

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4647029号  
(P4647029)

(45) 発行日 平成23年3月9日(2011.3.9)

(24) 登録日 平成22年12月17日(2010.12.17)

(51) Int.Cl.

F 1

F 21 S 2/00 (2006.01)  
H 01 L 33/58 (2010.01)  
F 21 Y 101/02 (2006.01)F 21 S 2/00 330  
H 01 L 33/00 430  
F 21 Y 101:02

請求項の数 31 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2009-523301 (P2009-523301)  
 (86) (22) 出願日 平成19年8月10日 (2007.8.10)  
 (65) 公表番号 特表2010-500708 (P2010-500708A)  
 (43) 公表日 平成22年1月7日 (2010.1.7)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2007/058313  
 (87) 國際公開番号 WO2008/017718  
 (87) 國際公開日 平成20年2月14日 (2008.2.14)  
 審査請求日 平成22年7月14日 (2010.7.14)  
 (31) 優先権主張番号 60/837,071  
 (32) 優先日 平成18年8月10日 (2006.8.10)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 505377083  
 アップストリーム エンジニアリング オ  
 ーワイ  
 U p s t r e a m E n g i n e e r i n  
 g O y  
 フィンランド オウル F 1-90250  
 キーラキヴェンティエ 1, F 1-  
 90250 Oulu, Finland  
 (74) 代理人 100127188  
 弁理士 川守田 光紀  
 (72) 発明者 アラサーレラ イルッカ エー.  
 フィンランド共和国 F 1 N-90460  
 オウルンサロ, ペンサステイエ 7

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照射方法および照射デバイス

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

軸の周りに円筒対称的な少なくとも1つの光線案内部を備える装置であって、前記少なくとも1つの光線案内部は、非点状物体から前記少なくとも1つの光線案内部の入射瞳に向かって放射される光線の少なくとも一部分を、事実上像に結像するように構成され、

さらに前記少なくとも1つの光線案内部は、前記軸及び前記入射瞳の一部を含む断面に規定される断面平面の各々において、

・ 前記軸に対して一方の側において、前記非点状物体から前記断面平面に沿って、該断面平面上且つ前記一方の側に位置する前記入射瞳の一部へと放射される前記光線のサブセットを、前記一方の側における前記断面平面上の中間像へと結像し、

・ 前記中間像からの前記光線の少なくとも一部を、前記断面平面の前記一方の側において、前記断面平面上の断面像に結像する、

ように構成され、従って、ある前記断面平面における前記中間像は、別の前記断面平面における前記中間像とは互いに交差しない、装置。

## 【請求項 2】

前記少なくとも1つの光線案内部は、

前記光線の前記サブセットのいずれもが、

前記断面平面の前記一方の側に位置する、前記少なくとも1つの光線案内部の入射瞳部と、

10

20

前記断面平面上の前記一方の側と同じ側に位置する、前記少なくとも 1 つの光線案内部の射出瞳部と

の間で、前記軸を交差しないように構成される、  
請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、前記軸によって区切られる前記断面平面の半分部分において、前記入射瞳を前記射出瞳に実質的に結像するように構成される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、前記非点状物体から前記少なくとも 1 つの光線案内部の前記入射瞳に向かって放射される実質的に全ての光線を前記像に結像するように構成される、請求項 1 に記載の装置。 10

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、前記入射瞳および前記射出瞳における共役点が、実質的に等しい距離分前記軸から離間するように構成される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、前記非点状物体から前記像へ実質的に結像される任意の点が、その 2 乗平均平方根スポットサイズが前記像の平均直径より実質的に小さくなるように、前記像におけるスポットを形成するように構成される、請求項 1 に記載の装置。 20

【請求項 7】

前記 2 乗平均平方根スポットサイズは、前記像の前記平均直径の 4 分の 1 よりも小さい、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記非点状物体から前記入射瞳への平均距離が、前記非点状物体から前記軸への平均距離より実質的に大きくなるように、前記少なくとも 1 つの光線案内部が配置される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 9】

前記非点状物体から前記入射瞳への前記平均距離が、前記非点状物体から前記軸への前記平均距離の少なくとも 3 倍である、請求項 8 に記載の装置。 30

【請求項 10】

前記光線は、紫外線波長および赤外線波長間の電磁放射の光線である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 11】

電磁放射の前記光線は、発光ダイオードから放射される光線である、請求項 10 に記載の装置。

【請求項 12】

像形成システムの照射構成要素である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 13】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、前記入射瞳と、前記非点状物体の平均点に最近接している前記軸上の点との間を結ぶ少なくとも 1 つの線が、前記軸と 35 度を上回る角度を形成するように配置される、請求項 1 に記載の装置。 40

【請求項 14】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、前記入射瞳と、前記非点状物体の平均点に最近接している前記軸上の点との間のあらゆる線が、前記軸と 30 度を上回る角度を形成するように配置される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 15】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、光線毎に少なくとも 3 つの箇所において、該光線の少なくとも一部の伝播方向を次々に変更するように構成される、請求項 1 に記載の装置。  
。

## 【請求項 1 6】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、光線毎に 5 つ以下の箇所において、該光線の少なくとも一部の伝播方向を次々に変更するよう構成される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 1 7】

前記少なくとも 1 つの光線案内部は、前記非点状物体の平均点に最近接している前記軸上の点の周りで、少なくとも 0.1 ステラジアンの立体角に前記入射瞳が及ぶように配置される、請求項 1 に記載の装置。

## 【請求項 1 8】

回転対称軸の周りに円筒対称的な少なくとも 1 つの光線案内要素を備える装置であって、

10

前記少なくとも 1 つの光線案内要素は、非点状物体から前記少なくとも 1 つの光線案内要素の入射瞳に向かって放射される前記光線の少なくとも一部を事実上像に結像するように配され、

さらに前記少なくとも 1 つの光線案内要素は、前記少なくとも 1 つの光線案内要素の前記入射瞳を射出瞳に実質的に結像するように、ただし、前記入射瞳上の各点が、前記射出瞳上で、前記回転対称軸に事実上沿う方向の点の投影に各々結像されるように、構成され、

さらに前記少なくとも 1 つの光線案内要素は、前記入射瞳の事実上全ての点が前記物体からほぼ同一の距離にあるように配され、

さらに前記少なくとも 1 つの光線案内要素は、前記入射瞳から前記射出瞳へ結像される任意のメリジオナル光線 (meridional ray) の経路が、前記入射瞳と前記射出瞳との間で前記回転対称軸を交差しないように構成される、装置。

20

## 【請求項 1 9】

前記少なくとも 1 つの光線案内要素は、前記非点状物体から前記少なくとも 1 つの光線案内要素の前記入射瞳に向かって放射される実質的に全ての光線を、事実上前記像に結像するように構成される、請求項 1 8 に記載の装置。

## 【請求項 2 0】

前記少なくとも 1 つの光線案内要素は、前記非点状物体から前記像へ実質的に結像される任意の点が、その 2 乗平均平方根スポットサイズが前記像の平均直径より実質的に小さくなるように、前記像におけるスポットを形成するように配置される、請求項 1 8 に記載の装置。

30

## 【請求項 2 1】

前記 2 乗平均平方根スポットサイズは、前記像の前記平均直径の 4 分の 1 よりも小さい、請求項 1 8 に記載の装置。

## 【請求項 2 2】

前記非点状物体から前記入射瞳への平均距離が、前記物体から前記軸への平均距離より実質的に大きくなるように、前記少なくとも 1 つの光線案内要素が配置される、請求項 1 8 に記載の装置。

## 【請求項 2 3】

40

前記非点状物体から前記入射瞳への前記平均距離は、前記非点状物体から前記軸への前記平均距離の少なくとも 3 倍の大きさである、請求項 2 2 に記載の装置。

## 【請求項 2 4】

前記光線は、紫外線波長および赤外線波長間の電磁放射の光線である、請求項 1 8 に記載の装置。

## 【請求項 2 5】

電磁放射の前記光線は、発光ダイオードから放射される光線である、請求項 2 4 に記載の装置。

## 【請求項 2 6】

像形成システムの照射構成要素である、請求項 1 8 に記載の装置。

50

**【請求項 27】**

前記少なくとも1つの光線案内要素は、前記入射瞳と、前記非点状物体の平均点に最近接している前記軸上の点との間の少なくとも1つの線が、前記軸と35度を上回る角度を形成するように配置される、請求項18に記載の装置。

**【請求項 28】**

前記少なくとも1つの光線案内要素は、前記入射瞳と、前記非点状物体の平均点に最近接している前記軸上の点との間のあらゆる線が、前記軸と30度を上回る角度を形成するように配置される、請求項18に記載の装置。

**【請求項 29】**

前記少なくとも1つの光線案内要素は、光線毎に少なくとも5つ以下の箇所において、次々に、前記光線の前記少なくとも一部の伝播方向を変更するように構成される、請求項18に記載の装置。 10

**【請求項 30】**

前記少なくとも1つの光線案内要素は、前記射出瞳の直径より小さい前記軸に沿った長さを有するように配置される、請求項18に記載の装置。

**【請求項 31】**

前記少なくとも1つの光線案内要素は、前記非点状物体の平均点に最近接している前記軸上の点の周りで、少なくとも3ステラジアンの立体角に前記入射瞳が及ぶように配置される、請求項18に記載の装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明の例示的かつ非限定的な実施形態は、概して放射の結像に関し、具体的には、放射の収集(collection)、視準(collimation)、および集光(concentration)に関する。より具体的には、これらの実施形態は、系の光軸に対して大角度で光線を捕捉し、これらの光線を収集および再配光して物体またはデータの光特性像を形成する光学系の特定の構成要素に関する。

**【背景】****【0002】**

特定の光源から放射される全ての光をいかに収集し、さらにビームを所望の形にいかに整形するかということは、よく知られた問題である。多くの用途に理想的なソリューションは、光源の周りの1つの半球に放射される光線を使用して光源を結像することであり得る。本明細書において、用語の「結像(imaging)」は、最小の収差(aberration)で形成する像を意味するとは限らず、単に、照明として十分な品質で結像することを意味する。

**【0003】**

既知の手法の1つとして、非球面ピックアップレンズシステムや顕微鏡の対物レンズのような、高い開口数(Numerical Aperture; NA)の対物レンズを使用することが挙げられる。これらのソリューションは、収集されるエタンデュ(etendue)に対して大きく、または物体から十分良好な像を形成することが不可能である。また、これらのシステムは、複雑で高価な場合がある。これらの教示は、異なる手法を取る。その代わりに、本発明の実施形態は、結像系の光軸に対して大角度で放射される光(例えば、側面から放射される光線)を使用して、物体の光特性像(Illumination Quality Image)を形成することを可能にする。

**【0004】**

ある材料の屈折率nが、その材料の周囲の物質(例えば空気(屈折率n=1))より大きいとき、その材料内部にある光源から放射される全ての光を収集することは、難しいことである。一般的には、大角度の収集は、光源が空気中にある場合にのみ可能である。光源が、より高い屈折率の材料に包まれている場合、典型的な収集光学素子は、大型過ぎて有用ではないことが多い。さらに、収集レンズ、TIR-視準器、テーパー状光パイプ、放物

10

20

30

40

50

面集光器などの多くの典型的な収集ソリューションは、光を収集するだけであり、例えば、均一な矩形等の所望の形にビームを整形するためには、その他の構成要素が必要となる。この結果、個々の構成要素数の増加やビームのエタンデュ増加により、光学系のサイズが大きくなり、損失も発生する。本発明の実施形態によれば、周囲の物質よりも屈折率が大きい材料の内部に物体が存在する場合であっても、記載される構成要素により、大角度で物体の像を形成することが可能になるため、この問題に対処することが可能となる。

#### 【 0 0 0 5 】

多くの用途において、像が完全である必要はないが、スループットの高い、非常に低いFナンバーの対物レンズ（技術的には超高開口数の対物レンズ）を有することが有利であろう。本発明の実施形態は、本明細書に記載の構成要素の開口数が、被結像物体の周囲の材料の屈折率と同等でありうることによって、この問題に対処している。 10

#### 【 0 0 0 6 】

物体またはデータが光軸から離れた角度から結像される必要がある場合には、その他にも設計上考慮すべきことが存在する。例えば、用途によっては、別の目的のための遮蔽物があるなどで光軸上に直接結像を行うことが不可能であることがある。また、高スループットで物体を照射することが必要な場合もある。以下から分かるように、本発明の実施形態は、この問題にも対処する。

#### 【 0 0 0 7 】

小型LED投射エンジンにおける困難な問題の1つとして、矩形のマイクロディスプレイおよび投射レンズを介してLEDからの光を画面に如何に結合するかということが挙げられる。これは、小さな空間で効果的に行なう必要があり、かつ均一な像品質を実現する必要がある。これらの課題については共有の米国特許第7,059,728号において完全に説明および検討されており、一方の側面の光媒体内にLED源を封入し、他方の側面に反射基板を封入することが記載されている。点源でないLEDからの光が光媒体において配光される。マイクロスケールの回折パターンや屈折パターンを有する反射面および透過面により、配光された光は、比較的均一の強度で直線的な出力に収集される。しかしながら、このような技術的考察に加え、照射構成要素は、合理的なコストで大量製造可能である必要がある。これらの教示に対して、本明細書に詳述される実施形態による課題の克服は、LED（またはその他の光源）ベースの小型プロジェクタによる照射システムおよび方法に対し、高効率性および良好な均一性を有すること、また効果的に大量生産可能でロバストであることを提供する。これによって上記の教示に対する対処がなされる。 20

#### 【 0 0 0 8 】

最も身近な既知の従来技術は、Mitsubishi（商標）PK-10 LEDプロジェクタに使用されるような全内部反射TIR視準器に見られる。そのTIR視準器に関する概略図およびそのイメージが、図1A～Bにおいてそれぞれ示される。この構成要素の外径は、約20mmである。このようなTIR視準器に見られる問題の1つは、TIR視準器は光を収集するものの、光源の像を形成しないため、出力照射を円状に対称ではなく均一かつ矩形にするためには、明らかにフライアイレンズを別に必要とすることである。これは、ビームのエタンデュが増加すると、光の損失またはシステムサイズの増加をもたらすことになる。 30

#### 【 0 0 0 9 】

それとは別に、多くの用途で拡散光源からの光の集光が必要とされている。優れた例の1つとして、太陽放射の集光が挙げられる。太陽光集光において、発明者が知っている従来技術のシステムに関するいくつかの問題は、最大集光比（maximum concentration ratio）に近い集光を行うことが不可能であり、それが供給するパワーに対して物理的にサイズが大きいことである。また、用途によっては、いくつかの光学面が、光が集光される場所にほぼ近接することを必要とし、光が非常に高い強度を有する場合に光学面が影響を受けるため、最大集光比で使用しようとすると重大な問題が発生しうる。また、放物面反射鏡に基づく従来技術の集光器では、加熱要素が放物面鏡の上に配置されており、これは物理的に困難な配置である。本発明の実施形態は、上記問題を起こさずに、記載の構成要素を使用して、理論的最大値に近い集光比で光を集光可能であることから、このような懸念 40

に対処することができる。具体的には、以下の教示に従う太陽光集光器は、ほぼ最大集光比を達成しつつ、加熱要素付近に光学面は存在せず、過熱素子は集光器の下に配されており、加熱要素の位置は固定であることができ、集光器のみが太陽の動きを追跡する必要があるようになる。

【0010】

顕微鏡や光学的測定分野等のその他の分野において、明るい輝点を必要とする用途が存在する。これも、以下に詳述する実施形態の有利な用途である。

【摘要】

【0011】

本発明の一実施形態によると、第1および第2の光線案内部 (Ray guide) を含み、そのうち少なくとも前記第1の光線案内部が環状 (Toroidal) である装置が提供される。前記第1の環状光線案内部は、回転対称軸 (Axis of revolution, 旋回軸) を規定すると共に、前記回転対称軸に対して40度から140度の間の角度で入射する放射線 (Radiation incident) を結像する環状の入射瞳 (Entrance pupil) を有する。また、前記第1の環状光線案内部は、前記入射瞳の反対側に第1の結像面 (Imaging surface) を有する。また、前記第2の光線案内部も、同一の回転対称軸を規定し、前記第1の結像面に近接する第2の結像面を有する。

10

【0012】

本発明の別の実施形態によると、光軸に沿って配置される光源から、前記光軸に対して40度から140度の角度で放射線を放射することと、前記放射した放射線を、前記光軸の周りに環状である光線案内部の入射瞳において受光することと、前記受光した放射線を、前記光線案内部において射出瞳 (Exit pupil) へと導くことにより、前記光軸に対して事実上平行である平均方向へと向けることと、を含む方法が提供される。

20

【0013】

本発明の別の実施形態によると、軸の周りに円筒対称的な少なくとも1つの光線案内部を備える装置が提供される。前記少なくとも1つの光線案内部は、非点状物体から前記少なくとも1つの光線案内部の入射瞳に向かって放射される光線の少なくとも一部分を、事実上像に結像するように構成される。また前記少なくとも1つの光線案内部は、前記軸及び前記入射瞳の一部を含む断面に規定される平面の各々において、前記非点状物体から前記断面平面に沿って、該断面平面上且つ前記軸の一端上に位置する前記入射瞳の一部へと放射される前記光線のサブセットを、前記断面平面上の中間像へと結像するように構成される。さらに前記少なくとも1つの光線案内部は、前記中間像からの前記光線の少なくとも一部を、前記断面平面上の断面像に結像するように構成される。ここで前記断面像は、前記断面平面の各々における前記像の断面に事実上一致しており、従って、ある前記断面平面における前記中間像は、別の前記断面平面における前記中間像とは互いに交差しない。

30

【0014】

本発明の別の実施形態によると、回転対称軸の周りに円筒対称的な少なくとも1つの光線案内要素を備える装置が提供される。前記少なくとも1つの光線案内要素は、非点状物体から前記少なくとも1つの光線案内要素の入射瞳に向かって放射される前記光線の少なくとも一部を事実上像に結像するように配される。さらに前記少なくとも1つの光線案内要素は、前記少なくとも1つの光線案内要素の前記射出瞳を入射瞳に実質的に結像するように、ただし、前記入射瞳上の各点が、前記射出瞳上で、前記回転対称軸に事実上沿う方向の点の投影に各々結像されるように、構成される。さらに前記少なくとも1つの光線案内要素は、前記入射瞳の事実上全ての点が前記物体からほぼ同一の距離にあるように配される。さらに前記少なくとも1つの光線案内要素は、前記入射瞳から前記射出瞳へ結像される任意のメリジオナル光線 (meridional ray) の経路が、前記入射瞳と前記射出瞳間との間で前記回転対称軸を交差しないように構成される。

40

【図面の簡単な説明】

【0015】

50

これらの教示の様々な側面は、以下の詳細な説明を添付の図面と共に読み込むことにより、更に明らかになるだろう。

【0016】

図1A～Bは、従来技術のTIR視準器に関する種々の図である。

【0017】

図2A～Dは、本発明の実施形態が対処する数学的モデルを示し、図2Eは、デュアルレンズ構成を示す。

【0018】

図3は、反射屈折光線 (catadioptric ray) を誘導する構成要素を示す。

【0019】

図4Aおよび4C～4Fは、光軸からの角度が大きい場合のための、本発明の実施形態に従う種々の光チャネルの断面を示し、図4Bは、光軸からの角度が小さい場合のための、本発明の実施形態に従うチャネルを示す。

【0020】

図5A～Eは、本発明の実施形態に従う、照射具および光チャネルを形成する光線案内部の種々の実施形態の、さらなる詳細を示す。

【0021】

図6A～6Bは、照射具の別の実施形態を示し、図6C～6Dは、図6A～6Bの照射具の光チャネルを通る光線の経路を示し、図6Eは、図6A～6Bの照射具の分解図である。

【0022】

図7A～Cは、本発明の実施形態に従う、照射具の出力瞳 (output pupil) における照射錐 (illumination cone) の数学的構造および相対的寸法を示す。

【0023】

図7Dは、光源から系全体を通ってディスプレイ画面までの空間分布および角度分布を示す概略図である。

【0024】

図8は、図4Aからの機能面がチャネルから追加のドームに移動する実施形態を示す。

【0025】

図9A～Bは、ある実施形態に従い、リレーレンズが光チャネル上の面に如何に機能的に組み込まれるかを示す。

【0026】

図10は、本発明のある実施形態に従う、90度を上回る角度で結像するように適合される光チャネルを形成する光線案内部を示す。

【0027】

図11は、本発明のある実施形態に従う、環状の光線案内部の構成の90度の断面を示す。

【0028】

図12は、本発明のある実施形態に従う、3つの光線案内部のみから作製され、かつ4つの光チャネルを形成する簡易型照射具の断面図を示す。

【0029】

図13は、光線案内部への入射角を管理するための、光源およびドーム間の空隙を示す実施形態である。

【0030】

図14A～Dは、拡大や、反対の光方向に関する種々の実施形態を示す。

【0031】

図15A～Cは、顕微鏡との使用に適合される本発明の2つの実施形態に関する概略図を示す。

【0032】

図16は、本発明の実施形態に従い構築されるモデルである。

【0033】

図17A～Bは、本発明の実施形態に従い構築されるモデルからの直線的で均一な照射を示す。

10

20

30

40

50

す照射強度パターンである。

【0034】

図18は、本発明の実施形態の断面切断図である。

【0035】

図19は、光線ベクトルを有する回転対称軸を示す。

【0036】

図20は、光源および照射（射出）瞳を示す。

【0037】

図21は、本発明の実施形態に従う光線経路を示す。

【詳細な説明】

【0038】

本発明の実施形態は、具体的には小型LEDプロジェクタにおける構成要素として用いられるLED照射具として使用される。本発明の実施形態は、以下の利点のうちの1つ以上を提供する。

1. この照射部品の効率は優れており、つまり、照射効率（分光透過効率）が50%を上回り、さらに80%を上回ることが可能である。

2. 照射が均一かつ矩形であるため、フライアイレンズ等の別々のビームホモジナイザ構成要素を必要としない（但し、使用してもよい）。

3. この照射部品は、多くの高輝度LEDチップのように、高い屈折率の材料に光源が囲まれる場合であっても、小空間で光源（LED）の周りの半球全体からの光の収集が可能であるという利点を有する。そのような材料に囲まれない光源用に設計される場合、この照射部品は、いかなる光学面も光源に近接近することを必要としないため、これも、いくつかの用途において重要な利点である（熱的問題および材料選択に関して）。

4. この照射部品は、光源の形状を有益に使用してビーム整形も実行する。例えば照射の形状は、光源の形状である。

5. 照射のエタンデュは、光源の元々のエタンデュの140%未満に保存可能であり、さらに光源の元々のエタンデュの105%未満に保存可能である。

6. この照射部品のサイズは非常にコンパクトである。この照射部品の直径は、エタンデュ法則によって決定され、その高さは、典型的には直径の半分である。具体的なサイズの例は以下に挙げられる。

7. この照射部品は、円形外形を有するため、小型LEDプロジェクタ用途における投射レンズと一致する優れた瞳が可能になる。これにより、光学エンジンの全体のサイズの小型化が可能になる。

8. この照射部品の出力ビームは非常にテレセントリックであることが可能であり、これは、この照射部品上で偏光再利用シート（polarization recycling sheet）を使用して、LCDまたはLCoSプロジェクタ用途において効率性を高めることが可能であることを意味する。

9. この照射部品が形成する均一なテレセントリックビームを、多種多様の光学構成および用途において使用してもよい。

10. この照射部品は、射出成形によって大量生産可能である。金型は、例えば、ダイヤ

10

20

30

40

50

モンド旋削または精密NC加工によって作製可能である。

11. この照射部品は、小型LEDプロジェクタに加え、例えば、カメラのフラッシュ、顕微鏡、ヘッドアップディスプレイを含む多種多様の様々な用途に使用可能である。

【0039】

平面物体が、物体からの距離Lにおいて、同一平面上の像に結像される結像器について考察する。光軸は、物体および像の中心点を通り、その光軸は、物体平面および像面に対して垂直である。結像の倍率Mは、像および物体の高さの比である。結像器は、光軸付近に、物体を像に結像する1つ以上のレンズを備える。このようなレンズは、光軸に比較的小角度で入射する光線上で機能する。レンズは、従来のレンズ設計原理を使用して設計可能である。例えば、物体からの距離 $R=L/(M+1)$ に配置される焦点距離 $f=ML/(M+1)^2$ を有する非球面レンズを使用することが可能である。これは従来型である。

【0040】

本発明の結像チャネルに関する実施形態は、光軸からより大きい角度で光を収集および操作する。これらは、より小さい角度で機能する従来のレンズに対して追加的であり得るため、実施形態によると、結像器、照射器、または集光器は、以下に詳述する結像チャネルのうちの1つ以上を備える。

【0041】

以下の説明は、発光ダイオード (Light Emitting Diode; LED) である光源に関するものである。これは、必要な電力および熱出力の低さや、色固有の実装の適応性のために、本明細書に記載の多くの照射用途のために非常に有利な光源であると考えられる（例えば、本明細書に組み込まれる共有の米国特許第7,059,728号参照）。しかしながら、これは本発明の範囲の限定要因ではない。光源としてのLEDは、単に本発明の実施形態で使用する拡張型光源の例である。その他の光源には、有機LED、フォトニック結晶LED、フォトニック格子LED、共鳴空洞-LED、レーザ、アーク灯、電球、光ファイバ、およびその同等物が含まれる。本発明の使用は、光を生成する構成要素に限定されず、その光源は、例えば、光を放射、反射、または散乱する任意の物体であるように理解可能であり、または光源の像もしくは虚像であることが可能である。

【0042】

既製のLEDパッケージは、基板に取り付けられる実際の発光半導体チップであるLEDチップを含む。さらに、高効率LEDチップは、屈折率が空気よりも大きい（1を上回る）光透過性材料で充填されるドーム型のエンクロージャ内にカプセル化されてもよい。

【0043】

本説明において、LEDチップが矩形であり、半球のみに放射する（実際は球全体に放射するが、通常LEDチップの下には鏡面が存在するため、放射はほぼ1つの半球のみに制限される）ことを考慮する。大部分の光学データ投射（例えば、テレビ、コンピュータ画面、MP3プレイヤおよび携帯電話等の携帯型機器の画面）によく見られるように、所望の照射形状が矩形であると仮定する。矩形は、例えば、正方形や、一般的な4:3もしくは16:9のアスペクト比の矩形であってもよい。光学エンジンのサイズを完全に最適化するためには、LEDチップおよび所望の照射の形状が類似していることが好ましい。したがって、例えば、16:9のアスペクト比で照射するように意図される光学エンジンは、最小化サイズの光学エンジンが所望される場合に、その光源として16:9のアスペクト比のLEDチップを備えることが好ましいであろう。

【0044】

光軸から比較的大角度からの光で結像することに関する問題を解決するための重要な課題は、その内部の各位置から同じように、一様に四角錐で放射する円形範囲を得るためにLED放射パターンをいかに修正可能であるかという問題に適切に取り組むことである。これを図2Aに示す。重要な設計上の考慮は、照射のエタンデュ（つまり、A）は、LEDチップの元々のエタンデュに出来るだけ近似すべきであることがある。

【0045】

10

20

30

40

50

本明細書に詳述される解決手段は、次に記載される発見事項に基づく。図2Bは、数学的な解の公式化に使用するいくつかのディメンジョンおよびパラメータを示す。z軸を光軸20とする。xy平面（z軸に垂直）における円座標は、半径rおよび角アルファによって規定される。光軸20に対する角度は、シータによって表示される。矩形のランバート光源22（例えば、LEDチップ）を仮定し、その中心点が原点に位置するように光源をxy平面に置く。LEDチップ上の上側半球に向かう光のみが収集されるように、LEDチップの下に鏡面が存在すると仮定する。次に、原点を中心とする半径Rを有する面S（24）を含む半球を形成する。xy平面と平行で、かつ原点から少なくともRの距離に、z軸に中心を有する半径Rの円形範囲U（26）が存在する。（図2Bにおいて、距離はRであるが、さらに大きくてよい）。ここで、円座標 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $r_1$ 、 $r_2$ （アルファ1、アルファ2、半径1、半径2）によって規定される、円形範囲U内にある小さい任意の範囲要素dU（28）について考察する。ここで、その範囲要素dU（28）をz軸に沿って半球Sの面に投射することによって、別の面要素dS（29）を定義する。

#### 【0046】

ここで、面要素dS（29）に到達する光を、面要素dU（28）において一様に変換することを考える。面全体U（26）に亘って変換を行う時に、LEDチップから半球の範囲U（26）に到達する全ての光を変換した。しかしながら、所望の照射を得ると同時に、範囲全体U（26）において類似の均一な矩形照射パターンを得るだろう。範囲U（26）におけるビームは、光源と同じエタンデュを有する。

#### 【0047】

次の問題は、部品にこのアイディアを実装する場合、如何に製造効率を維持するかということである。精密な変換には極めて複雑な構造が要求とされるであろうが、近似する場合であっても、依然として優れた結果を得ることが可能である。

#### 【0048】

軸付近において、つまり、シータ角がゼロに近い場合、所望の変換は何がなくとも実行されるものであり、実質的に光学素子は必要とされない。

#### 【0049】

角度シータが小さい場合の解は単純である。つまりレンズ面が優れた変換を実行する。例えば、LEDが、屈折率n=1.5の材料内部に囲まれる場合、レンズ面曲率半径が約R/2であり、曲率中心が光軸に位置し、LEDチップから約R/2の距離にあるレンズ面は、図2Cに示すように、光軸z（20）に最も近い2つの投射において、所望の光出力パターンを形成する。面の精密な形状は、光学設計ソフトウェアで設計可能である。必要とされる面が1つだけである場合、最良の形状は、典型的には非球面である。

#### 【0050】

しかしながら、図2Cに示すように、シータが増すにつれて、レンズ面30は、チップに近くなるため、ビームの錐32は、光軸20付近のより小さいシータ角から放射するビームの対応する錐34よりも大きくなり、照射（つまり、照射強度）は、もはや均一でなくなる。さらに、より大きなシータ角により生じるこれら錐型の投影34は、理想の矩形からさらにかけ離れて歪曲する。最終的に、シータ角が大きい場合において、例えばシータが約45度に近づく場合に、光は、レンズ面30からの全内部反射TIR（Total Internal Reflected）36になる。しかし前述のように、レンズは、シータ角が小さい場合はうまく機能する。

#### 【0051】

レンズを優れた近似として使用するための最大シータは、図2Dに示すように、フレネルレンズ状構造38を使用することによって、所要の照射の品質に応じて、例えば、最大約40度まで拡大可能である。フレネルレンズ構造は、面の高さおよび角度が、平滑レンズ状面のように強力に結びつかないため、照射均一性および像歪曲が改善可能であるという利点を有する。不利点は、面方向の不連続性における光の潜在的な損失およびエタンデュの増加である。

#### 【0052】

10

20

30

40

50

当然ながら、図2Eに示すように、例えば、2つ以上のレンズ等のいくつかの光学面を、レンズを1つだけ使用する代わりに使用することが可能である。しかしながら、これらのレンズのソリューションは、シータが光軸20からさらに離れて増加する際に、上述と同様の問題を有することになる。

【0053】

上述のレンズまたはフレネルレンズ状構造38が使用不可能である中間シータ角度付近(つまり、例えば45度付近)において、所望の変換は、例えば、図3に示すような鏡または反射屈折構造によって近似可能である。反射屈折構造は、第1の屈折面302、鏡面304、および第2の屈折面306を含む。鏡面304は、TIRベース面またはミラーコーティング面であることが可能である。

10

【0054】

より大きなシータ角では、変換は、本教示に従う「結像チャネル( Imaging Channel )」を形成する1つまたはそれ以上の構造を使用することによって行うことが可能である。かかる結像チャネルは、円筒状に対称である。例示的な結像チャネルの断面を図4Aに示す。

【0055】

図示される結像チャネルは、2つの個別の円筒対称的な構成要素である光線案内部40、42によって形成され、トーラス状の面T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、鏡面M、ならびに側面とみなせる他の面を規定する。40を、鏡の反射を伴う光線案内部である第1の光線案内部として考え、42を、鏡の反射を伴わない第2の光線案内部とする。光線の経路から分かるように、第1の光線案内部40および第2の光線案内部42は、光学的に相互連続している。面T<sub>1</sub>は、図4Aの光線経路によって示すように、LED22からの光のための入射瞳(つまり、チャネル入力)を形成し、面T<sub>4</sub>は、図4Aの発生光線により示されるように、入射瞳T<sub>1</sub>に入る光のための射出瞳(つまり、チャネル出力)を形成する。例示的なこの結像チャネルにおいて、入射瞳は、光軸20から測定して約40度以上の角度で、LED22から発生する光を受け入れる。

20

結像チャネルは、図示されるような角度よりも近い角度で結像するようにも適合可能であるが、大きな角度のための図4Aの構成は、光学エンジン全体の設計における困難な問題を解決する。面T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、およびMは、トーラス状の面であり、接線方向に結像力を持たないが、断面平面を見ると、この断面平面において結像について述べることが可能である。記載の断面および光軸20の両方は、図4Aにおいてページ自体である平面にある。光線案内部40、42自体は環状である。図示される断面を旋回軸20について回転させてみれば、これらの光線案内部40、42の外面が環状であることが分かるであろう。任意の断面平面において、面T<sub>1</sub>は、LEDチップから全内部反射鏡Mへと通る光を、面T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>のほぼ間で、中間像に結像する。面T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>は、共に、面T<sub>1</sub>を面T<sub>4</sub>上に結像する。最終的に、面T<sub>4</sub>は、中間像を無限遠に結像して、矩形のテレセントリック照射パターンを形成する。すなわち、径方向において(つまり、任意の断面平面において)所望の変換が形成される。例えば、面T<sub>1</sub>が、半球面Sに正確に沿っていない場合があるため、これは概略であり得る。さらに、面T<sub>1</sub>を交差する照射は、ランパートの余弦則により均一でない場合がある。しかしながら、これは優れた近似であり、所望の変換を十分良好に提供することが可能である。光線案内部40、42が狭くなると、変換はより正確になるが、光線案内部40、42の製造がより困難になる。非球面断面を使用することにより、結像チャネルの形状を最適化することによって、所望の変換を非常に正確に実装することが可能である。

30

【0056】

接線方向において、円筒対称性により、所望の変換が概略的に形成される。接線方向において、角倍率は、光軸からの結像チャネル入力側(図4Aの入射瞳T<sub>1</sub>)および出力側(図4Aの射出瞳T<sub>4</sub>)の距離によって規定される。これは、光学的構成要素の円筒対称性によるものであり、その後の光線毎の歪度が不变である。歪度( Skewness )は、光軸20からの光線の距離と、光線の接線成分との積である。チャネルの入口および射出瞳の光軸からの離間距離は(平均して)同一であるため、射出瞳における接線成分は入射瞳と同一であり、これは、所望の変換が形成されることを意味する。本発明の本教示は、本明細書において

40

50

等半径の法則 (the rule of equal radius) と呼ばれる。

【0057】

LED22からの特定の光線は、全内部反射によって側面から反射してもよく、それは損失した光を回復する。

【0058】

同一の機能を実行するその他の可能な結像チャネル構造も存在する。例えば、全内部反射を利用することができないような形状であるなら、鏡面Mはミラーコーティングされていてもよい。鏡面Mは、面T<sub>1</sub>およびT<sub>2</sub>の間の代わりに、面T<sub>3</sub>およびT<sub>4</sub>の間にある場合がある。また、鏡面Mは、面T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>の間に存在する場合もある。例えば、両方の光線案内部が、第2の光線案内部42に類似した断面を有し、鏡面が、光線案内部のいずれにも組み込まれず、これらの間に配置される場合があり、そのような場合は、例えば結像チャネルの別の構成要素や部分をミラーコーティングすることによって、あるいはプリズム状の断面を有する別の構成要素を使用することによって、鏡面Mを設けることができる。

10

【0059】

結像チャネルの使用は、シータ角が大きい場合、つまり光軸に対して大角度をなす方向だけに制限されず、光軸に近い場合に使用しても利益がある。原点からの範囲U26の距離hが、半球S24の半径Rよりも実質的に大きい場合、開口角の要求がレンズ面位置の要求と一致しないため、レンズ状の構造38を、中心（光軸付近）において使用することが難しい場合がある。この場合、図4Bに示すように、この中心範囲において鏡面の無い結像チャネル構造を使用することが可能である。図4Bにおいて断面で示される2つの光線案内部44、46は、光軸20の橋渡しとなるように構成される。2つの光線案内部は、鏡面Mを含まない4つの結像チャネルA、B、C、D（破線によって分けられている）を形成する。これらの光線案内部44、46は、図4Aに詳述されるものと類似する結像面を有するが、光軸20により近い角度から入射光を受光するため、鏡面Mの必要がない。光線経路401、402、403、404は、断面平面における結像チャネルCの結像機能を示す。これは、軸に近接する場合に使用可能な結像チャネルの一実施形態を示す。

20

【0060】

鏡面を備える上述の結像チャネルは、レンズまたはフレネルレンズ系が光軸付近で行なうように、光源の鏡像を形成することに留意されたい。接線方向において、結像チャネルは、光源22の鏡像のみを形成可能である。しかしながら、鏡面の無い上述の結像チャネルは、断面平面において鏡像ではない光源22の像を形成する。したがって、鏡面の無いチャネルは、光源が実質的に軸方向に対称的でなければ、光源の像を形成しない。したがって、このようなチャネルは、具体的には、実質的に軸方向に対称的な光源によって照射する目的に使用するのに特に向いている。しかしながら、このようなチャネルを、例えば矩形のような、光源の軸に非対称な光源と使用することも可能である。それは、例えば、照射用光源の像をスムージングするために、一定の量の光が結像に使われないことが望まれるような場合である。

30

【0061】

照射具の一実施形態は、鏡面を備える結像チャネルと、鏡の無い結像チャネルとの両方を使用する。このような照射具は、径方向に光源の鏡像および非鏡像の両方を形成し、これらの像は、像面において相互に重なり合う（射出瞳を越えて）。このような照射具を使用して、光源の直接結像で得られるものよりも、より均一な照射を光源から生成することが可能である。

40

【0062】

本発明による革新的なアイディアの範囲内で、提示されたチャネル構造を多くの方法に修正することが可能である。個々の機能面は、いくつかの面として具現化可能であり、いくつかの機能面は、上記の革新的な考え方および所望の変換が形成される限り、1つの面に一体化可能である。空間によっては（例えばT<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>間）、物質で充填されてもよいが、空気であることも可能であり、ある空隙を有する透過性材料に変更してもよい。記載の光学的機能性のうちの多くの種々の異なる方式で実装することが可能であり、例えば、回折

50

光学素子や、フォトニック結晶、格子を、屈折及び／又は反射光学素子の代わりに使用することが可能である。種々の光線案内部および部分の材料および屈折率も変更可能である。面は、反射防止または高反射被膜されて、性能を向上させることが可能である。したがって、本発明の範囲は、本明細書に示される構成によって限定されない。

【0063】

図4C、4D、4E、4F、および4Gは、結像チャネルのその他のいくつかの例示的実施形態を示す。

【0064】

図4Cは、図4Aに提示された構造と同一の構造を示すが、透過性ドーム50の内部包まれるLEDチップ22を備える。LEDチップを中間像に結像するための面が（断面平面において）1つである代わりに、ドーム面53および下側光線案内部40の下面の2つが存在し、また、鏡面Mが任意の光学的パワーを有する場合には、3つの面が存在し得ることに留意されたい（同様に有する場合もある）。

【0065】

図4Dは、図4Cと同一の結像チャネル構造を示すが、上側（第2の）光線案内部42の機能が、下側（第1の）光線案内部40の上面T<sub>2</sub>'においてより強力な曲率を有するという実装であり（つまり、図4Cの面T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>は、T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>を合わせたものと同一のパワーを有する1つだけの面T<sub>2</sub>'に置換される）、円環レンズ408は、（断面平面において）中間像を像に結像するために、1つの面T<sub>4</sub>の代わりに2つの面を有する。

【0066】

図4Eは、鏡面Mを備える別の結像チャネルを示し、面T<sub>1</sub>がドーム50と一体化し、TIR鏡面が、分離した円筒対称的な鏡構成要素408に置換される。

【0067】

図4Fは、鏡面Mを備えるさらに別の結像チャネルを示し、面T<sub>1</sub>およびT<sub>4</sub>の両方が、円環レンズ410、412に置換され、面T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>が、1つの円環レンズ414に置換され、また、鏡が、分離した円筒対称的な鏡構成要素408に置換される。

【0068】

図4Fは、鏡面Mを備えるさらに別の結像チャネルを示し、面T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>が、平坦な断面を有する円筒対称的な面416、418、420、422に置換され、回折光学構造または小縮尺フレネルレンズ構造等の微小光学特徴を含む。鏡は、分離した円筒対称的な鏡構成要素408に置換される。

【0069】

上述の結像チャネルまたはその他の変形を、例えば、軸付近のレンズ、フレネルレンズ、または反射屈折構造と組み合わせることによって、光源22の周りの半球全体について十分な正確性を有する所望の変換を実装することが可能である。これらの結像チャネルは多数の異なる実施形態を取りうるため、部分のいくつかを一体化することによって製造段階を簡略化することができるような実装を選択することが可能である。これも、本発明の利点である。円環レンズ、フレネルレンズ、反射屈折構造、または微小光学構造もしくは回折光学構造を備える構成要素は、光線を誘導することから、全て光線案内部（光線ガイド）と呼ぶことが可能である。したがって、光線案内部の概念は、上記の例に示される構造に限定されないが、光線を案内する、つまり少なくともいくつかの光線の伝播方向を変更する、任意の構成要素または構成要素の一部であることを理解されたい。

【0070】

図5A～5Eは、Luxeon K2 LEDパッケージ上のLED照射具として一緒に配置される、図4Aなどに示される結像チャネルを示す。

【0071】

図5Aは、LED照射具の実施例を示し、上述の反射屈折鏡構造に囲まれる軸付近のフレネルレンズと、2つの結像チャネルとが存在する。寸法がミリメートルオーダーである。2つのチャネルのうちの上側部分は、製造を容易化するために1つの光線案内部42に一体化される。構成要素の各部分は、光学級PMMAプラスチック用に設計される。

10

20

30

40

50

## 【0072】

図5Bは、同一のLED照射具の3次元図であり、構成要素の円対称性を示している。

## 【0073】

図5Cは、同一のLED照射具の断面図を示す。

## 【0074】

すなわち、図5Aは、基板の鏡面から離間した市販のLEDチップ (Luxeon K2) を使用する、本発明によるLED照射具の実施例に関する略断面図を示す。4つの異なる光線案内部(構造)である、40、42、46、それに、第1の光線案内部40のような原理で機能するが、第1の光線案内部40より内側に配置されることにより、若干異なる入射角のために適合される第3の光線案内部48が断面図で示される。第2の光線案内部42は、一体となって示されるが、別々の部分として作製されて、第1の光線案内部40および第3の光線案内部48の両方から光を別々に「結像」してもよい。光線案内部40、42、46、48は、一体構造であってもよい。LED22は、鏡面52に取り付けられる光透過性ドーム50に封入される。大きさミリメートルのオーダーであるが、他の実施形態では相似的に拡大・縮小したものであってもよい。図5Bは、種々のチャネルの円対称性および構成要素全体の円対称性を示し、図5Cは、図5Bの断面図であり、LEDパッケージ22の配置を示す。電気リード54は、LEDチップ22にパワーを供給する。

## 【0075】

図5Dは、本発明のLED照射具に関する別の例を示す。照射具は、軸付近のフレネルレンズ、反射屈折鏡構造502、ならびに3つの結像チャネルA、B、Cを含む。結像チャネルの上側部分501は、製造を容易化するために、フレネルレンズ部分および反射屈折鏡構造502を含む1つの構成要素46/42に一体化される。結像チャネルAの下側部分は別個の光線案内要素49である。実施例によっては、図5Dの46/42として示されるように、第2の光線案内部42が中心レンズを含み、光軸20を覆うように構成されてもよいことに留意されたい。この場合、第2の光線案内部42は、もはや環状でないが、その外側部分で、第1の環状光線案内部40、第3の環状光線案内部48、および第4の環状光線案内部49の各々における実質的に上述の結像面T<sub>2</sub>のような面に接続し、複数のチャネルのために、結像面T<sub>3</sub>およびT<sub>4</sub>によって結像するよう機能する。

## 【0076】

図5Eは、軸付近のフレネルレンズ、並びに軸20から離れた3つの結像チャネルA、B、Cを有するLED照射具に関するさらに別の例を示す。最も中心に近いチャネルAの下側部分504は、フレネル部分に一体化され、全3つのチャネルの上側部分は、1つの光線案内部42にまとめて一体化される。各チャネルA、B、Cの鏡面M<sub>A</sub>、M<sub>B</sub>、M<sub>C</sub>は、湾曲形状を有し、つまり、それは、チャネルの入射瞳を中間像に結像することに関与し、チャネルの下側部分504、48、40、および上側部分42のほぼ間に位置することに留意されたい。

## 【0077】

図6Aはさらに別の照射具の断面を示す。大きさはミリメートルオーダーであるが、相似的に拡大縮小可能である。図6Bは、同じ照射具をドーム50を備えるLEDチップ22上に載せ、斜視図で示したものである。この照射具は、軸付近のレンズと、続いて鏡面の無い3つの結像チャネルD、E、およびFと、鏡面M<sub>A</sub>、M<sub>B</sub>、M<sub>C</sub>を備える3つの結像チャネルA、B、Cとを有する。照射具全体は、4つの部分だけしか含まないため、非常にコスト効率よく大量製造することが可能である。各構成要素は、組み立てのための支持部や位置決め部をさらに有する。図6Bは、図6Aの照射具58を斜視図で示す。第3の光線案内部48は、入射瞳および第1の光チャネル40に関して説明されたものと類似する第2の面を有する。図示されるように、第3の光線案内部48の入射瞳に入る本質的に全ての光は、その第3の光線案内部48を透過し、その上側面T<sub>2</sub>を通って第2の光線案内部42の下側面T<sub>3</sub>へと導かれる。他方の光線案内部46は組み合わせ構造を有し、外側縁においては光チャネルを形成し、光軸20に最も近い中央範囲においては従来のレンズ構造である。図示されるように、チャネル部分およびレンズの種々の組み合わせは、一体に製造される構成要素とされてもよく、またはこのような構成要素のいくつかに分割されてもよい。

10

20

30

40

50

## 【0078】

図6Cは、図6A～Bの最も中心に近い結像チャネルDの光線経路を有する径方向断面を示す。チャネルは、（チャネルの一部として解釈可能である、または光源定義に依存しないと解釈可能であるドーム50に加えて）4つの案内面を有する。これらの案内面は、各径方向断面平面において光源22の鏡像を実質的に無限遠で形成し、また、接線方向において光源の非鏡像を実質的に無限遠で形成する。光線は、径方向断面平面における結像を示す。第1の面T<sub>1</sub>は、LEDチップ22を中間像604に実質的に結像し、次に、中間像604は、面T<sub>4</sub>によって無限遠に実質的に結像される。面T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>は、チャネルの入射瞳602をチャネルCの射出瞳608に実質的に結像する。第1から第4の全ての面は非球面であり、つまり、断面は円弧ではない。一般的に、非球面は、設計最適化において円弧状の面よりも自由度が高いため、製造可能性およびコスト事項等の設計制約内でより良好な性能を提供することができる。10

## 【0079】

図6Dは、図6A～Bの最外結像チャネルCを径方向断面を光線経路と共に示したものである。チャネルCは（ドーム50に加えて）5つの案内面を有し、光源の鏡像を実質的に無限遠に形成する。第1の面T<sub>1</sub>および鏡面Mは、LEDチップを中間像604に実質的に結像し、次に、中間像604は、面T<sub>4</sub>によって実質的に無限遠に結像される。面T<sub>2</sub>およびT<sub>3</sub>は、チャネルの入射瞳602をチャネルの射出瞳608に実質的に結像する。鏡面Mは、全内部反射によって光線を反射する。これら全5つの面は、非球面である。20

## 【0080】

図6Eは、図6Bの分解図であり、その中に照射具が配置されるハウジング56を示す。組み立て時には、図示されるように、中心部分においてレンズ型構造46である追加の光チャネルの一部は、そのレンズの外側部分と、レンズに近接する結像チャネル構造の下側部分610とを有することに留意されたい。20

## 【0081】

図示されるように、チャネルおよびレンズの種々の組み合わせは、一体に製造される構成要素に組み合わされてもよく、またはいくつかのこののような構成要素に分割されてもよい。

## 【0082】

図7Aは、図2A～Bの数学的構造に関連する装置一式58を示す。光軸に沿ったLED源22からの光の方向は、光軸から角度が大きい状態（例えば、40～90度、または図示されるような40～140度、もしくはより典型的には45～90度）から、平均方向が光軸20にほぼ平行になるように変えられる。さらに、矩形のLEDチップ22からの円対称な照射出力は、図7Aの錐59に示されるように、実質的に直線的で均一な照射に変換される。照射出力面702における各点は、類似の矩形照射錐59を有する。直線的で均一な角度分布パターンは、角xおよび角yによって定められ、これは、xおよびy方向における直線錐59の半開口角を意味する。光源22が矩形ではなく、代わりに、例えば、円形または三角形である場合、照射錐59は、対応する形状を有する。30

## 【0083】

上に詳述される照射具58は、投射レンズに適合する優れた瞳を保証する、空間的に円形な出力光放射領域を有する。理想的には、照射具は、投影光学エンジンの照射瞳に配置される。ここで、照射具の出力の直径をDとする。矩形の光の「錐」59は、図7Bに示されるように、角アルファ $\alpha$ によって定められる。出力直径Dおよび錐59の角アルファ $\alpha$ の調整は、照射具の設計に依存する。あるサイズの光源22について、Dは、エタンデュの法則に従って相互に反比例である（米国特許第7,059,728号参照）。本発明の実施形態において、光源は、0.93mm × 0.93mm × 0.1mmの寸法の矩形のLEDチップ22であり、直径Dは7.5mmであり、収集立体角（collected solid angle）は、80度の半角を有し、アルファ $\alpha$ は10.7度である。Dについて上限はないが、上述のように、光学エンジンのサイズはできるだけ小さいことがほしい。

## 【0084】

10

20

30

40

50

一般的に、本発明の組み立て型実施形態は、図7Cの相対比に従っており、面T<sub>4</sub>に近接する照射具の出力面702の直径は、LED22およびその出力面702間の距離hの約2倍である。したがって、光の収集およびビームの整形は、エタンデュ法則に従い、ビームの所望の半開口角によって決定される直径の空間において行われる。その空間の（光源22上の）高さは図7Cに示されるように直径の約半分である。しかしながら、この高さはさらに高くてよい。

【0085】

図7Dは、投影光学エンジンにおける照射のために照射具を如何に使用するかについて示す。LEDチップ22において、ビームは、それがチップ自体の形状であるため空間的に直線的であるが、そこからの照射は角度的に円形である。照射具58は、分布を逆にして、照射具58からの出力が空間的に円形であるようにするが、照射の角度分布は、以下の強度プロットに示されるように直線的に一様である。マイクロディスプレイ72において、照射範囲の空間分布は直線的であるが、角度分布は円形である。これは、空間的に円形であるレンズ74の入射瞳に完全に適合する。したがって、照射具58は、投射エンジンのためのソリューションを提供し、この場合、瞳は、系全体において適合する。

【0086】

この結像チャネルの概念は、多数の利点を提供する。必要に応じて設計を拡大縮小することによって、同一の設計を、異なる形状およびサイズのLEDチップ22と使用してもよい。また、同一の設計を、LEDチップの周りの異なるサイズのドーム50と使用してもよい。

【0087】

既存のLEDパッケージにおけるLEDチップ22およびドーム50間の配置は精度が悪いことがありうるため、照射具58の性能に悪影響を及ぼす場合がある。1つのソリューションは、照射具内部におけるLEDの正確な配置によって補正をすることである。LEDチップ配置問題を回避するための別のソリューションとして、既存のLEDドーム50の周りに追加の（第2の）ドーム50'を使用し、これらのドームの間に屈折率整合剤または接着剤82を使用することができる。追加のドーム50'は、LEDチップまたはパッケージに精密に設置することができる。追加のドーム50'を使用する別の理由として、同じLED照射具58を、元々設計されたものより小型のLEDドーム50と使用することが挙げられ得る。

【0088】

チャネルの数は、1から10まで、またはより大型の外形の機器用にそれ以上の数に変更可能である。チャネルが増えると矩形照射が精密になるが、コストが増加し、製造が困難になる。しかしながら、チャネル設計の適切な最適化によって、また、上述の非球面を使用することによって、実質的に正確な結像機能を得ることが可能になる。

【0089】

既存のLEDドーム50（面Sを形成する）の周りに追加のドーム50'を使用する場合、図8のように、結像チャネルの第1の面T<sub>1</sub>の機能を、追加のドーム50'の外側対向面51'に部分的または全体的に組み込むことが可能である。この場合、追加のドーム50'は、市販のLEDチップ22及びドーム50の組み合わせの面53に一致する内側対向面53'を有する。屈折率整合剤または接着剤82は、2つを結合し、追加のドーム50'の外側対向面51'によってLED22からの光を操作するようにし、外周周辺や追加のドーム50'に沿う領域で、光線案内部40および48の製造を簡単とする。図8において、追加のドーム50'および外側対向面51'に対向する光線案内部40、48の面は、機能的な形状の面T<sub>1</sub>が追加のドーム50'の外側対向面51'上にあることから、追加のドーム50'（図4A参照）の無い実施形態の面よりも平坦であることに留意されたい。

【0090】

光チャネルおよび照射具58全体が、テレセントリック出力のために設計される場合、錐59は、出力面に垂直に放射する（つまり、図9Aに示されるように、マイクロディスプレイ72において光錐が一致するためには、追加の中継レンズ92が必要となる）。また、チャネルおよび照射具58は、追加のレンズが必要ないように、非テレセントリック照射のために設計されてもよい。中継レンズの機能は、照射具58の最上面、具体的には、図9Bに示すよ

10

20

30

40

50

うに、チャネルの最外面に組み込まれることが可能である。チャネルの最終面T<sub>4</sub>を修正して、必要に応じて軸20側にまたは軸20からさらに離してビームを傾けることが可能である。いくつかの用途において、半径の関数としてこの傾きを若干変更することが望ましくてもよい。また、これは、光線案内部の設計を修正することによって実装可能であってもよい。例えば、照射具の出力面26の中心から縁へ移動するにつれて、角アルファ<sub>1</sub>を徐々に減少させることができ。これは、非常に低いFナンバー・Fストップの系において有益であり得る。このような修正は、上述の等半径の法則から若干逸脱することによって加えられて、偏差が半径の関数であることを可能にするが、但し、原理は同一であるように維持される。

## 【0091】

10

場合により、テレセントリック出力を有する構成要素を設計および製造し、ビームを非テレセントリックに変換するためにリレーレンズ92を構成要素の直後に配置して、テレセントリック性の変更が必要である場合にはリレーレンズ92の変更だけが必要とされるようになり、光線案内部または照射具58は別のデザインに変更することが不要となるようにすることが賢明であることがある。テレセントリック性が出力領域毎に異なるように調整されることが必要である場合、照射具の直後に、ゾーン毎に適切な屈折面角度を有する別々の光線案内部を使用することが可能である。このような光線案内部は、例えば、ダイヤモンド旋削によって容易に製造される。

## 【0092】

20

光源が不均一であるが、均一な像を達成したい場合、チャネル出力の領域毎に異なる角度「倍率」が適用されるように設計することによって、照射をより均一にするスムージング作用を得られるようにすることが可能である。また、構成要素出力のゾーン毎にビーム形状を異なるように修正することが可能であり、これを使用して、照射をスムージングすることが可能である。これらの手法は、エタンデュの増加または損失の増加、正確な結像機能からの逸脱という犠牲により、スムージングを実装する。

## 【0093】

照射をスムージングする方式の1つとして、照射具の出力の特定または全てのゾーンにおいて、径方向および接線方向に倍率の違いを組み込むことが挙げられる。これは、接線方向に(つまり円筒状に)、像を、所望の量だけ、また所望の領域においてだけ、スムージングする。また、これは、エタンデュまたは損失の増加を必要とする。接線倍率は、円筒対称的な光線案内部において、チャネル入口および射出瞳の回転対称軸(20)からの距離を調整することによって、つまり、意図的に等半径の法則から逸脱することによって、調整可能である。径方向倍率は、チャネルの径方向断面平面の2次元光学系の倍率を調整することによって調整可能である。

30

## 【0094】

チャネルは、均一な強度分布および鋭角を有する矩形照射を生成する能力を有する。場合によっては、この結果は最も望ましい照射形態ではなく、例えば、矩形照射の中心で照射がより明るく、角において照射がより暗いことが望まれる場合もある。また、別の用途では、所望の出力は、中心が暗くて角が明るいというように反対である可能性がある。これらの照射結果のいずれについても、上述のスムージング手法や調整手法を用いることによって実装可能である。照射をスムージングするためのさらには別的方式は、上述のように、同一の照射部品において鏡面および非鏡面チャネルの両方を使用することである。

40

## 【0095】

さらなる均質性をビームに加えるため、もしくは照射のための鋭角を形成するために、または矩形照射のアスペクト比を変更するために、フライアイレンズを照射具58と使用することが可能である。照射具がビームのエタンデュを保存することから、照射具は、フライアイレンズに対して良好な入力を形成する。フライアイレンズが、照射具によって形成されるビームの全体の形状(つまり、矩形)を変更せずに、ビームを均質化する等の微調整のみを行なう場合、ビームのエタンデュおよびフラックスは、フライアイレンズの後でも殆ど失われることはない。

50

## 【0096】

デバイス58の円形出力において、矩形の放射パターンのサイズを変更することが可能である。例えば、小さな投影という用途において、円の中心から縁に向かうにつれて放射パターンのサイズを若干減少させることが望ましい場合がある。この選択肢は、円形範囲Aの半径を半球Sの半径よりも若干大きくし、変換を適宜修正することによって実装可能である。

## 【0097】

照射具の照射形状は、光源のxy形状に一致する。これは、矩形形状の照射が、矩形形状のLEDを使用することによって形成されることを意味する（つまり、LEDは、事実上、照射具の入射瞳が半球全体をカバーするように結像される）。デバイス58の全体は、光源22の形状を照射面に結像するため、チャネルおよび光線案内部は、光源22によって定められる任意の形状の照射を形成するように設計可能である（例えば、円形、楕円形、三角形、矩形、正方形等）。投影用途において、照射具の出力面は、残りの光学系の照射瞳に位置することができるが、この位置に限定されない。

10

## 【0098】

光源22は、上記例のように平面である必要はない。光源が無視できないほどの高さを有する場合であっても、本明細書に記載の結像チャネルの概念を使用することが可能である。

## 【0099】

当然ながら、光源22からの全ての光を収集することは必須ではない。例えば、光源の光の一部のみ、つまり光源からの最も明るい範囲のみを収集することが有利である場合がある。あるいは、半球全体を収集することが有利でない場合がある。半球全体を収集したくない場合、例えば、残りの光学エンジンがこのように大きなエタンデュに対処できない場合、同一の概念を使用して半球の所望の部分のみを収集することが可能である。例えば、光軸zからの角度が0度から70度の間のみの光を収集することを望んでもよく、または角度が0度から90度すなわち半球全体の代わりに、角度が0度から80度の間のみの光を収集することを選択してもよい。例えば、0度から50度の間のみの角度で光を収集したい場合、そのための構成は、軸付近のフレネルレンズと、フレネルレンズの周囲に鏡を有する1つの結像チャネルによって実装されてもよい。あるいは、45度から90度までの間のみの角度で光を収集することを望んでもよく、その場合の構成は、例えば鏡を含む3つの結像チャネルによって、中心レンズまたはフレネル部分を含まずに実装されてもよい。

20

## 【0100】

また、半球よりも大きい立体角に放射される光を収集することも可能である。本明細書に定義される結像チャネル構造を使用することによって、0度からほぼ135度の光を収集することも可能である。例えば、図10を参照されたい。しかしながら、接線方向の強度が、良好な結像特性に所要のものから減少し始めるため、像の精度は、収集角度が90度を越えて増加するにつれ損なわれ始める。しかしながら、光軸から40度～140度の角度、特に光軸から45度～135度で結像を可能にする他の手法は存在しない。90度を越える結像は、屈折率が1を上回る（例えば、約1.5）である材料で光源が囲まれる場合に実装可能である。

30

## 【0101】

結像チャネルは、全360度において円筒対称的である面に限定されない。円筒対称的な結像または照射デバイスとして完全に動作する例を図11に示す。回転対称軸の周りで90度の部分が描かれている。

40

## 【0102】

円筒対称的な結像チャネルは、各々が結像チャネルの一部のみを形成する部分（例えば図11のようなチャネルの部分）から組み立てられてもよい。

## 【0103】

結像チャネルのさらに別の実施形態は、2つ以上の非円筒対称的な光線案内部をまとめて円筒対称的な結像チャネルを形成したものを含む。円は、いくつかの直線部分によって近似可能である。したがって、円は、円を近似する例えば20個の直線から構成されてもよ

50

い。同様に、円筒対称的な光線案内部は、平面からなる光線案内部によって近似可能である。すなわち、結像チャネルにおいて回転対称軸に垂直な断面は、スムーズな円形である代わりに、結像チャネルとして構築されうる円形の部分線形近似であってもよい。

#### 【0104】

上述の例のいくつかは、被結像物体、つまり光源が、屈折率の高い材料（つまり、 $n > 1$ ）の内部に包まれることを仮定して説明されたが、本発明は、このような光源に制限されない。光源の周囲が空気である場合であっても、記載の光線案内部およびチャネルも同様に機能する。このようなチップのエタンデュは小さいので、最適化が容易になり、部品は非常にコスト効率良く製造することが可能になる。このようなソリューションに関する一例を図12に示す。照射具58は、軸20付近の2つのレンズ1202、1204と、鏡面の無い2つの結像チャネルC、Dと、鏡面 $M_A$ 、 $M_B$ を備える2つの結像チャネルA、Bとを備える。照射具全体は、光線案内部1206、1208および1210の3つの異なる部分を含む。最外チャネルBの下側部分は、照射具58全体の組み立て体支持部およびハウジングを形成する。

10

#### 【0105】

光源の周りが空気である場合、略半球レンズ（典型的には非球面レンズ、つまりドームである）を光源22の近くに加えることによって、所要のチャネルの量を減らすことが可能であるが、図13に示すように、光源22とドーム50との間に小さな空隙1302が残る。空隙のあるドームは、カプセル化されていない光源22のエタンデュが小さくなることから有益であり、ほぼ全体の半球からの光を小さい錐内に導く。この錐の角度は、ドームの屈折率やドームとチップとの間の距離、ドームの形状に応じて、例えば40度になることが可能である。この場合、ほぼ全体の半球に放射される光を、1つだけまたは2つのチャネルとともに、中心レンズ（または図13に示されるようなフレネルレンズ46）で結像することが可能であり、系全体が簡素化される。

20

#### 【0106】

結像チャネルの配置は、電磁放射スペクトルの可視光波長領域だけに限定されない。これらの結像チャネルは、例えば、紫外線波長、赤外線波長、マイクロ波波長、電波波長等の非可視光波長領域にも適用可能である。さらに、結像チャネルの概念は、電磁放射のみに限定されず、例えば電子ビーム等のその他の放射にも使用可能である。放射（Radiation）は、物理学において光線（Ray）としてモデル化可能であり、これは、理想的な狭ビームの放射を意味する。光線は、電磁放射波等の波の伝播または電子等の粒子の流れの両方をモデル化するために用いられることが可能である。一般的に、記載の光チャネルは、ビーム整形チャネルと考えられてもよく、また、入射光は、記載の角度からの入射放射（incident radiation）として一般化されてもよい。系の光軸は、整形される放射が可視光領域内に無い場合であってもこのようなものとして言及されてもよい。

30

#### 【0107】

結像チャネルの使用は、太陽光集光器に関して以下に示すように、小型のミリメートルサイズの光線案内部に制限されない。光線案内部の所要のサイズは、用途に依存し、その直径は、ミリメートル未満、数センチメートル、または数10メートルであることが可能であり、また、このようなサイズに制限されるものではない。

#### 【0108】

40

結像チャネル構成要素の最良の製造方法は、使用する放射および用途に依存する。様々な光波長について、および小さなスケールにおいて、光線案内部は、例えば、プラスチックの直接ダイヤモンド旋削を使用して製造可能である。可視帯における本発明の構成要素に適切な材料は、例えば、環状オレフィン共重合体（COC、TOPAS(r)等）、ポリメチルメタクリレート（PMMA）、ポリカーボネート（PC）、およびポリスチレン（PS）である。結像チャネルを形成する光線案内部は、射出成形を使用して効率的に大量製造可能である。金型のための光学面は、例えば、ダイヤモンド旋削を使用して、ニッケル上で加工可能である。光線案内部は、典型的なレンズ組み立て体に類似する円筒管の内部でまとめて組み立て可能である。

#### 【0109】

50

フレネルレンズを使用するよりサイズの大きい実装は、コストの視点から望ましい場合がある。フレネルレンズはプラスチックから成形可能であり、光線案内部をその相互に正確な位置に維持するフレームを使用してまとめて組み立て可能である。

【0110】

また、光線案内部は、プラスチックの代わりにガラスから作製可能である。ガラスは、プラスチック材料よりも大幅に高い温度に対しても耐えることができ、これは、いくつかの用途で重要になり得る。

【0111】

多くの光学系と同様に、同一の光学系を両方の方向で使用することが可能である。同様に、チャネルも両方の方向で使用することが可能である。上述の物体は、像であることが可能であり、像は、物体であることが可能である。図14Aから14Dは、結像チャネルが、高NAの中継システムのためのレンズおよびフレネルレンズ構成要素とどのように組み合わせ可能であるかを例として示す。

10

【0112】

図14Aは、等倍率の中継システムを示す。中継システムは、対向する2つの照射具58、58'を含む。第1の照射具58は、光源物体22から光を収集し、テレセントリック出力を生成し、第2の照射具58'は、像22'に集光する。これは、図15Aに示すように、例えば、顕微鏡の使用に適切な照射構成である。

【0113】

図14Bは、倍率1.6×（下から上）、または反対方向で使用する際には倍率0.625×である中継システムを示す。アイディアは図14Aと同じであるが、第2の照射具58'がより大きく、像の周りにおいて半球よりも小さい立体角をカバーする。

20

【0114】

図14Cは、倍率2×、または反対方向で使用する際には倍率0.5×である中継システムを示す。中継システムは、照射具58を1つしか含まず、フレネルレンズ38を含む。フレネルレンズ38は、例えば、レンズ系と置換してもよいが、フレネルレンズによって、サイズがコンパクトになる。

【0115】

図14Dは、倍率4×または0.25×であるさらに別の中継システムを示す。照射具58は、リレーレンズ92と組み合わせられる。これは、例えば、マイクロプロジェクタに使用される適切な照射構成である。

30

【0116】

図15Aにおいて、光は、1つの照射具58を使用して光源22から収集され、次に、光は、別の照射具58'（例えば、第1の照射具とは反対に取り付けられる）を使用して非常に明るいスポットに集光される。

【0117】

図15Bは、図14Aおよび図15Aに対応する等倍率の中継システムであるが、よりシンプルな構成である本発明の実施形態を示す。本発明の教示により、（径方向断面平面において）チャネルによって形成される中間像は、像に結像される。このような中間像の像への結像は、中間像の生成に使用される類似の種類の構造で形成されることも可能である。中間像が、角度分布においてテレセントリックであるように設計される場合、中間像を形成する光案内部の正確な複製を使用して、等倍率でそこから像を形成することが可能である。図15Bは、チャネルの上側および下側部分の間に中間像を有する。チャネルの上側および下側部分は、似ているが対向している。本実施形態は、図15Bに示すような顕微鏡に、非常に効果的な照射を提供する。照射具は、1つのLEDチップを使用して、試料のエタンデュを完全に充填することができる。油浸（oil-immersion）を顕微鏡において使用する場合、この照射は、高屈折率材料内部の試料1502のエタンデュ全体を充填する1つのLEDを使用することによって可能であるという点において優れた利点を提供することに留意されたい。

40

【0118】

50

上に詳述のような、少なくとも1つの光線案内部を使用する再配光を使用して、中心範囲（z軸20に沿った直接経路）がブロックされる際に光源22の光特性像を生成することが可能である。これは、いくつかの系において有益である。例えば、物体側からの顕微鏡の照射を図15Cに示す。光は、2つの結像チャネルAおよびBを使用して光源22から収集され、次に、円筒状光案内部1504を通って、試料1502上のスポットに集光する別の2つの結像チャネルCおよびDに誘導される。次に、第1の対物レンズ1506および鏡1508ならびに残りの対物レンズ1510を使用して、光は、カメラまたは目に結像される。円筒状光案内部1504は、同一の機能を達成しうる1つ以上の円環レンズと置換されてもよい。

## 【0119】

別の用途は、網膜結像カメラである。網膜結像において、光軸付近の範囲は、典型的には結像光学素子によってブロックされ、光軸からさらに離れた範囲を使用して照射を網膜に移動させる必要がある。この場合、結像チャネルは、物体側の顕微鏡の照射に関して提示された方法と同様に使用可能である。しかしながら、結像光軸は、鏡を使用して反射可能であるだけでなく、照射経路が輪状の傾斜型鏡を使用することによって結像光軸と一致するように照射経路を向けるように構成を設計することも可能である。

## 【0120】

ソーラーディッシュ発電機（Solar dish generator）は、太陽光から電気への変換効率に関して、全ての太陽光技術の中で最も効率的である。このシステムは、一連の皿型放物面鏡を使用して、放物反射集光器（Parabolic reflecting concentrator）の焦点に位置する受光器に太陽エネルギーを合わせる。受光器は、太陽エネルギーを直接電気形態として捕えるために、光電池を備えることができる。高出力用途において、受光器は、典型的には摂氏数百度に加熱される油または水等の作動流体を有しており、これらの作動流体はエンジンにて発電するために使用される。このようなエンジンは、例えば、蒸気エンジンや、より好ましくはスターリングエンジン、またはブライトンサイクルエンジンであることが可能である。皿型集光器は、太陽に正確に方向付けられる必要があるため、太陽が空で移動する際に、太陽を追跡する必要がある。このようなソーラーディッシュ発電機は、以下のいくつかの欠点を有する。

- ・ ソーラーディッシュ発電機の効率は、放物面集光器の集光比に比例する。しかしながら、回転放物面の集光効率は、理論的な最大集光効率にない。従って、これを改善することにより、ソーラー発電機の効率を高めることが可能である。
- ・ 既存の放物面集光器を使用して達成される受光器における放射フラックスは、受光器におけるビームの開口数が限られているため、最大値からは程遠い。放物面反射鏡を非常に深部に設置することも考えられるが、それは機械的に非常に困難な配置になる。
- ・ これらの従来技術の系における受光器は、反射器の上に存在する必要があり、これは、アクセスが困難であることを意味する。
- ・ 受光器は、系が太陽の移動を追跡する際に、反射器と共に移動する必要がある。
- ・ 上記の複雑な機械的構成によってコストが高くなる。

## 【0121】

本発明を用いることの1つの利点として、これらのソーラーディッシュ発電機用の太陽光集光器を提供することが挙げられ、それにはこのような不利点がない。かかる構成の利点は次のようなものを含む。

- ・ 集光効率が最大理論的集光効率に近い。
- ・ 受光器におけるビームの開口数を、集光器の高さを増加させずに、上述のものよりも大幅に増加させることができる。
- ・ 受光器を反射器の下に位置してもよく、メンテナンスのための受光器へのアクセスが容易になる。
- ・ 集光器が太陽の移動を追跡する際に、受光器は、静止可能である。
- ・ 機械的構造が単純であるため、システム全体のコストが低い。

## 【0122】

このような装置は次のように製造されてもよい。照射される物体は、例えば、光エネルギー

10

20

30

40

50

ギーを電気に直接変換する光電池であることが可能である。また、例えば、水または油等の液体を加熱要素（光を吸収し、それを熱に変換する要素）として用いて、タービン発電機を使用して電気を生成するようにしてもよい。かかる装置は以下の利点を提供する。まず、液体の屈折率が空気より高い場合であっても、液体中の物体のエタンデュを完全に満たすことが可能である。また、加熱要素の周りに空間があることが可能であり、光強度が最高の範囲付近に光学面が存在する必要はない。例えば、流体は、半球状ドーム内部にあることが可能であり、図8に示す高効率LED源の周りにドームがあることと類似している。スターリングエンジンや蒸気エンジンなどのような、その他の変換系を使用することも可能である。最大集光比が受光器物体には高過ぎる場合、構成要素の設計を、生成されるスポットが理論的小最小値より大きくなるように修正してもよく、これにより、製作公差および太陽追跡精度の点で容易になる。このような機器を、太陽ベースの加熱システムや水の加熱、太陽調理、太陽オーブン、（メガワット範囲までの）太陽発電システムに使用することが可能である。

#### 【 0 1 2 3 】

上述の照射具の実施例を、Zemax光学設計ソフトウェアを使用してテストした。図16はモデルのレイアウトを示す。LED22は、鏡52に取り付けられ、光軸20に沿って対象物（容量検出器"Volume Detector"1602）とは反対側に配置された。複数の光線案内部（図5Aに図示するものに類似する）が、LED22と対象物1602との間に配置され、リレーレンズ92も、チャネル構造物と対象物との間に配置された。光チャネル構造の各々は、光軸20の周囲に円対称であった。

#### 【 0 1 2 4 】

図17Aは、図16の照射具を使用した、LEDチップ22から11.5mmの距離における矩形照射を示す。図17Bは、同一の照射具58をより高性能のチャネルで改善したモデルの矩形照射を示す。直線的で均一な照射の鮮明さが、特に図17Bにおいて非常に顕著である。リレーレンズ92および対象物1602間に双円錐レンズを有することによって、照射のアスペクト比は、正方形ではなく4:3に変化される。

#### 【 0 1 2 5 】

本発明によると、結像チャネルA、B、Cの実施形態は、以下のように説明可能である。結像チャネルは、物体（例えば、光源）を像（マイクロディスプレイ、顕微鏡の試料等）に結像する。機器全体（照射具/集光器）の光軸20は、チャネル（およびこれらのチャネルを形成する光線案内部）の回転対称軸と同一である。径方向の断面平面は、平面が回転対称軸を含むような平面である。径方向は、軸20に垂直である径方向断面平面のx軸である。接線方向は、径方向断面平面に垂直である。チャネルのどの径方向断面も、2次元光学系（「接線」方向のチャネル光学系とは異なる）を含む。この2次元光学系の光軸は、径方向断面平面におけるチャネルの光軸である。これは、系全体のサブ系のようなものである。これは、構成要素全体の光軸とは異なる。径方向断面平面におけるチャネルの光軸は、チャネルの径方向入射瞳と射出瞳との間のチャネルの回転対称軸とは交わらない。チャネルの径方向入射瞳は、チャネルの2次元光学系（つまり径方向断面平面における）の入射瞳であり、典型的にはチャネルのほぼ第1面にある（しかし、必ずしも同一である必要はない。図6C～D参照）。チャネルの径方向射出瞳は、チャネルの2次元光学系（つまり径方向断面平面において）の射出瞳であり、典型的にはチャネルのほぼ最終面にある（しかし、必ずしも同一である必要はない。図6C～D参照）。

#### 【 0 1 2 6 】

チャネルの径方向断面は、（一体化可能である）3つの機能部分を有する。これらの3つの機能は、チャネルとしてデザインされ、物体から像へ次の順番で存在する。

1. 物体から中間像への結像（径方向断面平面において）。
2. チャネルの径方向入射瞳から、チャネルの射出瞳への結像（径方向断面平面において）。
3. 中間像から像への結像（径方向断面平面において）。

10

20

30

40

50

これらの3つの機能の全てが、環状光線案内部として具現化されてもよい。典型的には、機能1および2は、光線案内部によって具現化され、この光線案内部の任意の径方向断面平面における2次元断面は、正の光学的パワーを有する。機能3は、正、負、またはさらにゼロの光学的パワー（典型的には、正のパワーを有する）のいずれかを有する光線案内部として具現化可能である。各機能は、いくつかの光学面、屈折面、反射面、または回折面として具現化可能である。これらの面は、まとめて一体化されることも可能である。典型的には、最良の結果は、チャネル毎に少なくとも1つの非球面（つまり、断面が円弧状ではない光学面）を使用して達成される。

## 【0127】

10

本発明の教示によると、結像チャネルは、円筒対称的な光線案内要素であり、それは1つ以上の区別可能な構成要素、つまり光線案内部を含むことが可能であり、その目的は、物体から像を実質的に形成することにある。当然ながら、具体的な実装において、結像チャネル装置に属する部分のあるものは、円筒対称的でないその他の部分を物理的に含むことが可能である。結像機能を実装する結像チャネル部分は、円筒状に対称であり、（例えば、上述のような区分線形近似は、実質的にそのような条件内にあり、）結像機能を実装しない残りの部分は、そうである必要はない。

## 【0128】

円筒対称的な結像チャネルは、平均回転対称軸を有する。軸方向は、その回転対称軸に平行な方向であるように規定される。径方向は、軸方向に垂直である任意の方向である。軸方向および任意の径方向は、径方向断面平面を規定する。接線方向は、径方向断面平面に垂直であるように規定される。図18は、関連する径方向断面平面1802および軸1804、径方向1806、ならびに接線方向1808ベクトルを示す。結像チャネルの機能は、この座標定義を使用して説明可能である。

20

## 【0129】

結像チャネルを交差する任意の径方向断面平面において、結像チャネルは、2次元光線案内系1810を規定する。また、結像チャネルは、図18に示される軸1814に対して対称系である2つの系1810、1812を規定してもよい。これは、180度を上回る軸の周りで結像チャネルが円筒状に対称である場合に起こりうる。以下の説明において、これらの2次元光線案内系のうちの1つのみ、つまり、例えば、図18の右側系1810について言及する。2次元光線案内系が、結像チャネル1814の回転対称軸と同じではなく、実質的に異なる光軸1816を有することに留意されたい。したがって、2次元光学系の光軸は、個々の径方向断面平面毎に異なる。

30

## 【0130】

光線案内要素は、典型的に光線光学で使用されるものと実質的に同一の用語を使用して説明可能である。メリジオナル光線（Meridional ray）は、物体から生じる、径方向断面平面に沿った光線を意味する。典型的な光学系は、入射瞳および射出瞳を有する。同様に、各2次元光線案内系は、同一の径方向断面平面上の物体1818の断面に対して、入射瞳および射出瞳を有する。入射瞳は、実際または仮想の開口部であることが可能であり、この開口部は、メリジオナル光線が物体の断面から開口部に進み、2次元光学系を通って誘導されるように規定される。射出瞳は、光線光学と類似して規定可能である。

40

## 【0131】

結像チャネルの具体的な特徴は、物体からのメリジオナル光線が、径方向断面平面の2次元光線案内系によって、同一の径方向断面平面において中間像に結像されることであり、中間像はさらに像に結像される。さらに、物体の中間像が結像チャネルの回転対称軸とは交差せず、その後、個々の径方向断面平面の中間像が、回転対称軸上で互いに交差しないという特徴を、結像チャネルは有する。そのことから、ならびに個々の径方向断面平面が回転対称軸においてのみ交差することから、個々の径方向断面平面の中間像は、どこにおいても相互に交差不可能である。

## 【0132】

50

これは、例えば、TIR視準器または高NA対物レンズ等の、既存の視準器やビーム整形器、結像器から教示される事項とは異なる。これらの機器は、上述のように中間像および像を形成せず、あるいは中間像を形成する場合は、個々の径方向断面平面の中間像は、ある位置において相互に交差する。これは、例えば個々の径方向断面平面の2次元光線案内系の光軸が、機器の回転対称軸と実質的に一致する場合に、発生しうる。

#### 【0133】

上記の結像チャネルのこれらの特定の特性は、上記の結像チャネルに関して説明されたその他の特性と共に、本明細書において明らかであるように、本発明の優れた利点をもたらす。

#### 【0134】

上述の結像構造によると、結像チャネルは、個々の径方向断面平面毎に物体の像を形成する。ここで、任意の径方向断面平面において伝播しない光線、つまり、いわゆるスキー光線 (Skew ray) について考えてみよう。円筒対称的な光線案内系を通るスキー光線の正確な経路は、例えば、A. S. Glassnerによる「光線経路入門」、Morgan Kaufmann出版社、第9版、2002年の文献の第3章に示されている。スキー光線の経路を一般 ( $r, z$ ) 座標系 ( $r$  が示す水平軸は、回転対称軸からの距離であり、垂直軸は  $z$  座標である) で表すとすると、光線経路は、典型的な直線部分ではなく2次曲線部分に従う。本発明における重要な発見事項は、径方向断面平面の2次元光線案内系の入射瞳の中心から物体点の距離が、同一の径方向断面平面からの物体点の距離より実質的に大きくなるように結像チャネルが配置されると、結像チャネルを通るスキー光線の径方向成分を計算する際に、スキー光線を、実質的にメリジオナル光線として処理することが可能である、ということである。個々の径方向断面平面の入射瞳に入るスキー光線を、接線方向から径方向断面平面に投射して、メリジオナル光線を得る場合、2次元光線案内系を通って得られたメリジオナル光線を追跡して、射出瞳においてそのメリジオナル光線の径方向成分を得ることが可能である。射出瞳におけるそのメリジオナル光線の径方向成分の強度 (magnitude) は、その射出瞳におけるスキー光線の径方向成分の強度と実質的に同一である。この近似の正確性は、上述のディメンジョンの比に依存する。例えば、入射瞳からの物体の距離が、物体の最大幅よりも約3倍大きい場合、光特性像のために十分優れた近似が得られる。したがって、任意の射出瞳において、任意の光線の径方向成分を知ることができ、それはメリジオナル光線およびスキー光線の両方に対してであり、それらは結像チャネルの径方向の形状によって規定される。

#### 【0135】

個々の2次元光線案内系毎に、結像チャネルが物体の中間像を形成し、次に中間像を像に結像するという構成があり、さらに、結像チャネルが、個々の径方向断面平面において、入射瞳を射出瞳に実質的に結像するという構成がある。結像チャネルの(全体の)入射瞳は、ある2次元光線案内系のある入射瞳に属する全ての点を含む。同様に、結像チャネルの(全体の)射出瞳は、ある2次元光線案内系のある入射瞳に属する全ての点を含む。ここで、(全体の)入射瞳上の全ての点は、(全体の)射出瞳上の特定の点に実質的にマッピングされる。すなわち、入射瞳は、射出瞳に実質的に結像される。

#### 【0136】

スキー光線に対する結像作用を完成させるためには、結像は、結像チャネルの接線方向においても行われる必要がある。これは、回転対称な光線案内系のスキー不变性を使用することによって革新的な方式で実装される(例えば、Roland Winstonによる「非結合光学」、Elsevier Academic Press、2005年、第10章参照)。

#### 【0137】

光線のスキー不变量(または歪度 "skewness")は

10

20

30

40

$$s \equiv \vec{r} \cdot (\vec{k} \times \vec{a})$$

によって定義される。

式中、

$$\vec{a}$$

10

は、回転対称軸方向を向く単位ベクトルであり、

$$\vec{k}$$

は、光線の伝播方向を向き、光線が伝播する物質に依存する定数（つまり光学的放射における屈折率）に等しい強度を有するベクトルであり、また、

$$\vec{r}$$

は、回転軸と光線とをつなぐ任意のベクトルである。図19を参照されたい。スキューブ不变性 (skew invariance) は、光線のスキューブ不变量が、任意の回転対称な光線案内系において保存されることを言う。

【0138】

結像チャネルの射出瞳における任意の光線を見てみよう。軸方向、径方向、および接線方向における光線成分を、図20に示すように、

$$\vec{k}_a, \vec{k}_r, \vec{k}_t$$

とする。また、

軸方向に沿った単位ベクトルを

$$\vec{a}$$

光軸と光線とをつなぐベクトルを

$$\vec{r}$$

とする。すると、光線のスキューブ不变量は、

$$\begin{aligned} S &\equiv \vec{r} \cdot ((\vec{k}_t + \vec{k}_a + \vec{k}_r) \times \vec{a}) \\ &= \vec{r} \cdot (\vec{k}_t \times \vec{a} + \vec{k}_r \times \vec{a}) \\ &= \vec{r} \cdot \vec{k}_t \times \vec{a} = rk_t, \end{aligned}$$

と表すことができる。式中、

20

30

40

50

*r*

は、射出瞳における回転対称軸からの光線の距離であり、

 $k_t$ 

は、射出瞳における光線の接線成分の強度である。ここで、

$$\vec{k}_a \times \vec{a} = 0 \quad \text{および} \quad \vec{k}_r \times \vec{a} \perp \vec{r}.$$

10

であるため、簡略化が可能である。同一の計算はを、入口開口部における光線にも行なうことができる。その後、射出瞳における光線の接線成分は、以下の関係式によって入射瞳において対応する光線の接線成分に関連付けられる。

$$k_t = \frac{r'}{r} k'_t$$

20

式中、

 $k'_t$ 

および

 $r'$ 

は、結像チャネルの入射瞳における光線に関連付けられる。したがって、入射瞳から射出瞳へのマッピングを調整することによって、スキー光線の接線成分を調整することができる。特に、この方式によって、接線方向の結像を径方向の結像に一致させることができため、結像チャネルの結像機能は、スキー光線についても完成される。

30

#### 【0139】

本発明のある実施形態に特有の特徴は、入射瞳および射出瞳における、それぞれ対応する点に関して、点から回転対称軸までの距離が実質的に同一になるように、入射瞳が射出瞳にマッピングされることである。結像チャネルのこのような実施形態を使用して、物体から物体の周りの半球全体（またはそれを越える全体）に放射される光線を結像することが可能である。

#### 【0140】

本発明の教示は、物体を像に結像可能な結像チャネル構成要素について説明する。結像チャネルは、径方向および接線方向において、異なる結像特性を有するように設計可能である。結像の度合いは、径方向および接線方向において、別々に調整可能である。結像チャネルは、回転対称軸に対して0度から135度の角度を形成する方向から物体を実質的に結像することができる。これは、従来の結像技術による教示よりも、光線案内要素の配置の自由度を高くすることが可能であるからである。結像チャネルは、円筒対称的な光線案内要素から作製され、これは、製造可能性の観点から利点として考えられる。

40

#### 【0141】

結像チャネルの実装は、少なくとも3つの異なる位置において光線の誘導を必要とするが、当然ながら、これらの3つの位置が1つの構成要素内に存在してもよく、よって1つの構成要素によっても実装可能であることに留意されたい。少なくとも3つの光線案内手

50

段をそれぞれ第1、第2、および第3の光線案内要素と呼ぶこととする。

【0142】

結像チャネルが、径方向断面平面において1つの中間像を形成する代わりに、互いに対であり、また物体および像の対である2つ以上の連続的な中間像を形成する場合においても、本発明の教示が有効であることにも留意されたい。これにより、ビームの経路を配置可能である自由度がまたさらに高くなる。この方式によって、チャネル毎に高NAを有するにも関わらず、比較的長い結像チャネルを有することが可能である。

【0143】

さらに、本発明の教示によると、本発明の結像チャネルの実施形態は、軸の周りに円筒対称的な少なくとも3つの光線案内要素を備える装置である。このような光線案内要素は、光線のうちの少なくともいくつかの方向を変更することによって光線を誘導する任意の円筒対称的な構造であることが可能である。このような光線案内要素は、光線の方向ベクトルにおける、円筒対称軸に垂直または平行な成分（つまり構成要素の径方向断面水面上の成分）だけを変更し、光線方向ベクトルの残りの成分（つまり構成要素の円筒対称軸に対する接線方向ベクトル）は実質的に変更しない。

10

【0144】

結像チャネルの実施形態において、入射瞳は、物理的に可能な入射瞳の一部であるように定義される。物体は、上述のように、任意の光線源もしくはその一部、またはその像または虚像であるように定義可能である。

【0145】

20

上述の照射部品を説明する別の方法について以下に記載する。図20は、ランバート光源2002を示し、その上に照射瞳2004を有する。光源は、大開口角、例えば、半球全体に光を放射する。照射瞳におけるどの点における光の角度分布も、無限遠に光源の像を生成しうる角度分布を有する。像は、無限遠以外の距離も形成可能であり、本明細書において、テレセントリック出力は、単に、例示的事例のために選ばれている。照射瞳の幅および角度開口度は、エタンデュ法則によって関連付けられる。これは、高NA結像の目標であり、また、理想的な照射システムの目標でもある。

【0146】

図20は、光源から生じ、かつ照射瞳における光線（2018、2020、2022、2024、2026、2028）に対応する光線（2006、2008、2010、2012、2014、2016）をさらに示す。ここで、問題は、全ての光線を、照射瞳において対応する光線に同時に誘導する光学系を、如何に3次元で設計および形成するかということにあるが、本図面は、2次元の事例のみを示す。例示的な光線経路が破線で示されている。従来の多くのソリューション、例えば、高NAレンズ系は、同一のレンズ要素によって全光線を処理することによって、この問題の解決を試みている。かかる手法においては、使用可能な形状に対していくつかの制限が生じ、従来の系は、特に、光源が、1より大きい屈折率の物質内にある場合に、重大な不利点を享受すること無しに上述の系を上手に実装できていない。中心領域を適切に機能させることは従来から容易であったが、中心領域を機能させ、かつ側面からの放射光も同時に適切に処理させることも望まれてきたが、これは非常に困難である。

30

【0147】

上に提示される結像チャネルは、この問題に関する真のソリューションを提供する。同一の光学面で全光線を誘導する必要はない。光線の連続流は、ある面Sにおいて、いくつかの円筒対称的な「チャネル」に分割される（上述のように略半球であり、設計の最適化に応じて半球とは異なることも可能である）。ここで、各チャネルは、別々に設計可能であるため、光線は、所要の位置および方向へと導かれ、光学系は、光源の上で異なる対頂角（シータ）について異なることが可能である。これにより、設計に対する自由度がさらに高くなり、所望の変換を行なう本発明の上述のチャネルの使用が可能になる。チャネルからのビームは、その後、面U上で1つの光ビームに組み合わせられる。ビームのエタンデュを保存するためには、チャネルの径方向断面平面毎に、2次元光学系の入射瞳および射出瞳が、連続的な面を形成する必要がある。さらに、チャネルからの出力ビームの方向

40

50

は、角度分布が照射具の出力面全体においてスムーズであるように調整される必要がある。図21は、チャネルにより実装される例示的な光線経路を概略的に示す。

【0148】

例示的な光チャネルおよびそれらの組み合わせについて図示および説明したが、本発明は、本明細書に詳述されるこれらの実施形態のみに限定されるものではない。

【図1A】

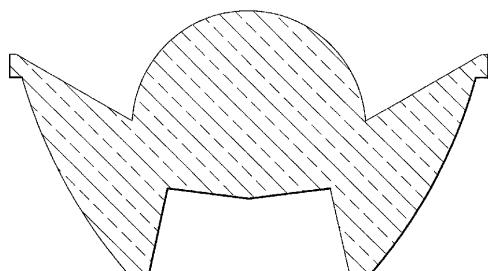


図1A  
従来技術

【図1B】

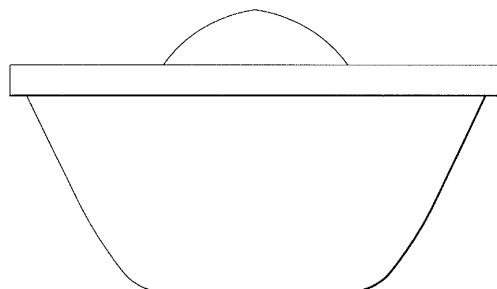


図1B  
従来技術

【図2A】

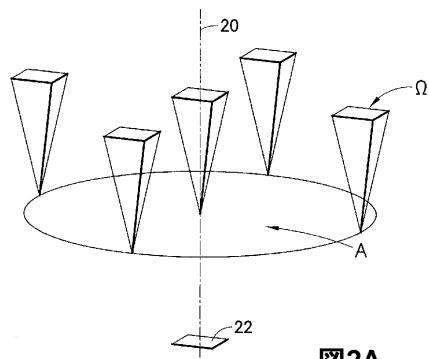


図2A

【図2B】

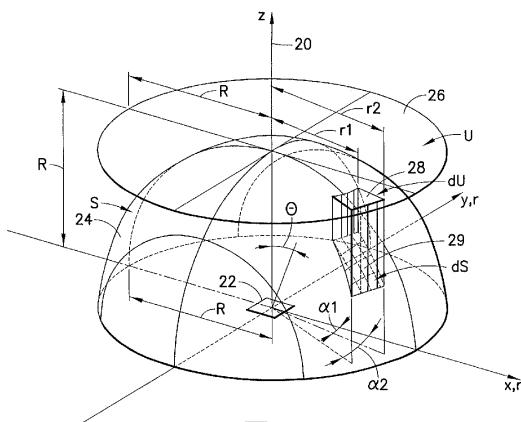


図2B

【図2C】

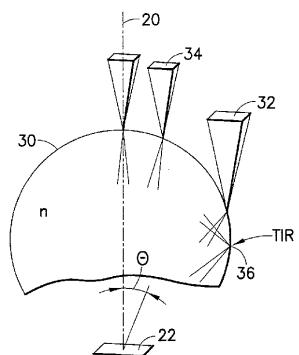


図2C

【図2D】

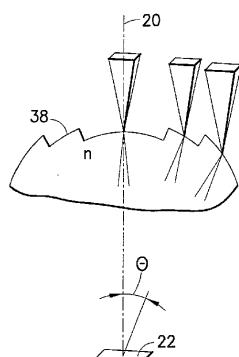


図2D

【図2E】

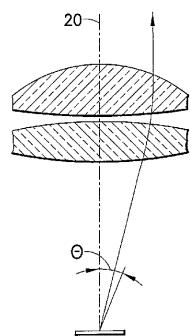
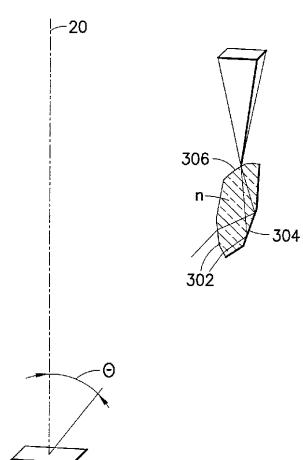


図2E

【図3】



【図4A】

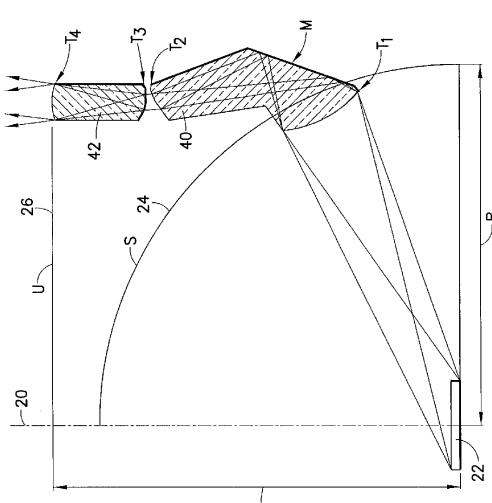


図4A

【図4B】

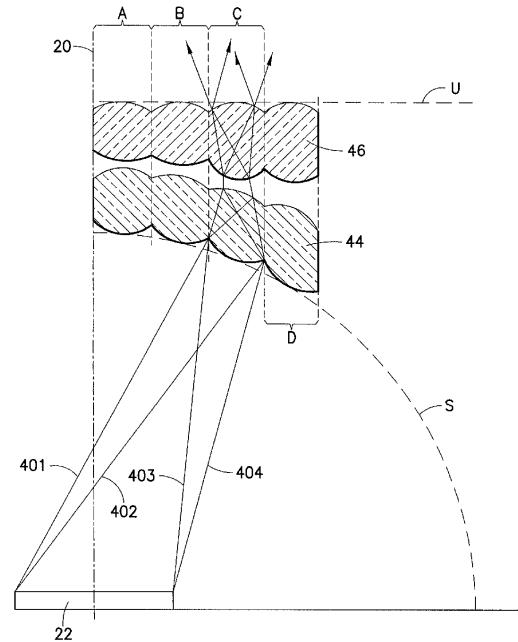


図4B

【図4C】

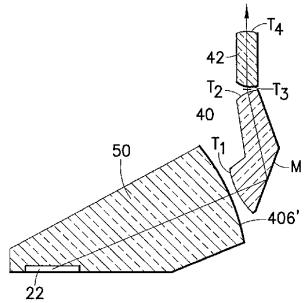


図4C

【図4E】

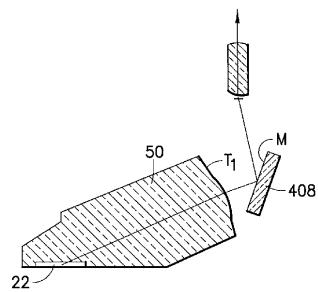


図4E

【図4D】

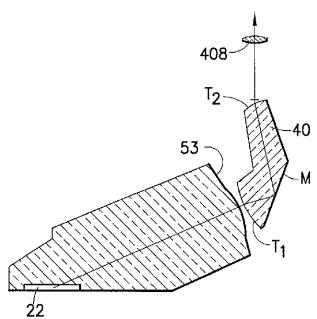


図4D

【図4F】

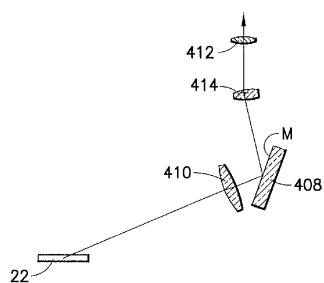


図4F

【図4G】

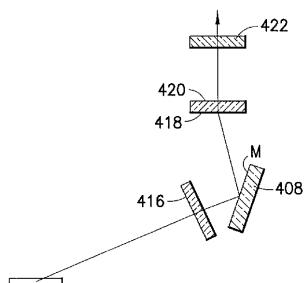


図4G

【図5A】

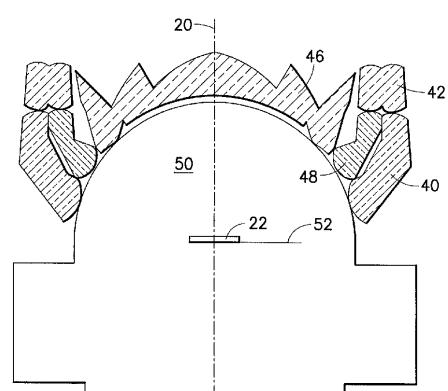


図5A

【図5B】

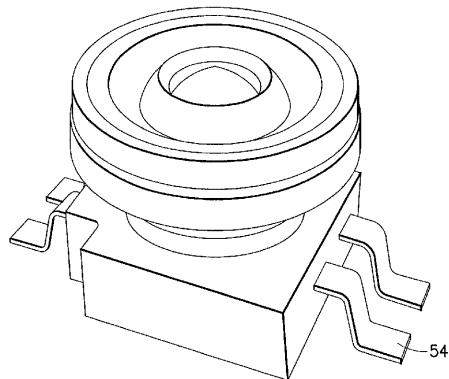


図5B

【図5C】

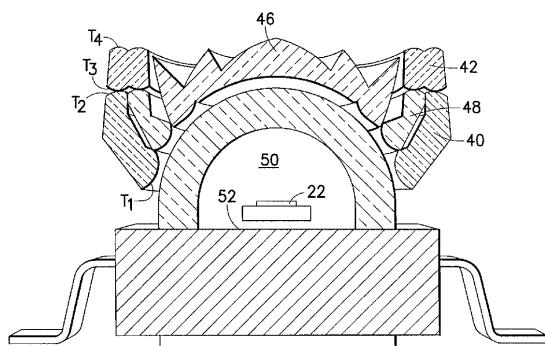


図5C

【図5D】

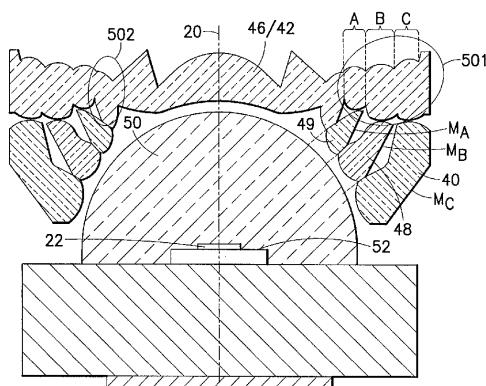


図5D

【図5E】

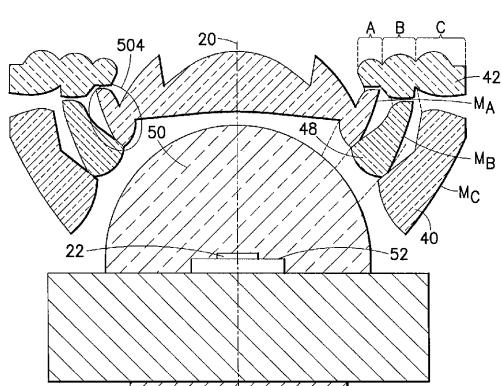


図5E

【図 6 A】

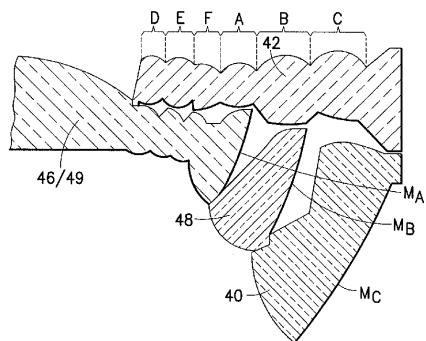


図6A

【図 6 B】

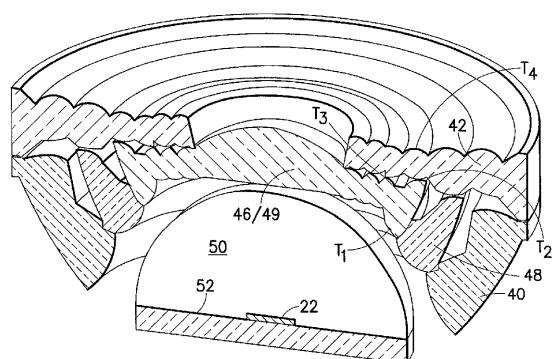


図6B

【図 6 C】

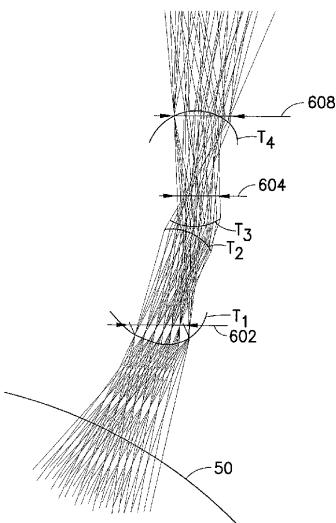


図6C

【図 6 D】

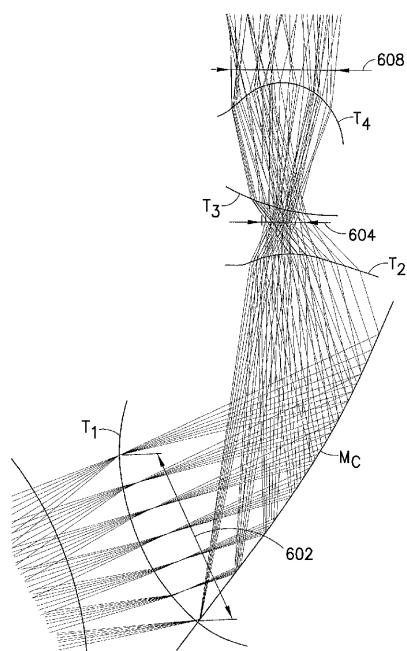


図6D

【図6E】

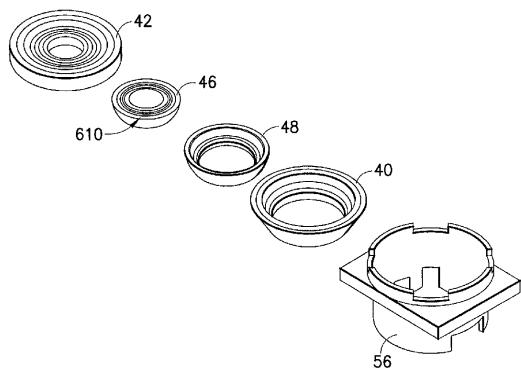


図6E

【図7A】

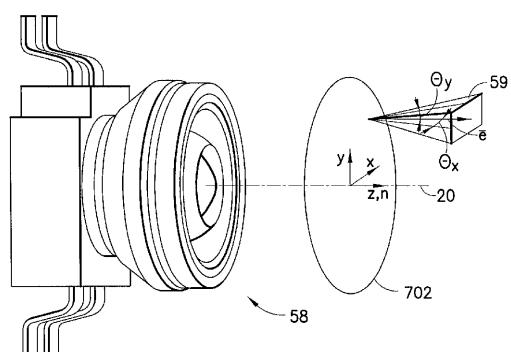


図7A

【図7B】

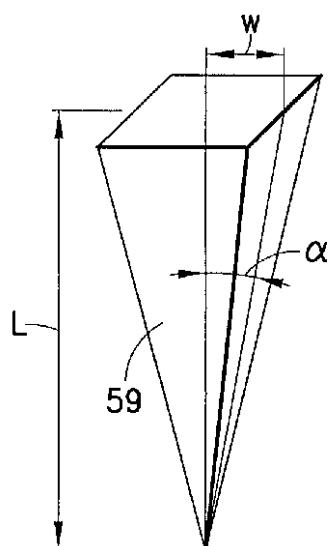


図7B

【図7C】

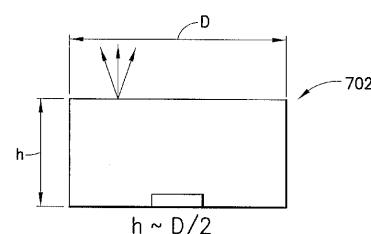


図7C

【図7D】

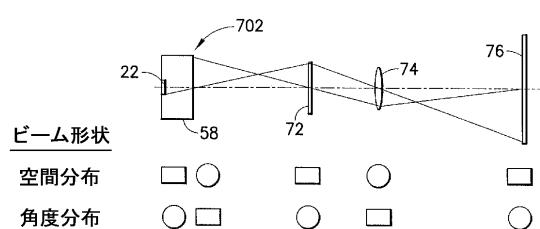
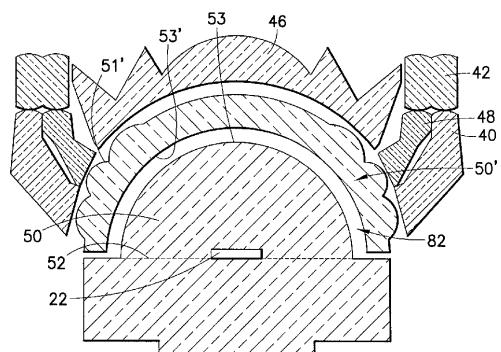


図7D

【図 8】



【図 9 A】

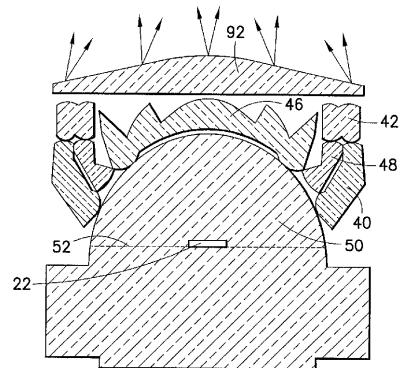


図9A

【図 9 B】

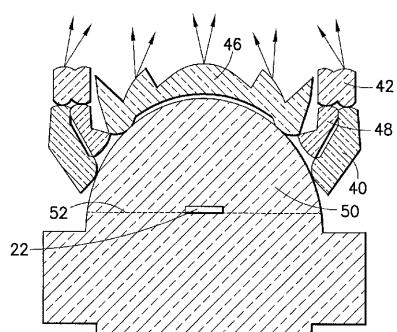
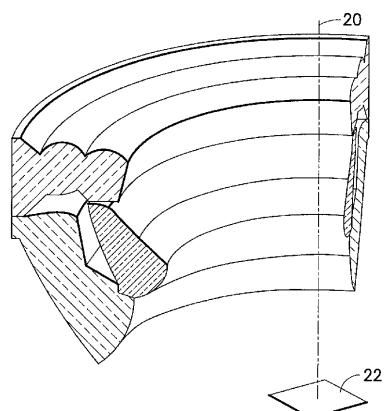
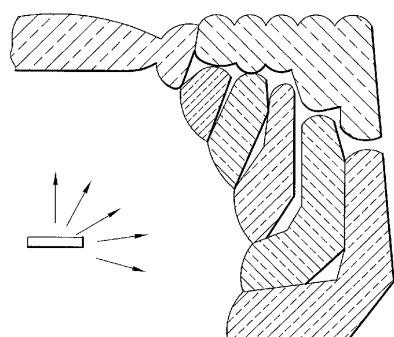


図9B

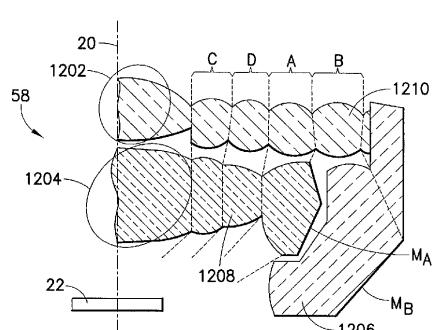
【図 1 1】



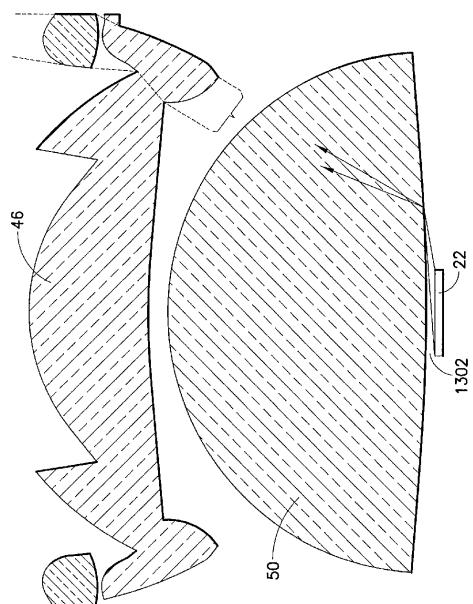
【図 1 0】



【図 1 2】



【図13】



【図14A】

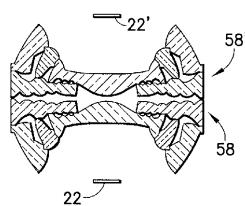


図14A

【図14B】

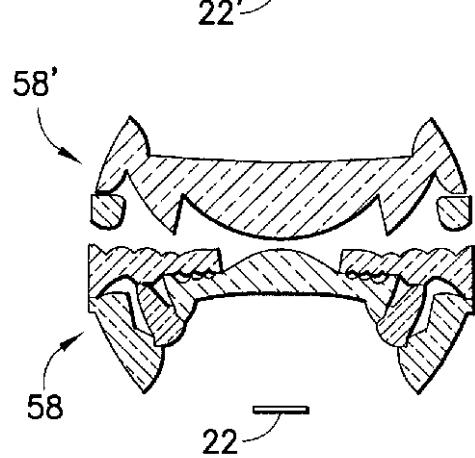


図14B

【図14C】

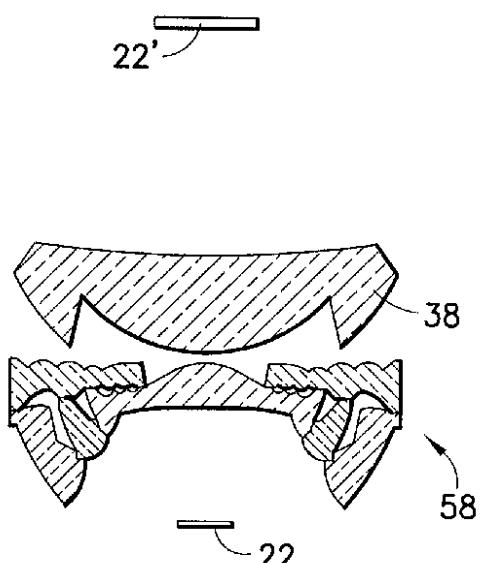


図14C

【図14D】

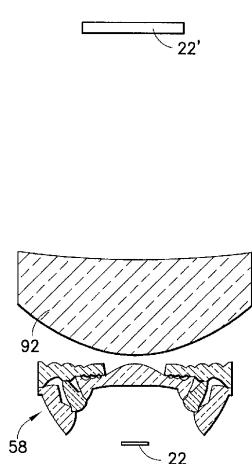


図14D

【図15A】

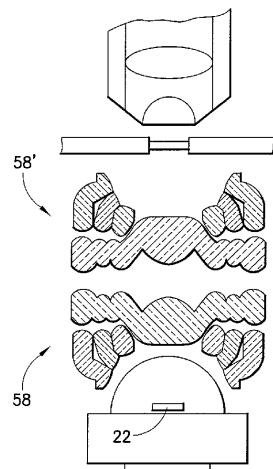


図15A

【図15B】

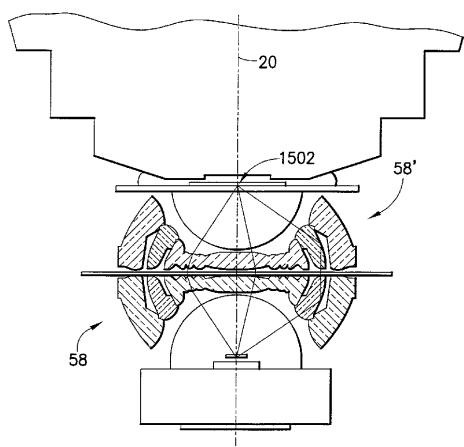


図15B

【図15C】

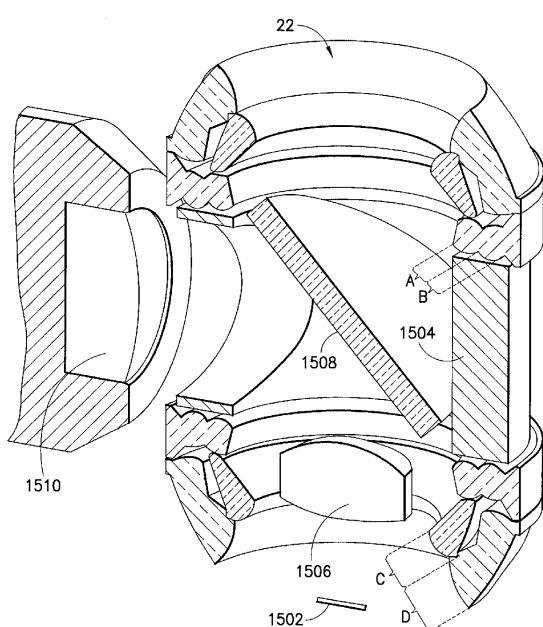
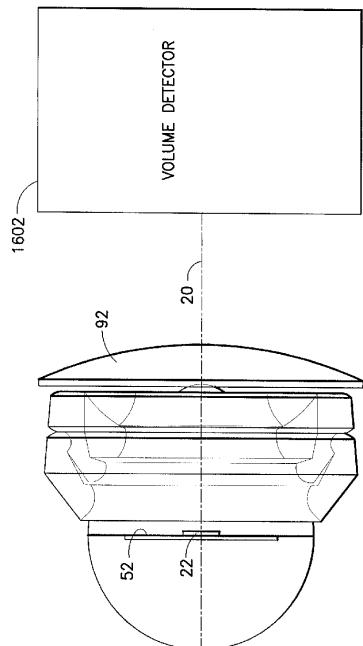


図15C

【図16】



【図17A】

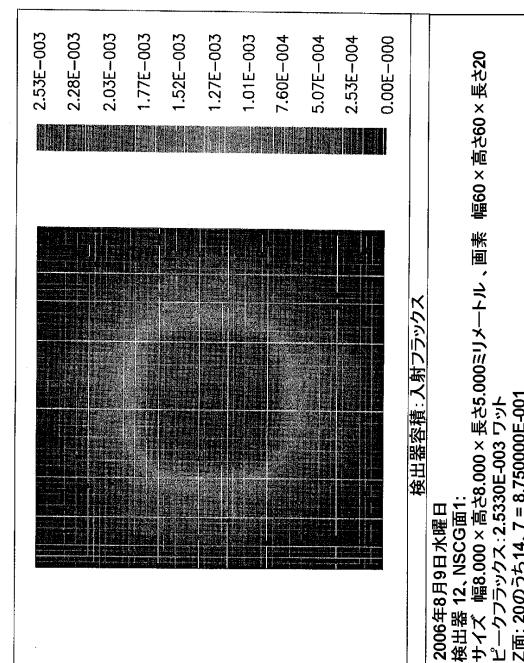


図17A

【図17B】

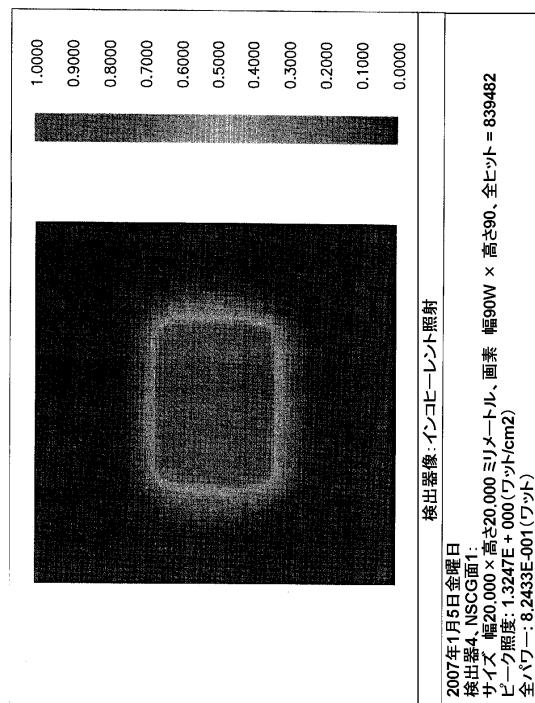
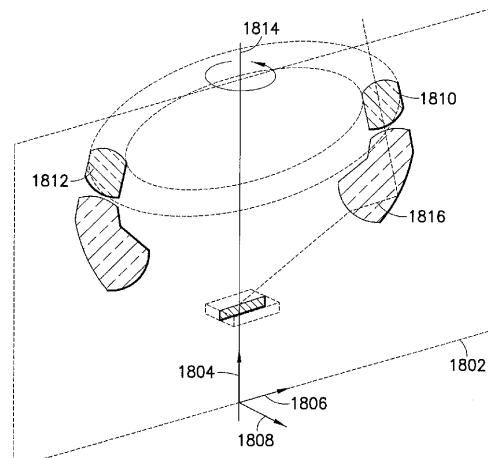
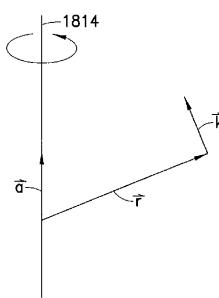


図17B

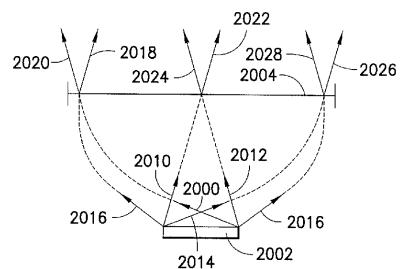
【図18】



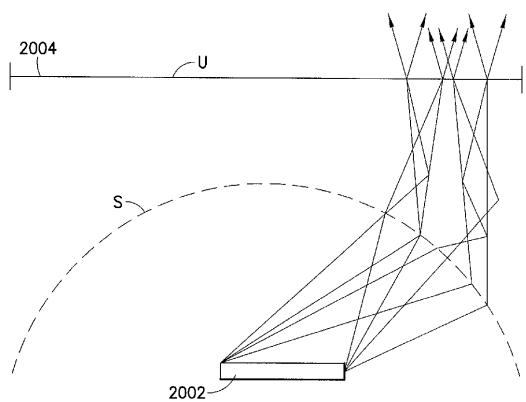
【図19】



【図20】



【図21】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ソウッカマキ ユッシ

フィンランド共和国 FIN - 90650 オウル, トッカティエ 15 A 4

(72)発明者 ヴィルヤマー テウヴォ

フィンランド共和国 FIN - 90420 オウル, ティアイスリンネ 9

審査官 土屋 正志

(56)参考文献 特開2008-046621(JP, A)

特許第3996164(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F21S 2/00

H01L 33/58

F21V 5/00

F21Y 101/02

G03B 21/14