



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 020 815 A1** 2009.10.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 020 815.9**

(22) Anmeldetag: **25.04.2008**

(43) Offenlegungstag: **15.10.2009**

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

(66) Innere Priorität:

10 2008 014 419.3 14.03.2008

(71) Anmelder:

ErSol Solar Energy AG, 99099 Erfurt, DE

(74) Vertreter:

Meissner, Bolte & Partner GbR, 07545 Gera

(72) Erfinder:

Krokoszinski, Hans-Joachim, Dr., 69226 Nußloch, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 20 2007 001865 U1

US 2003/02 13 514 A1

JP 2002-1 98 556 A

US 41 87 123 A

US 66 86 533 B2

FAIMAN, D. (u.a.): Natural sunlight tests at PETAL, of a trial MIM string at concentrations up to 1000X. In: Conf. Record of the 2006 IEEE 4th World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion. ISBN 1-4244-0016-3. S. 710-713

LOECKENHOFF, R. (u.a.): 1000 sun, compact receiver based on monolithic interconnected modules (MIMS). In: Conf. Record of the 2006 IEEE 4th World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion. ISBN 1-4244-0016-3, S. 737-740

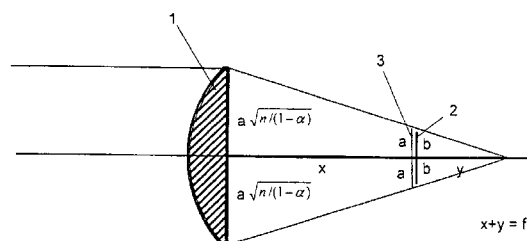
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Photovoltaisches Solarmodul**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein photovoltaisches Solarmodul, umfassend mindestens eine Solarzelle mit einem optischen Strahlungskonzentrator, wobei das Modul mit einer Antriebseinheit zum gesteuerten, sonnenstandsabhängigen Nachführen in Verbindung steht.

Erfindungsgemäß weist die Solarzelle des Moduls bei Standardabmessungen industriell gefertigter Siliziumzellen eine erhöhte Ausgangsspannung auf, wobei der Strahlungskonverter so ausgelegt ist, dass bei einer Anordnung von Solarzelle und Strahlungskonverter an im Wesentlichen gegenüberliegenden Seiten des Moduls der erhaltene Leuchtfleck eine konzentrierte Beleuchtung bis hin zum Solarzellenrand ermöglicht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein photovoltaisches Solarmodul, umfassend mindestens eine Solarzelle mit einem optischen Strahlungskonzentrator, wobei das Modul mit einer Antriebseinheit zum gesteuerten, sonnenstandsabhängigen Nachführen in Verbindung steht, gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Aus der DE 198 04 469 A1 ist ein photovoltaisches Solarmodul vorbekannt, welches direkt nebeneinander angeordnete Zellen aufweist, die mittels einer durchsichtigen Scheibe gegen Umwelteinflüsse geschützt sind. Das dort beschriebene Solarmodul besteht aus einer Anordnung von einzelnen quadratischen Zellen mit zugeordneten Spiegeln. Die integrierte Spiegel-Zellenstruktur erfordert eine Sonneneinstrahlung senkrecht zur Moduloberfläche. Aus diesem Grund ist eine mechanische Sonnennachführung vorhanden.

[0003] Bei der Konzentration-Photovoltaik-Vorrichtung mit Positionierungshilfe nach DE 10 2006 002 465 A1 geht es ebenfalls um die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. Die Vorrichtung umfasst ein Gehäuse, das mit wenigstens einer aus einem lichtdurchlässigen Material gebildeten Lichteintrittsplatte versehen ist. Weiterhin ist eine Vielzahl von Solarzellen vorhanden, die jeweils im Abstand von der wenigstens einen Lichteintrittsplatte auf deren sonnenabgewandter Seite im Inneren des Gehäuses befindlich sind. Die Lichteintrittsplatte ist mit einer optischen Einheit zum Konzentrieren oder Bündeln der durch die Lichteintrittsfläche eintretenden Sonnenstrahlung auf die kleineren Flächen der Solarzellen versehen, wobei das Gehäuse zum Bilden der Seitenwände als Spritzgussteil ausgeführt ist.

[0004] Bei dem thermischen Solarkollektor nach DE 202 10 881 U1 ist innerhalb einer transparenten, sphärischen Hülle ein rohrförmiger, vom Wärmeträger durchströmter Kanal vorhanden, wobei zur Verstärkung und Konzentration der Sonnenstrahlung ein Hohlspiegel eingesetzt ist. Der rohrförmige, Wärme aufnehmende, vom Wärmeträger durchströmte Kanal ist annähernd zu einer kompakten Kugel geformt und befindet sich im Zentrum der transparenten, sphärischen Hülle.

[0005] Der Solarkollektor zur Konzentration des Sonnenlichts auf eine Solarzelle nach DE 10 2006 000 682 A1 verwendet Halbleiterphotoelemente mit p- und n-leitenden Zonen unter Ausnutzung des inneren Photoeffekts. Der dortige Solarkollektor weist mindestens einen Trägerkörper aus lichtleitendem Polymethacrylat-Kunststoffmaterial mit einer transparenten, dem Sonnenlicht zugewandten Oberseite und mit insbesondere seitlich angelegten Schnittkanten der Wandung des Trägerkörpers oder derartigen Schnittkantenabschnitten und dort angeordneten Solarzellen auf. Die Schnittkanten sind für das in den Trägerkörper eingefallene und dort umgeleitete Sonnenlicht transparent. Der Trägerkörper selbst ist als mantelförmige, sphärische Hülle ausgebildet, wobei zur Bildung von Schnittkantenabschnitten zur Anordnung der Solarzellen in der mantelförmigen Hülle mindestens eine Auslassung zur Bildung der die Solarzellen tragenden Schnittkantenfläche angeordnet ist. Die dort verbleibende Schnittfläche ist mit einem Reflexionsüberzug versehen. Weiterhin ist auf der Außenseite des Überzugs über den mantelförmigen Trägerkörper ein weiterer Überzug aufgetragen, welcher den Infrarotanteil des einfallenden Sonnenlichts reflektiert und für den sichtbaren Anteil des einfallenden Sonnenlichts durchlässig ist, so dass der Wirkungsgrad der Gesamtanordnung einer Verbesserung bezogen auf den bis dahin bekannten Stand der Technik unterliegt.

[0006] Aufgrund der Siliziumknappheit und des hohen Anteils der Kosten für die Halbleiter an den Gesamtkosten eines standardmäßigen Photovoltaikmoduls ist die Konzentration von Sonnenlicht auf eine kleinere Fläche des relativ teuren Halbleitermaterials eine wichtige Methode, um die Investitionskosten für Photovoltaiksysteme und in der Folge auch die Stromgestehungskosten aus Sonnenenergie weiter zu reduzieren.

[0007] Bisherige Bemühungen in dieser Richtung sind auf extreme Konzentrationsfaktoren von 500 und mehr gerichtet auch und besonders, um die hohen Kosten für die hier üblicherweise eingesetzten III-V Multijunction-Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern zu kompensieren.

[0008] Die Chipgrößen derartiger Konzentratormodule liegen im Bereich von wenigen Quadratmillimetern. Um die entstehende Wärme aus diesen Chips abzuführen, sind aufwendige Wärmespreizungs- und Kühlungstechniken anzuwenden. Darüber hinaus müssen derartige Konzentratormodule durch höchst präzise zweiachsige mechanische Nachführungssysteme bewegt werden, weil der Fokusleck der eingesetzten Konzentratorenlinsen in etwa nur so groß wie die Solarzellenchips ist. Auch geringste Abweichungen vom optimalen Sonnenstand lassen daher den Lichtfleck vom Solarzellenchip herunterwandern.

[0009] Zweiachsige Nachführungseinrichtungen, sogenannte Mover, werden außer für die oben beschriebenen Konzentratormodule auch mit Standardmodulen in Anordnungen von vielen Quadratmetern verwen-

det. Die Nachführung durch einen entsprechenden motorischen Antrieb gestattet jedoch nur eine mehr oder weniger kontinuierliche Bestrahlung mit Sonnenlicht unter einem Einfallswinkel von im Wesentlichen 90° . Die Präzisionsanforderungen bezogen auf eine solche Nachführung sind allerdings wesentlich geringer, da kleinere Winkelabweichungen vom exakten Sonnenstand zu keiner nennenswerten Leistungseinbuße der Solarzellenmodule führen, dafür sind jedoch die bewegten Massen sehr groß, so dass stabile Fundamente und entsprechend aufwendige Tragkonstruktionen erforderlich sind.

[0010] Ein weiterer Nachteil ist die sehr große Fläche der Modulpaletten mit der sich hieraus ergebenden extremen Windlast.

[0011] Aus dem Vorgenannten ist es daher Aufgabe der Erfindung, ein weiterentwickeltes photovoltaisches Solarmodul, umfassend mindestens eine Solarzelle mit einem optischen Strahlungskonzentrator anzugeben, wobei das Modul mit einer Antriebseinheit zum gesteuerten, sonnenstandsabhängigen Nachführen in Verbindung steht. Bei dem zu schaffenden Solarmodul sollen die Gesteungskosten bei erhöhtem Wirkungsgrad reduziert werden, so dass sich neue Anwendungsgebiete erschließen.

[0012] Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt durch ein Solarmodul gemäß der Merkmalskombination nach Patentanspruch 1, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen darstellen.

[0013] Demnach besteht der Grundgedanke der Erfindung darin, dass die für das weiterentwickelte Solarmodul eingesetzte Solarzelle Standardabmessungen industriell und damit kostengünstig gefertigter Siliziumzellen mit erhöhter Ausgangsspannung aufweist, wobei der Strahlungskonzentrator insbesondere in Form einer Linse so ausgelegt ist, dass bei einer Anordnung von Solarzelle und Strahlungskonzentrator an im Wesentlichen gegenüberliegenden Seiten des Moduls bzw. Modulgehäuses der erhaltene Lichtfleck eine konzentrierte Beleuchtung bis zum Solarzellenrand ermöglicht.

[0014] Die eingesetzten Silizium-Solarzellen sollen einen Durchmesser bzw. eine quasi diagonale Ausdehnung im Bereich zwischen 100 mm und 300 mm aufweisen, und zwar in Abhängigkeit von Standardwafern, wie sie üblicherweise bei monokristallinen Zellen Verwendung finden.

[0015] Bei dem photovoltaischen Solarmodul wird das eingefangene Sonnenlicht bevorzugt mit einer Fresnel-Linse so auf eine Solarzelle mit Standardabmessungen fokussiert, dass diese vollflächig mit mehr als einer Sonne beschienen wird. Typische Größenordnungen sind hier eine 5- bis 10-fache Sonnenkonzentration, so dass nicht die thermischen Probleme auftreten, wie sie bei Konzentratormodulen mit hoch effizienten III-V-Verbindungs-Halbleiterdioden gegeben sind.

[0016] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind Konzentrator und Solarzelle auf einer gemeinsamen Achse, einander gegenüberliegend und konzentrisch angeordnet.

[0017] Der Konzentrator ist, wie bereits dargelegt, als plankonvexe Linse, planare Fresnel-Linse oder als sphärische Fresnel-Linse ausbildbar.

[0018] Die Brennweite der Linse ist bevorzugt so gewählt, dass bei vorgegebenem Abstand zwischen Linse und Solarzelle der Durchmesser des Linsenflecks an dieser Abstandsposition gleich oder unwesentlich größer als der Zellendurchmesser ist.

[0019] Die Solarzelle des erfindungsgemäßen Solarmoduls ist rückseitig mit einer Kühlplatte verbunden, die gleichzeitig zur Stabilisierung der Zelle dient.

[0020] Die Flächenabmessungen der Kühlplatte entsprechen im Wesentlichen derjenigen der eingesetzten Linse.

[0021] Bei einer kreisrunden Linse entspricht der Linsendurchmesser im Wesentlichen dem Durchmesser des ebenfalls kreisförmigen Kühlplattenteils.

[0022] Das Modulgehäuse kann in einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung die Form einer Kugel aufweisen, wobei innerhalb der Kugel die Solarzelle und der Strahlungskonverter angeordnet sind.

[0023] Das Modulgehäuse kann aber auch ausgestaltend die Form eines Hohlzylinders besitzen, wobei in-

nerhalb des Hohlzylinders die Solarzelle und der Strahlungskonzentrator angeordnet werden.

[0024] Bei einer sphärischen Fresnel-Linse als Strahlungskonzentrator kann die Linse bevorzugt in den Kugelmantel eingebettet werden und damit quasi Bestandteil der Kugel selbst sein.

[0025] Die Solarzelle mit Kühlplatte ist bevorzugt entlang eines eine Kugelkappe abtrennenden Abschnitts in den Kugelmantel eingesetzt und schließt die hierdurch entstandene Öffnung ab.

[0026] Auch besteht die Möglichkeit, bei Anwendung einer planaren Linse diese entlang eines eine Kugelkappe abtrennenden Abschnitts in den Kugelmantel an einer Stelle einzusetzen, die der Position der Solarzelle parallel gegenüberliegend ist.

[0027] Der Abstand zwischen Strahlungskonzentrator und Solarzelle ist in etwa gleich dem Durchmesser des Konzentrators.

[0028] Der Kugeldurchmesser wiederum ist mindestens um den Faktor $\sqrt{2}$ größer als der Durchmesser des Strahlungskonzentrators gewählt.

[0029] Der Abstand zwischen Strahlungskonzentrator und Solarzelle innerhalb des Hohlzylinders ist gleich oder kleiner als der Durchmesser des in diesem Falle eingesetzten Strahlungskonzentrators.

[0030] Der Strahlungskonzentrator kann bei einem Modulgehäuse in Form eines Hohlzylinders die Bodenfläche und die Solarzelle die Deckfläche des Hohlzylinders bilden, wobei die Längsachse des Hohlzylinders zur Strahlungsquelle gerichtet nachgeführt wird.

[0031] Das Modulgehäuse besteht zur Vereinfachung der Fertigungstechnologie und im Interesse einer unkomplizierten Handhabung z. B. aus zwei Halbkugeln oder zwei halbschalenförmigen Körpern und kann entsprechend zusammengesetzt werden.

[0032] Bei einer Ausgestaltung der Erfindung kann eine Vielzahl von Einzelmodulen auf oder in einem gemeinsamen flächigen Träger angeordnet werden, wobei der Träger dann über eine einzige Nachführungs-Antriebseinheit verfügt.

[0033] Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

[0034] Hierbei zeigen:

[0035] Fig. 1 eine prinzipielle Darstellung einer großflächigen Silizium-Solarzelle, in deren Strahlungseinfallsrichtung eine plankonvexe Linse vorgeordnet ist;

[0036] Fig. 2 eine Prinzipdarstellung des Strahlungsverlaufs einer Mehrsonnenbestrahlung einer großflächigen Silizium-Solarzelle, wobei als Strahlungskonzentrator eine Fresnel-Linse eingesetzt wird;

[0037] Fig. 3 eine Ausführungsform des Solarmodulgehäuses als Kugel mit eingesetzter planarer Fresnel-Linse und eingesetzter Solarzelle, die eine Kühlplatte aufweist;

[0038] Fig. 4 eine Ausführungsform des Solarmoduls mit ebenfalls kugelförmigem Gehäuse, wobei ein Teil der Kugelhülle durch die als Strahlungskonzentrator verwendete sphärische Fresnel-Linse ersetzt ist;

[0039] Fig. 5 eine weitere Ausführungsform des Modulgehäuses, ausgebildet als Hohlzylinder mit planarer Fresnel-Linse und Silizium-Solarzelle;

[0040] Fig. 6a, b beispielhafte prinzipielle Strukturen einer Solarzelle mit erhöhter Ausgangsspannung in quadratischer bzw. quasiquadratischer sowie in kreis- oder kreisähnlicher Form;

[0041] Fig. 7A eine beispielhafte Ausgestaltung einer dachintegrierten Anlage mit kugelförmigem Modulgehäuse;

[0042] Fig. 7B eine Darstellung ähnlich derjenigen nach Fig. 7A mit symbolisierter Sonnenstandsverfolgung;

- [0043] **Fig. 7C** eine Draufsicht auf eine prinzipielle Ausführungsform einer dachintegrierten Anlage aus vielen kugelförmigen Modulen mit Fresnel-Linsen und Silizium-Solarzellen;
- [0044] **Fig. 8A** eine beispielhafte Ausgestaltung einer Freilandanlage in Terrassenform mit erfindungsgemäßen Hohlkugel-Modulgehäusen;
- [0045] **Fig. 8B** eine beispielhafte Ausgestaltung einer Freilandanlage in Terrassenform, z. B. an Berghängen, mit erfindungsgemäßen Hohlzylindermodulen;
- [0046] **Fig. 9** eine beispielhafte Darstellung für einen maximalen Morgenwinkel α bei einem Abstand d , wobei mit größerem d auch α größer sein kann und Entsprechendes für den Abendwinkel $\beta = \alpha$ gilt, und
- [0047] **Fig. 10** eine Darstellung einer Ausführungsform der Erfindung, wobei eine Vielzahl von Einzelmodulen auf oder in einem gemeinsamen flächigen Träger angeordnet ist.
- [0048] Gemäß Ausführungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass eine Standard-Solarzelle bei Bestrahlung mit mehreren, also $n = 2, 3 \dots 10$ Sonnen, eine n -fache elektrische Leistung produzieren kann.
- [0049] Wenn pro Watt installierter Leistung nur der Bruchteil $1/n$ an Siliziummaterial benötigt wird, können die Systemkosten und die Energiegestehungskosten reduziert werden.
- [0050] Kombiniert mit einer Sonnenstandsverfolgung kann zudem pro installierter Leistung bis zu 30% mehr Energie erzeugt werden.
- [0051] Bei der Lösung gemäß Ausführungsbeispiel befindet sich die Solarzelle **2** im Fokusbereich einer Linse, die die Brennweite $f = x + y$ entweder einer bikonvexen oder plankonvexen Linse **1** (**Fig. 1**) oder einer Fresnel-Linse **4** (**Fig. 2**) in einem Abstand y vor dem Brennpunkt hat.
- [0052] Da der Beleuchtungsfleck kreisförmig ist, ist es vorteilhaft, auch die Solarzelle kreisrund auszuführen. Das heißt, eine ansonsten anfallende Quadrierung der Ingots vor der Waferherstellung kann entfallen. Damit wird einerseits ein teurer Arbeitsgang eingespart und zusätzlich wird pro Fresnel-Linse eine um $4/\pi$ höhere Leistung produziert als bei quasi quadratischen Zellen.
- [0053] Bei einem Ausführungsbeispiel, bei dem eine Beleuchtungsstärke von n Sonnen angestrebt wird, ist der Durchmesser der Linse D_{Fresnel} zunächst grob um \sqrt{n} größer ausgelegt als der Durchmesser der Solarzelle $D_{\text{Zelle}} = 2b$. Zweckmäßigerweise wird dann dieser Streckungsfaktor auf den um 10% größer ausgelegten Leuchtfleck **3** auf der Solarzellenoberfläche, d. h. auf den Durchmesser **2a** ungefähr gleich **2, 2b** anstatt auf exakt **2b** angewendet. Damit ergibt sich $D_{\text{Fresnel}} = 2a\sqrt{n} = 2, 2b\sqrt{n}$, um die konzentrierte Beleuchtung bis zum Rand der Solarzelle auch bei einer geringen Schrägeinstellung, d. h. bei geringer Ungenauigkeit der Sonnenstandsverfolgung sicherzustellen.
- [0054] Soll auch der Intensitätsverlust durch die Extinktion α (ca. 0,1) der Fresnel-Linse kompensiert werden, wird zusätzlich die Fläche der Linse um den Faktor $1/(1 - \alpha)$ vergrößert, d. h. es wird der Durchmesser D_{Fresnel} um den Faktor $1 / \sqrt{1 - \alpha}$ erhöht.
- [0055] Eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des nachgeführten Konzentratormoduls besteht darin, dass jeder Solarzelle eine eigene Linse und eine eigene Nachführungseinrichtung zugeordnet wird. Dabei wird die Solarzelle im Abstand $x = D_{\text{Fresnel}} = 2a \sqrt{n} / \sqrt{1 - \alpha}$ hinter der Linse auf einer wärmespreizenden Kühlplatte mit gleichem Durchmesser wie dem der Fresnel-Linse $D_{\text{Fresnel}} = x$ angebracht.
- [0056] Bei einer ersten Ausführungsform ist das erfindungsgemäße Modul als Kunststoff-Hohlkugel ausgebildet, die im vorderen Bereich eine plane Fresnel-Linse (**Fig. 3**) oder eine sphärische Fresnel-Linse (**Fig. 4**) mit Durchmesser D_{Fresnel} zur n -fachen Fokussierung auf die einzelne Solarzelle im hinteren Teil des Modulgehäuses aufweist.
- [0057] In diesem Fall ist die Brennweite $f = x + y$ der Fresnel-Linse über dem Durchmesser der Hohlkugel fest an den Linsendurchmesser $x = D_{\text{Fresnel}} = 2a \sqrt{n} / \sqrt{1 - \alpha}$ gekoppelt.
- [0058] Nach dem Strahlensatz gilt unter Hinweis auf **Fig. 3** Folgendes:

$$(x/2) : (x+y) = a : y \Rightarrow (x/2) y = a (x+y) \Rightarrow y \cdot a \sqrt{n} / \sqrt{1-\alpha} = a (x+y)$$

$$\Rightarrow y \sqrt{n/(1-\alpha)} = x+y = f \Rightarrow y = x / [\sqrt{n/(1-\alpha)} - 1] = x / [(x/2a) - 1] = 2ax / (x-2a)$$

$$\Rightarrow f = x+y = x+2ax/(x-2a) = [x(x-2a)+2ax]/(x-2a) = x^2 / (x-2a)$$

$$\Rightarrow f = \frac{D_{\text{fresnel}}^2}{D_{\text{fresnel}} - 1,1 \cdot D_{\text{zelle}}}$$

$$\text{wobei } D_{\text{fresnel}} = 1,1 \cdot D_{\text{zelle}} \cdot \sqrt{\frac{n}{1-\alpha}}$$

$$\text{und } D_{\text{leuchtfleck}} = 1,1 \cdot D_{\text{zelle}}$$

$$\text{und } D_{\text{kugel}} = \sqrt{2} \cdot D_{\text{fresnel}} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot D_{\text{zelle}}$$

[0059] Das heißt: alle Geometriedaten des nachgeführten Konzentratormoduls lassen sich aus dem Durchmesser der Zelle ableiten.

[0060] Für eine runde Zelle mit $2b = 205$ mm Durchmesser gilt daher:

$$D_{\text{leuchtfleck}} = 2a = 2, 2b = 1,1 \cdot 205 \text{ mm} = 22,55 \text{ cm}$$

[0061] Für $n = 10$ und $\alpha = 0,9$ folgt:

$$x = D_{\text{fresnel}} = 22,55 \text{ cm} \cdot \sqrt{10/(0,9)} = 22,55 \text{ cm} \cdot 10/3 = 225,5/3 \text{ cm} = 75,2 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow y = x / [10/3 - 1] = 75,17 \text{ cm} / 2,33333 = 32,21 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow f = x + y = 75,17 \text{ cm} + 32,21 \text{ cm} = 107,4 \text{ cm} \text{ und } D_{\text{kugel}} = \sqrt{2} \cdot x = 106,3 \text{ cm}$$

[0062] Für eine Konzentration auf 10 Sonnen ist also die Brennweite der Linse bis auf 1% gleich dem Durchmesser der Kugel und $\sqrt{2}$ mal dem Durchmesser des Leuchtflecks ($= 1,1 \cdot D_{\text{Zelle}}$).

[0063] Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird der Strahlungskonzentrator in Form einer Fresnel-Linse und die Kühlplatte **6** in einen Kunststoff-Hohlzylinder **12**; **13** (**Fig. 5**) eingesetzt. Dieser Kunststoff-Hohlzylinder kann in der gleichen Weise wie die Kugel **9** zweiachsig, d. h. in Azimut und Elevation nachgeführt werden. In diesem Fall kann die Brennweite der Fresnel-Linse **5** unabhängig von ihrem Durchmesser auch kürzer eingestellt werden, so dass sich eine Minimierung der Längenausdehnung des Hohlzylinders ergibt.

[0064] Der Modulkörper für die genannten Ausführungsformen kann vorteilhaft durch Fügung von Halbkugeln oder Halbschalen zusammengesetzt werden, um sowohl bei der Fertigung als auch bei dem Transport Vorteile zu gewinnen.

[0065] Durch die n-fach höhere Lichteinstrahlung wird in der Solarzelle ein n-fach höherer Strom pro Quadratcentimeter Fläche generiert. Wenn erfindungsgemäß Solarzellen mit erhöhter Ausgangsspannung eingesetzt werden (Prinzipdarstellung gemäß **Fig. 6a** und b), wird durch die interne monolithische Serienschaltung von Teilbereichen der Solarzellen die Klemmspannung erhöht und im gleichen Maß die Stromstärke reduziert. Wenn hier bei n-facher Lichtkonzentration in vorteilhafter Weise auch n-Teildioden vorgesehen sind, bleibt die Stromstärke in der bisher verwendeten und beherrschten Größenordnung, während die offene Klemmspannung auf $n \cdot V_{\text{OC}}$ ansteigt. Bei typischen Zelldesigns mit $V_{\text{OC}} = 0,6$ V und $n = 10$ wären dies ca. 6 V. Hieraus folgt, dass eine Zelle, die bei einer Sonne 5 W leistet, bei Bestrahlung mit 10 Sonnen 50 W Energie liefert, ohne dass die Stromstärke wesentlich höher als bei vergleichbaren Standardzellen üblicher geringer Ausgangsspannung ist.

[0066] Die erfindungsgemäße Modulkonstruktion vereint ein Gehäuse für die Solarzellen, das den Konzent-

rator, d. h. eine Linse und Abstandshalterung aufnimmt. Das Modul kann, auch teilweise in das Gehäuse integriert, die Antriebseinheit und notwendige Mechanik zum gesteuerten, sonnenstandsabhängigen Nachführen aufweisen.

[0067] Wie aus den Darstellungen insbesondere nach den [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) ersichtlich ist, kann die kugelförmige Variante des vorgestellten Moduls auch auf kleinen Flachdächern stehen bzw. in schräge Dächer hineingebaut werden (letzteres wird in den [Fig. 7A](#) und B, die Ausführung bezogen auf ein Flachdach mit der [Fig. 7C](#) dargestellt).

[0068] Ebenso können die vorgestellten Varianten mit kugelförmigem oder zylinderförmigem Modul bzw. Modulgehäuse auch vorteilhaft in Freilandanlagen und langen Reihen einschließlich an Hügel- oder Berghängen aufgestellt werden (siehe [Fig. 8A](#) und [Fig. 8B](#)). Der seitliche Abstand richtet sich hier nach der gewünschten maximalen Winkelposition in Blickrichtung Osten und Westen ([Fig. 9](#)). Das heißt, je später am Morgen mit der Sonnenverfolgung begonnen wird (Morgenwinkel α) und je früher sie am Abend zu beenden ist (Abendwinkel β), desto enger dürfen die Module aneinander rücken, ohne sich gegenseitig abzuschatten.

[0069] Das Signal für die anzupeilende Position der Strahlungsquelle, d. h. der Sonne, kann aus einem einzigen einfachen Prozessormodul an alle Nachführungseinrichtungen der Anlage gleichzeitig vergeben werden, wodurch sich die Kosten für die Positionserrechnung und Signalausgabe reduzieren.

[0070] Das Gewicht der einzelnen Module kann sehr gering gehalten werden. Da die Module insbesondere bei der Kugel- und Hohlzylinderform im Schwerpunkt aufgehängt werden, sind die für die notwendigen Nachführungs- und Verstellbewegungen erforderlichen Kräfte und Momente äußerst klein. Damit kann die notwendige Motorisierung einfacher und preiswerter ausfallen.

[0071] Bei einer ergänzenden Ausführungsform kann das erfindungsgemäße Prinzip der Beleuchtung von einzelnen Silizium-Großzellen mit n-fach konzentriertem Licht auch in einem gemeinsamen Modulträgerkasten mit vielen Fresnel-Linsen **102** auf der sonnenzugewandten Oberfläche und entsprechend vielen Silizium-Solarzellen **103** auf dem Boden des Trägers, der auf einer zweiachsigen Nachführungseinrichtung montiert ist, angewendet werden (siehe [Fig. 10](#)). Die Höhe **101** des Trägerkastens **100** ist dann so groß wie die optimierte Länge des erfindungsgemäßen Zylinders gemäß der entsprechenden Ausführungsform des Einzelmoduls mit gleichgroßer Linse und gleichgroßer Solarzelle.

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 19804469 A1 [0002]
- DE 102006002465 A1 [0003]
- DE 20210881 U1 [0004]
- DE 102006000682 A1 [0005]

Patentansprüche

1. Photovoltaisches Solarmodul, umfassend mindestens eine Solarzelle mit einem optischen Strahlungskonzentrator, wobei das Modul mit einer Antriebseinheit zum gesteuerten, sonnenstandsabhängigen Nachführen in Verbindung steht, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Solarzelle bei Standardabmessungen industriell gefertigter Siliziumzellen eine erhöhte Ausgangsspannung aufweist, wobei der Strahlungskonzentrator so ausgelegt ist, dass bei einer Anordnung von Solarzelle und Strahlungskonverter an im Wesentlichen gegenüberliegenden Seiten des Moduls der erhaltene Leuchtfleck eine konzentrierte Beleuchtung bis zum Solarzellenrand hin ermöglicht.
2. Modul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Konzentrator und die Solarzelle auf einer gemeinsamen Achse, einander gegenüberliegend und konzentrisch angeordnet sind.
3. Modul nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Konzentrator als eine plankonvexe Linse, eine planare Fresnel-Linse oder als sphärische Fresnel-Linse ausgebildet ist.
4. Modul nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennweite der Linse so gewählt ist, dass bei vorgegebenem Abstand zwischen Linse und Solarzelle der Durchmesser des Leuchtflecks an dieser Abstandsposition gleich oder unwesentlich größer als der Zellendurchmesser ist.
5. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlungskonzentrationsfaktor der Anordnung zwischen 2 und 20, bevorzugt zwischen 4 und 10 liegt.
6. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Solarzelle eine rückseitige Kühlplatte aufweist.
7. Modul nach Anspruch 3 oder 4 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächenabmessungen der Kühlplatte im Wesentlichen derjenigen der eingesetzten Linse entsprechen.
8. Modul nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer kreisrunden Linse der Linsendurchmesser dem Durchmesser der ebenfalls kreisförmigen Kühlplatte entspricht.
9. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulgehäuse die Form einer Kugel aufweist, wobei innerhalb der Kugel die Solarzelle und der Strahlungskonverter angeordnet sind.
10. Modul nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulgehäuse die Form eines Hohlzylinders aufweist, wobei innerhalb des Hohlzylinders die Solarzelle und der Strahlungskonverter angeordnet sind.
11. Modul nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer sphärischen Fresnel-Linse als Strahlungskonzentrator die Linse in den Kugelmantel eingebettet ist und einen Bestandteil der Kugel oder des Kugelmantels bildet.
12. Modul nach Anspruch 9 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Solarzelle mit Kühlplatte entlang eines eine Kugelkappe abtrennenden Abschnitts in den Kugelmantel eingesetzt ist.
13. Modul nach Anspruch 9, 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die planare Linse entlang eines eine Kugelkappe abtrennenden Abschnitts in den Kugelmantel an einer Stelle eingesetzt ist, die der Position der Solarzelle parallel gegenüberliegt.
14. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen Strahlungskonzentrator und Solarzelle etwa gleich dem Durchmesser des Konzentrators ist.
15. Modul nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Kugeldurchmesser mindestens um den Faktor größer als der Durchmesser des Strahlungskonzentrators ist.
16. Modul nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen Strahlungskonzentrator und Solarzelle innerhalb des Hohlzylinders gleich oder kleiner als der Durchmesser des Strahlungskonzentrators ist.

17. Modul nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlungskonzentrator die Bodenfläche und die Solarzelle die Deckfläche des Hohlzylinders bilden, wobei die Längsachse des Hohlzylinders zur Strahlungsquelle gerichtet nachgeführt wird.

18. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulgehäuse aus zwei halbkugel- oder halbschalenförmigen Körpern zusammensetzbar ist.

19. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Solarzelle eine quadratische oder quasiquadratische Flächenform besitzt.

20. Modul nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Solarzelle eine Kreis- oder kreisähnliche Flächenform besitzt.

21. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Einzelmodulen auf oder in einem gemeinsamen flächigen Träger oder Trägerkasten angeordnet ist, wobei der Träger oder Trägerkasten die Nachführungs-Antriebseinheit aufweist oder mit einer solchen Einheit in Verbindung steht.

22. Modul nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangsspannung um einen Faktor zwischen 2 und dem Konzentrationsfaktor des Strahlungskonzentrators erhöht ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

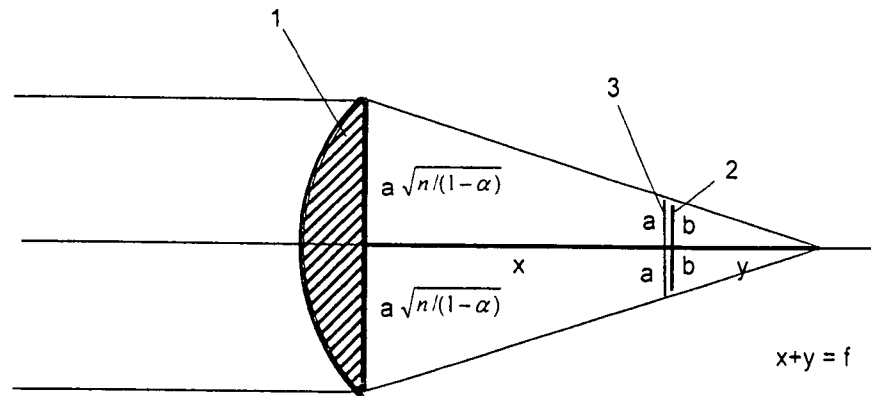
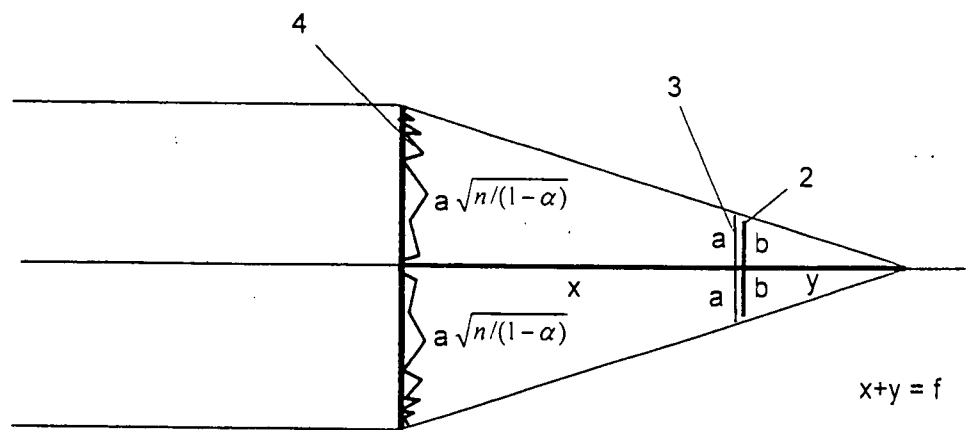


Fig. 2



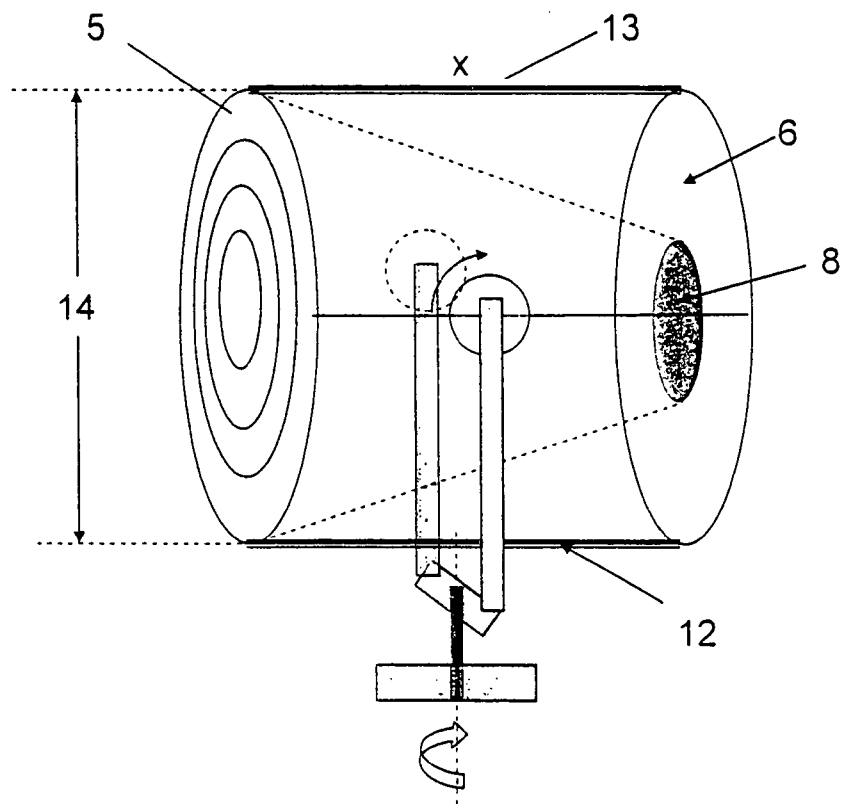
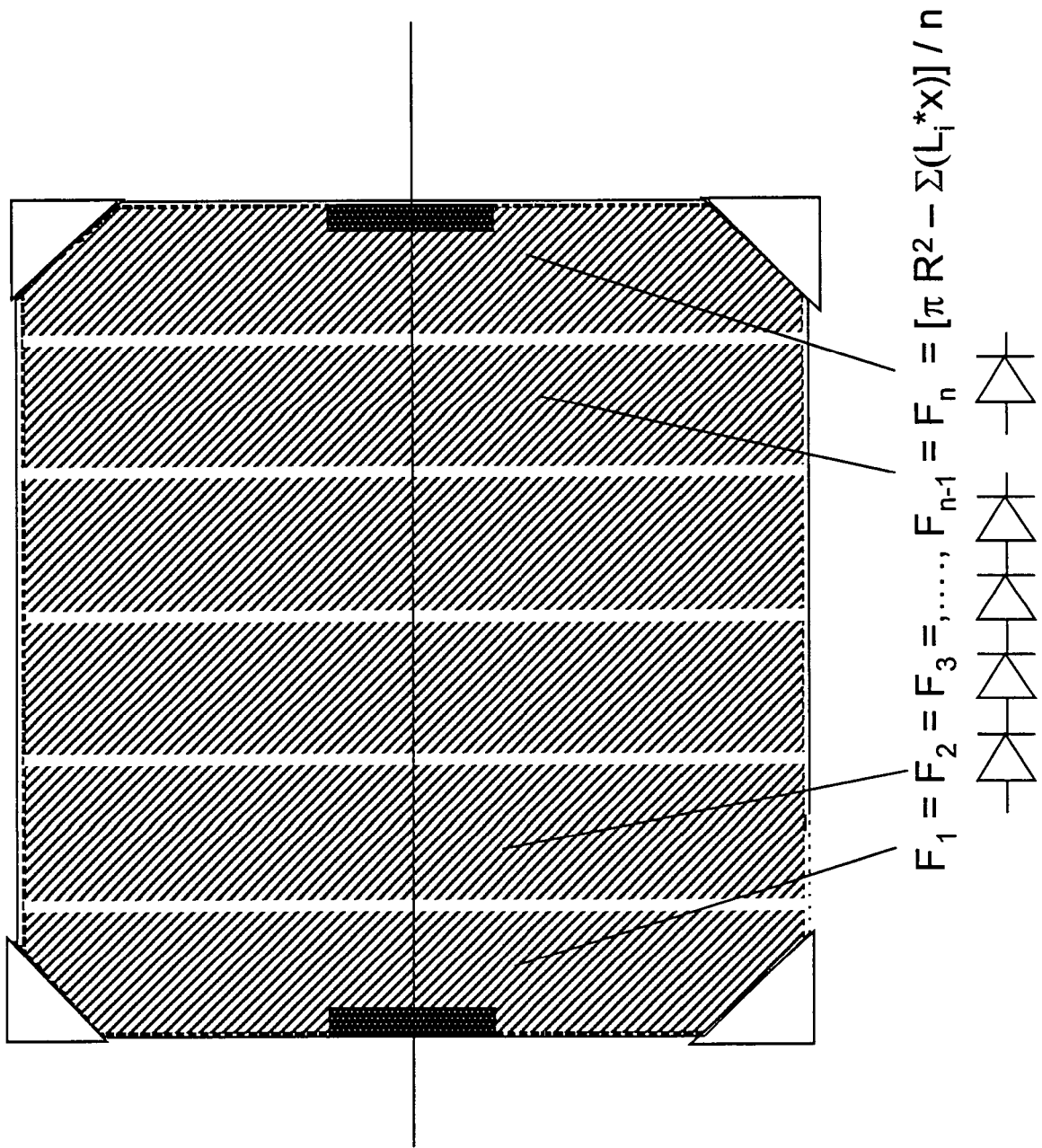
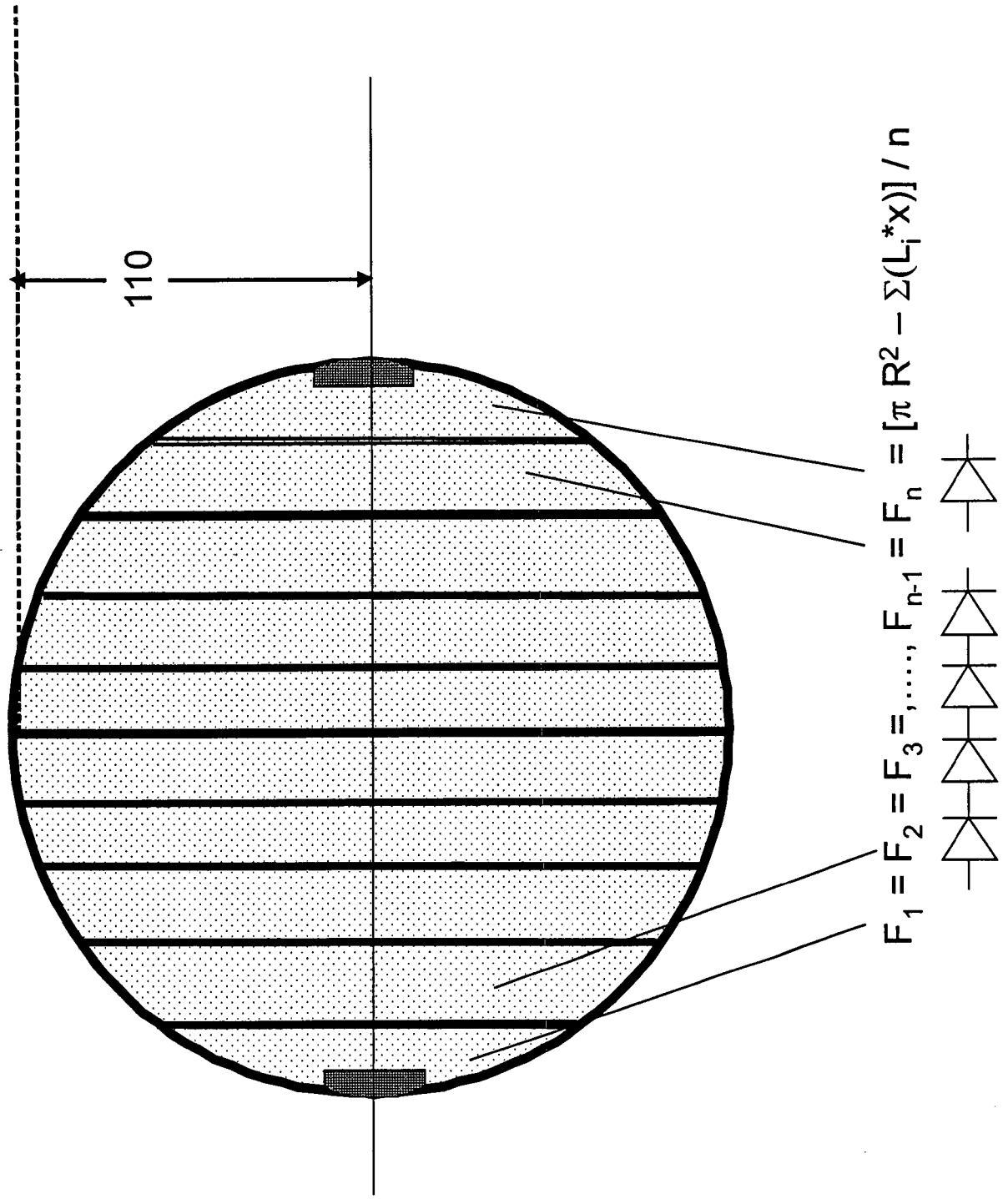


Fig. 5



Figur 6a



$$F_1 = F_2 = F_3 = \dots, F_{n-1} = F_n = [\pi R^2 - \Sigma(L_i \cdot x)] / n$$

Figur 6b

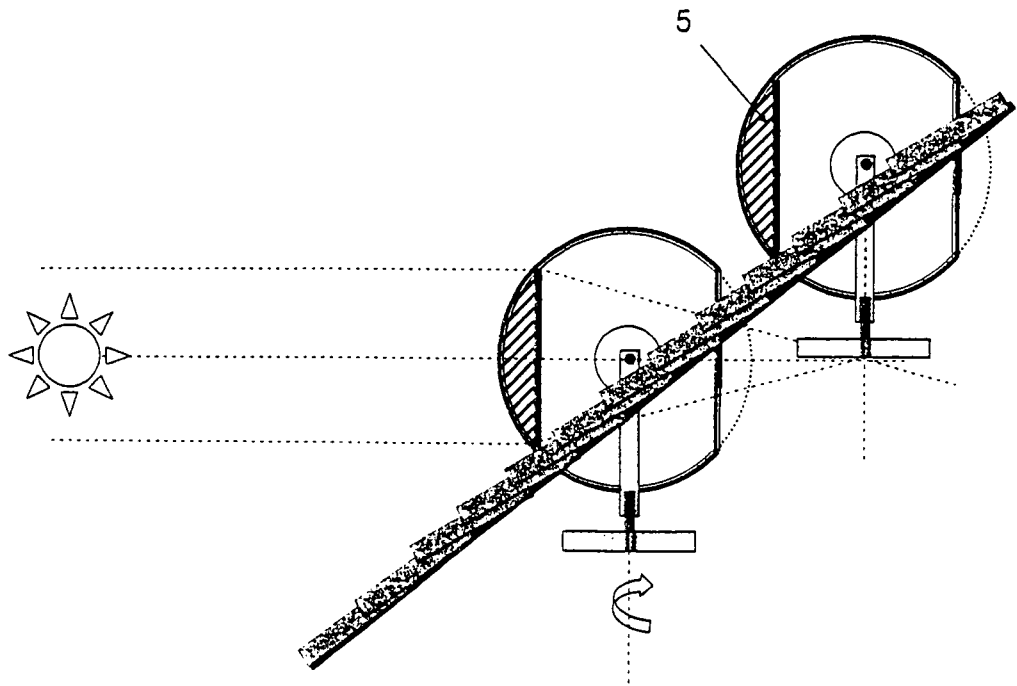


Fig. 7A

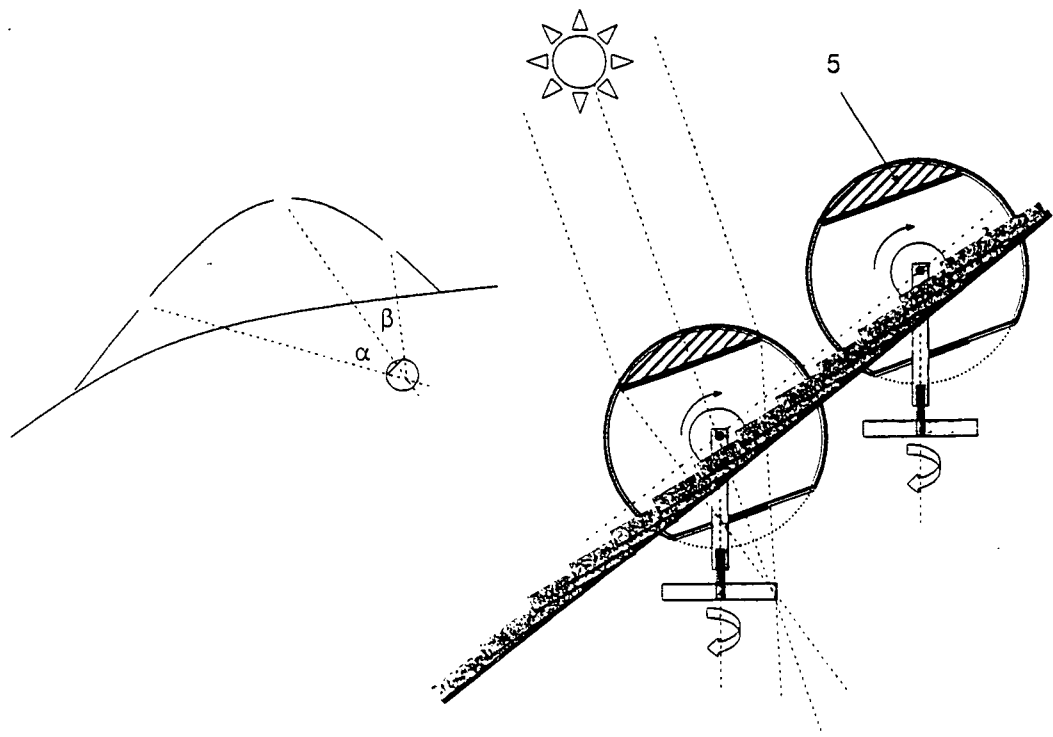


Fig. 7B

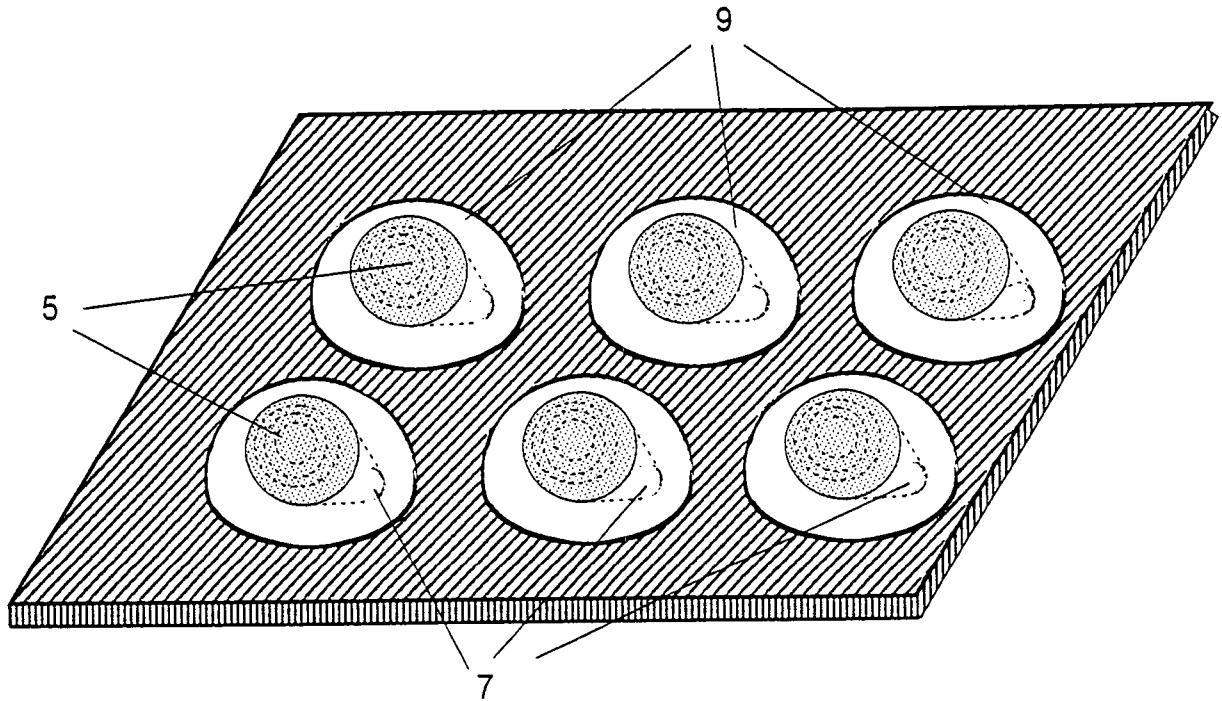


Fig. 7C

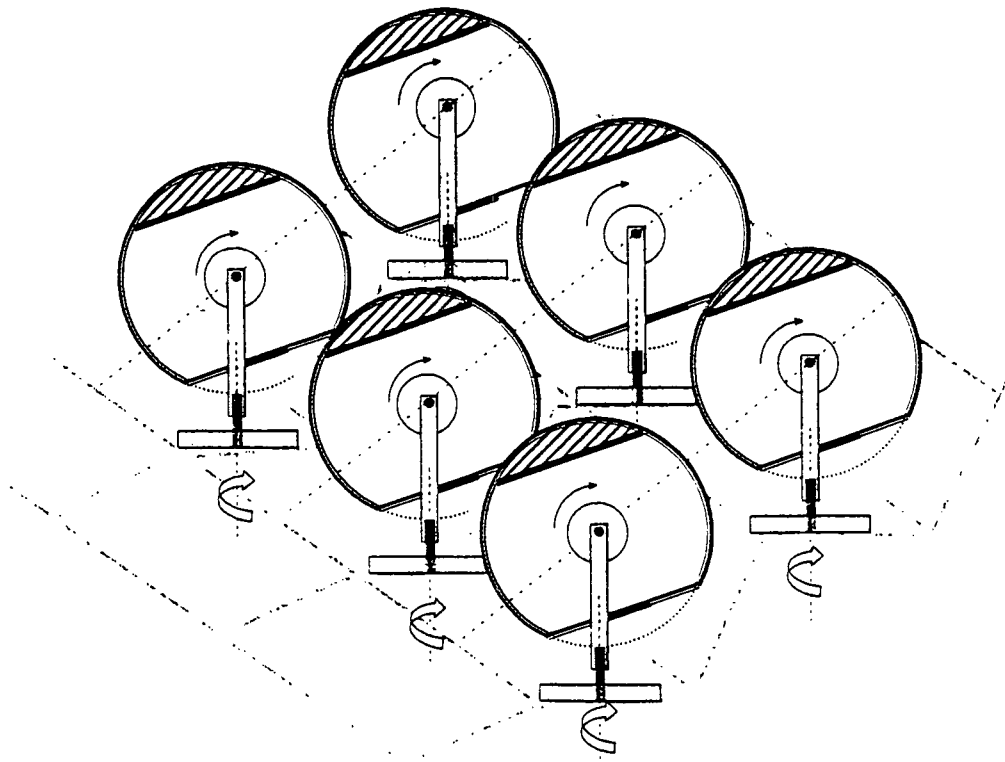


Fig. 8A

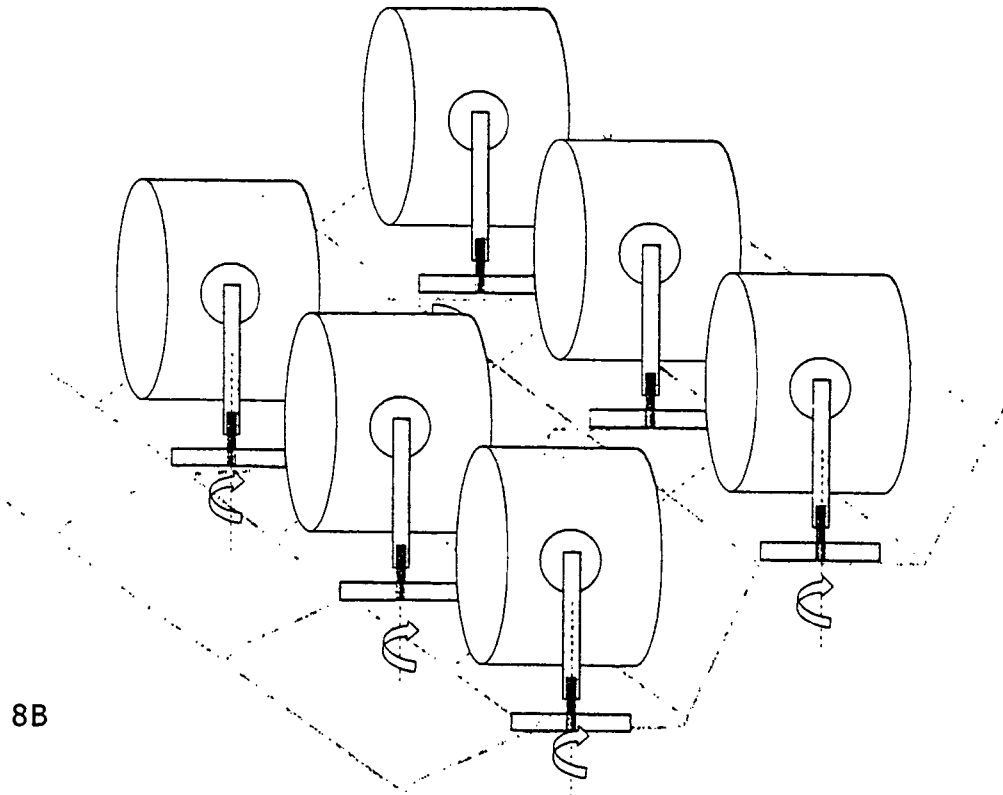


Fig. 8B

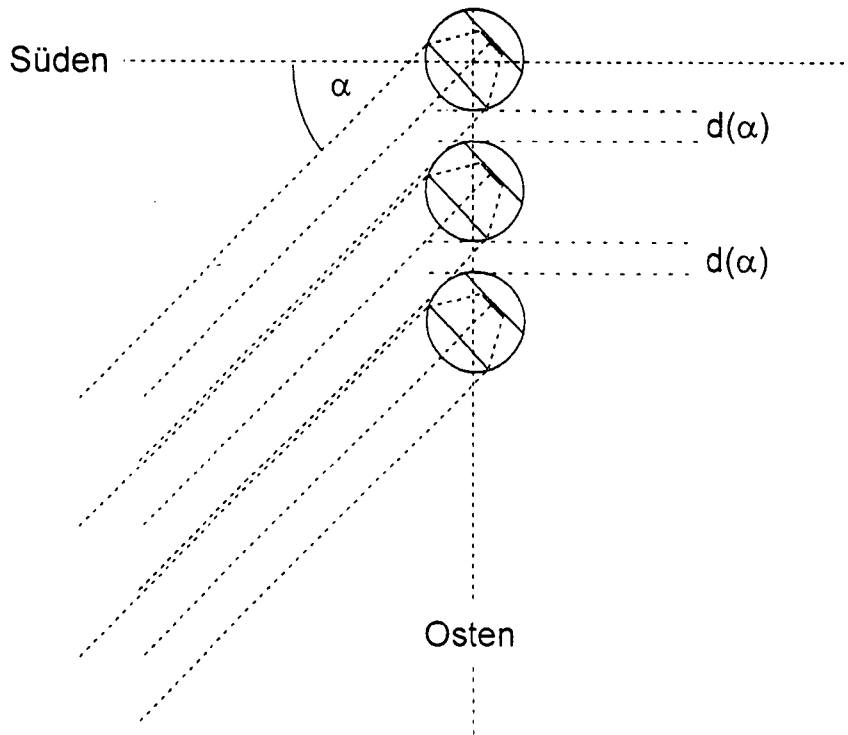


Fig. 9

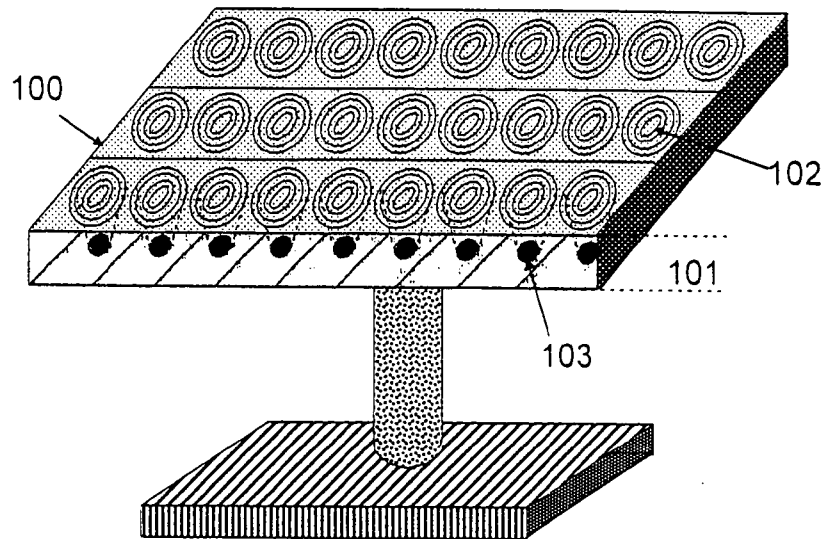


Fig. 10