

(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2013-531807

(P2013-531807A)

(43) 公表日 平成25年8月8日(2013.8.8)

(51) Int.Cl.

G02B 13/00 (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01)

F 1

G02B 13/00
G02B 13/18

テーマコード(参考)

2 H 0 8 7

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 56 頁)

(21) 出願番号 特願2013-511316 (P2013-511316)
 (86) (22) 出願日 平成23年5月18日 (2011.5.18)
 (85) 翻訳文提出日 平成24年11月20日 (2012.11.20)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2011/036925
 (87) 國際公開番号 WO2011/146566
 (87) 國際公開日 平成23年11月24日 (2011.11.24)
 (31) 優先権主張番号 12/784,520
 (32) 優先日 平成22年5月21日 (2010.5.21)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 590000846
 イーストマン コダック カンパニー
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 ロchester
 スター ステート ストリート 343
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介
 (72) 発明者 カーツ, アンドリュー フレデリック
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 146
 50-2201 ロchester ステイト
 ・ストリート 343

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】低熱応力複屈折画像レンズ

(57) 【要約】

結像レンズであって、該結像レンズは、熱的に引き起こされる応力複屈折に対して低減された感受性を有し、画像面に対象面を結像し：前記対象面と前記画像面との間に位置する開口絞りと；前記開口絞りの対象面の側に位置する第1レンズ要素群と；前記開口絞りの画像面の側に位置する第2レンズ要素群と、を有し、前記開口絞りのすぐ近くにある、対象面と画像面との双方の側のレンズ要素群が、熱応力複屈折メトリックで特徴付けられるように、熱応力複屈折に対して無視できるほどの感受性を有するガラスを用いて作製され；及び、前記第1レンズ要素群又は前記第2レンズ要素群内の他のレンズ要素群が、前記開口絞りのすぐ近くにあるレンズ要素群ではなく、熱応力複屈折メトリックで特徴付けられるように、熱応力複屈折に対して最大で中程度の感受性を有するガラスを用いて作製される、結像レンズ。

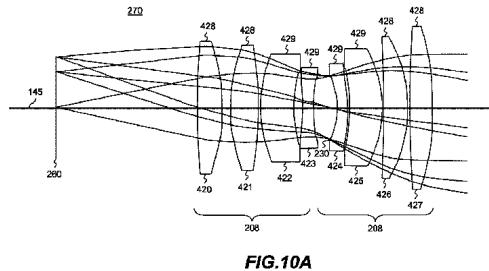


FIG.10A

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

結像レンズであって、該結像レンズは、熱的に引き起こされる応力複屈折に対して低減された感受性を有し、画像面に対象面を結像し：

前記対象面と前記画像面との間に位置する開口絞りと；

前記開口絞りの対象面の側に位置する第1レンズ要素群と；

前記開口絞りの画像面の側に位置する第2レンズ要素群と、を有し、

前記開口絞りのすぐ近くにある、対象面と画像面との双方の側のレンズ要素群が、熱応力複屈折メトリックで特徴付けられるように、熱応力複屈折に対して無視できるほどの感受性を有するガラスを用いて作製され；及び、

前記第1レンズ要素群又は前記第2レンズ要素群内の他のレンズ要素群が、前記開口絞りのすぐ近くにあるレンズ要素群ではなく、熱応力複屈折メトリックで特徴付けられるように、熱応力複屈折に対して最大で中程度の感受性を有するガラスを用いて作製される、結像レンズ。

【請求項 2】

前記熱応力複屈折メトリックは、前記ガラスの熱膨張係数、前記ガラスの応力光学係数、及び、前記ガラスの光吸収係数に関するファクタを含む、請求項 1 記載の結像レンズ。

【請求項 3】

前記熱応力複屈折メトリックは、前記ガラスの弾性係数、前記ガラスの熱伝導率、前記ガラスのポアソン比、前記ガラス内の光学パワー密度、前記レンズ要素の厚さ、又は、前記レンズ要素の開口部サイズに関する、少なくとも 1 つの追加的なファクタを更に含む、請求項 2 記載の結像レンズ。

【請求項 4】

前記熱応力複屈折メトリックは、以下によって与えられ：

【数 1 6】

$$M_1' = \rho \kappa \alpha.$$

ここで、 ρ は熱膨張係数であり、 κ は応力光学係数であり、 α は光吸収係数である、請求項 2 記載の結像レンズ。

【請求項 5】

前記熱応力複屈折メトリックは、以下によって与えられ：

【数 1 7】

$$M_1 = \rho \kappa \alpha E / (K \cdot (1 - \mu)).$$

ここで、 ρ は熱膨張係数であり、 κ は応力光学係数であり、 α は光吸収係数であり、 E は弾性係数であり、 K は熱伝導率であり、 μ はポアソン比である、請求項 2 記載の結像レンズ。

【請求項 6】

熱応力複屈折に対して無視できるほどの感受性を有するガラスが、 $M_1 > 0.1 \times 10^{-6} W^{-1}$ の条件を満たし、かつ、熱応力複屈折に対して最大で中程度の感受性を有するガラスが、 $M_1 < 1.60 \times 10^{-6} W^{-1}$ の条件を満たす、請求項 5 記載の結像レンズ。

【請求項 7】

前記レンズ要素の全てが $M_1 > 0.80 \times 10^{-6} W^{-1}$ の条件を満たす、請求項 6 記載の結像レンズ。

【請求項 8】

前記レンズ要素の少なくとも 1 つが、 $0.80 \times 10^{-6} W^{-1} < M_1 < 1.60 \times 10^{-6} W^{-1}$ であるガラスを用いて作製される、請求項 6 記載の結像レンズ。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

前記熱応力複屈折メトリックは、以下によって与えられ：

【数 1 8】

$$M_2 = I_0 L \rho \kappa \alpha E / (K \cdot (1-\mu)).$$

ここで、 I_0 は前記ガラス内の光学パワー密度であり、 L は前記レンズ要素の厚さであり、 ρ は熱膨張係数であり、 κ は応力光学係数であり、 α は光吸收係数であり、 E は弾性係数であり、 K は熱伝導率であり、 μ はポアソン比である、 請求項 2 記載の結像レンズ。

10

【請求項 1 0】

前記レンズ要素の作製に用いられる前記ガラスが、適切な画像品質性能を達成することに関連する特性のために選択され、その画像品質性能には反射率と色分散特性とを含む、 請求項 1 記載の結像レンズ。

【請求項 1 1】

前記レンズ要素のうちの 1 つ以上についてその 1 つ以上の表面が、非球面形状を有する、 請求項 1 記載の結像レンズ。

【請求項 1 2】

前記結像レンズは、回折光学要素又は偏光補償器を更に含む、 請求項 1 記載の結像レンズ。

20

【請求項 1 3】

前記結像レンズは、多層誘電被膜を備えたミラーを更に含み、異なる波長帯域に対して、経路長を別々に変化させ、それによって、色収差を低減する、 請求項 1 記載の結像レンズ。

【請求項 1 4】

前記結像レンズは古典的なダブルガウスレンズの形状を有する、 請求項 1 記載の結像レンズ。

【請求項 1 5】

前記結像レンズは古典的なダブルガウスレンズの形状を有するが、前記開口絞りに近接するレンズ要素の 1 つはクラウンガラスを用いて作製される、 請求項 1 記載の結像レンズ。

30

【請求項 1 6】

前記結像レンズは偏光を結像するように使用される、 請求項 1 記載の結像レンズ。

【請求項 1 7】

前記結像レンズは、デジタル投影システムのリレーレンズ又は投影レンズである、 請求項 1 記載の結像レンズ。

【請求項 1 8】

レンズシステムであって、該レンズシステムは熱的に引き起こされる応力複屈折に対して低減された感受性を有し、対象面を画像面に結像し：

40

前記対象面と前記画像面との間に位置する開口絞りと；

複数のレンズ要素と、を含み、

前記結像レンズが前記対象面を前記画像面に結像するよう用いられるとき、少なくとも最大光学パワー密度を透過光から受けるレンズ要素が、熱応力複屈折メトリックで特徴付けられるように、熱応力複屈折に対して無視できるほどの感受性を有するガラスを用いて作製され；及び、

他のレンズ要素が、前記熱応力複屈折メトリックで特徴付けられるように、熱応力複屈折に対して最大で中程度の感受性を有するガラスを用いて作製される、レンズシステム。

【請求項 1 9】

前記熱応力複屈折メトリックが、以下によって与えられ：

50

【数19】

$$M_1 = \rho \kappa \alpha E / (K \cdot (1-\mu)).$$

ここで、 κ は熱膨張係数であり、 α は応力光学係数であり、 ρ は光吸収係数であり、 E は弾性係数であり、 K は熱伝導率であり、 μ はポアソン比である、請求項18記載のレンズシステム。

【請求項20】

熱応力複屈折に対して無視できるほどの感受性を有するガラスが、 $M_1 > 0.1 \times 10^{-6} W^{-1}$ の条件を満たし、かつ、熱応力複屈折に対して最大で中程度の感受性を有するガラスが、 $M_1 < 1.60 \times 10^{-6} W^{-1}$ の条件を満たす、請求項18記載のレンズシステム。

10

【請求項21】

前記レンズ要素が少なくとも2つのレンズ群の中に配置され、前記開口絞りのそれぞれの側に少なくとも1つのレンズ群を備えている、請求項18記載のレンズシステム。

【請求項22】

前記開口絞りに最も近い何れか一方のレンズ群のレンズ要素が、前記熱応力複屈折メトリックで特徴付けられるように、熱応力複屈折に対して最大で中程度の感受性を有するガラスを用いて作製される、請求項21記載のレンズシステム。

20

【請求項23】

前記レンズ要素の1つ以上が少なくとも1つのハウジング内にアセンブリされ、前記レンズ要素、又は、レンズ要素のハウジングのうち少なくとも1つが冷却されて、前記適応される光学パワーによって引き起こされる、前記少なくとも1つのレンズ要素上の熱負荷を変化させる、請求項18記載のレンズシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光学画像システムに関連し、さらに詳しくは、透過光によって伝えられる熱負荷に起因する応力複屈折に対して低感度な画像レンズに関連する。

30

【背景技術】

【0002】

投影及び電子表示システムは広く使用され、画像コンテンツを表示する。投影システムの場合は、従来型のフィルムベースのシステムであれ、新しい電子システムであれ、光源（一般的にはランプ）からの光は画像変調要素（例えばフィルムや1つ又は複数の空間光変調）に方向付けられ、その画像変調要素は画像データを透過光に伝達する。一般的には、その後、フィルムや光変調アレイは表示面やスクリーンに結像される。

【0003】

他の側面として、高品質の投影システムに対する関心が高まっており、その投影システムは、3次元（3D）の又は認識される立体的コンテンツを表示し、お客様に向上した視覚体験を提供することができる。歴史的には、立体的コンテンツはフィルム媒体を用いて劇場で投影され、そして、各々の目に対して1つ、2セットのフィルムが2つの分離した投影装置にロードされる。そして、左目と右目の画像は、偏光を用いて同時に投影され、そこでは或る偏光が左目に提示される画像用に用いられ、直交偏光の光が右目に提示される画像用に用いられる。観客は相応の直交性偏光メガネをかけ、そのメガネは各々の目に対して或る偏光画像をブロックするが、直交する偏光画像を通過する。

40

【0004】

近年、ステレオ投影を提供する電子又はデジタルシネマプロジェクタが商品化されてきている。特に、Texas Instruments, Inc., Dallas, TXによって開発されたデジタル

50

ライトプロジェクタ（DLP）やデジタルマクロミラーデバイス（DMD）に基づくプロジェクタが、ステレオと非ステレオバージョンの両方で劇場では使用されている。DLPデバイスは多くの特許で説明され、例えば、米国特許4,441,791（特許文献1）、米国特許5,535,047（特許文献2）及び米国特許5,600,383（特許文献3）（全てHornbeckに属する）である。

【0005】

図1Aは、DLP空間光変調器を用いたプロジェクタ100の単純化した構成図を示す。光源50（一般的にはキセノンアークランプ）が多色非偏光を、例えばフィリップス・プリズムのようなプリズムアセンブリ55内へ供給する。フィリップス・プリズムとして示されるプリズムアセンブリ55は多色光を赤色、緑色、及び青色の成分波長帯域に分割し、各帯域を対応する空間光変調器（SLM）170r、170g、又は、170bに向付ける。次に、プリズムアセンブリ55は、その空間光変調器170r、170g及び170bから変調された光を再結合し、そして、表示スクリーン又は他の適当な表面上に投影するため、この非偏光光を画像レンズ200に供給する。DLPベースのプロジェクタは、デスクトップから大映画館までのほとんどの投影アプリケーションに対して、必要な光のスループット、コントラスト比、及び、色域を供給する性能を実証してきた。交代に、透過光の偏光状態を変化させることにより光を変調する液晶装置（LCDs）が、DLP装置に代わって使用することが可能であり、より高い解像度とより大きいデバイスサイズという相対的利点を備えているが、投影された画像のコントラスト供給、コントラスト均一性、及び色の均一性の点でより大きな問題がある。

10

20

30

40

【0006】

これらのSLMベースのプロジェクタ（DLP又はLCD）から立体視画像を形成する従来の方法は、左目と右目のコンテンツを区別するため、2つの主な技術のうちの一方を使用する。1つは、例えばDolby Laboratoriesによって活用される、あまり一般的でない技術であり、色空間分割を用い、例えば、Maximus他による米国特許出願公開2007/0127121（特許文献4）で説明されている。白色光照明システムにおいてフィルタが使用され、フレーム時間の部分に対し、各主要色の部分を遮断する。各々の目に関連したステレオコンテンツに調整された適切な色が、その目に対する各変調器に提示される。視聴者は相応のフィルタセットを着用し、それは同様に、2つの3色（RGB）スペクトルセットのうちの1つだけを透過する。色空間分割は、スクリーンで、及び、視聴者のメガネについて、プロジェクタからの偏光を扱う際の問題を回避するが、光の非効率性とメガネのコストは問題である。

【0007】

立体視画像を形成する第2の方法は、偏光を使用する。例えばSvardal他による米国特許6,793,341（特許文献5）が或る方法について説明し、その方法では、2つの直交偏光状態が分離した空間光変調器によって供給され、スクリーンに同時に投影され、そのスクリーンは一般的には反射光の偏光状態を保持する特性を有する。視聴者は偏光メガネを着用し、そのメガネは左目と右目の偏光透過軸を備え、それぞれに対して直交する方向に合わされている。この構成は光の効率的な使用を与えるが、高価な構造になり得る。

40

【0008】

他のアプローチは、Real-D, Beverly Hills, CAによって商品化されたアプローチであり、従来のプロジェクタを使用し、そのプロジェクタを修正し、一方から他方へ迅速に切り替わる交互の偏光状態を変調する。詳しくは、図1Aに示されるように、DLPプロジェクタが修正され、例えば、図1Aの破線で表される位置90で、光の出力経路に偏光器と偏光器スイッチングデバイスとを有する。その偏光器スイッチングデバイスが必要なのは、DLPプロジェクタは変調されているが非偏光の光を出力するからである。この出力は非偏光である、というのは、非偏光の光源（ランプ）が使用され、一般的なDLPデバイスウインドウが極性をなくしているからである（応力に起因する複屈折のため）。例えばRobinson他の米国特許7,528,906（特許文献6）のような無彩色偏光切替器

50

を偏光器の後の位置 90 に置くことが可能である。この種の切替器 (ZScreenTM) は、例えば線形の偏光状態のように、2つの直交する偏光状態間で偏光を交互に交替し、それぞれの目に、2つの異なる画像の提示を可能にし、ユーザは投影された画像を偏光メガネで観察する。

【0009】

偏光器の偏光コントラスト仕様は、偏光器の効率を上げるためのトレードオフとして、少量 (~ 50 : 1) ので、左目と右目の画像間の画像クロストークが発生することがある。これは視聴者にゴースト画像を実感させることがあり、例えば、左目は、明るい左目画像だけでなく、薄暗い右目画像も見る。Real-Dは、この問題に対して様々なソリューションを提供し、そこには画像のゴーストを低減するために画像コンテンツのリアルタイムなデジタル・プレプロセッシングを使用することを含む。詳しくは、デジタル・プロセッサがクロストークモデルを適用し、左目画像と右目画像を比較することにより潜在的なゴーストを推定し、そしてその推定ゴースト画像を差し引く。“Ghost-compensation for improved stereoscopic projection”と題するM.Cowan他による米国特許公開2006/0268104(特許文献7)は、こうしたアプローチを詳しく説明している。他の例として、Chen他による米国特許7,518,662(特許文献8)では、ZScreen切替器の偏光コントラストは、表題の偏光補償器によって改良される。

10

【0010】

様々な理由により、例えば、光効率を改善するため、色域を拡大するため、光源の寿命を延ばすため、及び、現行の交換コストを低減するため等の理由により、2Dであれ3Dであれ、プロジェクタの伝統的なランプ(キセノンアーク、タンゲステンハロゲン、又はUHP)を半導体光源(レーザやLED)に置き換える継続的な推進力が存在する。しかし、現在まで、レーザベースの投影システムの要望は実現されておらず、一つには、コンパクトで、ロバストで、低・中間コストで、視覚可能な波長レーザ技術が商品化可能な形態で出現しなかったからであり、特に緑色と青色についてである。近年の青色ダイオードレーザとコンパクトな緑色SHGレーザの出現により、例えばMicrovisionのような会社から、低コストで、レーザベースの、ピコ・プロジェクタがマーケットに達している。

20

【0011】

平行して、デジタルシネマプロジェクションをサポートするコンパクトで高出力の視覚可能なレーザに対する障害も、同様に、無くなり始め、Laser Light Engines (Salem, NH) 及びNecsel (Milpitas, CA) といった会社がプロトタイプの又は早期プロダクトのレーザデバイスを実際に示している。例えば、Necsel(以前はNovaluxとして知られていた)は、緑色(532 nm)と青色(465 nm)のレーザアレイを売り出し、それぞれ3-5ワットの光学出力パワーを供給している。これらの出力レベルで、システム効率損失を許容し、大会議室やホームシアター用の小型サイズのプロジェクタ(~1500ルーメン出力)が、色毎に単一のレーザデバイスを用いて実現することができる。しかし、映画の場合は、スクリーンのサイズとスクリーンの利得に応じて、スクリーン上の輝度は10,000-40,000ルーメン、又は、スクリーンに入射する組み合わされた光学パワー(flux)は40-170ワットを要する。同様に、内部の光学的効率損失を許容すると、これは、40-120ワットの光学パワーが各色チャンネルでレーザ源から必要とされることを意味する。現在は、これらのパワーレベルは、各色チャンネルで複数のレーザアレイの出力を光学的に組み合わせることによってのみ達成可能である。最終的には、レーザ技術は進歩し、そして単一のコンパクトなレーザデバイスが各色を駆動することができるようになる。もちろん、それぞれのアプローチは、単純さ、コスト、及び、レーザの故障の受け易さのトレードオフについて、有利な点と不利な点を有する。

30

【0012】

単純化すると、デジタルシネマプロジェクタは、図1Aの光源50に使用される従来型のランプを多数のレーザデバイスで代替することにより、供給することが可能である。さらに、レーザが本来的に偏光した光源である場合は、より効率的な3D投影が供給され、付属の偏光器なしで、偏光切替器が位置90で使用される。しかし、この単純化した視点

40

50

は、デジタルシネマのような高パワーのレーザベースの投影アプリケーションには現実的でない。示唆したように、スクリーン上で 40 - 170 光学ワットを供給する投影システムは、ずっと高い光レベルを内部的に受け、最も高い光レベル (flux 又はワットで) が光源アセンブリで発生し、最も低い光レベルがおそらくは投影レンズの出力表面で発生する。レーザ光は、その空間及び時間コヒーレンスのため、flux レベルが同程度のときも、インコヒーレントな (ランプ) 光源からの光ビームよりも小さいボリュームへ、より高いパワー密度でフォーカスする。最も高い内部パワー密度は、光が集中する場所、例えば、積分バー、空間光変調器、アバーチャストップ、又は中間画像で発生する。もちろん、これらの高い光レベルは付随する熱の問題をもたらし、照明光、イメージング光、又は、迷光でさえ内部表面又は物質に衝突するからである。

10

【0013】

従来のランプベースのシステムでは、強い光によって生じる多くの問題が既に存在し、そのうちの幾つかがレーザベースのシステムにおいて増幅されるだけである。例えば、ランプベースのシステムでは、高輝度フォーカス光とランプからの周辺迷光とを受信する積分バーの入力アバーチャは、一般的には空冷式放熱アセンブリによって取り囲まれる。他の例として、デジタルシネマ投影システムでは、空間光変調器は一般的には循環冷却水で冷却される。

【0014】

こうした高い光レベルでは、強い光 (及び、特には残余UV光) は、物質の性能や信頼性に影響することがあり、その物質には、光学接着剤、セメント、又は、プリズム要素に使用されるポリマー、ダブルエット、又は、液晶デバイスを含む。その結果、これらの物質は、熱的又は化学的变化から引き起こされる劣化を避けるよう、慎重に選ばれる必要がある。同様に、光学要素又はその取り付けアセンブリの熱膨張のミスマッチな係数に起因する機械的応力は、応力、変形、破損を避けるべく、最小化され対応されなければならない。

20

【0015】

特に微妙な影響として、それは 3D 投影のシステムを含む偏光ベースの投影システムに影響するもので、高い強度の光のうち少ない部分が光学物質に吸収され、それによって、その要素に応力複屈折を生じる。また、それは透過光の偏光方向を変化させることがあり、それによって、画像コントラスト、画像コントラスト均一性、色均一性、又は、他の属性であって、認識されるスクリーン上の画像品質を低減する属性に影響を及ぼす。

30

【0016】

空間光変調デバイスやシリコン上の液晶 (LCD) の場合は、特に、強い光がカウンター電極基板内で熱負荷と応力複屈折を生じる場所で問題が発生し、その基板はそのデバイス自体に対して内部にある。さらに状況を説明すると、図 1B は、従来技術のプロジェクトタ 101 を例示し、入射する照明光ビーム 140 は、各色に対して、それぞれの変調光学システム 80 へ方向付けられ、そのプロジェクタは、偏光ビームスプリッタ 60 (偏光プリズムとしても知られる)、偏光補償器 360、及び空間光変調器 170g、170b、又は、170r を含むプロジェクタ・サブシステムである。変調光学システム 80 からの変調ビームは X プリズム 65 を用いて組み合わされ、投影レンズ 270 に方向付けられて、表示スクリーン (不図示) に投影される。一般的には、変調光学システム 80 内のコンポーネントの偏光の性質及び特性は、プロジェクタ 101 によって供給されるスクリーン上の偏光コントラストを決定する。

40

【0017】

カウンター電極基板 (不図示) は光学ガラスの薄いプレートであり、LCD 空間光変調器 170g、170b 及び 170r 内のシリコン基板と平行に配置される。そして、液晶物質は、シリコン内に (又はその上に) 形成されるピクセル構造と同様に、これらの基板の間の薄い隙間を埋める。対向する電極基板は、パターン透明電極 (一般的にはITOの) で被覆され、電場が電極間に印加されることを可能にし、ピクセル的な基礎上で液晶分子の方向をコントロールする。

50

【0018】

この構造は低い光強度で良好に動作し、そして、ピクセルによって支配される偏光方向が、光が対向する電極基板を通過するように、維持され、そして、結果の偏光画像光は、偏光ビームスプリッタ、分析器、又はスイッチといった下流の偏光光学系に衝突することができ、偏光画像光は意図する方向を有する。しかし、高い光強度では、カウンター電極基板を透過する光の部分は、吸収され、充分な内部過熱により、応力複屈折を引き起こし、変わって、偏光方向を変化させる。

【0019】

この課題を認識し、Schmidt他の米国特許5,576,854（特許文献9）は最適なガラスを識別する方法を提案し、そのガラスは、LCOSパネルのカウンター電極基板を製作するように使用される。特に、彼らは候補となるガラスを識別する性能指標Mを提案し、以下の積で与えられる：

10

【0020】

【数1】

$$M = \rho E \kappa \quad (1)$$

20

ここで、 ρ は熱膨張係数（CTE）、 E は応力光学係数、 κ は弾性係数（E）である。Schmidt他は2つのガラスを特に有益な候補として特定した；極めて低い応力光学係数のSchott SF-57、および、極めて低い熱膨張係数の石英ガラスである。Schmidt他によれば、石英ガラスの例では、加熱がガラスの最低限の膨張を生じ、また、わずかな熱に起因する応力を生じる。SF-57の例では、熱の応力係数自体はとても低く、これは熱から応力複屈折への直接の変換が少ないことを意味する。前述したように、同様の問題は、DLP変調器のカバーガラスウインドウに関して今も存在する；しかし、これらのデバイスは、偏光状態を維持するという期待とともに、強い偏光を変調するようには一般には使用されてこなかったので、応力複屈折を最小化するという目的をもって、ガラスの選択も、ガラスの備え付け設計も行われてこなかった。

30

【0021】

投影ディスプレイにおけるガラスの選択と熱応力複屈折との関係は、Displays, Vol.2 3, pp.151-159, 2002に発行された、R. Clineによる "Thermal Stress Birefringence in LCOS Projection Displays" の論文で探求されている。この論文は、投影ディスプレイシステムにおける偏光ビームスプリッタ60（図1B）又はフィリップスプリズムアセンブリ55（図1A）の使用に適切なガラスを特定することに関連する。特に、著者は、候補となるガラスを評価する拡張した性能指標を導入し、その性能指標は、熱膨張係数（）、応力光学係数（）、弾性係数（E）だけでなく、ガラスの熱伝導性（K）、光吸収率（）、及びポアソン比（μ）を含む：

40

【0022】

【数2】

$$M = \frac{\alpha \rho E \kappa}{K(1-\mu)} \quad (2)$$

Cline他は、Schott SF-57, Ohara PBH56, 及び石英ガラスだけが、高パワー偏光高感度プロジェクタ（1000+ルーメン）のプリズムに使用されることができ、一方で、Schott SK5やSchott BK7を含む広い範囲のガラスは低パワー（500ルーメン）プロジェクタのプリズムに使用されることを提案する。 10

【0023】

対照的に、Aastuen他の米国特許7,357,511（特許文献10）では、発明者は、充分に低い応力複屈折（例えばSchott SK5又はSchott BK7）のためCline他により提案されるガラスは、実際には不適当であり、これらの代替ガラスからのコントラスト劣化は実際には大きすぎると示唆している。そして、Aastuen他は、代替の変調光学システム80を提案し、そのシステムでは、偏光ビームスプリッタ60の偏光コントラストは、偏光ビームスプリッタ60と空間光変調器170との間に偏光補償器360を供給することにより（図1B参照）、プリズムを含むガラスの応力複屈折に関して改善することができ、そこには熱的に生じる応力複屈折も含む。彼らは、4分の1波長の遅延特性を有する偏光補償器360が、応力複屈折に対して充分な補償を与え、そして、プリズムガラスの選択が、Schott SF-57のような低い応力光学係数（）のガラスにもはや限定されないことを実証している。 20

【0024】

また、マイクロリソグラフィーの領域も含み、不所望の複屈折が投影空間以外の領域で画像品質の問題を発生していることに留意する。例えば、Allan他の米国特許6,785,051（特許文献11）は、200nmUVリソグラフィーを目的とする屈折／反射イメージングシステムについて説明している。こうしたスペクトル範囲では、利用可能な光学物質については非常狭い範囲の選択が、大きな固有複屈折を示すフッ化カルシウム（CaF₂）のような結晶物質によって支配される。光学系内の累積複屈折や偏光状態の変化を低減するため、Allan他は、1つ又は複数の補正光学要素を提案し（光学プレート又はビームスプリッタ）、その要素は、同じタイプの本質的に複屈折な物質から作製される。この例では、補正光弾性複屈折は、外部に適用される応力又はひずみによって供給され（引張、圧縮、又は、せん断応力から）、機械的固定具、圧電アクチュエータ、熱要素、又は、他の応力発生器によって、その補正要素に与えられる。 30

【0025】

同様に、Brunotte他の米国特許6,879,379（特許文献12）は、CaF₂のような本的に複屈折な物質と補正要素とを含むレンズ要素を用いた、UVマイクロリソグラフィック・イメージング・システムを開示する。その本的な複屈折は、位置と角度に関する不所望の偏光回転効果を伝える。この例では、補正要素は光学プレート又はレンズであり、アバーチャストップに最も近く位置付けられ、またCaF₂から製作される。そして、機械的応力が、圧電アクチュエータを用いてパルス方式で印加され、その結果、応力複屈折が、本的な複屈折によって生ずる角度依存の偏光効果を補償する要素につたえられる。 40

【0026】

興味深いことに、Brunotte他（'379）（特許文献12）とAllan他（'051）（特許文献11）のソリューションは、本的に複屈折な物質の限的なセットを用いて、イメージングシステムに適用される。比較すると、Schmidt他（'854）（特許文献9

10

20

30

40

50

)、Cline他、及び、Aastuen他(’511)(特許文献10)によって提案されるソリューションは、低パワーのアプリケーションを目的とするランプベースの投影システムの状況で開発されたが、潜在的にはデジタルシネマに拡張可能である。しかし、これらのソリューションは、プロジェクタ101の変調光学システム80の内部の光学要素(カバーガラスとプリズム)だけを対象としている。

【0027】

レーザ投影システムでは、局部的な光強度とパワー密度は、白色光システムに比べて、感知できるほど高くなり、それは、レーザ光のコヒーレンス又はフォーカスパワーのためであり、さらに、熱効果が光学システム全体に生じることがある。極端な例では、非線形の光学物質内での光学的な自己集束効果が、光学損傷や光学破壊を発生することがある。

10

【0028】

レーザベースのデジタルシネマプロジェクタの例では、自己集束のような永久損傷メカニズムはおそらくは密接な関係は無いが、熱的に引き起こされた応力複屈折のような他の熱的効果は、他の光学要素に影響を及ぼし、その光学要素には、プリズムアセンブリ、空間光変調器、又は、カバーブレート、又はそのカウンター電極基板のような変調光学サブシステムの中に存在するもの以外のコンポーネントを含む。特に、多数の複雑なレンズ要素を含むイメージングレンズアセンブリであって、強いレーザ光をイメージするよう負荷が掛けられ、一方で、熱的に発生した応力複屈折や結果的に生じる偏光効果を受けない、イメージングレンズアセンブリの設計と使用は、デジタルシネマのパワーレベルで関心事であり、そのパワーレベルは、応力複屈折に対して以前に扱われた場合よりもずっと高いパワーレベルである。レンズ設計の当業者に知られているように、イメージングレンズアセンブリは、非平面レンズ要素の構成を利用し、その物質、厚さ、曲率、及び、相対配置は慎重に設計されて、収差と回折に関して、所望の画像品質を供給する。しかし、イメージングレンズシステムとその構成するレンズ要素の設計に関して、熱的に生じた応力複屈折を更にコントロールする追加的な複雑さは問題であって、いずれの先行技術にも教示も示唆もない。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0029】

【特許文献1】米国特許4,441,791号

30

【特許文献2】米国特許5,535,047号

【特許文献3】米国特許5,600,383号

【特許文献4】米国特許出願公開2007/0127121号

【特許文献5】米国特許6,793,341号

【特許文献6】米国特許7,528,906号

【特許文献7】米国特許公開2006/0268104号

【特許文献8】米国特許7,518,662号

【特許文献9】米国特許5,576,854号

【特許文献10】米国特許7,357,511号

40

【特許文献11】米国特許6,785,051号

【特許文献12】米国特許6,879,379号

【特許文献13】米国特許5,83,336号

【特許文献14】米国特許4,704,011号

【特許文献15】米国特許6,795,255号

【特許文献16】米国特許5,172,275号

【特許文献17】米国特許6,317,268号

【特許文献18】米国特許6,909,473号

【特許文献19】米国特許7,170,574号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0030】

本発明の課題は、上記の問題点を解決することである。

【課題を解決するための手段】

【0031】

本発明は、熱に起因する応力複屈折の感受性を低減した、対物面を画像面に結像する画像レンズについて示し、

対物面と画像面の間に位置するアパーチャストップと、

前記アパーチャストップの対物面上に置かれる第1レンズ要素群と、

前記アパーチャストップの画像面上に置かれる第2レンズ要素群と、を有し、

対物面と画像面との両方の上に、前記アパーチャストップに直接隣接した前記レンズ要素群は、熱の応力複屈折に対して無視できる程の感度を有するガラスを用いて、製作され、熱の応力複屈折メトリックに特徴を有し、

第1又は第2レンズ要素群の中の、前記アパーチャストップに直接隣接していない他のレンズ要素は、熱の応力複屈折に対して最大でも適度な感度を有するガラスを用いて製作され、熱の応力複屈折メトリックによって特徴付けられる。

10

【0032】

結像レンズが偏光を用いて画像を生成するよう使用されるとき、その画像レンズの性能は、その画像光の吸収から生じる熱の変化に重大な影響を受けないという利点を有する。

【0033】

さらに、こうした結像レンズは、応力複屈折に起因する偏光解消による左目と右目の画像間の好ましくないクロストークを生じることなく、立体視投影システムに使用できるという利点を有する。

20

【0034】

低減した複屈折の感度が、受容可能な画像品質レベルを同時に達成しつつ、達成されるという追加的な利点も有する。

【図面の簡単な説明】

【0035】

本発明は、以下に示される例示的実施形態の詳細な説明からより容易に理解され、それは添付の図面とともに考慮されるだろう：

【図1A】図1Aは、先行技術のデジタル投影システムの部分を示す。

30

【図1B】図1Bは、先行技術のデジタル投影システムの部分を示す。

【図2】図2は、本発明の結像レンズを組み込んだプロジェクタの全体的なシステム構成を示す。

【図3A】図3Aは、例示的な光源アセンブリを示し、本発明の投影システムに用いられる複数のレーザデバイスと1つのレーザコンバインを含む。

【図3B】図3Bは、例示的な光源アセンブリを示し、本発明の投影システムに用いられる複数のレーザデバイスと1つのレーザコンバインを含む。

【図4】図4は、本発明の結像レンズの一般的な構造を示し、リレーレンズと投影レンズの双方を含む。

【図5A】図5Aは、先行技術のダブルガウスタイルの結像レンズを表す。

40

【図5B】図5Bは、ガラスのグラフを表し、ガラスの屈折率とアッペ数に対して、光学ガラスをプロットする。

【図6A】図6Aは、第1の例示的な投影レンズの光学的設計を表し、中程度の熱応力複屈折と良好な画像品質を有する。

【図6B】図6Bは、MTFプロットを用いて、図6Aの投影レンズの光学性能を表す。

【図6C】図6Cは、第1の例示的なリレーレンズの光学的設計を表し、中程度の熱応力複屈折感度と良好な画像品質を有する。

【図6D】図6Dは、MTFプロットを用いて、図6Cのリレーレンズの光学性能を表す。

【図7A】図7Aは、レーザ結合アセンブリから発生した光ビームのプロフィールの等高

50

線を示す。

【図 7 B】図 7 B は、レーザ結合アセンブリから発生した光ビームのプロフィールの断面を示す。

【図 7 C】図 7 C は、空間光変調器に入射する、照明プロフィールの等高線を示す。

【図 7 D】図 7 D は、空間光変調器に入射する、照明プロフィールの断面を示す。

【図 7 E】図 7 E は、積分バーに続くテレセントリック空間内の光強度分布を示す。

【図 7 F】図 7 F は、リレーレンズの開口絞りの近くの光強度分布を示す。

【図 7 G】図 7 G は、投影レンズの開口絞りの近くの光強度分布を示す。

【図 8 A】図 8 A は、光学ガラス特性を示す表である。

【図 8 B】図 8 B は、光学ガラス特性を示す表である。

【図 8 C】図 8 C は、光学ガラス特性を示す表である。

【図 8 D】図 8 D は、光学ガラス特性を示す表である。

【図 9 A】図 9 A は、図 6 A の第 1 の例示的投影レンズの、熱応力複屈折性能を要約した表である。

【図 9 B】図 9 B は、図 6 C の第 1 の例示的リレーレンズの、熱応力複屈折性能を要約した表である。

【図 10 A】図 10 A は、第 2 の例示的投影レンズの光学的設計を表し、低い熱応力感度と不十分な画像品質を有する。

【図 10 B】図 10 B は、MTF プロットを用いて、図 10 A の第 2 の例示的投影レンズの光学性能を表す。

【図 10 C】図 10 C は、第 2 の例示的リレーレンズの光学的設計を表し、低い熱応力感度と不十分な画像品質を有する。

【図 10 D】図 10 D は、MTF プロットを用いて、図 10 C の第 2 の例示的リレーレンズの光学的性能を表す。

【図 11 A】図 11 A は、図 10 A の第 2 の例示的投影レンズの熱応力複屈折性能を要約した表である。

【図 11 B】図 11 B は、図 10 C の第 2 の例示的リレーレンズの熱応力複屈折性能を要約した表である。

【図 12 A】図 12 A は、第 3 の例示的投影レンズの光学設計を表し、低い熱応力感度と良好な画像品質を有する。

【図 12 B】図 12 B は、MTF プロットを用いて、図 12 A の第 3 の例示的投影レンズの光学的性能を表す。

【図 12 C】図 12 C は、第 3 の例示的リレーレンズの光学的設計を表し、低い熱応力感度と良好な画像品質を有する。

【図 12 D】図 12 D は、MTF プロットを用いて、図 12 C の第 3 の例示的リレーレンズの光学的性能を表す。

【図 13 A】図 13 A は、図 12 A の第 3 の例示的投影レンズの熱応力複屈折性能を要約した表である。

【図 13 B】図 13 B は、図 12 C の第 3 の例示的リレーレンズの熱応力複屈折性能を要約した表である。

【図 14 A】図 14 A は、図 12 A の第 3 の例示的投影レンズに対するレンズ設計パラメータを特定する表である。

【図 14 B】図 14 B は、図 12 C の第 3 の例示的リレーレンズに対するレンズ設計パラメータを特定する表である。

【図 15】図 15 は、本発明の一実施形態に従った、低減した熱応力複屈折感度を備えた画像レンズを設計する方法を示すフローチャートである。

【図 16】図 16 は、本発明の一実施形態に従った、低減した熱応力複屈折感度を備えた画像レンズを設計する別の方法を示すフローチャートである。

【図 17】図 17 は、本発明の投影レンズを用いながら、軸色を低減する方法を表す。

添付の図面は、本発明の概念を示す目的であり、原寸に比例したものでなくてもよいこと

10

20

30

40

50

を理解すべきである。

【発明を実施するための形態】

【0036】

本説明は詳しくは、本発明に従った装置の部分を形成する要素に向けられるか、又は、その装置とより直接的に協力する要素に向けられる。理解されるべきは、具体的に示されない又は説明されない要素は、当業者に周知の各種の形態をとってもよいことである。

【0037】

本発明は、本明細書で説明される実施形態の組合せを含む。“或る特定の実施形態”及び類似への言及は、本発明の少なくとも一つの実施形態にある特徴へ言及する。“一実施形態”又は“特定の実施形態群”又は類似のものについての別々の参照は、必ずしも同じ実施形態又は実施形態群に言及するものではない。しかし、そのように示唆されているか、又は、当業者に特に明らかである場合でなければ、そうした実施形態群は相互に排他的ではない。“方法”又は“方法群”及び類似のものに言及する際の、単数形又は複数形の使用は、限定的ではない。留意すべき点として、特に断りの無い限り、又は、文脈上必要とされる場合を除き、“又は”的語は、本明細書中では非排他的な意味で用いられる。

【0038】

本発明をより良く理解するため、全体の文脈を、本発明の装置と方法が動作可能である範囲内で説明することは有益である。図2の概略図は、プロジェクタ102の基本構成を示しており、そのプロジェクタは本発明の多数の実施形態で使用される。3つの照明アセンブリ110r、110g、及び、110bが示され、各々は、主要色の赤色、緑色、又は、青色(RGB)の1つを各光源アセンブリ115から供給する。その光源アセンブリ115は、1つ以上の光源を有し、詳しくはレーザ光源デバイスである(そのレーザ光源デバイスは図2には示されないが、図3Aと3Bに代表的な方法で示される)。

【0039】

図3Aは、複数のレーザアレイ120と120'からの光を組み合わせ、レーザ結合アセンブリ125を形成する、或る手法を示し、そのレーザ結合アセンブリは、光源アセンブリ115の一部分である(図2)。数ワット又はより多くの出力の、高パワー半導体(又はソリッドステート)のレーザアレイが、長年の間、赤色及び赤外線(IR)で容易に利用可能だった。これらのレーザは、一般的に、マルチモードレーザエミッタ122による单一モードの单一列を含む。しかし、高パワーで小型の緑色及び青色のレーザアレイだけが今になって利用可能になってきている。今まで、Necselの前述のレーザは、IRポンプ、周波数2倍、VECSEL(垂直拡張型空洞表面発光レーザ)のタイプのレーザであり、特別な期待を示してきた。重要なコンポーネントの加熱とパッケージの問題のため、現在利用可能なプレ商品化デバイスは、制約的な構造を有し、2つの平行な列のレーザエミッタ122を供給する(列ごとに24エミッタ)。

【0040】

その構成レーザアレイからの出力光ビームを近接して配置することは光学的には有利であるが、レーザアレイ120を相互に機械的に分離し、熱のクロストークと集中した熱負荷を低減することも望ましい。また、光源アセンブリ115(図2)を、電子デリバリとコネクション、関連する加熱と同じく、熱に敏感な光学投影システムから分離し、投影エンジンの光学性能を許容することは望ましい。図3Aでは、1つ以上の分散型ミラー160が使用され、追加のレーザアレイ120'の光軸をレーザアレイ120と一致して位置づけ、多数の光ビーム140を供給し、各々は複数の個別の光ビーム140'を含み、関連するアパーチャ130を有する照明レンズ150へ一緒に方向付けられ、その照明レンズは照明アセンブリ110r、110g、及び、110b(図2)それぞれのコンポーネントである。

【0041】

次に、図3Bは、他の実施形態による例示的な照明アセンブリ110の一部を表す。その照明アセンブリ110は、2つのレーザ結合アセンブリ125を含む、所定の色の光源アセンブリ115を有する。こうした構成を用いて、パワー出力は増大され、より高いス

10

20

30

40

50

クリーン・ルーメン条件を有する大規模スクリーンをサポートすることができる。この例では、2つのレーザ結合アセンブリ125の各々は、各側面でウインドウカット及び反射カットされた（完全な内部反射によって作用する）プリズム127を利用し、レーザアレイ120内のレーザエミッタ122からの光ビーム140の向きを共通の光路の下手へ変える。2つのレーザ結合アセンブリ125からの出力光は、照明ビーム結合器135によって共通光路の下手へ方向付けられ、照明レンズ150や光インテグレータ155で表されるような他の照明光学系へ方向付けられる。照明ビーム結合器135は、スペクトル的に（そのケースでは、レーザ組合せアセンブリ125のレーザアレイ120は、中心波長の反対側にクラスタ化される）、空間的に、又は偏光による方法を含む様々な手法で光ビーム140を組み合わせることができる。或るパスは選択的な2分の1波長板137を有することができる。

10

【0042】

図2と3Bとを組み合わせて考えると、各照明アセンブリ110r、110g、及び、110bは、一般的には1つ以上の、透過する光ビームを形成し方向付ける照明レンズ150、光インテグレータ155、及び、更なる照明レンズ150、ミラー160を含み、それらは一緒に、照明光を光軸145に沿って関連する空間光変調器170に方向づける。例えば、光源アセンブリ115から入ってくる光は、照明レンズ150を用いて、光インテグレータ155に方向付けられる。結果的に生じる均一光は、光インテグレータ155の出力アーチャを満たす。次に、その出力アーチャは、光軸面の或る領域に再画像化され、そこに空間光変調器170が配置される。照明レンズ150と光インテグレータ155は、石英ガラスを用いて形成され、その結果、これらの要素の中に誘発される応力複屈折から発生するおそれのある如何なる偏光劣化効果をも低減する。

20

【0043】

空間光変調器170は、微小電気機械システム（MEMS）デバイスであってもよく、例えば、DLPや他のタイプの反射型MEMSデバイスであり、反射又は回折により変調する如何なるタイプのMEMS変調器をも含む。空間光変調器170はまた、LCDタイプのデバイス、又は、他の技術のデバイスであってもよい。DLPタイプのデバイスの例では、変調は、表示面に向けられる“On”状態又は画像光、及び、ビームダンプ（不図示）に向けられる“Off”状態光を供給する。プロジェクタ102が偏光光源の方向を切替え、立体画像投影（3D）をドライブする場合は、“偏光状態中立”的変調器デバイスが望ましい。詳しくは、空間光変調器170が好ましく、ピクセルの偏光状態を変調することにより、各ピクセルで光を変調せず、そして、如何なるピクセルの入射光の偏光状態への如何なる変化も気づかず小さくなる。このことは、空間光変調器170が、入射光の偏光状態にかかわらず、好ましくは入射光をピクセルベースで等しく変調することを意味する。それ故、観客は、偏光感度グラスを着用し、そして立体視又は3D画像を観察するものと思われる。また理解されるべき点として、プロジェクタ102は2次元として認識される従来の画像を供給することができる。

30

【0044】

プロジェクタに外部的に付加した偏光スイッチングアクセサリにより3Dイメージを供給するプロジェクタと異なり、このプロジェクタ102では、照明アセンブリ110からの照明光は偏光されることを目的としている。詳しくは、光源は構成されて、一般的な偏光状態、即ち、この分野の用語で“s-偏光”や“p-偏光”として知られる偏光状態を供給する。照明アセンブリ110は様々な光学系を含むことができ、波長板や偏光子（不図示）を含み、光源の本来の偏光状態を調整し、保持し、又は、強調する。また、照明アセンブリ110は偏光スイッチ139を含むことができ、その偏光スイッチは電気光学的に又は電気機械的に動作され、その結果、光照明空間光変調器170の偏光状態を、s-偏光、p-偏光、又は、3D投影に有用な他の偏光状態（例えば左又は右回転）に変化させる。その結果、好ましくは、照明レンズ150や光源インテグレータ155を含む各種の照明コンポーネントは、偏光が保持される。照明アセンブリ110r、110g、及び、110bの各々の内部の光路は、同じ基本パターンをたどるが、或る色チャンネルから

40

50

の光源（レーザ）特性と他の色チャンネルとの違いを調整するための相違が存在する。各照明アセンブリ 110 はそれ自身の偏光スイッチ 139 を有することができ、その偏光スイッチは互いに同期して動作されてもよく、又は、共通の偏光スイッチ 139 が複数の色チャンネルに使用されてもよい。

【0045】

図 2 に示されるように、照明光は、1つ以上のミラー 160 の再方向付けにより、空間光変調器 170 上に方向付けられる。変調された画像光は、空間光変調器 170 のアドレスされたピクセルにより、透過光に伝えられる画像データを有し、共通の光学路を横断するよう組み合わされ、その光学路は結像レンズ 200 を通って（投影スクリーンのような）表示面 190 の上へ通過する。例示の実施形態では、2色性コンバイナー（結合器）165 は第 1 コンバイナー 166 と第 2 コンバイナー 167 とを含み、各コンバイナーは2色性要素であり、適切な薄いフィルムのコーティングを有し、光の波長に応じて光を選択的に透過、又は、反射する。このプロジェクタ 102 は、光学偏光状態の内部変調を用いて、3D 画像コンテンツを供給するように設計されるので、2色性コンバイナー 165 と結像レンズ 200 も偏光中立であるべきであり、そうして、これらの要素によっては、効率の違い、偏光コントラスト、又は、画像品質は、わずかしか又は全く生じない。同様に、表示面 190 は好ましくは偏光保存スクリーンである。

10

【0046】

ミラー 160 は光学システムのプレーン内にある必要はないことに留意すべきである。それ故、緑色チャンネルの光路内のミラー 160 は、プレーンの外にあって、投影レンズ 270 へ通過する光を遮らず、その他の点は図 2 に示唆されるだろう。追加的に、2色性コンバイナー 165 が1組の傾いたガラス板として示されるが、他の例示的構成が用いられてもよく、それには X プリズム 65（図 1B）、V プリズム、又は、フィリップス（又はPlumbicon）タイプのプリズム（図 1A）が含まれる。他の実施形態では、ミラー 160 は、例えば、しばしばフィリップス・プリズムや DLP デバイスと共に組み合わせて使用され、広く使用される TIR（トータル・インターナル・リフレクション）プリズムのようなプリズムの形態で供給される。

20

【0047】

図 2 では、結像レンズ 200 は多要素アセンブリとして表され、複数のレンズ要素 205 を含み、対物面の空間光変調器 170r、170g、及び、170b を、高倍率（一般的には 100x - 400x）で画面（表示面 190）上に直接に結像する。

30

【0048】

図 4 は、結像レンズ 200 の設計について説明し、その実施形態では、結像レンズ 200 は2つの部分、即ち、リレーレンズ 250 と投影レンズ 270 とを含み、それぞれ、多数のレンズ要素 205 を含み、そのレンズ要素は有限共役で動作し、レンズハウジング 240 内にアセンブリされる。例えば、リレーレンズ 250 は設計され、空間光変調器 170 の対物面から F / 6 光を集光し結像し、その結果、実空間中間画像 260 を対応する画面に形成する。次に、この中間画像 260 は投影レンズ 270 の対物面であり、その投影レンズは離れた画面（表示面 190）に中間画像の拡大画像を供給し、その画面は許容範囲内の焦点深度では名目上の画面である。即ち、空間光変調器 170 は中間画像 260 に対して画像共役であり、また、その中間画像は表示面 190 に対して画像共役である。

40

【0049】

リレーレンズ 250 は好ましくは、150 - 200 mm 又はそれ以上の、長い作動距離を供給し、空間光変調器 170 の近くで、2色性コンバイナー 165 とミラー 160（図 2）の間隔を与える。例示的なリレーレンズ 250 は、1x 又はそれよりやや大きい横倍率で、空間光変調器 170 を結像し、実中間画像 260 を供給し、そのサイズは 35 mm 映画フィルムのフレームの画像領域に相当する。その結果、投影レンズ 270 は、潜在的には、35 mm フィルム画像を投影するように設計される従来の投影レンズであってよく、例えば、ドイツのバードクロイツナッハの Schneider-Kreuznach によって現在製造される投影レンズである。

50

【0050】

図4に表される結像レンズ200は図2のものより複雑に見えるが、実際は、図4のリレーレンズ250と投影レンズ270とは設計、製造がより簡易であり、低コストであり、従って、同等な統一された結像レンズ200が現在業務用のDLPシネマプロジェクタの中にみられる。一つには、高倍率で作動するときよりも、 $1 \times$ 近くの倍率で作動する間に長い作動距離を供給する方が簡易であるからである。追加的に、この手法は、中間画像260で又はその近くで、移動ディフューザのような脱スペックル器（デスペックラー）180の挿入に便利な場所を与えて、レーザの脱スペックルを可能にする。このシステムでは、脱スペックル器180は好ましくは、小型レンズアレイであって、まばらに配置される小型レンズを含み、その小型レンズは1つ以上の結像ピクセルのサイズを有する。脱スペックル器180を動作させると、投影レンズ270は好ましくはリレーレンズ250よりも明るいレンズ（～F/3）である。

10

【0051】

こうした背景から、実験用のレーザベースのプロジェクタ102が発明者によってセンブリされテストされ、そのプロジェクタは、図2、3A、及び、3Bに表された一般的な構成を有するが、リレーレンズ250、中間画像260、及び、投影レンズ270を備えた図4の結像レンズ200を利用する。動作中、或るプロトタイプ版のシステムは、偏光コントラストの消失を示した。そして、プロジェクタが低輝度出力（例えば3000ルーメン）で動作するときは、青色チャンネルの偏光コントラストが～400：1又はそれ以上になるが、プロジェクタが脱スペックル器180が無い場合で～6000ルーメン以上のレベルで動作するときは、～1000：1に低下し、脱スペックル器180が動作する場合で～1500：1に低下する。詳しくは、青色光がより高い吸収レベルを有するので、偏光の変化又は消失は、青色イメージに対して最も明らかだった。偏光の変化は、偏光識別グラスを着用した観察者に認識される、投影される立体視画像のクロストーク又はゴーストを発生した。このクロストークは、Real-Dにより提案されるゴースト補正デジタルポストプロセッシング法を用いて改善することができるが、本発明は、好ましいソリューションを与え、内部レンズ設計補正が使用され、そうした補正の必要性を除去する。

20

【0052】

詳しくは、偏光コントラストは光レベルによって低下するので、このことは、問題は熱的に引き起こされる応力複屈折に起因するという知見と一致する。明らかになるように、或るソリューションを提供し、そのソリューションは、リレーレンズ250と投影レンズ270の設計において、光学的ガラスを選択的に使用することを含む。これらのレンズは両方とも、図4の実施形態で示されるように、一般的にはダブルガウスタイプのレンズである。基本的なダブルガウスレンズは、1800年代にさかのぼり、C.F.Gaussによって、その後Alvan Clarkがその原型を発展した。始めに、C.F. Gaussは、フラウンホーファー望遠鏡の対物を、その単一の凹凸レンズ設計にメニスカスレンズを付加することにより、改良した。その後、Alvan Clarkは、これらの2つのレンズをとって、背中合わせに配して、ダブルガウス設計を得た。Paul Rudolphは、米国特許583,336（特許文献13）で説明されるように、これをさらに改良し、接合ダブレットを使用して、色収差を補正した。ダブルガウスレンズは、背中合わせになった2つのガウスレンズからなり、開口絞り付近に位置する2群のレンズ要素208を形成し、Rudolphにより実証されるように、2群のレンズ要素は同一であっても良い。

30

【0053】

図5Aは、従来技術のダブルガウスタイプの結像レンズ200を表し、離れた画面（不図示）への光学軸145に沿って対物面195を結像する。一般的な基本形態では、それは、1組の内部の負レンズ要素206bと、外部対の正レンズ要素206aとからなり、その負レンズ要素は、開口絞り230の近くに位置するフリントタイプのガラスであり、その正レンズ要素は、クラウンタイプのガラスからなる。この例では、開口絞り230の一方の側と他方の側のレンズ要素設計（ガウスレンズセンブリ）は同一ではない。

40

【0054】

50

図 5Bでは、グラスチャート 210によって、クラウンとフリントのガラスの有意性が示され、それは“アッベ・ダイアグラム”であって、Schott Glass, Inc.によって公表された広く認識されたガラスチャートデータをプロットしている。クラウンガラス 215は低い分散を有し(高いアッベ数 $v_d > 50$ で示される)、一般的には低い屈折率(n_d)を有するが、フリントガラス 217は比較的高い分散を有し(低いアッベ数 $v_d < 50$)、一般的にはより高い屈折率を有する。低フリント又は低クラウンは、中間的な分散特性を有し、中間的なアッベ数 $v_d \sim 50$ の近くで見られる。また、図 5Aでは、レンズ要素は、クラウンガラス 215を用いて製造されるクラウンレンズ要素 220、又は、フリントガラス 217から製造されるフリントレンズ要素 222の何れか一方として特定される。

【0055】

ダブルガウス設計手法と、光学パワーを多数の要素にスプリットすることとの一般的な調和は、レンズシステムによって付与される光学収差を低減する。それは、今日使用される多数のカメラレンズの基礎を形成し、詳しくは、35mm及び他の小型カメラの大口径の標準レンズである。完全に対称な設計は、コマ、ひずみ、及びTCA(横色収差又はラテラルカラー)を有しない。多数の設計の変形例が存在し、付加された追加レンズ要素を備え、又は、開口絞り 230に関する非対称設計を備え、対称性は他の目的を達成するために犠牲になる。例えば、R. Mercadoの米国特許 4,704,011(特許文献 14)はダブルガウスタイプの写真のレンズについて述べるが、W. Reinecke他の米国特許 6,795,255(特許文献 15)は、フィルムからの投影画像のためのダブルガウスタイプのムービー・レンズについて述べ、さらに、同一出願人であるD. DeJagerの米国特許 5,172,275(特許文献 16)は、映画フィルムスキヤニングに適用可能な複雑なダブルガウスタイプのレンズについて述べる。

【0056】

図 6Aは、第 1 の例示的投影レンズ 270の設計を示し、その投影レンズは、2群のレンズ要素 208を備えたダブルガウスレンズを有し、図 4 に示される結像レンズ 200の内部の投影レンズ 270と類似する。投影レンズ 270は、2つの内側負レンズ要素 402と 403とを有し、それらは開口絞り 230の付近に位置付けられ、その開口絞りは、フリントレンズ要素 222、Schott SF1ガラスを用いて作られる負レンズ要素 402、及び、Schott SF2ガラスを用いて作られる負レンズ要素 403である。また、投影レンズ 270は、4つの外側正レンズ要素 400, 401, 404、及び、405を有し、それらは全てクラウンレンズ要素である。最も右にある最大の正レンズ要素 405は Ohara S-BSM-10を用いて作られ、他の正レンズ要素 400, 401、及び、404は、全て、Ohara Glass Inc.のOhara S-LAM-60を用いて作られる。これらのガラスは、Schott GlassのN-SK10及びN-LAF35にそれぞれ同等に近い。光線 235は、投影レンズ 270を通る光線の経路をトレースするよう示される。

【0057】

図 6Bは変調伝達関数(MTF)のプロット 300を示し、そのプロットは図 6Aの例示的な投影レンズ 270の広帯域MTF特性を表す。回折限界でないときは、MTFは結像領域にわたって、平均して 50 cy/mm で ~ 65 % であることが分かる。

【0058】

図 6Cは第 1 の例示的なリレーレンズ 250の設計を表し、そのリレーレンズはダブルガウスレンズ設計の拡張版であり、図 4 に示されるリレーレンズ 250に類似する。そのリレーレンズ 250は、2群のレンズ要素 208と視野レンズとを有し、そのリレーレンズは、空間光変調器 170(対物面に位置付けられる)の中間画像 260を(映像面で)形成するよう用いられる。このレンズ設計は、開口絞り 230の周囲に位置付けられる1組の負レンズ要素 412と 413とを含み、それらは Schott SF4ガラスを用いて作られたフリントレンズ要素 222である。リレーレンズ 250は、また、クラウンレンズ要素 220である正レンズ要素 410、411、414、及び、415の集合体を含む。正レンズ要素 410と 411は、Ohara S-BAL25を用いて作成される。正レンズ要素 414は Ohara S-LAM54を用いて作成され、さらに、正レンズ要素 415は Ohara S-NSL3を用い

10

20

30

40

50

て作成される。リレーレンズ250は、また、中間画像260近くに位置付けられる正視野レンズ416を含み、それはOhara S-LAM54を用いて作成される。2色性コンバイナー165は、また、傾きの無い平面要素で表される。

【0059】

図6Dは、図6Cのリレーレンズ250の光学特性をMTFプロット300で表す。その光学特性は回折限界に近く、結像領域にわたって、50 cy/mmで~79%の平均MTFを有する。

【0060】

前述したように、従来の結像レンズ200は、従来のリレーレンズ250（即ち、図6Cに示されるような）と従来の投影レンズ270（即ち、図6Aに示されるような）とを含み、適度に高いスクリーン輝度レベル（6,000 - 11,000ルーメン）に対してレーザ光を表示面190に伝達する場合、低いスクリーンルーメンレベルでの~400:1の偏光コントラストと比較して、青色光偏光画像コントラストの~150:1又はそれ以下の降下、及び、青色画像ゴーストを経験することが分かった。結像レンズアセンブリが存在しない場合、出力光の偏光コントラストの分離測定は、輝度レベルについてわずかな変化だけ示し、従って、リレーレンズ250と投影レンズ270とが主要な原因であることを確認した。特に、これらの測定は、青色チャンネル（465 nm）偏光コントラストは~100:1に低下するが、緑色と赤色のコントラストレベルは高いままであった（~300:1）。まとめると、このデータは、偏光コントラストは熱により引き起こされる応力複屈折効果のため低下したことを強く示し、更に高いパワーレベルではより低下するだけであろう。大抵の光学ガラス（最も明白な石英ガラスを除き）が青色において高い吸収を経験するので、応力複屈折は、青色光吸収によって更に容易に引き起こされ得る。その結果、応力複屈折は、様々な程度で、異なる色チャンネルにおける画像品質に影響することがある。

10

20

30

40

【0061】

熱により引き起こされる応力複屈折は、温度（T）によりガラス内に生じる屈折率の変化であり、多数のパラメータに機能的に依存し、そのパラメータには波長、ガラスの吸収（）、ガラスの応力感受性（）、及び熱膨張の係数（）を含む。また、それは、ガラスを通過する光の光強度（照射）やパワー密度（例えば、W/mm²、lumens/mm²、又はluxの単位）の空間時間分布に依存する。

【0062】

図7A-7Fは、例示的な光強度分布を表し、図2, 3A、3B、及び、4に表されたプロジェクタ102の光学系を通過することができる。図3A及び3Bに表されるように、レーザ結合アセンブリ125は、多数の出力光ビーム140を生成し、それらは組み合わさってアパー・チャ130を満たす、又は、部分的に満たす。レーザアレイ120の構造、即ち、そのレーザアレイはオフセットレーザエミッタ122の1つ以上の空間アレイを有することができるため、表示される光ビーム140の内部の多数の個々の光ビーム140'が得られる。複数のレーザアレイ120からのビームを組み合わせることは、多数の個々の光ビーム140'を増加し、その多くは、アパー・チャ130に到達する際に様々な光路長を横断している。個々の光ビーム140'が伝播すると、それらは統合し互いに中にオーバーラップする。光学システム内の位置に応じて、様々な個々の光ビーム140'によって横断される相対光路長と、光ホモジエナイザー、インテグレーター、又は、ディフューザー、幾つかの光ビーム140'、又は、レーザアレイ120のイメージ、又はそれらの組合せの使用とは、他の個々の光ビーム140'やそれらの組合せよりも識別可能であってもよい。その最終結果からは、光強度分布の断面が構造の変化する量を示すことができ、それは光学システム内部の場所に依存する。

【0063】

この最後の点を説明するため、図7Aは光源アセンブリ115のアパー・チャ130の近くのモデル化された光強度分布320を表し、そこでは最内部のレーザアレイ120からの個々の光ビーム140'は、最外部のレーザアレイからの光ビームよりもデフォーカス

50

される。図7Bは、スライス位置321で図7Aの光強度分布320を通る、2つの断面プロフィール322を示す。多数の光ビーム140'は互いに部分的にオーバーラップするだけで、オーバーラップの大きさは中心から端部まで異なるので、これらの光強度分布320は、空間的に一様であるというよりも、高度に構造化される。

【0064】

図7Aに示されるのと類似するパターンは光学システムの至る所で再発生する。例えば、光インテグレーター155の角度遠距離場では(図3B)、類似するパターンの光強度分布326が図7Eに示されるように出現するが、積分バーの内部の複数の跳ね返りがそれをより複雑にしていた。設計意図によって、その積分バーは、名目上均一な光強度分布323を、図7Cの等高線図に示されるようにその出力フェースとして生成する。図7Dは、図7Cに示されるスライス位置324に対応して、対応する断面プロフィール325を示す。

10

【0065】

次に、積分バーの出力フェースでの光強度分布323は再結像し、色チャンネルの空間光変調器170を照射する。リレーレンズ250(図4)は、空間光変調器170を再結像し、組み合わされた白色光画像(画像コンテンツに応じて)を実際の空間中間像260として形成し、その投影レンズ270は引き続き表示面190上に再結像する。リレーレンズ250と投影レンズ270の開口絞り230で、又は、その近くで、システム内に適応される光学拡散、又は、角度平均に応じて、高度に構造化された光強度パターンが現れ、図7Eの光強度分布326をエコーする。例えば、図7Fは、リレーレンズ250の開口絞り230の付近での例示的なモデル化された光強度分布327を示すが、図7Gは、投影レンズ270の開口絞り230の付近での例示的なモデル化された光強度分布328を示す(脱スペックル器180を含まずに)。

20

【0066】

脱スペックル器180の使用は伝播する光が角度拡大されること、又は、投影レンズ内部で時空間的に平均化されること、又はその両方を可能にすることに留意する。その結果、投影レンズ270の開口絞り230で、又は、その近くでの光強度分布320の微細構造は、輪郭がはっきりしていないかもしれないし、時間的に静止していないかもしれない。それでも、リレーレンズ250と投影レンズ270の内部のレンズ要素205は、高い光学パワー密度を有する通過光を経て、特に開口絞り230の付近では、光強度分布326と327が、光強度分布の微細構造内の多数のピークに集中する光を有することができる。これらの光エネルギーの集中は、熱により生じる光学的な応力複屈折を、これらのレンズアセンブリの至る所で発生させるが、特に、開口絞り230近くのレンズ要素205においてである。

30

【0067】

複屈折を理解する更なる背景として、光の伝播が波動方程式によって記述でき、式(3)を含み、その式は、平面偏光波 (x, t) を距離 x と時間 t との関数として記述し、 $A(x, t)$ は振幅関数であり、 $\phi(x, y)$ は外乱の位相である：

【0068】

【数3】

40

$$\Psi(x, t) = A(x, t)e^{i\phi(x, t)} \quad (3)$$

伝播波の位相は以下のように記される：

【0069】

【数4】

$$\phi(x, t) = \omega t - kx = \omega(t - x/v) \quad (4)$$

ここで、 ω は時間に関する位相の変化率であり、 k は距離に関する位相の変化率であり、 v は波の速度である。値 ω は各周波数としても知られ、 $\lambda_0 = 2\pi / \omega$ 、値 k は伝播数であり、ここで、 $k = 2\pi / \lambda_0$ である。自由空間内の光の周波数 ω と波長 λ_0 は、光の速度 $c = \omega / \omega$ によって関連づけられる。

10

【0070】

光が光学材料に入り横断すると、入射角、媒体に対する入射角の偏光方向、その光学材料の屈折率 n 、及びその材料の厚さに応じて、変化する反射率と位相変化 ϕ を経験することができる。フレネルの式は、表面反射又は伝達をモデル化し、式(3)の振幅項に影響する。材料又は媒体の屈折率は、基本的には、その媒体中の速度 v に対する真空中の光の速度 c の比である($n = c / v$)。式(4)への代入は屈折率に関する位相を表す：

【0071】

【数5】

20

$$\phi(x, t) = \omega t - (2\pi n / \lambda_0)x \quad (5)$$

一定屈折率の等方性物質でも、その物質の光路長(d / n)は或る角度から他の角度へ変化するので(d はその物質の厚さ)、差分位相変化 ϕ は異なるビーム伝播角を横切って発生する。しかし、複雑な構造の例、例えば複屈折物質では、回転と楕円率の差分量が伝達する光の中に発生し得る。それ故、差分位相変化 ϕ は、入射光の角度及び偏光状態に応じて発生する；($\phi_s = \phi_{s_p} - \phi_{p_p}$)。この用語において、“s”及び“p”は、光の電界ベクトルが、或る平面への入射面と垂直に振動するか(s-偏光)、又は、電界ベクトルが、入射角の全体範囲にわたって、入射面と平行に振動する、p-偏光であるかどうかを表す。

30

【0072】

複屈折物質は偏光に関して非等方性物質である。即ち、複屈折は屈折率の方向性変化($n_{s_p} = n_s - n_p = n_x - n_y$)であり、固有の物質特性、複屈折性のサブ波長構造、又は、発生される機械的応力によって供給され得る。遅延特性は結果的に生じる位相変化 ϕ であり、距離($R = d / n$)として表現され、その位相変化 $\phi(x, d, \theta) = 2\pi d (n_s - n_p) / \lambda_0$ である。例えば、 $\lambda_0 / 2$ (即ち 90°)位相変化 ϕ が適切に方向付けられた複屈折要素(波長板)によって供給され、その複屈折要素は4分の1の波の遅延特性を有し、それは 550 nm で~ 138 nm の遅延特性に等しい。

40

【0073】

特に、均一な温度のアプリケーションは、接合要素のような光学部品の機械的応力における変化を生じ、その変化は、その要素及び/又は取り付け物質の間の熱膨張係数の不一致に起因する。温度勾配は、前述した光強度分布微細構造に関連づけられるように、单一の均一な要素内に応力も引き起こす。製造又は加工プロセスの間に与えられる残留応力、又は、圧力荷重、慣性荷重、又は振動荷重の応力の状態は、光学要素内に複屈折を発生させ得る。本質的に、機械的に引き起こされたものであれ残留であれ、応力の影響は、光学素材の屈折率を変化させるだろう。

【0074】

50

この例では、プロジェクト102のリレーレンズと投影レンズの内部の充分な温度のアプリケーションは、特に局所的領域では、熱により引き起こされる光学応力複屈折を生じる。引き起こされる複屈折差は、2つの空間近接位置の間の、主な機械的応力、又は、応力テンソルの引き起こされる差、 $\Delta n_{1,2} = (\sigma_1(x, y, z) - \sigma_2(x, y, z))$ に直接的に比例し、式(6)で与えられる；

【0075】

【数6】

10

$$\Delta n = \Delta n_{1,2}(x, y, z) = \kappa \Delta \sigma_{1,2} \quad (6)$$

ここで、 κ は物質の応力光学係数であり、 mm^2/N の単位で与えられ、引き起こされる機械応力 σ は一般的には N/mm^2 (即ち MPa) の単位で与えられる。引き起こされる応力 σ 、又は、同等に引き起こされる応力複屈折 Δn は、加熱により発生する物質温度変化に関して記述され得る：

【0076】

【数7】

20

$$\Delta n \approx \rho E \Delta T \kappa / (1 - \mu) \quad (7)$$

ここで、 ΔT は引き起こされる温度変化である。この式では、 κ は熱膨張係数 (CTE) であり、それは室温範囲のガラスの係数であり、一般的には $10^{-6}/{}^\circ\text{K}$ の単位で与えられる。変数 E はヤング係数であり、等方性弾性物質の剛性の尺度であり、しばしば N/mm^2 の単位で与えられる。ポアソン比、無単位変数 μ は、ストレイン (伸張又は収縮) に対する、物質の直交応答の測定基準 (メトリック) である。

【0077】

引き起こされる温度変化 ΔT は光吸収に関連することができる。振幅関数 $A(x, t)$ は拡張することが可能で、光吸収 α への依存性を示す：

【0078】

【数8】

30

40

$$A(x, t) = A(x) = A_0 e^{-\alpha x / 2} \quad (8)$$

ここで、 A_0 は初期振幅である。これはベールの法則につながり、光吸収の指数表現を記述する：

【0079】

【数9】

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \quad (9)$$

ここで、 $I(x)$ は W/m^2 単位の光強度（又は放射）であり、 I_0 は初期光強度である。

【0080】

10

ボリューム発熱 $Q(x)$ が以下に示され、単位は W/m^2 であり、物質の厚さ x 内に吸収される光から得られ、光強度 $I(x)$ 、内部透過率 t_i 、又は、吸収係数 α の関数として表される：

【0081】

【数10】

$$Q(x) = I(x)(1-t_i)/x = I(x)(1-e^{-\alpha x})/x \quad (10)$$

20

熱伝導法則、即ち、フーリエ法則は、一次元形態では、 $q_x = -K dT / dx$ によって与えられ、ここで q_x は W/m^2 の局所的な熱流束であり、 K は熱伝導率（単位 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ）である。熱伝達と平衡（安定状態）は、光学構造の熱伝導、対流、及び、放熱に依存するが、温度勾配や変化を決定する際に、しばしば伝導が最も重要な要因であることに留意する。また、ガラスを含む大抵の物質の熱伝導率 K は、広い温度範囲にわたってかなり一定である。フーリエの法則は統合されることができ、或る領域に影響を与える温度 T の変化を光吸収から導出する：

【0082】

【数11】

$$\Delta T \approx I_0 L x \alpha / 4K \quad (11)$$

30

ここで、 L は光学要素の軸の厚さである。

【0083】

式(11)を式(7)に代入することで、引き起こされる応力複屈折を入射する光強度と物質吸収に結びつける：

【0084】

【数12】

$$\Delta n \approx I_0 L x \frac{\rho \kappa \alpha E}{4K(1-\mu)} \quad (12)$$

40

この式は、本発明に有益な幾つかの性能指標、メトリック（ス）を示す。第1の熱応力複屈折メトリック：

【0085】

【数13】

$$M_1 = \frac{\rho \kappa \alpha E}{K(1-\mu)} \quad (13)$$

50

は、物質（ガラス）だけの応力複屈折メトリックであり、候補のガラスを選択するのに有益となりうる。第2の強度重み付けされた熱応力複屈折メトリック：

【0086】

【数14】

$$M_2 = I_0 L M_1 = I_0 L \frac{\rho \kappa \alpha E}{K(1-\mu)} \quad (14)$$

10

は、光学要素への光強度（即ち、光学パワー密度）入射 (I_0) と、光学要素の軸の厚さ (L) とを計算に入れるので、有益である。

【0087】

式(12)では、距離 x は物質内部の位置であって、式(9)で与えられる強度と式(11)で与えられる温度変化とが、位置の関数として、応力複屈折 n の局所的変化を生ずるという事実に関連する。メトリックス M_1 又は M_2 に x を含むことは、様々なレンズ要素のガラス選択に関して、少しだけの洞察を与えるだろう。

【0088】

中間的な熱応力複屈折メトリック、 $M_3 = M_1 \cdot L$ は、より薄いレンズ要素（厚さ L よりも小さい）が、より高い M_1 の値を許容することができる事を示す。しかし、後に分かるように、 M_1 と I_0 の変動は、その選択と設計プロセスを特徴付ける傾向がある。

20

【0089】

第2のメトリック M_2 は、レンズ要素 205 の中に存在するパワー密度を計算にいれ、そのパワー密度は、リレーレンズ 250 と投影レンズ 270 のレンズアセンブリを介して変化し得る。レンズ内の光強度分布が示すように（図 7A - 7E 参照）、最高光強度を有する微細構造は開口絞り 230 の近くで発生する。その結果、発明者は、ガラスの選択は、これらの領域内のレンズ要素に対して最も重要であることを発見した。それ故、ピーク光強度 (I_0) が合理的に推測できる場合は、強度重み付けされた熱応力複屈折メトリック M_2 は有用であることが判明した。

【0090】

発明者は、有限要素分析 (FEA) を用いて、図 6A の投影レンズ 270 内の光吸収から、温度により引き起こされる応力を熱力学的にモデル化した。このモデル化は、投影レンズ 270 の開口絞り 230 に最も近い負レンズ要素 402 と 403 を通過する光学的流束レベルが、最も外側の正レンズ要素 400 と 405 を通過する光レベルよりも $8 \times$ （又はそれ以上）高くなり、T の局所的な温度変化を ~ 5 にすることを示した。今度は、これらの局所的温度変化は機械的応力、及び、複屈折の屈折率変化 n を生じる。

30

【0091】

こうした背景により、図 8A - 8D で与えられる表は、主要なパラメータとともに、現在のガラスの種類に関するデータを名前で与え、そのパラメータには、それらの屈折率 n_d 、アッベ数 d 、内部透過率 t_i 、吸収 ($= -\ln(t_i)/x$)、応力光学係数、熱伝導率 K 、熱膨張係数 (CTE)、ポアソン比 (μ)、ヤング係数 (E)、及び、ガラスだけの性能指標 M_1 を含む。吸収係数値 ($= 460 \text{ nm}$ での内部透過率の値) を用いて計算された。他の評価波長を使用することもできるが、大抵のガラスは UV から青色までのスペクトル範囲での内部吸収の増大を経験し、従って、緑色や赤色のスペクトル範囲に比べて、応力複屈折の可能性を増大した。図 8A は、低い応力複屈折感受性をもつガラスの集合に対して、様々なガラス特性を示す。図 8B は、中程度（適度な）及び高い応力複屈折感受性をもつガラスの集合に対して、同じ特性を示す。図 8C と 8D は、それぞれ、図 8A と 8B のガラスに対して、熱応力複屈折メトリックス M_1' 、 M_1'' 、及び、 M_1 の計算値を示す。

40

【0092】

50

図 8A - 8D の表は、Schott と Ohara のガラスカタログを組み合わせて、入手可能なガラス (< 15 %) の部分集合を示し、低い熱により引き起こされる応力複屈折に対して有利な特性を有する、ガラスの不均衡な配分を特徴づける。最も一般的なガラスの 1 つである Schott BK-7 ガラスは、性能指数 M_1 の充分に低い値 ($\sim 0.51 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$) を有するが、新しい無鉛ガラス (例えば N-SF2 や N-SF4) はそれらが置き換える元のガラス (SF-2 や SF-4) よりも高い M_1 値を有する傾向がある。図 8A - 8D の表は、Schott 又は Ohara のガラスだけを含むが、他のメーカーから入手可能な代替的又は同等のガラスが分析され設計に適切に使用されることも可能である。

【 0093 】

図 8A - 8D の表のガラスは、また、それらがクラウン又はフリントであると考えられるかどうかに応じて、識別される。このガラスマトリックによって、熱により引き起こされる応力複屈折を最小化することに関して、最も良好な可能性のガラスは、引き続き、石英ガラス (Schott Lithosil-Q によって代表される) と Schott SF-57 (又はその同等物、例えば Ohara PBH56) であり、なぜならそれらは非常に低い又は無視できるほどの熱応力複屈折メトリック値 ($M_1 < 0.1 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$) を有するからである。これらのガラスは Schmidt その他により示されたガラスと同じものである。入手可能なガラスのあらゆる種類をほぼ網羅するこの表を分析すると、ガラスだけの熱応力複屈折メトリック M_1 は 25,000 : 1 の範囲にわたって、最良のガラス (Lithosil; $M_1 \sim 0.001 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$) から最悪のガラス (Ohara S-NPH2; $M_1 \sim 28.5 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$) まで変化する点に留意する。とりわけ、石英ガラス、SF-57、及び、PBH56 を含む、無視できるほどの応力複屈折感受性を有するガラス群 ($M_1 \sim 0.001 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$ から $0.05 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$ まで) から、最良の低い応力複屈折感受性を有するガラス群、例えば Schott LLF1 や Ohara S-NSL36 のようなガラス ($M_1 \sim 0.36 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$ から $0.46 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}$ まで) まで、 M_1 の値には $\sim 8 \times$ 又はそれ以上の飛躍が存在する。

【 0094 】

また、図 8C - 8D の表は、2 つの構成性能指標 M_1' と M_1'' を含む。第 1 の構成性能指標は $M_1' = \dots$ であり、主要なパラメータのみからなる：熱膨張係数 ()、応力光学係数 ()、及び吸収係数 ()、それらの値は、様々なガラスの中で、それぞれ、 $\sim 30 \times$ 、 $\sim 200 \times$ 、及び、 $\sim 950 \times$ で広く変化する。第 1 の構成性能指標 M_1' に関して、石英ガラスは、その吸収と CTE がともに非常に低いので、最小の値を有するが、SF-57 と PBH56 はその応力光学係数が低いので良好である。同様に、ガラスだけの熱応力複屈折メトリック M_1 に関して最悪なガラスは、Schott N-SF4 と Ohara S-NPH4 であり、同じく、第 1 の構成性能指標 M_1' に関しても最悪であり、Lithosil 石英ガラスよりも $6,000 - 12,000$ 倍大きい値を有する。

【 0095 】

しかし、レンズ設計のガラスを選択するため、低い又は中程度の応力複屈折感受性を有するガラスの中で、正確に識別することは重要である。幾つかの物質特性、即ち、ポアソン比 μ 、ヤング係数 E 、及び、熱伝導率 K は、すべて、 $\sim 2 - 2.5 \times$ の制限範囲内で個別に変化し、従って、ガラスだけの熱応力複屈折メトリック M_1 に二次的な影響を与える点に留意する。しかし、レンズ設計のガラス選択に際しては、こうした二次的な要素は重要になり得る。従って、図 8C - 8D の表は、ちょうどこれらの項の二次的な構成性能要素 M_1'' も示し、 $M_1'' = E / (K(1 - \mu))$ 、かつ、 $M_1 = M_1' \cdot M_1''$ である。

【 0096 】

二次的な構成性能要素 M_1'' のデータ列をみると、石英ガラスは再び良好であることが留意され、それはポアソン比 μ と熱伝導係数 K が有利な値を有するからである。しかし、Ohara S-NSL36, Ohara S-NSL-3, Schott LF-5, 及び、Schott LLF1 のようなガラスは、他のガラスに対して、比較的有利である、というのも、それらの M_1'' の値は、最も不利なガラスよりも $2 - 3 \times$ 低いからである。それ故、 M_1 の代わりに M_1' を使用することは、低い又は中程度の M_1 値に関する不正確な応力感受性表示を与え、潜在的に、レンズ設計の間に良好でないガラスを選択することにつながることがある。

10

20

30

40

50

【0097】

図9Aと9Bに示される添付の表は、第1の例示的な設計、即ち、図6Aの投影レンズ270及び図6Cのリレーレンズ250の中のレンズ要素に対して、それぞれ、強度重み付けされた熱応力複屈折メトリック M_2 の推定値を与える。それぞれの表では、レンズ要素は、図6Aからのレンズ要素部品番号で識別される。両方の表で、ガラスだけの熱応力複屈折メトリック M_1 の値は、図8A-8Dの表で与えられる値に対応して、各レンズ要素に対して与えられる。 M_1 の合計が、各レンズアセンブリに対して与えられる。強度重み付けされた熱応力複屈折メトリック M_2 を推定する際には、軸の厚さの値(L)がレンズ要素群に用いられるが、所定のレンズ要素群の横断開口部の平均レンズ厚さのような代替的な値が代わりに使用され得るだろう。その表は、各要素上の正規化されたパワーロードの値も含み、その値はW/mm²又luxの単位のモデル化された推定の光学的パワーロードに基づく。そして、強度重み付けされた熱応力複屈折メトリック M_2 が、その正規化されたパワーロードを用いて、各レンズ要素に対して推定される。 M_2 の合計が各レンズアセンブリに対して与えられる。

10

【0098】

図6A-6Bの第1の例示的な投影レンズ設計は、画像品質優先で設計され、熱により引き起こされる応力複屈折は無視されないが、二次的考察として取り扱われる。従って、図9Aの表は、複数のガラスを含むガラスの1セットを示し、そのガラスはすべて完全に、ガラスだけの熱応力複屈折メトリックの中程度の範囲(平均で、 $M_1 \sim 1.0 \times 10^{-6} W^{-1}$)の中にある。この設計で用いられるガラスは、無視できるほどの M_1 値を有する如何なるガラス(例えばPBH56や石英ガラス)も、又は、非常に高い M_1 値を有する如何なるガラス(例えばSchott N-SF2やN-SF4)も含まない。様々な要素は同程度の熱応力複屈折メトリック M_1 値を有し、最高印加パワー密度は、空間光変調器170に最も近いレンズ要素400-402で発生するので、強度重み付けされた熱応力複屈折メトリック M_2 の合計はレンズ要素400-402によって決定付けられる。

20

【0099】

図10Aは第2の例示的な投影レンズ270を表している。図6Aの第1の例示的な投影レンズと同様に、このレンズは、一般的には、2つの群のレンズ要素208を有する古典的なダブルガウス形状であり、開口絞り230付近に4つの内側の負レンズ要素422, 423, 424、及び、425を有し、さらに、4つの外側の正レンズ要素420、421、426、及び、427を有する。このレンズは、熱応力複屈折を低減することを優先に設計され、それ故、全てのレンズ要素は、石英ガラスのレンズ要素428又はOhara PBH56のレンズ要素429のどちらかである。特に、その4つの内側のフリントガラスレンズ要素422, 423, 424、及び、425は、非常に低い応力を有するOhara PBH56を用いて作られ、その4つの外側のクラウンガラスレンズ要素420, 421, 426、及び、427は、最小吸収のクラウンガラス、石英ガラスを用いてすべて作られる。

30

【0100】

図8A-8Dを考慮する際には、Schott SF57のガラスとOhara S-FSL-5が、Ohara PBH56の~1/2の、ガラスだけの熱応力複屈折メトリック M_1 の値を有することに留意する。しかし、他の考慮が設計の選択に影響する。特に、Schott SF57タイプは供給が少ないが、一方、PBH56は容易に相当大量に入手できる。さらに、Ohara S-FSL5ガラスは非常に高価であり(BK7の約13倍)、ステインの高感受性に関してはあまり望ましくない。

40

【0101】

図11Aの表は、図10Aの第2の例示的な投影レンズに対する、熱応力複屈折メトリック値を示す。この配置構成は、大きく低減した M_1 性能指数を有し、図6Aの第1の例示的な投影レンズよりも、~35倍小さい値(図9Aの表に比較して)であることがわかる。しかし、図10BのMTFプロット300から分かるように、図10Aの第2の例示的な投影レンズが6つではなく8つのレンズ要素を有しているにもかかわらず、画像品質は相対的に劣化した。特に、図6Bについて前述したように、第1の例示的な投影レンズは、結像領域にわたって50cy/mmで~65%のMTFを供給する。比較すると、図10Aの第2

50

の例示的な投影レンズは軸上の～68%のMTFを供給するが、平均して、許容できない軸外の32%のMTFとなる。その軸外のMTFは、第1の例示的な投影レンズで達成されるものたった半分である。

【0102】

同様に、図10Cは第2の例示的なリレーレンズ250を表し、熱により引き起こされる応力複屈折の感受性を低減することに高い優先順位をもって設計された。特に、レンズ要素430-436の全ては、無視できるほどのM₁値を有し、石英ガラスのレンズ要素437か、又は、SF-57のレンズ要素438のいずれかである。このレンズは、ダブルガウスタイルのレンズにより弱く類似する点を除き、図6Cのリレーレンズ250の一般的配置構成と同じである。しかし、図10Aの投影レンズ270と同様に、開口絞り230の近くに位置する2つの最内側のレンズ要素432と433は負レンズであって、低応力フリントガラス（この例ではSF-57）を用いて作られる。外側のレンズ要素430、431、434、及び、435は、低吸収クラウン石英ガラスを用いて作られる。追加的に、中間画像260の近くに位置する視野レンズ要素436はSF-57を用いて作られる。10

【0103】

図11Bは、表を示し、その表は、図10Cの第2の例示的なリレーレンズに対する熱応力複屈折メトリックM₁とM₂の値を与える。それらを図9Bで与えられる値と比較すると、図6Cの第1の例示的なリレーレンズよりも、ずっと低い（～90倍）ことが分かり、熱により引き起こされる応力複屈折の予想される感度が大きく低減することを示している。しかし、図10Dの対応するMTFプロット300によって実証されるように、図10Cの第2の例示的なリレーレンズの画像品質は、図6Cの第1の例示的なリレーレンズと比べて、劣化した。特に、図6Dが第1の例示的なリレーレンズに対して、結像領域にわたって、50cy/mmで～79%のMTFを示した一方で、図10Dは、第2の例示的なリレーレンズが軸上の～71%のMTF、及び、軸外の平均～56%のMTFしか供給しないことを示している。20

【0104】

これらの結果は、良好な画像品質と低い熱により引き起こされる応力複屈折の双方を実現することに同等の優先度を与え、バランスの取れた設計手法が投影レンズとリレーレンズの双方の設計に有利であることを示している。図12Aは、第3の例示的な投影レンズ270の設計を表し、バランスのとれた設計の強調が良好な画像品質と低い熱により引き起こされる応力複屈折の双方に与えられるという点で先行のものとは異なる。図6Aと10Aに示される第1及び第2の例示的な投影レンズと同様に、この投影レンズの外観は2つの群のレンズ要素208を有する古典的なダブルガウス形状であるが、開口絞り230の左にある大きな負メニスカスレンズ要素442を除き、フリント（PBH56）の代わりにクラウン石英ガラスレンズ要素446であり、このレンズタイプの古典的な形状と逆行する。小さい負メニスカスレンズ要素443はフリントガラスPBH56のレンズ要素447である。しかし、他のレンズ要素、4つの外側のクラウンレンズ要素440、441、444、及び、445は、石英ガラスやPBH56のレンズ要素ではなく、Ohara S-LAL18のレンズ要素である。30

【0105】

このレンズシステムの設計を始める際には、Ohara S-LAL18のような高指標、弱クラウンガラスがこれらの外側要素には有用であり、図10Aの第2の例示的な投影レンズに対して、改善されたMTF性能を供給し、一方で、図6Aの第1の例示的な投影レンズに対して、改善した熱応力複屈折性能を供給する。候補となる高指標、弱クラウンガラスの中では、他のガラス、例えば、Ohara S-LAL8 ($M_1 = 1.15 \times 10^{-6} W^{-1}$)、Ohara S-LAL54 ($M_1 = 1.31 \times 10^{-6} W^{-1}$)、又は、Ohara S-LAL61 ($M_1 = 1.56 \times 10^{-6} W^{-1}$)、又は、Ohara S-LAH66 ($M_1 = 1.09 \times 10^{-6} W^{-1}$)のような高指標、弱フリントガラスと比較して、Ohara S-LAL18が利用可能な、最小のガラス単独熱応力複屈折メトリックM₁値 ($M_1 = 0.726 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有する。40

【0106】

10

20

30

40

50

図12Bは、図12Aの第3の例示的な投影レンズ270のMTFプロット300を表している。そのMTFは、全てのフィールド点で、50c/y/mmで、平均~59%となる。画像品質は第1の例示的な投影レンズと全く同じほど良好ではないが(図6B参照)、第2の例示的な投影レンズにより供給される性能よりずっと良好である(図10B参照)。

【0107】

図13Aと13Bの添付の表は、これらの第3の例示的な投影レンズ及びリレーレンズの設計に対して供給され、熱応力複屈折メトリック M_1 と M_2 の計算値を与える。これらの表は、投影レンズ270とリレーレンズ250に対する2つの代替的な設計の表と比較することができ、それらは図9A-9Bと図11A-11Bで与えられ、そして、応力複屈折の低減、対、向上された画像品質の供給に関して異なるトレードオフを検討する。

10

【0108】

図13Aの表は、ガラス単独の熱応力複屈折メトリックの合計が $M_1 = 2.95 \times 10^{-6} W^{-1}$ であることを示しており、それは図6Aの第1の例示的なレンズの値よりも~2倍小さい(図9A参照)。また、この表は、レンズ要素の厚さと入射光強度を考慮した、強度重み付けされた熱応力複屈折 M_2 が、さらに大きく、3倍の向上に近づいていることを示している。最内側のレンズ要素442と443は、最も高い熱負荷を受けるが、それらの M_1 値はとても低いので、 M_2 値は入射光強度が考慮されてさらに低いままである。その結果、最小のコントラスト損失がこれらの要素から期待される。外側のレンズ要素440, 441、444、及び、445はより高い M_1 値を有するが、それらのパワー負荷はずっと小さく、それらの M_2 値は抑制される。

20

【0109】

図13Aのデータを図9Aのデータと比較すると、応力複屈折に関するレンズ設計、特に、レンズ要素444に関して、改良するための更なる機会が示唆される。このレンズ要素が低い M_1 値のガラスを用いて作られる場合は、応力複屈折の感受性はある程度にまで改善することができるだろう。石英ガラス又はPBH56の使用は確かに応力複屈折に役立つだろうが、それらの分散特性は画像品質に対してネガティブな影響を与えるだろう。代替的に、ガラスチャート(図5B)の中央付近のガラス、例えば弱クラウン又は弱フリント、は、中間の分散と低い応力複屈折特性の両方を有し、この要素に使用することができ、応力複屈折を低減する間に、色収差をバランスするのに役立つ。

30

【0110】

一例として、低い指標($n_d = 1.517$)の弱クラウンガラス($n_d = 52.4$)、例えばOhara S-NSL36が代わりに使用されることが可能で、それは、高い指標($n_d = 1.729$)の弱クラウンガラス($n_d = 54.7$)Ohara S-LAL18($M_1 = 0.726 \times 10^{-6} W^{-1}$)よりも小さいガラス単独の熱応力複屈折メトリック($M_1 = 0.463 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有する。このことは有用であり、現在の第3の例示的な投影レンズに比べて、M2について応力複屈折の感受性を25%潜在的に低減する。同様に、他の隣接するガラスも、例えば、Ohara - BAL-11(低い指標のクラウン、 $n_d = 1.572$ 、 $d = 57.7$ 、 $M_1 = 0.529 \times 10^{-6} W^{-1}$)、Schott LLF-1(低い指標の弱フリント、 $n_d = 1.548$ 、 $d = 45.8$ 、 $M_1 = 0.375 \times 10^{-6} W^{-1}$)、又は、Schott LF5(低い指標のフリント、 $n_d = 1.581$ 、 $d = 40.9$ 、 $M_1 = 0.453 \times 10^{-6} W^{-1}$)は全て比較的低いガラス単独の性能指數値($M_1 < 0.53 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有し、有利に使用されることができる。しかし、これらのガラスはOhara S-LAL18より低い屈折率を有するので、レンズ要素444の形状、又は、そうした変化が適応された如何なるレンズ要素の形状も、同じ光学パワーを伝えるのに恐らくはより難しくなり、また、より多い収差を導くことがある。当然のことながら、こうした代用は、更なる設計最適化を招くこと無くなされ得ず、恐らくは、他の要素に対する補正ガラス変化を含む。例えば、別のレンズ要素がレンズ要素444と445の間に必要とされても良い(図12A)。

40

【0111】

図8、11A、及び、13Aを考慮する際には、レンズ設計のガラスを選択するための

50

閾値が提案され、そのレンズ設計では、応力複屈折の感受性は低いか又は無視できるほどでなければならない。詳しくは、低い熱により引き起こされる応力複屈折メトリック値(例えば、 $M_1 = 0.80 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有するガラスの選択を制限する、ガラス選択制限を適応することは、多くのケースで有益である。この制限は、石英ガラスやPBH56のような無視できるほどの M_1 ガラスを含むだけでなく、ガラスチャート中段の低指標の弱フリンント又はクラウン(例えばLLF1, S-NSL36)や他の同様のガラス(LF5, S-BAL11)と一緒に、BK7(最も一般的に使用されるガラス)をも含む。それは、また、高指標、ガラスチャート中段のガラス(S-LAL18, SLAL7) $M_1 = 0.736 \times 10^{-6} W^{-1}$ 、高指標のフリンント(SF6)、中指標のフリンント(F2)、及び、色補正の有効な部分的分散特性を有する2つのガラス(N-PK52A及びN-FK51A)を含む。確かに、ガラスチャート中段に位置し、高い($n_d > 1.70$)又は低い($n_d < 1.60$)反射率を有するが、さらに低い応力複屈折感受性(例えば、 $M_1 \sim 0.2 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有する、新しい光学ガラスの開発はこのクラスの設計問題にとても役に立つだろう。

【0112】

熱により引き起こされる応力複屈折が高い優先順位を有するレンズ設計のために、本発明者は、開口絞り230(例えば、図12Aのレンズ要素442と443)に最も近いレンズが無視できるほどの熱応力複屈折メトリック M_1 値(例えば、 $M_1 = 0.1 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有するガラスを用いて作られる場合、有利な結果が得られることを発見した。小さい開口部(半径サイズ)を有する他のレンズ要素、又は、高パワー密度を受ける他のレンズ要素(一般的には、図12Aのレンズ要素441と444のような、開口絞り230から外側のレンズ要素の次のグループ化において)、又は、小さい対象に近い視野レンズ(例えば、図12Cのレンズ要素456)は、これらの同様の無視できるほどの M_1 ガラスの使用から利益が得られるだろう。しかし、画像品質の最適化が他のガラス選択を動機付けする場合には、ガラスの選択を広げ、低い M_1 値のガラス(例えば、 $0.1 \times 10^{-6} W^{-1} M_1 = 0.8 \times 10^{-6} W^{-1}$)を含むことは、たいへん有益である。より小さいパワー密度の照射に晒されるレンズ要素には、ガラス選択リストは更に緩和されることが可能で、例えば、追加的な適度の M_1 値のガラス(例えば、 $0.8 \times 10^{-6} W^{-1} M_1 = 1.6 \times 10^{-6} W^{-1}$)を含む。この閾値はそのリストを拡張し、幾つかの高指標のフリンントガラス(例えば、SF1, SF2, SF4)や高指標のガラスチャート中段のガラス(例えば、LAH-66, LAM60, LAL54, 及び LAL61)を含むので、レンズ設計の自由度はかなり広げられる。幾つかの例では、これらの同様の中程度の M_1 ガラス($0.8 \times 10^{-6} W^{-1} M_1 = 1.6 \times 10^{-6} W^{-1}$)が、画像品質において相当な改善をもたらすと認められる場合は、より高いパワー密度を受けるさらに内部のレンズに使用されることがある。しかし、熱応力複屈折レベルを低く維持するため、こうしたレンズ要素の厚さ(L)は一般的には小さく維持されるべきである(例えば、数ミリメータ)。より制限的な低 M_1 閾値($M_1 = 0.80 \times 10^{-6} W^{-1}$)を使用することは、ガラスチャートの85%以上を考慮から除外するが、より制限的でない中程度の M_1 閾値($M_1 = 1.60 \times 10^{-6} W^{-1}$)を使用することは、ガラスの約60%(現在のSchott及びOharaガラスカタログに対して)を除外する。明らかに、レンズ設計者は、画像品質要件を満足するために $M_1 > 1.60 \times 10^{-6} W^{-1}$ のガラスを選択することでき、特に、低いパワー密度を受けるレンズ要素にいえるが、しかし、これは、増加した熱応力複屈折感受性のコストが高くなつくるだろう。

【0113】

図12Aで示されるように、第3の例示的な投影レンズ270の処方は図14Aの表で与えられ、半径(レンズ形状又は曲率)のデータ、厚さ、及び材料が含まれる。全てのレンズ表面は、非球面、円環状、又は円筒状よりも球面の形状を有する。潜在的には、1つ以上のレンズ要素の、回転対称な非球面の使用は、より大きな設計の自由度を与え、そして、より多くのレンズ要素が、画像品質を維持しつつ、低い熱応力複屈折感受性のガラス(例えば、 $M_1 = 1.6 \times 10^{-6} W^{-1}$ の代わりに $M_1 = 0.80 \times 10^{-6} W^{-1}$)を用いて作られ得る。

10

20

30

40

50

【0114】

非球面係数のようなパラメータは、Code VやZemaxのようなレンズ設計プログラムにおいて非球面を記述するのに一般的に使用され、さらに、“Lens Design Fundamentals” R.Kingslake 著(Academic Press, New York, 1978)のような光学テキストで説明される。非球面は、通常は、レンズシステムの単色性の収差に対して改善(大きさの低減)を可能にする。しかし、非球面形状の使用は、レンズシステムの光学パワーを再分配することにより、同様に、色収差を間接的に改善することができる。こうした表面は、上述の伝統的なダブルガウスレンズ形態から逸脱する解決法をもたらしても良い。それ故、非球面の使用は、結像レンズ、又は、図12Aの投影レンズ270を含むレンズシステムの代替的な設計を可能にし、潜在的には、より良い画像品質特性と、低い熱応力複屈折感受性のための良好なガラス選択との両方をもたらす。例えば、第3の例示的な投影レンズの設計において、1つ以上の非球面を使用することは、 M_2 値に従って高いパワー負荷を受けるレンズ要素444が、前記提案の収差補償レンズ要素の必要なく、より高い応力のOhara S-LAL18ガラスから、低い応力のOhara S-NSL36ガラスへスイッチされることを可能にするだろう。

10

【0115】

図12Cは、第3の例示的なリレーレンズ250を表し、そのリレーレンズは、低い応力複屈折感受性と、良好な画像品質の両方を実現することに関して、バランスの取れた優先度で設計された。この第3の例示的なリレーレンズは、図6C及び10Cの第1及び第2の例示的なリレーレンズと同様の一般的な構成を有するが、図10Cのレンズよりも、古典的なダブルガウスタイプのレンズに類似している。このレンズシステムでは、開口絞り230の近くに位置する2つの最も内側のレンズ要素452と453は、低応力のプリントガラスPBH56を用いて作られた負のPBH56レンズ要素457である。画面又は中間像260の近くの視野レンズ要素456も、PBH56レンズ要素457である。レンズ要素451は低吸収のクラウンガラスの石英ガラスレンズ要素459である。他のレンズ要素450、454、及び、455は、Ohara S-LAL18のレンズ要素458であり、比較的低い M_1 値($M_1 = 0.726 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有する。図12Cで示される、第3の例示的なリレーレンズ250の処方は、図14Bの表で与えられ、半径、厚さ、及び、材料のデータが含まれる。

20

【0116】

30

図13Bで与えられる表は、図12Cの第3の例示的なリレーレンズの熱応力複屈折メトリック値を示す。図9B、11B、及び、13Bのデータを検討すると、第2の例示的なリレーレンズ(図11B)の熱応力複屈折メトリック M_1 と M_2 が、第1の例示的なリレーレンズ(図9B)に比べて、ずっと低い(~90×)ことが見て取れ、一方で、第3の例示的なリレーレンズ(図13B)は、第1の例示的なリレーレンズに比べて2-3×だけ低い、熱応力複屈折メトリック M_1 と M_2 とを有する。しかし、熱応力複屈折感受性における小さな向上は、より良好な画像品質性能によって相殺される。

【0117】

40

図12Dは、図12Cの第3の例示的なリレーレンズの画像品質性能を特徴付けるMTFプロット300を示す。バランスの取れた設計意図により、この第3の例示的なリレーレンズの画像品質は、50cy/mmで~79%のMTFを有し、第2の例示的なリレーレンズ(図10D参照)に対して実質的に改善している。第3の例示的なリレーレンズは、全ての視野位置に対してほぼ回折限界の性能をもたらし、第1の例示的なリレーレンズ(図6D参照)にずっと類似している。

【0118】

50

図12Cの第3の例示的なリレーレンズ250に対して、図13Bの熱応力複屈折感受性を検査すると、レンズ要素454が、強度重み付けされた熱応力複屈折メトリック M_2 にとって支配的な要因であることが見て取れる。これは、レンズ要素454をSLAL-18($M_1 = 0.726 \times 10^{-6} W^{-1}$)からより低い応力ガラス、例えばOhara S-NSL36($M_1 = 0.462 \times 10^{-6} W^{-1}$)に変更することが、熱応力複屈折感受性を大きく低減す

ること示唆している。もちろん、このガラスはより低い屈折率を有するので、レンズは光学パワーの損失を補償するよう再設計されなければならないだろうが、画像品質は名目上は維持される。追加のレンズ要素、非球面、又は、他の修正アプローチが、これを達成するよう用いられる。

【0119】

図14Aと14Bで処方され、図12Aと12Cで示されるレンズ設計は、本発明のプロジェクト102において、作製され、アセンブリされ、及び、テストされる。このプロジェクトは、複数のレーザアレイ120と連結光学系とを含む光源アセンブリ115を、図2、3A、及び、3Bに関連する設計原則に一般的に従って使用した。このプロジェクトは、また、図4の基本的な結像レンズ構成を使用し、図6Aと6Cの第1の例示的な投影レンズとリレーレンズの代わりに、図12Aと12Cの第3の例示的な投影レンズとリレーレンズを備える。

10

【0120】

図12Aと12Cの第3の例示的な投影レンズとリレーレンズを使用する場合、脱スペックル器180のない~200:1の安定化偏光コントラストと、動作する脱スペックル器180のある~250:1の偏光コントラストとを有し、~11,000スクリーンルーメンを供給する操作プロジェクタにおいては、顕著に改善したレベルの偏光コントラストが観察された。前述したように、追加的な調整をレンズ設計に付加する事により、更なる改善が実現され得ることが期待される。

20

【0121】

前の議論を考慮すると、レンズ設計者は、一般的には、レンズ設計プログラムメリット関数を用いて、設計意図を表す個別に重み付けされた項を組み合わせるよう努力を傾けるに留意する。例えば、多元的なレンズ設計のメリット関数は、焦点距離、収差補正、動作距離、ガラス選択、及び多数の他のパラメータの項を含む。しかし、現在は、応力複屈折は設計コントロールパラメータ、又は、項として利用できず、それは、Code VTM(Optical Research Associates, Pasadena, CA)又はZemaxTM(Zemax Inc., Bellevue, WA)のような一般的な光学設計プログラムのレンズ設計メリット関数に対して利用可能である。さらに、ガラス単独の熱応力複屈折メトリックM₁が依存する多数の構成要因(例えばポアソン比(μ)、又は、応力光学係数())は、レンズ設計プログラムのデータベース内にあるソースデータとして直接的には利用できない。その結果、画像品質を最適化しつつ、応力複屈折を低減するためには、レンズ設計者は、自動化されたコンピュータプロセッサ計算によって、今日典型的に行われるよりも、一般的にはより少なく導かれる必要があるだろう。

30

【0122】

幾つかの例では、レンズ設計プログラムが、レンズ設計者が追加的な光学材料をプログラムデータベースにインポートすることを可能にする性能を有してもよく、そして、M₁とM₂の式を、レンズ設計プログラムメリット関数に対する計算上の重み付けされたパラメータとして供給し、そうして、熱的に引き起こされる応力複屈折の低減した感受性を有する結像レンズの設計をより自動化する方法を提供する。

40

【0123】

メリット関数は、一般的には、1つ以上の画像品質性能の項と、熱応力複屈折メトリックを用いて計算された、熱的に引き起こされる応力複屈折性能の項に関連する、1つ以上の項を含むべきである。そして、レンズ設計は、そのメリット関数を最適化することにより自動的に最適化され得る。こうして、そのプログラムは、如何なる他の関連レンズ特性とも同様に、熱応力複屈折感受性と画像品質特性とを自動的にバランスするよう使用可能になるだろう。

【0124】

レンズ最適化プロセスを導くよう用いられるレンズ設計メリット関数Qの例は：

【0125】

【数15】

$$Q = w_a \sum_n w_A A_n + w_b \sum_m w_B G_m + w_c \sum_i w_C M_{2,i} \quad (15)$$

ここで、 A_n は収差又は画像品質補正項であり（例えば、球面収差、非点収差、MTF、PSF（ポイントスプレッドファンクション）用の）、 G_m は幾何学的限界又は属性の項であり（例えば、動作距離、角度限界、集合的開口数（NA）又はF値（F/#）、視角、拡大率、焦点距離、トラック長、レンズ要素厚さ限界、又は、焦点深度の）、 $M_{2,i}$ は*i*番目のレンズ要素に対する強度重み付けされた熱応力複屈折メトリックの項である。重み付け要因の w_a, w_b, w_c, w_A, w_B 及び w_C は、特定の応用例に従って、メリット関数における様々な項の相対的重要性を調整するよう用いられる。レンズ設計プロセスの早期において、光学パワー負荷の知識は制限されてもよいことが認識される。それ故、幾つかの実施形態では、レンズ設計メリット関数 Q は、強度重み付けされた M_2 メトリックに代えてガラス単独の応力複屈折メトリック M_1 を表す熱応力複屈折の項を使用することができる。レンズ設計メトリック関数 Q は、多数の他の項を含むことができ、自動化ガラス最適化を可能にする項も含む。この文脈では、他のレンズ設計パラメータ、例えばレンズ要素の曲率（半径）、厚さ、位置（連結しているか否かを含む）、非球面係数の使用、ガラス選択、又は、レンズ要素の数が利用可能であって、メリット関数 Q に対してレンズを最適化しようとする場合に調整される。これらの変化するパラメータは、レンズ設計メリット関数の範囲内で、目標値、範囲、又は限界を有することができる。

10

20

30

【0126】

図15は、熱的に引き起こされる応力複屈折の低減した感受性を有する結像レンズを設計する、例示的な方法のフローチャートを示し、熱的に引き起こされる応力複屈折性能の項を含むメリット関数を最適化するステップを含む。レンズ設計プロセスに入力されるのは、1組のレンズ設計要件500である。レンズ設計要件は、画像品質要件や熱応力複屈折感受性要件と同様に、各種の幾何学的性質（例えば、焦点距離、F/#、動作距離、及び、倍率）のようなレンズ設計属性を含むだろう。

30

【0127】

他にレンズ設計プロセスに入力されるのは、ガラス材料データ505のデータベースであり、レンズ設計プロセスに関連するガラス情報を有するメモリからアクセス可能である。好ましくは、そのガラス材料データ505は屈折率（ n_d ）、アッベ数（ v_d ）、吸収係数（ κ ）、応力光学係数（ α ）、熱伝導率（ K ）、熱膨張係数（ β ）、ポアソン比（ μ ）、及び、ヤング係数（ E ）を含むだろう。

40

【0128】

ガラス単独の複屈折メトリックスを計算するステップ510は、ガラス材料データ505内のガラスに対するガラス単独の熱応力複屈折メトリックス（例えば M_1 ）を決定するために使用され、複屈折メトリックスを有するガラス材料データ515のアップデートされた表を決定する。一般的に、熱応力複屈折への無視できるほどの、又は、低い感受性が、熱により引き起こされる応力複屈折への低減された感受性を有する結像レンズを設計するために使用されるべきである。それ故、2組の候補のガラスを定義することは有益である：熱応力複屈折に無視できるほどの感受性（例えば、 $M_1 = 0.1 \times 10^{-6} W^{-1}$ ）を有する第1の候補ガラスの組、及び、熱応力複屈折に最大で中程度の感受性（例えば、 $0.1 \times 10^{-6} W^{-1}$ $M_1 = 0.16 \times 10^{-6} W^{-1}$ ）を有する第2の候補ガラスの組である。

【0129】

名目上レンズ設計の決定ステップ520は、ガラス材料データ505に応答して、レン

50

ズ設計要件 500 を無効にする名目上レンズ設計 525 を決定する。好ましくは、名目上レンズ設計決定ステップ 520 は、一般的なレンズ設計ソフトウェアパッケージ（例えば、Code V™ 又は Zemax™）の何れか一つを使用して実行され、そのレンズ設計ソフトウェアパッケージは、周知のレンズ設計方法を活用して、パソコンコンピュータ上での使用できる。この試行は、一般的には、レンズ設計メリット関数 Q と反復最適化プロセスとを使用して、始められる。一般的には、そうしたレンズ設計方法は、複数のレンズ要素の形状、サイズ、間隔、及び、光学ガラスを決定するためのレンズ設計ソフトウェアを使用することを含む。結果的に得られる名目上設計は、メモリに保存されることができ、更なる最適化と比較の両方のための基準として用いられる。

【0130】

10

メリット関数定義ステップ 560 は、例えば式 15 で与えられるメリット関数 565 を定義するよう使用される。メリット関数 565 は、一般的には、1 つ以上の画像品質性能の項と、熱により引き起こされる応力複屈折性能の項とを含み、そして、高い画像品質と低い応力複屈折感受性を同時に実現するレンズ設計を選択することができる。

【0131】

メリット関数 565 は変化しやすく、レンズ設計者はレンズ設計メリット関数 Q に項を加え又は削除してもよく、又は、設計試行の工程の間、感受性の重み付け要因、制限、又は、範囲を変化させてもよいことが理解される。

【0132】

20

僅かな又は低い複屈折ガラス置換ステップ 570 は、名目上レンズ設計 525 におけるガラスの代わりに、熱応力複屈折の僅かな又は低い感受性を有するガラスを用いるよう使用される。このステップは、コンピュータプロセッサにより実行されるソフトウェアを用いて自動的に行われ得る。代替的に、レンズ設計者により手動で行うこともできる。一実施形態では、レンズ設計者は、最大パワー密度を有する 1 つ以上のレンズ要素の代わりに、第 1 セットの候補ガラスからガラスを用いる。多くの例では、これらは、開口絞りのすぐ近くに位置するレンズ要素であるだろう。レンズ要素の残りのガラスは、第 1 又は第 2 のセットの候補ガラスから選択され得る。一般的に、名目上レンズ設計 525 の元のガラスに代用されるガラスは、その元のガラスの屈折率や分散特性にもっともよく一致する第 1 及び第 2 セットの候補ガラスからガラスを識別することにより決定される。

【0133】

30

次に、レンズ設計最適化ステップ 575 が、メリット関数 565 に応答して、最適化されたレンズ設計 580 を決定するよう使用される。コンピュータプロセッサは、最適化プロセスを用いて、このステップを実行し、レンズ要素の様々なパラメータ（例えば、厚さ、間隔、及び、形状）を調整し、そして最良の性能を供給する。仮の結果と最終的な結果の両方がメモリに保存され得る。幾つかの例では、最適化プロセスは、レンズ要素のガラスを自動的に選択するよう使用されることもできる。メリット関数 565 は、画像品質性能の項と熱により引き起こされる応力複屈折性能の項の両方を含むので、最適化されたレンズ設計 580 は、これらの重要な設計属性の両方をバランスするだろう。レンズ設計者はメリット関数 565 内の対応する項の重み付けを調整することにより、或る属性又は他の属性の重要性を強調するよう選択することができる。当業者には周知の多くの最適化プロセスが存在し、それらの最適化プロセスは、最適化されたレンズ設計 580 を決定するように使用することができる。一般的な最適化プロセスの例には、減衰最小二乗法、正規直交化、及び、焼き鈍し法が含まれる。

40

【0134】

幾つかの例では、レンズ設計者は、レンズ設計最適化ステップ 575 によって決定される最適化されたレンズ設計 580 は、特定の応用例の要件を満足するには適当でないことを結論付けても良い。この例では、レンズ設計者は、例えば、1 つ以上のレンズ要素の代わりに異なるガラスを用いたり、追加のレンズ要素を加えたり、1 つ以上の表面に非球面形状を持たせるようにしたり、又は、回折光学表面を付加するようなステップをとるよう選択してもよい。そして、レンズ設計最適化ステップ 575 は再び実行され、新しい最適

50

化されたレンズ設計 5 8 0 を決定する。

【 0 1 3 5 】

熱応力複屈折メトリックを含むレンズ設計プログラムメリット関数を自動的に計算することの利点がなくとも、レンズ設計者は、本発明の原理に従うことで、熱応力複屈折の低減された感受性を有するレンズを良好に設計することができる。これは、図 8 A - 8 D (又は、その拡張版) の表を用いることで実現され、光学材料の選択においてレンズ設計者を導き、そして、コンピュータ上でランする従来のレンズ設計プログラム内の最適化ツールを用いて、最適化されたレンズ設計を決定する。

【 0 1 3 6 】

一般的には、このプロセスは、結像レンズが満足すべきレンズ性能基準セットを定義するステップを含み、1つ以上の画像品質性能基準、及び、熱により引き起こされる応力複屈折性能基準を含む。画像品質性能基準は、例えば、必要とされる MTF 性能の仕様であり得る。熱により引き起こされる応力複屈折性能基準は、例えば、総計の熱応力複屈折メトリックの許容可能な最大値であり、各レンズ要素の強度重み付けされた熱応力複屈折メトリックを組み合わせる。

【 0 1 3 7 】

最小の熱応力複屈折を呈するレンズ設計を製造するプロセスで考慮すべき最も重要な要因は、とりわけ高光学パワー密度条件下では、光学ガラスの選択である。2, 3 のガラス、例えば、ほぼゼロの応力係数を有する Schott SF57 や Ohara PBH56 や、極めて低い吸収と低い熱膨張係数を有する石英ガラスが明らかに選択されるだろう。他の全てのガラスは、熱応力のもとでは、多少のより大きな偏光劣化の程度を与える。上述したガラス単独の熱応力複屈折メトリック M_1 のような性能指標が使用され、ガラスを最良（最小のメトリック値）から最悪（最大のメトリック値）までに順位付けするリストを生成し、例えば、図 8 C - 8 D で与えられるリストであり、又はその拡大版である。また、このガラスリストに要約される特性は、所望の光学収差制御特性（指標及び分散）を有するガラスタイプを選択するためのレンズ設計プロセスの間、有益である。収差制御と熱応力複屈折制御の間のバランスは、前述したように、各レンズ要素のガラス選択に対してなされる必要がある。

【 0 1 3 8 】

例示の目的のため、図 12 A の第 3 の例示的な投影レンズ 270 を設計するのに使用されたプロセスと類似するレンズ設計プロセスは、今度は、図 16 を参照して述べられるだろう。再び、このプロセスでは、レンズ設計者は、レンズ設計プログラム、プロセッサとメモリを備えたコンピュータの利点を享受するが、レンズ設計メリット関数 Q は熱により引き起こされる応力複屈折を直接最適化するための項を有しない。代わりに、レンズ設計者は、図 8 A - 8 D の表、又はそれらのより完全な均等物を、レンズ設計者の試行への入力として、使用することができ、他のガラス製造者からのデータも潜在的に含む。図 15 のプロセスと同様に、レンズ設計プロセスへの入力は、レンズ設計要件 500 と、レンズ設計プロセスに関連するガラス情報を有する、ガラス材料データ 505 のデータベースのセットである。

【 0 1 3 9 】

図 15 のプロセスと同様に、ガラス単独の複屈折メトリック計算ステップ 510 は、ガラス材料データ 505 に対するガラス単独の熱応力複屈折メトリック（例えば M_1 ）を決定するのに使用され、複屈折メトリックを有するガラス材料データ 515 の表のアップデートを決定する。同様に、名目上レンズ設計決定ステップ 520 は、名目上レンズ設計 525 を決定するように使用され、その名目上レンズ設計は、レンズ設計要件 500 を無効にするが、良好でない熱応力複屈折感受性を有するガラスを用いるレンズ要素を含んでもよい。

【 0 1 4 0 】

次に、僅かな応力複屈折ガラスの代替ステップ 530 が中間レンズ設計 535 を決定するように使用される。好ましくは、このステップは、名目上レンズ設計 525 内のレンズ

10

20

30

40

50

要素を識別することを含み、そのレンズ要素は光学ガラスを含み、その光学ガラスは、僅かな応力複屈折感受性（例えば、Schott SF57又はOhara PBH56）を有する高指標／高分散のガラスの屈折率と分散特性にもっとも一致する。識別されたレンズ要素の光学ガラスは、僅かな応力複屈折感受性のガラスに代替され、そして、そのレンズ設計はレンズ設計ソフトウェアを用いて再最適化される。

【0141】

任意の他の光学要素が存在し、その光学要素が、高指標／高分散の僅かな応力複屈折のガラス（例えば、 ± 0.1 の範囲内の屈折率、及び、 ± 20 以内の 数）に類似するガラスを有する場合、僅かな応力複屈折ガラスの代替ステップ 530 は、全てのそうしたレンズ要素に対して光学ガラスが代替されるまで、繰り返し適用され得る。

10

【0142】

同様に、任意の他の光学要素が存在し、その光学要素が、低指標／低分散の僅かな応力複屈折のガラス（例えば、石英ガラス）に類似するガラスを有する場合、僅かな応力複屈折ガラスの代替ステップ 530 は繰り返し適用され、光学ガラスを、全てのレンズ要素に対して、低指標／低分散の僅かな応力複屈折のガラスを有するレンズ要素で代替し、レンズ設計ソフトウェアを用いて、そのレンズ設計を再最適化する。

【0143】

他の実施形態では、僅かな応力複屈折ガラスの代替ステップ 530 は、名目上レンズ設計 525 内のどの要素が最も高い光学パワー密度を有するかを識別し、そうしたレンズ要素に代わって、僅かな応力複屈折のガラス（例えば、 $M_1 = 0.1 \times 10^{-6} W^{-1}$ であるガラス）を用いる。一般には、識別されたレンズ要素の元の光学ガラスの屈折率と 数にもっとも一致する、僅かな応力複屈折ガラスが使用され、元の光学ガラスに代わって用いられる。一般には、最も高いパワー密度を有するレンズ要素は、開口絞り 230 に最も近いレンズ要素となるだろう。それ故、光学パワー密度を計算することは必ずしも必要というわけではない。幾つかの実施形態では、開口絞りに最も近接するレンズ要素の光学ガラスが、僅かな応力複屈折のガラスを用いて自動的に代替される。

20

【0144】

次に、低応力複屈折ガラスの代替ステップ 540 が使用され、レンズ要素群のうち 1 つの光学材料を、低い応力複屈折の感受性（例えば、 $M_1 = 0.8 \times 10^{-6} W^{-1}$ ）を有する光学材料で代替することにより、新しい中間レンズ設計 545 を決定する。好ましくは、このステップは、複屈折メトリックを有するガラス材料データ 515 から、選択されたレンズ要素の屈折率と 値にもっとも一致する、低い応力複屈折の感受性のガラスを識別することを含む。その選択されたレンズ要素の光学ガラスは、低い応力複屈折の感受性のガラスによって代替され、そして、レンズ設計は、レンズ設計ソフトウェアを用いて、再最適化される。低応力複屈折ガラスの代替ステップ 540 は、低応力複屈折感受性のガラスが全てのレンズ要素について代替されるまで、繰り返し適用され得る。

30

【0145】

次に、複合メトリックの評価及びレンズ設計のアップデートステップ 550 が使用され、最終的なレンズ設計 555 を決定する。このステップのため、中間レンズ設計 545 が分析されて、許容可能な画像品質性能であるかどうかが決定される。また、異なるレンズ要素上にロードする光学フラックスの推測が可能であるなら、レンズ要素形状を組み込んだレンズ要素に対して、熱応力複屈折メトリック（例えば、 M_2 ）を決定するよう分析される。中間レンズ設計 545 の画像品質性能がひどく劣化した場合は、代替のガラス選択がなされる。例えば、低いパワー密度を受けるレンズ要素の光学ガラスは、光学ガラスの拡張セットから材料を選択するようアップデートされ、そこでは、閾値の熱応力複屈折メトリックがある程度増加し、そして、中間的な応力複屈折感受性のガラス（例えば、 $M_1 = 1.6 \times 10^{-6} W^{-1}$ ）を含む。

40

【0146】

追加的な補助ステップが可能であり、そのステップでは、レンズ設計は例えば有限要素分析（FEA）によって熱機械的にモデル化され、そして、レンズ要素内部の光吸収容

50

積プロフィール、その結果の熱負荷と温度変化 T 、そして、その結果の発生する応力複屈折 n をモデル化する。このモデル化は、レンズ要素とハウジング 240 の内部又はその周囲の熱伝導、対流、及び、照射効果を説明し、光吸収により付与される熱効果を低減するよう適用される、如何なるレンズ冷却技術をも含む。そして、その結果は使用され、レンズ設計予想を検査、又は、認証することができ、M₂ メトリックの使用を含む。結果的に得られる情報は、レンズ設計プロセスを導くことができ、所定のレンズ要素に対して、僅かな、低い、又は、適度な熱応力複屈折ガラスを検証し、又は、より制限的でないガラスを選択する機会を示唆する。

【0147】

幾つかの例では、低応力複屈折ガラスの代替ステップにおいてなされる 1 つ以上のガラス選択を緩和することが必要であってもよく、元の僅かな応力複屈折のガラスに代わって、低応力複屈折のガラスを使用する。もしそうであるなら、低応力複屈折ガラスの代替ステップ 540 によって選択された全てのガラスは再評価されるべきである。

10

【0148】

その結果の熱応力複屈折感受性が高すぎるか、又は、画像品質性能が低すぎる場合は、レンズ要素は選択的に選ばれ、非球面の使用は向上した画像品質性能をもたらしつつ、ガラス材料が、より厳しい閾値の熱応力複屈折メトリック（例えば、M₁ = 0.8 × 10⁻⁶ W⁻¹）を有して使用されることを可能にする。強調が、最大光学パワー密度を受けるレンズ要素に対する変化するガラスに向けられてもよい。

20

【0149】

本発明の説明で与えられる例示的なレンズ設計は、古典的なダブルガウスレンズ設計に基づいているが、当業者には、同じ基本的設計原則が、他のタイプの結像レンズ、又は、結像レンズのシステムの設計に使用されることがあるのは明らかであり、そこには熱により引き起こされる応力複屈折の感受性を低減する必要が存在する。例えば、その設計原則は、アナスティグマートレンズ、ペツツバールレンズ、望遠レンズ、ズームレンズ、アフォーカルレンズ、及び、F レンズなどの周知のレンズ設計カテゴリに属する、結像レンズを設計するのに使用される。

20

【0150】

或る特定の例として、F レンズが、ポストオブジェクティブ又はプレオブジェクティブ走査構成のレーザプリンティングに使用され、そこでは、ガルバノメータのようなスキャナが開口絞り面に近接して配置され、F 対物レンズの全てのレンズ要素は、開口絞り面の或る側（プレ又はポスト）に配置される。F レンズは、一般的には、全てのレンズ要素を、開口絞りの何れかの側へ一つのグループにクラスタ化する。再び、開口絞りに最も近いレンズ要素は、熱的に引き起こされる応力複屈折を低減するため、慎重なガラス選択から最も利益を享受すると思われる要素である。他の例として、ズームレンズは、複数のレンズグループ（例えば 2 - 4）を有することができ、移動するグループを含む。

30

【0151】

本発明のレンズ設計概念は、結像レンズへの応用に限定されないが、照明システムのような他のレンズシステムに使用されることも可能であり、又は、望遠鏡タイプの設計構成に基づいた光学システムのように複合反射 屈折光学システムに使用されてもよい。再び、開口絞りに近接したレンズ要素、又は、高いパワー密度を受ける他の要素は、おそらく、低減された応力複屈折感受性のガラスの使用により、利益を享受する要素である。本発明に従って、如何なるタイプのレンズシステムも、最大光学パワー密度を有するレンズ要素とともに用いる、僅かな応力複屈折の感受性のガラスを選択することにより作られ、そして、残りのレンズ要素に、最大でも中程度の応力複屈折の感受性を有するガラスを使用する。

40

【0152】

例示的な投影レンズ 270 の画像品質は、図 6B と 9B について、100 cy/mm で限定的な MTF 性能 (~30%) を示している。アップエンドのデジタルシネマ産業のスクリーン上の解像度の仕様をサポートするため、4K 水平解像度の認識できる画素を投影

50

する性能が必要である。この目的を良好に達成するため、100 c y / mmでのM T Fは40%を越えるよう改善されることが望ましいだろう。同様に、50 c y / mmで良好なM T F性能を供給し(60 - 65%に代わって、~75%又はそれ以上、)、2 K解像度画像のための改善された画像品質を供給することが望ましいだろう。同時に、リレーレンズ250と投影レンズ270の、熱的に引き起こされる応力複屈折の感受性を更に低減することが望ましく、より明るいスクリーン(例えば、20,000 - 60,000ルーメン)を可能にするのと同様に、より多くの余裕を与えるだろう。

【0153】

こうした目的を達成するには幾つかの潜在的なアプローチが存在し、個別に又は組み合わされて適用することができる。確かに、上述したように、LF-5やS-NSL36のような代替ガラスを戦略的に選択することは、幾つかのレンズ要素に大きく役に立つ。1つ以上のレンズ要素上に非球面を使用することも、たいへん有効である。他のアプローチとして、本システムの光学速度を増加させることができ、そうして、投影レンズ270がF/2.5又はそれより明るく動作し、その結果、M T F性能を向上させる。投影レンズ270は、回折限界よりむしろ収差限界であるが、これは或る改善を更にもたらすことができる。システム速度を増加することは、光がガラス領域に渡って広がるので、熱的に引き起こされる応力複屈折を低減するのに役立ち、それによって、ピークパワー密度を低減する。しかし、このアプローチは、レンズアセンブリと同じく、個々のレンズ要素をより高価にし、設計・作製をより難しくする。

【0154】

また、以下の点が認識される、即ち、レンズハウジング240、又は、より直接的にはレンズ要素自体が、放熱板、導電性テープ、液体冷却、受動又は強制空気、熱電気冷却デバイス、又は、他の技術を用いて、レンズ要素上の効果的な熱負荷、然るに、引き起こされる応力複屈折を低減するという目的をもって、受動的或いは能動的に冷却されるということである。そうした冷却は、それが充分に効果的で信頼できるのであれば、1つ以上のレンズ要素に対してガラスの選択を変更できる。また、以下の点が認識される、即ち、レンズハウジング240の内部のレンズ要素の取り付けは、慎重に行われる必要があり、そして、内部のハウジング構成要素に対向するレンズ要素の熱膨張は、引き起こされる機械的応力から、応力複屈折を発生しないようにする。

【0155】

画像品質の問題を考慮すると、第3の例示的な投影レンズ(図12A)を含む、投影レンズ270のM T F性能は、主要な軸色又は縦色として知られる光学収差によって制限される。主要な軸色の補正で設計されたレンズでは、緑色光の最良のフォーカス面は、青色や赤色の最良フォーカス面からオフセットしている。これは、赤色と青色のチャンネルが最良のフォーカス面を有し、画像空間の同じ場所(表示面190で、又は、その近くで)でオーバーラップするが、それらは両方とも、最良フォーカスの緑色チャンネルの面から、長手方向にシフトされていることを意味している。

【0156】

通常のレンズ設計原理に従う場合は、投影レンズ270をアポ黒マートとして設計することで改善された色補正が得られ、上記で引用したD.DeJagerの米国特許5,172,275号(特許文献16)において行われるのと同じぐらい改善される。レンズ設計において一般的には、Schott PSKやNKZFSガラスタイルのような変則的な分散ガラスからなる1つ以上のレンズ要素を有するレンズアセンブリを設計することで、二次的な軸色が除去される。残念ながら、これらのガラスは、熱応力複屈折感受性について最悪の値($M_1 \sim 3.5 \times 10^{-6} W^{-1}$)を有し、それ故、これらのガラスで軸色を固定しようとは、同時に、応力複屈折をかなり増加させるだろう。Schott PK52とSchott FK51は、有効な部分分散を供給し、熱応力感受性($M_1 \sim 0.36 \times 10^{-6} W^{-1}$)について約10×良好であり、しかし、ガラスチャート上位(低指標(n_d)と高アッベ数(v_d))は他の妥協をもたらす。

【0157】

10

20

30

40

50

代替的に、“映画投影レンズ”と題する、同一出願人によるM.Harriganの米国特許6,317,268号（特許文献17）において議論されているように、回折光学素子（DOE）が軸色（軸色収差）を含む色収差の補正に特に使用される。回折光学素子は、ステップ構造でパターン化され、薄い位相素子を形成し、干渉と回折によって作動して光の伝播を生じる。それらは、平面の要素又はレンズ曲面上に形成され得る。本発明の例では、例えば図6Aで表される例示的な位置90で、1つ以上の回折光学要素350が投影レンズ270又はリレーレンズ250の中に供給される。回折光学素子の使用は、画像品質向上させ、代替的なガラスの選択を可能にし、レンズ設計者がより低い応力複屈折感受性を有するガラス（Ohara SNSL36のような弱クラウン、又は、Schott LF5のような弱フリン）を主要な位置に使用することをより簡易にする。しかし、回折光学素子はフレア光を導き、それにより、ANSI又はインフレームのコントラストにおいて劣化を生ずるので、注意を要する。

10

【0158】

図10Aの第2の例示的な投影レンズ270について更に考慮すると、図11Aの対応する表と共に、非常に低い応力複屈折PBH56と石英ガラスだけを含み、ガラス選択と設計性能が許容するなら、熱的に引き起こされる応力複屈折の感受性を更に低減する相当の余地があることを示唆している。他のアプローチとして、投影レンズ270の中に、例えば図4の位置90に、偏光補償器360を加えることも、有利になり得る。前の議論において、特に、Aastuen他による関連特許と図1Bに関して、偏光補償器360の使用はある程度議論された。プロジェクト101の中には、偏光補償器が変調光学システム80の中に一般的に存在し、偏光補償を、空間光変調器170r、170g、及び、170b、偏光ビームスプリッタ60、又は、その双方の組合せに供給する。例えば、Mi他の米国特許6,909,473号（特許文献18）では、偏光補償が、垂直に並んだLCDタイプの変調器と、細線格子の偏光ビームスプリッタの両方に供給され得る。Aastuen他の例では、同様の偏光補償が、薄いフィルム、ガラス埋め込み、偏光ビームスプリッタの基板ガラスの候補ガラスのリストを拡大する。

20

【0159】

多数の偏光補償器の例が存在し、それらは、LCDで偏光性能を拡張するよう開発され、垂直に並んだ、又は、ネマティックなLCD用に設計されたものを含む。これらの補償器は、一般的には、ポリマーフィルムを使用して角度変化する複屈折を供給し、空間的に異なる方法で構造化され、透過光ビームの部分で（即ち、或る空間と角度領域の範囲内で）偏光状態に影響し、光ビームの他の部分で偏光状態に影響を及ぼさない。代替的には、Tan他の米国特許7,170,574号（特許文献19）で述べられるように、ロバストな偏光補償器が、ガラス基板に溶着された誘電薄膜層を有する複屈折格子構造を形成することにより、開発された。一般に、偏光補償器は、スキュー光線や斜光線の偏光状態により生じる差動効果を通常の入射光線よりも低減し、そのスキュー光線や斜光線は複屈折材料を通って異なる光路を横断する。

30

【0160】

本発明の例では、偏光補償器360は変調光学システム80内には存在せず、空間光変調器170と偏光ビームスプリッタ60に対して、横断する光ビーム140の偏光状態を調整する。代わりに、偏光補償器は、投影レンズ270内の位置90に供給され、投影レンズ内で、応力複屈折効果の偏光補償を供給する。詳しくは、それは、残余の熱的に引き起こされる応力複屈折の補償を供給する。この例では、補償器は、応力複屈折に従って入射条件から逸脱する偏光の状態又は方向を回復し、そうして、それらは入射状態に類似し、所望の左目又は右目の偏光状態を観察者に供給し、その観察者は偏光感度メガネを着用している。入射偏光状態は、例えば、レーザデバイスや偏光スイッチ139によって、照明アセンブリ110内に大部分が定義された。理解されるべきは、1つ以上の偏光補償器360は、リレーレンズ250の中、又は、その周辺に供給され、そのレンズにより生じる応力複屈折効果を補償するということである。

40

【0161】

50

図4に示されるように、偏光補償器360は、結像レンズ200内部の様々な例示的な位置90に置かれることが可能であり、又は、位置90は2色性組合せ器165とリレーレンズ250の双方に最も近くても良い。偏光補償は複数の部品により生じる偏光効果を補正することができ、その部品には投影レンズ270、リレーレンズ250、及び、2色性組合せ器165を含む。従って、偏光補償器360の使用は、投影レンズ270又はリレーレンズ250を他より広い範囲のガラスで設計することを可能にし、熱により引き起こされる応力複屈折の効果は別の方法で低減されるからである。それは画像品質の更なる向上のために設計の自由度を与える。

【0162】

第3の例示的な投影レンズ(図12A)に影響する、残余の二次的な軸色の問題に戻ると、赤色と青色のチャンネルは画像空間内の同じ位置(表示面190で、又は、その近傍)でオーバーラップする最良のフォーカス面を有するが、共に、緑色の最良のフォーカス面から長手方向にシフトしている。空間光変調器170は図1の異なる平面内に存在するので、この効果は、変調器の位置を調整することにより低減することができるが、その結果として、小さな倍率差という不利益を伴う。その色焦点誤差は厳しい観察者には判るほどに大きく、そして、この問題はより高い解像度で悪化することがある。偏光補償器360や回折光学素子350の使用に代わるものとして、追加的な光学要素を使用することができ、その光学要素は、緑色光に対して、赤色と青色の光路を増大させる。これは、全3色を、画像面で共通の焦点に効果的に配置するだろう。これを達成する単純な方法は、図17に示されるように、第1表面ミラー370を使用することであり、そこでは、緑色光は多層被膜375の上層から反射されるが、青色と赤色の光は透過する。そして、赤色と青色の光は、より深くにある層から多層誘電被膜375の中へ反射され、そうして、このより低い層までの増大した移動距離は、投影レンズ270内の二次的な軸色の量と同じであるようになる。

10

20

30

40

50

【0163】

第1表面ミラー370は強調した方法で示されており、というのも、投影レンズ270内の二次的な軸色の量は物体空間で約50ミクロンであり、そして、上下間の被膜層の深さは赤色と青色の光は、被膜層(低減したOPD)の材料指標を通って2つのパスを経るので、それより小さい。緑色及び赤色/青色の画像は、中間画像260で、小さい画像シフト378だけ、一方から他方へ横方向にシフトするが、これは、空間光変調器170を適切に再配置することにより、調整され得る。

【0164】

留意する点は、このアイディアは拡張されて、各色に対して1つ、基板377上に形成される3つの反射層を有することで、主要な軸色も補正できるということである。このアプローチは、リレーレンズ250、投影レンズ270、又は、その両方の組合せを補正するように使用される。再び、その厚さは調整され、色の長手方向シフトを補償する。

【0165】

第1表面ミラー370は図17では45度で表されるが、本アイディアは、光路が何らかの物理的障害物によりブロックされていない限り、如何なる傾斜角でも、軸の色収差を補正するよう機能する。追加的に、第1表面ミラー370は、角度的に調整されることが可能で、導かれる色補正の量を変化させる。画像シフトが問題である場合は、そのシフトを是正するよう二反射配置が使用され、例えば、それぞれ補正被膜を有する二つの反射面をペンタプリズム型の構成に位置付けることによる。

【0166】

本発明は、熱的に引き起こされる応力複屈折を理解する基礎を与え、その中には、数値メトリック M_1 と M_2 (後者は適応される光学負荷を説明する)、比較上僅かな、低い、中程度の、又は、高い値の熱応力複屈折感受性(M_1 により測定されるように)を有するガラスの識別、及び、レンズ設計試行の間に、レンズアセンブリ内の異なるレンズ要素のガラスを選択的に使用する設計原則と方法をサポートすることを含む。本発明は、異なるレベルの熱応力感受性と結像性能を有する結像レンズの実際の設計例、及び、改善された

プロジェクタ性能に与える影響の実際の証拠を与えた。特に、熱応力の感受性閾値のセットが識別され、それらの閾値は、僅かな応力ガラス ($0.1 \times 10^{-6} W^{-1} M_1$)、低い応力ガラス ($0.1 \times 10^{-6} W^{-1} M_1$, $0.8 \times 10^{-6} W^{-1}$)、及び、中程度の応力ガラス ($0.8 \times 10^{-6} W^{-1} M_1$, $1.6 \times 10^{-6} W^{-1}$) を指定するのに使用され、それぞれ、レンズ設計に対して重要な特性を備えたガラスのセットを含む。理解されるべきは、本発明の精神及び適用範囲内では、こうした閾値は多少恣意的であることである。例えば、 $M_1 = 0.12 \times 10^{-6} W^{-1}$ の値を有するガラス（おそらくは未開発の）は、僅かな、又は、低い熱応力複屈折感度を有するものと考えられてもよい。実際に、その認識は、関与するアプリケーションやレンズ設計者に依存してもよい。同様に、低い ($M_1 = 0.8 \times 10^{-6} W^{-1}$)、及び、中程度 ($M_1 = 1.6 \times 10^{-6} W^{-1}$) の熱応力複屈折ガラスの閾値は、有益且つ有効であるが、再び、これらは多少恣意的である。例えば、低い閾値が $M_1 = 0.9 \times 10^{-6} W^{-1}$ 又は、 $M_1 = 1.0 \times 10^{-6} W^{-1}$ に設定されてもよく、中程度の閾値が $M_1 = 1.8 \times 10^{-6} W^{-1}$ に設定されてもよい。

【0167】

本発明は、特定の好ましい実施形態を参照して、詳細に説明されてきたが、様々な変形や修正が本発明の適用範囲内で達成され得ることは理解されるだろう。強調される点は、本明細書で述べた装置や方法は、多くの異なるタイプのシステムにおいて具体化されるとということであり、それは広範囲のタイプの支援するハードウェア及びソフトウェアを使用して行われる。また、留意すべき点は、図面は原寸通りではないが、これらの実施形態で用いられる主要な部品と原則を例示するものであるということである。

[部品リスト]

- 50 光源
- 55 プリズムアセンブリ
- 60 偏光ビームスプリッタ
- 65 X プリズム
- 80 変調光学システム
- 90 位置
- 100 プロジェクタ
- 101 プロジェクタ
- 102 プロジェクタ
- 110 照明アセンブリ
- 110r 照明アセンブリ
- 110g 照明アセンブリ
- 110b 照明アセンブリ
- 115 光源アセンブリ
- 120 レーザアレイ
- 120' レーザアレイ
- 122 レーザエミッタ
- 125 レーザ組合せアセンブリ
- 127 カットプリズム
- 130 アパーチャ
- 135 照明ビームスプリッタ
- 137 半波長板
- 139 偏光スイッチ
- 140 光ビーム
- 140' 別個の光ビーム
- 145 光軸
- 150 照明レンズ
- 155 光インテグレータ
- 160 ミラー

10

20

30

40

50

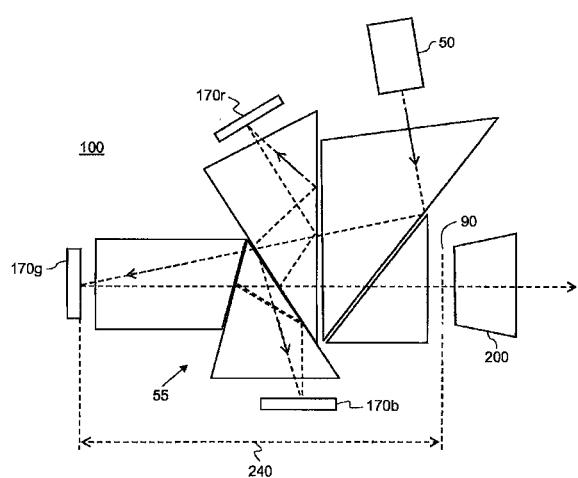
1 6 5	二色性組合せ器	
1 6 6	第1組合せ器	
1 6 7	第2組合せ器	
1 7 0	空間光変調器	
1 7 0 r	空間光変調器	
1 7 0 g	空間光変調器	
1 7 0 b	空間光変調器	
1 8 0	脱スペックル器	
1 9 0	表示面	10
1 9 5	物体面	
2 0 0	結像レンズ	
2 0 5	レンズ要素	
2 0 6 a	正レンズ要素	
2 0 6 b	負レンズ要素	
2 0 8	レンズ要素のグループ	
2 1 0	ガラスチャート	
2 1 5	クラウンガラス	
2 1 7	フリントガラス	
2 2 0	クラウンガラス要素	20
2 2 2	フリントガラス要素	
2 3 0	開口絞り	
2 3 5	光線	
2 4 0	レンズハウジング	
2 4 5	動作距離	
2 5 0	リレーレンズ	
2 6 0	中間画像	
2 7 0	投影レンズ	
3 0 0	モデュレーショントランスマッテクション(MTF)プロット	
3 2 0	光強度分布	
3 2 1	スライス位置	30
3 2 2	断面プロフィール	
3 2 3	光強度分布	
3 2 4	スライス位置	
3 2 5	断面プロフィール	
3 2 6	光強度分布	
3 2 7	光強度分布	
3 2 8	光強度分布	
3 5 0	回折光学要素	
3 6 0	偏光補償器	
3 7 0	第1表面ミラー	40
3 7 5	多層被覆	
3 7 7	基板	
3 7 8	画像シフト	
4 0 0	レンズ要素	
4 0 1	レンズ要素	
4 0 2	レンズ要素	
4 0 3	レンズ要素	
4 0 4	レンズ要素	
4 0 5	レンズ要素	
4 1 0	レンズ要素	50

4 1 1	レンズ要素	
4 1 2	レンズ要素	
4 1 3	レンズ要素	
4 1 4	レンズ要素	
4 1 5	レンズ要素	
4 1 6	レンズ要素	
4 2 0	レンズ要素	
4 2 1	レンズ要素	
4 2 2	レンズ要素	
4 2 3	レンズ要素	10
4 2 4	レンズ要素	
4 2 5	レンズ要素	
4 2 6	レンズ要素	
4 2 7	レンズ要素	
4 2 8	石英ガラスレンズ要素	
4 2 9	P B H 5 6 レンズ要素	
4 3 0	レンズ要素	
4 3 1	レンズ要素	
4 3 2	レンズ要素	
4 3 3	レンズ要素	20
4 3 4	レンズ要素	
4 3 5	レンズ要素	
4 3 6	レンズ要素	
4 3 7	石英ガラスレンズ要素	
4 3 8	P B H 5 6 レンズ要素	
4 4 0	レンズ要素	
4 4 1	レンズ要素	
4 4 2	レンズ要素	
4 4 3	レンズ要素	
4 4 4	レンズ要素	30
4 4 5	レンズ要素	
4 4 6	石英ガラスレンズ要素	
4 4 7	P B H 5 6 レンズ要素	
4 4 8	S - L A L 1 8 レンズ要素	
4 5 0	レンズ要素	
4 5 1	レンズ要素	
4 5 2	レンズ要素	
4 5 3	レンズ要素	
4 5 4	レンズ要素	
4 5 5	レンズ要素	40
4 5 6	レンズ要素	
4 5 7	P B H 5 6 レンズ要素	
4 5 8	S - L A L 1 8 レンズ要素	
4 5 9	石英ガラスレンズ要素	
5 0 0	レンズ設計要件	
5 0 5	ガラス材料データ	
5 1 0	ガラス単独の複屈折メトリックを計算するステップ	
5 1 5	複屈折メトリックを有するガラス材料データ	
5 2 0	名目上レンズ設計を決定するステップ	
5 2 5	名目上レンズ設計	50

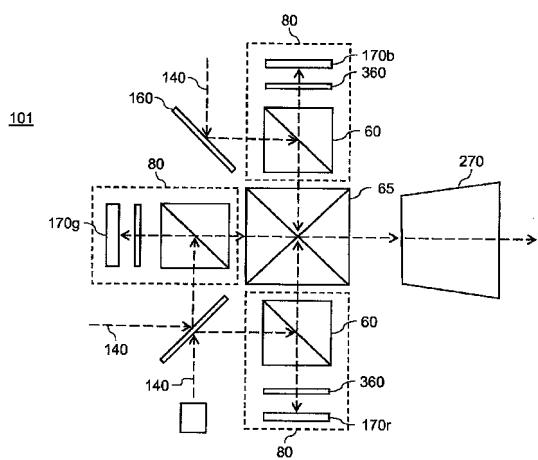
- 5 3 0 僅かな応力複屈折ガラスに代替するステップ
 5 3 5 中間レンズ設計
 5 4 0 低い応力複屈折ガラスに代替するステップ
 5 4 5 中間レンズ設計
 5 5 0 複合メトリックを評価し、レンズ設計をアップデートするステップ
 5 5 5 最終レンズ設計
 5 6 0 メリット関数を定義するステップ
 5 6 5 メリット関数
 5 7 0 僅かな且つ低い複屈折ガラスに代替するステップ
 5 7 5 レンズ設計を最適化するステップ
 5 8 0 最適化されたレンズ設計

10

【図1A】



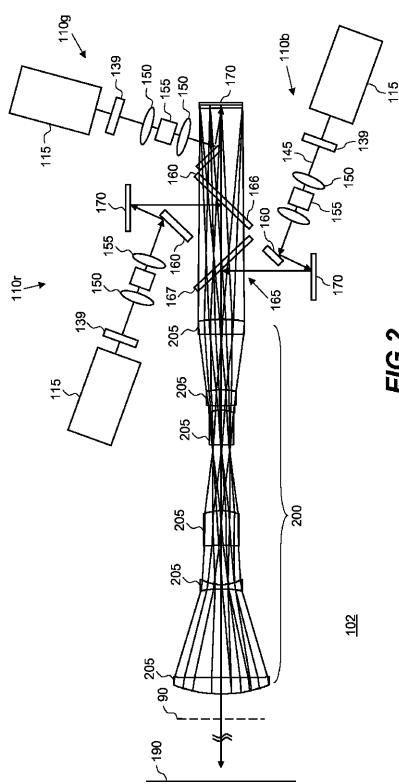
【図1B】



(先行技術)

(先行技術)

【 义 2 】



【 図 3 A 】

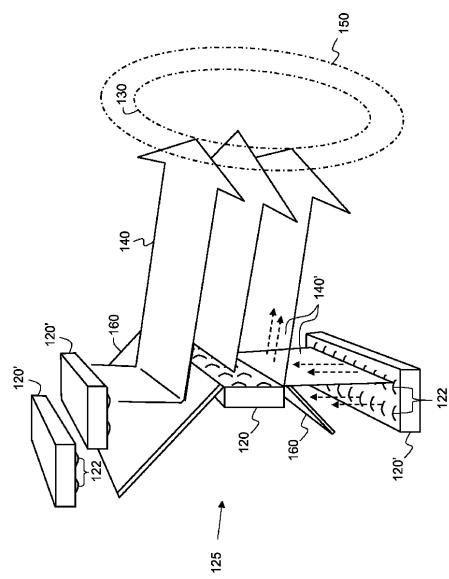


FIG. 3A

【 図 3 B 】

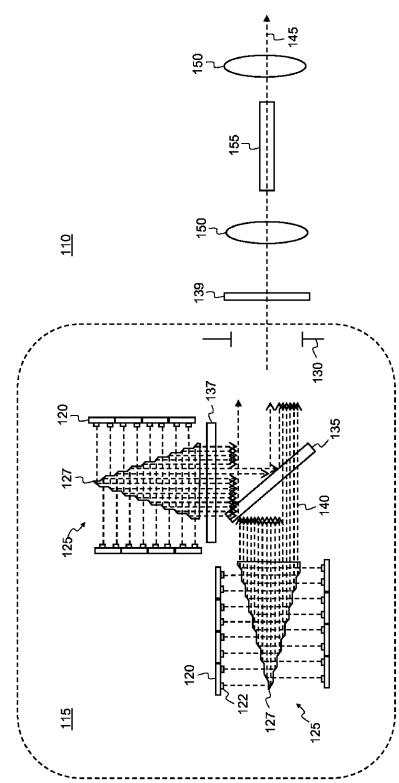


FIG.3B

【図4】

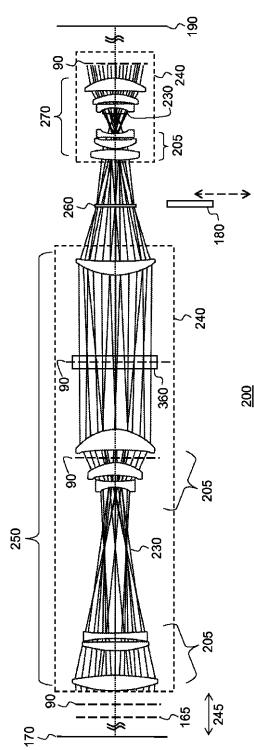
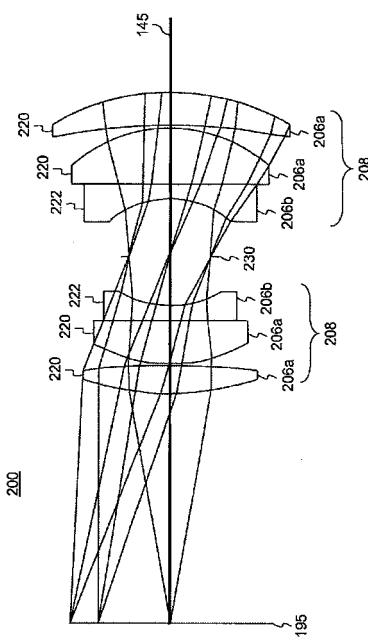


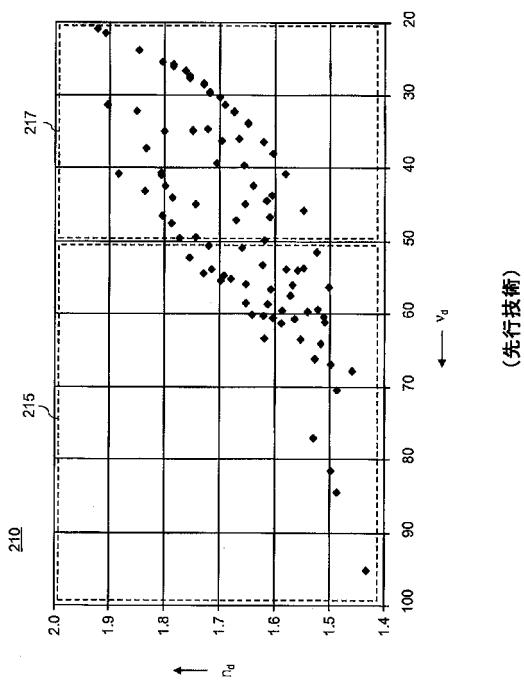
FIG.4

【図5A】



(先行技術)

【図5B】



(先行技術)

【 図 6 A 】

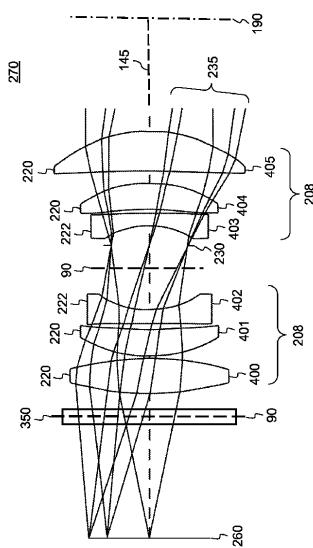
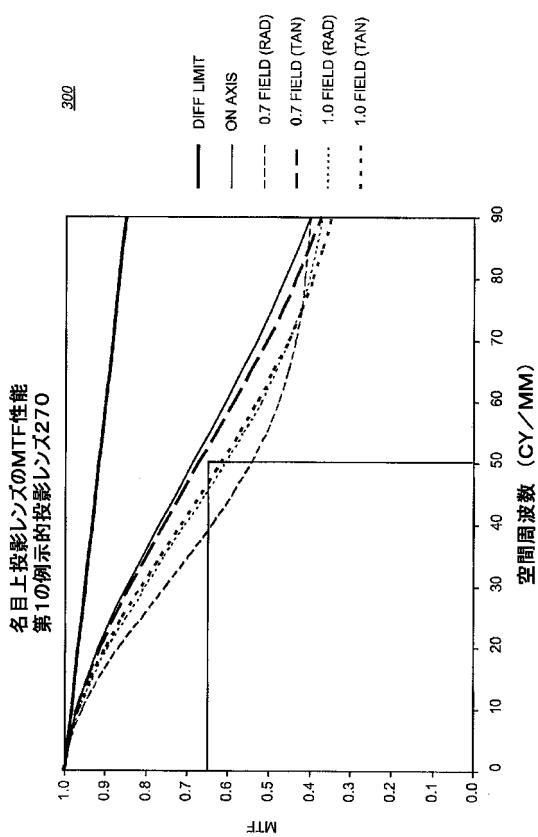


FIG. 6A

【図6B】



【 図 6 C 】

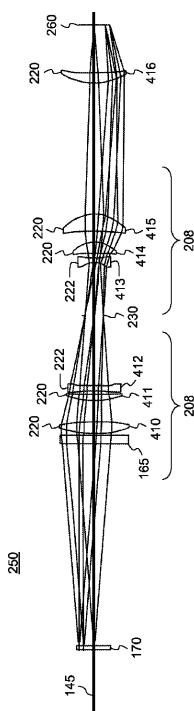
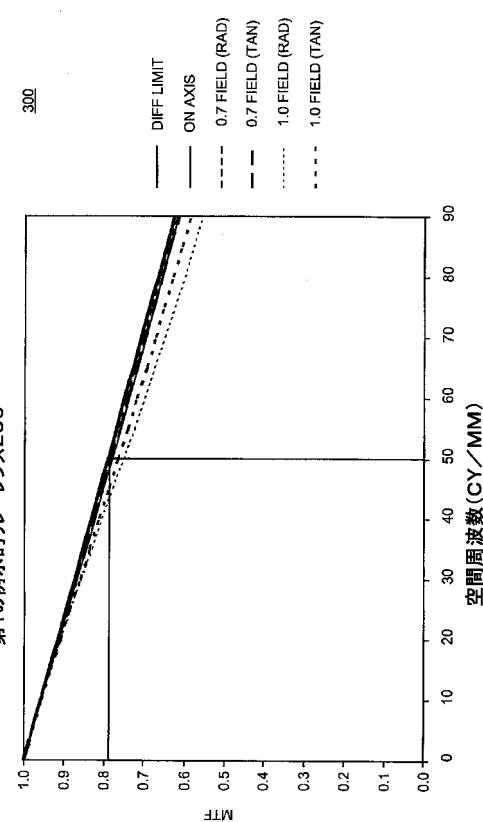


FIG. 6C

【図 6 D】



【図7A】

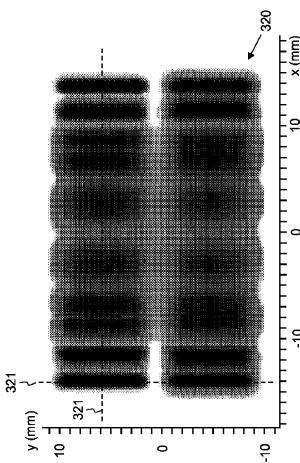


FIG. 7A

【図7B】

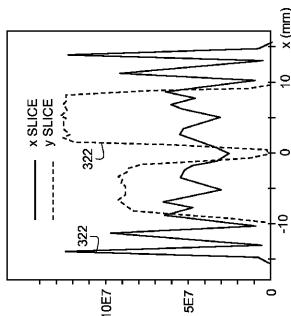


FIG. 7B

【図7C】

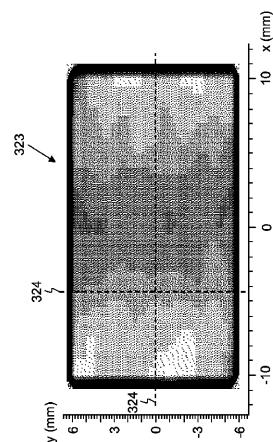


FIG. 7C

【図7D】

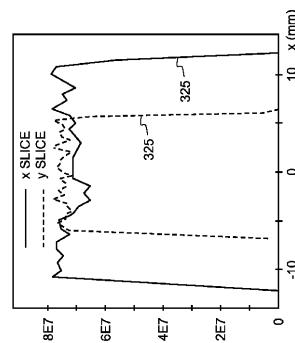
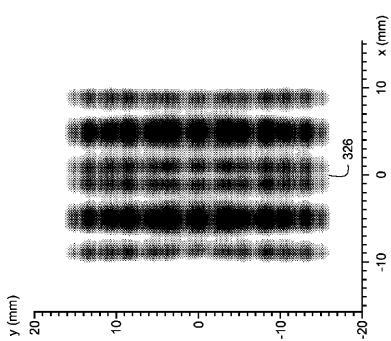


FIG. 7D

【図7E】



【 図 7 F 】

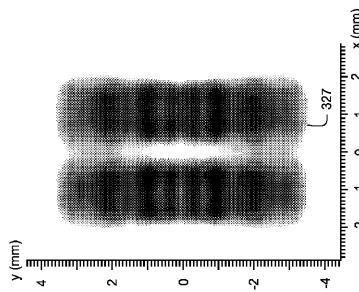
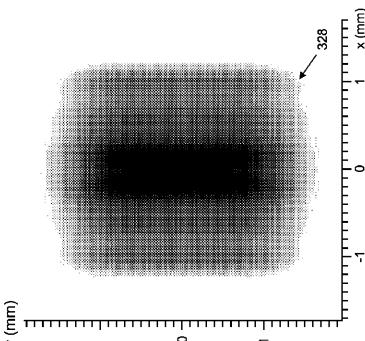


FIG. 7F

FIG. 7E

【図7G】



EIG 7G

【 図 8 A 】

【図 8 B】

(8 C)

材料	力学性能	物理性能	化学性能	热学性能	电学性能
SCHOTT LITHOSIL-Q	CROWN	1.458	67.83	$10^{-12} \text{m}^2/(\text{N}\cdot\text{K})$	$10^{6} \text{W}/(\text{K}\cdot\text{mm})$
SCHOTT SF57HTH	FLINT	1.647	23.83	0.000017	66.219
CHARAS-SFSL5	CROWN	1.487	70.23	0.0000148	115.820
SCHOTT SF57	FLINT	1.847	23.83	0.0000258	80.035
OHARA PBH56	FLINT	1.841	24.56	0.0000216	115.820
SCHOTT NPK62A	CROWN	1.497	81.61	0.0000379	124.304
SCHOTT NF51A	CROWN	1.487	84.47	0.0002619	138.547
SCHOTT LLF1	WEAK FLINT	1.548	45.75	0.0002879	137.649
OHARA S-FPL53	CROWN	1.439	94.93	0.0033661	89.697
SCHOTT F2	FLINT	1.620	36.37	0.003313	115.632
SCHOTT LF5	FLINT	1.581	40.85	0.004613	83.688
OHARA S-NS1.36	WEAK CROWN	1.517	52.43	0.005164	87.683
SCHOTT NBK7	CROWN	1.517	64.17	0.0056778	68.257
SCHOTT SF6	FLINT	1.623	25.43	0.0055226	92.706
OHARA S-BAL11	CROWN	1.573	57.74	0.00476	108.100
OHARA S-BAL35	CROWN	1.539	61.14	0.0049176	110.920
OHARA S-NSL3.1	CROWN	1.518	58.9	0.0049176	121.239
OHARA S-BM10	CROWN	1.623	57.05	0.0049986	87.134
OHARA S-LAL18	WEAK CROWN	1.729	54.68	0.0037733	136.394

【 义 8 D 】

M ₁ =P _{xx} E/(K(1- μ))		M ₂ =E/(K(1- μ))		M ₃ =P _{xx} E/(K(1- μ))	
力	反作用力	力	反作用力	力	反作用力
SCHOTT SF1	FLINT	1.7/17	29.51	10 ⁻² mm/(N·K)	10 ⁻⁶ N
SCHOTT SF4	FLINT	1.755	27.58	0.0094407	103.87
SCHOTT SF2	FLINT	1.648	33.85	0.008752	113.51
OHARA SLAH66	WEAK FLINT	1.772	49.6	0.005336	96.805
OHARA SLAL54	WEAK CROWN	1.651	56.16	0.0082179	203.47
OHARA SLAM60	WEAK FLINT	1.743	49.34	0.007207	159.396
OHARA SLA61	WEAK CROWN	1.740	52.64	0.0075987	189.751
OHARA SLAM54	FLINT	1.757	47.82	0.009739	194.938
SCHOTT NSHSK8	WEAK FLINT	1.618	49.83	0.021433	185.788
SCHOTT NSF2	FLINT	1.648	33.82	0.03297	133.511
SCHOTT NKZFS4	FLINT	1.613	44.49	0.028613	98.100
SCHOTT NSF4	FLINT	1.755	27.38	0.007191	122.341
OHARA SAPH2	FLINT	1.923	18.90	0.209153	177.334

【 図 9 A 】

【 9 B 】

第10の例示的投影レンズ270の 熱応力複屈折性能

要素	ガラス	厚さ(mm)	M1 (10 ⁻⁵ N)	ピーカバー (正規化)	M ₂
400	OHARA SL-AM60	7.21	1.3676	0.298	2.942
401	OHARA SL-AM60	5.70	1.3676	0.325	4.094
402	SCHOTT SF2	2.70	1.0288	1.000	2.776
403	SCHOTT SF1	2.70	0.9771	0.382	1.008
404	OHARA SL-AM60	5.35	1.3676	0.246	1.798
405	OHARA S-BSM10	8.28	0.6778	0.126	0.707
総計			6.7885		13.328

第1の例示的リーレンズ2500の熱応力複屈折性能

要素	ガラス	厚さ(mm)	M_1 (10 ³ W)	ピーカウバー (正規化)	M_2
4.10	OHARA-S-BAL35	10.00	0.5955	0.080	0.4764
4.11	OHARA-S-BAL35	5.58	0.5955	0.180	0.5981
4.12	SCHOTT SF4	4.00	0.998	0.488	1.0481
4.13	SCHOTT SF4	4.00	0.998	1.000	3.9920
4.14	OHARA-S-LAM54	8.00	1.8093	0.388	5.6162
4.15	OHARA-S-NSL3	14.00	0.6126	0.336	2.8817
4.16	OHARA-S-LAM54	8.00	1.8093	0.252	3.6476
計			7.4183		19.1601

【図 10A】

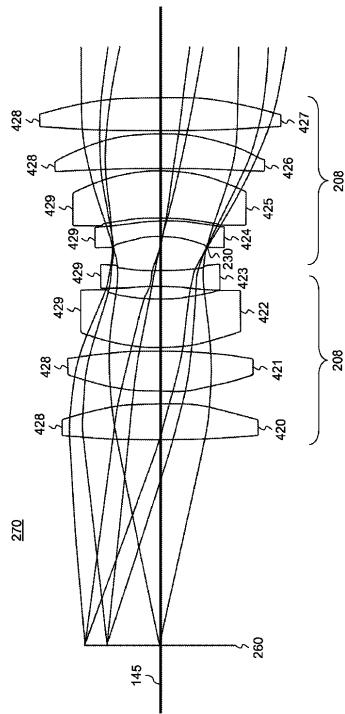
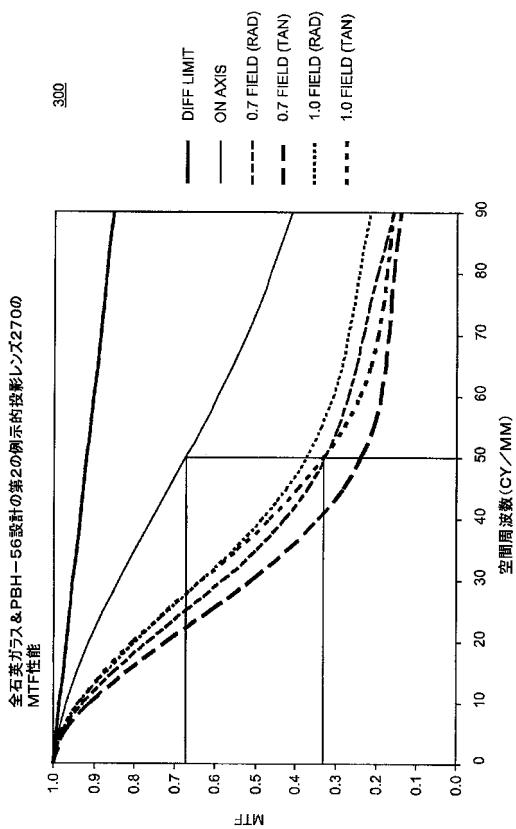


FIG.10A

【図 10B】



【図 10C】

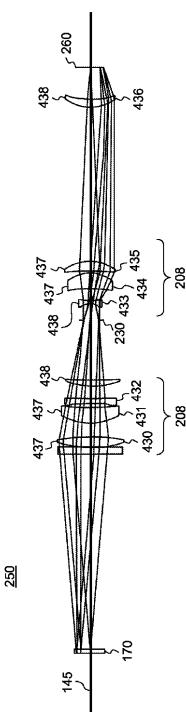
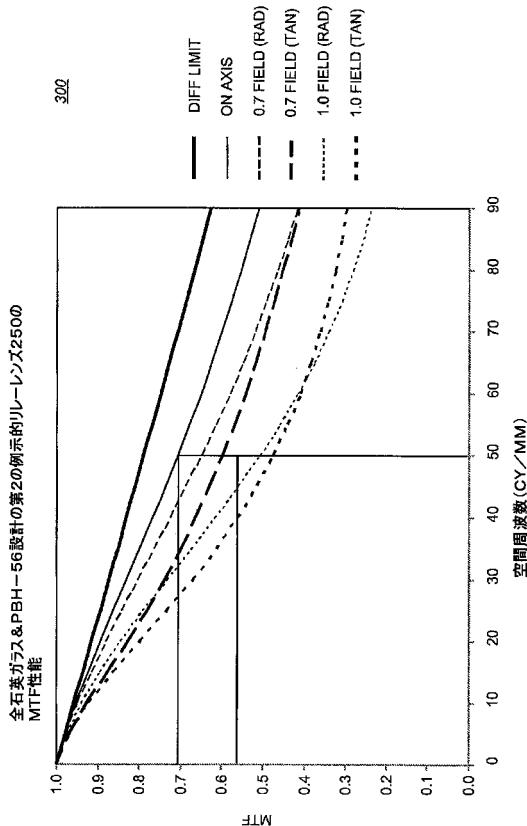


FIG.10C

【図 10D】



【図 1 1 A】

第2の例示的投影レンズ270の熱応力複屈折性能

要素	ガラス	厚さ(mm)	M_1 ($10^{-6}W$)	M_2 ビーグパワー (正規化)
420	SCHOTT LITHOSIL-Q	6.374	0.00113	0.298
421	SCHOTT LITHOSIL-Q	7.116	0.00113	0.378
422	OHARA PBH56	8.158	0.04710	0.025
423	OHARA PBH56	2.700	0.04710	0.640
424	OHARA PBH56	2.700	0.04710	1.000
425	OHARA PBH56	8.149	0.04710	0.127
426	SCHOTT LITHOSIL-Q	6.924	0.00113	0.382
427	SCHOTT LITHOSIL-Q	5.778	0.00113	0.246
総計		0.1829		0.002
向上比率		35.17		0.001
		22.30		0.598

【図 1 1 B】

第2の例示的リーレンズ250の熱応力複屈折性能

要素	ガラス	厚さ(mm)	M_1 ($10^{-6}W$)	M_2 ビーグパワー (正規化)
430	SCHOTT LITHOSIL-Q	9.998	0.00113	0.030
431	SCHOTT LITHOSIL-Q	15.000	0.00113	0.180
432	SCHOTT SF57	5.000	0.005012	0.009
433	SCHOTT SF57	4.000	0.025012	0.031
434	SCHOTT LITHOSIL-Q	15.000	0.00113	0.0610
435	SCHOTT LITHOSIL-Q	9.926	0.00113	0.1000
436	SCHOTT SF57	7.000	0.025012	0.0066
総計				0.0038
向上比率		93.25		0.0441
		87.291		0.2155

【図 1 2 A】

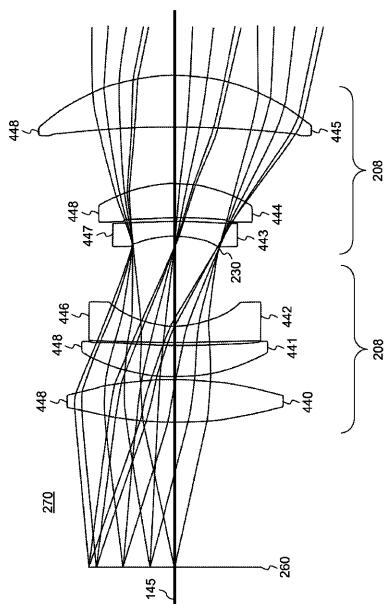
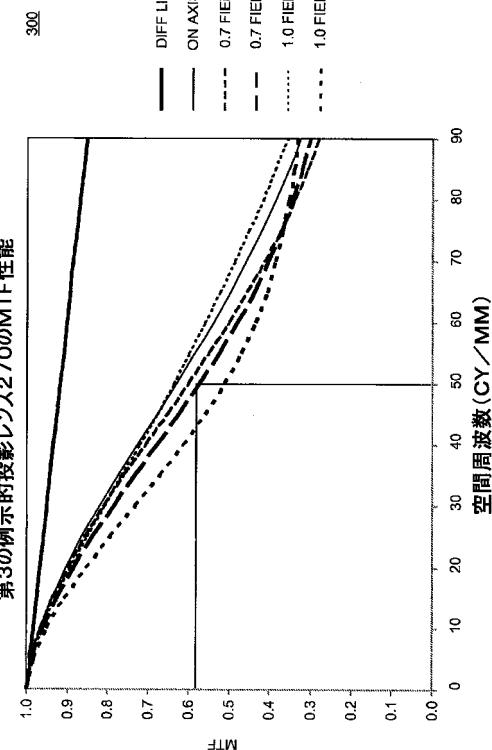


FIG.12A

【図 1 2 B】



【図 1 2 C】

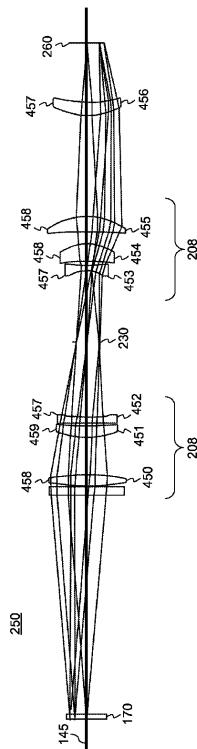
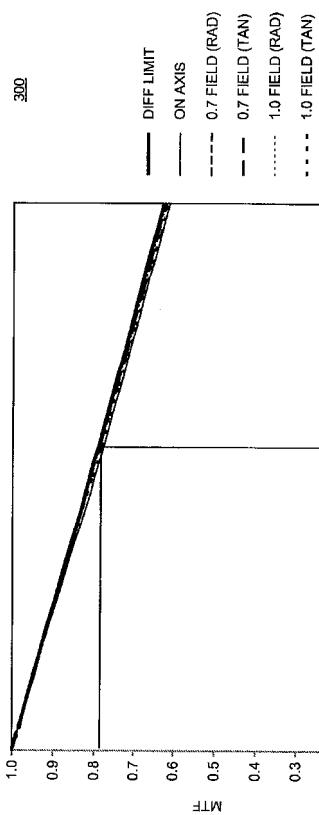
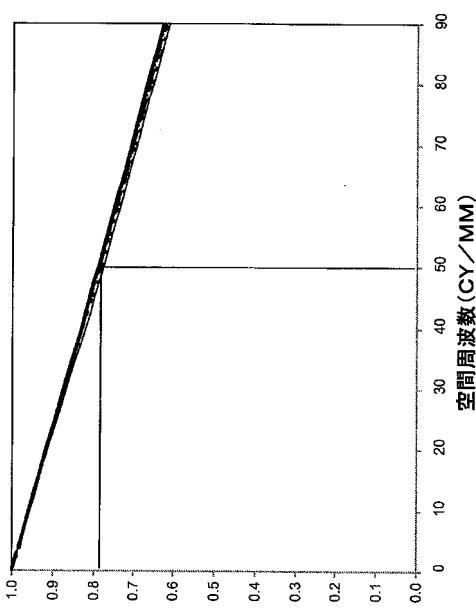


FIG.12C

【図 1 2 D】



第3の例示的リレーレンズ250のMTF性能



【図 1 3 A】

【図 1 3 B】

第3の例示的リレーレンズ270の熱応力複屈折性能

要素	ガラス	厚さ(mm)	M_1 ($10^{-8}W$)	ビーカー (正規化)	M_2
440	OHARA S-LAL18	6.98	0.7264	0.130	0.658
441	OHARA S-LAL18	5.07	0.7264	0.180	0.654
442	SCHOTT LITHOSIL-Q	2.70	0.0011	0.225	0.001
443	OHARA PBH56	2.50	0.0471	1.000	0.118
444	OHARA S-LAL18	5.50	0.7264	0.641	2.561
445	OHARA S-LAL18	8.52	0.7264	0.124	0.765
総計			2.9558		4.767
向上比率			2.30		2.80

第3の例示的リレーレンズ250の熱応力複屈折性能

要素	ガラス	厚さ(mm)	M_1 ($10^{-8}W$)	ビーカー (正規化)	M_2
450	OHARA S-LAL18	7.73	0.7264	0.2152	1.5453
451	SCHOTT LITHOSIL-Q	8.97	0.00113	0.5110	0.0052
452	OHARA PBH56	5.0	0.04710	0.5781	0.1361
453	OHARA PBH56	4.13	0.04710	1.0000	0.1945
454	OHARA S-LAL18	11.88	0.72640	0.5842	5.0415
455	OHARA S-LAL18	11.43	0.72640	0.1988	1.6502
456	OHARA PBH56	9.53	0.04710	0.1484	0.0666
総計			2.3217		8.5395
向上比率			3.195		2.218

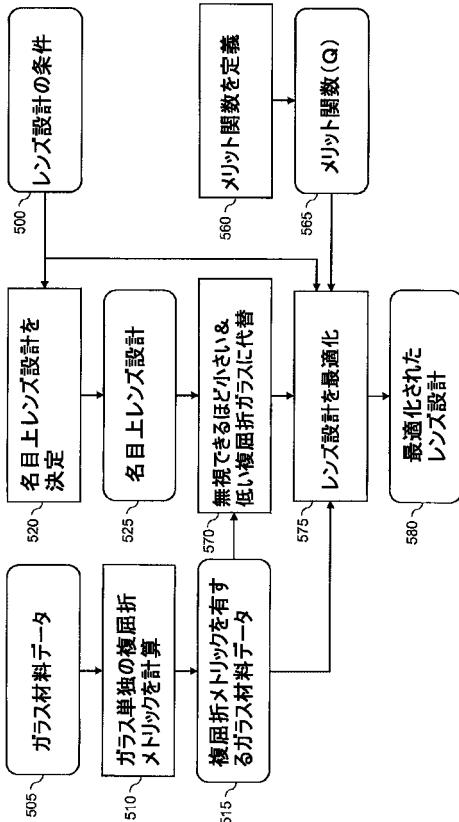
【図 1 4 A】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	開口 (mm)	ガラス
OBJECT (SCREEN) 1	INFINITY	8.5200	41.599	SLA18 OHARA
2	162.829	9.2600	39.409	SLA18 OHARA
3	23.032	5.5000	22.890	SLA18 OHARA
4	55.548	0.6160	18.568	PBH56 OHARA
5	188.100	2.5000	18.287	SIO2 SCHOTT (STOP)
6	16.467	1.7600	14.164	
7	7	13.0340	13.975	
8	-16.900	2.7000	20.415	
9	-245.900	0.5300	25.704	
10	-109.408	5.0700	25.847	SLA18 OHARA
11	-30.893	0.5000	27.948	SLA18 OHARA
12	59.970	6.9800	32.320	SLA18 OHARA
13	-59.970	INF	32.862	
IMAGE (INT IMG)		23.8813	28.016	

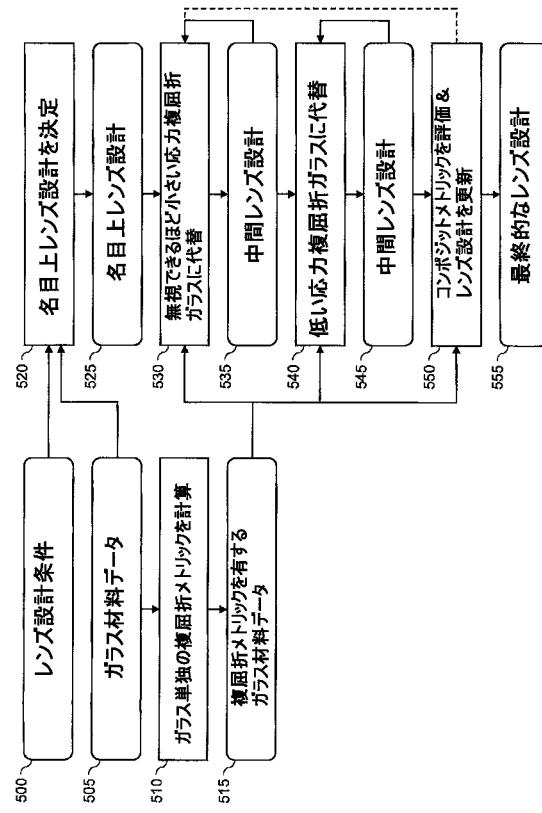
【図 1 4 B】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	開口 (mm)	ガラス
OBJECT (DLP)	156.5630	171.0000	54.6919	SLA18 OHARA
2	-156.5630	7.7300	54.5364	SIO2 SCHOTT
3	57.8650	8.9700	42.5011	
4	INF	1.3100	40.0894	PBH56 OHARA
5	-20.2040	5.0000	39.8404	
6	277.8740	54.4900	37.9682	APERTURE STOP
7	INF	52.5400	15.8749	PBH56 OHARA
8	-21.9660	4.1300	22.9847	
9	168.8000	2.9000	27.8491	
10	-70.6670	11.8800	29.1486	SLA18 OHARA
11	-35.6200	8.9800	37.7977	
12	-326.6860	11.4300	50.1425	SLA18 OHARA
13	-42.1620	73.3300	52.1954	PBH56 OHARA
14	52.1840	9.5300	48.0193	
15	86.3170	43.1900	44.7866	
INT IMAGE			26.9214	

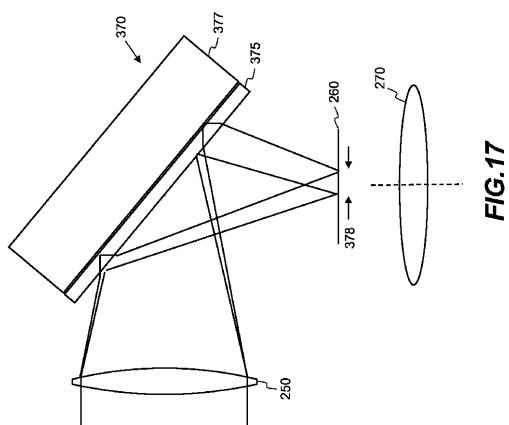
【図 1 5】



【図 1 6】



【図17】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No PCT/US2011/036925
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G02B13/16 ADD.		
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) G02B H04N G03B		
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 practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/190455 A1 (ROSTALSKI HANS-JUERGEN [DE] ET AL) 1 September 2005 (2005-09-01)	1-5, 9-13,16, 18,19, 21-23 6,7,20
Y	figure 1 paragraphs [0043], [0058]; tables 1,6 -----	
X	US 2006/203359 A1 (YAMAMOTO YOKO [JP]) 14 September 2006 (2006-09-14) figure 2; table 1 -----	1-5, 14-16, 18-23
Y	US 2006/218971 A1 (MARTIN ROLF [DE] ET AL) 5 October 2006 (2006-10-05) paragraph [0033] ----- -/-	6,7,20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" 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 "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
14 July 2011	22/07/2011	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 6618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Ciarrocca, Marco	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2011/036925

(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/263989 A1 (COBB JOSHUA M [US] ET AL) 30 December 2004 (2004-12-30) abstract; figure 2 paragraph [0067] -----	1-5, 17-19, 21,22
A	US 2010/091249 A1 (BENEDIX GUENTHER [DE] ET AL) 15 April 2010 (2010-04-15) abstract; figure 1 paragraph [0069] -----	1,17,18
A	CLINE R ET AL: "Thermal stress birefringence in LCOS projection displays", DISPLAYS DEVICES, DEMPA PUBLICATIONS, TOKYO, JP, vol. 23, no. 3, 1 June 2002 (2002-06-01), pages 151-159, XP004357158, ISSN: 0141-9382, DOI: DOI:10.1016/S0141-9382(02)00021-5 cited in the application abstract page 159 - right-hand column -----	1,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

				International application No PCT/US2011/036925	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date	
US 2005190455	A1 01-09-2005	NONE			
US 2006203359	A1 14-09-2006	JP 2006285158 A		19-10-2006	
US 2006218971	A1 05-10-2006	NONE			
US 2004263989	A1 30-12-2004	CA 2467980 A1 CN 1576950 A EP 1492354 A2 JP 4344285 B2 JP 2005018071 A		25-12-2004 09-02-2005 29-12-2004 14-10-2009 20-01-2005	
US 2010091249	A1 15-04-2010	DE 102008051252 A1		15-04-2010	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,R,S,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PE,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ビートリー , ジョセフ レイモンド

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14650 - 2201 ロチェスター ステイト・ストリート
343

(72)発明者 シルヴアースtein , バリー ディー

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14650 - 2201 ロチェスター ステイト・ストリート
343

F ターム(参考) 2H087 KA06 KA07 LA01 NA02 NA08 PA06 PA07 PA17 PB06 PB07
QA02 QA07 QA12 QA14 QA21 QA26 QA32 QA34 QA41 QA45
QA46 RA01 RA32 RA46