

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5624064号
(P5624064)

(45) 発行日 平成26年11月12日(2014.11.12)

(24) 登録日 平成26年10月3日(2014.10.3)

(51) Int. Cl. F I
 HO 2 S 40/22 (2014.01) HO 2 S 40/22
 HO 1 L 31/055 (2014.01) HO 1 L 31/04 6 2 2

請求項の数 16 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2011-553239 (P2011-553239)	(73) 特許権者	509302168
(86) (22) 出願日	平成22年3月12日 (2010. 3. 12)		モーガン ソーラー インコーポレーテッド
(65) 公表番号	特表2012-519970 (P2012-519970A)		ド
(43) 公表日	平成24年8月30日 (2012. 8. 30)		カナダ オンタリオ州 M6K 1A2,
(86) 国際出願番号	PCT/CA2010/000363		トロント, オードナンス ストリート 3
(87) 国際公開番号	W02010/102408		O
(87) 国際公開日	平成22年9月16日 (2010. 9. 16)	(74) 代理人	100117972
審査請求日	平成25年3月7日 (2013. 3. 7)		弁理士 河崎 真一
(31) 優先権主張番号	2, 658, 193	(74) 代理人	100133798
(32) 優先日	平成21年3月12日 (2009. 3. 12)		弁理士 江川 勝
(33) 優先権主張国	カナダ (CA)	(72) 発明者	モーガン, ジョン ポール
(31) 優先権主張番号	61/298, 460		カナダ オンタリオ州 M6R 1G6,
(32) 優先日	平成22年1月26日 (2010. 1. 26)		トロント, ピアソン アベニュー 231
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のルミネッセンス粒子と、焦点を有する第1の光導波路と、を含むルミネッセンスシートであって、前記複数のルミネッセンス粒子の少なくとも幾つかは、吸収周波数の少なくとも第1スペクトルの太陽光を吸収することによって励起状態になることができ、励起状態になると、放出周波数の少なくとも第1スペクトルの光を誘導放出することができる、ルミネッセンスシートと、

少なくとも1つの光源であって、一部が前記放出周波数の第1スペクトル内のスペクトルであるポンプ光を発生し、第1の進行方向に進行している前記ポンプ光が、前記吸収周波数の第1スペクトルの太陽光を吸収した励起状態の前記ルミネッセンス粒子の少なくとも1つを刺激したときに、前記励起状態のルミネッセンス粒子が、前記放出周波数の第1スペクトル内のスペクトルを有する放出光を前記ポンプ光の前記第1の進行方向に放出する、光源と、を具備し、

前記第1の光導波路は、前記放出光と前記ポンプ光とを、内部全反射させることにより、前記焦点またはその近傍にある光収集領域に集光させることをアシストする、誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

【請求項 2】

前記ルミネッセンスシートの形状が、1つの前記焦点を有する概して円形ディスクの形状である場合、前記光源および前記光収集領域がいずれも前記焦点の近傍にあり、

前記ルミネッセンスシートの形状が、2つの前記焦点を有する概して楕円形ディスクの

形状である場合、前記光源が前記焦点の一方にあり、前記光収集領域が前記焦点のもう一方にあり、

前記ルミネッセンスシートの形状が、概して、楕円形ディスクの一部分からなる形状であり、前記楕円形ディスクの前記一部分が、その縁部に2つの前記焦点を有する場合、前記光源が前記焦点の一方にあり、前記光収集領域が前記焦点のもう一方にあり、

前記ルミネッセンスシートの形状が、概して、多くの反射小面からなる反射縁部を形成する楕円形ディスクの複数の部分からなる形状であり、前記楕円形ディスクの複数の部分のそれぞれが、前記複数の部分の他の部分と共通する2つの共通の前記焦点を有する場合、前記光源が前記共通の焦点の一方にあり、前記光収集領域が前記共通の焦点のもう一方にある、請求項1に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

10

【請求項3】

前記光収集領域および前記少なくとも1つの光源の少なくとも1つに隣接する少なくとも1つの二次光学部品をさらに備える、請求項1または2に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

【請求項4】

前記少なくとも1つの二次光学部品が、隣接する材料と異なる材料で作られている、請求項3に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

【請求項5】

更に、前記ルミネッセンスシートの端部に位置する第一の反射器を具備し、前記第一の反射器は、前記光収集領域に光を反射する、請求項1から4のいずれか1項に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

20

【請求項6】

更に、前記ルミネッセンスシートに光学的に結合された第2の光導波路を具備し、前記第2の光導波路が、少なくとも前記ルミネッセンスシートから受けた光を前記光収集領域に導き、

前記ルミネッセンスシートと前記第2の光導波路とが交互に積み重ねられ、前記ルミネッセンスシートおよび前記第2の光導波路の双方よりも屈折率が低い第1の材料によって互いに分離されており、

前記ルミネッセンスシート内の光の巨視的進行方向と、前記第2の光導波路内の光の巨視的進行方向とが概して互いに反対である、請求項1から5のいずれか1項に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

30

【請求項7】

前記ルミネッセンスシートが、透明基板から構成され、前記ルミネッセンス粒子が、前記基板中に含浸されたルミネッセンス色素である、請求項1から6のいずれか1項に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

【請求項8】

前記ルミネッセンス粒子が、前記第一の光導波路に隣接するとともに前記第一の光導波路と光学的に結合されたルミネッセンス層内にある、請求項1から7のいずれか1項に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器。

【請求項9】

請求項1から8のいずれか1項に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器と、前記集光器の前記光収集領域に配置された少なくとも1つの光起電力セルとを備える、太陽エネルギーコレクタ。

40

【請求項10】

前記少なくとも1つの光源と、前記少なくとも1つの光起電力セルが、単一の回路基板上に配置されている、請求項9に記載の太陽エネルギーコレクタ。

【請求項11】

前記少なくとも1つの光源が、前記少なくとも1つの光起電力セルからのエネルギーによって電力を供給される、請求項9または10に記載の太陽エネルギーコレクタ。

【請求項12】

50

互いに隣接するとともに光学的に結合された、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の少なくとも 2 つの誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器と、

前記少なくとも 2 つの集光器の前記光収集領域のそれぞれに配された少なくとも 1 つの光起電力セルと、を具備し、

前記少なくとも 2 つの集光器のそれぞれの前記ルミネッセンス粒子が、他方の集光器と少なくとも部分的に異なる、吸収周波数のスペクトル内の太陽光を吸収することによって励起状態になることができ、励起状態になると、他方の集光器と少なくとも部分的に異なる、放出周波数のスペクトルの光を誘導放出することができる、太陽エネルギーコレクタ

【請求項 1 3】

10

前記誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器の前記ルミネッセンスシートの少なくとも 2 つが、前記少なくとも 2 つのルミネッセンスシートよりも屈折率が低い第 2 の材料によって互いに分離されている、請求項 1 2 に記載の太陽エネルギーコレクタ。

【請求項 1 4】

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器の複数を具備し、前記集光器の少なくとも 2 つの光源が、中心光源と光学的に連絡して前記中心光源によって生成されるポンプ光を放出する、太陽エネルギーコレクタアセンブリ

【請求項 1 5】

(i) 複数のルミネッセンス粒子と焦点を有する少なくとも 1 つの光導波路とを有する少なくとも 1 つのルミネッセンスシートを太陽光に暴露して、吸収周波数の少なくとも第 1 スペクトル内の太陽光を吸収させることによって前記ルミネッセンス粒子を励起状態にするステップであって、前記励起状態のルミネッセンス粒子が、放出周波数の少なくとも第 1 スペクトル内の放出光を誘導放出することができるステップと、

20

(ii) 一部が前記放出周波数の少なくとも第 1 スペクトル内のスペクトルを有するとともに、第 1 の方向に進行するポンプ光によって前記励起状態のルミネッセンス粒子を刺激して、前記励起状態のルミネッセンス粒子に、前記放出周波数の少なくとも第 1 スペクトル内のスペクトルを有する放出光を、前記ポンプ光の前記第 1 の進行方向に放出させるステップと、

(iii) 前記少なくとも 1 つの光導波路内に、前記放出光および前記ポンプ光を閉じ込めるステップと、

30

(iv) 前記放出光および前記ポンプ光が、前記少なくとも 1 つの光導波路内を内部全反射によって前記焦点またはその近傍にある光収集領域まで伝搬して、集光されるステップと、を含む、太陽光を集光する方法。

【請求項 1 6】

前記ルミネッセンスシートの形状が、1 つの前記焦点を有する概して円形ディスクの形状である場合、前記光源および前記光収集領域がいずれも前記焦点の近傍にあり、

前記ルミネッセンスシートの形状が、2 つの前記焦点を有する概して楕円形ディスクの形状である場合、前記光源が前記焦点の一方にあり、前記光収集領域が前記焦点のもう一方にあり、

40

前記ルミネッセンスシートの形状が、概して、楕円形ディスクの一部分からなる形状であり、前記楕円形ディスクの前記一部分が、その縁部に 2 つの前記焦点を有する場合、前記光源が前記焦点の一方にあり、前記光収集領域が前記焦点のもう一方にあり、

前記ルミネッセンスシートの形状が、概して、多くの反射小面からなる反射縁部を形成する楕円形ディスクの複数の部分からなる形状であり、前記楕円形ディスクの複数の部分のそれぞれが、前記複数の部分の他の部分と共通する 2 つの共通の前記焦点を有する場合、前記光源が前記共通の焦点の一方にあり、前記光収集領域が前記共通の焦点のもう一方にある、請求項 1 5 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

50

【 0 0 0 1 】

本出願は、2009年3月12日に出願された誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器という名称のカナダ特許出願第2,658,193号、および2010年1月26日に出願された誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器という名称の米国特許仮出願61/298,460号の優先権を主張する。これら両文献の全体を参照により本明細書に組み込む。

【 技術分野 】

【 0 0 0 2 】

本発明はルミネッセンス太陽光集光器に関する。

【 背景技術 】

10

【 0 0 0 3 】

太陽エネルギーの取り込みは、太陽光を電気に変換する多数の異なる技術が関連する分野である。これまで、どの技術も従来の発電手段に取って代わるのに十分なほどコストが低くなっておらず、その結果、太陽エネルギーも、全世界の電力需要に対してごくわずかに貢献するにとどまっている。太陽エネルギーシステムの主要なコスト推進要因は、光を電気に変換する半導体接合物である光起電力(PV)セルのコストが高いことである。

【 0 0 0 4 】

太陽エネルギーによって生成される電気のコストを低減するための、調査されている多くの手段のうちの1つは、「集光型太陽光発電」またはCPVと呼ばれる。CPVの背後にある基本的な考え方は、一般にはフレネルレンズまたは他の集束光学部品である、ある種の光学部品を使用して太陽光を非常に小さい高効率PVセルの上に集光することである。使用されるPVセルは、スタックの形で複数の接合物を備えた複合半導体セルであり、直列で電氣的に接続されている。CPVで最も典型的な従来のセルは、すべてが直列に配置されたリン化インジウムガリウム、ヒ化インジウムガリウムおよびゲルマニウムセルを使用する3接合セルである。これらのセルのそれぞれが、太陽光スペクトルの一部分を電気に変換する。これらのシステムは非常にエネルギー生産性が高いが、その光学部品が機能するように常に太陽に面するようにシステムを配向する追尾装置が必要であるという大きな欠点を有する。この追尾装置の必要性により、これらのシステムはソーラファームで使用することが実用的とされ、この場合には、大型の、支柱に取り付けられた追尾装置が地上に設置される。しかし、建物との一体化、および(太陽電池市場の巨大な部分である)屋根への設置を意図したシステムでは、追尾装置は実用的でない。CPVシステムは2000sunもの高い太陽光集光を用い、これは、従来の非集光型PVシステムと比べて非常に少量の光電池材料しか必要としないことを意味する。

20

30

【 0 0 0 5 】

集光の別の手法は、ルミネッセンス太陽光集光器を使用することである。これらのデバイスは、ルミネッセンス粒子の層を含む、またはルミネッセンス粒子をガラス全体にわたって含浸させた、ガラスのシートからなる。ルミネッセンス粒子は、光を広い帯域の周波数にわたって吸収し、低い周波数の光を狭い帯域にわたって放出する。ルミネッセンス粒子の例には、有機色素、レーザ色素、およびナノ結晶がある。

【 0 0 0 6 】

40

これらのルミネッセンス粒子が光を放出すると、放出された光はランダムな方向に進む。光はガラスの内部からあらゆる方向に均等に放出されるので、ガラスシートの底面の上部に当たり、かつガラスシートの垂直の面に対する入射角が内部全反射の臨界角よりも大きい放出放射光はどれも、内部全反射によってガラスシート内に閉じ込められることになる。(ガラスが1.5の屈折率を有し、周囲の媒体が空気であれば、臨界角は約41.8度になる。)実際のところ、ガラス内部に閉じ込められない光は、上部および底部のガラス面の垂線を中心とする底角が83.6度の2つの円錐のうちの1つの円錐内で放出される光である。

【 0 0 0 7 】

こうして閉じ込められた光は、ガラス内部であらゆる方向に進んでガラスの4つの縁部

50

に達し、ここで、光起電力セルによってエネルギー生成のために取り込むことができる。放出光の周波数が比較的狭いので、この場合、単一接合セルが適正なバンドギャップを有しているならば、単一接合セルを非常に効率的に使用することが可能である。原理上、2つの基本的な制限、すなわちガラス内での吸収、およびルミネッセンス粒子による再吸収があることを除いて、この方法で無限の集光を達成することが可能である。第1のガラス自体の内部吸収により、実際的な光路長が制限され、したがってガラスシートのサイズおよび集光が制限される。再吸収および放出もまた、実際的な集光を制限する。これまで、この手段による最善の予測集光は、150 sun程度である。これは、上記のCPVによって達成可能な集光よりもはるかに少ない。したがって、追尾装置がないことによって実現されるルミネッセンス集光システムのコスト節減が、光起電力セル材料を数倍多く必要とするための追加コストによって台無しになる。したがって、これまでルミネッセンス集光システムは、広く商業的に利用されておらず、上記の本来の利点を考えると、この技術を改善することが望ましい。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

したがって、本発明の目的は、従来技術の少なくとも一部と比べて改善されたルミネッセンス太陽光集光器を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

したがって、一観点では、本明細書で具体化され広く説明されているように、本発明は誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器を提供する。この集光器は、複数のルミネッセンス粒子を有するルミネッセンス層を備える。ルミネッセンス粒子は、少なくとも第1の吸収周波数の太陽光を吸収することによって励起状態になることができる。励起状態になると、ルミネッセンス粒子は、少なくとも第1の放出周波数でルミネッセンス光を誘導放出することができる。集光器はまた、少なくとも第1の放出周波数のポンプ光を発生する光源であって、第1の進行方向に進行しているポンプ光が、第1の吸収周波数で太陽光を吸収したルミネッセンス粒子の少なくとも1つを刺激したときに、ルミネッセンス粒子の少なくとも1つが、少なくとも第1の放出周波数でポンプ光の第1の進行方向にルミネッセンス光を放出し、ポンプ光を強めるように、太陽光を吸収した励起状態のルミネッセンス粒子の少なくとも1つを刺激する光源を備える。集光器はまた、ルミネッセンス層に隣接しこれに光学的に結合する第1の光導波路を備える。第1の光導波路は、強められたポンプ光を内部全反射によって光収集領域まで導く助けとなるものである。

20

30

【0010】

本発明のこの観点の諸実施形態は、改善されたルミネッセンス太陽光集光器であり、従来のルミネッセンス太陽光集光器よりも数桁大きく光を集光することができる。これは、光を従来のようにランダムな方向にではなく、ルミネッセンス粒子に光を規定の方向に放出させることによって実現される。ルミネッセンス粒子の放出は、誘導放出の原理を用いて強制的に行われる。誘導放出は、励起状態の電子が通過光子によって摂動されるときに起こる。この誘導が起こるには、刺激する光子は、放出される光子の周波数と等しい周波数を有する必要がある。誘導が起きたとき、電子は基底状態に落ち、放出された光子は、刺激する光子と同相で同じ方向に進行する。この誘導放出の原理は、レーザの動作原理である。したがって、本発明のこの観点のいくつかの実施形態では、発光ダイオードなどの、ルミネッセンス放出と同じ周波数の狭帯域光源が、規定の方向に放出を誘導するために使用される。この誘導は、(望ましい場合に)すべての光が一点に収束し、非常に高い程度に集光され、そこにPVセルを配置できるように行うことができる。いくつかの実施形態では、ダイオードで必要とする電力はセルで生成することができる。発光ダイオードからの光および捕捉された日光の両方をPVセルで吸収して、電気の正味の増大を生じさせることができる。

40

【0011】

50

いくつかの実施形態では、ルミネッセンス粒子は、吸収周波数の少なくとも第1のスペクトル内の太陽光を吸収し、放出周波数の少なくとも第1のスペクトル内のルミネッセンス光を放出することができる。いくつかの実施形態では、ルミネッセンス粒子の一部は、少なくとも第1の吸収周波数の太陽光を吸収し、少なくとも第1の放出周波数でルミネッセンス光を放出することができ、他のルミネッセンス粒子は、第1の吸収周波数と異なる少なくとも第2の吸収周波数の太陽光を吸収し、第1の放出周波数と異なる少なくとも第2の放出周波数でルミネッセンス光を放出することができる。

【0012】

いくつかの実施形態では、ルミネッセンス層と第1の光導波路層は、一体型光学活性構造体を、強められたポンプ光が少なくとも一体型光学活性構造体内で光収集領域まで内部全反射によって導かれるように形成する。いくつかの実施形態では、強められたポンプ光は、一体型光学活性構造体内で光収集領域まで内部全反射だけで導かれる。

10

【0013】

いくつかの実施形態では、集光器は概してディスクの形状である。いくつかのこのような実施形態では、集光器は、1つの焦点を有する概して円形ディスクの形状であり、光源および光収集領域がその焦点にある。他のこのような実施形態では、集光器は、2つの焦点を有する概して楕円形ディスクの形状であり、光源がこれら焦点の一方にあり、光収集領域がこれら焦点のもう一方にある。

【0014】

いくつかの実施形態では、集光器は概して、楕円形ディスクの一部分からなる形状である。楕円形ディスクの一部分は、その縁部に2つの焦点を有する。光源はこれら焦点の一方にあり、光収集領域はこれら焦点のもう一方にある。

20

【0015】

いくつかの実施形態では、集光器は概して、多くの反射小面からなる反射縁部を形成する楕円形ディスクの複数の部分からなる形状である。楕円形ディスクの複数の部分のそれぞれは、反射縁部の反対側の縁部に2つの共通焦点を有する。光源は、これら共通焦点の一方にあり、光収集領域は、これら共通焦点のもう一方にある。いくつかのこのような実施形態では、光源と光収集領域は、互いに隣接して縁部に配置される。本発明の別の観点では、複数のこのような誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器からなるアセンブリがあり、隣り合う個々の太陽光集光器の各側面縁部が接している。

30

【0016】

本発明の前述の第1の観点に戻ると、いくつかの実施形態では、集光器は概して、反射する縁部がある多くの小面からなる反射縁部を持つ正方形ディスクの形状である。各小面の反射縁部は楕円形ディスクの複数の部分を含み、楕円形ディスクのこれらの部分それぞれが共通の2つの焦点を有する。光源は、これら焦点の一方にあり、光収集領域は、これら焦点のもう一方にある。

【0017】

いくつかの実施形態では、光源に隣接する第1の二次光学部品がある。いくつかのこのような実施形態では、第1の二次光学部品は、熱から保護するために、隣接する材料と異なる材料で作られている。

40

【0018】

いくつかの実施形態では、光収集領域に隣接する第2の二次光学部品がある。いくつかのこのような実施形態では、第2の二次光学部品は、熱から保護するために、隣接する材料と異なる材料で作られている。

【0019】

いくつかの実施形態では、光を光収集領域に向けて一体型光学活性構造体の中へ反射するように、光収集領域の反対側の縁部に配置された第1の反射器がある。

【0020】

いくつかの実施形態では、一体型光学活性構造体に光学的に結合された第2の光導波路層がある。第2の光導波路層は、少なくとも一体型光学活性構造体から受光した光を光収

50

集領域まで導くためのものである。

【0021】

いくつかのこのような実施形態では、第2の光導波路層は、一体型光学活性構造体に少なくとも第2の反射器を介して結合される。いくつかのこのような実施形態では、第2の反射器は、内部全反射によって機能する。いくつかのこのような実施形態では、第2の反射器は鏡である。

【0022】

いくつかのこのような実施形態では、集光器は概してディスクの形状である。いくつかのこのような実施形態では、一体型光学活性および第2の光導波路のそれぞれは、概してディスクの形状である。いくつかのこのような実施形態では、一体型光学活性と第2の光導波路は交互に積み重ねられ、一体型光学活性および第2の光導波路の双方よりも屈折率が低い第1の材料によって互いに分離される。いくつかのこのような実施形態では、第1の材料は空気である。

10

【0023】

いくつかのこのような実施形態では、一体型光学活性構造体内の光の巨視的進行方向と、第2の光導波路内の光の巨視的進行方向とは、概して互いに反対である。

【0024】

いくつかのこのような実施形態では、光源と光収集領域は、互いに隣接して配置される。いくつかのこのような実施形態では、光源と光収集領域は、交互に上に重ねて配置される。

20

【0025】

いくつかのこのような実施形態では、第2の光導波路と光収集領域との間の光学的中間に第3の二次光学部品がある。いくつかのこのような実施形態では、第3の二次光学部品が、熱から保護するために、隣接する材料と異なる材料で作られる。

【0026】

いくつかのこのような実施形態では、第2の光導波路と光収集領域との間の光学的中間に第4の二次光学部品がある。いくつかのこのような実施形態では、第4の二次光学部品は、熱から保護するために、隣接する材料と異なる材料で作られる。

【0027】

いくつかの実施形態では、ルミネッセンス層は透明基板から構成され、ルミネッセンス粒子は、この基板中に含浸されたルミネッセンス色素である。

30

【0028】

いくつかの実施形態では、光源は点光源である。いくつかのこのような実施形態では、光源は発光ダイオードである。いくつかの実施形態では、光源は複数の光源である。いくつかのこのような実施形態では、光源は複数の発光ダイオードである。

【0029】

別の観点では、本発明は、上述の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器と、集光器の光収集領域に配置された少なくとも1つの光起電力セルとを備える太陽エネルギーコレクタを提供する。本発明のこの観点のいくつかの実施形態では、集光器の光源は、少なくとも1つの光起電力セルからのエネルギーによって電力を供給される。いくつかの実施形態では、光源および少なくとも1つの光起電力セルは、単一の回路基板上に配置される。

40

【0030】

別の観点では、本発明は、上述の太陽エネルギーコレクタのアレイを備える太陽エネルギーコレクタアセンブリを提供する。この観点のいくつかの実施形態では、太陽エネルギーコレクタのアレイの光学的背後に第3の反射器がある。いくつかの実施形態では、アレイの誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器のそれぞれの光源は、単一のエネルギー源によって電力を供給される。

【0031】

第1の観点に戻ると、いくつかの実施形態では、ルミネッセンス層は第1のルミネッセ

50

ンス層であり、複数のルミネッセンス粒子は第1の複数の粒子であり、光源は第1の光源であり、ポンプ光は第1のポンプ光であり、光収集領域は第1の光収集領域である。集光器はさらに、第1の光導波路層に隣接する第2のルミネッセンス層を備える。第2のルミネッセンス層は、第2の複数のルミネッセンス粒子を有する。第2の複数のルミネッセンス粒子は、吸収周波数の第1のスペクトルと少なくとも部分的に異なる、吸収周波数の少なくとも第2のスペクトルの範囲内の太陽光を吸収することによって励起状態になることができる。励起状態になると、第2の複数のルミネッセンス粒子は、放出周波数の第1のスペクトルと少なくとも部分的に異なる、放出周波数の少なくとも第2のスペクトルの範囲内のルミネッセンス光を誘導放出することができる。集光器はまた、放出周波数の少なくとも第2のスペクトル内の第2のポンプ光を発する第2の光源であって、第2の進行方向に進行している第2のポンプ光が、吸収周波数の第2のスペクトルで太陽光を吸収した第2の複数のルミネッセンス粒子の少なくとも1つをシミュレーションしたときに、第2の複数のルミネッセンス粒子の少なくとも1つが、放出周波数の少なくとも第2のスペクトルで第2のポンプ光の第2の進行方向にルミネッセンス光を放出し、第2のポンプ光を強めるように、太陽光を吸収した第2の複数のルミネッセンス粒子の少なくとも1つの励起状態の粒子を刺激する第2の光源を備える。集光器はさらに、第2のルミネッセンス層に隣接しこれに光学的に結合する第3の光導波路層を備える。第3の光導波路は、強められた第2のポンプ光を内部全反射によって第2の光収集領域まで導く助けとなるものである。いくつかのこのような実施形態では、第1の光導波路と第2のルミネッセンス層は、第1の光導波路および第2のルミネッセンス層の双方よりも屈折率が低い第2の材料によって互いに分離される。

10

20

【0032】

いくつかの実施形態では、集光器はさらに、第3の光導波路層に隣接する第3のルミネッセンス層を備える。第3のルミネッセンス層は、第3の複数のルミネッセンス粒子を有する。第3の複数のルミネッセンス粒子は、吸収周波数の第1のスペクトルおよび第2のスペクトルと少なくとも部分的に異なる、吸収周波数の少なくとも第3のスペクトルの範囲内の太陽光を吸収することによって励起状態になることができる。励起状態になると、第3の複数の粒子は、放出周波数の第1のスペクトルおよび第2のスペクトルと少なくとも部分的に異なる、放出周波数の少なくとも第3のスペクトルの範囲内のルミネッセンス光を誘導放出することができる。集光器はさらに、放出周波数の少なくとも第3のスペクトル内の第3のポンプ光を発生する第3の光源であって、第3の進行方向に進行している第3のポンプ光が、吸収周波数の第3のスペクトルで太陽光を吸収した第3の複数のルミネッセンス粒子の少なくとも1つを刺激したときに、第3の複数のルミネッセンス粒子の少なくとも1つが、放出周波数の少なくとも第3のスペクトル内で第3のポンプ光の第3の進行方向にルミネッセンス光を放出し、第3のポンプ光を強めるように、太陽光を吸収した第3の複数のルミネッセンス粒子の少なくとも1つの励起状態の粒子を刺激する第3の光源を備える。この集光器はさらに、第3のルミネッセンス層に隣接しこれに光学的に結合する第4の光導波路層を備える。第4の光導波路は、強められた第3のポンプ光を内部全反射によって第3の光収集領域まで導く助けとなるものである。いくつかのこのような実施形態では、第3の光導波路と第3のルミネッセンス層は、第3の光導波路および第3のルミネッセンス層の双方よりも屈折率が低い第3の材料によって互いに分離される。

30

40

【0033】

別の観点では、本発明は、上述の誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器と、集光器の第1の光収集領域、第2の光収集領域および第3の光収集領域のそれぞれに配置された少なくとも1つの光起電力セルとを備える太陽エネルギーコレクタを提供する。いくつかの実施形態では、第1の光源、第2の光源および第3の光源は、光起電力セルの少なくとも1つから電力を供給される。いくつかの実施形態では、光源のそれぞれ、および光起電力セルのそれぞれはすべて、単一の回路基板上に配置される。

【0034】

別の観点では、本明細書で具体化され広く説明されているように、本発明は、(i) 複

50

数のルミネッセンス粒子を有する材料からなるルミネッセンス層を太陽光に暴露して、少なくとも第1の吸収周波数の太陽光を吸収させることによってルミネッセンス粒子を励起状態にするステップであって、励起状態のルミネッセンス粒子が、少なくとも第1の放出周波数でルミネッセンス光を誘導放出することができるステップ、(ii)少なくとも第1の放出周波数で第1の方向に進行するポンプ光によって励起状態のルミネッセンス粒子を刺激して、励起状態のルミネッセンス粒子に、少なくとも第1の放出周波数でポンプ光の第1の進行方向にルミネッセンス光を放出させ、ポンプ光を強めるステップ、(iii)ルミネッセンス層によって一部形成され、かつルミネッセンス層に隣接しこれに光学的に結合された追加材料によって一部形成された光導波路内に、強められたポンプ光を閉じ込めるステップ、および(iv)強められたポンプ光が、光導波路内を内部全反射によって光収集領域まで伝搬できるようにするステップとを含む、太陽光を集光する方法を提供する。

10

【0035】

どれが特定の要素に関連する第1、第2、第3などの記述語を使用することは、どれが特定の実施形態にその要素の番号が存在することを(ありうるとはいえ)必ずしも意味しないことを理解されたい。これらの単語は一般に、類似の名称を有するそれぞれ異なる要素を単に区別するために、本明細書全体を通して使用されている。

【0036】

本発明の諸実施形態はそれぞれ、上記の目的および/または観点の少なくとも1つを有するが、必ずしもそれらのすべてを有するとは限らない。上記の目的を達成しようとしてもたらされた本発明のいくつかの観点は、これらの目的を満たさないことがあり、かつ/または、本明細書に具体的に列挙されていない他の目的を満たすことがあることを理解されたい。

20

【0037】

本発明の諸実施形態の追加および/または代替の特徴、観点および利点は、以下の説明、添付の図面、および添付の特許請求の範囲により明らかになる。

次に、本発明の諸実施形態について、単に例示的に、添付の図を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】ルミネッセンスシステムの簡単な概略図である。

【図2】典型的な色素の吸収放出スペクトルを示す図である。

30

【図3】一実施形態の誘導放出ルミネッセンス太陽光集光器の断面図である。

【図4】太陽光を取り込むための誘導放出ルミネッセンスシートを示す図である。

【図5】太陽光を取り込み集光するための誘導放出ルミネッセンスシートを示す図である。

【図6】太陽光を取り込み集光するための楕円形誘導放出ルミネッセンスシートを示す図である。

【図7】太陽光を取り込み集光するための半楕円形誘導放出ルミネッセンスシートを示す図である。

【図8】太陽光を取り込み集光するためのくさび形誘導放出ルミネッセンスシートを示す図である。

40

【図9】機能的性能を変えずに誘導放出ルミネッセンスシートの外形を変更する方法を示す図である。

【図10】二層誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器を示す図である。

【図11】二次光学部品を備えた二層誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器の別の実施形態を示す図である。

【図12】照光されている図11の実施形態が二面であることを示す図である。

【図13】二層誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器の中で、光起電力セルと光源の両方を同じ回路基板上にどのように装着するかを示す図である。

【図14】薄いルミネッセンスシートを備えた二層誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器を示す図である。

50

【図15】多くの別々の光学部品でできている誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器モジュールの可能な配置を示す図である。

【図16】光ファイバケーブル布線を用いて中心光源からモジュール内の多数の光学部品まで光をどのように導くことができるかを示す図である。

【図17】誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器の初期コンピュータモデリングによるいくつかの予備段階の結果を示す図である。

【図18】ルミネッセンス材料の例示的な吸収および放出スペクトルを示す図である。

【図19】複数のルミネッセンス材料の例示的な一組の吸収および放出スペクトルを示す図である。

【図20】複数の層を備えた誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器の側面図である。

10

【図21】複数の層を備えた誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器を示す図である。

【図22】誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器でできているモジュールの可能な構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0039】

誘導放出ルミネッセンス太陽光集光器では、ルミネッセンスシートが日光に暴露され、レーザ、ダイオードなどの光源、または他の光源によってポンピングされる。図1A~1Gは、その過程での電子のエネルギー状態を示す。図1Aで、日光100からの入射光子がルミネッセンス粒子に吸収され、電子102を基底状態104 (E_0 と表示)から高い状態106 (E_H と表示)へ励起する。図1Bで、電子102が低いエネルギー状態108 (E_L と表示)まで減衰し、その過程でいくらかのエネルギーを光子または熱110として解放する。本明細書では、低いエネルギー状態108をルミネッセンス状態と呼ぶ。電子が単独で十分に長い時間ルミネッセンス状態のままにしておかれた場合、電子は減衰して基底状態に戻り、ルミネッセンス周波数と呼ばれる周波数を有する光子を解放し、この光子はランダムな方向に進む。ルミネッセンス周波数は、元の吸収された光子100の周波数よりも低く、これは、放出された光子が有するエネルギーが、吸収された光子よりも少ないことを意味する。図1Cに、ルミネッセンス周波数と等しい周波数を有する通過光子112が示されている。図1Dに示されるように、この光子112は、ルミネッセンス状態108にある電子102を摂動(刺激)し、電子102を基底状態104まで減衰させ、それによって光子114が放出される。放出光子114は、誘導光子112と同じ周波数で、同相であり、同じ方向に進む。

20

30

【0040】

図1Eに外観図が示されている。日光116がルミネッセンス粒子120(1つまたは複数の分子)のクラスタに当たる。ルミネッセンスと同じ周波数を有する通過ポンプビーム118が放出を誘導し、同様に継続して伝搬するポンプビーム118と平行で同じ周波数を有するビーム122を、ルミネッセンス粒子に放出させる。

【0041】

上述のルミネッセンス状態は、ルミネッセンス粒子の一例にすぎず、実際には、その状況がもっと複雑になることがあり、また不連続状態ではなく連続的または疑似連続的なエネルギーバンドが伴う。その場合、ダイオードからの放出光は、ルミネッセンス放出光と同じスペクトルを有する。これは、問題の光が厳密な特定の周波数にあるのではなく狭い帯域にわたって周波数に変化してあるスペクトルを画定することを除いて、上記で説明したのと同じである。

40

【0042】

ルミネッセンスシステムもまた、上記よりも多いエネルギー状態を伴う。複数の光子が励起段階に関与することがあり、またルミネッセンス放出段階の前に複数の減衰段階がありうる。本発明は、エネルギー状態の数に関係なく、いかなるルミネッセンスシステムも包含する。加えて、ルミネッセンス粒子の中には、1つの粒子の放出光が他の粒子に吸

50

収される異なる吸収および放出スペクトルを有する、複数のルミネッセンス粒子を含むものがある。本発明は、これらのルミネッセンスシステムも同様に包含する。

【0043】

上記に示した説明は、幅広い読者に容易に理解されることを意図している。次の節は、より技術的な説明になる。本明細書で「色素」という語は、それだけには限らないが、有機色素および無機色素、ドープしたガラスおよび結晶（例えば、YAGまたはガラス中のNd³⁺、サファイヤ中のTi）、ならびに量子ドットを含むルミネッセンス材料を指すことに留意されたい。また、本出願では、ルミネッセンスはフォトルミネッセンスを含むことにも留意されたい。

【0044】

ルミネッセンスシートは、ルミネッセンス色素を基板全体に均等に含浸させた、または表面に薄い膜として付着させたガラス、シリコン、ポリマーなどの透明基板からなる。色素は、入ってくる太陽放射光の一部を吸収して、色素分子を励起状態に促進する。色素は、低いエネルギーレベルまで速い内部緩和を受け、その後、低いエネルギーの光子を自然に放出することができ、その吸収プロファイルと放出プロファイルのピーク間のエネルギーの差はストークスシフトと呼ばれる。大きいストークスシフトは、それがルミネッセンス色素による放出光子の再吸収を抑制するので、望ましいといえる。図2は、放出と吸収のスペクトルの間のストークスシフトを示す。

【0045】

レーザまたはLEDである明るい狭帯域の光源（ポンプ）が追加され、この光源は光をルミネッセンスシート面の中に投射するが、この光は内部全反射によってシートに閉じ込められる。このポンプ光源は、その波長が色素の放出スペクトルの範囲内になるように選ばれる。ポンプ光源によって照光された励起色素分子は、ポンプ光源と同じ光子を誘導放出により放出するという可能性を有するが、この放出は光子の自然放出と競合する。誘導放出により生じた光子は、集光シート中を進み、光起電力セルに集められる。自然放出により生じる光子は、ランダムな方向に放出され、その光子の一部（シート面に対して45度より大きい角度を有するもの）がシートの外で結合される。自然放出された光子は集められない。

【0046】

励起色素分子が誘導放出により崩壊する確率は、誘導放出の速度と全緩和速度の比によって与えられる。

$$P_{stim} = R_{stim} / (R_{stim} + R_{sp})$$

ここで、 P_{stim} は誘導放出の確率、 R_{stim} は誘導放出の速度、 R_{sp} は自然放出の速度である。誘導放出の速度は次式で与えられる。

$$R_{stim} = e I / h$$

ここで、 e はポンプ波長における誘導放出断面積、 I は入射光の強度、 h はプランク定数、 ν は光の周波数である。自然放出の速度 R_{sp} は、蛍光状態寿命 τ_{sp} の逆数によって次式の通り与えられる。

$$R_{sp} = 1 / \tau_{sp}$$

【0047】

色素分子は、非放射性機構ならびに放射性機構によって崩壊し、その結果、1未満の蛍光量子効率（QY）が得られる。非放射性機構は、初期の緩和時の高エネルギー—重項状態からの、放射性経路を通るある確率QY、および非放射性経路を通る確率1 - QYによる、各経路の間での確率的な分裂であるとしてよい。あるいは、非放射性機構は、放射性経路と競合し、非放射性緩和速度 R_{nr} によって特徴付けられる、ルミネッセンス状態からの緩和過程であるとしてもよく、量子効率が $QY = R_{sp} / (R_{sp} + R_{nr})$ で与えられる。

【0048】

高励起状態からの非放射性経路に関する第1の場合には、誘導放出の確率は次式に代えられる。

$$P_{stim} = QY \times R_{stim} / (R_{stim} + R_{sp})$$

10

20

30

40

50

第2の場合には、誘導放出の確率は次式に代えられる。

$$P_{stim} = R_{stim} / (R_{stim} + R_{sp} + R_{nr})$$

【0049】

色素は、大きい誘導放出断面積、および高い量子効率を有するように選択される。

【0050】

図3に示されるものなど、誘導放出ルミネッセンス光導波路集光器は、ルミネッセンスシート124、光源126、および光起電力(PV)セル128を使用して作製される。前述のように、ルミネッセンスシートは、ルミネッセンス粒子の薄い層130をガラスシート132の側面に付着させることによって作製することができる。ルミネッセンス粒子は、PMA、ウレタン、透明シリコンなど別の材料のマトリクス中に懸濁させることができ、あるいは、2つのガラスシートの間封止されるエタノールなどの溶媒中にさえも懸濁させることができる。別法として、ルミネッセンスシートは、ガラスシートにルミネッセンス粒子を含浸させることによって作製することもできる。ガラスシート132上のルミネッセンス層130は、入射日光116を吸収する。吸収された日光は、前に論じたように、電子をルミネッセンス状態に励起させる。光源126は、ガラスシート中に光134を放射し、それが内部全反射によってシート内に閉じ込められる。この光はポンプ光と呼ばれ、ルミネッセンス放出スペクトルと同等のスペクトルを有する。ポンプ光134が、136と表示された位置などでルミネッセンス状態の励起電子に遭遇した場合は必ず、その電子は基底状態まで減衰して光を放出し、この光はポンプ光134と平行に進み、それによってその強度が増大する。ますます多くの放出光がポンプ光に付加されるにつれて、ポンプ光はさらなる強度を徐々に累積する。さらに、上流でポンプ光によって放出が誘導された光は、下流で放出を誘導することができる。その結果、強められたポンプ光138は、ガラスシートの中に閉じ込められたままになり、PVセル128に向かって伝わることになる。

【0051】

図3は、一実施形態の誘導放出ルミネッセンス太陽光集光器の断面図である。この図から、閉じ込められた日光によって元のビームが増大されるにつれて、左側から右側へと集光器内部の光の強度が増大し、その結果、ビームは光源126のすぐそばで最小強度であり、PVセル128のところで最大強度になることが明らかである。

【0052】

次に、点光源として機能する小さな光源を使用する三次元設計について説明する。光源126は、図4に示されるように、円形ルミネッセンスシート140の中心にある点光源である。光源からの放出光134により、日光116が位置136でルミネッセンス粒子に吸収され、次に、誘導放出が引き起こされて、強められた光138が外側縁部142に向けて生成される。図4Aは、このシステムの断面図である。図4Bは、このシステムの三次元図である。図4Cは、このシステムの上面図である。(この図、および後に続く各図で、光線は直線として示されているが、これは単に図を簡単にするためである。本明細書を読んでいる当業者には理解されるように、光は、図3で述べたジグザグの経路をたどる。)

【0053】

図5に示されるように、ディスクの外側縁部が、光を反射するように鏡144でコーティングされている場合、反射光146は、ディスクの中心に集束する。ディスクの中心に集められる光は、その進路に沿って日光を収集しているので、光源126が最初にディスク中に放射した光よりも強度がはるかにまさることになる。反射光146は、ディスクの中心に集束すると、さらに誘導を引き起こして、光をさらに強めることができる。光起電力セルなどの太陽エネルギーコレクタを光源126と同じ空間を占めるようにすると、このデバイスは、ディスクの中心に収束する太陽エネルギーを電気に変換することができる。この電気は、光源に電力を供給することができ、また、どこか他の場所の用途に利用される使用可能な電流を送出する。エネルギー保存の法則が守られ、光源からのポンプ光は、光起電力セル上の光によって電力を供給され、ポンプ光は、捕捉された太陽放射光を刺

10

20

30

40

50

激し、それを光起電力セル上に集束させるために使用される。一定した日光の供給源がシステムから除かれた場合、システムはただちに機能することを停止し、デバイスは、日光または他の光源が再び利用されるまで動作を停止することになる。

【 0 0 5 4 】

太陽エネルギーコレクタと光源を同じ場所にするのが困難である場合には、ディスクを楕円形に作ることができる。ディスクが楕円形に作られている場合には、光は一方の焦点から出て広がり他方に収束する。これは図6に示されている。光源126は、楕円形プレート150の第1の焦点148に配置されている。光は、前記のように放出され、鏡付き縁144で反射する。反射光146は、太陽エネルギーコレクタ154がある第2の焦点152に収束する。前記のように、太陽エネルギーコレクタ154に収束する光は、ずっと強くなり、光源126に電力を供給するために使用された電力よりも大きいパワーを有する。ポンプ光134は、入射日光116を吸収したルミネッセンス粒子を通過するときに光の放出を誘導するので、強度が増大する。この強められた光は、次に、誘導放出をさらに引き起こして、強度およびパワーを第2の焦点152で最大まで増大させるカスケード効果をもたらす。第2の焦点152では、非常に高い集光率で光が電気に変換される。光源126と太陽エネルギーコレクタ154は、それらが互いに比較的近接している場合には、便宜上、単一の回路基板上に配置することができる。楕円形は、光源と太陽エネルギーコレクタの間の離隔距離を増大または低減するように変えることができる。

10

【 0 0 5 5 】

図7は、完全な楕円プレートの代わりに半楕円プレート156をどのように使用できるかを示す。こうすることにより、光源126および光起電力セル154をそれぞれ、プレート156の縁部158の焦点148および152に取り付けることが可能になる。縁部取付けは、前に示したようにプレートの中心に取り付けるよりも都合がよいことがある。

20

【 0 0 5 6 】

図8は、図7の設計に基づく別の変形物を示す。楕円形プレートは、くさび形部分160になるようにスライスされている。この楕円は、2つの焦点162と164が共に接近するようにおおよそ円形になっている。光源126および光起電力セル154は、面166に縁部で取り付けられている。この設計は、光源と光起電力セルの両方が円の中心から外れているならば、楕円からのくさびではなく円形ディスクの一部分でも同様に実現することができる。楕円形部分を用いてより完全な集束を実現することができ、これにより集光度を向上することができるが、応用例によっては、円形部分を用いても集光度は十分に高くなりうる。

30

【 0 0 5 7 】

図9は、くさび形ルミネッセンス集光器168と再び非常に類似した実施形態を示す。しかし、ここでは複数の反射小面170が、前には単一の楕円弧であった反射縁部144に取って代わる。図9Aには、小面170が3つだけ示されている。実際には、小面はもっと小さくなり、小面によって画定される面はもっと平坦になりうる。図9Bは、微細な小面(図示せず)の集合からなる面174を有するくさび形ルミネッセンス集光器172を示し、これらの小面は、光126からの入射放射光を方向転換して光起電力セル154に向ける。図9Bの設計の利点は、図9Cに示されるように、非常に密集したパッキングが可能になることである。図9Dは、湾曲面をより平坦な一連の小面に分割するというこの方法を、どんな湾曲部に対しても行うことが可能なことを示す。このようにして正方形ルミネッセンス太陽光集光器176に変形されたディスクが示されている。小面178のそれぞれが、中心からの光を反射して中心の方へと戻す。反射された光線180は、図を分かりやすくするために微小な角度を付けて示してあるが、実際には、球の中心から来る光線182と完全に重なる。湾曲鏡面を平坦な一連の小さな湾曲小面に分割するというこのアイデアは、本明細書に記載のすべての実施形態に広く適用することができる。大まかには、各小面は、円または楕円などの単一の曲線で示されるが、上述のようにすべて四角にすることもできる。

40

【 0 0 5 8 】

50

ルミネッセンスシートで光を閉じ込めてもシートが過度の集光にはさらされないシステムを考案することが可能である。上記で示したすべての設計では、太陽エネルギーコレクタが取り付けられたルミネッセンスシート内部に閉じ込められた光を集光した。集光器シートである第2のシートが導入された場合、ルミネッセンスシート内部の光束密度(強度)は、光源自体のところの集光度を超える必要がない。図10に、ディスクの縁のまわりの鏡144を備えた図4および図5と同じルミネッセンスシート140が示されている。ただし、ここではルミネッセンスシートの下に第2のシート184がある。鏡144に反射する光は、わずかに下向きに反射され、ルミネッセンスシートに入るのではなく、代わりに集光器シート184(これは光導波路の役割を果たす)に結合して入る。この光は、光起電力セル186まで伝搬する。この実施形態では、光起電力セルは、集光器シート184の中心にある正方形孔188の中に配置されている。ルミネッセンスシート140と集光器シート184の間にエアギャップ190がある。このエアギャップは、ルミネッセンスシート内の光がルミネッセンスシートを出て集光器シートに入るようにするために、鏡のところまでは延びていない。エアギャップは、内部全反射によって光を集光器シート内に閉じ込めたままにするために必要である。全体として、実施形態192は二層ルミネッセンス太陽光集光器と呼ばれる。二層ルミネッセンス太陽光集光器のさらにいくつかの実施形態を次の節で概説するが、まず、二層設計の利点のいくつかに注意を向ける。

【0059】

図10Cに、上から見たルミネッセンス層140が示されており、光の波面194が層内で外向きに広がっている。図10Dのグラフは、波面がディスクの中心から外側に移動するときに捕捉されるパワー、および強度を示す。捕捉されるパワーは、光の波面がディスク全体にわたって広がるにつれて増大する。強度は、同じ距離にわたってわずかに低下することが示されている。個々の色素および利用可能な日光の量に応じて、強度は減少するか、増加するか、または一定である。図10Eは集光器184を示し、同じ波面194がディスクの縁で反射し、ここで光起電力セル186が配置されているディスクの中心で、崩壊している。図10Fは、図10Dと同じグラフを示すが、ルミネッセンスシートではなく集光器シートについてのものである。捕捉されるパワーは、光が中心に収束するにつれてわずかに減少する。これは、バルク内の散乱機構および吸収による。集光器層の中で新たに捕捉される日光は無い。一方で強度は、光がディスクの中心で崩壊するときに劇的に増大する。セルは、光が大いに集光される高強度の点に配置される。

【0060】

二層ルミネッセンス太陽光集光器を使用することの利点は、最も高い集光が、ルミネッセンス色素から離れた集光器シート内だけで行われることである。集光器シートは、ガラスのような弾性材料から作ることができ、実現可能な集光度は非常に高く、1000、2000、5000または10000 sunにもなりうる。このような超高集光度では、色素を損傷するおそれがあるが、二層設計を用いると、高集光に伴う強い光束を受けることから色素が保護される。

【0061】

二層設計は、前に概説した楕円形設計およびくさび形設計にも同様に適用可能である。ルミネッセンスシートと集光器シート間の結合の構成および手段が、図11から14の主題になる。図11から14は、すべてディスク形光学部品の断面図であるが、その概念は、前述の楕円形およびくさび形光学部品に対して同様に適用可能である。

【0062】

図11は、集光器シート184の上に配置されたルミネッセンスシート140を示し、これらのシート間にエアギャップ190がある。それらの縁部で、これら2つのシートは半円形部品195によって結合されている。外部反射器196がこの部品を覆って配置されている(部品を直接ミラーコーティングすることもできる)。捕捉された光138が半円形部品195に入る。この光の一部は、198などにおいて内部全反射によって方向を変えられる。一部の光は、半円形部品を出て鏡の代わりに反射する。いずれにしても、すべての光が反射され(146)、集光器シート184内の光起電力セル上に収束する。

前記のように正方形孔の中に4つのセルがあるのではなく、湾曲小面202を備えた二次光学部品201が使用されて、光を下方に方向転換してセルの上に向ける。この小面は、曲率が同じ湾曲鏡挿入物204を有する(202もまた、直接ミラーコーティングすることができる)。湾曲小面は光を、ルミネッセンスシートおよび集光器シートと同じ面にある光起電力セル206の上に向けて、下方に方向転換する。光起電力セル206は、回路基板208の上に置かれており、光学接着剤209を使用して二次光学部品201に接着されている。鏡付き面は、210に示されているような光起電力セル206以外の要素での吸収による損失を防ぐために、回路基板208の上面に付けることができる。回路基板の後面に取り付けられた、集光器セルに特有であるバイパスダイオード212が示されている。

10

【0063】

図12は、上下が逆であることを除いて図11と全く同じシステムを示す。言い換えると、太陽は、デバイスの反対側を照らしている。集光器シートは、中心にコレクタがあるガラスのディスクにすぎないので、光は妨げられずに通過し、前記のようにルミネッセンスシートによって集めることができる。その境界面にいくらかの小さなフレネル損失があるが、これは反射防止コーティングによって軽減することができる。このデバイスには二面があり、どちら側からの光でも動作する。

【0064】

図13は、光起電力セル206が集光器シート184の下ではなく上に置かれるように二次光学部品201が上下に反転されていることを除いて、図11と同じシステムを示す。これにより、光起電力セル206を搭載する同じ回路基板208を、光源126を搭載するためにも使用する機会が与えられる。

20

【0065】

図14は、図12と類似のシステムを示す。この図は、再び上下逆で光学部品の二面性を示している。ここでの変更は、ルミネッセンスシート140が集光器シート184と比べて非常に薄く作られていることである。薄いルミネッセンスシートには2つの利点がある。このシートは、誘導放出の確率を高く保つためにルミネッセンスシート内で相対的に高い光束を維持する。このシートはまた、ミラーコーティングされた構成要素196を不要にする。半円形部品195に入る光は内部全反射され、集光シートに結合して入る。集光器シートに入った後、光は、前記のように集束して光起電力セル206に達する。

30

【0066】

このような誘導放射ルミネッセンス太陽光集光器でモジュールを作ることが、円形または楕円形、あるいはくさび形の要素をアレイとして密にパッキングすることによって可能である。これらの要素はまた、長方形のモジュールとして最適にパッキングするために、前述のように四角形にすることもできる。しかし、この光学部品の二面性を利用して、より広い領域を少ない光学部品でカバーすることができる。図15は、光学部品214をどのように間隔をあけて配列し、高散乱反射器216の上に配置できるかを示す。シート216に当たった光218は、散乱して上方に戻り、光学部品214に裏側から当たる。これは、円形の部品で行うことができ、あるいは前に論じた他の形の誘導放射ルミネッセンス光導波路太陽光集光器のいずれかで行うことも可能である。

40

【0067】

ここまでずっと、各光源は、電力供給されるある種の光源であると想定してきた。図16は、中心光220を使用して光を光ファイバケーブル222の中に供給することができ、次に、この光ファイバケーブルが光を各光学部品のルミネッセンスシート140まで導くことを示す。図16Bは、側面放出器を製作するために、光ファイバ222の端部224をどのようにして簡単な逆三角形で構成できるのかを示す。光ファイバからの光は、ダイオードからの光と全く同じように使用することができ、またこの光は、各モジュールが複数ではなく1つしか中心光源を必要としないという利点を有する。これはコストが低く、故障しにくい。

【0068】

50

シミュレーション

【0069】

ルミネッセンスシート内のエネルギー収集をモデル化するために、有限要素モデルが作成される。吸収最高値が430nmおよび615nmにあり、放出ピークが772nmにあるリン光色素Pt-(TPBP)(白金-ポルフィリン誘導体)を使用して、簡単な単一色素システムがモデル化される。円形シートが一連の環状リングに分割されて、ポンプとして機能する放射光源がその中心に導入される。高いポンプ光強度を維持するために100mmのシート厚が使用される。各リングでは、吸収された太陽光パワーが、誘導放出および再吸収の確率と併せて決定される。

$$P_n = P_{n-1} + P_{\text{solar},n} P_{\text{stim}} - P_{\text{abs},n}$$

P_n - リングn内のパワー

$P_{\text{solar},n}$ - リングn内の吸収太陽光パワー

P_{stim} - 誘導放出の確率

$P_{\text{abs},n}$ - リングn内の再吸収で失われたパワー

10

【0070】

この一次モデルは、損失を高く見積もりすぎているので、ルミネッセンスシートから取り出すことができるパワーの下限を示している。このモデルでは、色素に吸収される光子を取り込むことができず失われるものとみなしているが、実際には、再吸収により色素分子は励起され、励起された色素分子は自然放出または誘導放出によって再度緩和状態となる。また、確率 $1 - P_{\text{stim}}$ で発生する自然放出によって失われるエネルギーは過大に見積もられている。シートに対して大きい角度で放出される自然放出光子はシステムから失われるが、シート内にとどまる自然放出光子は最終的に再吸収され、その再吸収により再度誘導放出される可能性がある。

20

【0071】

図17aは、累積の吸収太陽光パワー、およびポンプモードに誘導されるパワーを半径の関数として、3.0mmの内径から、外へ10cmのところにあるルミネッセンスプレートの縁部まで位置を変えて示す。図17bは、誘導放出の確率を中心からの距離の関数として、初期ポンプ強度が530kW/cm²の場合で示す。誘導放出の確率は、(元のポンプおよび誘導放出からの)ポンプ光によって照光される面積が半径と共に増大するので、中心からの距離が増大するにつれて低下する。

30

【0072】

初期のポンプ強度パワーの要件を少なくし、日光捕捉効率を改善するには、異なる色素および幾何形状を使用することができる。しかし、一次モデルは、このように日光を捕捉することによってパワーの正味の増大を実現することが可能であることを示す。

【0073】

様々な実施形態についての議論に戻ると、複数のルミネッセンス材料が使用され、それぞれが太陽光スペクトルの別々の部分に対して反応する場合には、誘導放出ルミネッセンス光導波路太陽光集光器で、より高い効率を得ることができる。例えば、図18は、吸収ピーク300および放出ピーク302を有する単一ルミネッセンス材料を示す。図19は、それぞれ異なる線種で示された3組の別個の吸収ピークおよび放出ピークを示し、これらは、3つの異なるルミネッセンス材料のルミネッセンス特性を表す。その対応する対は、第1のルミネッセンス材料の吸収ピーク300と放出ピーク302、第2のルミネッセンス材料の吸収ピーク304と放出ピーク306、ならびに第3のルミネッセンス材料の吸収ピーク308と放出ピーク310である。図で、第1のルミネッセンス材料は、吸収が約375ナノメートルでピークに達する傾向があり、第2の材料は約475ナノメートルにピーク吸収があり、第3の材料は約575ナノメートルにピーク吸収がある。これらの波長および吸収放出曲線は、単に例示のために使用されており、実際には、任意の数のルミネッセンス材料または色素を紫外帯域、可視スペクトル、近赤外スペクトルまたは赤外スペクトル、あるいはこれらの組合せで吸収スペクトルおよび放出スペクトルとともに使用することができる。この後の各例で分かりやすいように、後の例では3つのルミ

40

50

ネッセンス材料を使用し、各材料がスペクトルは異なっているが関連した部分で作用することを示すために、これらの材料を短波長材料、中波長材料、および長波長材料と呼ぶ。これらのスペクトルの各部分は、例えば青、緑、および赤でありうるが、スペクトルの他の区域も同様に適用可能である。

【 0 0 7 4 】

図 2 0 a および図 2 0 b に示されるように、異なるルミネッセンス材料の複数の層を単一のデバイス内で組み合わせることができる。短波長ルミネッセンス層 3 1 2、中波長ルミネッセンス層 3 1 4、および長波長ルミネッセンス層 3 1 6 の 3 層が積層され、これらを被覆層 3 1 8 で分離している。各層は、発光デバイス (3 2 0、3 2 2、および 3 2 4) と光起電力セル (3 2 6、3 2 8、および 3 3 0) を備えた個別のルミネッセンス太陽光集光器として設計されている。発光ダイオードとすることができる発光デバイスは、それらの対応する層が放出を誘導するために必要なスペクトルを放出するように作られる。光起電力セルは、それらの対応する層内で放出されているスペクトルの部分を効率的に変換するように作られる。光起電力セルおよび発光デバイスは、基板 3 3 2 および 3 3 4 の上に装着することができる。被覆は、それにより分離する層よりも低い屈折率を有し、光線 3 3 6、3 3 8、および 3 4 0 などの閉じ込められた光が一方の層を出て他方の層に入ることを防止する。被覆は、例えばフッ化エチレンプロピレン、または他の低屈折率材料から作ることができる。各層は、ガラスまたはポリマーから作ることができる。

10

【 0 0 7 5 】

図 2 1 a ~ 2 1 d は、楕円形反射器 3 4 4 を有する 3 層誘導放出ルミネッセンス太陽光集光器 3 4 2 を示す。各層は、短波長層 3 1 4、中波長層 3 1 6、および長波長層 3 1 8 である。3つの発光デバイス (3 2 0、3 2 2、および 3 2 4) と光起電力セル (3 2 6、3 2 8、および 3 3 0) は、それぞれが完全に楕円の焦点にあるように、図 2 1 a に示されたように垂直に並べるか、あるいは図 2 1 b に示されたように少しずらすことができる。発光デバイスと光起電力セルの両方を焦点から少し離すように移動すると、基板 3 4 6 に配線および装着をするためのより広い空間を得ることができる。単一の基板 3 4 6 を使用して、すべての発光デバイスおよび光起電力セルを装着することができる。

20

【 0 0 7 6 】

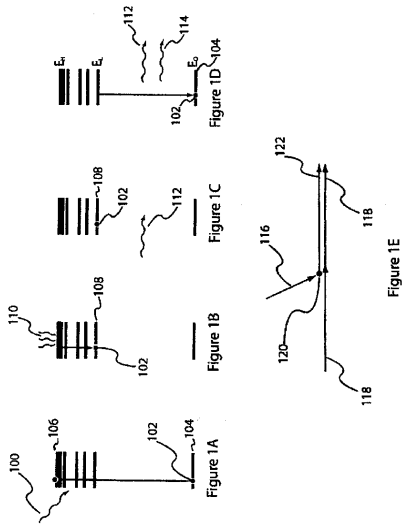
図 2 2 は、誘導放出ルミネッセンス太陽光集光器をどのようにしてパネルとして構成することができるかを示す。個々の集光器 4 0 0 が、それぞれルミネッセンス層、光源、および光起電力セルを備え、図示のようにアレイとして配列され、密にパッキングされている。

30

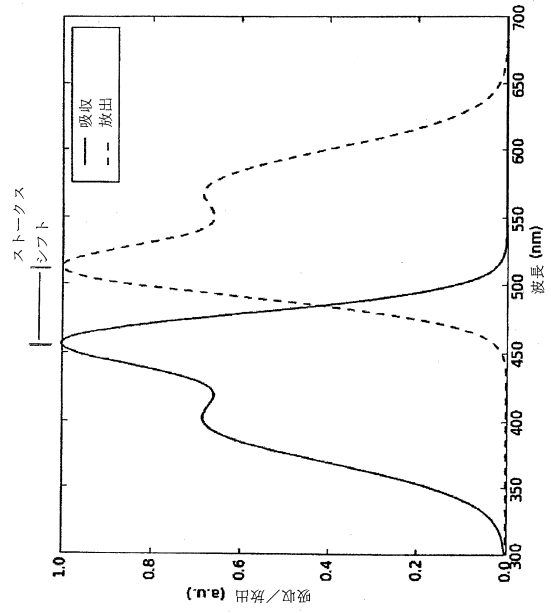
【 0 0 7 7 】

本発明の上記実施形態の修正および改善は、当業者には明らかなものになる。以上の説明は、限定するものではなく例示的なものである。したがって、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によってのみ限定されるものである。

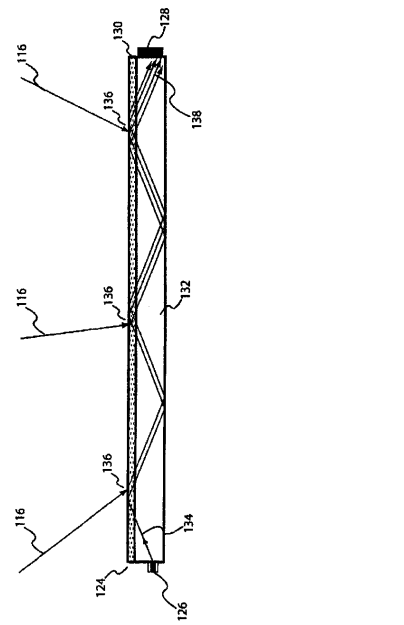
【 図 1 】



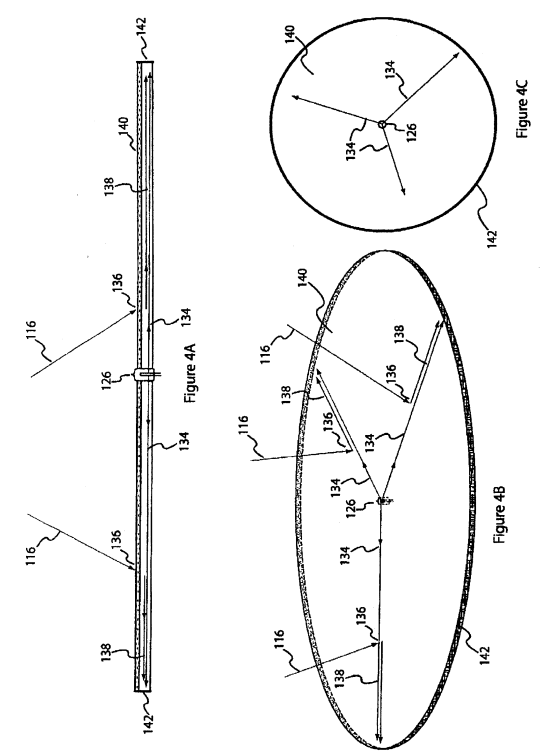
【 図 2 】



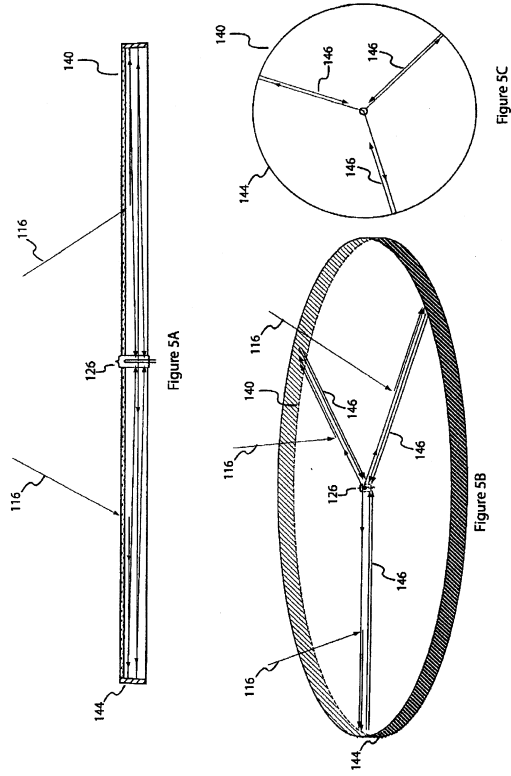
【 図 3 】



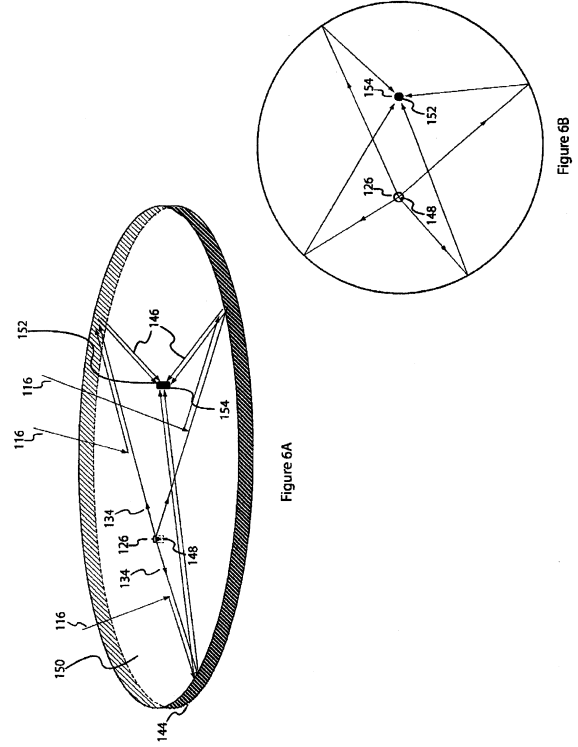
【 図 4 】



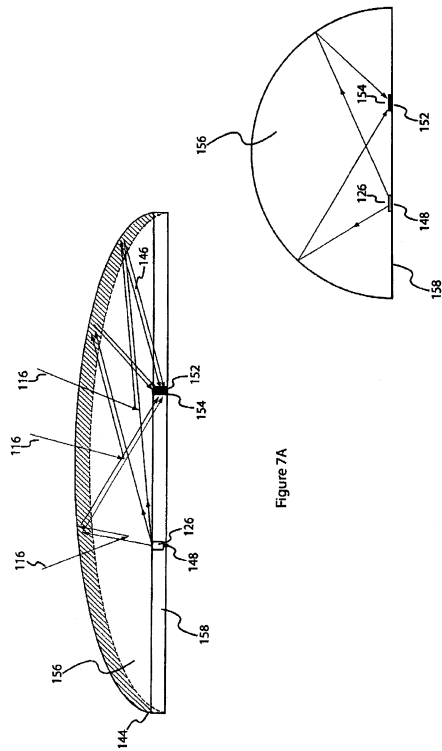
【 図 5 】



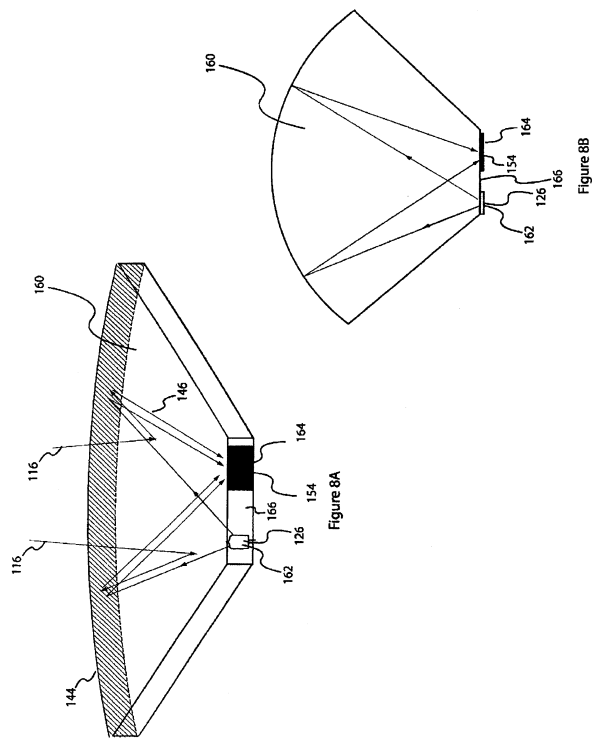
【 図 6 】



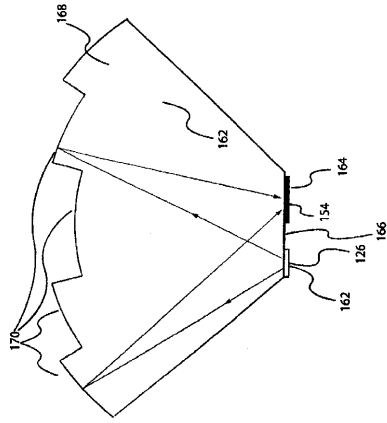
【 図 7 】



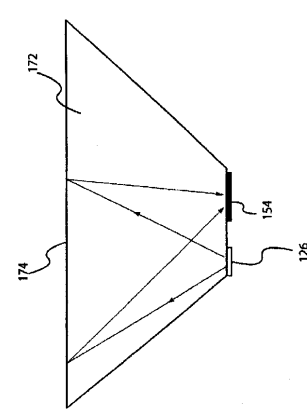
【 図 8 】



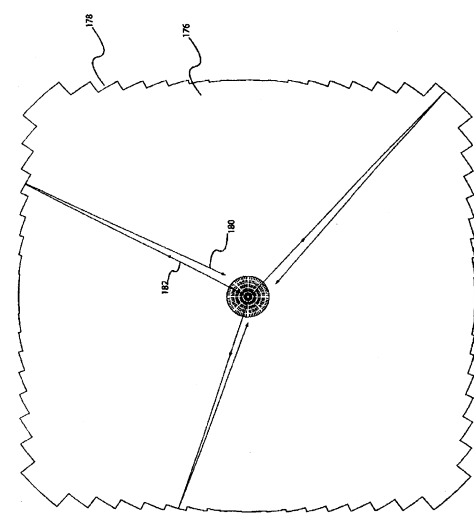
【 9 A 】



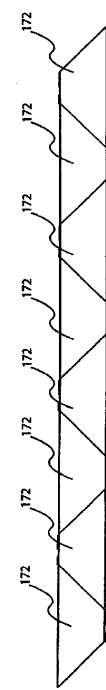
【 9 B 】



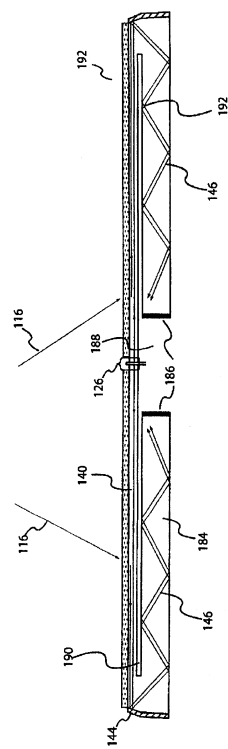
【 9 D 】



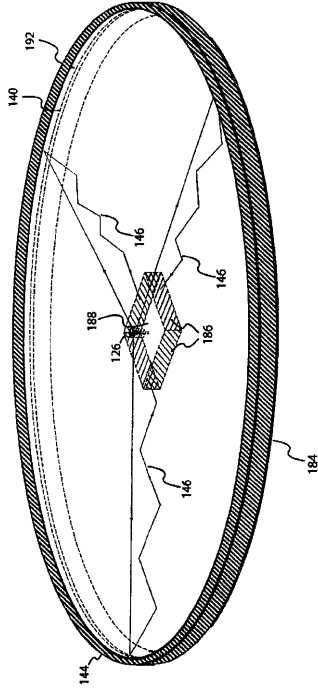
【 9 C 】



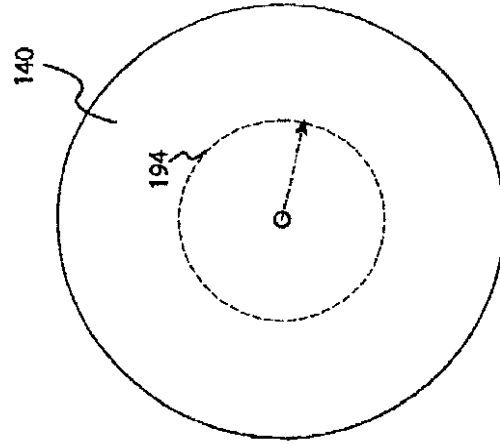
【 10 A 】



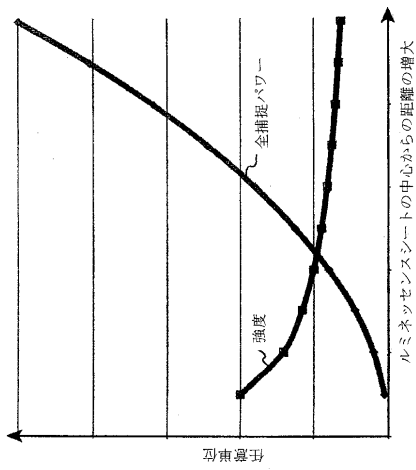
【図10B】



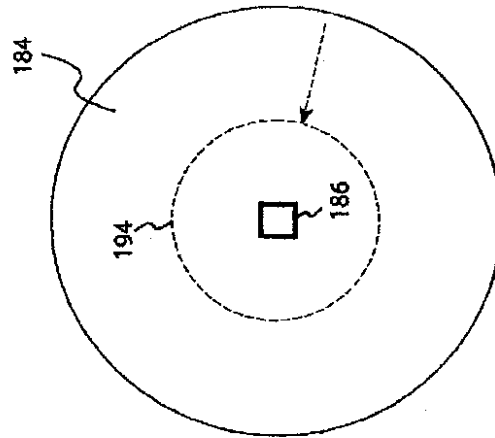
【図10C】



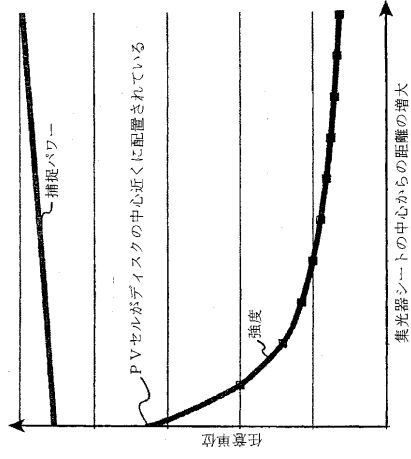
【図10D】



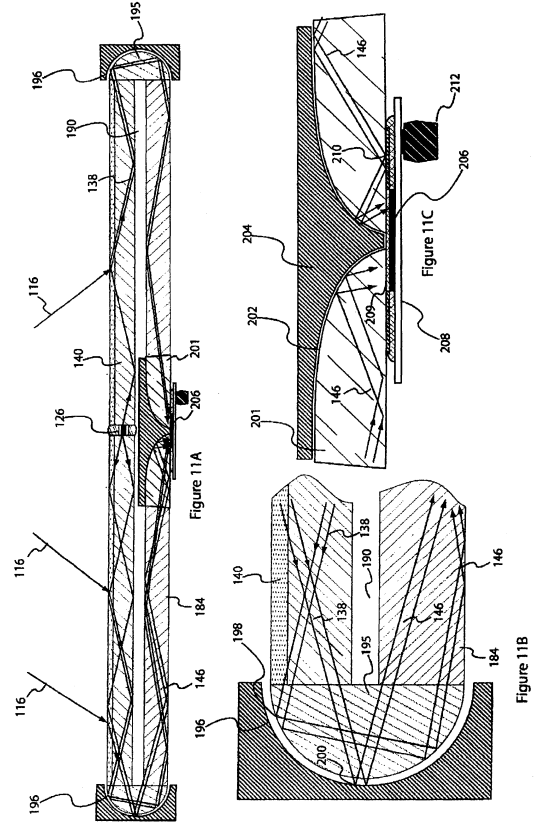
【図10E】



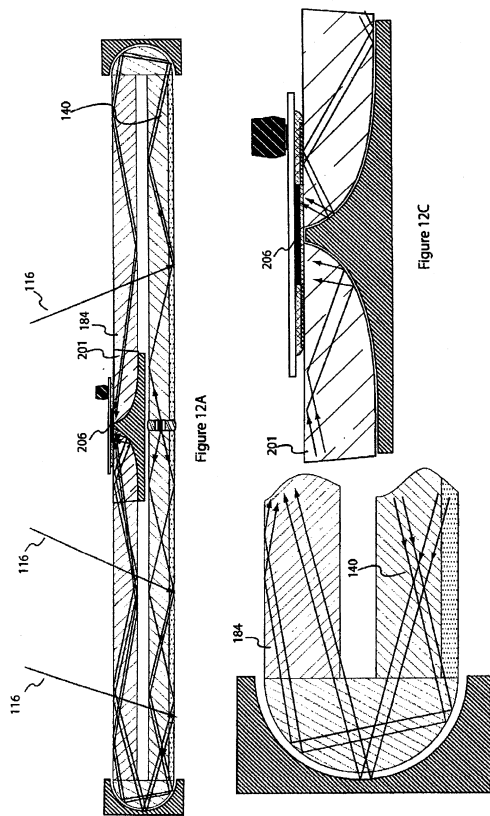
【図10F】



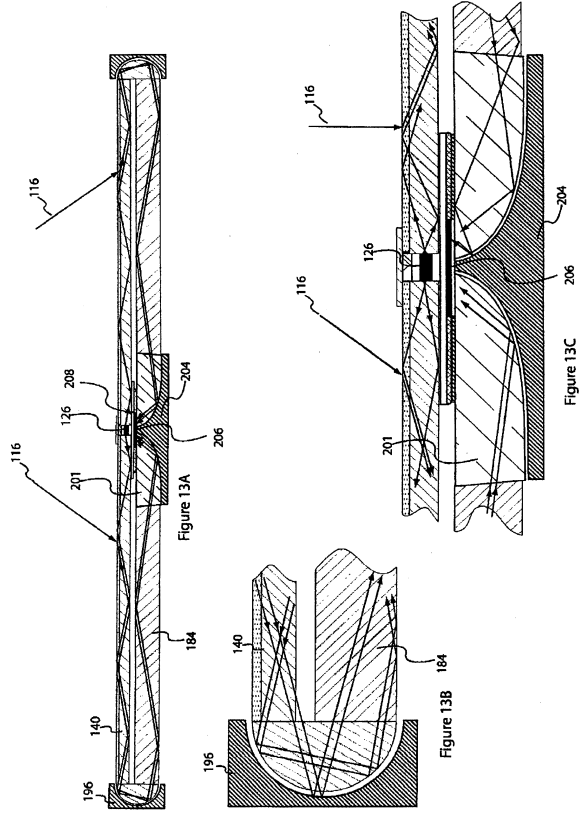
【図11】



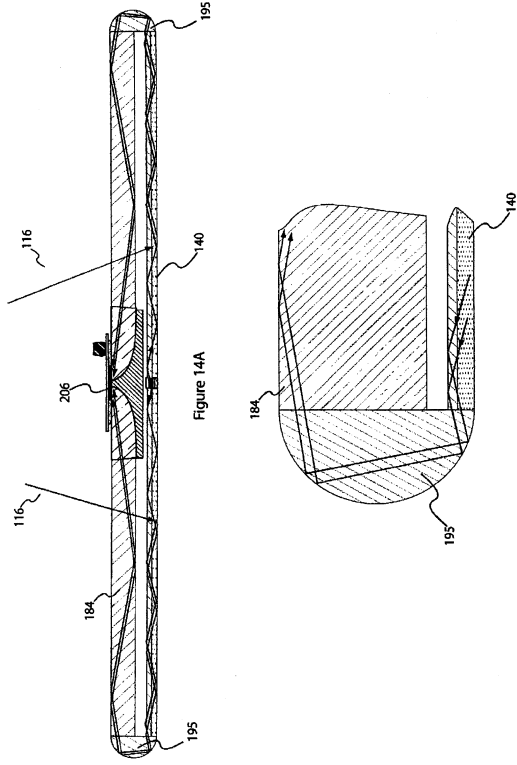
【図12】



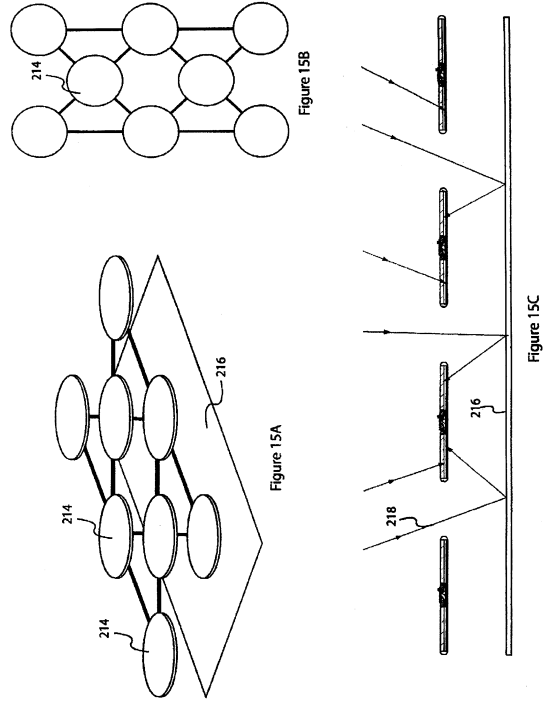
【図13】



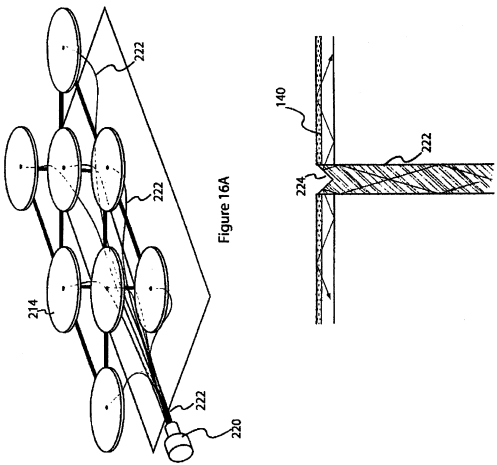
【 図 14 】



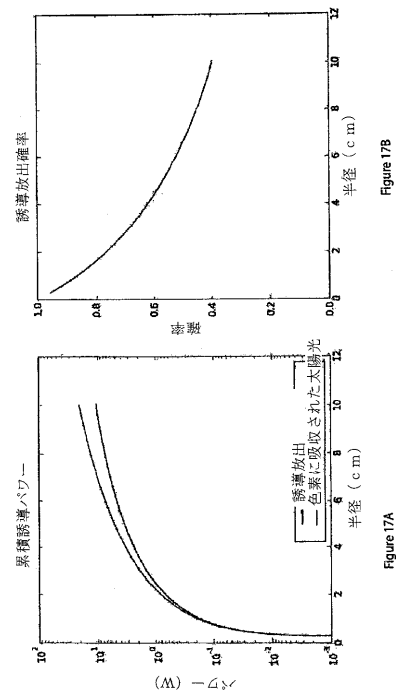
【 図 15 】



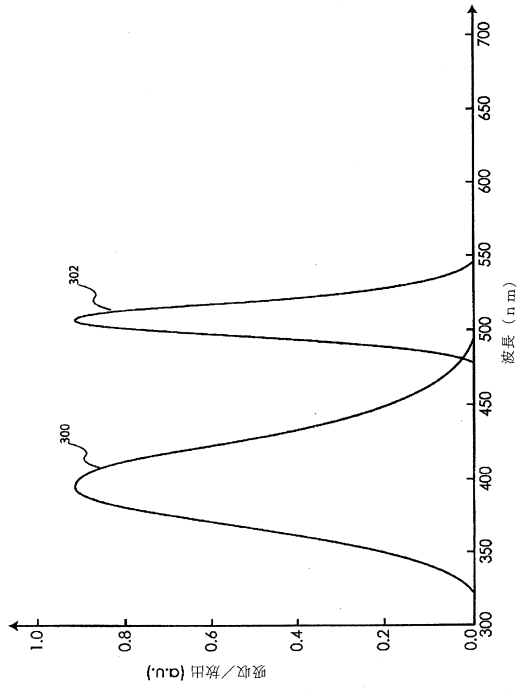
【 図 16 】



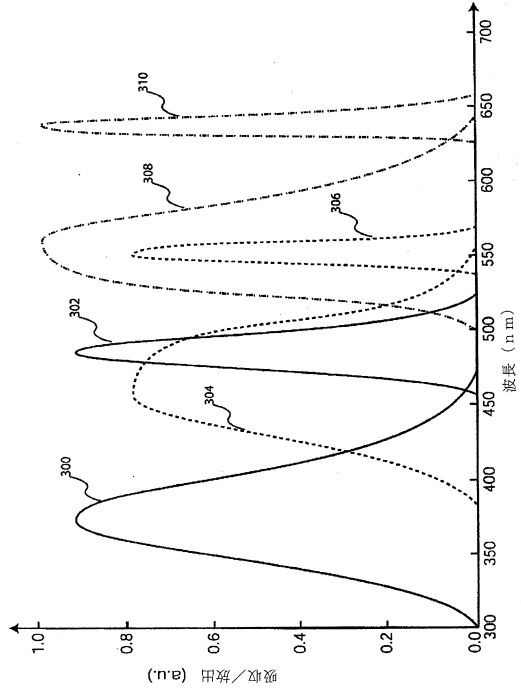
【 図 17 】



【 図 18 】



【 図 19 】



【 図 20 】

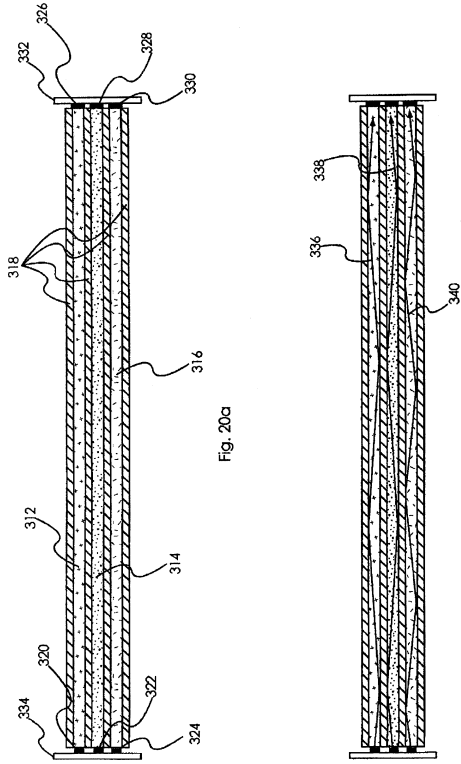


Fig. 20a

Fig. 20b

【 図 21 A 】

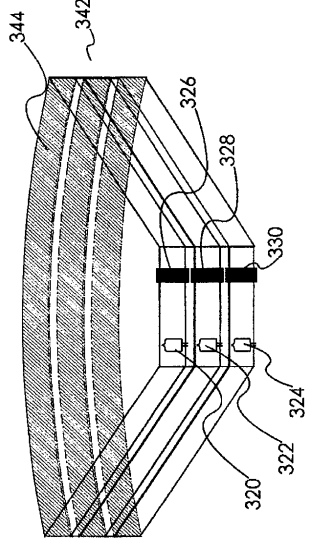
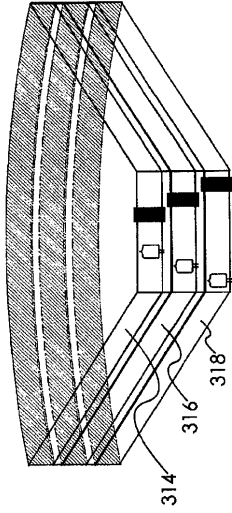
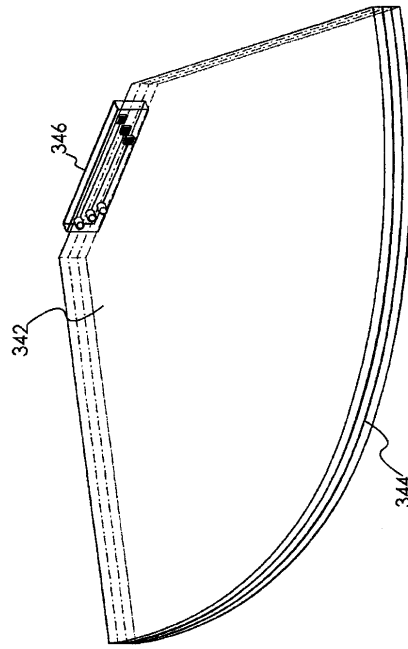


Fig. 21a

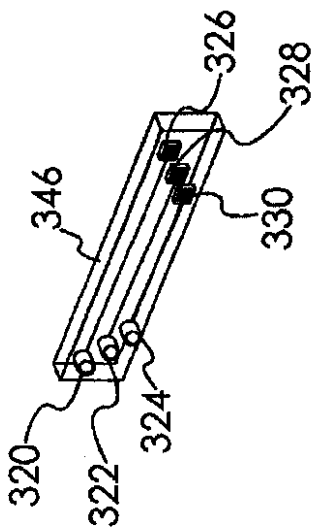
【 2 1 B 】



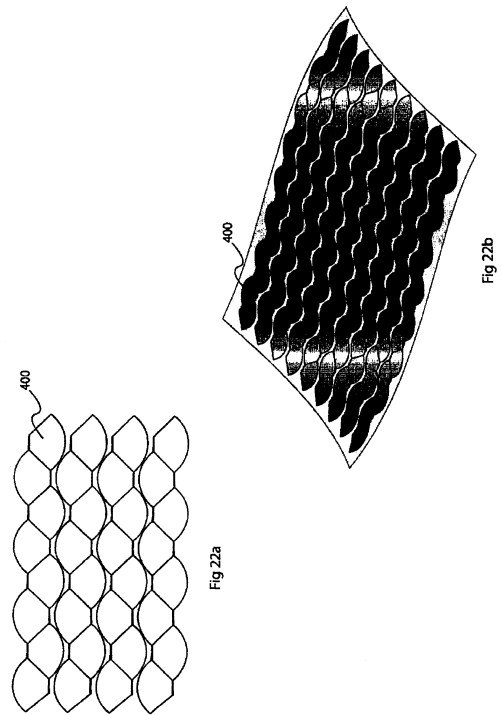
【 2 1 C 】



【 2 1 D 】



【 2 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 チャン, フィリップ エム.

カナダ オンタリオ州 M1T 1M9, スカーバロー, ビーチヤム クレセント 7

(72)発明者 マイルソッグ, ステファン エイチ. エス.

カナダ オンタリオ州 L4C 6K3, リッチモンド ヒル, エドガー アベニュー 91

審査官 吉野 三寛

(56)参考文献 米国特許第04281294 (US, A)

特開平04-051027 (JP, A)

特表2003-526190 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02S 40/20 - 40/22

H01L 31/04 - 31/056