** zurückreflektieren und dort infolge von Totalreflexion zu den mit einer optisch transparenten Klebeschicht auf das Solarglas-Substrat **3** aufgebrachten Solarzellen **1** leiten. Die Lichttransportierenden Schichten sind dabei so zusammengesetzt, dass sie für die einfallende Solarstrahlung eine Transmission kleiner als 0,1% aufweisen und sehr effizient das Licht reflektieren und zu den Solarzellen lenken. Bei optimaler Zusammensetzung der Licht transportierenden Schichten wird mehr als 55% der auf sie auftreffenden Solarstrahlung zu den benachbarten Solarzellen geleitet und nicht wieder aus dem Solarglas-Substrat zurückreflektiert. Das hängt damit zusammen, dass durch die Licht transportierenden Schichten optisch isotropes Licht im Solarglas-Substrat erzeugt wird, das im Solarglas einer Totalreflexion unterliegt, dann in die benachbarten Solarzellen ausgekoppelt wird und dort eine Strahlungskonzentration bewirkt. Statt Solarglas kann auch ein optisch hoch transparentes Polymermaterial, wie z. B. Acrylglas, verwendet werden.

[0008] Die in den Licht transportierenden Schichten verwendeten Fluoreszenzmaterialien bestehen aus optisch transparenten Polymermaterialien, die mit fluoreszierenden Farbstoffen und Pigmenten, Quantenpunkten, Phosphoren und deren Mischungen dotiert sind. Die fluoreszierenden Farbstoffe bestehen z. B. aus sehr lichtstabilen Xanthenen, Rhodaminen, Oxazinen, Perylenen, Pyrromethenen, Naphthalimiden, während die Quantenpunkte z. B. aus der Gruppe bestehend aus InAs, InP, CdSe, ZnS, ZnO, PbS, CdS, ZnTe, GaAs, GaP, GaN, InGaAs, GaInP/InP, CdO, CdTe, ZnSe, HgS, HgSe, HgTe, PbS, PbSe, PbTe ausgewählt werden. Als Phosphore enthalten die Licht transportierenden Schichten Leuchtstoffe, z. B. aus der Gruppe der Seltenerdmetallen, dotierte Phosphate, Silikate, Germanate, Vanadate, Arsenate, Wolframdate, Molybdate, Aluminate, Gallate, Nitride und Borate. Die in die Licht transportierenden Schichten integrierten diffus reflektierenden Materialien setzen sich aus Reflektorfarben auf Basis von Bariumsulfat und Titandioxid, aus Silberpasten, Siliziumnitrid, Keramiken, Teflonschichten und Pigmenten

sowie Silberpasten zusammen.

[0009] Die in die Licht transportierenden Schichten integrierten Fluoreszenzmaterialien haben neben der Funktion des Lichttransportes zu den Solarzellen die Aufgabe, kurzwellige Solarstrahlung im Bereich von 300 nm bis ca. 500 nm spektral in den Bereich oberhalb 600 nm zu wandeln (down-conversion) und auf diese Weise das Spektrum der Solarstrahlung besser der spektralen Empfindlichkeit der Solarzellen anzupassen. Dadurch wird ebenfalls die Effizienz der Solarzellen verbessert.

[0010] In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung werden weitere Materialien in die Licht transportierenden Schichten eingebracht, die ebenfalls das Spektrum der Solarstrahlung der spektralen Empfindlichkeit der verwendeten Solarzellen anpassen. In einem so genannten up-Konvertermaterial werden zwei niederenergetische, von der Solarzelle nicht absorbierbare Photonen in einem Zweistufen-Prozess absorbiert und in ein Photon mit größerer Photonenenergie gewandelt (up-conversion), das in der Solarzelle absorbiert werden kann und Strom erzeugt. Materialien, die eine Photonen-induzierte multiple Excitonen-Erzeugung gestatten, stellen ebenfalls up-Konverter-Materialien dar und führen auch zur spektralen Umwandlung niederenergetischer Infrarotstrahlung in höherenergetische Strahlung, die von der Solarzelle in Strom gewandelt werden kann. Als up-Konverter-Materialien kommen Selten-Erden-Verbindungen, Übergangsmetalle, 2-6-Halbleiter, nanoskalige Halbleiterstrukturen, wie z. B. Quantenpunkte, infrage. Beispiele für solche Materialien mit hoher Umwandlungseffizienz sind Zinksulfid-Nanopartikel dotiert mit Europium-, Mangan- oder Kupfer-Ionen, infrarot stimulierbare Leuchtstoffe und Lumineszenzpigmente sowie Calcium-Sulfid-Nanokristalle dotiert mit Selten-Erden-Ionen.

[0011] Die in quadratischen und rechteckigen Abmessungen vorliegenden Solarzellen und Licht transportierenden Schichten haben Kantenlängen im Bereich von 2 mm bis 200 mm. Die Dicke der Licht transportierenden Schichten beträgt zwischen 0,05 mm bis 5 mm. Statt der Licht transportierenden Schichten können auch aus Kunststoff-, Metall- und Halbleiter-Substraten bestehende optische Chips verwendet werden, die auf ihren Oberflächen die Licht transportierenden Schichten mit den optisch aktiven fluoreszierenden und diffus reflektierenden Materialien tragen und während des technologischen Herstellungsprozess für die Solarmodule gemeinsam mit den Solarzellen auf die Solarglas-Substrate schachbrettartig aufgebracht werden, wobei die optisch aktiven Materialien tragenden Oberflächen der Chip-Substrate dem Solarglas-Substrat zugewendet sind. Die optischen Chips haben für die Umsetzung der erfindungsgemäßen Photovoltaik-Module in die Praxis eine herausragende Bedeutung, da ihre An-

wendung mit herkömmlichen Wafer-Modultechnologien voll kompatibel ist. Die erfindungsgemäßen Photovoltaik-Module können auch neben ihrem Einsatz in der Solartechnik sehr effizient in der Strahlungsmesstechnik angewendet werden mit Einsparung von sehr teurem Detektormaterial.

[0012] Die erfindungsgemäßen Photovoltaik-Module haben den entscheidenden Vorteil, dass sie einfach und preiswert herzustellen sind und in herkömmliche Modultechnologien einfach zu integrieren sind. Sie sind zur Stromerzeugung auch mit diffuser Strahlung und insbesondere für einen Einsatz in Solarkraftwerken sehr gut geeignet. Durch die schachbrettartige Anordnung von Solarzellen und Licht transportierenden Schichten bzw. Licht transportierende Schichten tragende optische Chips wird mit ihrer Anwendung an den Solarzellen eine Strahlungskonzentration bzw. Strahlungsverstärkung von mindestens 1,5 erreicht und teure Solarzellenmaterialien eingespart. Insbesondere werden selten vorkommende Elemente, wie Indium, Gallium, Germanium, Selen, Molybdän, Tellur, Zinn durch die Erfindung weniger benötigt. Durch die Integration von Materialien, die kurzwellige in längerwellige (down-conversion) und/oder längerwellige in kurzwelligere (up-conversion) Strahlung wandeln, in die Licht transportierenden Schichten, gelingt es, die auftreffende Strahlung besser an die spektrale Empfindlichkeit der jeweilig verwendeten Solarzellen anzupassen und somit ihre Effizienz zu erhöhen. Durch die Strahlungskonzentration an den Solarzellen und die spektrale Anpassung der Solarstrahlung durch Lichtkonversion kann die erzeugte elektrische Leistung an der betreffenden Solarzelle um ca. 40% gesteigert werden, in deren Folge sich die Kosten der erfindungsgemäßen Photovoltaik-Module gegenüber herkömmlichen im Mittel um mindestens 20% reduzieren.

Ausführungsbeispiel

[0013] Zur Herstellung eines Photovoltaik-Moduls werden zunächst quadratische kristalline Silizium-Solarzellen mit den Kantenlängen von 40 mm auf die den schwarzen Feldern entsprechenden Bereiche der schachbrettartig aufgeteilten Oberfläche eines Solarglas-Substrates mit den Abmessungen 320 mm mal 320 mm mit einer heißklebenden Polymerfolie aufgebracht. Danach erfolgt die Beschichtung der freibleibenden Felder mit den Licht transportierenden Schichten durch Gieß- oder -Sprühtechniken mit anschließender Trocknung der Schichten bei Temperaturen um 100°C. D. h. das Solarmodul ist mit je 32 Stück Solarzellen und Licht transportierenden Schichten bestückt. Die Licht transportierenden Schichten setzen sich z. B. aus einer Bariumsulfat und Titandioxid enthaltenen Reflektorfarbe auf Acrylbasis zusammen, dem ein oberhalb 600 nm emittierendes rotes Fluoreszenzmaterial aus der Gruppe der Perylene mit einem Gewichtsanteil von 2%-bezo-

gen auf das Gewicht der Reflektorfarbe-zugesetzt wird. Das rote Fluoreszenzmaterial sorgt dafür, dass einfallende kurzwellige Solarstrahlung im Bereich von 300 nm bis 530 nm absorbiert und in Strahlung oberhalb 600 nm gewandelt wird mit verbesserter spektraler Anpassung der Solarstrahlung an die spektrale Empfindlichkeit der verwendeten Solarzelle.

[0014] Im Vergleich zu einer isolierten Solarzelle kann die Effizienz einer in der aufgeführten Schachbrettanordnung und von vier Licht transportierenden Schichten umgebenden Solarzelle um ca. 40% gesteigert werden. Da die Kosten der Licht transportierenden Schichten nur höchstens 10% der Kosten der verwendeten Solarzellen betragen, ist ein Schachbrett-Modul gegenüber herkömmlichen Modulen wesentlich billiger bei gleicher Modulleistung.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 112006001229 T5 [0002]
- DE 202007000529 U1 [0002]
- DE 102005047132 A1 [0002]
- DE 102004001248 B3 [0002]
- DE 20302944 U1 [0002]
- DE 19937448 A1 [0002]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- <http://www.solarserver.de/news/news-10404.html> [0002]
- http://www.solarserver.de/solarmagazin/solar-report_0408.html [0002]
- E. R. Weber, „Mit der Kraft der Sonne“, Fraunhofer Magazin 3. 2007, S. 48, Presse-Mitteilung der Concentrix Solar GmbH, 06. Mai 2009, Concentrix Solars Flatcon®-Technologie [0002]
- O. Korech, J. M. Gordon, E. U. Katz, D. Feuermann, N. Eisenberg, „Dielectric microconcentrators for efficiency enhancement in concentrator solar cells“, Optics Letters, Vol. 32 (2007), No. 19, S. 2789–2791 [0002]
- P. D. Swift, G. B. Smith, „Color considerations in fluorescent solar concentrator stacks“, Applied Optics, Vol. 42 (2003), No. 25, S. 5112–5117 [0003]

Schutzansprüche

1. Photovoltaik-Modul zur Strahlungskonzentration gekennzeichnet dadurch, dass Solarzellen und Licht transportierende Schichten oder mit Licht transportierenden Schichten versehene optische Chips schachbrettartig auf einem optisch hoch transparenten Solarglas- oder Polymer-Substrat aufgebracht sind und in den Licht transportierenden Schichten Materialien enthalten sind, die

(a) durch Fluoreszenz kurzwellige in längerwellige Strahlung (down-conversion) und/oder längerwellige in kurzwellige (up-conversion) Strahlung wandeln und/oder

(b) die Strahlung diffus reflektieren und als Lambert-sche Strahler wirken.

2. Photovoltaik-Modul nach Anspruch 1, worin das Modul sich aus quadratischen und rechteckigen Solarzellen und Licht transportierenden Schichten oder mit Licht transportierenden Schichten versehene optische Chips mit Kantenabmessungen im Bereich von 2 mm bis 200 mm zusammensetzt.

3. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 2, worin die Solarzellen aus Dünnschichtzellen aus Silizium, Cadmium-Tellurid, Cadmiumsulfid, Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid, Kupfer-Indium-Sulfid, Kupfer-Indium-Gallium-Schwefel-Selen und weiteren Mischverbindungen aus diesen Elementen und/oder Solarzellen aus Silizium-Wafern, Gallium-Arsenid und -Indiumphosphid-Verbindungen, Germanium, Selen, Gallium-Indium-Phosphid, Gallium-Indium-Arsenid, und weiteren Mischverbindungen aus diesen Elementen sowie aus organischen Solarzellen bestehen.

4. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, worin die fluoreszierenden Materialien ausgewählt sind aus der Gruppe der Fluoreszenzfarbstoffe, Quantenpunkte, Nanokristalle, Phosphore und deren Mischungen sowie Selten Erden-Verbindungen, Übergangsmetalle, 2-6-Halbleiter und infrarot stimulierbare Leuchtstoffe.

5. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, worin die Fluoreszenzfarbstoffe aus der Gruppe der Xanthene, Rhodamine, Oxazine, Perylene, Pyrromethene und Naphthalimide ausgewählt sind.

6. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, worin die Quantenpunkte halbleitende Materialien sind ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus InAs, InP, GaAs, GaP, GaN, InGaAs, Ga/InP, CdO, CdSe, CdS, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgSe, HgTe, PbS, PbSe, PbTe.

7. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, worin Leuchtstoffe ausge-

wählt sind aus der Gruppe der Seltenerdmetallen, dotierten Phosphaten, Silikaten, Germanaten, Vanadaten, Arsenaten, Woframnaten, Molybdaten, Alumina-ten, Gallaten, Nitriden und Borarten.

8. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, worin die diffus reflektierenden Materialien ausgewählt sind aus der Gruppe der Bariumsulfat- und Titandioxid-Reflektorfarben, der Aluminium- und Silberpasten, Siliziumnitrid, Keramiken, Teflonschichten und Pigmenten.

9. Photovoltaik-Module nach einem der Ansprüche 1 bis 8, worin die up-conversion-Materialien ausgewählt sind aus der Gruppe der Zinksulfid-Nanopartikel dotiert mit Europium-, Mangan- oder Kupferionen, Leuchtstoffen, Lumineszenzpigmenten, Calcium-Sulfid-Nanokristallen dotiert mit Selten-Erden-Ionen und deren Mischungen.

10. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9, worin die Substrate der optischen Chips aus Kunststoffen, Metallen und Halbleitern bestehen.

11. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 10 zum Erzeugen von Solarstrom.

12. Photovoltaik-Modul nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11 zur Verwendung bei der Strahlungsdetektion.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

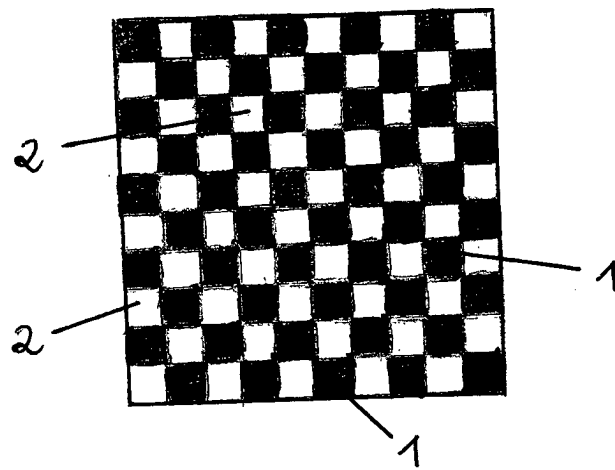


Fig. 1

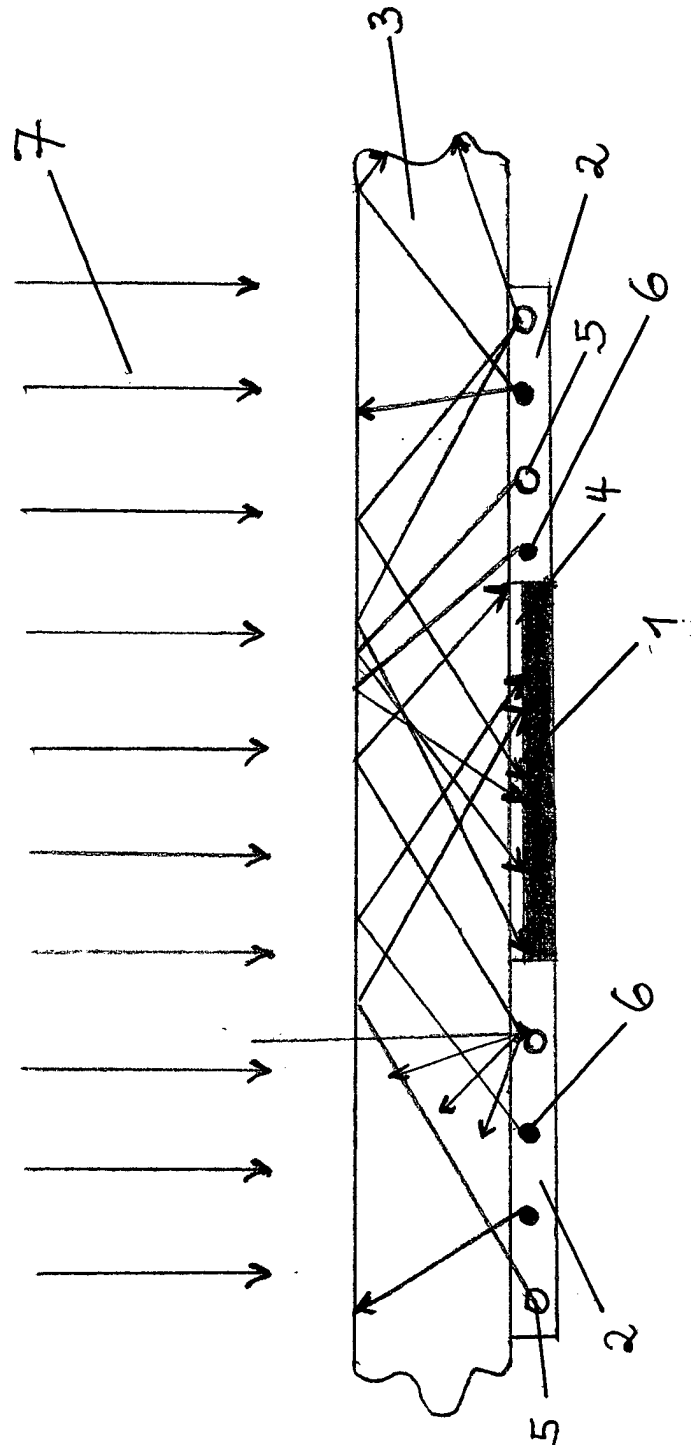


Fig. 2