(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 545 030**

(51) Int. CI.:

F24J 2/06 (2006.01)
F24J 2/12 (2006.01)
H01L 31/052 (2014.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2012 E 12772459 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015 EP 2751496**

(54) Título: **Un concentrador solar para sistemas fotovoltaicos**

(30) Prioridad:

01.09.2011 IT MI20111571
12.10.2011 US 201161546460 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.09.2015

(73) Titular/es:

FONDAZIONE CENTRO INTERNAZIONALE DELLA FOTONICA PER ENERGIA (100.0%)
Piazza Leonardo da Vinci 32
20133 Milano, IT

(72) Inventor/es:

GRASSO, GIORGIO;
MORICHETTI, FRANCESCO;
PIETRALUNGA, SILVIA MARIA;
RIGHETTI, ALDO y
UBALDI, MARIA CHIARA

(74) Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Un concentrador solar para sistemas fotovoltaicos

Campo técnico

[0001] Esta invención se aplica en el campo de las instalaciones fotovoltaicas, en particular en el campo de los sistemas de concentración fotovoltaica, aún más en particular en el campo de los sistemas de baja concentración.

Técnica antecedente

[0002] Existen sistemas de concentración fotovoltaica de la técnica anterior en los que la radiación solar es concentrada usando un sistema óptico en el material fotovoltaico. El factor de concentración solar de los sistemas de concentración óptica, definido como la relación del área de la abertura de entrada de la radiación solar y el área ocupada por el material fotovoltaico sobre el cual se concentra la radiación, puede estar comprendido entre valores de aproximadamente 1 y 10, los cuales se denominan de baja concentración, hasta valores de 100 y superiores (alta concentración), pasando por valores intermedios de entre aproximadamente 10 y 100 (concentración promedio).

[0003] El documento de patente AU-A-7099/87, el cual desvela un concentrador solar según el preámbulo de la reivindicación 1, y el artículo “Prism-coupled compound parabola: a new ideal and optimal solar concentrator”, Ian R. Edmonds, OPTICS LETTERS, Vol. 11, Nº 8, agosto de 1986, a cuyo contenido completo se hace referencia en esta invención, describen un concentrador solar bidimensional (2-D) para instalaciones fotovoltaicas de baja concentración que comprende un par de reflectores parabólicos que se reflejan entre sí, cada parábola, en una sección transversal perpendicular, que tiene un eje paralelo a la dirección de incidencia de la radiación incidente en el ángulo de aceptación predeterminado y el foco en el vértice de un prisma refractante colocado entre los dos reflectores y que tiene la base en la salida óptica del concentrador (en la cual están colocadas las células fotovoltaicas). Esta estructura, según el autor de los documentos anteriormente mencionados, permite la captación en las células fotovoltaicas de toda la radiación incidente dentro del ángulo de aceptación.

[0004] El solicitante ha hallado que los concentradores solares de la técnica anterior, incluyendo el concentrador anteriormente mencionado, no carecen de desventajas y pueden mejorarse desde diversos puntos de vista.

[0005] En general, el solicitante ha hallado que los concentradores solares de la técnica anterior están caracterizados por un factor de concentración y/o una eficiencia de concentración insatisfactorios y/o por un gran tamaño global, en particular la altura a lo largo del eje de simetría (véase más adelante), y/o por una producción y/o instalación y/o mantenimiento complejos y/o por un elevado coste de producción.

[0006] En particular, el solicitante ha hallado que la estructura del concentrador anteriormente mencionado descrito por Edmonds no es en realidad óptima en cuanto a la “eficiencia de concentración” (Pr), definida como la relación entre la potencia óptica total incidente en la entrada óptica del concentrador y la potencia óptica que realmente llega a la salida óptica del concentrador (y, por lo tanto, la célula fotovoltaica).

[0007] En primer lugar, el solicitante observa que el concentrador bidimensional de la técnica anterior anteriormente mencionado tiene un plano de simetría, una extensión principal a lo largo de un eje longitudinal pertenece al plano de simetría y un continuo de secciones transversales perpendiculares al eje longitudinal entre ellas igual a lo largo de todo el eje de extensión longitudinal, definiendo la sección transversal del plano de simetría un eje de simetría de la sección transversal perpendicular. En este contexto, la radiación incidente en el concentrador está caracterizada por dos ángulos de incidencia con respecto al eje de simetría de la sección transversal del concentrador, medidos en dos planos perpendiculares entre sí, donde el primer ángulo (indicado en lo sucesivo como θNS), considerado también por Edmonds, se mide en el plano de la sección transversal perpendicular (en el que están definidas las parábolas anteriormente mencionadas, véase, por ejemplo, la figura 1 del documento AU-A-70929/87) y el segundo ángulo (indicado como θEO) se mide en el plano de simetría del concentrador 2-D. Más exactamente, el ángulo real de incidencia con respecto al eje de simetría puede proyectarse perpendicularmente sobre los dos planos anteriormente mencionados. Por simplicidad, las proyecciones se denominarán en esta invención con la expresión “primer y segundo ángulo de incidencia”.

[0008] Según Edmonds, la eficiencia de concentración del concentrador anteriormente mencionado es igual a

uno para los primeros ángulos de incidencia θNS inferiores al ángulo de aceptación. El solicitante ha hallado que esta afirmación es estrictamente cierta (despreciando las pérdidas debidas a reflexión y refracción) sólo cuando la radiación tiene una dirección de incidencia que está situada en el plano de la sección transversal del concentrador, o, en otras palabras, el segundo ángulo de incidencia θEO, formado con este plano de la sección transversal, es cero.

[0009] Cuando, sin embargo, la radiación forma un segundo ángulo θEO con el plano de la sección transversal distinto de cero, el solicitante ha descubierto sorprendentemente que el comportamiento del concentrador difiere del considerado por Edmonds (para radiación incidente con un primer ángulo θNS, en el plano de la sección transversal, distinto de cero), con una reducción en la eficiencia de concentración que se reduce más cuanto mayor es el segundo ángulo de incidencia θEO anteriormente mencionado (y cuanto mayor es el primer ángulo θNS anteriormente mencionado).

[0010] El solicitante se ha dado cuenta de que en una aplicación real del concentrador 2-D de la técnica anterior anteriormente mencionado, en el que éste está orientado con el eje longitudinal de extensión (a lo largo del cual la geometría de la sección transversal permanece constante) paralelo a la dirección geográfica Este-Oeste y con la sección transversal anteriormente mencionada perpendicular paralela a la dirección geográfica Norte-Sur, la radiación solar a lo largo del periodo de un día varía el segundo ángulo relativo de incidencia (θEO) hasta un máximo comprendido entre -90º y +90º (con el horizonte despejado). Por lo tanto, según el solicitante, la eficiencia global a lo largo del periodo de todo el día del concentrador 2-D de la técnica anterior anteriormente mencionado no sería la esperada, excepto en el caso ideal en el cual el primer ángulo de incidencia θNS es cero (concentrador orientado de tal manera que la elevación del eje de simetría es igual a la elevación del sol, una condición que puede producirse como máximo sólo durante unos pocos días al año). Por otra parte, la eficiencia global sería típicamente inferior a la esperada.

[0011] Un problema que forma la base de esta invención, según sus diversos aspectos y/o realizaciones, es proporcionar un concentrador solar para instalaciones fotovoltaicas, un sistema fotovoltaico, un panel fotovoltaico y un procedimiento para producir un panel fotovoltaico que pueda superar una o más de las desventajas anteriormente mencionadas.

Descripción de la invención

[0012] El solicitante ha hallado que en la configuración anteriormente mencionada de un concentrador solar para instalaciones fotovoltaicas, puede obtenerse un aumento significativo en la eficiencia de concentración desplazando el foco a una posición diferente en relación con el vértice del prisma refractante.

[0013] Según un aspecto, la invención se refiere a un concentrador solar para instalaciones fotovoltaicas que tiene un plano de simetría, perteneciendo una extensión principal a lo largo de un eje longitudinal al plano de simetría y una sección transversal perpendicular al eje longitudinal (sustancialmente) igual para un continuo de secciones transversales perpendiculares al eje longitudinal medido a lo largo de al menos una porción de la extensión longitudinal del concentrador, definiendo la sección transversal del plano de simetría un eje de simetría de la sección transversal perpendicular. El concentrador solar comprende un sistema reflectante principal (también denominado en lo sucesivo simplemente sistema reflectante) y un sistema refractante secundario (también denominado en lo sucesivo simplemente sistema refractante) que se extienden ambos longitudinalmente y que tienen un perfil respectivo en la sección transversal perpendicular. El sistema reflectante principal define en sus dos extremos opuestos a lo largo del eje de simetría respectivamente una entrada óptica y una salida óptica (ambas colocadas sustancialmente perpendiculares al eje de simetría) y comprende dos semiporciones colocadas especularmente en relación con el plano de simetría. El perfil de la sección transversal del sistema refractante es un triángulo que tiene una base en la sección transversal de la salida óptica y un vértice en el eje de simetría entre la entrada y la salida óptica. El perfil de la sección transversal de cada semiporción del sistema reflectante se extiende desde un punto cercano a un vértice respectivo hasta la base del triángulo hasta un punto extremo en la entrada óptica, y comprende un segmento sustancialmente en forma de una parábola que tiene un eje que forma con el eje de simetría un ángulo de aceptación (indicado con θ0) mayor que cero y un foco en el eje de simetría.

[0014] Según un aspecto, el foco está situado dentro del triángulo, con preferencia la distancia del foco desde el vértice del triángulo es superior o igual al 5 % de la altura total del triángulo, con más preferencia superior o igual al 7 % de la altura total del triángulo.

[0015] Según el solicitante, la colocación anteriormente mencionada del foco permite que la radiación luminosa

sea captada en la base del triángulo (y, por lo tanto, en la célula fotovoltaica), cuando forma un segundo ángulo de incidencia θEO distinto de cero, incluso significativamente mayor que la configuración de la técnica anterior en la que el foco está en el vértice del triángulo. Sin querer establecer una conexión con ninguna teoría interpretativa, el solicitante cree que cuando el segundo ángulo de incidencia es distinto de cero, la radiación "ve" un perfil distorsionado del sistema reflectante (en otras palabras, más "alargado") con respecto al "ideal" en la sección transversal perpendicular, con la reflexión consiguiente fuera del foco (en general, "más alta"). La solución propuesta se considera que compensa, al menos en parte, la distorsión óptica anteriormente mencionada.

[0016] Según un aspecto, la distancia del foco desde el vértice del triángulo es inferior o igual al 20 % de la altura total del triángulo, con más preferencia inferior o igual al 15 % de la altura total del triángulo.

[0017] Según un aspecto, el triángulo es un triángulo isósceles.

[0018] Según un aspecto, el perfil de la sección transversal de cada semiporción del sistema reflectante comprende un primera y una segunda parte, con preferencia unidas entre sí sin interrupción, siendo la primera parte con preferencia (sustancialmente) rectilínea y siendo la segunda parte el segmento conformado sustancialmente según una parábola.

[0019] Según un aspecto, el ángulo en el vértice del triángulo (indicado con θv) es superior o igual a 40º, con preferencia superior o igual a 55º.

[0020] Según un aspecto, el ángulo en el vértice del triángulo es inferior o igual a 80º, con preferencia inferior o igual a 65º.

[0021] Según un aspecto, un ángulo (indicado en lo sucesivo con θ1, que significa el menor de los dos ángulos complementarios que se forman de este modo) formado por la primera parte del perfil de cada semiporción del sistema reflectante con una dirección paralela al eje de simetría es entre: $\theta 1 = \pi/2 - \theta v/4 - \theta 0/2$ +/- 10 % (con preferencia +/- 5 %).

[0022] Según un aspecto, la altura total del concentrador a lo largo del eje de simetría es inferior o igual a una altura máxima que corresponde a la configuración en la que la tangente a la segunda parte del perfil de cada semiporción del sistema reflectante en el punto extremo de la entrada óptica es paralela al eje de simetría (la configuración que tiene el factor de concentración máximo). Con preferencia, la altura total se selecciona de tal modo que el factor de concentración correspondiente es inferior o igual al 95 % del factor de concentración máximo y/o superior o igual al 80 % (con preferencia el 85 %) del factor de concentración máximo.

[0023] Según un aspecto, la altura total del concentrador es inferior o igual a 100 mm, con preferencia inferior o igual a 75 mm.

[0024] Según un aspecto, la tangente a la segunda parte del perfil de cada semiporción del sistema reflectante en el punto de conexión forma un ángulo (que significa ángulo más pequeño entre los dos ángulos complementarios formados de este modo) con el eje de simetría igual o casi igual (es decir, dentro de una tolerancia de +/- 5 %) al ángulo más pequeño (θ1) formado por la primera parte del perfil de cada semiporción del sistema reflectante con el eje de simetría.

[0025] Según un aspecto, la relación (factor de concentración) entre el área de la entrada óptica (o anchura de su sección transversal) y el área de la salida óptica (o anchura de su sección transversal) es superior a 1, con preferencia superior o igual a 2, y/o inferior o igual a 10, con preferencia inferior o igual a 8.

[0026] Según un aspecto, el ángulo de aceptación es superior o igual a 5º, con preferencia superior o igual a 10º y/o inferior o igual a 30º. Ventajosamente, de este modo el concentrador y el sistema fotovoltaico relativo tienen buenos niveles de rendimiento a lo largo de todo el año incluso cuando están instalados con la orientación geográfica anteriormente mencionada en modo estático (es decir, fijo) o modo cuasi estático (es decir, con sólo unos pocos, por ejemplo dos, ajustes de la elevación del eje de simetría durante el año).

[0027] Según un aspecto, el ángulo de aceptación es superior o igual a 15º, con preferencia superior o igual a 25º (para una instalación estática).

[0028] Según un aspecto, el segmento del perfil de cada semiporción del sistema reflectante sustancialmente en

forma de parábola comprende tres o más segmentos rectilíneos que se aproximan a la forma de una parábola ideal (o más bien, un segmento de una parábola).

[0029] Según un aspecto, el sistema refractante comprende un prisma refractante que tiene el perfil triangular anteriormente mencionado.

[0030] Según un aspecto, el sistema refractante secundario está fabricado de vidrio o un material polimérico tal como polimetacrilato de metilo (PMMA), policarbonato, poliolefina, etc. Con preferencia, el sistema refractante se fabrica mediante moldeo por inyección o mediante fundición o mediante extrusión. Con preferencia, el sistema refractante (el prisma refractante) está revestido externamente con una capa no reflectante (para reducir la radiación reflejada en la interfaz prisma/aire por debajo del 1 %).

[0031] Con preferencia, el índice de refracción (n2) del sistema refractante es superior o igual a 1,3, con más preferencia superior o igual a aproximadamente 1,5. Con preferencia, el índice de refracción (n2) del sistema refractante es inferior o igual a 2,5.

[0032] Según un aspecto, el sistema reflectante primario define un compartimento interior que aloja el sistema refractante secundario y la porción del compartimento interior que deja libre el sistema refractante secundario está rellena de aire.

[0033] Según un aspecto alternativo, la porción anteriormente mencionada del compartimento interior que deja libre el sistema refractante secundario está relleno de un material dieléctrico que tiene índice de refracción (n1) inferior al del sistema refractante (prisma). Ventajosamente, de ese modo se incrementa el factor de concentración real en el plano de la sección transversal (primer ángulo θNS), con el mismo ángulo de aceptación y/o se incrementa la eficiencia de concentración (después de la “recuperación” del segundo ángulo de incidencia θEO en el plano de simetría). Por ejemplo, definiendo θin como el ángulo de aceptación deseado, el concentrador puede diseñarse considerando un ángulo formado por el eje de las parábolas con el eje de simetría igual a $\theta 0=\sin^{-1}(\sin(\theta in)/n1)$ y con un índice de refracción equivalente del prisma igual a n2/n1. Con preferencia, el índice de refracción (n1) del material dieléctrico en la porción anteriormente mencionada del compartimento interior es superior o igual a 1,1. Con preferencia, el índice de refracción (n1) del material dieléctrico en la porción anteriormente mencionada del compartimento interior es inferior o igual a 1,6.

[0034] Según un aspecto, la sección transversal perpendicular es (sustancialmente) igual para un continuo de secciones transversales a lo largo de sustancialmente toda (con la posible excepción de los dos extremos longitudinales) la extensión longitudinal del concentrador.

[0035] Según un aspecto, el sistema refractante comprende un material óptico no lineal adecuado para convertir la longitud de onda óptica (incrementando así la eficiencia de conversión de energía de la luz solar). Con preferencia, el sistema refractante comprende materiales poliméricos dosificados con material fluorescente tal como moléculas orgánicos o nanopartículas que son capaces de absorber dos fotones infrarrojos de baja energía emitiendo uno de energía suma (o, normalmente, mayor) que puede ser absorbido por la célula fotovoltaica (conversión ascendente) y/o absorber un fotón de alta energía emitiendo dos de energía intermedia que puede ser absorbido por la célula fotovoltaica (conversión descendente).

[0036] Según un aspecto, el sistema reflectante primario está fabricado de material plástico (polimérico) revestido con una capa delgada (película) de material reflectante tal como aluminio, plata o sus aleaciones. Con preferencia, el sistema reflectante se obtiene moldeando laminados de material plástico. Según un aspecto alternativo y preferente, el sistema reflectante primario es una chapa metálica conformada adecuadamente y revestida con una película de material reflectante. La reflectancia de las superficies reflectantes es, con preferencia, superior al 85 %, con preferencia superior al 90 %.

[0037] Según un aspecto, la invención se refiere a un sistema fotovoltaico que comprende el concentrador solar según cualquiera de los aspectos o realizaciones de esta invención y una célula fotovoltaica acoplada ópticamente con la salida óptica, con preferencia colocada en la salida óptica, con más preferencia fijada (por ejemplo, con adhesivo acrílico con reticulación UV) a una superficie del sistema refractante secundario (prisma refractante) en la base del triángulo.

[0038] Según un aspecto, la célula fotovoltaica está fabricada de silicio, con preferencia con todos los contactos óhmicos en el mismo lado (“con contacto posterior”), y/o con el silicio tratado sobre la superficie para anular la luz

reflejada y ensanchar el espectro de absorción (“silicio negro”). Alternativamente, la célula fotovoltaica está fabricada de nitruro de indio y galio, y/o del tipo de unión doble o triple, etc.

[0039] Según un aspecto, el sistema fotovoltaico comprende una chapa metálica (por ejemplo, fabricada de aluminio o una aleación de aluminio), con preferencia revestida tal como se describió anteriormente, doblada adecuadamente para formar en un solo cuerpo el sistema reflectante principal y que forma una pared inferior interpuesta con continuidad estructural entre la primera y segunda semiporciones del sistema reflectante, estando la célula fotovoltaica fijada mecánicamente a la pared inferior. Según un aspecto, el sistema fotovoltaico puede comprender un disipador térmico asociado con la célula fotovoltaica, para limitar la temperatura de funcionamiento de la célula, y, en consecuencia, mantener su eficiencia de conversión a niveles elevados.

[0040] Según un aspecto, la invención se refiere a un panel solar fotovoltaico que comprende una pluralidad de sistemas fotovoltaicos según cualquiera de los aspectos y/o realizaciones de esta invención, colocados paralelos entre sí.

[0041] Según un aspecto, el panel solar comprende una sola chapa metálica (por ejemplo, fabricada de aluminio o una aleación de aluminio), con preferencia revestida tal como se describió anteriormente doblada adecuadamente para formar en un solo cuerpo la pluralidad anteriormente mencionada de sistemas reflectantes principales paralelos entre sí, en el que cada (es decir, la primera y la segunda) semiporción de cada sistema reflectante (con la excepción de los que están en los extremos transversales del panel) tiene el borde extremo en la entrada óptica cercana y en continuidad estructural (o coincidente) con el borde extremo en la entrada óptica de una semiporción (es decir, la segunda y la primera, respectivamente) adyacente correspondiente de un sistema reflectante adyacente, en el que la chapa metálica también forma una pluralidad de paredes inferiores interpuestas con continuidad estructural entre cada par de primeras y segundas semiporciones que pertenecen a cada sistema reflectante, y donde la pluralidad de células fotovoltaicas está fijada mecánicamente a la pluralidad de paredes inferiores. Ventajosamente, tal estructura es capaz de reducir los costes de fabricación, ya que la chapa metálica unifica las funciones de espejo, soporte mecánico de las células y disipador térmico en un solo elemento.

[0042] Según un aspecto, la invención se refiere a un procedimiento para fabricar un panel fotovoltaico según el párrafo anterior, que comprende:

- preparar una chapa metálica, con preferencia revestida tal como se describió anteriormente:

- doblar, con preferencia doblar en frío, la chapa metálica de tal manera que se obtenga la estructura descrita en el párrafo anterior:

- fijar, por ejemplo, con adhesivo acrílico con reticulación UV, la pluralidad de células fotovoltaicas a la pluralidad de sistemas refractantes secundarios:

- fijar, por ejemplo con un adhesivo eléctricamente aislante y térmicamente conductor, tal como un adhesivo cianoacrílico, la pluralidad de células fotovoltaicas (si es necesario, comprendiendo cada una una placa de circuito impreso o PCB) a la pluralidad de paredes inferiores.

[0043] Según un aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de instalación y/u operación de un panel solar fotovoltaico según cualquiera de los aspectos y/o realizaciones de esta invención, en el que el panel está orientado de tal modo que el plano de simetría está colocado a lo largo de la dirección geográfica ESTE-OESTE.

[0044] Según un aspecto, el procedimiento de instalación y/u operación anteriormente mencionado comprende orientar el panel (con preferencia, sólo durante la instalación sin actividades de orientación sucesivas adicionales – “instalación estática”) de tal modo que el eje de simetría tenga una elevación (ángulo formado con el horizonte) sustancialmente igual a la del sol en los días de equinoccio.

[0045] Según un aspecto alternativo, el procedimiento de instalación y/u operación anteriormente mencionado comprende orientar el panel dos veces (con preferencia, pero no exclusivamente, sólo dos veces – “instalación cuasiestática”) durante un año solar, en el que el eje de simetría del concentrador adopta la primera vez una elevación (ángulo formado con el horizonte) entre (con preferencia, igual al valor intermedio entre) la elevación del sol en los días de equinoccio y la elevación del sol en el día del solsticio de verano, y en el que el eje de simetría adopta la segunda vez una elevación entre (con preferencia, igual al valor intermedio entre) la elevación del sol en los días de equinoccio y la elevación del sol en el día del solsticio de invierno. Con preferencia, la primera

orientación se realiza en una fecha que cae dentro de un mes desde el equinoccio de primavera y la segunda orientación se realiza en una fecha que cae dentro de un mes desde el equinoccio de otoño.

Breve descripción de los dibujos

[0046] Otras características y ventajas resultarán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de algunas realizaciones, incluyendo realizaciones no limitativas, de un concentrador solar para instalaciones fotovoltaicas, un sistema fotovoltaico, un panel fotovoltaico, un procedimiento de producción y un procedimiento de instalación y/u operación de un panel solar fotovoltaico según esta invención. La descripción se expone más adelante con referencia a los dibujos adjuntos que se proporcionan únicamente con fines de ilustración sin restringir el alcance de la invención y en los cuales:

- la figura 1 muestra una perspectiva esquemática de una posible realización de un concentrador solar según esta invención;
- la figura 2 muestra una sección transversal esquemática perpendicular de un sistema fotovoltaico que contiene el concentrador solar según esta invención;
- las figuras 3a y 3b muestran respectivamente secciones transversales comparativas esquemáticas y parciales perpendiculares de un concentrador solar según esta invención, que muestran los caminos de los rayos de la radiación luminosa calculados numéricamente para un valor del primer θNS y el segundo ángulo de incidencia θEO iguales, respectivamente, a 14º y 0º;
- las figuras 4a y 4b muestran respectivamente secciones transversales comparativas esquemáticas y parciales perpendiculares de un concentrador solar según esta invención, que muestran las proyecciones sobre la sección transversal de los caminos de los rayos de la radiación luminosa calculados numéricamente para un valor del primer θNS y el segundo ángulo de incidencia θEO iguales, respectivamente, a 14º y 20º;
- la figura 5 muestra los resultados de un cálculo numérico de la eficiencia de concentración de un concentrador solar según esta invención y una comparación para diversos segundos ángulos de incidencia (y con el primer ángulo de incidencia igual a 14º);
- la figura 6 muestra los resultados de un cálculo numérico de la eficiencia de concentración de un concentrador solar según esta invención y una comparación para diversos primeros y segundos ángulos de incidencia; y
- la figura 7 muestra una sección transversal esquemática perpendicular de un panel solar fotovoltaico según esta invención.

Descripción detallada de las realizaciones referidas de la invención

[0047] Con referencia a los dibujos adjuntos, el número de referencia 1 indica en su totalidad un concentrador solar para instalaciones fotovoltaicas según esta invención, el número de referencia 10 indica en su totalidad un sistema fotovoltaico según esta invención y el número de referencia 100 indica en su totalidad un panel fotovoltaico según esta invención. En general, se usa el mismo número de referencia para los mismos elementos (y para las secciones transversales) en sus variaciones de realización.

[0048] El concentrador solar 1 tiene típicamente un plano de simetría 2, una extensión principal a lo largo de un eje longitudinal 3 perteneciendo al plano de simetría y una sección transversal a través de un plano 4 (mostrado, por ejemplo, en la figura 1) perpendicular al eje longitudinal. La sección transversal del plano de simetría 2 define un eje de simetría 5 de la sección transversal perpendicular.

[0049] El término “sección transversal” significa el resultado de una intersección de un elemento, por ejemplo el concentrador, con un plano, en cuanto a perfiles o formas bidimensionales de los componentes del elemento.

[0050] Tal como se describió anteriormente, la radiación incidente en el concentrador tiene un ángulo real de incidencia en relación con el ángulo de simetría que puede proyectarse convencionalmente sobre dos planos perpendiculares entre sí de tal modo que definen un primer y un segundo ángulo de incidencia en relación con el eje de simetría, donde el primer ángulo de incidencia (θNS) se mide en el plano de la sección transversal 4 y el segundo ángulo de incidencia (θEO) se mide en el plano de simetría 2.

[0051] La sección transversal perpendicular del concentrador es (sustancialmente) igual para un continuo de secciones transversales perpendiculares a lo largo de al menos una porción de la extensión longitudinal del concentrador (con preferencia una porción sustancial, por ejemplo una porción longitudinal central que se extiende por al menos el 75 % de la extensión longitudinal total del concentrador).

[0052] El concentrador solar comprende un sistema reflectante principal 6 y un sistema refractante secundario 7 que se extienden ambos longitudinalmente y tienen un perfil respectivo sobre la sección transversal perpendicular (mostrado a modo de ejemplo en la figura 2). El sistema reflectante principal 6 define en sus dos extremos opuestos a lo largo del eje de simetría respectivamente una entrada óptica 8 y una salida óptica 9 colocadas ambas perpendiculares al eje de simetría 5. El sistema reflectante primario 6 define un compartimento interior 14 (entre la entrada y la salida óptica) que aloja el sistema refractante secundario 7.

[0053] Típicamente, el sistema reflectante 6 comprende dos semiporciones colocadas especularmente en relación con el plano de simetría 2.

[0054] Con preferencia, el perfil de la sección transversal del sistema refractante 7 es un triángulo 11 que tiene una base 12 en la sección transversal de la salida óptica 9 y un vértice 13 en el eje de simetría 5, entre la entrada y la salida óptica (es decir, en el compartimento interior 14).

[0055] Con preferencia, el triángulo 11 es un triángulo isósceles. Por ejemplo, el ángulo del vértice del triángulo (θv) puede ser igual a 62º.

[0056] Con preferencia, el sistema refractante comprende un prisma refractante 21 que tiene el perfil triangular 11 anteriormente mencionado. Por ejemplo, el índice de refracción (n2) del prisma 21 es igual a 1,49. Con preferencia, el perfil de la sección transversal de cada semiporción 6 del sistema reflectante se extiende desde un punto cerca del vértice 15 respectivo de la base del triángulo 11 hasta un punto extremo 16 en la entrada óptica 8. Comprende una primera parte 17 y una segunda parte 18 unidas entre sí sin interrupción, en un punto de conexión 19, donde la primera parte 17 es rectilínea y la segunda parte 18 es un segmento de una parábola que tiene un eje 20 que forma con el eje de simetría 5 un ángulo de aceptación (indicado con $\theta 0$) mayor que cero y un foco F en el eje de simetría.

[0057] Con preferencia, el foco está situado dentro del triángulo 11. Por ejemplo, la distancia del foco F desde el vértice 13 del triángulo 11 es igual a aproximadamente el 10 % de la altura total del triángulo 11 a lo largo del eje de simetría 5.

[0058] Aun cuando los dibujos muestra a modo de un ejemplo la segunda parte de perfil de la semiporción del sistema reflectante en forma de una parábola geométrica ideal, esta invención también contempla el caso en el cual la segunda parte comprende varios segmentos sustancialmente rectilíneos que se aproximan a un segmento de una parábola ideal (por ejemplo, tres o más segmentos sustancialmente rectilíneos).

[0059] Con preferencia, el ángulo más pequeño ($\theta 1$) formado por la primera parte 17 del perfil de cada semiporción del sistema reflectante 6 con una dirección paralela al eje de simetría 5 es igual a $\theta 1 = \pi/2 - \theta v/4 - \theta 0/2$.

[0060] Por ejemplo, la altura total del concentrador 1 a lo largo del eje de simetría 5 se selecciona de tal modo que el factor de concentración correspondiente sea igual al 90 % del factor de concentración máximo que corresponde a la configuración en la que la tangente a la segunda parte del perfil de cada semiporción del sistema reflectante 6 en el punto extremo en la entrada óptica 8 es paralela al eje de simetría 5.

[0061] Por ejemplo, la altura total del concentrador 1 es igual a 35 mm y la relación de aspecto es igual a 1,49.

[0062] Por ejemplo, el factor de concentración es igual a aproximadamente 5 o aproximadamente 7.

[0063] Por ejemplo, la porción 14 del compartimento interior que deja libre el sistema refractante secundario 7 está rellena de aire.

[0064] Con preferencia, la entrada óptica 8 está cerrada con una cubierta fabricada de material transparente, tal como PMMA o vidrio (no mostrada en la figura 1).

[0065] El sistema fotovoltaico 10 comprende el concentrador solar 1 y una célula fotovoltaica 30 acoplada ópticamente con la salida óptica 9. Más específicamente, la célula fotovoltaica 30 está colocada, con preferencia, en la salida óptica 9, con más preferencia fijada (por ejemplo, con adhesivo acrílico con reticulación UV) a una superficie del prisma refractante 21 en la base 12 del triángulo 11.

[0066] Con preferencia, el sistema fotovoltaico 10 comprende una chapa metálica 40 (por ejemplo, fabricada de

aluminio o una aleación de aluminio), con preferencia revestida con una película de material reflectante, doblada adecuadamente para formar en un solo cuerpo el sistema reflectante principal 6. Una pared inferior 41 también puede estar así definida e interpuesta con continuidad estructural entre la primera y segunda semiporciones del sistema reflectante 6. La célula fotovoltaica 30 puede estar fijada mecánicamente a la pared inferior 41, si es necesario con la interposición de una PCB 31 que está fijada directamente (por ejemplo, con adhesivo cianoacrílico) a la pared inferior 41.

[0067] Las figuras 3a, 3b, 4a, 4b, 5 y 6 muestran los resultados de simulaciones numéricas realizadas con un programa de procesamiento que rastrea los rayos de luz solar en un modelo matemático de un concentrador solar según esta invención (figuras 3b, 4b, 5 y 6) y en un modelo matemático de un concentrador solar comparativo, del tipo descrito en los documentos anteriormente mencionados de Ian R. Edmonds (figuras 3a, 4a, 5 y 6).

[0068] Los modelos de concentrador solar según esta invención y para comparación son iguales excepto para la altura total del triángulo del prisma (4 mm y 3,6 mm, respectivamente), el ángulo en el vértice (62º y 67º, respectivamente) y la posición del foco de las secciones transversales parabólicas que ya no coincide con el vértice del prisma, sino que está colocado 0,4 mm más bajo debido al efecto del incremento en la altura del prisma. Los parámetros de diseño restantes tienen los valores mostrados anteriormente como ejemplos, y además: factor de concentración = 4,9, ángulo de aceptación = 14º, n2 = 1,5, altura (desde la entrada óptica hasta la salida óptica) = 35 mm, anchura en la base del triángulo 4,8 mm.

[0069] El primer ángulo de incidencia es igual a 14º para las figuras 3a, 3b, 4a, 4b y 5.

[0070] El segundo ángulo de incidencia es igual a 0º para las figuras 3a y 3b e igual a 20º para las figuras 4a y 4b.

[0071] Las figuras 3a y 3b muestran cómo para un segundo ángulo de incidencia igual a 0º, los dos concentradores actúan de una manera equivalente.

[0072] Las figuras 4a y 4b muestran, por otra parte, cómo para un segundo ángulo de incidencia distinto de 0º, el concentrador según esta invención tiene un rendimiento mejor que el concentrador comparativo en cuanto a capacidad de concentración de radiación en la base del triángulo.

[0073] La figura 5 muestra la eficiencia de concentración Pr (eje vertical) de los dos concentradores para diversos valores del segundo ángulo de incidencia (eje horizontal). La línea con los círculos corresponde al modelo de concentrador comparativo y la línea con los cuadrados corresponde al modelo de concentrador según esta invención.

[0074] La figura 6 muestra en más detalle la eficiencia de concentración Pr (eje vertical) de los dos concentradores para diversos valores del segundo ángulo de incidencia (eje horizontal) y para diversos valores del primer ángulo de incidencia (según la leyenda de la figura). Las líneas discontinuas corresponden al modelo de concentrador comparativo y las líneas continuas corresponden al modelo de concentrador según esta invención.

[0075] Las figuras 5 y 6 muestran que el concentrador según la invención tiene un rendimiento mejor que el concentrador comparativo en cuanto a eficiencia de concentración, para casi todos los valores del primer y el segundo ángulo de incidencia. En otras palabras, el concentrador según esta invención tiene una mejor eficiencia de concentración general.

[0076] Según una realización alternativa, la porción del compartimento interior 14 que deja libre el sistema refractante secundario 7 está rellena de un material dieléctrico que tiene un índice de refracción inferior al del sistema refractante (prisma). Por ejemplo, el índice de refracción (n1) del material dieléctrico (por ejemplo, PMMA) en la porción anteriormente mencionada del compartimento interior 14 es igual a 1,49 mientras que el índice de refracción n2 del material componente del prisma (por ejemplo, vidrio de lantano) es igual a 1,9.

[0077] En la realización mostrada a modo de un ejemplo en la figura 1, la sección transversal perpendicular es (sustancialmente) igual para un continuo de secciones transversales a lo largo de sustancialmente toda (con la excepción de los dos extremos longitudinales) la extensión longitudinal del concentrador. Con preferencia, cada uno de los dos extremos longitudinales del concentrador 1 está cerrado por una pared plana respectiva (no mostrada en la figura 1), que tiene, con preferencia, una superficie reflectante orientada hacia el compartimento interior 14 (o, alternativamente, una pared transparente).

[0078] En una realización alternativa (no mostrada), en particular en el caso de la solución descrita anteriormente con dos materiales con índices de refracción n1 y n2, el concentrador 1 puede fabricarse con una forma adecuada de los extremos longitudinales relativos, por ejemplo para obtener concentración solar en ambas direcciones (concentrador 3D). La figura 7 muestra la sección transversal esquemática perpendicular de un panel solar de ejemplo 100 que comprende una pluralidad de sistemas fotovoltaicos 10 tales como los descritos anteriormente a modo de ejemplo, colocados paralelos entre sí.

[0079] El panel solar 100 comprende una sola chapa metálica 40 (por ejemplo, fabricada de aluminio o una aleación de aluminio), revestida, con preferencia, tal como se describió anteriormente, doblada adecuadamente para formar en un solo cuerpo la pluralidad anteriormente mencionada de sistemas reflectantes principales paralelos entre sí, en el que cada (es decir, la primera y la segunda) semiporción de cada sistema reflectante (con la excepción de los que están en los extremos transversales del panel) tiene el borde extremo 16 en la entrada óptica que coincide con el borde extremo en la entrada óptica de una semiporción adyacente correspondiente (es decir, la segunda y la primera, respectivamente) de un sistema reflectante adyacente.

[0080] La chapa metálica 40 también forma, con preferencia, una pluralidad de paredes inferiores 41 interpuestas con continuidad estructural entre cada par de primeras y segundas semiporciones que pertenecen a cada sistema reflectante. Cada célula fotovoltaica (no visible en la figura) está fijada mecánicamente a una pared inferior respectiva 41, tal como se describió anteriormente. Un sistema refractante secundario respectivo, por ejemplo un prisma 21, está colocado encima de cada célula fotovoltaica.

[0081] Con preferencia, una sola cubierta 45 fabricada de material transparente, tal como PMMA o vidrio, cierra todas las entradas ópticas.

[0082] El panel solar 100 descrito anteriormente con referencia a la figura 10 puede ser producido según las siguientes etapas:

- preparar una chapa metálica 40, con preferencia revestida tal como se describió anteriormente;

- doblar, con preferencia doblar en frío, la chapa metálica 40 de tal manera que se obtenga la estructura descrita anteriormente;

- fijar, por ejemplo, con adhesivo acrílico con reticulación UV, la pluralidad de células fotovoltaicas 30 a la pluralidad de sistemas refractantes secundarios 7, 21;

- fijar, por ejemplo, con adhesivo cianoacrílico, la pluralidad de células fotovoltaicas a la pluralidad de paredes inferiores 41.

[0083] El solicitante ha fabricado un prototipo de un sistema fotovoltaico según esta invención doblando en frío una chapa de aluminio (0,5 mm de espesor) recubierta con una película de aleación de plata y aluminio y revestida con un material dieléctrico nanoestructurado protector (reflectancia de aproximadamente el 95 %). El prisma está fabricado de PMMA con superficies pulidas ópticamente. Las células fotovoltaicas están fabricadas de células de silicio monocristalino con contacto posterior, producidas por Sunpower, cortadas mediante corte por láser en células de 4,8 x 100 mm y soldadas sobre una PCB diseñada específicamente. El acoplamiento entre la célula y el prisma se realizó usando un adhesivo acrílico con reticulación UV, mientras que el encolado entre la PCB y la chapa se realizó usando un adhesivo cianoacrílico normal.

[0084] Los parámetros de diseño del prototipo (incluyendo las dimensiones geométricas) son los mostrados anteriormente (por ejemplo, ganancia geométrica 4,9, altura del concentrador 35 mm, prisma isósceles con anchura de la base 4,8 mm – como la célula fotovoltaica – y altura 4 mm, foco de las secciones transversales parabólicas 0,4 mm por debajo del vértice del prisma).

REIVINDICACIONES

1. Un concentrador solar (1) para sistemas fotovoltaicos que tiene un plano de simetría (2), perteneciendo una extensión principal a lo largo de un eje longitudinal (3) al plano de simetría y una sección transversal perpendicular al eje longitudinal sustancialmente igual para un continuo de secciones transversales perpendiculares a lo largo de al menos una porción de la extensión longitudinal del concentrador, formando la sección transversal del plano de simetría un eje de simetría (5) de la sección transversal perpendicular, comprendiendo el concentrador solar un sistema reflectante principal (6) y un sistema refractante secundario (7) que se extienden ambos longitudinalmente y que tienen un perfil respectivo en la sección transversal perpendicular, formando el sistema reflectante principal en sus dos extremos opuestos a lo largo del eje de simetría respectivamente una entrada óptica (8) y una salida óptica (9) y comprendiendo dos semiporciones colocadas especularmente en relación con el plano de simetría, donde el perfil de la sección transversal del sistema refractante secundario (7) es un triángulo (11) que tiene una base (12) en la sección transversal de la salida óptica (9) y un vértice (13) en el eje de simetría (5) entre la entrada y la salida óptica, donde el perfil de la sección transversal de cada semiporción del sistema reflectante principal (6) se extiende desde un punto cercano a un vértice respectivo (15) hasta la base del triángulo hasta un punto extremo (16) en la entrada óptica y comprende un segmento (18) sustancialmente en forma de una parábola que tiene un eje (20) que forma con el eje de simetría un ángulo de aceptación (θ0) mayor que cero y un foco (F) en el eje de simetría, **caracterizado porque** el foco (F) está situado dentro del triángulo (11).

2. El concentrador solar (1) según la reivindicación 1, en el que la distancia del foco desde el vértice del triángulo es superior o igual al 5 % de la altura total del triángulo.

3. El concentrador solar (1) según la reivindicación 1 o 2, en el que la distancia del foco desde el vértice del triángulo es inferior o igual al 20 % de la altura total del triángulo.

4. El concentrador solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el triángulo (11) es un triángulo isósceles y el ángulo del vértice del triángulo (θv) es superior o igual a 40º y/o inferior o igual a 80º.

5. El concentrador solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el perfil de la sección transversal de cada semiporción del sistema reflectante principal comprende una primera (17) y una segunda parte (18), con preferencia unidas entre sí sin interrupción, siendo la primera parte sustancialmente rectilínea y consistiendo la segunda parte en el segmento conformado sustancialmente según una parábola.

6. El concentrador solar (1) según la reivindicación anterior, en el que el ángulo más pequeño (θ1) formado por la primera parte del perfil de cada semiporción del sistema reflectante con una dirección paralela al eje de simetría está entre:

$$\pi/2 - \theta v/4 - \theta 0/2 - 0{,}1*(\pi/2 - \theta v/4 - \theta 0/2)$$

y

$$\pi/2 - \theta v/4 - \theta 0/2 + 0{,}1*(\pi/2 - \theta v/4 - \theta 0/2).$$

7. Un sistema fotovoltaico (10) que comprende un concentrador solar (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores y una célula fotovoltaica (30) acoplada ópticamente con la salida óptica (9).

8. El sistema fotovoltaico (10) según la reivindicación anterior, que comprende una chapa metálica (40) doblada adecuadamente para formar en un solo cuerpo el sistema reflectante principal y que forma también una pared inferior (41) interpuesta con continuidad estructural entre la primera y segunda semiporciones del sistema reflectante, estando la célula fotovoltaica (30) fijada mecánicamente a la pared inferior.

9. Un panel solar fotovoltaico que comprende una pluralidad de sistemas fotovoltaicos según las reivindicaciones 7 o 8, colocados con los ejes longitudinales paralelos entre sí, en el que el panel solar comprende una sola chapa metálica (40) doblada adecuadamente para formar en un solo cuerpo la pluralidad anteriormente mencionada de sistemas reflectantes principales paralelos entre sí, en el que cada semiporción de cada sistema reflectante tiene el borde extremo (16) en la entrada óptica cercana (8) y en continuidad estructural con el borde extremo (16) en la entrada óptica (8) de una semiporción adyacente correspondiente de un sistema reflectante

adyacente, en el que la chapa metálica también forma una pluralidad de paredes inferiores (41) interpuestas con continuidad estructural entre cada par de primeras y segundas semiporciones que pertenecen a cada sistema reflectante, y donde la pluralidad de células fotovoltaicas (30) está fijada mecánicamente a la pluralidad de paredes inferiores.

10. Un procedimiento de operación de un panel solar fotovoltaico según la reivindicación anterior, que comprende orientar el panel de tal modo que el plano de simetría esté colocado a lo largo de la dirección geográfica ESTE-OESTE;

- orientar el panel dos veces durante un año solar, en el que el eje de simetría del concentrador es colocado la primera vez a una elevación entre la elevación del sol en los días de equinoccio y la elevación del sol en el día del solsticio de verano, y en el que el eje de simetría es colocado la segunda vez a una elevación entre la elevación del sol en los días de equinoccio y la elevación del sol en el día del solsticio de invierno.

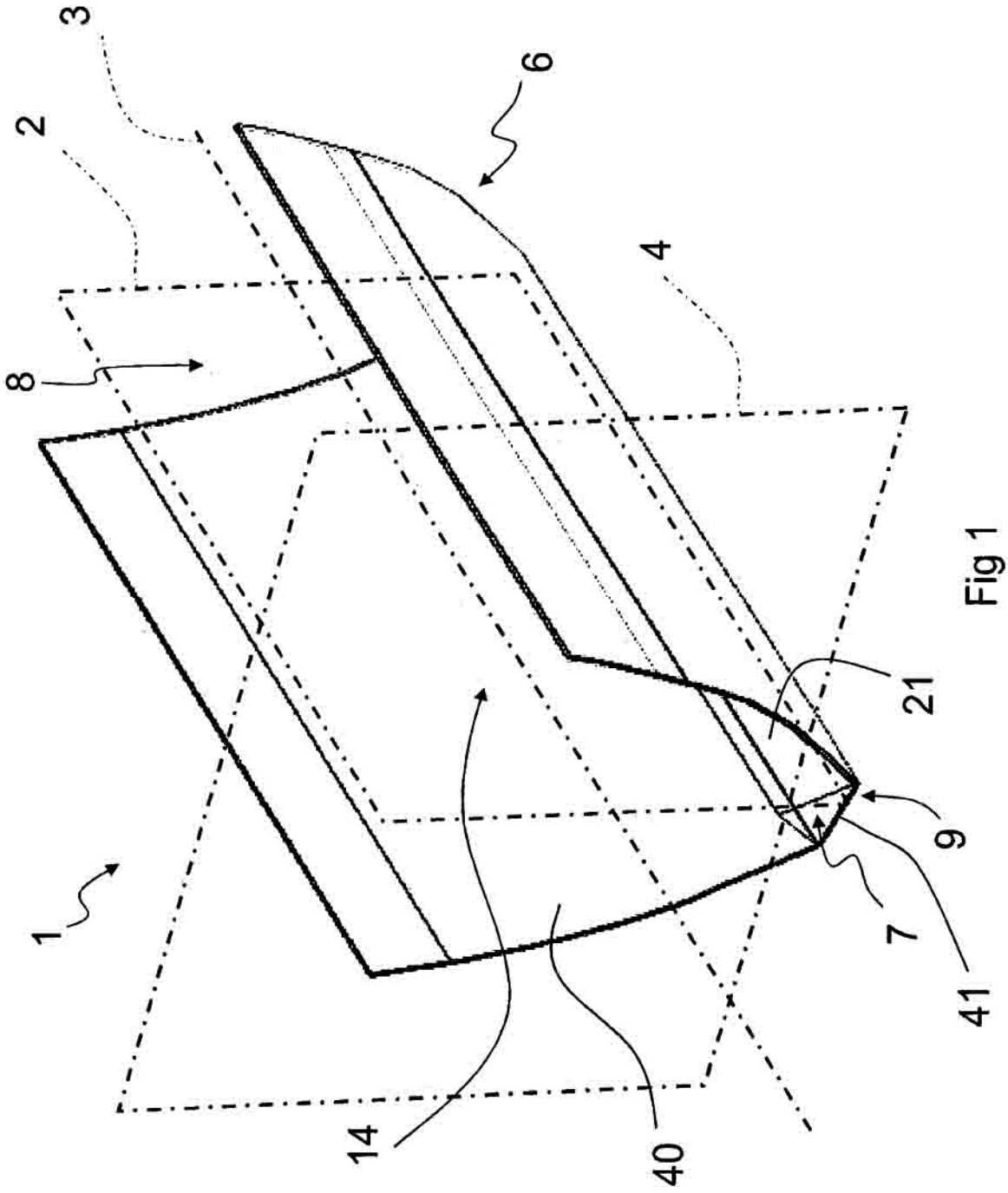

Fig 1

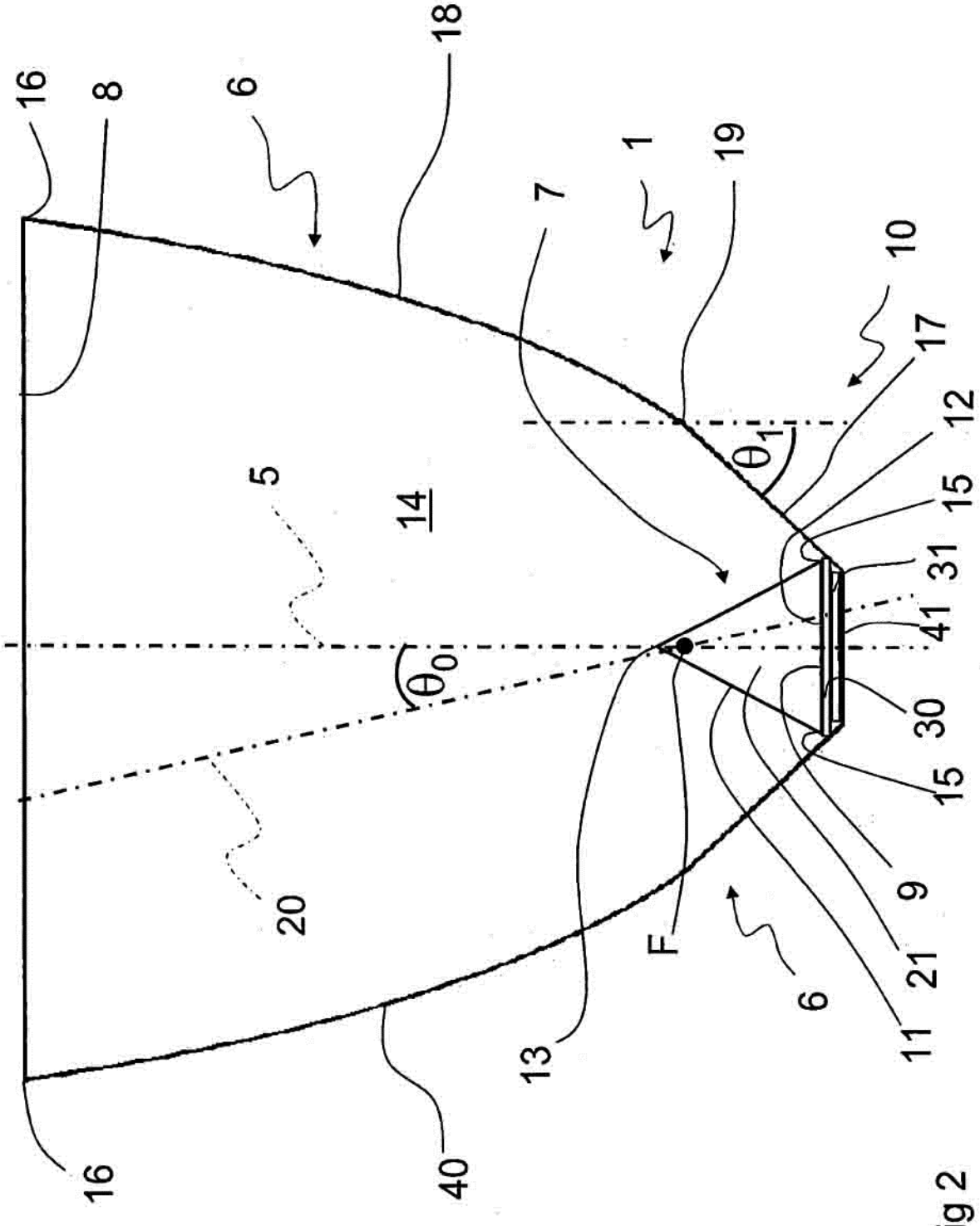

Fig 2

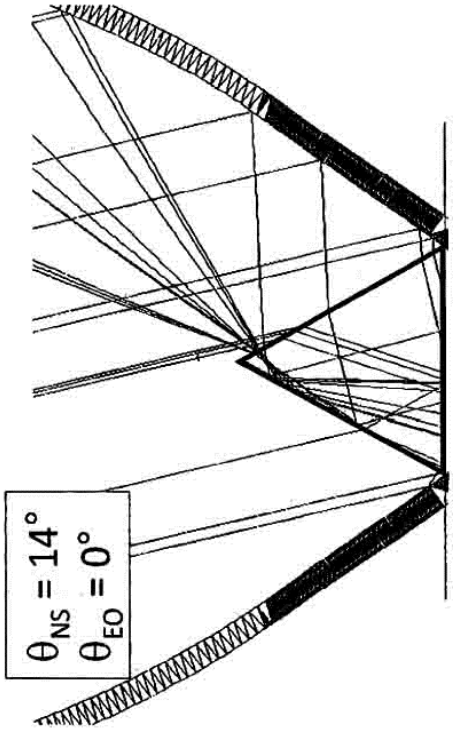

Fig 3b

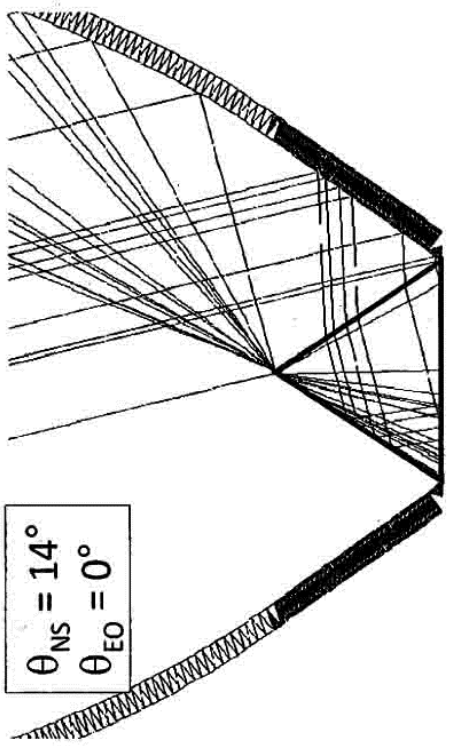

Fig 3a

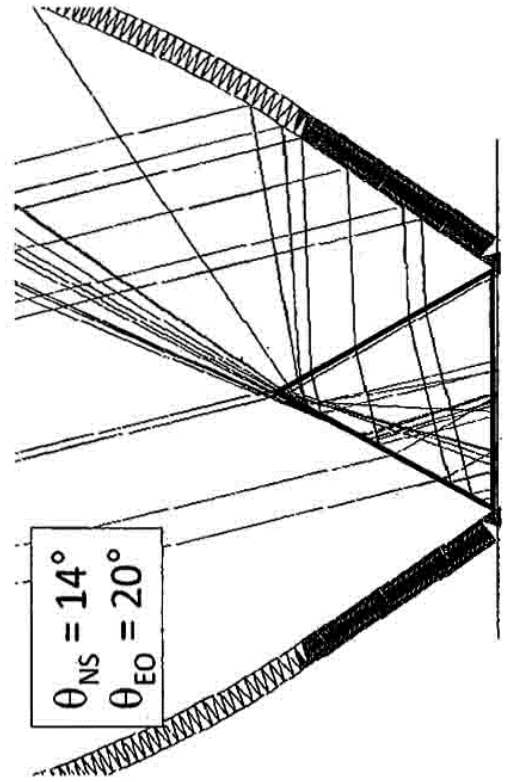

Fig 4b

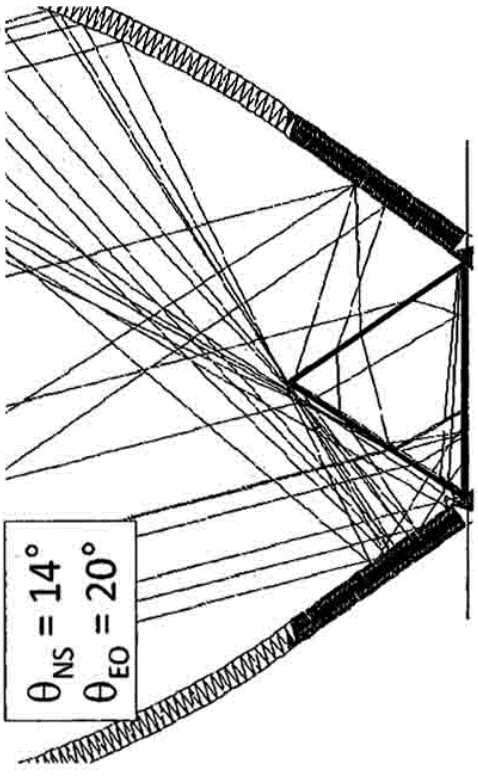

Fig 4a

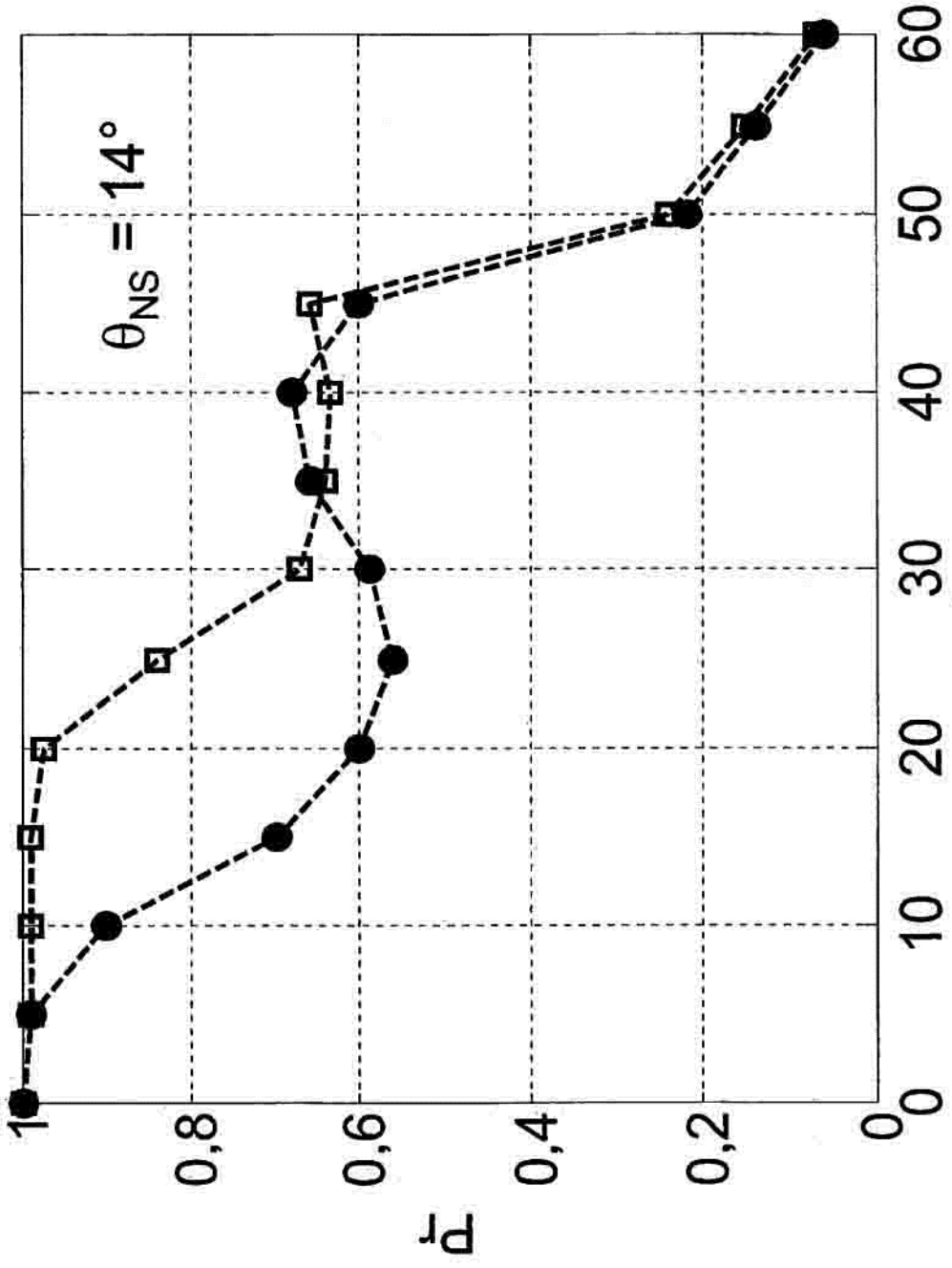

Fig 5

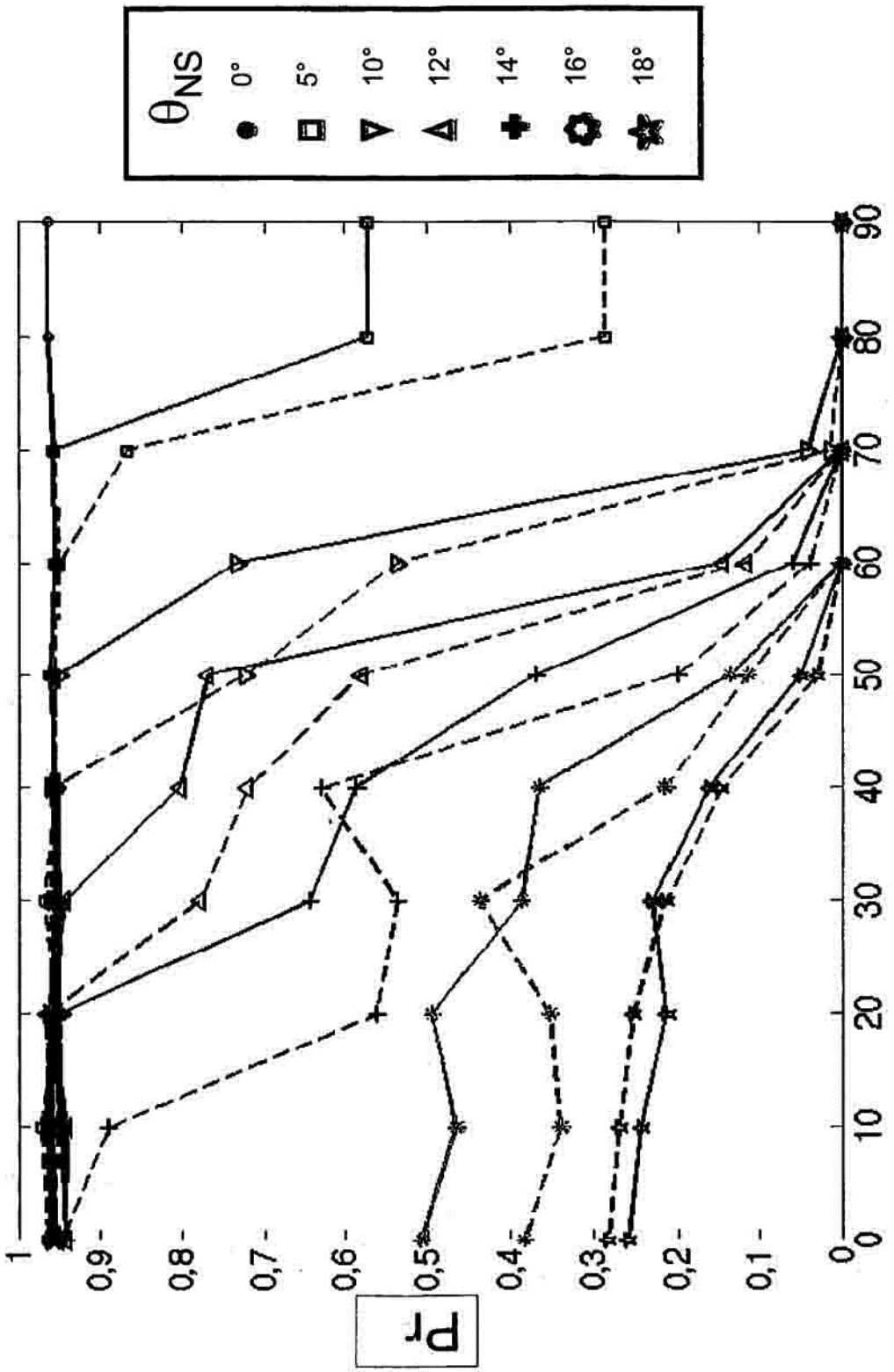
θNS
0°
5°
10°
12°
14°
16°
18°
Pr
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
θEO

Fig 6

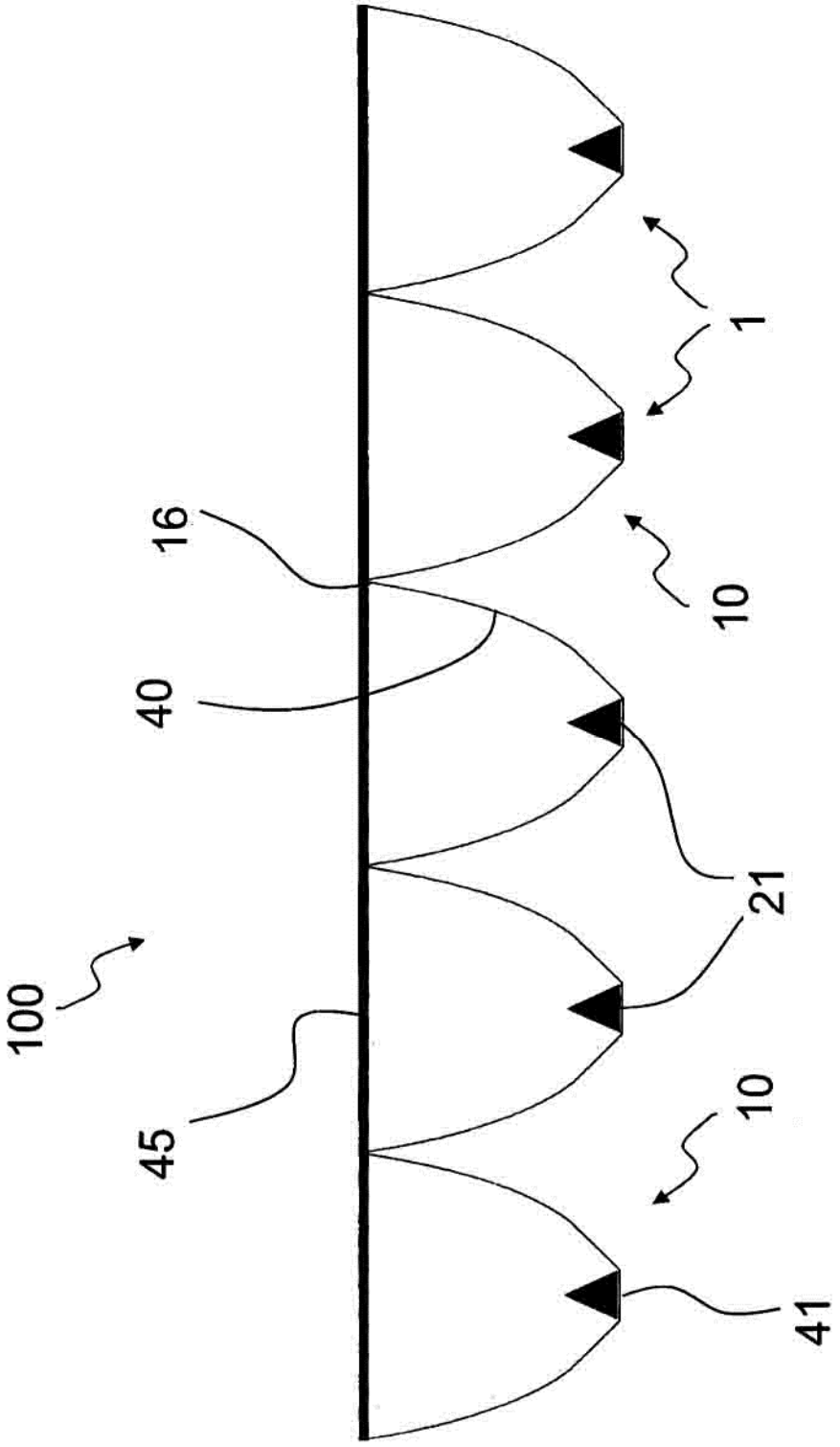

Fig 7