

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. April 2009 (02.04.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/039906 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/005779

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juli 2008 (15.07.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 045 546.3
24. September 2007 (24.09.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE). **ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG** [DE/DE]; Fahnbergplatz, 79085 Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GOLDSCHMIDT, Jan Christoph** [DE/DE]; Basler Strasse 10, 79100 Freiburg (DE). **LÖPER, Philipp** [DE/DE]; Vauban-Allee 2, 79100 Freiburg (DE). **PETERS, Marius** [DE/DE]; Dunanstrasse 5, 79110 Freiburg (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**; Patent- und Rechtsanwälte, Theresienhöhe 13, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(54) Title: MORE EFFICIENT SOLAR ELEMENT, AND METHOD FOR INCREASING EFFICIENCY

(54) Bezeichnung: SOLARELEMENT MIT GESTEIGERTER EFFIZIENZ UND VERFAHREN ZUR EFFIZIENZSTEIGERUNG

(57) Abstract: The invention relates to a more efficient solar element and a method for increasing the efficiency of a solar cell. The solar cell according to the invention is composed of a luminescent element, an up-converter, and at least one selectively reflecting structure.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Solarelement mit gesteigerter Effizienz sowie ein Verfahren zur Steigerung der Effizienz einer Solarzelle. Die Solarzelle nach der Erfindung besteht dabei aus einem lumineszenten Element, einem Hochkonverter sowie mindestens einer selektiv reflektierenden Struktur.



WO 2009/039906 A2

Solarelement mit gesteigerter Effizienz und Verfahren
zur Effizienzsteigerung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Solarelement mit gesteigerter Effizienz sowie ein Verfahren zur Steigerung der Effizienz einer Solarzelle.

Mehr als 20 % der im Solarspektrum enthaltenen Energie gehen bei der Umwandlung der einfallenden Strahlung mittels Silicium-Solarzellen durch so genannte Sub-Bandgapverluste verloren. Damit bezeichnet man Verluste, die entstehen, weil die Energie eines einzelnen Photons nicht ausreicht, um ein frei bewegliches Elektron zu erzeugen. Sie treten auf, wenn die Energie eines Photons die so genannte Bandlückenenergie unterschreitet. Derartige Verluste treten bei allen Arten von Solarzellen auf. Ihre Höhe ist abhängig von der Bandlückenenergie des verwendeten Solarzellenmaterials. Die beschriebenen Verluste lassen sich

reduzieren, indem mit so genannten hochkonvertierenden Materialien mehrere Photonen mit zu geringer Energie in ein Photon mit ausreichender Energie umgewandelt werden.

Hierbei treten die folgenden Probleme auf: Erstens ist der Absorptionsbereich der Hochkonverter recht schmal. Nur die wenigen Photonen in diesem Spektralbereich kommen überhaupt für die Hochkonversion in Frage.

Um mehr Photonen für die Hochkonversion nutzbar zu machen, kann eine Substanz mit speziellen lumineszenten Eigenschaften genutzt werden. Diese absorbiert im gesamten oder einem Teil des Spektralbereichs zwischen Bandlücke und Absorptionsbereich des Hochkonverters und emittiert Strahlung bei einer Wellenlänge, die von dem hochkonvertierenden Material zur Hochkonversion genutzt werden kann. Infrage kommende Stoffe mit entsprechenden lumineszenten Eigenschaften absorbieren allerdings auch in dem Spektralbereich, in dem die Hochkonverter das hochkonvertierte Licht abstrahlen. Dadurch erreicht nur ein geringer Teil der hochkonvertierten Strahlung die Solarzelle. Ohne weitere Maßnahmen geht also ein großer Teil der hochkonvertierten Strahlung durch unerwünschte Absorption verloren.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Effizienz der Umwandlung zweier niederenergetischer Photonen in ein höher energetisches sehr gering ist. Die Hochkonversion ist ein nichtlinearer Prozess, da an ihm mehr als ein Photon beteiligt ist. Die Hochkonversionseffizienz steigt deshalb, zumindest bei niedrigen Intensitäten, linear mit der Flussdichte der prinzipiell vom Hochkonverter nutzbaren Photonen

an (A. Shalav, B. S. Richards, T. Trupke et al., Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 13505). Das Problem der sehr geringen Hochkonversionseffizienzen lässt sich also durch eine Konzentration des einfallenden Sonnenlichtes verringern. In T. Trupke, M. A. Green, P. Würfel, Journal of Applied Physics, 92, 71 (2002) wird die Möglichkeit der Konzentration mittels einer Linse erwähnt. Zur experimentellen Untersuchung der Hochkonversionseffekte werden meistens Laser mit hoher Intensität (im Vergleich zum Sonnenspektrum in dem entsprechenden Spektralbereich) benutzt.

Die Verbreiterung des für die Hochkonversion nutzbaren Spektralbereiches mit Fluoreszenzfarbstoffen wird in C. Strümpel, M. McCann, C. del Cañizo et al., Proceedings of the 20th EUPVSEC (2005), Barcelona, kurz beschrieben. Es werden aber keine konkreten Umsetzungen vorgeschlagen.

Es ist zunächst Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den Verlust der hochkonvertierten Strahlung durch Absorption zu minimieren. Diese Aufgabe wird gelöst durch das Solarelement nach Anspruch 1 sowie das Verfahren nach Anspruch 16. Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Solarzelle und des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in den jeweiligen Unteransprüchen gegeben.

Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, die Hochkonverter von den lumineszenten Elementen räumlich zu trennen und zwischen den Hochkonvertern und den lumineszenten Elementen erste selektiv reflektierende und/oder selektiv transmittierende Schichten oder Strukturen anzuordnen. Vorzugsweise reflektieren diese selektiv reflektierenden Strukturen elektromagnetische Strahlung mit Energien, die höher als die

Band-Gap-Energie der Solarzelle sind. Elektromagnetische Strahlung, deren Frequenz zwischen der kleinsten vom Hochkonverter konvertierbaren Frequenz und der Band-Gap-Frequenz der Solarzelle liegt, sollte vorzugsweise von der selektiv reflektierenden Struktur transmittiert werden. Auf diese Weise trifft Strahlung mit einer Frequenz kleiner als der Band-Gap-Frequenz der Solarzelle auf die lumineszenten Elemente. Diese emittieren dann Strahlung mit Frequenzen, die vom Hochkonverter konvertiert werden können. Diese Strahlung durchläuft die selektiv reflektierende Schicht und trifft auf den Hochkonverter. Dieser konvertiert die einfallende Strahlung und emittiert Strahlung mit Frequenzen größer als der Band-Gap-Frequenz der Solarzelle. Da die selektiv reflektierende Schicht Strahlung mit Frequenzen größer als der Band-Gap-Energie reflektiert, kann die vom Hochkonverter emittierte Strahlung nicht zurück ins lumineszente Element gelangen und wird daher dort nicht absorbiert.

Erfindungsgemäß weist nun das Solarelement zumindest eine Solarzelle auf, die eine Band-Gap-Frequenz ν_{BG} hat. Darüber hinaus weist das erfindungsgemäße Solarelement zumindest ein lumineszentes Element auf, welches elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen zwei Frequenzen ν_{LE1} und ν_{LE2} absorbiert und elektromagnetische Strahlung mit zumindest einer Frequenz ν_{LE3} emittiert. Die lumineszenten Elemente sind vorzugsweise so angeordnet, dass von einer Lichtquelle, wie zum Beispiel der Sonne, kommende Strahlung, welche wegen ihrer geringen Energie nicht in der Solarzelle absorbiert wird, durch diese hindurch auf die lumineszenten Elemente strahlt. Solarzellen und lumineszente Elemente sind also jeweils in Richtung des Strahlenganges einfallender Strahlung hinterein-

ander angeordnet.

Das erfindungsgemäße Solarelement weist außerdem zumindest einen Hochkonverter auf, der elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen zwei Frequenzen ν_{HK1} und ν_{HK2} absorbiert und Strahlung mit zumindest einer Frequenz ν_{HK3} emittiert. Dieser Hochkonverter ist so angeordnet, dass Licht, welches vom lumineszenten Element emittiert wird, auf den Hochkonverter fällt.

Erfindungsgemäß ist nun zwischen den lumineszenten Elementen und den Hochkonvertern zumindest eine erste selektiv reflektierende Schicht angeordnet, die einen Teil der auftreffenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert und einen Teil dieser Strahlung transmittiert.

Die lumineszenten Elemente sind nun so gewählt, dass die kleinste von ihnen absorbierte Frequenz ν_{LE1} kleiner ist als die Band-Gap-Energie der Solarzelle ν_{BG} . Die von den lumineszenten Elementen emittierte Strahlung ν_{LE3} liegt erfindungsgemäß in dem Frequenzbereich, der vom Hochkonverter absorbiert werden kann, d. h. zwischen ν_{HK1} und ν_{HK2} . Der Hochkonverter emittiert dann Strahlung mit einer Frequenz ν_{HK3} , welche größer oder gleich der Band-Gap-Frequenz der Solarzelle ν_{BG} ist.

Trifft also Licht von einer Lichtquelle auf die Solarzelle, so wird der Anteil des Lichts, der eine Frequenz größer als die Band-Gap-Frequenz der Solarzelle hat, von der Solarzelle absorbiert, während jene Strahlung mit kleineren Frequenzen die Solarzelle durchläuft. Diese, die Solarzelle durchlaufende Strahlung, trifft nun auf die lumineszenten Elemente,

die einen Teil dieser Strahlung absorbieren. Die lumineszenten Elemente strahlen dann Licht bzw. Strahlung mit zumindest einer bestimmten Frequenz oder in zumindest einem, vorzugsweise engen, Frequenzbereich ab. Diese emittierte Strahlung wird normalerweise ungerichtet abgegeben. Zumindest ein Teil dieser Strahlung trifft nun auf Hochkonverter, welche die Strahlung in Strahlung mit höherer Frequenz konvertieren. Da zwischen den lumineszenten Elementen und den Hochkonvertern die ersten selektiv reflektierenden Schichten angeordnet sind, kann einerseits die hochzukonvertierende Strahlung vom lumineszenten Element in den Hochkonverter treten, andererseits kann jedoch die hochkonvertierte Strahlung nicht ins lumineszente Element strahlen. Die hochkonvertierte Strahlung wird daher in Richtung der Solarzelle abgestrahlt und trifft dann zumindest teilweise auf die Solarzelle.

Erfindungswesentlich ist also, dass die lumineszenten Elemente und die Hochkonverter jeweils durch eine erste selektiv reflektierende Struktur getrennt nebeneinander angeordnet sind. Außerdem sind die Hochkonverter benachbart zu den Solarzellen angeordnet, so dass die hochkonvertierte Strahlung auf die Solarzelle treffen kann. Vorzugsweise sind die lumineszenten Elemente ebenfalls benachbart zur Solarzelle angeordnet, damit jene von der Solarzelle nicht absorbierte Strahlung durch diese hindurch auf die lumineszenten Elemente treffen kann.

Es ist bevorzugt, wenn die lumineszenten Elemente dort, wo sie nicht der Solarzelle, der ersten reflektierenden Schicht, dem Hochkonverter oder anderen Elementen benachbart angeordnet sind, von Spiegeln umgeben sind. Diese Spiegel können die entsprechenden Flächen der lumineszenten Elemente teilweise oder

vollständig abdecken. Die Seitenfläche der lumineszenten Elemente sind vorzugsweise eben, so dass die Spiegel, welche ebenfalls eben sind, parallel zu diesen Seitenflächen angeordnet sind. Durch diese Spiegel wird erreicht, dass die Strahlung geeigneter Frequenz vollständig vom lumineszenten Element absorbiert wird und vom lumineszenten Element emittierte Strahlung vollständig in die Hochkonverter gelangt.

Wie bereits beschrieben, ist es vorteilhaft, wenn die erste reflektierende Struktur elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen, die größer als die Band-Gap-Frequenz der Solarzelle ν_{BG} sind, reflektiert und elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen der kleinsten hochkonvertierbaren Strahlung ν_{HK1} und der Band-Gap-Frequenz ν_{BG} transmittiert. Mindestens sollte die erste selektiv reflektierende Struktur elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen ν_{HK1} und ν_{HK2} transmittieren. Vorteilhafterweise sollte ein möglichst großer Anteil des Lichts mit Frequenzen größer als ν_{BG} von der ersten selektiv reflektierenden Struktur reflektiert werden.

Besonders vorteilhaft ist es hierbei, wenn die ersten selektiv reflektierenden Strukturen elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen, die zwischen ν_{HK2} und ν_{BG} liegen, transmittieren.

Grundsätzlich ist es nicht erforderlich, dass die genannten Bestandteile des Solarelementes direkt, d. h. formschlüssig, aneinander grenzen. Es ist jedoch, insbesondere für eine einfache Herstellung und eine geringe Baugröße, vorteilhaft, wenn zumindest einige oder alle der genannten Elemente unmittelbar aneinander grenzen, d. h. einander berühren. So kann das zumindest eine lumineszente Element unmittelbar angren-

zend an eine erste selektiv reflektierende Struktur angeordnet sein und/oder zumindest eine erste selektiv reflektierende Struktur kann unmittelbar angrenzend an zumindest einen Hochkonverter angeordnet sein und/oder zumindest ein Hochkonverter kann unmittelbar angrenzend an eine Solarzelle angeordnet sein. Zwischen der Solarzelle und den lumineszenten Elementen kann ein Luftspalt bestehen, licht- oder strahlungsdurchlässige Materialien angeordnet sein oder die Solarzelle und die lumineszenten Elemente können einander berührend angeordnet sein.

Wie bereits geschildert steigt die Effizienz der Hochkonverter mit der Intensität der eingestrahlten Strahlung. Es ist deshalb für die vorliegende Erfindung vorteilhaft, wenn die Strahlung auf den Hochkonverter konzentriert werden kann. Erfindungsgemäß kann dies dadurch erreicht werden, dass die Summe aus jenem Teil der Oberfläche der Hochkonverter, der der Solarzelle zugewandt ist, plus die Teile der Oberfläche der lumineszenten Elemente, die der Solarzelle zugewandt sind, aber nicht von einem Hochkonverter bedeckt werden, größer ist als die Summe der Flächen zwischen lumineszenten Elementen und Hochkonvertern. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die lumineszenten Elemente von reflektierenden Schichten oder Strukturen umgeben werden. Hierbei wird vorzugsweise auf den zur Solarzelle unmittelbar benachbarten Seiten des lumineszenten Elementes zumindest eine zweite selektiv reflektierende Struktur angeordnet, die einen Teil der auf sie auftreffenden Strahlung reflektiert und einen Teil der auf sie auftreffenden Strahlung transmittiert. Diese zweite selektiv reflektierende Struktur ist also zwischen den lumineszenten Elementen und der Solarzelle angeordnet. An jenen Seiten der lumineszenten Elemente, welche weder der Solar-

zelle noch einem hochkonvertierenden Element zugewandt sind, sind vorzugsweise Spiegel angeordnet, welche zumindest jenes Licht reflektieren, welches Frequenzen zwischen der kleinsten vom lumineszenten Element absorbierbaren Frequenz bzw. der von lumineszenten Elementen emittierten Frequenz, je nachdem, welche kleiner ist, und der Band-Gap-Frequenz der Solarzelle hat.

Vorzugsweise reflektiert die zweite selektiv reflektierende Struktur elektromagnetische Strahlung mit der zumindest einen Frequenz ν_{LE3} , welche vom entsprechenden lumineszenten Element emittiert wird. Elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen ν_{LE1} und ν_{LE2} wird transmittiert. Alternativ kann auch elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen ν_{LE1} und ν_{BG} transmittiert und über ν_{BG} reflektiert werden, wobei jedoch jene Strahlung mit der zumindest einen Frequenz ν_{LE3} , die vom lumineszenten Element emittiert wird, reflektiert wird.

Es ist nun besonders bevorzugt, wenn die ersten reflektierenden Schichten die jeweiligen Grenzbereiche zwischen den lumineszenten Elementen und den entsprechenden benachbarten Hochkonvertern vollständig bedecken. Das bedeutet, dass von jedem lumineszenten Element jene dem entsprechenden Hochkonverter zugewandte Seite vollständig von der ersten selektiv reflektierenden Schicht bedeckt ist. Außerdem ist es besonders bevorzugt, wenn die zweite selektiv reflektierende Schicht jene Bereiche der Oberfläche der lumineszenten Elemente, welche der Solarzelle zugewandt sind und unmittelbar zur Solarzelle benachbart sind, vollständig bedeckt. Hierbei kommt es darauf an, dass jene Bereiche der lumineszenten Elemente von der zweiten selektiv reflektierenden Schicht bedeckt sind,

welche über diese zweite selektiv reflektierende Schicht direkt, über im interessierenden Frequenzbereich vollständig transparente Zwischenschichten oder über Luft an die Solarzelle angrenzen. Dort, wo die lumineszenten Elemente an eine erste selektiv reflektierende Schicht bzw. einen Hochkonverter grenzen, ist keine zweite selektiv reflektierende Schicht angeordnet.

Die Aufgabe, die Strahlung auf die Hochkonverter zu konzentrieren, kann nun dadurch gelöst werden, dass jene Bereiche der lumineszenten Elemente, die der einfallenden Strahlung, d. h. der Solarzelle zugewandt sind, eine größere Fläche haben, als jene Bereiche, die den Hochkonvertern zugewandt sind. Auf diese Weise fällt die Strahlung auf einer großen Fläche in das lumineszente Element ein und verlässt dieses aber in Richtung des Hochkonverters nur über eine kleine Fläche. Alle anderen Oberflächen der lumineszenten Elemente als jene den Hochkonvertern zugewandten sind vorzugsweise durch Spiegel oder zweite selektiv reflektierende Strukturen begrenzt. Auf diese Weise wird eine Konzentration des vom lumineszenten Element emittierten Lichtes auf den Hochkonverter unterstützt.

Vorzugsweise ist an jeder Oberfläche der lumineszenten Elemente, an der keine selektiv reflektierende Schicht angeordnet ist, ein Spiegel angeordnet.

Das erfindungsgemäße Solarelement kann auf verschiedene Weise realisiert werden. Eine Möglichkeit besteht darin, Hochkonverter zwischen einem lumineszenten Element und der Solarzelle anzuordnen. Ist der Hochkonverter über die gesamte der Solarzelle zugewandte Fläche des lumineszenten Elementes zwischen

der Solarzelle und dem lumineszenten Element angeordnet, so wird zwar kein Konzentrationseffekt erreicht, es wird jedoch das Problem der Absorption der konvertierten Strahlung gelöst. Die erste selektiv reflektierende Schicht ist hierbei zwischen dem Hochkonverter und dem lumineszenten Element angeordnet. Eine zweite selektiv reflektierende Schicht gibt es hier nicht.

Die Hochkonverter können jedoch auch nur einen Teil jener der Solarzelle zugewandten Fläche des lumineszenten Elementes bedecken. In diesem Falle ist die erste selektiv reflektierende Schicht zwischen dem Hochkonverter und dem lumineszenten Element angeordnet, während dort, wo das lumineszente Element zur Solarzelle benachbart ist, ohne dass dazwischen ein Hochkonverter angeordnet ist, vorzugsweise eine zweite selektiv reflektierende Schicht aufgebracht ist. In diesem Fall wird der oben beschriebene Konzentrationseffekt erreicht. Grundsätzlich kann ein Konzentrationseffekt erreicht werden, wenn die Summe aus all jenen Oberflächen der Hochkonverter, die der Solarzelle zugewandt sind, so dass aus ihnen austretendes Licht auf die Solarzelle fällt plus den Flächen der lumineszenten Elementen die der Solarzelle, aber nicht einem Hochkonverter zugewandt sind, größer ist als die Summe jener Flächenbereiche mit denen die lumineszenten Elemente den Hochkonvertern zugewandt sind, wo also die lumineszenten Elemente durch Hochkonverter abgedeckt werden.

Eine andere Möglichkeit der Realisierung des erfindungsgemäßen Solarelementes besteht darin, einen oder mehrere Hochkonverter zwischen lumineszenten Elementen oder von lumineszenten Elementen umgeben anzuordnen. In diesem Fall grenzen die Hochkonverter mit je-

weils einer Seitenfläche an die Solarzelle, während sie mit den dazu nicht parallelen, vorzugsweise senkrechten, Seitenflächen, über jeweils eine erste selektiv reflektierende Schicht an die lumineszenten Elemente grenzen. Die lumineszenten Elemente sind dann vorzugsweise auf den der Solarzelle zugewandten Seiten mit zweiten reflektierenden Strukturen versehen und auf jenen Seiten, welche weder der Solarzelle noch einem Hochkonverter zugewandt sind, mit Spiegeln versehen.

Wiederum kann eine Konzentration erreicht werden, wenn jene der einfallenden Strahlung, d. h. der Solarzelle, zugewandten Flächen der lumineszenten Elemente insgesamt größer sind als die an die Hochkonverter grenzenden Flächen.

Sowohl für die Hochkonverter als auch für die lumineszenten Elemente eignen sich besonders Quader, Würfel, Zylinder und ähnliche regelgeometrische Objekte. Besonders geeignet sind quaderförmige Strukturen mit aufeinander senkrecht stehenden Seitenflächen.

Der Hochkonverter weist vorzugsweise mit Erbium dotiertes Natrium-Yttrium-Fluorid ($\text{NaYF}_4:\text{Er}^{3+}$) auf oder besteht daraus.

Außerdem bieten sich als Hochkonverter anorganische Kristalle (als bulk, mikro- oder nanokristallines Material) wie z.B. Al_2O_3 , NaYF_4 , $\text{Er}(\text{PO}_3)_3$, $\text{Lu}(\text{PO}_3)_3$, $\text{Lu}(\text{PO}_3)_3$, $\text{Y}(\text{PO}_3)_3$, $\text{Gd}(\text{PO}_3)_3$, dotiert mit seltenen Erden, wie z.B. Erbium, Ytterbium, Dysprosium oder Übergangsmetallen oder kodotiert, z.B. mit Erbium und Ytterbium oder Übergangsmetallen und Seltenen Erden, an.

Als Farbstoffe für das lumineszente Element können Cyanin, Polymethine, Wurster- und Weitz-Typ Radikale, Polymethin Violene, Monoquinon Anionen, Tetrathio-tetracene, Selten-Erd dotierte Kristalle oder metallorganische Verbindungen, Übergangsmetallverbindungen, Quantum-Dots, z.B. aus PbSe, PbS (auch in sog. Core-Shell-Konfigurationen) verwendet werden.

Eingebettet werde diese in PMMA, Polycarbonat, anderen hochtransparenten Polymeren, Glas oder Glaskeramiken.

Im Folgenden soll die Erfindung anhand einiger Beispiele erläutert werden.

Es zeigt

Fig. 1 eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Solarelementes und
Fig. 2 eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Solarelementes.

Fig. 1 zeigt eine mögliche Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung. Hierbei ist ein quaderförmiges lumineszentes Element 2 an fünf Seiten mit Spiegeln 5 versehen. Eine Solarzelle ist neben der sechsten, nicht mit Spiegeln 5 versehenen Seite des lumineszenten Elementes 2 mit zu dieser Seite paralleler Ebene angeordnet. Zwischen der Solarzelle 1 und der nicht mit Spiegeln versehenen Seite des lumineszenten Materials 2 sind Hochkonverter 3a, 3b und 3c angeordnet. Diese Hochkonverter berühren die Solarzelle 1 direkt. Zwischen dem lumineszenten Element 2 und den Hochkonvertern 3a, 3b und 3c ist jeweils eine erste selektiv reflektierende Schicht 9a, 9b und 9c angeordnet.

Ausschnitt 22 zeigt die Durchlässigkeit der ersten selektiv reflektierenden Schicht 9b. Strahlung 6, deren Frequenz über der Band-Gap-Frequenz ν_{BG} der Solarzelle 1 liegt, wird von der selektiv reflektierenden Schicht 9b reflektiert. Strahlung 8, die vom lumineszenten Material absorbiert wird, d. h. eine Frequenz zwischen ν_{LE1} und ν_{LE2} hat, wird von der selektiv reflektierenden Struktur 9b transmittiert. Ebenso wird Strahlung 7, deren Frequenz in einem Bereich liegt, der vom Hochkonverter konvertiert werden kann, d. h. die zwischen ν_{HK1} und ν_{HK2} liegt, ebenfalls transmittiert.

In Bereichen, in denen die nicht mit einem Spiegel 5 versehene Seite des lumineszenten Elementes 2 nicht an einen Hochkonverter 3a, 3b oder 3c grenzt, ist die Oberfläche des lumineszenten Elementes 2 mit zweiten selektiv reflektierenden Strukturen 10a, 10b, 10c und 10d versehen. Diese Strukturen 10a bis 10d sind form-schlüssig auf das lumineszente Material 2 aufgebracht. Vergrößerung 21 zeigt, wie Strahlung von dieser zweiten selektiv reflektierenden Struktur transmittiert bzw. reflektiert wird. Strahlung 6, die eine Frequenz größer als die Band-Gap-Frequenz ν_{BG} der Solarzelle 1 hat, wird von der selektiv reflektierenden Schicht 10a bis 10d reflektiert. Ebenso wird Strahlung 7 reflektiert, die eine Frequenz hat, die vom Hochkonverter 3a, 3b oder 3c konvertiert werden kann. Strahlung 8 hingegen, deren Frequenz zwischen ν_{LE1} und ν_{BG} liegt, d. h. die vom lumineszenten Material absorbiert werden kann aber nicht vom Hochkonverter konvertiert werden kann, wird von der selektiv reflektierenden Schicht 10a bis 10d transmittiert.

Über Anschlüsse 4a und 4b ist die Solarzelle elektrisch verschaltet.

Trifft nun von der Solarzelle nutzbare Strahlung 6 auf die Solarzelle 1, so wird diese absorbiert. Strahlung 8, deren Frequenz unterhalb der Band-Gap-Frequenz v_{BG} der Solarzelle 1 liegt, wird von der Solarzelle 1 transmittiert und trifft auf das lumineszente Material 2. Das lumineszente Material 2 emittiert daraufhin Licht 7 mit einer Frequenz, die vom Hochkonverter 3a, 3b oder 3c konvertiert werden kann. Trifft diese Strahlung 7 auf die zweite selektiv reflektierende Struktur, so wird sie in das lumineszente Material 2 zurückreflektiert. Trifft sie hingegen auf die erste selektiv reflektierende Struktur 9a, 9b oder 9c, so wird sie in den Hochkonverter 3a, 3b oder 3c transmittiert. In diesem Hochkonverter 3a, 3b oder 3c wird sie dann in Strahlung 6 mit einer Frequenz größer als v_{BG} konvertiert, welche dann in die Solarzelle 1 gestrahlt wird. Die Summe der Flächen des lumineszenten Elementes, die der Solarzelle 1 zugewandt sind, aber nicht durch einen Hochkonverter 3a, 3b oder 3c abgedeckt werden, und der Flächen der Hochkonverter 3a, 3b und 3c, die der Solarzelle zugewandt sind, ist größer als die Fläche der ersten selektiv reflektierenden Strukturen 9a, 9b und 9c zusammen. Dadurch wird die Effizienz der Hochkonverter gesteigert.

Fig. 2 zeigt eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Umgeben von fünf senkrecht aufeinander angeordneten Spiegeln 5 sind hier quaderförmige lumineszente Elemente 2a, 2b, 2c und 2d sowie quaderförmige Hochkonverter 3a, 3b und 3c angeordnet. Die Hochkonverter 3a bis 3c liegen hierbei zwischen den lumineszenten Elementen 2a bis 2d. Die Seitenflächen der Hochkonverter 3a bis 3c und der lumineszenten Elemente 2a bis 2d sind parallel zueinander und paral-

1el zu den senkrecht zur Solarzelle stehenden Spiegeln 5. Zwischen je zwei lumineszenten Elementen 2a, 2b, 2c bzw. 2d ist jeweils ein Hochkonverter 3a, 3b bzw. 3c angeordnet. Parallel zu der Ebene, in welcher die lumineszenten Elemente und die Hochkonverter nebeneinander angeordnet sind, ist eine Solarzelle 1 angeordnet, welche jene Seite des jeweiligen Hochkonverters berührt, welche nicht mit einem lumineszenten Element oder einem Spiegel 5 in Kontakt ist. Diese Solarzelle 1 ist wiederum durch Kontakte 4a, 4b elektrisch verschaltet.

Trifft nun Strahlung 6 auf die Solarzelle 1, deren Frequenz höher ist als die Band-Gap-Frequenz ν_{BG} der Solarzelle 1, so wird diese von der Solarzelle absorbiert. Strahlung 8 hingegen, deren Frequenz unterhalb der Band-Gap-Frequenz ν_{BG} der Solarzelle 1 liegt, wird von dieser transmittiert und trifft auf ein lumineszentes Element 2a bis 2d. Dieses emittiert daraufhin Strahlung 7, die durch eine erste selektiv reflektierende Schicht 9a bis 9f hindurch auf einen Hochkonverter 3a bis 3c trifft. Dieser konvertiert die Strahlung 7 in Strahlung 6, deren Frequenz oberhalb der Band-Gap-Frequenz der Solarzelle liegt und daher von dieser in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Jene Seite der lumineszenten Elemente 2a bis 2d, welche weder an einen Spiegel noch über eine erste selektiv reflektierende Struktur an einen Hochkonverter grenzt, ist mit einer zweiten selektiv reflektierenden Schicht 10a, 10b, 10c bzw. 10d beschichtet.

Die Durchlässigkeiten der ersten selektiv reflektierenden Schicht ist wiederum in Vergrößerung 22 gezeigt. Die Durchlässigkeit der zweiten selektiv reflektierenden Schicht ist in Vergrößerung 21 gezeigt.

Die Funktionen dieser selektiv reflektierenden Schichten 9a und 10a entsprechen jenen in Fig. 1.

Patentansprüche

1. Solarelement mit zumindest einer Solarzelle (1), die eine Band-Gap-Frequenz ν_{BG} hat, zumindest einem lumineszenten Element (2), welches elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen zwei Frequenzen ν_{LE1} und $\nu_{LE2} \geq \nu_{LE1}$ absorbiert und elektromagnetische Strahlung mit zumindest einer Frequenz ν_{LE3} emittiert, zumindest einem Hochkonverter (3a, 3b, 3c), der elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen zwei Frequenzen ν_{HK1} und $\nu_{HK2} \geq \nu_{HK1}$ absorbiert und Strahlung mit zumindest einer Frequenz ν_{HK3} emittiert, sowie zumindest einer ersten selektiv reflektierenden Struktur (9a, 9b, 9c), die einen Teil der auftreffenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert und einen Teil der auftreffenden Strahlung transmittiert, wobei ν_{LE1} kleiner ist als ν_{BG} , für zumindest eine der zumindest einen Frequenzen ν_{LE3} gilt $\nu_{HK1} \leq \nu_{LE3} \leq \nu_{HK2}$, und für zumindest eine der zumindest einen Frequenzen ν_{HK3} gilt $\nu_{HK3} \geq \nu_{BG}$, und wobei die zumindest einen lumineszenten Elemente benachbart zu jeweils zumindest einer der ersten selektiv reflektierenden Strukturen angeordnet sind und die zumindest einen ersten selektiv reflektierenden Strukturen benachbart zu jeweils zumindest einem der mindestens einen Hochkonverter angeordnet sind und der zumindest

eine Hochkonverter benachbart zur Solarzelle angeordnet ist.

2. Solarelement nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Hochkonverter zumindest eine einem lumineszenten Element zugewandte Fläche als Teil ihrer Oberfläche aufweisen und die erste selektive reflektierende Struktur diese Fläche vollständig bedeckt.
3. Solarzellenelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest einen Spiegel (5), der benachbart oder angrenzend zum zumindest einen lumineszenten Element (2) mit zu dessen Oberfläche paralleler Spiegelebene angeordnet ist.
4. Solarelement nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten selektiv reflektierenden Strukturen (9a, 9b, 9c) elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen $\geq \nu_{BG}$ reflektieren und elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen ν_{HK1} und ν_{BG} transmittieren.
5. Solarelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein lumineszentes Element (2) unmittelbar angrenzend an eine erste selektiv reflektierende Struktur (9a, 9b, 9c) angeordnet ist und/oder zumindest eine erste selektiv reflektierende Struktur unmittelbar angrenzend an zumindest einen Hochkonverter angeordnet ist und/oder zumindest ein Hochkonverter unmittelbar angrenzend an eine Solarzelle angeordnet ist.
6. Solarelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf zumindest einem Teil der Oberfläche der zumindest ei-

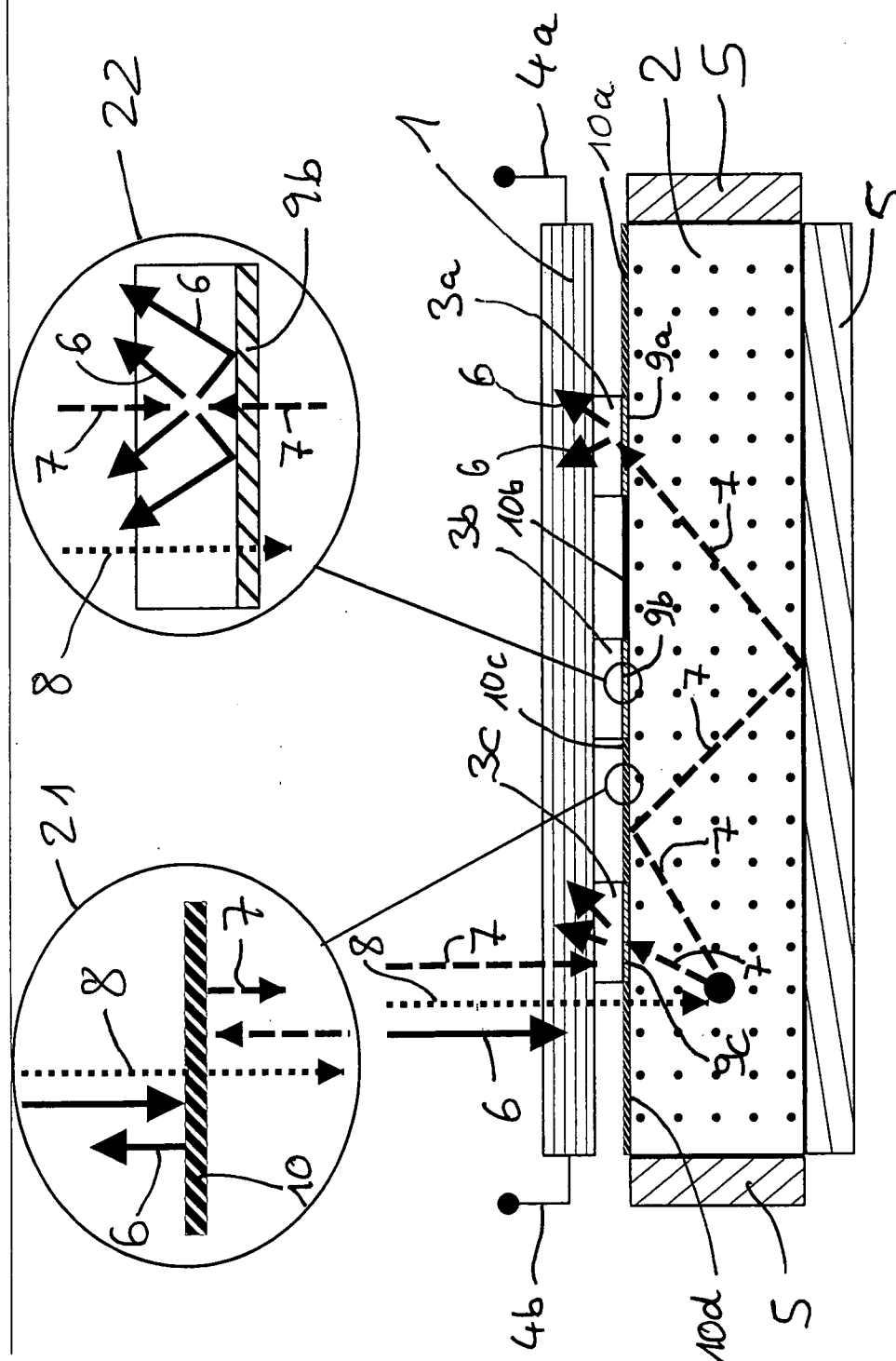
nen lumineszenten Elemente eine zweite selektiv reflektierende Struktur (10a, 10b, 10c, 10d) angeordnet ist, die zur Solarzelle (1) benachbart ist und einen Teil der auf sie auftreffenden Strahlung reflektiert und einen Teil der auf sie auftreffenden Strahlung transmittiert.

7. Solarelement nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest einen lumineszenten Elemente (2) zumindest eine der Solarzelle (1) zugewandte Fläche als Teil ihrer Oberfläche aufweisen und die zweite selektiv reflektierende Struktur diese Fläche vollständig überall dort bedeckt, wo keine erste selektiv reflektierende Struktur (9a, 9b, 9c) oder Hochkonverter (3a, 3b, 3c) angeordnet sind.
8. Solarelement nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite selektiv reflektierende Struktur (10a, 10b, 10c, 10d) elektromagnetische Strahlung mit der zumindest einen Frequenz ν_{LE3} reflektiert sowie elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen zwischen ν_{LE1} und ν_{BG} transmittiert.
9. Solarelement nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Summe jenes Teils der Oberfläche der Hochkonverter, der der Solarzelle zugewandt ist und jenes Teils der Oberfläche der lumineszenten Elemente, der der Solarzelle, aber nicht einem Hochkonverter zugewandt ist, größer ist als die Summe der Flächenbereiche mit denen die Hochkonverter den lumineszenten Elementen zugewandt sind.
10. Solarelement nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Gesamtfläche

der zweiten selektiv reflektierenden Strukturen größer ist als die Gesamtfläche der ersten selektiv reflektierenden Strukturen.

11. Solarelement nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass jener der Solarzelle zugewandte Teil der Oberflächen der lumineszenten Elemente größer ist, als jener den Hochkonvertern zugewandte Teil der Oberflächen der lumineszenten Elemente.
12. Solarelement nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass Spiegel (5) an jeder Oberfläche der lumineszenten Elemente angeordnet sind, an der keine selektiv reflektierende Struktur angeordnet ist.
13. Solarelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der zumindest einen Hochkonverter (3a, 3b, 3c) zwischen einem lumineszenten Element (2) und einer Solarzelle (1) angeordnet ist.
14. Solarelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der zumindest einen Hochkonverter (3a, 3b, 3c) zwischen zumindest zwei lumineszenten Elementen (2) angeordnet ist, wobei der Hochkonverter zumindest eine Fläche aufweist, mit welcher er an die Solarzelle (1) grenzt.
15. Solarelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochkonverter (3a, 3b, 3c) mit Erbium dotiertes Natrium-Yttrium-Fluorid oder $\text{NaYF}_4:\text{Er}^{3+}$ aufweist oder daraus besteht.

16. Verfahren zur Effizienzsteigerung einer Solarzelle, welche eine Band-Gap-Frequenz ν_{BG} hat, wobei Licht mit einer Frequenz kleiner als ν_{BG} auf zumindest ein lumineszentes Element geleitet wird, welches Licht emittiert, und wobei das von zumindest einem lumineszenten Element emittierte Licht auf zumindest einen Hochkonverter geleitet wird, der Licht mit einer Frequenz größer oder gleich ν_{BG} emittiert, dadurch gekennzeichnet, dass das von dem zumindest einen lumineszenten Element emittierte Licht durch eine erste selektiv reflektierende Struktur geleitet wird, die Licht mit einer Frequenz größer als ν_{BG} reflektiert.
17. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass ein Solarelement nach einem der Ansprüche 1 bis 15 verwendet wird.



Figur 1

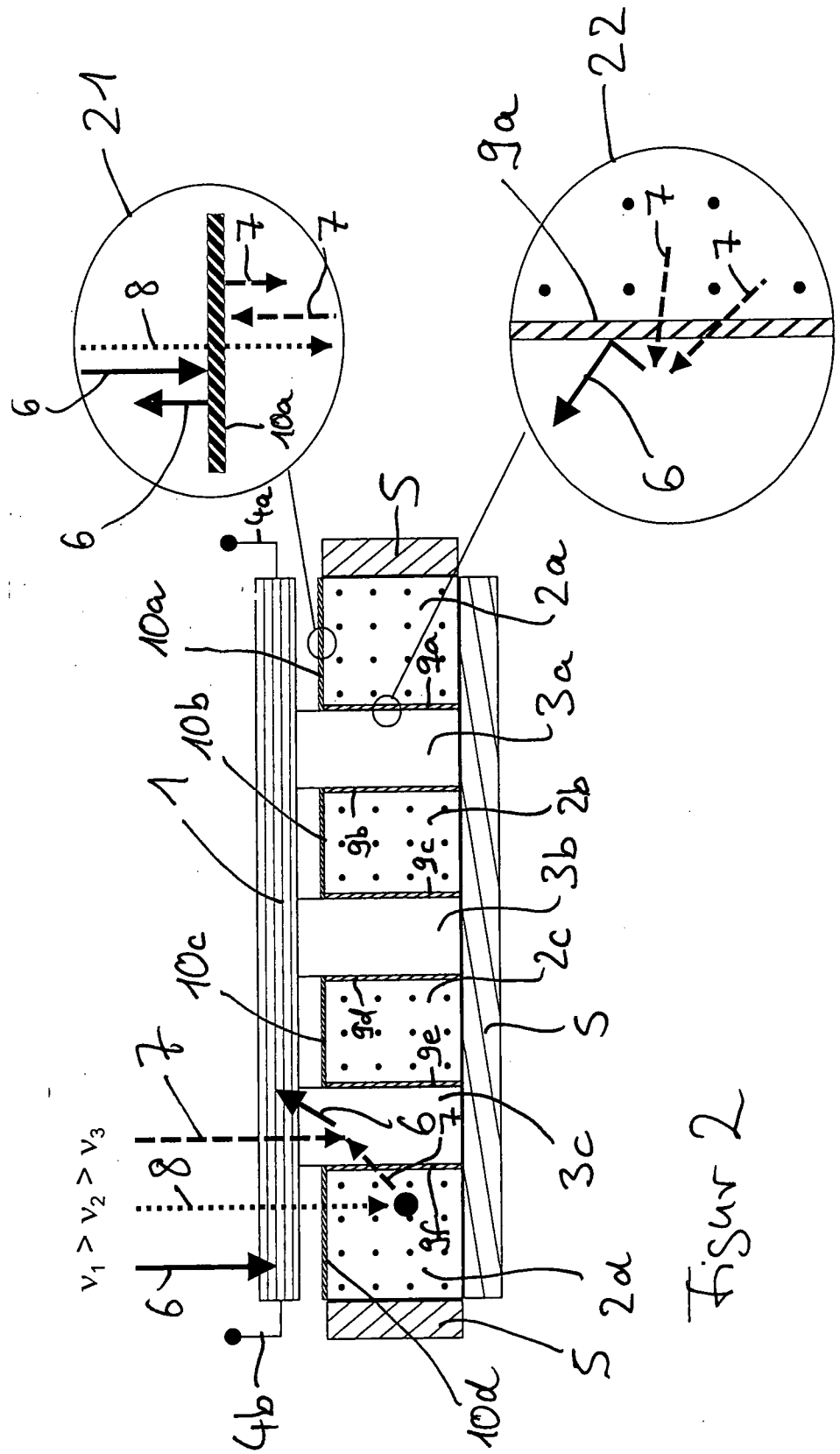


Figure 2