

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-164988
(P2010-164988A)

(43) 公開日 平成22年7月29日(2010.7.29)

(51) Int.Cl.

G02B 27/02

(2006.01)

F 1

G02B 27/02

Z

テーマコード(参考)

2H199

審査請求 有 請求項の数 17 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2010-50574 (P2010-50574)
 (22) 出願日 平成22年3月8日 (2010.3.8)
 (62) 分割の表示 特願2003-578995 (P2003-578995)
 の分割
 原出願日 平成15年3月19日 (2003.3.19)
 (31) 優先権主張番号 148804
 (32) 優先日 平成14年3月21日 (2002.3.21)
 (33) 優先権主張国 イスラエル(IL)

(71) 出願人 504354265
 ラマス リミテッド
 イスラエル国, 76705 レホヴォト,
 バーグマン・ストリート 2
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (72) 発明者 アミタイ, ヤーコブ
 イスラエル国, 76229 レホヴォト,
 シラニ・ストリート 36/4
 F ターム(参考) 2H199 CA23 CA50 CA54 CA55 CA65
 CA69 CA82 CA97

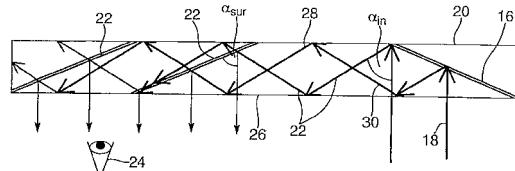
(54) 【発明の名称】光導体光学装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ヘッドマウント・ディスプレイなどの装置に適用されるコンパクトな基板導光型の光導体光学装置を提供する。

【解決手段】2以上の相互平行の主要面及びエッジを有する光透過性基板と、全反射により基板内に光線を結合するための光学手段と、基板内に配置される1以上の部分的反射面とから光導体光学装置を構成するとともに、基板内に結合される光線で基板内において同一の軸外角度を有する光線は、部分的反射面に対して2つの異なる入射角度で交差するように構成される。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

与えられた偏光状態を有すると共に与えられた光学的なスペクトル内に及び第一の角度のスペクトル内に位置させられた第一の組みの光の波を部分的に反射させると共に、同じ与えられた偏光状態を有すると共に同じ与えられた光学的なスペクトル内に及び第二の角度のスペクトル内に位置させられた第二の組みの光の波を透過させるための光学的なデバイスであって、

表面を有する第一の光を透過させる基体、及び、

上記の表面に配されたコーティング

：を具備する、光学的なデバイスにおいて、

上記の第一の角度のスペクトル内に位置させられた角度は、上記の第二の角度のスペクトル内に位置させられた角度と比べてより小さいものであること、及び、

上記の第一の組みの光の波のコートされた表面による固有反射率は、上記の第二の組みの光の波のコートされた表面による固有反射率と比べてより高いものであることを特徴とする、光学的なデバイス。

【請求項 2】

請求項 1 に従った光学的なデバイスであって、

さらに、上記のコートされた表面で前記第一の光を透過させる基体へ光学的に結合させられた第二の光を透過させる基体を具備する、光学的なデバイス。

【請求項 3】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の偏光状態は、 P - 偏光である、光学的なデバイス。

【請求項 4】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の偏光状態は、 S 及び P 偏光の組み合わせである、光学的なデバイス。

【請求項 5】

請求項 4 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の第一の組みの光の波の反射率は、上記の表面での入射の角度を増加させると共に単調に減少する、光学的なデバイス。

【請求項 6】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の第一の組みの光の波の反射率は、上記の表面での入射の角度を増加させると共に単調に変化する、光学的なデバイス。

【請求項 7】

請求項 6 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の第一の組みの光の波の反射率は、上記の表面での入射の角度を増加させると共に単調に増加する、光学的なデバイス。

【請求項 8】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の光学的なスペクトルは、可視のスペクトル内に位置させられたものである、光学的なデバイス。

【請求項 9】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の光学的なスペクトルは、 460 nm 及び 640 nm の間における領域内に位置させられたものである、光学的なデバイス。

【請求項 10】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の第一の角度のスペクトルは、 15° 及び 40° の間における領域内に位置させられたものである、光学的なデバイス。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の第二の角度のスペクトルは、50° 及び 80° の間における領域内に位置させられたものである、光学的なデバイス。

【請求項 1 2】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

特定の最小限の反射率は、上記の第一の角度のスペクトルについて設定されたものである、光学的なデバイス。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の第一の組みの光の波の上記のコートされた表面による固有反射率は、上記の特定の最小限の反射率と比べてより高いものである、光学的なデバイス。 10

【請求項 1 4】

請求項 1 2 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の特定の最小限の反射率の固有反射率は、20% と比べてより高いものである、光学的なデバイス。

【請求項 1 5】

請求項 1 に従った光学的なデバイスにおいて、

特定の最大限の反射率は、上記の第二の角度のスペクトルについて設定されたものである、光学的なデバイス。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の第二の組みの光の波の上記のコートされた表面による固有反射率は、上記の特定の最大限の反射率と比べてより低いものである、光学的なデバイス。 20

【請求項 1 7】

請求項 1 5 に従った光学的なデバイスにおいて、

上記の特定の最大限の反射率の固有反射率は、10% と比べてより低いものである、光学的なデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に基板導光型の光学装置に関し、特に共通の光透過基板（光導体）によって保持される複数の反射面を有する光学装置に関する。 30

【0002】

本発明は、例えばヘッドマウント・ディスプレイ、ヘッドアップディスプレイ、携帯電話ディスプレイ、コンパクト・ディスプレイ、3Dディスプレイ、コンパクトビーム拡大器などの各種画像形成装置や、フラットパネル表示、コンパクト照明器、スキヤナなどの非画像形成装置においても適用されることが可能である。

【背景技術】

【0003】

コンパクト光学素子の重要な応用例としてヘッドマウント・ディスプレイがある。ここでは光学モジュールが画像形成レンズ及びコンバイナとして機能し、二次元（2D）表示が無限遠にフォーカスされ、観察者の目に投影される。この表示は陰極線管（CRT）、液晶ディスプレイ（LCD）、有機発光ダイオードアレイ（OLED）、走査源などの空間光変調装置（SLM）から直接得ることも可能であり、また中継レンズや光ファイバー束などによって間接的に得ることも可能である。さらにこの表示は画像素子（ピクセル）のアレイからなり、これらピクセルはコリメータレンズによって無限遠にコリメートされ、透明又は非透明装置のコンバイナとして機能する反射面又は部分的反射面によって観察者（ビューア）の目に映される。このような場合は典型的には自由空間光学モジュールが適用される。しかしシステムにおける所望の視野（FOV）が拡大するにつれて、このよ 40

うな従来の光学モジュールでは中程度の性能を実現するためであってもモジュールの大きさが相当拡大し、重量が増加し、分厚くなるため、非実用的となる。これは様々なディスプレイ装置において問題となるが、特に可能な限り明るくコンパクトなシステムが求められるヘッドマウント・ディスプレイにおいてこれは問題となる。

【0004】

なお、コンパクト性を追求するという観点から従来においていくつかの複雑な光学手段が開発されてきたものの、これらの光学手段は実用においては十分コンパクトではなく、また製造性に関して各種問題点を抱える。更にこれらの設計によって得られる光学的視角のE M B (e y e - m o t i o n - b o x) は通常非常に小さく、典型的には8 m m未満である。したがってこのような構成の光学システムはビューアの目の小さな動きなどに対して敏感に反応するため、このようなディスプレイからビューアがテキストなどを読む際の瞳の動きなどにも反応してしまい不都合である。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は特にヘッドマウント・ディスプレイなどの装置のためのコンパクトな光導体光学素子(L O E)の設計及び製造を簡素化することを目的とする。本発明によると、比較的広い F O V と比較的大きな E M B 値とが実現されうる。これによって得られる光学システムは大きくて高画質な画像を提供でき、また比較的大きな目の動きを許容しうる。本発明によって提供される光学システムは従来のシステムに比べてコンパクトであり且つ特殊講師絵を有する光学システムなどにおいても容易に導入されることが可能である。

20

【0006】

また、本発明は改善されたヘッドアップ・ディスプレイ(H U D)の構築を可能にする。30年前にこのようなディスプレイが開発されてからこの技術分野は相当進歩し、 H U D は現在では軍用機にとどまらず民間飛行機などにおいても適用され、視界不良の際の着陸動作などにおいて重要な機能を果たす。さらに最近では H U D を自動車などにおける運転やナビゲーションの補助として適用する構成が提案されている。しかし従来の H U D はいくつかの問題点を有する。まず従来からの H U D においては、表示源によってコンバイナ面全体が照射されようとして表示源がコンバイナから一定距離はなれた場所に配置されることが要される。この結果従来のコンバイナ・プロジェクタ H U D システムは分厚くて大きな構成で、大きな搭載空間を要する。よってこのようなシステムは搭載の観点から不都合であり、更にこのシステムの使用は場合によって危険を伴うことがありうる。また、従来の H U D における大きな光学アパーチャも設計上の課題となる。このような大きな光学アパーチャの問題により H U V の精度を妥協するか、あるいは高精度の動作を実現するためにコストを増加させる必要があった。特に高画質のホログラフィック H U D における色分散が課題となる。

30

【0007】

したがって本発明の一実施形態は上述の問題点を緩和しうるコンパクトな H U D の実現に関する。本発明による H U D の構成においては、コンバイナが基板に取り付け可能なコンパクト表示源によって照射される。したがってシステム全体がコンパクトに設計可能であって、様々な装置や構成に容易に導入されることが可能である。また、表示の色分散が少ないため、本発明による H U D システムは一般的白色光源を含む広範囲のスペクトル源を用いて動作可能である。更に本発明においては画像が拡大されるため、コンバイナの活性領域は実際に光源によって照射される領域よりも大きくなる。

40

【0008】

本発明の更なる重要な実施形態は実際の三次元(3 D)像を大型画面に提供する技術に関する。情報技術の発展に伴い 3 D ディスプレイの需要が高まってきている。市場には実際に様々な 3 D 技術関連製品が出回っている。しかし市場に出回っているこれらの製品は典型的にはユーザに右目のための画像と左目のための画像を分離するための特殊装置を着用させる。このような視覚補助システムは様々な専用分野における装置への適用が確立さ

50

れている。しかしこれら専門分野以外の分野においてこのような3Dシステムの導入を実現するためには、視覚上快適性及び両眼視の仕組みに近似するように調整された自由視覚システムを開発する必要がある。このような問題に対する従来の対応は様々な問題を抱え、画質及び視覚上快適性の観点から2D表示より劣っている。しかし本発明によると、視覚補助装置を使用することなく高画質の3Dオート立体画像表示を提供することが可能であり、且つ一般的な光学装置製造工程によって容易に製造可能な光学装置を提供することが可能である。

【0009】

また、本発明の更なる実施形態は、携帯電話などの携帯用手持ち機器において広いFOVを有するコンパクトなディスプレイを提供する。現在の無線インターネット・アクセス市場では、完全なビデオの伝送を実現するのに十分な帯域幅が利用可能である。したがってこのような画像伝送技術において限界要素となるのは、ユーザ側の端末内の表示画像の画質である。このような端末の可動性要件がそのディスプレイの物理的サイズを制限し、よって従来において表示される画像は直接表示による低画質の画像となる。したがって本発明は物理的にはコンパクトでありますながら大きなバーチャル画像を提供可能な頂セを実現しうる。この技術はモバイル通信において適用可能であり、特にモバイルインターネットアクセスにおける問題を解決することができる。したがって本発明の実施形態により、インターネットのフルページのデジタルコンテンツを携帯電話などの小型の手持ち機器で見ることが可能になる。

【0010】

本発明の広い目的は、従来のコンパクト光学装置の欠点を克服し、規定の要件に応じて精度の改善された各種光学素子やシステムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

したがって本発明は、2以上の主要面及びエッジを有する光透過性基板、全反射によって前記基板に光を結合させる光学手段、及び前記基板に設けられる1以上の部分的反射面から構成される光学装置を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】従来技術例による一般的な折りたたみ式の光学装置の側面図である。

【図2】本発明の一実施例による光導体光学素子の側面図である。

【図3A】本発明の一実施形態において適用される選択的反射面のある入射角に対する所望の反射特性及び透過特性を示す図である。

【図3B】本発明の一実施形態において適用される選択的反射面のある入射角に対する所望の反射特性及び透過特性を示す図である。

【図4】あるダイクロイック・コーティングの波長を関数とする反射カーブを示す図である。

【図5】あるダイクロイック・コーティングの入射角を関数とする反射カーブを示す図である。

【図6】あるダイクロイック・コーティングの波長を関数とする反射カーブを示す図である。

【図7】あるダイクロイック・コーティングの入射角を関数とする反射カーブを示す図である。

【図8】本発明の一実施形態による反射面の概略断面図である。

【図9A】選択的反射面のアレイの一例を示す詳細断面図である。

【図9B】選択的反射面のアレイの一例を示す詳細断面図である。

【図10】薄い透明層が光導体光学素子の底部に接着された構成における選択的反射面のアレイの一例を示す詳細断面図である。

【図11】3つの異なる視覚についての選択的反射面のアレイの一例からの反射を示す詳細断面図である。

10

20

30

40

50

【図12】本発明の一実施形態による入射光の極性を回転させるための半波長板を適用する光学装置の断面図である。

【図13】投影表示の画像及び外部(透明)シーンのそれにおけるFOVを関数とする輝度のシムレーション計算を示すグラフである。

【図14】本発明の一実施形態による4つの部分的反射面のアレイを有する光導体光学素子(LOE)の構成を示す図である。

【図15】本発明のまた別の実施形態による4つの部分的反射面のアレイを有する光導体光学素子(LOE)の構成を示す図である。

【図16】二重LOE構造を用いてビームを両軸に沿って拡大する方法を示す図である。

【図17】本発明の一実施形態による液晶ディスオブレイ(LCD)光源を用いる装置の側面図である。 10

【図18】本発明の一実施形態によるコリマータ及び折りたたみ光学素子の光学レイアウトを示す図である。

【図19】本発明の一実施形態による基板に結合される光のコリマタレンズの表面上における形跡を示す図である。

【図20】本発明の一実施形態による光学素子の開いた状態の等価光学レイアウトを示す図である。

【図21】本発明の一実施形態による広い視野を実現するために2対の平行ミラーを適用する光学レイアウトを示す図である。

【図22A】本発明のまた別の実施形態による光を拡大するための構成の平面図である。 20

【図22B】本発明のまた別の実施形態による光を拡大するための構成の側面図である。

【図23】本発明の一実施形態を通常のメガネフレームに導入する例を示す図である。

【図24】本発明の一実施形態を携帯電話などのモバイル式手持ち装置に導入する方法の一例を示す図である。

【図25】本発明の一実施形態によるHUDシステムを示す図である。

【図26】本発明の一実施形態による光導体光学素子が表示源のアレイによって照射される構成を示す図である。

【図27A】本発明の一実施形態によるビューアの目に3D画像を映す画像形成システムの一例を示す図である。

【図27B】本発明の一実施形態によるビューアの目に3D画像を映す画像形成システムの一例を示す図である。 30

【図28A】本発明の一実施形態によるビューアの目に3D画像を映す画像形成システムの一例を示す図である。

【図28B】本発明の一実施形態によるビューアの目に3D画像を映す画像形成システムの一例を示す図である。

【図29A】本発明の一実施形態によるビューアの目に3D画像を映す画像形成システムの一例を示す図である。

【図29B】本発明の一実施形態によるビューアの目に3D画像を映す画像形成システムの一例を示す図である。

【図30】スターズ光增幅器(SLA)の一般的な導入例を示す図である。 40

【図31】本発明の一実施形態による改善されたスターズ光增幅器(SLA)の導入例を示す図である。

【図32】本発明の一実施形態による一般的な照明手段を有する反射性液晶ディスプレイ(LCD)表示源を適用する装置の側面図である。

【図33】本発明の一実施形態による光導体を表示源の照明手段として具備する反射性液晶ディスプレイ(LCD)表示源を適用する装置の側面図である。

【図34】本発明の一実施形態による選択的反射面のアレイを製造する方法を示す図である。

【図35】2つの異なる角度で被覆プレートの反射性を測定するために2つのプリズムを用いる測定機構を示す図である。 50

【図36】2つの異なる角度で被覆プレートの反射性を測定するために2つのプリズムを用い、更に第2出力ビームと入射ビームとを整列するために折りたたみプリズムを用いる測定機構を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下において本発明の理解をいっそう深めるために本発明の好適な実施例を添付図面を参照しながら説明する。

【0014】

なお、このように添付図面を参照しながら具体的に説明される実施例はあくまでも本発明の一例に過ぎず、本発明の原理や構想を容易に理解するために示される好適な実施形態に過ぎない。また、この観点から以下において説明される構成は本発明の根本的な原理を理解するために提供されるもので、それ以外の詳細事項の説明は省略する。なお、同業者であれば以下に添付図面と共に示される本発明の好適な実施例の説明に基づいて、これら本発明の実施例を実現することが可能であると考えられる。

10

【0015】

図1は一般的な折りたたみ光学機構を示し、ここでは基板2が表示源4によって照射される。表示はコリメータレンズ6によってコリメートされる。表示源4からの光はこの主要光線10が基板2と平行になるように第1反射面8によって基板2に結合される。そして基板2の第2反射面12は基板2階へこの光を結合してビューア14の目に映す。このような構成はコンパクトではあるが、様々な問題を抱える。特に影響されうるFOVが非常に限られているという欠点が挙げられる。図1に示されるように、基板内で許容される最大軸外角度は、以下のように表される。

20

【0016】

【数1】

$$\alpha_{\max} = \arctan \left(\frac{T - d_{eye}}{2l} \right), \quad (1)$$

ここでTは基板の厚さを表し、 d_{eye} は所望の射出瞳径を表し、lは反射面8と12との間の距離を表す。

30

【0017】

α_{\max} よりも高い角度の光線は反射面12に到達する前に基板から反射される。したがって反射面12は望まれない方向で照射され、その結果ゴースト画像が発生する。

【0018】

よってこの構成で得られる最大FOVは以下のように表される。

【0019】

【数2】

$$FOV_{\max} \approx 2v\alpha_{\max}, \quad (2)$$

ここでvは基板の屈折率を表す。なお、この屈折率は典型的には1.5~1.6の範囲内にある。

40

【0020】

一般的に目の瞳の径は2~6mmである。よって表示の移動や配列ミスなどに対応するためにはより大きな射出瞳径が求められる。最低所望値を約8~10mmとすると、目の光軸とヘッドの端との間の距離lは典型的には40~80mmとなる。よって狭いFOV8°であってもここでの所望の基板の厚さは約12mmと分厚くなる。

【0021】

これに応じてこのような問題を解決するために様々な方法が提案してきた。このような方法の一例としては、例えば基板内に拡大望遠鏡を適用し、また非平行結合方向を適用するなどの方法がある。このような解決法を適用した場合でも、また例え1つの反射面の

50

みを考慮した場合でも、システムの厚さは同様な制限値によって規制される。FOVは基板平面上の反射面12の投影範囲の径によって制限される。この制約のもとでの最大実現可能FOVは数学的には以下のように表される。

【0022】

【数3】

$$FOV_{\max} \approx \frac{T \tan \alpha_{sur} - d_{eye}}{R_{eye}}, \quad (3)$$

ここで α_{sur} は反射面と基板平面の法線との間の角度を表し、 R_{eye} はビューアの目と基板との間の距離を表す（これは典型的には 30 ~ 40 mm である）。 10

【0023】

実際には $\tan \alpha_{sur}$ は 1 よりさほど大きい値をとることはできない。したがって FOV 8° を得るために上述のようなパラメータを考慮した場合、基板の所望の厚さは約 7 mm となる。これは上記例に比べると改善はされているものの、FOV が拡大されるにつれて所望の基板の厚さが増加する。例えば所望のFOVがそれぞれ 15° 及び 30° である場合、対応する所望の基板の厚さはそれぞれ 18 mm 及び 25 mm となる。

【0024】

このような問題を緩和するために本発明は光導体光学素子（LOE）な意味形成される選択的（部分的）反射面のアレイを適用する。図2は本発明の一実施形態によるLOEの側面図である。ここでは第1反射面16が装置の裏に配置される光源（非図示）から発光されるコリメート表示18によって照射される。この反射面16は光源からの入射光が平面基板20内に閉じ込められるようにこの入射項を全反射によって反射する。基板内の面を数回反射した後閉じ込められた波は選択的（部分的）反射面22のアレイに到達する。この選択的反射面22のアレイは光を基板20外へ結合し、ビューア24の目に映す。光源からの中心波が基板表面26の法線方向に沿って基板20外に結合したとし、基板20内の結合された波の軸外角度が α_{in} であるとすると、反射面と基板の法線との間の角度 α_{sur2} は伊かのようによく表される。

【0025】

【数4】

$$\alpha_{sur2} = \frac{\alpha_{in}}{2}. \quad (4)$$

図2に示されるように、閉じ込められた光線は2つの異なる方向28, 30から反射面に到達する。この例においては、閉じ込められた光線は基板表面26に偶数回反射した後これらのうちの1つの方向28から反射面に到達する。ここで閉じ込められた光線と反射面の法線との間の入射角度は以下のように表される。

【0026】

【数5】

$$\beta_{ref} = 90^\circ - (\alpha_{in} - \alpha_{sur2}) = 90^\circ - \frac{\alpha_{in}}{2}. \quad (5)$$

閉じ込められた光線は基板表面26に奇数回反射した後これらのうちの1つの方向30から反射面に到達する。ここで軸外角度は $\alpha_{in} = 180^\circ - \beta_{ref}$ として表され、閉じ込められた光線と反射面の法線との間の入射角度は以下のように表される。

【0027】

10

20

30

40

【数6】

$$\beta'_{ref} = 90^\circ - (\alpha'_{in} - \alpha_{sur2}) = 90^\circ - (180^\circ - \alpha_{in} - \alpha_{sur2}) = -90^\circ + \frac{3\alpha_{in}}{2} . \quad (6)$$

望まれない反射や、ゴースト画像の発生を抑制するために、これらの方向のうちの1つについては反射率が極わずかであることが求められる。これら2つの入射方向間の所望の区別は一方の角度を他方の角度よりも著しく小さくすることによって実現されうる。これに応じて従来においてS分極光の反射特性を活用する2つの対策が提案されているが、これらの方法は両方とも各種問題を有する。これらの方法のうちの1つ目の主な欠点としては、所望のFOVを得るためにには相当の数の反射面が必要となるという点である。2つ目の方法の主な欠点としては、内部角度 i_n を有する光線の反射率が不適切にあるという点である。そこで以下においてP分極光の反射特性を活用し、場合によってはS分極光の反射特性をも活用し、より傾斜の浅い反射面を適用して装置内に要される反射面の数を削減する別の解決法を説明する。

10

【0028】

入射角を関数とするS分極光及びP分極光の反射特性はそれぞれ異なる。例えば、エアークラウンガラス・インタフェースの場合P及びSの両極性ともゼロ入射では4%の反射率を有する。しかしインタフェースに入射されるS分極光のフレネル反射率は単調に上昇し、すれすれの入射で100%に到達する。一方P分極光のフレネル反射率は一旦ブルースター角で0%に落ち、そこからすれすれの入射で100%に到達する。したがってS分極光について傾斜入射角で高反射率を実現し、垂直入射角度でゼロに近い反射率を実現するコーティングを構成することが可能である。このような特性を利用して、2つの方向のうちの1つの反射をなくし、上述のような不都合な反射やゴースト画像の発生を抑制することが可能である。例えば等式(5)及び(6)から角度 $r_{ref} \sim 25^\circ$ を選択すると、以下のような値が得られる。

20

【0029】

$$r_{ref} = 105^\circ; \quad i_n = 130^\circ; \quad i_n = 50^\circ; \quad sur_2 = 65^\circ \quad (7)$$

ここで r_{ref} は反射されないが、 r_{ref} は反射されるような反射面が検出され、これが適用されると、所望の要件が満たされうる。図3A及び図3Bは選択的反射面における所望の反射を示す。この図において軸外角度 $r_{ref} \sim 25^\circ$ を有する光線32(図3A)は部分的に反射され、基板34外に結合される。一方軸外角度 $r_{ref} \sim 75^\circ$ で反射面に到達する(これは $r_{ref} \sim 105^\circ$ に等しい)光線36(図3B)は、顕著な反射はなく反射面34を介して伝送される。

30

【0030】

図4は上述の反射特性を得るために形成されたダイクロイック・コーティングの4つの異なる入射角度20°、25°、30°、及び75°での反射率カーブを示す。なおこれらの反射率は全てP分極光についてのものである。この図に示されるように、高角度の光線の反射率はゼロに近いが、軸外角度20°、25°、及び30°の光線はそれぞれ同一スペクトルにおいて常に約26%、29%、及び32%の反射率を実現する。この図から理解されうるように、反射率は入射光線の傾斜率の上昇に伴って低下する。

40

【0031】

図5は同一のダイクロイック・コーティングの波長=550nmのP分極光についての入射角度を関数とする反射率を示す。このグラフは反射率が非常に低い50°~80°の間の領域と、入射角が低下するにつれて反射率が単調に上昇する15°~40°の間の領域との2つの重要な領域を示す。したがって、あるFOVについて r_{ref} の角度スペクトル全体(ここでは低い反射率が求められる)が上述の領域のうちの第1領域内に位置づけられ、 r_{ref} の角度スペクトル全体(ここではより高い反射率が求められる)が上述の領域のうちの第2領域に位置づけられるように構成することで、1つの基板の反射だけがビューアの目に映り、ゴースト画像の発生が抑止されうる。

50

【0032】

なお、上記ではP分極光だけが分析されてきた。液晶ディスプレイ（LCD）など分極表示源を適用するシステムや、出力輝度がさほど重要でなくS分極光がフィルタされうるシステムについては上記のような構成で十分対応可能である。しかし出力輝度が重要なCRTやOLEDなどの非分極表示源を適用する場合は、S分極光を無視することはできず、設計工程においてこれを考慮する必要がある。しかしS分極光について上述のような特性を実現するコーティングを設計することは、P分極光についてのものを設計するよりも困難であるものの可能である。すなわちS分極光についても α_{ref} の角度スペクトル全体については低い反射率を有し、 α_{ref} の角度スペクトル全体については所定のより高い反射率を有するようなコーティングを設計することが可能である。

10

【0033】

図6及び図7は上記図4及び図5と関連して説明されているダイクロイック・コーティングと同一のもののS分極光についての反射率を示す。これらの図からこれら2つの極性の間にはいくつかの明確な違いがあることが理解されうる。すなわちS分極光においては、反射率が非常に低い高入射角の領域がP分極光の対応領域に比べて狭い。したがってS分極光についてある角度のスペクトル帯域全体において一定の反射率を実現することはP分極光の場合より困難である。また、S分極光における高反射率が求められる α_{ref} の角度スペクトルでの単調上昇部分はP分極光と反対である。すなわちS分極光の反射率は入射光線の傾斜角度が上昇するにつれて増加する。このような α_{ref} の角度スペクトルでのS分極光及びP分極光間の相互逆転作用は各システムの特定条件に基づく所望の全体的な光の反射率を実現するために各システムの光学設計において利用されうる。

20

【0034】

なお、表示源から基板にできるだけ多くの光を結合させたいことから第1反射面16（図2）の反射率は可能な限り高いことが望ましい。光源の中央波が法線方向において基板に入射される場合、すなわち $\theta_0 = 180^\circ$ の場合、第1反射面と基板の法線との間の角度 α_{sur1} は以下のように表される。

【0035】

【数7】

$$\alpha_{sur1} = \frac{\alpha_{in} + \alpha_0}{2} ; \alpha'_{sur1} = \frac{\alpha'_{in} + \alpha_0}{2} . \quad (8)$$

30

この例での α_{sur1} 及び α'_{sur1} の値はそれぞれ 155° 及び 115° である。

【0036】

図8は全体反射により表示源（非図示）からの光38を結合し、基板20内に閉じ込める反射面16の側面図である。ここで示されるように、基板表面40上の反射面の投影部 S_1 は、

$$S_1 = T \cdot \tan(\theta) \quad (9)$$

と表され、ここでTは基板の厚さを表す。

【0037】

この例では基板表面上の結合領域は従来のものに比べて4.5倍に拡大されるため α_{sur1} であることが望ましい。なお、これ以外のシステムにおいても上記同様の改善率が実現されうる。結合された波が反射面の領域全体を照射すると仮定すると、この光は反射面16から反射した後基板表面上における $2S_1 = 2T \tan(\theta)$ の領域を照射する。一方基板平面上の反射面22上の投影部 S_2 は、 $S_2 = T \cdot \tan(\alpha_{sur2})$ と表される。なお、反射面間の重複も途切れも回避するために、各反射面の投影部は隣のものと隣接するように構成される。したがって各結合光線が1周期（同一の反射面に1度反射してからこれに2度目に反射するまでの間）において通過する反射面22の数Nは以下のように計算される。

40

【0038】

【数8】

$$N = \frac{2S_1}{S_2} = \frac{2T \cdot \tan(\alpha_{sur1})}{T \cdot \tan(\alpha_{sur2})} \quad . \quad (10)$$

$\alpha_{sur2} = 65^\circ$ で $\alpha_{sur1} = 115^\circ$ であるこの例では、 $N = 2$ である。すなわち各光線は 1 周期において 2 つの異なる反射面を通過することとなる。これは概念的な変更であり、各光線が 1 周期において 6 つの異なる反射面を通過する構成の従来技術からの重要な進歩であると考えられる。ある F O V 設定において反射面の数を低減できるということは表示面上の反射面の投影部に関連する。すなわち本実施例では角度がより大きく設定されているため、画像の寸法を伸ばすのに要される反射面の数が少なくてすむ。反射面の数を少なくすることで、L O E の構成が簡素化され、その製造コストが削減されうる。

10

【0039】

図 8 を参照しながら説明される上記の実施例は、入力波を基板に結合させる方法の一例である。しかし入力波はこれ以外の光学手段によって基板に結合されることも可能である。その例としては、折りたたみプリズム、光ファイバー束、回折格子などが挙げられる（しかしこれらに限定されない）。

20

【0040】

また、図 2 に示される実施例においては、入力波と画像波とは基板における同一面に位置づけられるが、その他の構成ももちろん可能であり、入力波と画像波とが基板においてそれぞれ反対の面に位置づけられることも可能である。また、場合によっては入力波を基板の側面においてこの基板と結合させることも可能である。

20

【0041】

図 9 A は基板内に閉じ込められた光を外へ結合し、ビューアの目に映すための選択的反射面のアレイの詳細断面図である。ここで示されるように、各周期において結合された光線は角度 $\alpha_{in} = 130^\circ$ の反射面 42 を通過し、ここにおいてこの光線と反射面の法線との間の角度は 75° であってこれらの選択的反射面 42 からの反射は無視できる程度である。また、光線は各周期において角度 $\alpha_{in} = 50^\circ$ の反射面 44 を 2 度通過し、ここで光線の入射角度は 25° であり、この光線のエネルギーの一部は基板外へ結合される。ここでビューアの目に光を結合するために 2 つの選択的反射面 22 からなるアレイを適用すると仮定すると、最大 F O V は以下のように求められる。

30

【0042】

【数9】

$$FOV_{max} \approx \frac{2T \tan \alpha_{sur1} - d_{eye}}{R_{eye}} \quad (11)$$

したがって上述と同様のパラメータでは、F O V が 8° である場合についての基板の厚さは約 2.8 mm に制約され、また、F O V が 15° である場合及び 30° である場合は基板の厚さはそれぞれ約 3.7 mm 及び約 5.6 mm に制約される。これらの値は従来技術における基板の厚さ要件よりも好都合である。また、2 以上の選択的反射面を適用することも可能である。例えば 3 つの選択的反射面 22 を適用する場合、 15° または 30° の F O V を実現するための基板の厚さはそれぞれ約 2.4 mm 及び約 3.9 mm に制約される。このように反射面の数を増やすことにより光学素子の厚さを更に低減することが可能である。

40

【0043】

なお、所望の F O V が比較的小さな構成においては、1 つの選択的反射面を導入するだけで十分である場合もある。例えば $R_{eye} = 25 \text{ mm}$; $\alpha_{sur} = 72^\circ$; $T = 5 \text{ mm}$ をパラメータとするシステムにおいては、1 つの反射面 22 を適用する構成でも 17° の F O V を実現することが可能である。ここでは光線の一部分が何度か反射面 22 を通過し

50

てから所望の方向へ結合される。なお B K 7 やこれと同様の材料において全反射を実現する要件を満たすための基板内の最小伝搬角度は $\text{in}(\text{min}) = 42^\circ$ であるため、FOV の中心角度の伝搬方向は $\text{in}(\text{cen}) = 48^\circ$ である。よって投影画像は表示面に対して垂直にはならず、 12° 程軸外に傾斜することとなる。しかしこの程度の傾斜は多くの構成に置いては供される範囲内である。

【0044】

図 9 B に示されるように、各選択反射面はそれぞれ異なる強度を有する光線によって照射される。というのは、右側の反射面 46 は基板 20 の底面 48 から反射された後の光線によって直接照射されるのに対して、左側の反射面 50 は既に選択的反射面 46 を通過した光線によって照射されるため、右側に比べ強度の低い光線によって照射されることとなる。したがって輝度が均等である画像を得るためにには画像の各所部分間における強度の差に対する補償を行う必要がある。例えば反射面を異なるコーティングで覆うことで、反射面 46 の反射率を反射面 50 の反射率よりも低くすることで不均等な照射に対する補償を実現することが可能である。

【0045】

また形成画像の不均等性は各選択的反射面に到達する異なる光線それぞれにおける異なる反射シーケンスによっても生じうる。というのはこれらの光線の一部は他の反射面で反射せずに直接到達し、また他の光線は 1 又は複数回の反射面で反射してから到達しうる。この作用は図 9 A において示される。ここではある光線が点 52 において第 1 選択的反射面 22 と交差する。この光線の入射角度は 25° であり、交差の際この光線のエネルギーの一部は基板外に結合される。次にこの光線は入射角度 75° で点 42 において顕著な反射なしに同一の反射面 22 と交差し、次に更に点 54 において入射角度 25° で反射面と交差し、ここでは光線のエネルギーの一部が更に基板外へ結合される。これに対して図 9 B に示される光線は同一面から 1 回反射するにとどまる。なお、入射角度が小さい場合は複数の反射が発生しうる。したがってこのような複数の光線交差によって生じる不均等性を補償する方法として、図 5 の $10 \sim 40^\circ$ の範囲における反射率のように入射角度が低下するにつれて反射率が単調に上昇するコーティングを設計する方法が考えられる。上述のような複数の光線交差から発生する差を完全に補償するのは困難であるものの、人間の目にはこのような輝度の差を察知する能力に限界があるため、ある程度の輝度の差は許容されうる。目接近型ディスプレイなどの場合、目は 1 つの視角から放出される光を統合して、これを網膜上における 1 点にフォーカスする。そして目のレスポンス曲線は対数であるため、多少の表示の輝度の差は察知されずにすむ。したがって表示の照射均等性がある程度得られればこれが完全に均等でなくとも、人間の目にとっては高画質として見受けられることとなる。このようなある程度の均一性は LOE によって容易に実現することが可能である。

【0046】

ところがヘッドアップ・ディスプレイなど目から離れた場所に配置されるディスプレイの場合は、このような複数の光線交差による不均等性を許容することはできない。したがってこのような場合はより体系的な方法でこのような不均等性の問題に対処する必要がある。図 10 はこのような問題の対処法の一例を示す。この例では、厚さ T_{add} の透明の薄膜層 55 が LOE の底部に接着される。この構成によると、 25° で入射する光線は（この光線は図 9 A では第 1 選択的反射面 22 を 3 つの点で交差する）この反射面を 2 度だけ交差し、1 度だけ点 52 で反射される。このようにして二重反射作用が抑制されうる。なお、厚さ T_{add} の値については、光学システムの FOV 全体において上述のような二重反射作用の発生確率を最低限に抑えられるような値が計算される。例えば、FOV = 24° ; $\text{sur} = 64^\circ$; $\text{in} = 52^\circ$; $v = 1.51$; $T = 4 \text{ mm}$ のパラメータを有する光学システムにおいては、不都合な二重交差作用を完全に抑制するためには膜厚 $T_{add} = 2.1 \text{ mm}$ の層を付加する必要がある。したがって LOE 全体の厚さは 4 mm から 6.1 mm となる。しかしコンバイナが比較的大きく、LOE において機械的強度が要される H U D システムにおいてはこのような厚さの増加は必ずしも欠点とはならない。なお

10

20

30

40

50

、この透明層を L O E の上部又は基板の両側部に取り付けることも可能であり、この場合光学システムの特定条件に忠実に従った構成が実現されうる。このような構成においては膜厚 T_{add} がどんな値をとっても、光線のうちの少なくとも一部は同一の選択的反射面を 2 度反射することとなる。例えば図 10 においては、光線は入射角度 25° で点 52 において選択的反射面 22 を 1 度交差し、ここでは光線のエネルギーの一部が基板外へ結合される。そしてこの光線は入射角度 75° で顕著な反射はなくこの反射面 22 を交差する。なお、ここでは第 1 回目の交差だけが L O E によって形成される画像と関係する。

【 0 0 4 7 】

視角を考慮すると、形成される画像における各異なる部分は、選択的反射面における異なる部分に由来する。図 11 はこの様子を示す。すなわちこの図は上述のような構成を有するコンパクト L O E ディスプレイ・システムの側面図である。ここでは特定の視角を示す 1 つの平面波 56 が選択的反射面 22 のアレイ全体の一部だけを照射する。したがって選択的反射面における各点には名目視角が定義され、反射率はこの角度に応じて設定される。

10

【 0 0 4 8 】

L O E の各選択的反射面のコーティングの設計は以下のように実行されうる。まず各特定角度について所定の瞳 60 の中心から選択的反射面へ光線がプロットされる（スネルの法則による屈折作用を考慮しながら）。ここで計算された方向が名目の入射方向として設定され、コーティングはこの特定視角に関する既知の反射特性を考慮し且つこの方向をも考慮して設計される。したがって各視角について対応反射面からの平均反射率は所望の反射率に非常に近い値となる。また、必要に応じて L O E に膜厚 T_{add} の層を付加することも可能である。

20

【 0 0 4 9 】

なお、L O E において相互異なる選択的反射面を適用することによって以下の 2 つの結果が得られる。まず、パイロットのためのヘッドマウント・ディスプレイなどの透明（シースルー）システムにおいては、ビューアは L O E を介して外部シーンを見られるようするため、選択的反射面の反射率は比較的高く設定されるべきである。ここで反射率係数は全ての選択的反射面において共通ではないため、基板を介して見られる外部シーンの画像が不均等になる恐れがある。しかしここで生じる不均等性は比較的小さいため、多くの場合は無視することができる。一方このような不均等性が問題となる場合においては、基板の外面に補足的な不均等コーティングを付加することにより基板の不均等性を補正し、FOV 全体において均等な輝度の表示を実現することが可能である。

30

【 0 0 5 0 】

これに対してバーチャルリアリティ・ディスプレイなどの不透明システムにおいては、基板が不透明であり、システムの透明性は問題とならない。しかしこの場合上述の構成よりも反射率が高いことが多いため、FOV 全体において均等な輝度表示を実現するのに十分な強度の光が第 1 反射面を通過するような措置を取る必要がある。また、光の極性を考慮する必要もある。上述のような選択的反射面のコーティングにおいては P 分極光がより適切である。コンパクト表示源には、例えばネマチック液晶ディスプレイなど直線的に分極されるものがある。また入射光が反射面に対して S 分極されるように表示源が方向付けられている場合もある。この場合 S 分極光に対応するコーティングを設計するか、あるいは半波プレートを用いて表示源の極性を回転させることが可能である。図 12 に示される例では、表示源 4 から放出される光は直線的に S 分極される。具体的には表示源 4 の極性は半波プレート 62 によって回転され、これにより所望の P 分極光が結合反射面 22 に入射しうる。

40

【 0 0 5 1 】

なお、典型的な透明システムの動作予測を得るために、コンピュータシミュレーションが実施され、投影表示及び外部シーンのそれぞれの輝度が測定された。この例におけるシステムのパラメータは以下のように設定される： $T = 4.3 \text{ mm}$; $T_{add} = 0$; $i_n = 50^\circ$; $FOV = 24^\circ$; $R_{eye} = 25 \text{ mm}$; $v = 1.51$; 表示源は S 分極される

50

; 2つの選択的反射面が設けられる；名目反射率は22%である。図13は所望の名目値に正規化されたシミュレーションの結果を示す。これらのグラフには多少の変動がみられるものの、これらの変動は目接近型装置においては察知されない程度のものである。

【0052】

ここまで説明では、 θ 軸におけるFOVだけが考慮の対象とされてきたが、直交軸におけるFOVをも考慮する必要がある。 θ 軸におけるFOVは選択的反射面の数や大きさに左右されるのではなく、基板に結合される入射波の θ 軸における横寸法によって左右される。 θ 軸における最大実現可能FOVは以下のように表される。

【0053】

【数10】

10

$$FOV_{\max} \approx \frac{D_{\eta} - d_{eye}}{R_{eye} + l / (\nu \sin \alpha_{in})}, \quad (12)$$

ここで D_{η} は基板内に結合される入射波の θ 軸に対する横寸法を表す。

【0054】

すなわち所望のFOVが30°である場合上述と同様のパラメータを適用すると、この横寸法は42mmに規制される。なお、前述の説明において基板内に結合される入射波の θ 軸における縦寸法は、 $S_1 = T \cdot \tan(\alpha_{in})$ によって求められることを示した。基板の厚さが $T = 4$ mmである場合 $S_1 = 8.6$ mmとなる。一般的にLOEの横寸法はその縦寸法の5倍になるとされている。画像アスペクト比が4:3（これは一般的のビデオディスプレイの画像アスペクト比である）であっても、 θ 軸におけるFOVは22°である。所望の横寸法は約34mmであり、これは縦寸法の4倍の寸法となる。このような非対称性は好適なシステムの実現において問題となる。というのはこの場合高値の開口数を有するコリメータレンズ又は大きな表示源が必要となる。いずれにしてもこのような開口数や寸法では所望のコンパクトなシステムを実現することは不可能である。

20

【0055】

図14はこのような問題を解決する手段の一例を示す。ここでは、反射面22のアレイを θ 軸に沿って配置するのだけではなく、 θ 軸に沿って反射面22a、22b、22c、及び22dのアレイを更に配置する構成とする。これらの反射面は基板平面に対して法線方向において θ 軸と θ 軸との2等分線に沿って配置される。なお、これらの反射面の反射率は均等の出力波を実現できるように設定される。例えば4つの反射面が適用される場合、第1反射面22a、第2反射面22b、第3反射面22c、及び第4反射面22dの反射率はそれぞれ75%、33%、50%、及び100%となるべきである。このような構成によって、それぞれが入射光強度の25%である波面のシーケンスを得ることが可能である。典型的にはこのような反射面のアレイはS分極光についても容易に設計される。なお、選択的反射面22a～22dに対してS分極される光は選択的反射面22に対してP分極される。したがって画像の θ 軸における縦方向の拡大がS分極光に左右される場合半波プレートを設けて極性を回転させて θ 軸における横方向の拡大器に結合させる必要性がなくなる。なお、アレイのアセンブリ22及び22a～22dの構成は一実施例に過ぎず、これ以外にも光学システム及び所望のパラメータに基づいて両軸における光波の横寸法を拡大するための構成を適用することも可能であり、以下において他のいくつかの例を示す。

30

【0056】

図15は θ 軸におけるビーム光を拡大するまた別の方法を示す。この構成によると、S分極光について反射面22a、22b、及び22cの反射率は50%であり、反射面22dは単純な100%ミラーに相当する。この構成においては垂直的拡大の横寸法が前述の構成よりも大きくなるが、本実施例による構成は1つの選択的反射コーティングだけを要し、全体的に製造がより簡単である。一般に θ 軸におけるビーム光を拡大する適切な方角は各光学システムにおける特定要件などに基づいて選択される。

40

50

【0057】

対称的なコリメータレンズ6を適用したとすると、反射面22a～22dから反射した後の光波の軸における横寸法は、 $S = NT \cdot \tan(\alpha_{in})$ によって求められ、ここでNは反射面の数を表す。そしてここでの軸における最大実現可能FOVは以下のようになる。

【0058】

【数11】

$$FOV_{\max}^n \approx \frac{S_{\eta} - d_{eye}}{R_{eye} + l/(\nu \sin \alpha_{in})} = \frac{NT \tan(\alpha_{in}) - d_{eye}}{R_{eye} + l/(\nu \sin \alpha_{in})}. \quad (13)$$

10

なお、反射面のアレイ22a～22dは目に接近した場所に配置されうるため、反射面間の距離lは前述の実施例よりも小さくなることが予想される。例えばl=40mmであるとし、パラメータがT=4mm; N=4; $\alpha_{in}=65^\circ$; $R_{eye}=25mm$; $\nu=1.5$ であるとすると、FOVは以下のようになる。

【0059】

【数12】

$$FOV_{\max}^n \approx 30^\circ \quad (14)$$

20

これは前述の例において得られた値よりも更に好適である。

【0060】

図16は、二重LOE構成を適用してビーム光を両軸において拡大するまた別の方法を示す。ここではまず入力波が第1反射面16aによって第1LOE20a内に結合され、そして軸に沿って伝搬される。選択的反射面22aは光を20a外へ結合し、その後この光は第2反射面16bによって第2LOE20b内に結合される。そしてこの光は軸に沿って伝搬され、その後選択的反射面22bによって20b外へ結合される。ここで示されるようにもとのビーム光は両軸において拡大され、この全体的な拡大は素子16a及び22bそれぞれの横寸法の比によって確定される。なお図16に示される構成は、二重LOE設計の単なる一例に過ぎず、これ以外にも2以上のLOEを組み合わせた複雑な光学システムの構成を適用することももちろん可能である。例えば3つの基本色のそれぞれに対応するように設計されたコーティングを具備する3つの異なる基板を組み合わせて3色ディスプレイ・システムを実現することも可能である。この場合各基板はその対応色以外の色に対しては透過性を有する。このようなシステムは例えば最終画像を形成するために3つの異なる単色表示源の組み合わせを要する構成などにおいて有用である。なお、これ以外にも複数の基板を組み合わせてより複雑なシステムを形成する構成例は多数ある。

30

【0061】

また、更に考慮すべき点として、システムの輝度がある。これは好適なコントラスト比及びコンバイナを介して好適な観察を実現するために表示の輝度と外部シーンの輝度とが対応することが望まれる透明システムにおいて特に重要である。なお、システムにおける挿入損失が微小であることをほとんどのシステムにおいて保証することは不可能である。例えば上述の図14の実施例による4面コンバイナにおいては、要求される軸におけるビームの拡大によって光波の輝度は4分の1に低減される。一般にN枚の反射面を適用する場合光波の輝度はNの分数によって低減される。基本的に高輝度表示源を適用することでこのような問題は回避可能であるが、このような対策には実際においては限界がある。というのはこのような高輝度の表示源は非常に高価であるだけでなく、高電流を要するため電力消費量も大きい。更にほとんどのディスプレイにおいては実現可能な輝度に限度がある。例えば小型ディスプレイの表示源として現在最も普及していると思われる伝送LCDにおいては、ディスプレイの解像度やコントラスト比を劣化させるフレアなどの悪影響を回避するためにバック照明光力に限度が設定されている。したがって表示源からの利用

40

50

可能な光の使用を最適化するために他の手段が求められる。

【0062】

ビューアの目に到達する表示の輝度を改善するための1つの方法として、ビューアのEMB(eye-motion-box)に応じてLOEにおける反射面22の反射率を制御する方法がある。図11に示されるように、選択的反射面22のアレイ全体の各反射面は、それぞれFOV全体における一部分によってのみ照射される。例えば図11における右側の面22aの反射率はFOVの右側部分に対しては高めの反射性を有するように設定され、FOVの左側の部分に対しては可能な限り低い反射率に設定されることが可能である。また、左側の面22bはFOVにおける左側部分に対して高い反射率を有するように設定されることが可能である。なお、このような設定方法を2次元拡大システムにおいて適用することも可能である。例えば、図16においてが縦軸に相当する仮定すると、反射面22の反射率は下部の反射面はFOVの下部に対して高い反射率を有し、FOVの上部に対しては可能な限り低い反射率を有し、上部の反射面はFOVの上部に対して高い反射率を有するように設定されることが可能である。したがってRを基板内結合面16aの面積と基板外結合面22bの面積との比を表すとすると、横拡大による輝度の低減の因数はRよりも小さくすることが可能である。

10

【0063】

システム全体の輝度を改善するまた別の方法として、入力パワーを変化させることなく表示源の輝度を制御する方法がある。図11に示されるように、反射ミラー16によって基板20に結合されるエネルギーの大部分は瞳60付近に反射される。なお、実現可能輝度を最大限にするためには表示源からの光のほとんどが基板に結合されることが望まれる。

20

【0064】

図17は表示源として伝送LCDを適用する基板モードディスプレイの一例を示す。光源64から発される光はレンズ66によってコリメートされ、LCD68を照射する。LCD68からの画像はコリメートされて、光学素子70によって基板20に結合される。図18はコリメータ/折りたたみ式レンズ70の光学レイアウトを示す。図19は基板20に結合される光のレンズ70の表面72における形跡を示す。通常ほとんどの表示源においてはランベルトの法則に基づく光の均等拡散がみられる。すなわち光のエネルギーは2ステラジアンの角度スペクトル全体において均等に分散される。しかし図18及び図19に示されるように基板20内に結合される光はこのような表示源から発される光のごく一部にすぎない。表示面の各点光源からは20~30°の円錐範囲内の光だけが実際に表面72を照射して基板20に結合される。したがって表示源から発される光がこの円錐範囲内に集中されると、輝度の上昇が実現されうると考えられる。

30

【0065】

このような点光源の照射方向特性を実現する方法として、LCDのための専用の選択的拡散器を適用する方法がある。一般的の拡散器は光を前方向に均等に拡散する。これに対して選択的拡散器は各点光源からの光が所望の角度円錐内に発散されるようにすることができる。この場合LCD表面の照射パワーを変更せずに輝度を上昇させることが可能である。20~30°の円錐の場合。各点光源からの光の発散角度は、ランベルト光源のステラジアンに対して50以上の因数によって低減され、光の輝度はこの因数分だけ上昇する。したがって最小限の設計及び製造の調整によってシステムの電力消費量を増加させることなくシステムにおける輝度の改善を実現することが可能になる。

40

【0066】

また、LCDへの適用のみならず他の表示源にも適用されうる別の対策法として表示源のピクセルに対して整列されたマイクロレンズを用いる方法がある。ここではマイクロレンズによって各ピクセルから発される発散ビームが所望の円錐内に発散されるようにその発散角度が狭められる。実際にはこの方法はピクセルの充填比の値が小さい場合のみ効果的である。この方法の改善された例として、各ピクセルが所望の角度範囲内に光を発散するようにピクセルアレイにおける各ピクセルの発散分布機能を設定する方法がある。

50

例えばO L E Dディスプレイにおいては、個々のL E Dの発散角度を拡大させて視野を広めるような措置が取られている。しかし本実施例によるL O Eディスプレオ装置においては、システムの輝度を最適化するためにこのような発散角度を約20~30°の範囲にとどめておくことが好適である。

【0067】

上記図14及び図15の例を参照に説明されるように、システムの大きさをさほど拡大させることなく縦方向におけるF O Vを拡大することが可能である。しかしこのような対策だけでは不十分の場合もある。これには例えば非常に広いF O Vを要し、且つ基板内結合用反射面16と基板外結合用反射面22との間の距離1が制限されている構成などが該当する。図20は、以下のパラメータを有する非折りたたみ式（開いた）光学システムを示す。 $l = 70\text{ mm}$; $T = 4\text{ mm}$; $\text{in} = 65^\circ$; $\text{Reye} = 24\text{ mm}$; $v = 1.5$; $\text{EMB} = 10\text{ mm}$; 所望の縦方向F O V = 42°。ここでEBM74からの光線をたどると、この光線は面外光学素子22上のEMBの投影部を通過していて、ここで76、78、及び80それぞれF O Vの上位、中間、及び下位の角度の投影部であることがわかる。これはすなわち所望のF O Vを得るために内結合口径（アーチャ）82は65mmであることが要される。よってアーチャが大きくなり、その結果基板が薄膜基板に形成されてもシステム全体の大きさが拡大してしまうこととなる。逆に40mmのより小さなアーチャ84が適用された場合実現可能なF O V86は23°に低下してしま位、これは所望のF O V42°の約半分である。

10

【0068】

図21は上記の問題の解決法の一例を示す。ここでは単純な長方形のプレート20を適用するのではなく、プレートの2つの横端エッジに2対の平行反射面88a、88b及び90a、90bを設ける構成とする。このような構成によると、F O Vの中央部分は以前と同様に直接アーチャ84を介して投影されるが、F O Vの下位部分からの光は反射面88a、88bで反射され、F O Vの上位部分からの光は反射面90a、90bで反射される。なお、典型的には基板内に閉じ込められる光線と反射面88、90との間の角度は全反射を影響するのに十分な大きさの角度であるため、これらの反射面に対しては特に専用の反射コーティングを適用する必要はない。全ての光線は入力アーチャから直進しているか、あるいは1対の平行面に2度反射してから進んでいるため、各光線のもとの方向性を維持することができ、もとの画像は影響されることはない。

20

30

【0069】

なお、反射面88aで反射された各光線がアーチャ84にぶつかる前に必ず反射面88bでも反射されるように設定することは非常に重要である。これを保証する対策として2つの光線バスをチェックする方法がある。点94で反射面88aに入射する境界角度92のマージン光線は反射面88bと反射面90aとの交差点の右側において反射面88bにぶつかる必要がある。また、反射面88aと反射面90bとの交差点の隣接点において反射面88aに入射するマージン光線96はアーチャ84を交差する前に反射面88bにぶつかる必要がある。マージン光線92及び96はともそれぞれの要件を満たすため、反射面88aに入射されるF O Vからの光線は全て反射面88bにもぶつかることが保証されうる。ここで示される例ではF O Vが42°の構成において入力アーチャ84の寸法が40mmに縮小されうる。なお、距離1が非常に大きい場合は好適な入力アーチャを維持しながら所望のF O Vを得るために2対以上の反射面対のカスケイドを適用することも可能である。

40

【0070】

なお、図21に示される実施例は本実施形態による方法の適用例の1つを示すだけであって、これ以外にも様々な適用が可能である。所定のF O Vを要するシステムにおいてシステムのアーチャを縮小する、あるいは所定のアーチャに設定されるシステムにおいて利用可能F O Vを拡大するために平行反射面の対を適用する構成は基板モード光学システムへの適用に限定されることはなく、その他にもヘッドアップディスプレイや、エピスコープ、ペリスコープなどのフリースペースシステムや、その他様々な光学システムに適

50

用されることが可能である。

【0071】

図21の例を参照して説明されるように、基板の入力アーチャの横寸法は 軸に沿って40mm、 軸に沿って8.5mmである。図22A及び22Bは図14及び15に実施例に係る別の対策法を示す。この方法においては、対称コリメータレンズ6と非対称入力アーチャとの間の調整を行う。入力アーチャの横寸法はそれぞれ2つの軸に沿ってD及びD4であるとする。アーチャ2Dのレンズ6が基板に画像をコリメートする。コリメートされた光の前半はミラー16aによって基板内に結合される。2対の平行反射面22a、22b及び22c、22dはこの結合された光を外へ分岐し、そしてまたもとの方向に戻るように反射させる。コリメートされた光の後半は基板20を通過し、プリズム99によって折り返され基板の方へ戻る。第2ミラー16bは折り返された光を基板20に結合する。そして入力アーチャの横寸法は2つの軸に沿ってそれぞれD及び4Dとなる。

10

【0072】

図22に示される方法を適用することにより以下のような効果が得られる。まずシステムは 軸に沿って対称になり、更に光の強度の損失がなくなる。なお、この方法は単なる一例に過ぎず、対称入射ビームを非対称結合光ビームに変換する方法としてはこれ以外にも様々な方法を適用することが可能である。 軸に沿って画像を拡大するための適切な構成を選定するにはシステムの仕様を慎重に分析する必要がある。

20

【0073】

一般に上記において検討された光導体光学素子の各種構成例は、表示装置に適用され從来のコンパクト光学素子に比べて以下のような利点を有する。

1) 入力表示源は基板と接近した位置に配置されうるため、光学システムの全体構成が非常にコンパクトで軽量に設計されることが可能で、圧倒的に有利なフォームファクタを実現可能である。

2) 他のコンパクト・ディスプレイ構成とは異なり、本発明はアイピースに対する入力表示源の配置を自由にする。この自由度及び表示源を拡大基板の近辺に配置できるという特徴により、他のディスプレイ・システムで適用されている軸外光学構成を適用する必要性が低減される。さらにLOEの入力アーチャは出力アーチャの活性領域よりも遙かに小さいため、コリメータレンズ6の開口数は一般的の画像形成システムのものに比べて小さく設計できる。その結果より好都合な光学システムを実現することが可能になり、軸外光学及び高開口数のレンズに起因する視野や色収差などの各種問題を比較的簡単且つ効率的に補償可能である。

30

3) 本発明における選択的反射面の反射係数は対応するスペクトル全体において気字本的に均一である。したがって表示源として単色及び多色光源のいずれを適用することも可能である。またLOEの波長依存性は無視できる程度のものであるため、高画質且つ高解像度のカラー表示を実現することが可能である。

4) 入力表示からの各点は平面波に変換され、反射アレイにおける比較的大きな部分から反射されてビューアの目に映されるため、目における正確な位置に対する公差が著しく緩和されうる。よってビューアは視野(FOV)全体を見ることができ、EMB(eye-motion-box)は他の一般的コンパクト・ディスプレイに比べて大きく設定することが可能である。

40

5) 表示源からの光エネルギーの大部分が基板内に結合され、この結合された光エネルギーの大部分が再生利用されてビューアの目に結合されるため、電力消費量の低い表示源であっても、比較的高い輝度の表示を実現することが可能である。

【0074】

図23は本発明の一実施形態として、LOE20がメガネフレーム100に組み込まれる構成を示す。ここではLOE20のエッジのすぐ隣に配置されるメガネフレームのアーム部102内に表示源4、コリメータレンズ6、及び折りたたみレンズ70が組み込まれる。表示源が小型CRT、LCD, OLEdなどの電子素子である場合は表示源の駆動工

50

レクトロニクス 104 はアーム部 102 の後部に組み込まれることが可能である。また、電源及びデータインターフェース 106 がリード 108 又は無線や光学伝送などを含むその他の通信手段によってアーム 102 に接続されることが可能である。また電池及び小型データリンクエレクトロニクスをメガネフレームに搭載することも可能である。

【0075】

上記の実施形態は、透明型システム及び不透明型システムのどちらを適用することも可能である。後者の場合、LOE の前方に不透明層が配置される。なお、ここでは LOE 全体を遮断する必要は無く、典型的には表示が映される活性領域を遮断すればよい。このような構成によるとユーザの活性領域以外での外周視界は遮断されずにそのまま維持され、ここではコンピュータまたはテレビ画面での視界が再現され、この外部視界は重要な認知機能として作用しうる。また、システムの前部に可変フィルタを設け、ビューアによって外部シーンから発される光の輝度が制御されうるようになることも可能である。この可変フィルタは折りたたみフィルタなどの機械的制御デバイス、2つの回転偏光子、電子的制御デバイスや、自動デバイスなどの形を取ることが可能であり、ここではフィルタの透過性が外部背景の輝度によって左右される。

10

【0076】

なお、このような実施形態における具体的な LOE の適用法は適宜変更されることが可能である。このうち最も単純な方法としては、1つの目に対して1つの素子を適用する方法がある。また別の方法として、それぞれの目的ために光学素子と表示源とを適用する方法がある。また別の方法として、同一画像における2つの異なる部分を投影し、ここで2つの目の間の若干の重複を許容することでより広い FOV を実現する方法もある。また、2つの目それぞれに対して異なるシーンを投影して立体画像を実現することも可能である。このような方法の適用により、3D 映像、アドバンス・バーチャルリアリティ、トレーニングシステムなど様々な実施が可能となる。

20

【0077】

なお、図 23 の実施形態は本発明の単純な適用例の1つに過ぎない。むしろ本発明の実施形態によるシステムにおける主要部分を構成する基板誘導型光学素子はコンパクトで軽量であるため、実際に様々な構成に適用されることが可能である。例えば、本実施形態は上記実施例以外にもバイザー、折りたたみディスオプレイや、単眼鏡などに適用されることが可能である。なお上記実施形態は、ディスプレイが目接近型のものである場合に適する構成であり、例えば光学システムはヘッドマウント・システム。ヘッド着用システム、またはヘッド保持システムなどに適用される。しかしディスプレイが上述のように目に接近した位置に配置されない構成も考えられる。この例としては、携帯電話などの移動通信手持ち式デバイスがある。このようなデバイスは近い未来には、ビデオ電話、インターネット接続、Eメールへのアクセス、高画質テレビ衛星放送の伝送など現在の大画面における解像度相当の解像度を要する動作を実行することが予想されている。現在の技術で小型ディスプレイを携帯電話に搭載することは可能であるが、現段階においてこのようなディスプレイの表示能力は限られていて、低画質のビデオデータや、インターネットまたはEメールデータを数行ずつビューアの目に映すことしかできない。

30

【0078】

図 24 は本発明の実施形態によるまた別の方法を示し、ここにおいては高画質の画像をユーザの目に直接投影することにより従来技術における携帯式デバイスのコンパクト性と、デジタルコンテンツをフルフォーマット表示で見る要望との駆け引きの問題を解消しうる。個々では表示源 6、折りたたみ / コリメータ光学素子 70、及び基板 20 を有する光学モジュールが携帯電話 110 の本体に搭載され、この基板 20 がこの電話の既存の保護カバーウィンドウの代わりとなる。すなわち表示源 6 及び光学素子 70 を含む支持構成要素の大きさは現代の携帯電話機器内に挿入可能な程度の大きさにとどめられている。このような機器によって伝送されるフルスクリーン表示を見るためにユーザは自らの目 24 をこのウィンドウの前に置いて広い FOV、大きな EMB、及び快適な射出瞳距離で画像を好適条件下で見られるようにする。また、当該機器を傾斜させて画像の異なる部分を表示

40

50

することでより大きな射出瞳距離で F O V 全体を見ることができる。更に光学モジュールは透明システムにおいても動作可能であるため、当該機器において二重動作形態を実現することも可能である。すなわち従来からのセルディスプレイ 1 1 2 の機能をそのまま維持することも可能である。このような構成によると、表示源 6 がオフ状態であるときは L O E を介して通常の低解像度表示を見ることができる。そして E メールの閲覧、インターネットサーフィン、またはビデオ操作などに対応する第 2 モードでは通常のディスプレイ 1 1 2 がオフにされ、表示源 6 が L O E を介して所望の広い F O V の画像をビューアの目に投影する。なお、図 2 4 に示される実施例は本実施形態による方法の適用の一例に過ぎず、これは本発明の実施形態をヘッドマウント・ディスプレイ以外の構成に適用可能であることを示す。上記の例以外で本実施形態の適用対象となる手持ち式デバイスの例としては、手のひらサイズコンピュータ、リストウォッチに搭載される小型ディスプレイ、クレジットカード同様の寸法及び重量を有するポケットディスプレイなどがある。

10

【 0 0 7 9 】

なお、上述の実施例は單一眼の光学システムに相当する。すなわち画像は 1 つの目に投影される。しかしこれ以外にも例えばヘッドアップ・ディスプレイ (H U D) など両目に画像を投影することが望まれる構成もある。従来では H U D システムは主に高等戦闘機や民間飛行機などへの適用に限定されていた。しかし最近ではこのような H U D システムを車の運転手の前に置き、運転のナビゲーション補助をさせ、または視界不良の際にドライバーの目に熱映像を投影することが提案されている。現在の航空宇宙産業の H U D システムは非常に高価であり、1 つのシステムでさえ約数 1 0 0 から数 1 0 0 0 ドルにまで及ぶ。更にこのような既存のシステムは大きく、重く、かさばって、小型飛行機や車などへの搭載は厄介であるため、不都合であった。しかし H U D を L O E ベースにすることにより限られた空間内にも搭載可能であるコンパクトな内蔵型の H U D を実現可能ある。また、このような構成により、 H U D に関連する光学システムの構築及び製造が簡素化されうるため、現在の航空宇宙産業の H U D システムを改善できるのと同時に自動車産業用のコンパクトで安価な消費者向けの H U D を導入することも考えられる。

20

【 0 0 8 0 】

図 2 5 は本発明の一実施形態に基づく H U D システムを実現する方法を示す。ここでは表示源 4 からの光がレンズ 6 によって無限遠にコリメートされ、第 1 反射面 1 6 によって祈願 2 0 に結合される。そして第 2 反射アレイ (非図示) での反射後、光波は第 3 反射面 2 2 にぶつかり、これにより光は外へ結合されてビューアの目 2 4 に投影される。このシステムは全体的に非常にコンパクトで軽量に設計されうる。具体的には厚さ数ミリの大きいポストカードのサイズ程度に設計されうる。数平方センチの堆積を有する表示源は基板の一角に取り付けられ、電気ワイヤが電力及びデータをシステムに提供する。なお、本実施例による H U D システムの搭載の難度は単純な商用オーディオシステムを搭載する際の難度と同程度であると予想される。また、画像投影のために外部表示源が不要であるため、危険箇所に構成要素を取り付ける必要性が排除される。

30

【 0 0 8 1 】

H U D システムの射出瞳は典型的にはヘッドマウント・システムの射出瞳よりも大きいため、所望の F O V を得るために図 1 4 ~ 1 6 の例のように 3 アレイ構成を適用することが好適であると予想される。しかし縦 F O V が小さいシステムや、縦 L E D アレイを表示源として適用するシステム、平行反射ミラーの対を利用するシステム (図 2 1 参照) などの特種の構成例においては 2 アレイ構成で所望の F O V を十分実現可能である場合もある。

40

【 0 0 8 2 】

なお、図 2 5 に示される実施形態による方法は車両用の H U D システム以外の他の構成においても適用可能である。この一例として、上記方法をコンピュータやテレビのフラットディスプレイに適用することが考えられる。このようなディスプレイの主な特徴としては、ここで形成される画像はスクリーン平面に位置づけられるのではなく無限遠またはその他の好適な距離にフォーカスされる。既存のコンピュータ・ディスプレイの主な欠点と

50

して、ユーザはディスプレイから 40 ~ 60 cm と非常に近い距離で目をフォーカスさせなければならない。これに対して健全な目の自然フォーカスは無限遠の位置である。したがって多くのユーザは長時間コンピュータの操作を行うことから頭痛などに悩まされる。また、コンピュータを頻繁に利用するユーザの多くは近視になる。更に近視及び遠視の両方に悩まされるユーザはコンピュータを操作するのに特殊のメガネを必要とする。本発明の一実施形態によるフラットディスプレイは上述のような問題に悩まされるユーザであってヘッドマウント・ディスプレイを利用することを望まないユーザにとって好適な解決案となり得る。更に本実施形態においてはスクリーン画面の物理的サイズを大幅に削減することが可能である。LOE によって形成される画像は装置よりも大きいため、より小さなフレームに大きなスクリーン画面を搭載することが可能である。このような技術は特にラップトップコンピュータやパームトップコンピュータなどの移動式機器の分野において重要となる。

10

【0083】

なお、大きな表示 LOE を適用することによって発生しうる問題として、輝度の問題がある。コンパクト性の観点からは小型の表示源を適用することが好適である。しかしこの場合光源における活性照射領域に比べて LOE の活性照射領域が著しく拡大するため表示の輝度が低下してしまう。したがって上述の対策を採用した後でも不透明システムにおいては輝度の低下が予想される。このような輝度の低下は、光源の輝度を上昇させるか、あるいは 1 以上の光源を適用することによって対処可能である。後者の方法では LOE が表示源のアレイとこれらの対応コリメータレンズによって照射されることが可能である。図 26 はこのような方法の一例を示す。ここでは表示源アレイ 4 の表示源 4a ~ 4d のそれぞれから同一画像が生成され、ここから対応するコリメータレンズアレイ 6 のレンズ 6a ~ 6d によって単一のコリメート画像が形成され、これが反射面 16 によって LOE 20 内に結合される。一見このシステムは高価であると思われるが、ここでの構成要素の数の増加及び特殊エレクトロニクスでソース画像を連動させる必要性から生じるシステムのコストの上昇は、マイクロディスプレイ自体の安さ、及びコリメータレンズの開口数を縮小できるという要因によって相殺されうる。またこのような構成では、横方向の拡大器を設ける必要性がないため、一次元の画像拡大 LOE を適用して、表示輝度を上昇することが可能である。なお、このような構成においては、複数の表示源が必ずしも同一構成である必要はない。以下においてそれぞれ異なる表示源を適用するより複雑なシステムの仕組みを説明する。

20

【0084】

また、本発明の実施形態による LOE ディスプレイは従来のフラットパネル・ディスプレイに比べてより平坦な形状を有するという利点を有する。また、本実施形態はより指向的な視角によっても特徴付けられる。というのは LOE ディスプレイは従来のフラットパネル・ディスプレイに比べてより限定された角度範囲から見られることが可能である。一人のユーザが単独でシステムを操作する場合はこのような限定された EMB で十分であり、またこのような構成により場合によってはプライバシーを保護できるという利点もある。

30

【0085】

更に LOE ベースのスクリーン画面の画像は表示面から離れた背面に位置づけられ、物理的表面には結合されない。したがってこうして形成された画像を見るのは窓を通してこの画像をみるのと同様な体験となる。この構成は特に三次元表示において好適である

40

情報技術の発展に伴い 3D ディスプレイの需要が高まっている。現に多くの 3D 表示関連機器が既に市場に出回っている。しかし現在の市場で入手可能なシステムでは、ユーザは左目及び右目のそれぞれのために画像を分離するための特殊装置を着用する必要がある。このよう視覚補助システムは多くの専門分野においては確立している技術である。しかしこのような技術を更に幅広い分野に普及させるためには視覚上快適さが向上され、二眼性視覚により近似するように適応された自由視覚システムを実現する必要がある。この問題に対する現在の取り組みの多くはまだ様々な欠点を有し、特に画質や視覚上快適さなど

50

の観点においては一般的の2D表示に比べて著しく劣っている。

【0086】

図27A及び27Bはそれぞれ本発明の一実施形態に基づく3Dディスプレイの構成例を示す正面図及び平面図である。ここでは1つの表示源を適用する代わりにn個の異なる表示源 $114_1 \sim 114_n$ からなる表示源アレイ 114 が基板20の下位部分に配置される。ここで各表示源はそれぞれ異なる視点から得られた同一シーンの画像を投影する。なお、各表示源からの画像は図26の例と同様な方法で基板内に結合される。ビューアが表示を観察する際、右目24a及び左目24bはそれぞれ表示源 114_i 及び 114_j から投影される画像を見ることとなる。したがってビューアは左右の目で同一画像を異なる視点から見ることとなる。このような体験は窓を介して実際の3Dオブジェクトをみるのに近似する体験である。図28a～28bに示されるように、ビューアが視界を横方向に移動させた場合、このビューアの目はそれぞれ異なる表示源 114_k 及び 114_l から投影される画像を見ることとなる。この動作は窓から外部シーンを見る間に頭を横に動かす動作と近似する効果が得られる。また、図29a～29bに示されるようにビューアが視界を縦方向に移動させた場合、ビューアの目は以前よりも低い位置に配置されていた画面上の点を見る。これらの点は表示源 114 により近い位置に配置されるため、ビューアは異なる表示源 114_g 及び 114_h から発される画像をみることとなり、これらの表示源はアレイ 114 の中心により近い位置に配置される表示源に相当する。その結果この視覚体験は、ビューアが窓により接近したシーンを見るのと同様のものである。このようにして基板を介して観察されるシーンは3Dパノラマ画像として観察され、ここでシーンの下位部分が上位部分よりもビューアに近いように見えるように設定される。

10

20

30

40

50

【0087】

なお図27～29において示される実施例も本実施形態による方法の適用の一例に過ぎず、これ以外にも本実施形態による方法を適用して異なるアーチャ、視点の数の3Dディスプレイを実現するも可能である。

【0088】

本発明の又別の実施形態としてはテレビのアナウンサや解説者にテキストを投影するためのテレプロンプターへの適用がある。なお、テレプロンプターは透明であるためアナウンサは実際には投影されるテキストを読み上げているにもかかわらず、視聴者からはアナウンサが彼らと目を合わせているように見える。テレプロンプターはLOEを用いて光学アセンブリに取り付けられる小型の光源を具備しうる。このようにして装置の近辺に大きな画面を配置する必要性がなくなる。

【0089】

また更なる実施形態として、本発明はPDAの画面に適用されることも可能である。現在使用されている一般的の画面のサイズは10cm未満である。このディスプレイの表示を読むためにこの装置から離れる最小距離は約40cmであり、実現可能FOVは15°以下である。したがってこれらの表示における特にテキストなどの情報コンテンツは制限されている。なお、図24の実施例を適用することで投影FOVを拡大することが可能である。ここでは画像は無限遠でフォーカスされて、画面はby-あの目にもっと接近されることが可能になる。更に各々の目は全体視野(TFOV)におけるそれが中心において重複する異なる部分を見るため、TFOVは更に拡大されることが可能である。したがってFOVが40°以上のディスプレイが実現可能となる。

【0090】

上述の実施形態においては基板20によって伝送される画像はCRTやLCDなどの電子表示源から発される。しかし例えば生のシーンを光学システムに結合することが要される場合、伝送される画像は生のシーンの一部に相当することも可能である。

【0091】

図30はこのような構成を要するスターライト増幅器(SLA)116を示す。ここでは外部シーンの画像がコリメータ118によってSLA内にフォーカスされ、合成画像を生成するために画像の電子信号は増幅され、この合成画像はアイピース120を介してビ

ユーザの目に投影される。ここで示される構成は軍事、準軍事及び民間のアプリケーションのイ置いて比較的確立している構成である。しかしこのような構成はユーザの前方に突出しているため長時間使用されるヘッドマウント・システムなどへの適用には不都合である。また、このような構成は比較的重く、ユーザの近辺にあるオブジェクトと衝突する危険性を秘めている上にユーザの頭や首に負担を掛けることとなる。

【0092】

したがって図31はより好適な構成を示す。ここでは装置はユーザの前面に配置されるのではなく、頭の側面に配置される。ここでSLAの重力の中心は頭の主要軸に対して整列される。そしてこの装置の方向は図30の例と反対方向になる。すなわちコリメータ118は後側に配置され、アイピース120が前側に配置される。ここで前方の外部シーンの画像はまた別のLOE20bによってコリメータ118に結合される。この実施例では元の装置に2つの光学素子20a及び20bが追加されるが、これらの素子の重量はSLAの重量に対して僅かであって、この実施例の全体的構成は前例の構成に比べてはるかに好都合である。さらにこれらの装置の搭載公差はそれほど厳しくはないため、上記2つの素子をモジュールとして構成し、搭載位置からシフトされ、さらにはユーザによって取り外されるようすることも可能である。このようにしてSLAは場合に応じてヘッドマウント動作のためにはLOEを搭載して、また一般の銃サイトやその他の狙撃装置においてはLOEモジュールを適用しない再構成されうる。また、LOEをシフトし、目の位置に調節するなどの操作を可能にすることもできる。

10

【0093】

上述の実施形態においては、LOEは画像形成を実行する際に光波を伝送するために適用される。しかし本発明は画像形成装置に適用されるだけでなく、主に照明システムなどの非画像形成装置にも適用されることが可能である。この場合出力波の光学的質は重要なパラメータにはならず、むしろ光の強度及び輝度の均一性が重要なパラメータとなる。本発明は例えばLCDシステムなどのフラットパネル・ディスプレイのバック照明などに適用されることが可能である。このようなシステムでは画像を形成するためにできるだけ均等な輝度の光でプレートを照明することが求められる。また別の適用例として、例えば平坦で安価な部屋用照明の代用や、フラッドライト、指紋スキャナの照明器、3Dディスプレイ・ホログラムの読み出波などがある。

20

【0094】

本発明の照明装置への適用例のうち、LOEデバイスを用いることで相当改善されうるものとして反射LCDがある。図32は表次源が反射LCDに相当する基板モードディスプレイの一例を示す。ここでは照明部122によって生成される光が偏光子124を通過して、レンズ126によってコリメートされ、偏光ビームスプリッター128によって反射され、LCD130を照射する。LCD130から反射される光の極性は1/4波長プレートまたはLCD材料自体によって90°回転される。LCDからの画像はこうしてビームスプリッターを通過してレンズ132によってコリメートされ、基板20上に反射される。ビームスプリッターの構成により、照明システム全体が大きく厄介となり、ヘッドマウント・システムのためには十分コンパクトではない。またビームスプリッター128が設けられるため、コリメータレンズ132は表次源からさらに遠くに配置され、一方でフィールドレンズは収差を最小限にするためにできるだけ表示源の近くに配置されることが要される。

30

【0095】

図33は照明セットアップの改善例を示す。ここでは光源122からの光がまた別のLOE134に結合される。このLOE134はLCD130の表面を照射する。この表面の選択的反射面は偏光に敏感である。図33の構成は全体的に図32に示される構成よりもはるかにコンパクトであり、レンズ132はよりLCD表面の近くに配置される。さらにLOEの入力アーバーチャはビームスプリッター128のアーバーチャよりもはるかに小さいため、コリメータレンズ126は前例よりも小さく設計可能で、よって大きなf数を有する。なお図32に示される照明システムは一例に過ぎず、これ以外にも反射または透過

40

50

L C D を照射するための構成、またはその他にも光学システムの仕様及び所望のパラメータに対応する照明構成も可能である。

【 0 0 9 6 】

なお、さらに考慮すべき重要な点として L O E の製造過程がある。この構成の特徴の 1 つに選択的反射面 2 2 のアレイにある。図 3 4 は選択的反射面のアレイを製造する方法の一例を示す。ここでは複数の平坦プレート 1 3 8 が所望のコーティング 1 4 0 で覆われ、そしてこれらのプレートは相互に付着され、積層スタック 1 4 2 を形成する。そしてこのスタックから 1 セグメント 1 4 4 が切り取られ、これが研磨されて所望の反射面のアレイ 1 4 6 が形成される。このアレイが他の素子と組み合わされて L O E が形成される。なお、コーティングされるプレート 1 3 8 の実際の大きさ及び L O E の所望の大きさによってセグメント 1 4 4 は 1 以上のアレイから構成されることも可能である。図 4 ~ 7 に示されるように選択的反射面のコーティングは、 L O E の的確な動作を保証するために特定の角度及びスペクトル応答を有すべきである。したがって L O E を最終的に製造する前にコーティングの実際の性能を的確に測定することが重要となる。上述のように、コーティングは 2 つの測定すべき角度領域を有する。これらはすなわち反射率が非常に低い高入射角度領域（通常 60 ~ 85 °）及び表面の反射率が閉じ込められた波の一部を L O E 外へ結合するために用いられる低入射角度領域（通常 15 ~ 40 °）。このようなコーティングの試験工程の問題点として、現在の試験装置では高い入射角（通常 60 度以上）において 2 つの透明プレート間のコーティングの反射率（または透過率）を測定するのが困難である。

【 0 0 9 7 】

図 3 5 は高い入射角におけるコーティングされた表面 1 5 0 の反射率を測定する方法を示す。まず 2 つの角度 のプリズム 1 5 2 がコーティングされたプレートに付着される。入射ビーム 1 5 4 入射角 でコーティングされたプレートにぶつかる。このビームの一部 1 5 6 はもとの方向で進み続けここではその強度 T_1 が測定される。外面からのフレスネル反射を考慮して測定されるコーティングの角度 での反射率は $R_1 = 1 - T_1$ として計算されうる。さらにビームの残りの部分はコーティングされた面から反射され、さらに全反射により下側のプリズムの外面から反射され、角度 3 でコーティングされた面にぶつかり、角度 で上側プリズムの外面によって全反射によって再度反射され、そして角度 でコーティングされた面によって反射され、プリズムから外へ結合される。ここで出力ビーム 1 5 8 の強度が測定されうる。フレスネル反射を考慮して、この出力ビームの強度は $(R_1)^2 * T_3$ である。したがって前工程から反射率 R_1 を知っていることにより、これに応じて角度 3 での反射率を計算することができる。試験装置によっては出射ビームが入射ビームと同軸に位置していることを要するものがある。図 3 6 はビームを元にビームに移行するための折りたたみプリズム 1 6 0 を示す。もとの光線 1 5 4 の残留成分は適当なマスクまたは遮断層 1 6 2 を用いて遮断されうる。

【 0 0 9 8 】

各プリズムの対は 2 つの角度（ 、 3 ）での反射率を測定することができる。例えばヘッド角度が 25 度である場合 25 度及び 75 度での反射率が同時に測定されうる。したがってコーティングされたプレートを適正に測定するために要されるプリズムの数は少数ですむ（ 2 ~ 3 ）。ここで示される構成は必要に応じて異なる波長及び 2 つの異なる極性におけるこれら 2 つの角度の反射率を測定するのに適用されうる。

【 0 0 9 9 】

なお、同業者には自明であるように、本発明は上述の具体的実施例に限定されることはなく、本発明の範囲を逸脱することなくこれ以外の実施を実現することは可能である。したがって上述の実施例は非限定的な例として提示されるものとみなされ、本発明の範囲はこれらの実施例には限定されず、請求項及びこの均等物によってのみ規定されうる。

[付記]

付記（ 1 ）：

2 以上の相互平行の主要面及びエッジを有する光透過性基板、

全反射により前記基板内に光線を結合するための光学手段、及び

10

20

30

40

50

前記基板内に配置される1以上の部分的反射面から構成される光学装置であって、前記基板内に結合される光線で前記基板内において同一の軸外角度を有する光線は前記部分的反射面に対して2つの異なる入射角度で交差することを特徴とする光学装置。

付記(2)：

前記結合された光線は2以上の異なる入射角度で前記部分的反射面に対して2度以上交差することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(3)：

前記2つの異なる入射角度のうちの一方は他方の角度よりもかなり小さいことを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(4)：

前記部分的反射面は角度スペクトルの一部については小さな反射率を有し、角度スペクトルの別の部分についてはより大きな反射率を有することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

10

付記(5)：

前記部分的反射面は高い入射角度では低い反射率を有し、低い入射角度では高い反射率を有することを特徴とする、付記(4)に記載の光学装置。

付記(6)：

前記部分的反射面は前記2以上の入射角度のうちの第1入射角度については小さな反射率を有し、第2入射角度についてはより大きな反射率を有することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

20

付記(7)：

前記小さな反射率を有する第1入射角度は前記第2入射角度よりもかなり大きいことを特徴とする、付記(6)に記載の光学装置。

付記(8)：

相互に平行であって、前記基板の主要面のエッジのいずれにも平行でないように配置される2以上の部分的反射面からなるアレイを有することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

30

付記(9)：

前記光学手段は前記基板内に配置される光波反射面に相当することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(10)：

前記1以上の部分的反射面は前記全反射によって閉じ込められる光を前記基板外へ結合することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(11)：

前記結合された光の少なくとも一部が前記基板外に結合される前に前記部分的反射面に対して2度以上2つの異なる入射角度で交差するように前記基板内に光を結合するための光学手段は前記主要面に対して角度付けて配置されることを特徴とする、付記(10)に記載の光学装置。

付記(12)：

入力光波から出力光波を生成する手段を更に有し、

40

前記入力光波及び前記出力光波は前記基板の同一側部に位置することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(13)：

入力光波から出力光波を生成する手段を更に有し、

前記入力光波は前記基板の一側部に位置され、前記出力光波は前記基板の他方の側部に位置することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(14)：

入力光波から出力光波を生成する手段を更に有し、

前記入力光波は前記エッジのうちの1つを介して前記基板内に結合されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

50

付記(15) :

前記1以上の部分的反射面の反射率によって均一な輝度プロフィールを有する視野(FOV)が実現されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(16) :

前記1以上の部分的反射面の反射率によって所定の輝度プロフィールを有する視野が実現されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(17) :

前記反射面において各部分的反射面の反射率を不均一にすることにより所定の輝度プロフィールを有する視野が実現されることを特徴とする、付記(8)に記載の光学装置。

付記(18) :

前記部分的反射面間の距離によって所定の輝度プロフィールを有する視野が実現されることを特徴とする、付記(8)に記載の光学装置。

付記(19) :

前記部分的反射面のP分極光に対する反射率が測定されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(20) :

前記部分的反射面のS分極光に対する反射率が測定されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(21) :

前記部分的反射面の非分極光に対する反射率が測定されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(22) :

前記基板に配置される1又は複数の反射面または部分的反射面からなる第2の反射面又は部分的反射面のセットを更に有し、前記第2セットにおける部分的反射面は相互に平行であって、前記1以上の部分的反射面とは平行でないように配置されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(23) :

前記第2の反射面又は部分的反射面のセットは全反射によって前記基板内に結合される光の伝搬方向を変更することを特徴とする、付記(22)に記載の光学装置。

付記(24) :

前記第2セットの部分的反射面の反射率によって均一な輝度プロフィールを有する視野が実現されることを特徴とする、付記(22)に記載の光学装置。

付記(25) :

前記第2セットの部分的反射面の反射率によって所定の輝度プロフィールを有する視野が実現されることを特徴とする、付記(22)に記載の光学装置。

付記(26) :

前記基板によって保持される1対以上の反射面を更に有し、前記反射面の対における反射面は相互に平行であって、前記基板のエッジの一部を構成することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(27) :

前記1以上の反射面の対は全反射によって前記基板内に結合された光の伝搬方向を変更してから前記変更された伝搬方向をもとの方向に戻すことを特徴とする、付記(26)に記載の光学装置。

付記(28) :

前記1以上の反射面の対の位置及び方向性によって所定の入力アバーチャに対応する所定の視野が実現されることを特徴とする、付記(26)に記載の光学装置。

付記(29) :

前記1以上の反射面の対の位置及び方向性によって所定の視野に対応する所定の入力アバーチャが実現されることを特徴とする、付記(26)に記載の光学装置。

付記(30) :

10

20

30

40

50

2 以上の基板が合体されて光学システムを構成することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(31)：

前記2以上の基板の位置及び方向性によって所定の視野に対応する所定の入力アパーチャが実現されることを特徴とする、付記(30)に記載の光学装置。

付記(32)：

前記2以上の基板内に配置される部分的反射面の反射率によって所定の輝度プロファイルを有する視野が実現されることを特徴とする、付記(30)に記載の光学装置。

付記(33)：

表示光源を更に有することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

10

付記(34)：

前記表示光源は液晶ディスプレイ(LCD)に相当することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(35)：

前記光源と前記LCDの液晶との間には角度選択拡散器が配置されることを特徴とする、付記(34)に記載の光学装置。

付記(36)：

前記拡散器の角度配置によって所定の輝度プロファイルが実現されることを特徴とする、付記(34)に記載の光学装置。

付記(37)：

前記表示光源は発散角度を有する有機発光ダイオードディスプレイ(OLED)に相当することを特徴とする、付記(33)に記載の光学装置。

20

付記(38)：

前記ダイオードの発散角度は所定の輝度プロファイルを有する視野を実現するように設定されることを特徴とする、付記(37)に記載の光学装置。

付記(39)：

前記表示光源に対して横方向に整列されるマイクロレンズのアレイを更に有する、付記(24)に記載の光学装置。

付記(40)：

前記マイクロレンズの焦点距離及び位置を測定することによって所定の輝度プロファイルが実現されることを特徴とする、付記(28)に記載の光学装置。

30

付記(41)：

前記基板は透明動作を実現するために部分的に透明であることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(42)：

外部シーンから前記基板への入射を遮断するために前記基板の上部又は内部に配置される不透明面を更に有することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(43)：

外部シーンから前記装置を通過する光の輝度を制御するために前記基板を透過する光を減衰するように配置される可変等仮面を更に有することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

40

付記(44)：

前記可変透過面の透過性は前記基板を透過する光の輝度に応じて自動的に確定されることを特徴とする、付記(43)に記載の光学装置。

付記(45)：

前記1以上の部分的反射面は閉じ込められた光波が観察者の片方の目に到達するように該光波を反射することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(46)：

前記1以上の部分的反射面は閉じ込められた光波が観察者の片方の目に到達するように該光波を反射することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

50

付記(47)：

複数の表示光源を更に有することを特徴とする、付記(46)に記載の光学装置。

付記(48)：

前記複数の表示光源からの画像は3次元画像を生成することを特徴とする、付記(47)に記載の光学装置。

付記(49)：

前記装置は外部シーンからの光を基板内に結合することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(50)：

スターライト增幅器を更に有することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

10

付記(51)：

前記装置は観察者の頭側に配置され、対物レンズが後方に配置され、アイピースが前方に配置されように構成されることを特徴とする、付記(49)に記載の光学装置。

付記(52)：

前記装置はメガネフレームに搭載されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(53)：

前記装置は移動通信機器搭載されることを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

付記(54)：

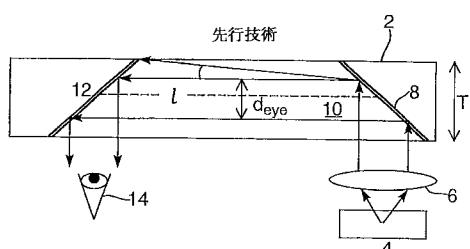
前記1以上の部分的反射面は閉じ込められた光波が被照体を照明するように計算された方向に該光波を反射することを特徴とする、付記(1)に記載の光学装置。

20

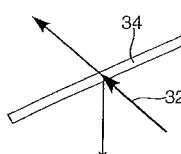
付記(55)：

前記被照体は液晶ディスプレイに相当することを特徴とする、付記(54)に記載の光学装置。

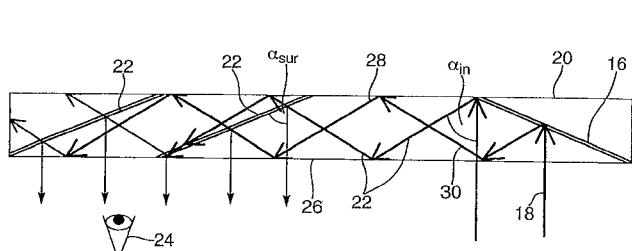
【図1】



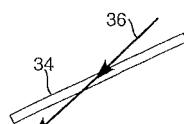
【図3 A】



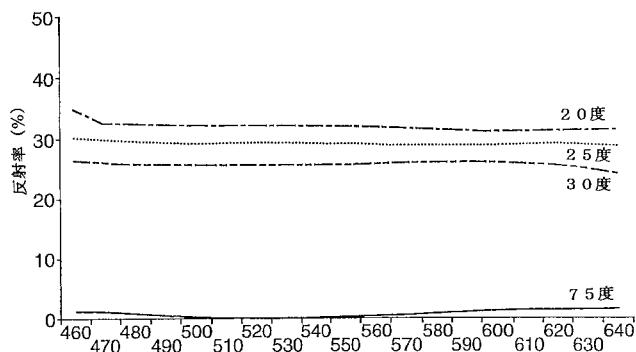
【図2】



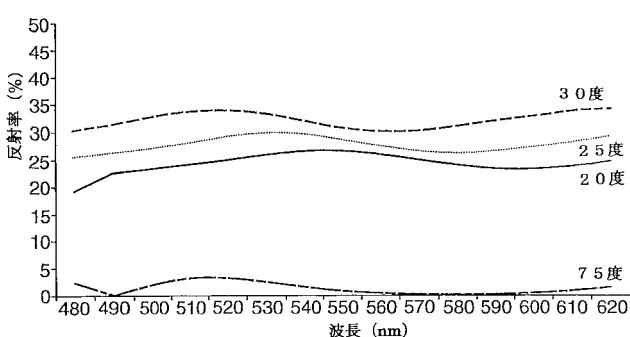
【図3 B】



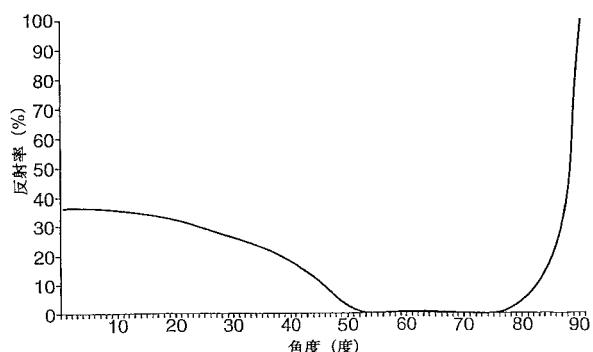
【図 4】



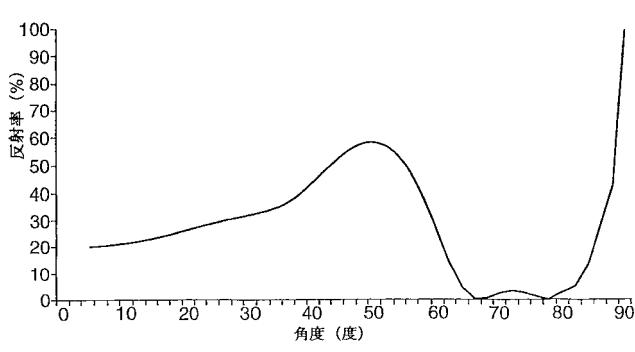
【図 6】



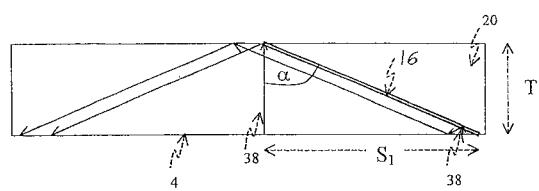
【図 5】



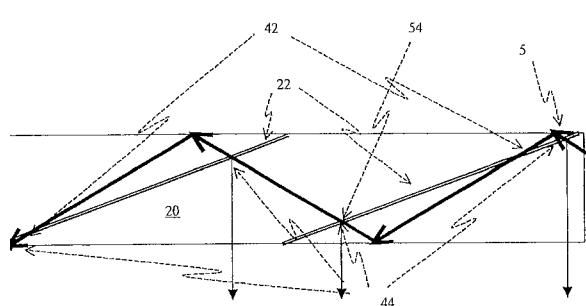
【図 7】



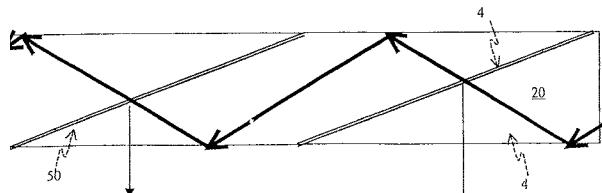
【図 8】



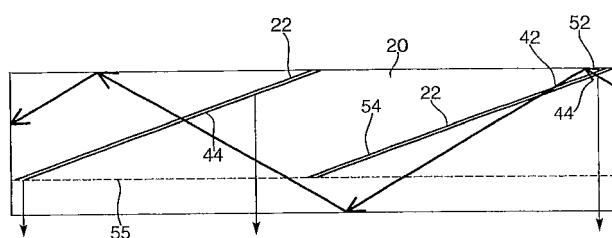
【図 9 A】



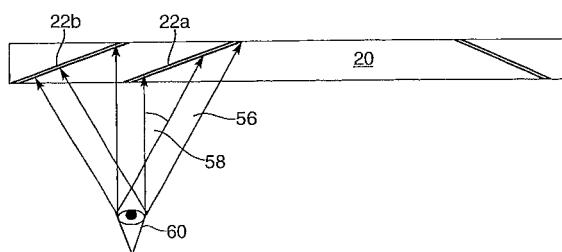
【図 9 B】



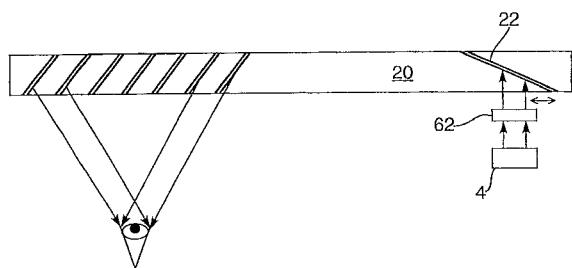
【図 10】



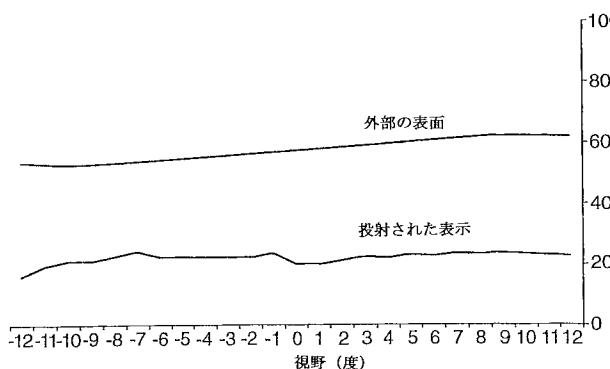
【図 11】



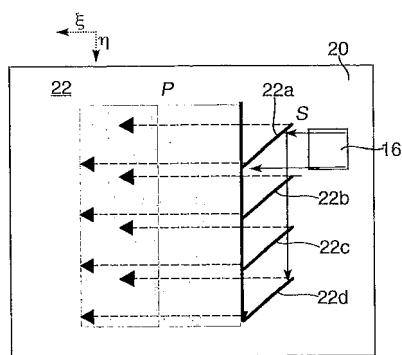
【図 1 2】



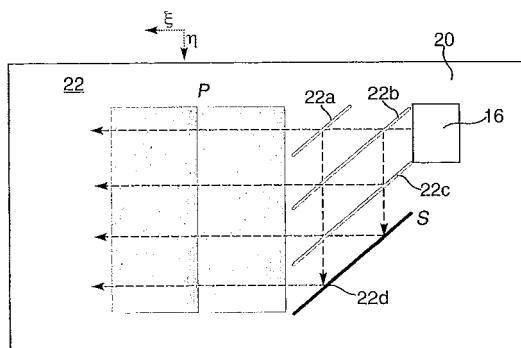
【図 1 3】



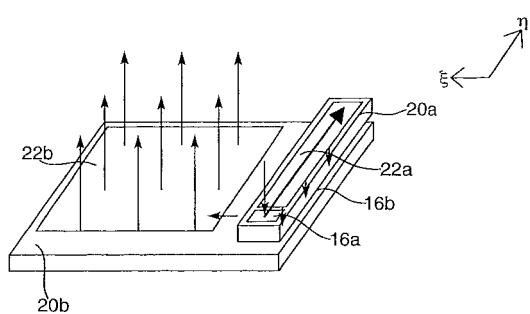
【図 1 4】



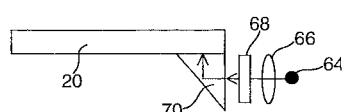
【図 1 5】



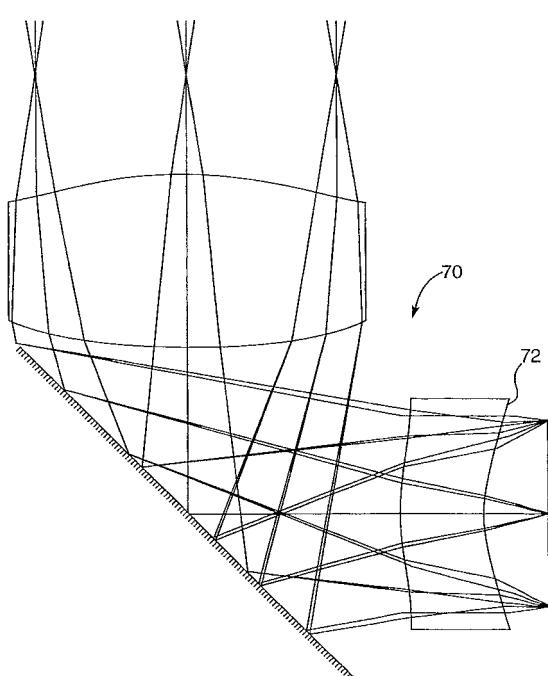
【図 1 6】



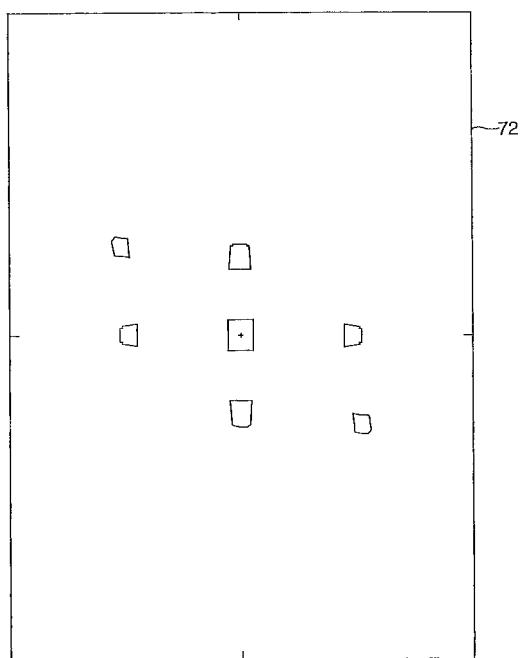
【図 1 7】



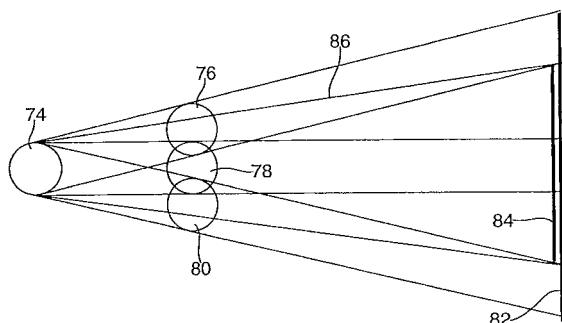
【図 1 8】



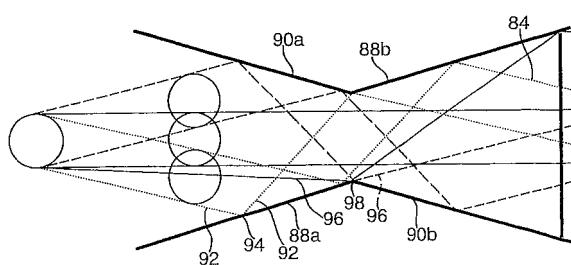
【図 19】



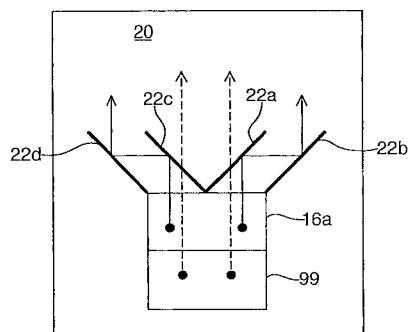
【図 20】



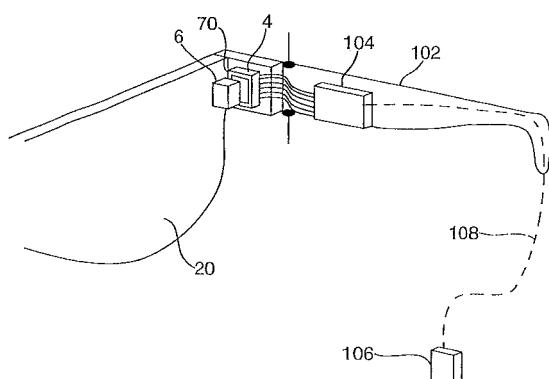
【図 21】



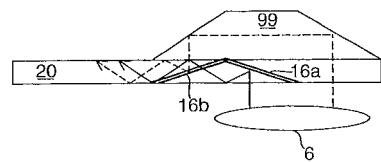
【図 22A】



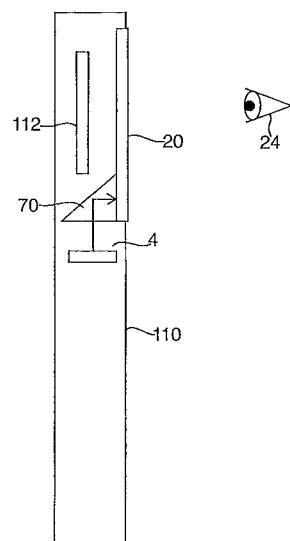
【図 23】



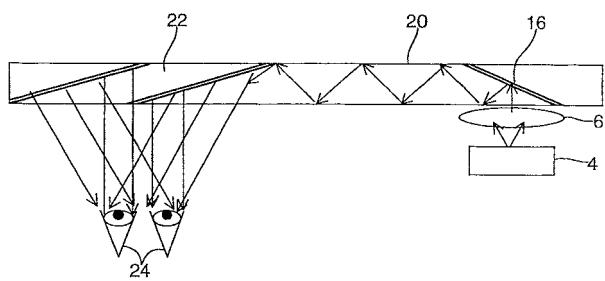
【図 22B】



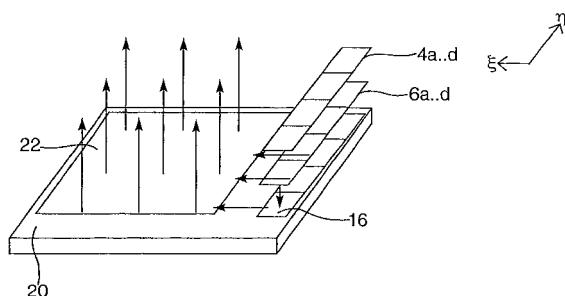
【図 2 4】



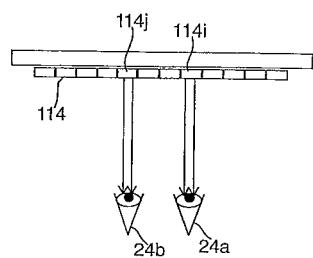
【図 2 5】



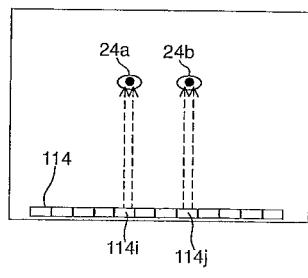
【図 2 6】



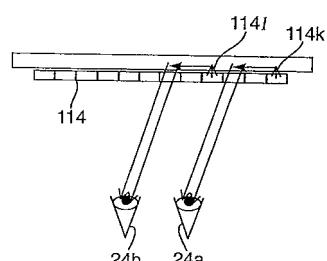
【図 2 7 A】



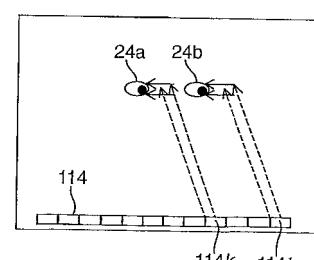
【図 2 7 B】



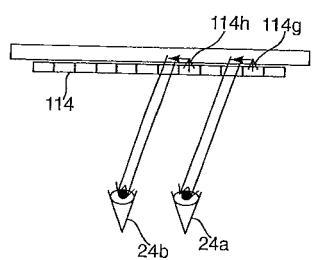
【図 2 8 A】



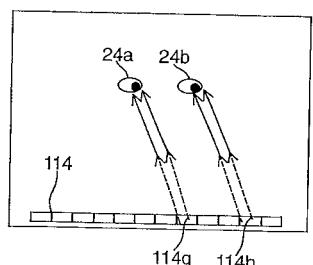
【図 2 8 B】



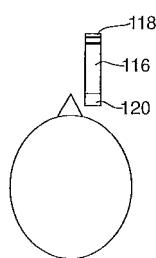
【図 29 A】



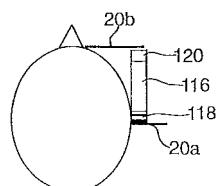
【図 29 B】



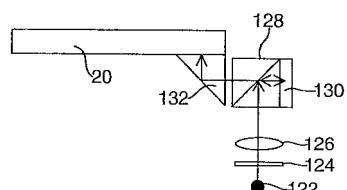
【図 30】



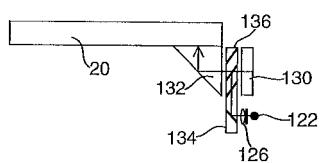
【図 31】



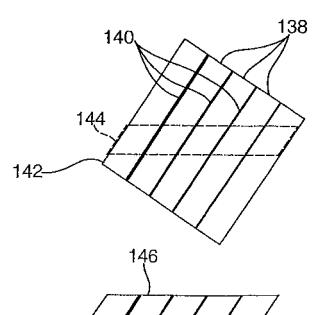
【図 32】



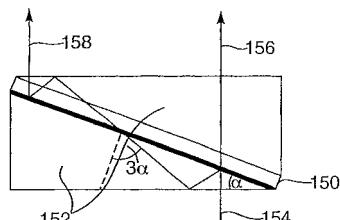
【図 33】



【図 34】



【図 35】



【図 36】

