

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-523000
(P2004-523000A)

(43) 公表日 平成16年7月29日(2004.7.29)

(51) Int.C1.⁷

G02B 13/04

G02B 13/16

G02B 13/18

F 1

G02B 13/04

G02B 13/16

G02B 13/18

D

テーマコード(参考)

2H087

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願2002-568075 (P2002-568075)
 (86) (22) 出願日 平成14年2月25日 (2002.2.25)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年8月28日 (2003.8.28)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2002/005612
 (87) 國際公開番号 WO2002/069013
 (87) 國際公開日 平成14年9月6日 (2002.9.6)
 (31) 優先権主張番号 09/797,018
 (32) 優先日 平成13年2月28日 (2001.2.28)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

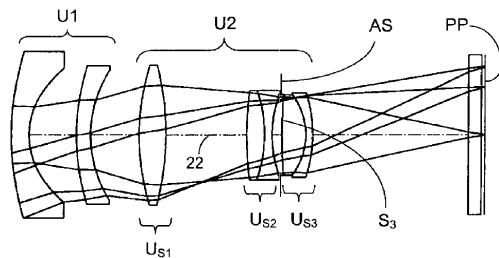
(71) 出願人 500467390
 スリーエム イノベイティブ プロパティ
 ズ カンパニー
 アメリカ合衆国、ミネソタ 55133-
 3427, セント ポール, ピー. オー.
 ボックス 33427, スリーエム セン
 ター
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛
 (72) 発明者 クレイツァー, メルヴィン エイチ
 アメリカ合衆国 オハイオ州 45241
 シンシナティ カーペンターズ クリー
 ク ドライヴ 3681

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】反射型画素化パネルと共に使用するための投射レンズ

(57) 【要約】

画素化パネル(PP)と共に使用するための投射レンズ(13)が提供される。投射レンズは、少なくとも1つの非球面を有する負の第1のユニット(U1)と、正/負/正の構成を有する3つのサブユニット(U_{S1}、U_{S2}、U_{S3})を有する正の第2のユニット(U2)と、を有する。レンズの開口絞り(AS)は、レンズの短共役端部に位置し、第3のサブユニット(U_{S3})にあるか、またはそのサブユニットに近いかのいずれかである。このレンズは、反射型画素化パネルの側部照射を用いるコンパクトな投射系の製造において用いるのに特に適している。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

開口絞りと、光軸と、長共役側と、短共役側と、屈折力 u_0 と、後側焦点距離 BFL と、を有する投射レンズであって、前記投射レンズが画素化パネルの像を形成するように構成され、前記長共役側から前記短共役側に順に

- (A) 屈折力 u_1 を有し、少なくとも 1 つの非球面を含む第 1 のレンズユニットと、
- (B) 屈折力 u_2 を有し、前記長共役側から前記短共役側に順に
- (i) 屈折力 s_1 を有する第 1 のレンズサブユニットと、
- (ii) 屈折力 s_2 および短共役に対して凹面である全体のメニスカス形状を有する第 2 のレンズサブユニットと、
- (iii) 屈折力 s_3 およびその長共役側に面 S_3 を有する第 3 のレンズサブユニットと、からなる第 2 のレンズユニットと、からなり、

(a) $u_1 < 0$

(b) $u_2 > 0$

(c) $s_1 > 0$

(d) $s_2 < 0$

(e) $s_3 > 0$

(f) $BFL \cdot u_0 = 1.0$ 、および

(g) 開口絞りが前記第 3 のレンズサブユニット内部にあるか、または $D \cdot u_0 = 0.1$ を満たす距離 D によって長共役の方向に該サブユニットの面 S_3 から離間されているかのいずれかであること

の各条件を満たすことを特徴とする投射レンズ。

【請求項 2】

$D \cdot u_0 = 0.05$ であることを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

【請求項 3】

$BFL \cdot u_0 = 1.2$ であることを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

【請求項 4】

$|u_1| / u_0 = 0.7$ 、および

$u_2 / u_0 = 0.8$ であることを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

【請求項 5】

$|u_1| / u_0 = 0.9$ 、および

$u_2 / u_0 = 0.9$ であることを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

【請求項 6】

前記第 2 のレンズサブユニットおよび前記第 3 のレンズサブユニットが合成光学屈折力 $s_2 + s_3$ を有し、

$s_1 / u_0 = 0.8$ 、および

$s_2 + s_3 / u_0 = 0.6$ であることを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

【請求項 7】

前記第 2 のレンズサブユニットおよび前記第 3 のレンズサブユニットが合成光学屈折力 $s_2 + s_3$ を有し、

$s_1 / u_0 = 0.9$ 、および

$s_2 + s_3 / u_0 = 0.5$ であることを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

【請求項 8】

前記第 1 のレンズユニットが、全体的に前記長共役側に対して凸面であるメニスカス形状を有する少なくとも 1 個の負のレンズ素子を備えることを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

【請求項 9】

前記第 1 のレンズユニットが、2 個の負のレンズ素子からなり、そのそれぞれが前記長共役側に対して凸面である全体のメニスカス形状を有することを特徴とする請求項 1 記載の投射レンズ。

10

20

30

40

50

【請求項 1 0】

前記第1のレンズサブユニットが、両凸面のレンズ素子からなることを特徴とする請求項1記載の投射レンズ。

【請求項 1 1】

前記第2のレンズサブユニットが、ダブレットからなることを特徴とする請求項1記載の投射レンズ。

【請求項 1 2】

前記第3のレンズサブユニットが、ダブレットからなることを特徴とする請求項1記載の投射レンズ。

【請求項 1 3】

前記投射レンズが、8個以下のレンズ素子からなることを特徴とする請求項1記載の投射レンズ。

【請求項 1 4】

前記投射レンズが、7個のレンズ素子からなることを特徴とする請求項1記載の投射レンズ。

【請求項 1 5】

(i) 前記投射レンズが、前記レンズの長共役側の方向において、視野を有し、

(ii) が：

> 50°

を満たすことを特徴とする請求項1記載の投射レンズ。

【請求項 1 6】

(a) 画素化パネル、および

(b) 請求項1記載の投射レンズを備えることを特徴とする投射レンズ系。

【請求項 1 7】

前記投射レンズの光軸と鋭角で交差する光軸を有する照射系をさらに備えることを特徴とする請求項16記載の投射レンズ系。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、投射レンズに関し、さらに詳細には、反射型液晶ディスプレイ(LCD)、デジタルミラー素子(DMD)などの画素からなる小さな反射物体の大きな像を形成する際に用いるための投射レンズに関する。

【背景技術】**【0002】**

投射レンズ系(本願明細書では「投射系」と称することもある)は、目視用スクリーン上に物体の像を形成するために用いられる。このような系は、観察者および物体がスクリーンの同じ側(前面投射)にあるか、またはスクリーンの反対側(背面投射)にあるかに応じて、前面投射型または背面投射型に分けることができる。本発明の投射レンズは、きわめてコンパクトな前面投射型プロジェクタに利用するために特に調整されており、投射される像はプロジェクタから発せられ、外部の壁またはスクリーン上に投射される。

【0003】

高度のコンパクトさを実現するために、このような前面投射型プロジェクタ用の照明は、投射レンズの物体端部(短共役端部)付近の側面から供給されることが好ましい。DMDの場合には、適切な照明幾何構成を提供し、暗視野光がレンズの入射瞳を外すことができるようるために、画素化パネルもずれている。この暗視野光は、DMDの画素のオフ位置に対応する。

【0004】

このような系の基本的な構造が図5に示されており、図中、10は光源(たとえば、メタルハライドランプまたは高圧水銀ランプ)であり、12は光源の像(照射系の「出力」)を決像する照射光学素子であり、14は投射対象の物体(たとえば、画素上および画素以

10

20

30

40

50

外のテキサス・インスツルメンツ社の D M D) であり、 1 3 は、 複数のレンズ素子から構成され、 目視用スクリーン (図示せず) 上に物体 1 4 の拡大像を形成する投射レンズである。

【 0 0 0 5 】

図 5 に示されているように、 照射光学素子は、 複数のレンズ素子 1 5 、 1 6 、 1 7 と、 光トンネル 1 8 (たとえば、 同一出願による特許文献 1 によって構成される光トンネル) と、 照射系の光軸 2 0 を折畳み、 プロジェクタの全体のサイズを削減するためのミラー 1 9 と、 を備えることができる。 この図にも示されているように、 照射系の光軸 2 0 は、 投射レンズ 1 3 の光軸 2 2 と鋭角で交差する。

【 0 0 0 6 】

物体が画素化パネルである投射レンズ系は、 さまざまな用途で用いられる。 そのような系では、 赤色、 緑色、 青色の像を有する単一のパネルまたは 1 つは赤色光、 2 番目が緑色光、 3 番目が青色光である 3 色のパネルのいずれかの像を形成させる単一の投射レンズを用いることが好ましい。 いずれの場合においても、 そのような系と共に用いられる投射レンズは一般に、 画素化パネルと共に通常用いられるカラー ホイール、 ビームスプリッタ、 などの補助光学系に適合するように、 比較的長い後側焦点距離を有する必要がある。

【 0 0 0 7 】

画素化パネルを用いる投射レンズ系の特に重要な用途は、 マイクロディスプレイの分野であり、 たとえば、 データを表示するために用いられる前面投射系である。 製造技術の近年の飛躍的発展により、 D M D 、 反射型 L C D などのデジタル式ライトバルブ素子を用いるマイクロディスプレイの普及が進んだ。

【 0 0 0 8 】

これらの素子に基づく投射型ディスプレイは、 サイズが小さく、 軽量であるという利点を提供する。 その結果、 前面投射モードで作動し、 デジタル式ライトバルブを用いる全く新しいクラスの超携帯型軽量プロジェクタが、 市場に登場した。

【 0 0 0 9 】

高度な情報内容を有する像を表示するために、 これらの素子は、 多数の画素を有していかなければならない。 素子自体は小さいため。 個別の画素が小さく、 一般的な画素サイズは、 D M D ディスプレイ用の 1 4 ~ 1 7 μ から反射型 L C D の場合の約 8 μ 以下の範囲にある。 このことは、 これらの系で用いられる投射レンズがきわめて高度の収差補正を必要とすることを意味している。 特に重要なことは、 色収差および歪曲収差の補正である。

【 0 0 1 0 】

色収差は、 画素のぼけ、 または極端な場合には、 像から画素完全脱落など、 画素化パネルの像に容易に見受けられるため、 高度の色収差補正が重要である。 このような問題は、 一般に視野の縁部で最も深刻である。

【 0 0 1 1 】

系のすべての収差に対処する必要があるが、 横色収差、 コマの色変動、 非点収差、 歪曲収差が一般に最も問題となる。 横色収差、 すなわち色による倍率の変動は、 特に視野の縁部でコントラストの低下となって現れるため、 特に厄介である。 極端な場合には、 視野全体の領域にレインボーエフェクトが現れる恐れがある。

【 0 0 1 2 】

陰極線管 (C R T) を用いる投射系において、 たとえば、 青色 C R T 上で生成される像を基準として赤色 C R T の面で生成される像のサイズを縮小することによって、 少量の (残存) 横色収差を電子的に補償することができる。 しかし、 画素化パネルの場合には、 像がデジタル化されるため、 視野全体にわたってサイズを円滑に調整することは不可能であることから、 そのような調整を行うことはできない。 したがって、 投射レンズの場合には、 二次横色収差の補正を含む、 より高度な横色収差補正が必要である。

【 0 0 1 3 】

画素化パネルをデータを表示するために用いると、 歪曲収差の補正に関する要件が厳しくなる。 これは、 データを見るときに、 レンズの視野の末端部に至るまで優れた画質が必要

とされることによる。明白であるように、表示される数字または文字の像は、中央と同じように視野の縁部でも歪んでいないことが重要である。さらに、投射レンズは、オフセットパネルと組み合わせて用いられることが多い。そのような場合には、目視用スクリーンにおける歪曲収差は、スクリーンの中心を通る水平線を中心にして対称に変化するのではなく、たとえば、スクリーンの下縁から上縁に向かって単調に増大することもある。この作用により、ごくわずかな歪曲収差であっても観察者に容易に見えてしまう。

【0014】

低い歪曲収差および高度の色補正は、WINDOWS（WINDOWS）（登録商標）型コンピュータインターフェイスの拡大像を目視用スクリーンに投射する場合に特に重要である。平行線、枠線で囲まれたコマンド、ダイアログボックス、複雑な配色を有するこのようなインターフェイスは、本質的に歪曲収差および色収差のテストパターンである。使用者は、そのようなインターフェイスの像における歪曲収差または色収差が軽微なレベルであっても、直ちに気付いて不平を述べる。

【0015】

上述のマイクロディスプレイ、具体的にはDMDを用いるマイクロディスプレイは一般に、照射系からの光ビームが投射レンズの短共役側付近の側面（上記の図5の説明を参照のこと）から供給されることを必要とする。これは、投射レンズ13の入射瞳24が短共役側またはその付近に位置するという要件、あるいはそれと等価に、レンズの開口絞りが短共役側に位置するという要件に言い換えられる。開口絞りのそのような位置は、光学設計問題を悪化させる。特に、外部付近の入射瞳は、横色収差およびコマ収差などの「異常な」光学収差の補正を促進するための内部レンズの対称性がほとんどないことを意味している。（外部付近の入射瞳は、動作中、レンズ内の熱の蓄積を低減する利点を備え得ることを留意されたい。）

上記に加えて、投射レンズ系のより十分なコンパクトさに対する要望がさらに高まっている。投射レンズの観点から言えば、これは、レンズが像（スクリーン）の方向において広い視野を有するという要件に言い換えられる。この要件は、レンズの横色収差の補正をさらに一層困難にする。同様に、長い後側焦点距離に関する要件もまた、横色収差の補正をより困難にする。

【特許文献1】米国特許第5,625,738号明細書

【特許文献2】米国特許第5,870,228号明細書

【特許文献3】国際公開第00/67059号パンフレット

【特許文献4】米国特許第5,625,495号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

短い焦点距離（たとえば、約30mmの焦点距離）、長い後側焦点距離（たとえば、少なくともレンズの焦点距離ほどの長さである後側焦点距離）、レンズの長共役の方向における広い視野（たとえば、少なくとも50°の視野）、レンズの短共役側に近い開口絞りを実現すると同時に、画素化パネルに用いる投射レンズ系に必要とされる高度の収差の補正を維持することは、これらのさまざまな要件が互いに不利に作用する傾向があるため、きわめて困難である。レンズのコストおよび重量を制御するために、レンズに用いられるレンズ素子の数を最小限に抑えると同時にこれを実現することは、さらに一層困難である。以下に説明および図示するように、本発明は、これらの相反する基準を満たす投射レンズを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0017】

上記に鑑みて、当業界において画素化パネルと組み合わせて用いるための投射レンズでは、以下の特性のうちのいくつか、好ましくはすべてを有する必要がある。

【0018】

（1）レンズの短共役側付近の開口絞り

10

20

30

40

50

- (2) 二次横色収差の補正を含む高度の横色収差補正
- (3) 低い歪曲収差
- (4) 像の方向における大きい視野
- (5) 長い後側焦点距離 (BFL)
- (6) 短い頂点距離
- (7) 最小数のレンズ素子

当業界におけるこのニーズを満たすために、本発明は、上記の7つの特徴のうちのいくつか、好ましくはすべてを有する投射レンズを提供する。

【0019】

具体的には、本発明は、屈折力₀を有し、長共役側から短共役側に順に

(A) 屈折力_{U1}を有し、少なくとも1つの非球面を含む第1のレンズユニット(U1)と、

(B) 屈折力_{U2}を有し、レンズの長共役側から短共役側に順に

(i) 屈折力_{S1}を有する第1のレンズサブユニット(U_{S1})と、

(ii) 屈折力_{S2}および短共役に対して凹面である全体のメニスカス形状を有する第2のレンズサブユニット(U_{S2})と、

(iii) 屈折力_{S3}および長共役側に面S₃を有する第3のレンズサブユニット(U_{S3})と、からなる第2のレンズユニット(U2)と、からなり、

(a) $U_1 < 0$

(b) $U_2 > 0$

(c) $S_1 > 0$

(d) $S_2 < 0$

(e) $S_3 > 0$

(f) $BFL \cdot 0.1 < 1.0$ 、および

(g) レンズの開口絞りが第3のレンズサブユニット内部にあるか、またはD₀を満たす距離Dによって長共役の方向に面S₃から離間されているかのいずれかであることの各条件を満たす投射レンズを提供する。

【0020】

BFL₀の積は1.2以上であり、D₀の積は0.05以下であることが好ましい。

【0021】

上記のBFL₀の積およびD₀の積を有することに加えて、本発明の投射レンズは、長共役の方向において、少なくとも50°の視野₀を有することが好ましく、55°より大きければ好ましい。また、ダブルレットを2個のレンズ素子と見なすと、本発明の投射レンズは、8個以下のレンズ素子、たとえば、7個のレンズ素子を有することが好ましい。ダブルレットを単独素子と考えれば、本発明の投射レンズは6個以下の以下、たとえば5個の素子を有することが好ましい。

【0022】

明細書に組み込まれ、明細書の一部を成す上記の図面は、本発明の好ましい実施形態を示しており、以下の説明と共に、本発明の原理を説明する役目を果たす。当然のことながら、図面も説明もいずれも説明のために過ぎず、本発明を限定するわけではないことを理解すべきである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

本発明の投射レンズは、逆焦点型または逆望遠型であり、2個のレンズユニット、すなわち長共役側にある負のユニット(U1)および短共役側にある正のユニット(U2)からなっている。以下の実施例によって示されるように、この全体のレンズ形態により、レンズは長い後側焦点距離およびレンズの長共役の方向における広い視野を実現することができる。

【0024】

10

20

30

40

50

本発明のレンズは、第1のレンズユニットに1つ以上の非球面を用いることによって、高度の歪曲収差補正を実現する。非球面は、1個以上のプラスチックレンズ素子上に形成されることが好ましい。

【0025】

レンズが、ガラスから構成される残りのレンズ素子を有する唯一のプラスチックレンズ素子を備えていればさらに好ましい。本発明の譲受人に譲渡された特許文献2を参照されたい。具体的に言えば、第2のレンズユニットのレンズ素子は、完全な開口ビームを受け、高度の面精度および熱安定性を維持するために、球状のガラス面のみを備えることが好ましい。

【0026】

第1のレンズユニットのプラスチックレンズ素子は、第2の横色収差を最小にするために、適切な分散を提供するために、成形可能なアクリルから構成されることが好ましい。「*Projection Lenses Having Reduced Lateral Color for Use with Pixelized Panels* (画素化パネルと組み合わせて利用する、横色収差の少ない投射レンズ)」という名称で本発明の譲受人に譲渡された特許文献3を参照されたい。また、本発明の譲受人に譲渡された特許文献4も参照されたい。

【0027】

上述したように、レンズの短共役側付近のレンズの開口絞りの位置は、レンズの「異常な」収差を補正することが困難である。この問題に対する1つの対処法は、レンズの長共役端部の広範囲にわたる口径食を用いることである。しかし、このような対処法は、光出力の著しい損失を生じ、実際の投射レンズ系では受け入れられない。

【0028】

本発明によれば、広範囲にわたる口径食を用いない高度の収差補正は、さまざまなユニットおよびレンズを構成するサブユニットの中の光学屈折力の適切な配分と組み合わせたレンズの全体構造によって実現される。具体的に言えば、レンズは以下の関係のうちのいくつか、好ましくはすべてを満たす必要があることがわかっている。

【0029】

	u ₁		/	0	0.7 (好ましくは 0.9)	
u ₂	/	0	0.8 (好ましくは 0.9)			
s ₁	/	0	0.8 (好ましくは 0.9)			
s ₂ + s ₃	/	0	0.6 (好ましくは 0.5)			

尚、s₂ + s₃は、第2のレンズユニットおよび第3のレンズユニットの合成光学屈折力である。

【0030】

任意の方法に限定することなく、本発明は、以下の実施例によってさらに詳細に説明される。

【実施例】

【0031】

図1～図4および表1～表4は、本発明によって構成される代表的な投射レンズを示している。

【0032】

オハラ社(OHARA)の表記が、レンズ系で用いられるさまざまなガラスに関して用いられる。本発明の実現においては、他のメーカー(たとえば、ホヤ社(HOYA)またはスコット社(SCHOTT))によって製造される等価なガラスを用いることもできる。プラスチック素子については、業界で許容可能な材料が用いられる。

【0033】

表に示される非球面係数は、以下の式で用いられる。

【数1】

10

20

30

40

$$z = \frac{cy^2}{1 + [1 - (1+k)c^2y^2]^{1/2}} + Dy^4 + Ey^6 + Fy^8 + Gy^{10} + Hy^{12} + Iy^{14}$$

【 0 0 3 4 】

式中、 z は系の光軸からの距離 y における面のサグであり、 c は光軸におけるレンズの曲率、 k は円錐係数であり、 円錐係数 k は表 1 ~ 表 4 に仕様に特に記載のない限り 0 である。
10

【 0 0 3 5 】

表のさまざまな面に関連する表記「 a 」は非球面、 すなわち上記数式における D、 E、 F、 G、 H、 I のうち少なくとも 1 つが 0 でない面を表し、 表記「 c 」は上記数式における k が 0 でない面を表す。

【 0 0 3 6 】

図および表において U 2 の短共役側に配置されるさまざまな平面構造は、 画素化パネルと組み合わせて使用されるか、 または画素化パネルの一部を構成している構成要素である。 それらは、 投射レンズの一部を構成するものではない。 表中の寸法はすべてミリメートル単位である。 表 1 および表 2 の平面構造に関する材料表記は、 6 衍の数として記載され、 材料の N_e の値は、 表記の最初の 3 衍を 1, 0 0 0 によって除算して、 1. 0 0 0 を加算することによって得られ、 V_e の値は、 最後の衍の前に小数点を置くことによって後半の 3 衍から得られる。
20

【 0 0 3 7 】

表 1 と 2 のそれぞれにおける面 7、 および表 4 における面 5 と 9 は、 口径食面である。 表 1 ~ 表 4 の寸法はすべてミリメートル単位である。 表 5 の屈折力は、 ミリメートルの逆数である。 表 7 の距離はミリメートル単位であり、 角度は度 (°) 単位である。 表 7 の実施例 4 に関する D および D_{-1} の負の値は、 開口絞りが第 3 のレンズサブユニットの中にあることを示している。 表 1 ~ 表 4 の EXP の値および BFL の値の大きさは、 実質的に同一であり、 たとえば、

【 数 2 】

30

$$| EXP | \approx 1.1 \cdot BFL$$

【 0 0 3 8 】

であることを留意すべきである。

【 0 0 3 9 】

仕様表に用いられる略語は、 以下の通りである。

【 0 0 4 0 】

40

EFL	有効焦点距離
FVD	前側頂点距離
f/	f ナンバー (有限共役)
ENP	長共役から見た入射瞳
EXP	長共役から見た射出瞳
BRL	鏡胴長さ
OBJ HT	物体高さ
MAG	倍率
STOP	開口絞りの位置
IMD	像距離
OBD	物体距離
OVL	全長

10

仕様表は、光が図面の左から右に進むことを前提として構成されている。実際には、目視用スクリーンが左側にあり、画素化パネルが右側にあって、光は右から左へと進む。特に、物体 / 像および入射瞳 / 射出瞳に関する仕様表の記載は、本願明細書の以下の部分において使用されているものと逆になっている。図 1 ~ 図 4 において、画素化パネルは表記「PP」によって示され、開口絞りは表記「AS」によって示されている。

20

【0041】

表 1 ~ 表 4 の投射レンズを構成するさまざまなレンズユニットおよびサブユニットの屈折力が、表 6 に列挙された上述のさまざまな屈折力比と共に表 5 に記載されている。表 7 は、これらのレンズに関する D、D · ϕ 、BFL、BFL · ϕ の値を記載している。表 6 および表 7 からわかるように、レンズのすべては、上述の所望の関係を満たす。具体的には、これらの関係に関する好ましい値のすべては、実施例 1 および実施例 2 によって満たされている。

30

【0042】

表 6 および表 7 に示されている特性に加えて、本発明の投射レンズは、以下の特性も有することが好ましい。

【0043】

(i) 460 nm ~ 620 nm の範囲の波長に関して視野全体における、画素より小さく、画素の 4 分の 3 未満であることが好ましい横色収差のぼやけ (横色収差補正のレベルは、物体平面または像平面で決定される場合があり、決定が像平面で行われた場合には、拡大した画素が用いられることを留意されたい)

(ii) 1.5 % 未満で、1.0 % 以下であることが好ましい歪曲収差

表 1 ~ 表 4 の投射レンズは、上記の好ましい横色収差レベルおよび好ましい歪曲収差レベルの両方を実現する。特に、レンズは、15 ミクロン未満の画素サイズ (画素幅) に関する好ましいレベルの横色収差補正を実現する。

40

【0044】

本発明の特定の実施形態について記載し、図示したが、当業者には前述の開示内容から本発明の範囲および精神から逸脱しない種々の変形例が明らかになるであろうことを理解されたい。特許請求の範囲は、本願明細書に記載された特定の実施形態のほか、そのような修正、変形、等価物を網羅するものとする。

【表 1】

表 1

面番号	種類	曲率半径	厚み	ガラス	有効開口半径
1	a	55.2357	3.80000	アクリル	35.94
2	a	16.0691	10.00000		28.60
3		48.2900	3.00000	S-TIH6	27.61
4		25.5900	10.28000		25.86
5		49.1350	5.70000	S-LAH58	27.89
6		-59.5680	7.66000		27.56
7			9.50000		20.33
8		72.5900	3.80000	S-LAH64	18.00
9		-28.3550	1.60000	S-FTM16	17.62
10		24.1760	1.94000		16.24
11		開口絞り	0.20000		16.19
12		102.9940	5.10000	S-LAL12	16.15
13		-13.9300	1.50000	LAH78	16.01
14		-28.2500	33.20446		16.50
15			2.74300	472630	32.00
16			0.73700		32.00

符号の説明

a - 多項式非球面

偶多項式非球面

面番号	D	E	F	G	H	I
1	6.6347E-06	-6.4194E-08	1.5275E-10	1.5031E-13	-1.7083E-15	2.6184E-18
2	8.3317E-06	-1.6864E-07	4.9685E-10	-2.1025E-12	9.6817E-16	-1.5449E-17

系の一次特性

OBJ. HT: -1762.8 f/ 2.36 MAG: -0.0088
 STOP: 面11から0.00 DIA: 16.190
 EFL: 29.0945 FVD: 100.764 ENP: 29.6219
 IMD: 0.737001 BRL: 100.027 EXP: -39.4727
 OBD: -3295.47 OVL: 3396.23

【表 2】

10

20

30

表2

面番号	種類	曲率半径	厚み	ガラス	有効開口半径
1	a	65.7461	3.80000	アクリル	36.16
2	a	17.5651	9.93713		28.68
3		49.1937	3.00000	S-FTM16	27.61
4		25.1336	10.16757		25.89
5		37.7823	6.80000	S-LAH58	26.81
6		-73.4555	7.19145		25.85
7			4.50000		18.14
8		64.1712	4.70000	S-FPL51	16.45
9		-20.7804	1.40000	S-TIH10	15.76
10		31.8208	1.40000		15.33
11		開口絞り	1.20000		15.45
12		-35.6966	2.70000	S-YGH52	15.56
13		-25.8663	0.10000		16.72
14		111.3154	3.00000	S-LAH59	18.13
15		-43.2547	33.51852		18.71
16			2.74300	472630	32.00
17			0.73642		32.00

符号の説明

a - 多項式非球面

偶多項式非球面

10

20

面番号	D	E	F	G	H	I
1	1.8998E-05	-7.1981E-08	5.2166E-11	3.5907E-13	-1.0814E-15	9.2754E-19
2	2.5992E-05	-8.1054E-08	-1.0307E-10	-1.9572E-13	5.0155E-15	-1.8970E-17

系の一次特性

OBJ. HT: -1670.0 f/ 2.36 MAG: -0.0090
 STOP: 面11から0.00 11. DIA: 15.412
 EFL: 28.9428 FVD: 96.8941 ENP: 29.1422
 IMD: 0.736418 BRL: 96.1577 EXP: -40.5808
 OBD: -3207.07 OVL: 3303.97

30

【表3】

表3

面番号	種類	曲率半径	厚み	ガラス	有効開口半径
1	a	67.3287	3.50000	アクリル	34.06
2	ac	21.1411	9.69574		27.68
3	ac	90.0000	3.00000	アクリル	25.13
4		30.6606	13.50839		23.29
5		45.8740	4.30000	S-LAH58	21.34
6		-67.0558	9.24086		20.74
7		113.1872	3.70000	S-BAL35	16.85
8		-22.4396	1.80000	PBH1	16.44
9		30.9075	0.40000		15.86
10		開口絞り	2.51527		15.73
11		-79.7792	3.00000	S-LAH58	16.32
12		-29.6325	0.20000		17.00
13		314.4573	3.50000	S-LAH58	17.29
14		-30.3488	1.50000	S-TIH23	17.57
15		-101.0404	33.00000		17.87
16			2.74000	SIO2	32.00
17			1.00032		32.00

符号の説明

a - 多項式非球面
c - 円錐面

偶多項式非球面

10

20

面番号	D	E	F	G	H	I
1	3.9278E-05	-8.4110E-08	-1.5235E-10	2.5697E-12	-8.1789E-15	8.1235E-18
2	5.5369E-05	-1.1560E-07	1.2888E-09	-1.5932E-11	1.1919E-13	-3.2312E-16
3	-1.0970E-05	-1.8534E-07	3.1771E-09	-3.3508E-11	1.8182E-13	-4.2458E-16

円錐定数

面2 k = -4.8482E-01
面3 k = -7.0000E+00

系の一次特性

OBJ. HT: -1250.0 f/ 2.40 MAG: -0.0120
STOP: 面10から0.00 DIA: 15.732
EFL: 29.0083 FVD: 96.6006 ENP: 28.1390
IMD: 1.00032 BRL: 95.6003 EXP: -43.0638
OBD: -2408.43 OVL: 2505.03

30

【表4】

表4

面番号	種類	曲率半径	厚み	ガラス	有効開口半径
1	a	88.4662	3.50000	アクリル	35.00
2	a	15.1048	19.04346		27.40
3		41.9522	5.90000	S-LAM66	27.00
4		-75.5701	6.35075		26.00
5			4.00000		18.33
6		32.6795	4.50000	S-PHM53	16.27
7		-33.0612	1.60000	S-TIH53	15.43
8		25.9957	0.90000		14.66
9			1.00000		14.65
10		-32.5784	5.00000	S-LAH58	14.66
11		-25.9460	1.71927		16.12
12		164.8941	3.20000	S-LAH58	17.34
13		-51.4227	33.15000		18.00
14			2.75000	ZKN7	32.00
15			0.80338		32.00

符号の説明

a - 多項式非球面

偶多項式非球面

面番号	D	E	F	G	H	I
1	2.4598E-05	-1.3986E-07	2.6745E-10	6.1203E-13	-3.8796E-15	5.2238E-18
2	2.5828E-05	-1.6619E-07	-4.2448E-10	7.0690E-13	1.6323E-14	-1.1161E-16

系の一次特性

OBJ. HT: -1690.0 f/ 2.40 MAG: -0.0090
 STOP: 面10から1.50 DIA: 15.293
 EFL: 28.9889 FVD: 93.4169 ENP: 26.5146
 IMD: 0.803376 BRL: 92.6135 EXP: -41.0095
 OBD: -3214.65 OVL: 3308.06

【表5】

30

表5

実施例	Φ_0	Φ_{U1}	Φ_{U2}	Φ_{S1}	Φ_{S2}	Φ_{S3}	Φ_{S2+S3}
1	.0343	-.0389	.0341	.0322	-.0060	.0224	.0162
2	.0346	-.0340	.0334	.0346	-.0259	.0361	.0149
3	.0345	-.0280	.0334	.0320	-.0240	.0328	.0133
4	.0345	-.0267	.0313	.0292	-.0195	.0329	.0167

40

【表6】

表6

実施例	$ \Phi_{U1} /\Phi_0$	Φ_{U2}/Φ_0	Φ_{S1}/Φ_0	Φ_{S2+S3}/Φ_0
1	1.134	.994	.939	.472
2	.982	.965	1.000	.431
3	.812	.968	.928	.386
4	.774	.907	.846	.484

50

【表7】

表7

実施例	D	$D \cdot \Phi_0$	BFL	$BFL \cdot \Phi_0$	θ
1	0.20	0.01	36.7	1.26	56
2	1.20	0.04	37.0	1.28	56
3	2.52	0.09	36.7	1.27	56
4	-1.50	-0.05	36.7	1.27	56

10

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明によって構成される代表的な投射レンズの概略側面図である。

【図2】本発明によって構成される代表的な投射レンズの概略側面図である。

【図3】本発明によって構成される代表的な投射レンズの概略側面図である。

【図4】本発明によって構成される代表的な投射レンズの概略側面図である。

【図5】本発明の投射レンズを用いることができる投射レンズ系全体を示す概略図である。

。

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
6 September 2002 (06.09.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/069013 A1

(51) International Patent Classification: G02B 9/60. (81) Designated States (national): AE, AG, AI, AU, BA, BB, 9/62, 13/04 BG, BR, BZ, CA, CN, CO, CR, CU, CZ, DM, DZ, EC, EE, GD, GE, IR, IU, ID, IL, IN, IS, JP, KP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MA, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, OM, PH, PL, RO, RU, SG, SI, SK, TN, TT, UA, UZ, VN, YU, ZA.

(21) International Application Number: PCT/US02/05612

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KU, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BJ, BJ, CI, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NI, SN, TD, TG).

(22) International Filing Date: 25 February 2002 (25.02.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data: 09/797,018 28 February 2001 (28.02.2001) US

Published:

— with international search report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(71) Applicant: CORNING PRECISION LENS INCORPORATED [US/US]; 4000 McMann Road, Cincinnati, OH 45245 (US).

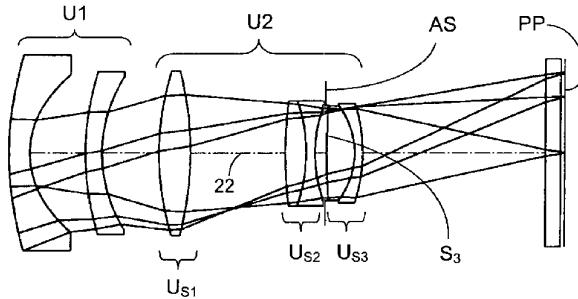
(72) Inventor: KREITZER, Melvyn, H.; 3681 Carpenters Creek Drive, Cincinnati, OH 45241 (US).

(74) Agents: KLEE, Maurice, M.; 1951 Burr Street, Fairfield, CT 06430 et al. (US).

(54) Title: PROJECTION LENSES FOR USE WITH REFLECTIVE PIXELIZED PANELS



WO 02/069013 A1

(57) Abstract: Projection lenses (13) for use with pixelized panels (PP) are provided. The projection lenses have a negative first unit (U1) which has at least one aspheric surface and a positive second unit (U2) which has three subunits (U_{S1}, U_{S2}, U_{S3}) which have a positive/negative/positive configuration. The lens' aperture stop (AS) is located at the short conjugate end of the lens and is either in the third subunit (U_{S3}) or close to that subunit. The lenses are particularly well-suited for use in the manufacture of compact projection systems which employ side illumination of a reflective pixelized panel.

5 PROJECTION LENSES FOR USE
WITH REFLECTIVE PIXELIZED PANELS

FIELD OF THE INVENTION

This invention relates to projection lenses and, in particular, to projection lenses for use in forming a large image of a small reflective object composed of pixels, such as, a reflective liquid crystal display (LCD), a digital mirror device (DMD), or the like.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Projection lens systems (also referred to herein as "projection systems") are used to form an image of an object on a viewing screen. Such systems can be of the front projection or rear projection type, depending on whether the viewer and the object are on the same side of the screen (front projection) or on opposite sides of the screen (rear projection). The projection lenses of the present invention are specifically tailored for use in very compact front projectors, where the projected image emerges from the projector and is sent onto an external wall or screen.

To achieve a high level of compactness, the illumination for such front projectors is preferably fed in from the side near the object end (short conjugate end) of the projection lens. In the case of DMDs, the pixelized panel is also offset in order to provide the appropriate illumination geometry and to allow the dark-field light to miss the entrance pupil of the lens. This dark-field light corresponds to the off position of the pixels of the DMD.

The basic structure of such a system is shown in Figure 5, where 10
30 is a light source (e.g., a metal halide or a high pressure mercury vapor
lamp), 12 is illumination optics which forms an image of the light source

(the "output" of the illumination system), 14 is the object which is to be projected (e.g., a Texas Instruments DMD of on and off pixels), and 13 is a projection lens, composed of multiple lens elements, which forms an enlarged image of object 14 on a viewing screen (not shown).

5 As shown in Figure 5, the illumination optics can include multiple lens elements 15, 16, 17, a light tunnel 18 (e.g., a light tunnel constructed in accordance with commonly-assigned U.S. Patent No. 5,625,738), and a mirror 19 for folding the optical axis 20 of the illumination system and thus reduce the overall size of the projector. As also shown in this figure, the
10 10 optical axis 20 of the illumination system intersects the optical axis 22 of projection lens 13 at an acute angle.

15 Projection lens systems in which the object is a pixelized panel are used in a variety of applications. Such systems preferably employ a single projection lens which forms an image of either a single panel which is used to produce red, green, and blue images or of three panels, one for red light, a second for green light, and a third for blue light. In either case, projection lenses used with such systems generally need to have a relatively long back focal length to accommodate the auxiliary optical systems, such as color wheels, beam splitters, etc., normally used with pixelized panels.

20 A particularly important application of projection lens systems employing pixelized panels is in the area of microdisplays, e.g., front projection systems which are used to display data. Recent breakthroughs in manufacturing technology has led to a rise in popularity of microdisplays employing digital light valve devices such as DMDs, reflective LCDs, and
25 the like.

Projection displays based on these devices offer advantages of small size and light weight. As a result, a whole new class of ultra portable lightweight projectors operating in front-projection mode and employing digital light valves has appeared on the market.

30 To display images having a high information content, these devices must have a large number of pixels. Since the devices themselves are small,

the individual pixels are small, a typical pixel size ranging from 14-17 μ for DMD displays to approximately 8 μ or even less for reflective LCDs. This means that the projection lenses used in these systems must have a very high level of correction of aberrations. Of particular importance is the

5 correction of chromatic aberrations and distortion.

A high level of chromatic aberration correction is important because color aberrations can be easily seen in the image of a pixelized panel as a smudging of a pixel or, in extreme cases, the complete dropping of a pixel from the image. These problems are typically most severe at the edges of

10 the field.

All of the aberrations of the system need to be addressed, with lateral color, chromatic variation of coma, astigmatism, and distortion typically being most challenging. Lateral color, i.e., the variation of magnification with color, is particularly troublesome since it manifests itself as a decrease

15 in contrast, especially at the edges of the field. In extreme cases, a rainbow effect in the region of the full field can be seen.

In projection systems employing cathode ray tubes (CRTs) a small amount of (residual) lateral color can be compensated for electronically by, for example, reducing the size of the image produced on the face of the red

20 CRT relative to that produced on the blue CRT. With a pixelized panel, however, such an accommodation cannot be performed because the image is digitized and thus a smooth adjustment in size across the full field of view is not possible. A higher level of lateral color correction, including correction of secondary lateral color, is thus needed from the projection lens.

25 The use of a pixelized panel to display data leads to stringent requirements regarding the correction of distortion. This is so because good image quality is required even at the extreme points of the field of view of the lens when viewing data. As will be evident, an undistorted image of a displayed number or letter is just as important at the edge of the field as it

30 is at the center. Moreover, projection lenses are often used with offset panels. In such a case, the distortion at the viewing screen does not vary

symmetrically about a horizontal line through the center of the screen but can increase monotonically from, for example, the bottom to the top of the screen. This effect makes even a small amount of distortion readily visible to the viewer.

- 5 Low distortion and a high level of color correction are particularly important when an enlarged image of a WINDOWS type computer interface is projected onto a viewing screen. Such interfaces with their parallel lines, bordered command and dialog boxes, and complex coloration, are in essence test patterns for distortion and color. Users readily perceive and object to
- 10 even minor levels of distortion or color aberration in the images of such interfaces.

The above-mentioned microdisplays and, in particular, microdisplays employing DMDs, typically require that the light beam from the illumination system is fed in from the side near the short conjugate side of

15 the projection lens (see the discussion of Figure 5 above). This leads to a requirement that the entrance pupil 24 of the projection lens 13 is located at or near the lens' short conjugate side or, equivalently, that the lens' aperture stop is located near the short conjugate side. Such a location for the aperture stop exacerbates the optical design problem. In particular, the

20 nearly external entrance pupil means that there is almost no internal lens symmetry for facilitating the correction of "odd" optical aberrations such as lateral color and coma. (Note that the nearly external entrance pupil can have the advantage of reducing heat buildup within the lens during operation.)

25 In addition to the foregoing, there is an ever increasing demand for greater compactness of projection lens systems. In terms of the projection lens, this translates into a requirement that the lens has a wide field of view in the direction of the image (screen). This requirement makes it even more difficult to correct the lateral color of the lens. Similarly, the

30 requirement for a long back focal length also makes it more difficult to correct lateral color.

Achieving a short focal length (e.g., a focal length of around 30 millimeters), a long back focal length (e.g., a back focal length which is at least as long as the lens' focal length), a wide field of view in the direction of the lens' long conjugate (e.g., a field of view of at least 50°), and an aperture 5 stop close to the short conjugate side of the lens, while still maintaining the high level of aberration correction needed for a projection lens system which employs pixelized panels is particularly challenging since these various requirements tend to work against one another. To do so while minimizing the number of lens elements used in the lens so as to control the cost and 10 weight of the lens is even more demanding. As discussed and illustrated below, the present invention provides projection lenses which satisfy these conflicting criteria.

SUMMARY OF THE INVENTION

In view of the foregoing, there exists a need in the art for projection 15 lenses for use with pixelized panels which have some and preferably all of the following properties:

- (1) an aperture stop near to the short conjugate side of the lens;
- (2) a high level of lateral color correction, including correction of secondary lateral color;
- 20 (3) low distortion;
- (4) a large field of view in the direction of the image;
- (5) a long back focal length (BFL);
- (6) a short focal length; and
- (7) a minimum number of lens elements.

25 To satisfy this need in the art, the invention provides projection lenses which have some and preferably all of the above seven features.

In particular, the invention provides a projection lens having a power Φ_0 and consisting in order from the lens' long conjugate side to its short conjugate side of:

- 30 (A) a first lens unit (U1) having a power Φ_{U1} and comprising at least one aspheric surface; and

- (B) a second lens unit (U₂) having a power Φ_{U2} and consisting in order from the lens' long conjugate side to its short conjugate side of:
- (i) a first lens subunit (U_{S1}) having a power Φ_{S1} ;
 - (ii) a second lens subunit (U_{S2}) having a power Φ_{S2} and an overall 5 menicus shape which is concave towards the short conjugate; and
 - (iii) a third lens subunit (U_{S3}) having a power Φ_{S3} and a surface S₃ at its long conjugate side;
- wherein:
- (a) $\Phi_{U1} < 0$;
 - 10 (b) $\Phi_{U2} > 0$;
 - (c) $\Phi_{S1} > 0$;
 - (d) $\Phi_{S2} < 0$;
 - (e) $\Phi_{S3} > 0$;
 - (f) $BFL \cdot \Phi_0 \geq 1.0$; and
 - 15 (g) the lens' aperture stop is either within the third lens subunit or spaced from surface S₃ in the direction of the long conjugate by a distance D which satisfies the relationship:

$$D \cdot \Phi_0 \leq 0.1.$$

Preferably, the $BFL \cdot \Phi_0$ product is greater than or equal to 1.2 and 20 the $D \cdot \Phi_0$ product is equal to or less than 0.05.

In addition to having the above $BFL \cdot \Phi_0$ and $D \cdot \Phi_0$ products, the projection lenses of the invention preferably have a field of view θ in the direction of the long conjugate of at least 50° and preferably greater than 55°. Also, the projection lenses of the invention preferably have eight or 25 less lens elements, e.g., seven lens elements, where doublets are treated as two lens elements. Considering doublets as a single component, the projection lenses of the invention preferably have six or less components, e.g., five components.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

30 Figures 1-4 are schematic side views of representative projection lenses constructed in accordance with the invention.

Figure 5 is a schematic diagram showing an overall projection lens system in which the projection lenses of the present invention can be used.

The foregoing drawings, which are incorporated in and constitute part of the specification, illustrate the preferred embodiments of the 5 invention, and together with the description, serve to explain the principles of the invention. It is to be understood, of course, that both the drawings and the description are explanatory only and are not restrictive of the invention.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

10 The projection lenses of the present invention are of the retrofocus or the inverted telephoto type and consist of two lens units, i.e., a negative unit (U1) on the long conjugate side and a positive unit (U2) on the short conjugate side. As illustrated by the examples presented below, this overall lens form allows the lenses to achieve a long back focal length and a wide 15 field of view in the direction of the lens' long conjugate.

The lenses of the invention achieve a high level of distortion correction by using one or more aspherical surfaces in the first lens unit. Preferably, the aspherical surfaces are formed on one or more plastic lens elements.

20 Most preferably, the lens includes only one plastic lens element with the rest of the lens elements being composed of glass. See commonly-assigned U.S. Patent No. 5,870,228. In particular, the lens elements of the second lens unit carry the full aperture beam and preferably contain only spherical glass surfaces in order to maintain high levels of surface accuracy 25 and thermal stability.

The plastic lens element or elements of the first lens unit are preferably made of moldable acrylic to provide the appropriate dispersion for the minimization of secondary lateral color. See commonly-assigned PCT Patent Publication No. WO 00/67059 entitled "Projection Lenses

30 Having Reduced Lateral Color for Use with Pixelized Panels." See also commonly-assigned U.S. Patent No. 5,625,495.

As discussed above, the location of the lens' aperture stop near the lens' short conjugate side makes it difficult to correct the lens' "odd" aberrations. One approach to this problem is to employ extensive vignetting at the long conjugate end of the lens. Such an approach, 5 however, results in a significant loss of light output and is unacceptable for a practical projection lens system.

In accordance with the invention, a high level of aberration correction without extensive vignetting is achieved through the overall structure of the lens in combination with the appropriate distribution of 10 optical power among the various units and subunits making up the lens. In particular, it has been found that the lens should satisfy some and preferably all of the following relationships:

$$\begin{aligned} |\Phi_{U1}|/\Phi_0 &\geq 0.7 \text{ (preferably } \geq 0.9\text{)}; \\ \Phi_{U2}/\Phi_0 &\geq 0.8 \text{ (preferably } \geq 0.9\text{)}; \\ 15 \quad \Phi_{S1}/\Phi_0 &\geq 0.8 \text{ (preferably } \geq 0.9\text{)}; \text{ and} \\ \Phi_{S2+S3}/\Phi_0 &\leq 0.6 \text{ (preferably } \leq 0.5\text{)}, \end{aligned}$$

where Φ_{S2+S3} is the combined optical power of the second and third lens subunits.

Without intending to limit it in any manner, the present invention 20 will be more fully described by the following examples.

EXAMPLES

Figures 1-4 and Tables 1-4 illustrate representative projection lenses constructed in accordance with the invention.

OHARA designations are used for the various glasses employed in 25 the lens systems. Equivalent glasses made by other manufacturers (e.g., HOYA or SCHOTT) can be used in the practice of the invention. Industry acceptable materials are used for the plastic elements.

The aspheric coefficients set forth in the tables are for use in the following equation:

$$30 \quad z = \frac{cy^2}{1 + [1 - (1 + k)c^2y^2]^{1/2}} + Dy^4 + Ey^6 + Fy^8 + Gy^{10} + Hy^{12} + Iy^{14}$$

where z is the surface sag at a distance y from the optical axis of the system, c is the curvature of the lens at the optical axis, and k is a conic constant, which is zero except where indicated in the prescriptions of Tables 1-4.

5 The designation "a" associated with various surfaces in the tables represents an aspherical surface, i.e., a surface for which at least one of D , E , F , G , H , or I in the above equation is not zero; and the designation "c" indicates a surface for which k in the above equation is not zero.

The various planar structures located on the short conjugate side of
10 U2 in the figures and tables represent components which are used with or are a part of the pixelized panel. They do not constitute part of the projection lens. The material designations for the planar structures of Tables 1 and 2 are set forth as six digit numbers, where an N_e value for the material is obtained by dividing the first three digits of the designation by
15 1,000 and adding 1,000, and a V_e value is obtained from the last three digits by placing a decimal point before the last digit.

Surface 7 in each of Tables 1 and 2, and surfaces 5 and 9 in Table 4 are vignetting surfaces. All dimensions given in Tables 1-4 are in millimeters. The powers given in Table 5 are in inverse millimeters. The
20 distances given in Table 7 are in millimeters and the angles are in degrees. The negative values for D and $D \cdot \Phi_0$ for Example 4 in Table 7 indicates that the aperture stop is within the third lens subunit. It should be noted that the magnitude of the EXP values in Tables 1-4 and the BFL values in Table 7 are substantially the same, e.g., $|EXP| \approx 1.1 \cdot BFL$.

25 The abbreviations used in the prescription tables are as follows:

EFL	effective focal length
FVD	front vertex distance
f'	f-number (finite conjugates)
ENP	entrance pupil as seen from the long conjugate
30 EXP	exit pupil as seen from the long conjugate
BRL	barrel length

	OBJ HT	object height
	MAG	magnification
	STOP	location of aperture stop
	IMD	image distance
5	OBD	object distance
	OVL	overall length.

- The prescription tables are constructed on the assumption that light travels from left to right in the figures. In actual practice, the viewing screen will be on the left and the pixelized panel will be on the right, and
- 10 10 light will travel from right to left. In particular, the references in the prescription tables to objects/images and entrance/exit pupils are reversed from that used in the rest of the specification. The pixelized panel is shown in the Figures 1-4 by the designation "PP" and the aperture stop is shown by the designation "AS".
- 15 15 The powers of the various lens units and subunits making up the projection lenses of Tables 1-4 are set forth in Table 5 with the various power ratios discussed above being listed in Table 6. Table 7 sets forth D, $D \cdot \Phi_0$, BFL and $BFL \cdot \Phi_0$ values for these lenses. As can be seen from Tables 6 and 7, all of the lenses satisfy the desired relationships discussed above.
- 20 20 In particular, all of the preferred values for these relationships are satisfied by Examples 1 and 2.
- In addition to the properties shown in Tables 6 and 7, the projection lenses of the invention preferably also have the following properties:
- 25 25 (i) a lateral color blur at full field for wavelengths in the range from 460 nanometers to 620 nanometers which is less than a pixel and preferably less than three-quarters of a pixel (note that the level of lateral color correction can be determined at the object plane or the image plane, a magnified pixel being used when the determination is performed at the image plane); and
- 30 30 (ii) a distortion which is less than 1.5 percent and preferably less than or equal to 1.0 percent.

The projection lenses of Tables 1-4 achieve both of the foregoing preferred lateral color and preferred distortion levels. In particular, the lenses achieve the preferred level of lateral color correction for a pixel size (pixel width) of less than 15 microns.

5 Although specific embodiments of the invention have been described and illustrated, it is to be understood that a variety of modifications which do not depart from the scope and spirit of the invention will be evident to persons of ordinary skill in the art from the disclosure herein. The following claims are intended to cover the specific embodiments set forth
10 herein as well as such modifications, variations, and equivalents.

WO 02/069013

PCT/US02/05612

-12-

TABLE 1

Surf. No.	Type	Radius	Thickness	Glass	Clear Aperture Diameter
1	a	55.2357	3.80000	ACRYLIC	35.94
2	a	16.0691	10.00000		28.60
3		48.2900	3.00000	S-TIH6	27.61
4		25.5900	10.28000		25.86
5		49.1350	5.70000	S-LAH58	27.89
6		-59.5680	7.66000		27.56
7			9.50000		20.33
8		72.5900	3.80000	S-LAH64	18.00
9		-28.3550	1.60000	S-FTM16	17.62
10		24.1760	1.94000		16.24
11	Aperture stop		0.20000		16.19
12		102.9940	5.10000	S-LAL12	16.15
13		-13.9300	1.50000	LAH78	16.01
14		-28.2500	33.20446		16.50
15			2.74300	472630	32.00
16			0.73700		32.00

Symbol Description

a - Polynomial asphere

Even Polynomial Aspheres

Surf. No.	D	E	F	G	H	I
1	6.6347E-06	-6.4194E-08	1.5275E-10	1.5031E-13	-1.7083E-15	2.6184E-18
2	8.3317E-06	-1.6864E-07	4.9685E-10	-2.1025E-12	9.6817E-16	-1.5449E-17

System First Order Properties

OBJ. HT: -1762.8 f/ 2.36 MAG: -0.0088
 STOP: 0.00 after surface 11. DIA: 16.190
 EFL: 29.0945 FVD: 100.764 ENP: 29.6219
 IMD: 0.737001 BRL: 100.027 EXP: -39.4727
 OBD: -3295.47 OVL: 3396.23

TABLE 2

Surf. No.	Type	Radius	Thickness	Glass	Clear Aperture Diameter
1	a	65.7461	3.80000	ACRYLIC	36.16
2	a	17.5651	9.93713		28.68
3		49.1937	3.00000	S-FTM16	27.61
4		25.1336	10.16757		25.89
5		37.7823	6.80000	S-LAH58	26.81
6		-73.4555	7.19145		25.85
7			4.50000		18.14
8		64.1712	4.70000	S-FPL51	16.45
9		-20.7804	1.40000	S-TIH10	15.76
10		31.8208	1.40000		15.33
11	Aperture stop		1.20000		15.45
12		-35.6966	2.70000	S-YGH52	15.56
13		-25.8663	0.10000		16.72
14		111.3154	3.00000	S-LAH59	18.13
15		-43.2547	33.51852		18.71
16			2.74300	472630	32.00
17			0.73642		32.00

Symbol Description

a - Polynomial asphere

Even Polynomial Aspheres

Surf. No.	D	E	F	G	H	I
1	1.8998E-05	-7.1981E-08	5.2166E-11	3.5907E-13	-1.0814E-15	9.2754E-19
2	2.5992E-05	-8.1054E-08	-1.0307E-10	-1.9572E-13	5.0155E-15	-1.8970E-17

System First Order Properties

OBJ: HT: -1670.0 f/ 2.36 MAG: -0.0090
 STOP: 0.00 after surface 11. DIA: 15.412
 EFL: 28.9428 FVD: 96.8941 ENP: 29.1422
 IMD: 0.736418 BRL: 96.1577 EXP: -40.5808
 OBD: -3207.07 OVL: 3303.97

WO 02/069013

PCT/US02/05612

-14-

TABLE 3

Surf. No.	Type	Radius	Thickness	Glass	Clear Aperture Diameter	
1	a	67.3287	3.50000	ACRYLIC	34.06	
2	ac	21.1411	9.69574		27.68	
3	ac	90.0000	3.00000	ACRYLIC	25.13	
4		30.6606	13.50839		23.29	
5		45.8740	4.30000	S-LAH58	21.34	
6		-67.0558	9.24086		20.74	
7		113.1872	3.70000	S-BAL35	16.85	
8		-22.4396	1.80000	PBH1	16.44	
9		30.9075	0.40000		15.86	
10	Aperture stop		2.51527		15.73	
11		-79.7792	3.00000	S-LAH58	16.32	
12		-29.6325	0.20000		17.00	
13		314.4573	3.50000	S-LAH58	17.29	
14		-30.3488	1.50000	S-TIH23	17.57	
15		-101.0404	33.00000		17.87	
16			2.74000	SIO2	32.00	
17			1.00032		32.00	

Symbol Description

a - Polynomial asphere
c - Conic section

Even Polynomial Aspheres

Surf. No.	D	E	F	G	H	I
1	3.9278E-05	8.4110E-08	-1.5235E-10	2.5697E-12	-8.1789E-15	8.1235E-18
2	5.5369E-05	-1.1560E-07	1.2888E-09	-1.5932E-11	1.1919E-13	-3.2312E-16
3	-1.0970E-05	-1.8534E-07	3.1771E-09	-3.3508E-11	1.8182E-13	-4.2458E-16

Conic Constants

Surface 2 k = -4.8482E-01
Surface 3 k = -7.0000E+00

System First Order Properties

OBJ. HT: -1250.0 f/ 2.40 MAG: -0.0120
STOP: 0.00 after surface 10. DIA: 15.732
EFL: 29.0083 FVD: 96.6006 ENP: 28.1390
IMD: 1.00032 BRL: 95.6003 EXP: -43.0638
OBD: -2408.43 OVL: 2505.03

WO 02/069013

PCT/US02/05612

-15-

TABLE 4

Surf. No.	Type	Radius	Thickness	Glass	Clear Aperture Diameter
1	a	88.4662	3.50000	ACRYLIC	35.00
2	a	15.1048	19.04346		27.40
3		41.9522	5.90000	S-LAM66	27.00
4		-75.5701	6.35075		26.00
5			4.00000		18.33
6		32.6795	4.50000	S-PHM53	16.27
7		-33.0612	1.60000	S-TIH53	15.43
8		25.9957	0.90000		14.66
9			1.00000		14.65
10		-32.5784	5.00000	S-LAH58	14.66
11		-25.9460	1.71927		16.12
12		164.8941	3.20000	S-LAH58	17.34
13		-51.4227	33.15000		18.00
14			2.75000	ZKN7	32.00
15			0.80338		32.00

Symbol Description

a - Polynomial asphere

Even Polynomial Aspheres

Surf. No.	D	E	F	G	H	I
1	2.4598E-05	-1.3986E-07	2.6745E-10	6.1203E-13	-3.8796E-15	5.2238E-18
2	2.5828E-05	-1.6619E-07	-4.2446E-10	7.0690E-13	1.6323E-14	-1.1161E-16

System First Order Properties

OBJ: HT: -1690.0 f/ 2.40 MAG: -0.0090
 STOP: 1.50 after surface 10. DIA: 15.293
 EFL: 28.9889 FVD: 93.4169 ENP: 26.5146
 IMD: 0.803376 BRL: 92.6135 EXP: -41.0095
 OBD: -3214.65 OVL: 3308.06

WO 02/069013

PCT/US02/05612

-16-

TABLE 5

Example	Φ_0	Φ_{U1}	Φ_{U2}	Φ_{S1}	Φ_{S2}	Φ_{S3}	Φ_{S2+S3}
1	.0343	-.0389	.0341	.0322	-.0060	.0224	.0162
2	.0346	-.0340	.0334	.0346	-.0259	.0361	.0149
3	.0345	-.0280	.0334	.0320	-.0240	.0328	.0133
4	.0345	-.0267	.0313	.0292	-.0195	.0329	.0167

TABLE 6

Example	$ \Phi_{U1} /\Phi_0$	Φ_{U2}/Φ_0	Φ_{S1}/Φ_0	Φ_{S2+S3}/Φ_0
1	1.134	.994	.939	.472
2	.982	.965	1.000	.431
3	.812	.968	.928	.386
4	.774	.907	.846	.484

TABLE 7

Example	D	$D*\Phi_0$	BFL	$BFL*\Phi_0$	θ
1	0.20	0.01	36.7	1.26	56
2	1.20	0.04	37.0	1.28	56
3	2.52	0.09	36.7	1.27	56
4	-1.50	-0.05	36.7	1.27	56

What is claimed is:

1. A projection lens having an aperture stop, an optical axis, a long conjugate side, a short conjugate side, a power Φ_0 , and a back focal length BFL, said projection lens being adapted to form an image of a pixelized panel and consisting in order from said long conjugate side to said short conjugate side of:
 - (A) a first lens unit having a power Φ_{U1} and comprising at least one aspheric surface; and
 - (B) a second lens unit having a power Φ_{U2} and consisting in order from said long conjugate side to said short conjugate side of:
 - (i) a first lens subunit having a power Φ_{S1} ;
 - (ii) a second lens subunit having a power Φ_{S2} and an overall meniscus shape which is concave towards the short conjugate; and
 - (iii) a third lens subunit having a power Φ_{S3} and a surface S_3 at its long conjugate side;

wherein:

- (a) $\Phi_{U1} < 0$;
- (b) $\Phi_{U2} > 0$;
- (c) $\Phi_{S1} > 0$;
- (d) $\Phi_{S2} < 0$;
- (e) $\Phi_{S3} > 0$;
- (f) $BFL \cdot \Phi_0 \geq 1.0$; and
- (g) the aperture stop is either within the third lens subunit or spaced from surface S_3 subunit in the direction of the long conjugate by a distance D which satisfies the relationship:

$$D \cdot \Phi_0 \leq 0.1.$$

2. The projection lens of Claim 1 wherein:

$$D \cdot \Phi_0 \leq 0.05.$$

3. The projection lens of Claim 1 wherein:

$$BFL \cdot \Phi_0 \geq 1.2.$$

4. The projection lens of Claim 1 wherein:

$|\Phi_{U1}|/\Phi_0 \geq 0.7$; and

$\Phi_{U2}/\Phi_0 \geq 0.8$.

5. The projection lens of Claim 1 wherein:

$|\Phi_{U1}|/\Phi_0 \geq 0.9$; and

$\Phi_{U2}/\Phi_0 \geq 0.9$.

6. The projection lens of Claim 1 wherein the second and third lens subunits have a combined optical power Φ_{S2+S3} and wherein:

$\Phi_{S1}/\Phi_0 \geq 0.8$; and

$\Phi_{S2+S3}/\Phi_0 \leq 0.6$.

7. The projection lens of Claim 1 wherein the second and third lens subunits have a combined optical power Φ_{S2+S3} and wherein:

$\Phi_{S1}/\Phi_0 \geq 0.9$; and

$\Phi_{S2+S3}/\Phi_0 \leq 0.5$.

8. The projection lens of Claim 1 wherein the first lens unit comprises at least one negative lens element having an overall meniscus shape which is convex towards the long conjugate side.

9. The projection lens of Claim 1 wherein the first lens unit consists of two negative lens elements, each of which has an overall meniscus shape which is convex towards the long conjugate side.

10. The projection lens of Claim 1 wherein the first lens subunit consists of a biconvex lens element.

11. The projection lens of Claim 1 wherein the second lens subunit consists of a doublet.

12. The projection lens of Claim 1 wherein the third lens subunit consists of a doublet.

13. The projection lens of Claim 1 wherein the projection lens consists of eight or less lens elements.

14. The projection lens of Claim 1 wherein the projection lens consists of seven lens elements.

15. The projection lens of Claim 1 wherein:

(i) the projection lens has a field of view θ in the direction of the

long conjugate side of the lens; and

(ii) θ satisfies the relationship:

$$\theta > 50^\circ.$$

16. A projection lens system comprising:

(a) a pixelized panel; and

(b) the projection lens of Claim 1.

17. The projection lens system of Claim 16 further comprising an illumination system which has an optical axis which intersects the projection lens' optical axis at an acute angle.

1/5

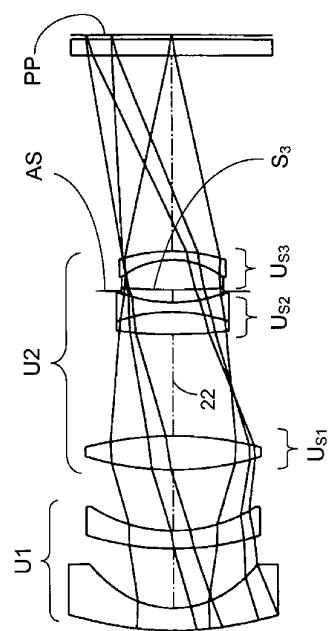


FIG. 1

2/5

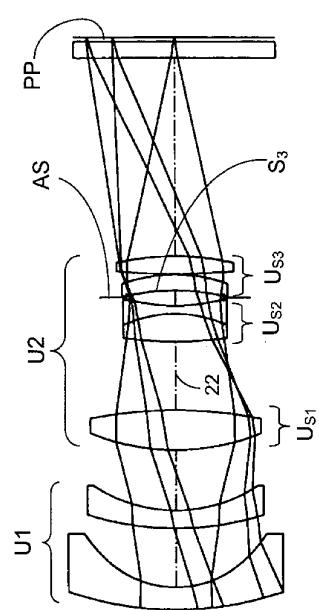


FIG. 2

3/5

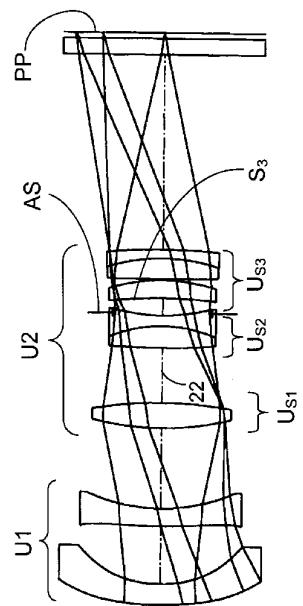


FIG. 3

4/5

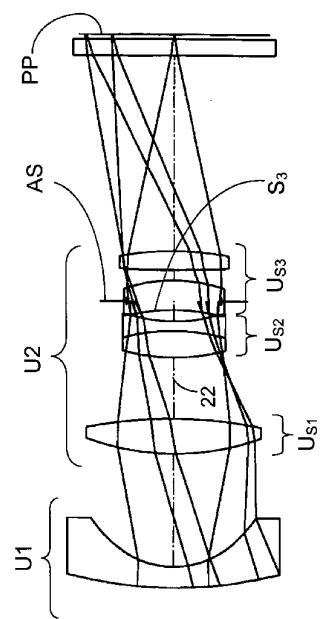


FIG. 4

WO 02/069013

PCT/US02/05612

5/5

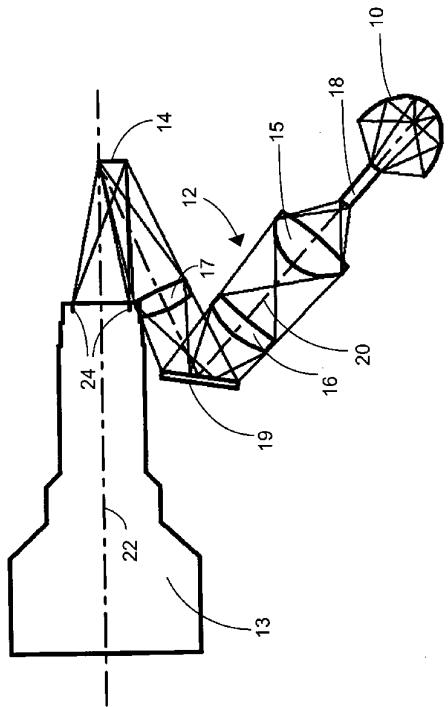


FIG. 5

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/05612
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : G02B 9/60, 9/62, 13/04 US CL : 559/649, 756, 758, 762, 770 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 559/649, 756, 758, 762, 770		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6,008,952 A (YAMAMOTO) 28 December 1999, (28/12/99) see Fig. 1.	1-17
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "B" earlier document published on or after the international filing date which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "C" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "D" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 09 MAY 2002		Date of mailing of the international search report 12 JUN 2002
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703) 305-8280		Authorized officer SCOTT J. SUGARMAN  Telephone No. (703) 308-0956

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)*

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN, TD,TG),AE,AG,AL,AU,BA,BB,BG,BR,BZ,CA,CN,CO,CR,CU,CZ,DM,DZ,EC,EE,GD,GE,HR,HU, ID,IL,IN,IS,JP,KP,KR,LC, LK,LR,LT,LV,MA,MG,MK,MN,MX,NO,NZ,OM,PH,PL,RO,RU,SG,SI,SK,TN,TT,UA,UZ,VN,YU,ZA

F ターム(参考) 2H087 KA06 KA07 LA03 PA05 PA19 PB07 QA02 QA07 QA17 QA22
QA25 QA34 QA37 QA41 QA45 QA46 RA05 RA12 RA32 UA01