

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 1 部門第 2 区分
 【発行日】平成 19 年 4 月 12 日 (2007.4.12)

【公表番号】特表 2006-523130(P2006-523130A)
 【公表日】平成 18 年 10 月 12 日 (2006.10.12)
 【年通号数】公開・登録公報 2006-040
 【出願番号】特願 2006-509226(P2006-509226)
 【国際特許分類】

A 6 1 F 2/16 (2006.01)

G 0 2 C 13/00 (2006.01)

A 6 1 B 3/10 (2006.01)

【F I】

A 6 1 F 2/16

G 0 2 C 13/00

A 6 1 B 3/10 Z

【手続補正書】
 【提出日】平成 19 年 2 月 23 日 (2007.2.23)
 【手続補正 1】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】全文
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【発明の詳細な説明】
 【発明の名称】適合性光学レンズおよび製造方法
 【技術分野】
 【0001】

(発明の分野)

本発明は、高次収差または球面誤差を補正することを可能にする、製造後改変を可能にする適合性光学眼用レンズに関する。より具体的には、本発明は、IOL、角膜インレーおよびオンレー(onlay)、コンタクトレンズなどにおいて使用され得、ここで、レンズ構成要素が、外部エネルギー源(例えば、レーザー)に応答して、このレンズの内部の適合性構造体が、寸法を変化させ、これによって、レンズの形状を、天体望遠鏡における適合性光学部品(AO)の分野において使用される方法と類似の様式で、調節するかまたは曲げることを可能にする。

【背景技術】

【0002】

(発明の背景)

レンズの光学特徴の製造後の調節が、種々の眼用レンズ型において必要とされる。1つの場合において、白内障の患者は、IOL移植物の移植後の倍率調節性から利益を得る。別の場合において、後眼房無水晶体IOLは、移植後の倍率調節性から利益を得ることが可能である。なぜなら、生物測定は、適切な倍率選択を保証しないからである。角膜インレーまたは類似の型のレンズはまた、この平面レンズの移植から利益を得、引き続いて、このレンズを後に膨張させて、所望の屈折効果を提供する。また、コンタクトレンズは、在庫に維持される必要があるレンズの数を制限するために、製造後の曲率調節から利益を得る。

【0003】

白内障は、世界における盲目の主要な原因であり、そして最も流行している眼疾患である。白内障による視力の障害は、1年間当たり800万人を超える、診療所の訪問の理由

である。白内障による障害が、個人の毎日の生活の活動に影響を与えるか、またはこの活動を変化させる場合、眼内レンズの移植を伴う水晶体の外科的除去が、機能的制限を処置する好ましい方法である。

【 0 0 0 4 】

米国において、約 2 5 0 万人の白内障外科手術手順が、年間に実施されており、この手術を、6 5 歳を超えるアメリカ人に対する最も一般的な外科手術にしている。白内障外科手術の患者の約 9 7 % が、眼内レンズの移植を受け、米国における白内障の外科手術および付随する世話のための年間の費用は、4 0 億ドルを超える。

【 0 0 0 5 】

白内障とは、局在した不透明性であっても、透明性の拡散した一般的な損失であっても、患者の水晶体の任意の不透明性である。しかし、臨床的に有意であるためには、白内障は、視力の精度の有意な低下または機能的損害を引き起こさなければならない。白内障は、加齢の結果としてか、あるいは遺伝的因子、外傷、炎症、代謝もしくは栄養障害、または放射線に対して二次的に起こる。加齢関連白内障の状態が、最も通常である。

【 0 0 0 6 】

白内障を処置する際に、外科医は、レンズカプセルから物質を除去し、そしてこの物質を、眼内レンズ (I O L) 移植で置き換える。代表的な I O L は、選択された焦点距離を提供し、この焦点距離は、この患者が非常に良好な遠方視力を有することを可能にする。このレンズはもはや適応され得ないので、この患者は、代表的に、読むために処方眼鏡を必要とする。

【 0 0 0 7 】

医師は、外科手術の前に、患者の眼の生物測定の分析に基づいて、I O L の倍率を選択する。かなりの数または場合において、患者の眼が白内障外科手術から治癒した後に、生物測定システムにおける誤差の範囲を超える、屈折誤差が存在する。従って、いずれの特定の患者についても、I O L の適切な倍率を計算する際に、解決できない問題が残る。移植後の任意の予測されない屈折誤差を解決するために、眼科医は、繰り返しの外科手術を実施して、I O L を交換し得るか、または患者は、屈折誤差のある状態で生活し得、そして近くの視力と遠方の視力との両方を矯正するための処方眼鏡を必要とし得る。

【 0 0 0 8 】

眼科学における眼波面収差の補正は、興味が増加している分野である。S h a c k - H a r t m a n (S - H) 波面センサに基づく現在の診断システムは、リアルタイムで作動し得、約 4 0 m 秒ごとに、収差を測定する。提供される診断速度に加えて、眼波面収差測定におけるこれらの新たなデバイスのこれらおよび他の利点 (例えば、赤外光の使用、およびこのシステムが被験体の作業を単純にする客観的な方法を使用するという事実) が存在する。

【 0 0 0 9 】

現在、二次を超える眼収差を補正するための唯一の方法は、インサイチュ角膜曲率形成術 (L A S I K) のようなカスタマイズされた屈折手術による。しかし、角膜切除のアプローチは、多くの問題 (例えば、角膜の生物機械学を制御する複雑さ、および手術後の治癒) に悩まされ、そして収差はおそらく、切除手順を可能にする角膜フラップの切断によって、誘導される。

【 0 0 1 0 】

予備的な研究が、無水晶体カスタマイズされたコンタクトレンズで収差を補正する際になされた。このアプローチはまた、眼の収差とレンズとを結び付けることに関連する、事実上克服できない問題に直面する: (i) レンズの柔軟さが問題になる; (i i) 涙のフィルムの影響が、疑わしい収差を導入する、そして (i i i) レンズの回転およびレンズの並進が、収差補正の性能を制限する。

【 0 0 1 1 】

大きい集団に対する研究において、5 m m の瞳孔について、二次の全根平均自乗 (R M A) 波面誤差への寄与は、収差が高い眼においては約 7 0 % であり、そして若い健常な眼

においては90%であることが見出された。三次を含めて球面収差を補正し得るレンズが提供される場合、波面補正から利益を得ることができる集団の百分率は、収差が高い眼については90%まで増加し、そして正常な眼については99%まで増加する。

【0012】

Zernikeの多項式は、単位円の周りで直交する関数のセットである。これらは、光学系の瞳孔における収差した波面の形状を記載するために有用である。これらの多項式に対するいくつかの異なる正規化および番号付けのスキームが、共通して使用される。波面をZernikeの多項式に当てはめることによって、レンズの設計者が、全波面に含まれる部分成分の収差を分析することを可能にする。Zernike系列におけるより低次の収差（ある次数を有するZernikeの多項式係数（例えば、一次～五次の収差）としてもまた定義される）のいくつかは、プリズム、球、非点収差、コマ収差、および球状収差である。

【0013】

Zernikeの方程式は、適用のために必要とされる程度に多いかまたは少ない収差を含み得る（例えば、球を超えて63より多い収差）。高次収差のさらなる説明は、以下の参考文献において見出され得る：Macraeら，Customized Corneal Ablation - The Quest for Supervision，Slack Inc.，Thorofare，NJ（2001）；Thibosら，Standards for Reporting the Optical Aberrations of Eyes，Trends in Optics and Photonics第35巻，Vision Science and Its Applications，Vasudevan Lakshminarayanan編，Optical Society of America，Washington，DC（2000），232-244頁；Atchisonら，Mathematical Treatment of Ocular Aberrations：a User's Guide，（2000）。本開示の目的で、本発明に対応する適合性光学部品は、少なくとも上記三次の収差の範囲の、高次収差の任意の補正のために設計される。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

上記のことを考慮して、光学特徴およびジオプター倍率の、製造後または移植後の調節のための手段を提供するレンズシステムが、必要とされている。高次収差を補正し得るレンズシステムもまた、必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0015】

（発明の要旨）

特に興味深いことに、本発明に対応するレンズは、高次収差または広範には球面補正のために、微小規模のアクチュエータ手段が、選択された寸法の範囲内でレンズ表円の曲率を局所的に曲げ、そして変化させるために提供される点で、適合性光学部品（AO）のクラスに入る。AO分野の通譲の範囲は、可撓性表面のミラーを包含し、ここで、例えば、図1Aに示されるような天体望遠鏡において、圧電ドライバまたは他のドライバが、光学表面を、マイクロ秒の間隔で曲げて、収差を減少させ得る。

【0016】

本発明のアクチュエータは、これらが1回のみまたはおそらく数回起動される必要がある点、および迅速な起動応答時間必要がない点で、完全に異なる。さらに、本発明は、適合性光学部品が、屈折率が一致した移動構造体を、レンズの内部に配置された高次収差を補正するために適切な、微小規模で備えるAO構造体を提供する。これらのアクチュエータは、内部レンズ層において一定のパターンであり、各々が、図1Bに概略的に示されるように、レンズ本体の材料と一致する屈折率を有する。

【0017】

1つの好ましい実施形態において、適合性構造体は、それに対して付与される局所的エネルギー（好ましくは、光エネルギーの形態）に応答性である。別の実施形態において、アクチュエータは、レンズの周囲まで延びる延長部分を有して、不透過性バックリング要素を提供することにより、より高いエネルギー密度が使用されることを可能にする。

【0018】

400nm～1.4ミクロンの範囲で作動する光源が適切であり（図示せず）これは代表的に、レーザーを備えるが、他の非レーザー光源が、本発明の範囲内に入る。この光源は、コンピュータ制御器、検流計スキャナ（または任意のほかの型のスキャナ）、および任意の眼追跡システムに接続され、これらの全ては、当該分野において公知であり（例えば、LASIKシステム）、そしてこの理由で、IOLを調節することに関するさらなる記載は、必要ない。微小アクチュエータ手段、またはより具体的には、適合性移動構造体は、図1Bに示されており、主軸および二次的軸にわたる選択されたミクロン規模の寸法を規定する、複数の要素を備え、ここで、この構造体は、少なくとも1つの変形可能なレンズ表面相と係合する。コンタクトレンズにおいて、この光源は、レンズ複合体であり得、そして以下に記載されるように、走査される必要がない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

（発明の詳細な説明）

（I. ポリマーにおける形状記憶の原理）

本発明の事実上全ての実施形態は、流体の移動を可能にするため、流体の取り扱いのため、および一般に、本発明による適合性光学部品の移動構造体の起動のために、形状記憶ポリマー（SMP）を利用する。この理由により、形状記憶ポリマーの背景が提供される。適合性光学部品のいくつかの実施形態はまた、当業者に周知である熱収縮ポリマーを利用し、そしてこのようなポリマーに対するさらなる背景を提供することは、必要ではない。包括的に、形状記憶ポリマーおよび熱収縮ポリマーは、本明細書中で、形状変化ポリマーと称される。

【0020】

形状記憶ポリマーは、セグメント化された線状ブロックコポリマー（代表的に、ハードセグメントおよびソフトセグメント）の製造に基づいて、形状記憶の現象を示す。形状記憶ポリマーは、一般に、ハードセグメントおよびソフトセグメントにおけるガラス転移温度から生じる相を既定するとして、特徴付けられる。SMPのハードセグメントは、代表的に、規定された融点で結晶化し、そしてソフトセグメントは、代表的に、非晶質であり、別の規定された転移温度を有する。いくつかの実施形態において、これらの特徴は、セグメントのガラス転移温度と共に、逆にされ得る。

【0021】

1つの実施形態において、SMP材料が、ハードセグメントの融点またはガラス転移温度 T_g より高い温度まで加熱される場合、この材料は、形状記憶に形成され得る。選択される形状は、このSMPを、ハードセグメントの融点またはガラス転移温度より低温まで冷却することによって、記憶される。成形されたSMPがソフトセグメントの融点またはガラス転移温度より低温まで冷却され、一方で、形状が変形される場合、その一時的形状が固定される。もとの形状は、この材料を、ソフトセグメントの融点またはガラス転移温度よりは高温であるがハードセグメントの融点またはガラス転移温度よりは低い温度まで加熱することによって、回復される（一時的形状および記憶形状を設定するためのほかの方法が公知であり、これらの方法は、以下の文献に記載されている）。従って、もとの記憶形状の回復は、温度の上昇によって誘導され、そしてこれは、ポリマーの熱形状記憶効果と称される。この温度は、体温、または本発明のための、37より高い別の選択された温度であり得る。

【0022】

ポリマーの熱形状記憶効果を利用することに加えて、SMPの記憶された物理的特性は、その温度および応力の変化（特に、ポリマーのソフトセグメントの融点またはガラス転

移温度の範囲内で、例えば、弾性率、硬度、可撓性、透過性、および屈折率）によって、制御され得る。IOLにおいてSMPを使用する本発明の範囲は、このような物理的特性の制御まで及ぶ。

【0023】

SMPのハードセグメントおよびソフトセグメントにおいて利用されているポリマーの例としては、ポリウレタン、ポリノルボルネン、スチレン-ブタジエンコポリマー、架橋ポリエチレン、架橋ポリシクロオクテン、ポリエーテル、ポリアクリレート、ポリアミド、ポリシロキサン、ポリエーテルアミド、ポリエーテルエステル、およびウレタン-ブタジエンコポリマーならびに以下の特許および刊行物において同定される他のものが挙げられる：米国特許第5,145,935号(Hayashi)；米国特許第5,506,300号(Wardら)；米国特許第5,665,822(Bitlerら)；および米国特許第6,388,043号(Langerら)(これらの全ては、本明細書中に参考として援用される)；Mather, Strain Recovery in POSS Hybrid Thermoplastics, Polymer 2000, 41(1), 528；Matherら, Shape Memory and Nanostructure in Poly(Norbornyl-POSS) Copolymers, Polym. Int. 49, 453-57(2000)；Luiら, Thermomechanical Characterization of a Tailored Series of Shape Memory Polymers, J. App. Med. Plastics, Fall 2002；Gorden, Applications of Shape Memory Polyurethanes Proceedings of the First International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, SMST International Committee, 120-19頁(1994)；Kim, ら, Polyurethanes having shape memory effect, Polymer 37(26):5781-93(1996)；Liら, Crystallinity and morphology of segmented polyurethanes with different soft-segment length, J. Applied Polymer 62:631-38(1996)；Takahashiら, Structure and properties of shape-memory polyurethane block copolymers, J. Applied Polymer Science 60:1061-69(1996)；Tobushi H. ら, Thermomechanical properties of shape memory polymers of polyurethane series and their applications, J. Physique IV(Colloque C1)6:377-84(1996)。

【0024】

本発明の範囲は、弾性複合構造体の使用のためのSMP発泡体の使用に及び、ここで、カプセル状の成形要素が、ポリマー発泡体を、ニッケルチタン合金の膨張と一緒に利用する。Watt A.M. ら, Thermomechanical Properties of a Shape Memory Polymer Foam(Jet Propulsion Laboratories, 4800 Oak Grove Drive, Pasadena CA 91109から入手可能)(本明細書中に参考として援用される)を参照のこと。SMP発泡体は、上記形状記憶ポリマーと類似の様式で機能する。本発明の範囲はまた、いわゆる2方向形状記憶ポリマーと時々称される形状記憶ポリマーの使用に及び。この2方向形状記憶ポリマーは、Langerらに対する米国特許第6,388,043号(本明細書中に参考として援用される)に記載されるような、2つの予め決定された記憶形状の間を、種々の刺激に応答して移動しうる。

【0025】

本発明の範囲内の形状記憶ポリマー発泡体は、代表的に、広範なガラス転移温度を有するように調製され得る、ポリウレタン系熱可塑性物質である。これらのSMP発泡体は、眼内移植物のために有利ないくつかの可能性を有する。例えば、非常に大きい形状回復ひずみが達成可能である（例えば、材料のゴム状状態におけるヤング率のかなり大きい可逆的減少）；この材料が、10%より大きい、そして好ましくは、20%より大きい（そして約200%～400%までの）可逆的非弾性ひずみを受ける能力；形状回復が、約30と45との間の選択された温度で設計され得る（このことは、移植物のために有用であり得る）；そして射出成形が可能であり、従って、複雑な形状が可能である。

【0026】

上記のように、これらのポリマーはまた、材料の水透過性もしくは流体透過性、熱膨張性、および屈折率を変化させる能力の観点で、独特の特徴を示す。しかし、材料の可逆的な非弾性ひずみの能力は、その最も重量な特性（形状記憶効果）をもたらす。このポリマーが、高温（ガラス転移温度 T_g より高温）で、新たな形状にひずまされる場合、そして引き続いて冷却される場合、このポリマーは、この新たな一時的な形状に固定される。初期記憶形状は、この発泡体をその T_g より高温に再加熱することによって、回復され得る。

【0027】

（II．透明な内部移動構造体を使用する、例示的な眼用レンズ）

（1．「A」型適合性光学系）

本発明の適合性光学システムは、任意の型のレンズ（例えば、IOL（眼内レンズ）、コンタクトレンズまたは角膜インレー）において使用されて、製造後の倍率調節または移植後の調節を可能にし得る。説明の目的で、本発明の原理は、最初に、カプセル内移植のために適合された、白内障処置のための眼内レンズ100A（図2A）を参照して記載される。図2Aの3片IOLは、核形成した（enucleated）レンズカプセルにおけるレンズの中心合わせのための、当該分野において公知であるような、鞏膜アーム106aおよび106bを有する眼鏡（レンズ）本体105を備えて示される。

【0028】

図2Aにおいて、IOL 100Aは、中心光学部分110および周囲非光学部分112を規定するレンズ本体を有し、この非光学部分は、代表的に、屈折のために設計されず、そして透明であっても不透明であってもよい。レンズ本体105は、115において示される光軸および横断軸116を規定し、この横断軸は、光軸に対して垂直である。このレンズは、代表的に、カプセル内IOLについて、約5.0mm～6.5mmの範囲の直径（限定されない）であり、インレー、前眼房レンズもしくは後眼房レンズ、またはコンタクトレンズについては、異なる直径（例えば、3.0～6.0mm）を有する。

【0029】

図2Aおよび図2Bの分解において見られ得るように、このIOLは、レンズの内部相または層120を、112Aおよび112Bで示される前眼鏡表面と後眼鏡表面との間に備える。内部相120は、新規な透明な適合性層を備え、この層は、少なくとも、124a（図2B）で示される前方の薄い可撓性表面層を制御可能に曲げるために設計される。図2Bの実施形態において、完全なレンズが、分解図で示されており、内部相120が、（第一の）前本体層124aと（第二の）後本体部分または層124bとの間に組み立てられており、両方の層が、当該分野において公知であるような任意の適切な屈折率を有する、実質的に流体不透過性の透明なポリマーである。このレンズは、任意の形状（例えば、両凸、平-凸、平-凹、凸-凹、または薄い回折要素を備える）であり得る。

【0030】

より具体的には、レンズの内部層120は、複数の空間125または堆積を規定し、これは、ある体積の選択された媒体Mを保有し、この媒体は、力を付与して薄い可撓性表面層124aを変形させるための移動構造体として機能し、空間125の上に重なるレンズの曲率を、局所的に改変する。用語空間、移動構造体および力付与構造体は、本明細書中で交換可能に使用され、参照番号125によって示され、適合性光学部品を可能にし、そ

して表面層 1 2 4 a の形状を起動および変形および改変するように設計される、間隔を空けた適合性構造体を記載するための用語である。

【 0 0 3 1 】

図 2 A および 2 B において見られ得るように、内部層 1 2 0 は、間隔を空けた固定された配置で、空間または移動構造体 1 2 5 (包括的) のパターンを規定する。各移動構造体 1 2 5 は、ある体積の選択された媒体 M を備え、これは、眼鏡表面 1 2 2 A の局所形状を改変するために、体積パラメータまたは他の物理的特性を変更可能である。構造体 1 2 5 は、時々、本明細書中で、力付与構造体と称される。なぜなら、各構造体 1 2 5、または任意の集合的な数の起動可能な構造体は、各構造体 1 2 5 が第一の安定な体積または形状から、第二の拡張した体積または形状へと変化する場合に、力の付与によって、レンズ表面 1 2 4 a を変形させることが可能であるからである。特に興味深いことに、移動構造体 1 2 0 5 は、このシステムを高次収差の補正のために適切にする、選択された微小規模を規定する。移動構造体 1 2 5 はまた、レンズの球面倍率を変化させるために、全体的に起動され得る。

【 0 0 3 2 】

内部相 1 2 0 において、図 2 A および 2 B の実施形態における各移動構造体 1 2 5 は、本体部分または層 1 2 4 a および 1 2 4 b に一致する屈折率を有するポリマー媒体である。本発明によるレンズは、合計約 1 0 ~ 1 0 0 0 個の移動構造体 1 2 5 を有する。より具体的には、このレンズは、約 2 0 ~ 2 0 0 個のこのような移動構造体 1 2 5 を、固定されたパターンで有し、これらは、高次波面収差を補正するために適している。

【 0 0 3 3 】

構造体 1 2 5 はまた、このレンズの移植後補正における異なるストラテジーのために、類似または異なる寸法、体積および調節の振幅で設計され得る。代表的に、移動構造体 1 2 5 は、光軸 1 1 5 の周りで同心円 1 2 8 a ~ 1 2 8 n を規定するパターンで配置される。同心円 1 2 8 a ~ 1 2 8 n の数は、1 ~ 約 5 0 0 の範囲であり得る。より好ましくは、同心円 1 2 8 a ~ 1 2 8 n は、約 2 ~ 5 0 個の範囲である。

【 0 0 3 4 】

本発明の範囲は、1 0 0 0 ナノリットル未満の体積の媒体を内部に保有する、複数の微細加工された空間 1 2 5 を有して形成されたレンズ本体を備える、視力矯正または他の目的のための、任意の適合性光学部品を包含する。このレンズ本体は、各空間の上に重なる表面領域 1 4 0 を規定する、可撓性表面層 1 2 4 a をさらに規定し、この表面領域は、内部の媒体が起動される場合に、この空間の各々に向かってかまたはこの空間から離れて変形可能である。用語起動されるとは、媒体が体積、多孔性、親水性または圧力を変化されることを意味する。

【 0 0 3 5 】

移動構造体 1 2 5 は、固定されたパターンで配置され、屈折率が一致しており、そしてレンズ倍率の改変のために、可撓性表面に変形力を付与するように適合される。移動構造体 1 2 5 は、優勢な収差、焦点ずれおよび球面収差、ならびに高次収差の補正のために適切な規模および数で提供される。

【 0 0 3 6 】

例示的なレンズ 1 0 0 A (図 2 A および 2 B に示される) において、移動構造体 1 2 5 は、上記のクラスの透明な光改変可能ポリマーまたは形状記憶ポリマーである。この形状記憶ポリマーは、その形状エンベロープを拡張させることによって起動し、これによって移動力を付与する、A O 層のために適切な型のものである。この実施形態において、各移動構造体自体は、その寸法またはエンベロープを調節するために、レーザービームで標的か可能であり、これによって、前表面 1 2 2 A の局所部分に力を付与して、その形状を改変する。図 2 A および 2 B の移動構造体 1 2 5 のより詳細な説明、レンズ 1 0 0 A を作製する方法、ならびにレンズ 1 0 0 A を使用する方法は、以下の図 3 A ~ 3 B、5、7、8 A ~ 8 B、および 9 A ~ 9 B に提供される。

【 0 0 3 7 】

図 3 A ~ 3 L は、本発明に対応する適合性移動構造体の原理を図示し、ここで、各移動構造体 1 4 5 A ~ 1 4 5 F は、少なくとも 1 つの形状変化ポリマーを保有し、このポリマーは、熱効果、化学的效果、または他の効果によって、光改変可能であり、これによって、多数の様式のうちの 1 つで、流体の移動を引き起こす。流体のこのような全ての移動は、局所的部分または可撓性の適合性レンズ表面層に、変形圧力を直接的または間接的に付与するように設計される。可撓性レンズ表面に圧力を付与するための、移動流体層 1 4 4 (図 2 B、3 A ~ 3 B、および 6 A を参照のこと)の使用は、有利である。なぜなら、これは、複数の局所的変形を必要とし得る高次収差のよりよい補正のための、起動されたレンズ表面の平滑な曲率半径を生じるからである。

【0038】

図 3 A ~ 3 B において、単一の移動構造体 1 2 5 A が、屈折構造体の図とみなされ得る。第一のポリマーモノリス 1 4 6 A は、IOL の分野において公知の可撓性ポリマーであり、そして第二のポリマーモノリスは、図 3 A に示される第一の一時的形状の、形状記憶ポリマー 1 4 6 B である。図 3 A は、入射光線 R およびその屈折を図示する。組み合わせられたポリマーモノリスまたは構造体 1 4 5 A は、流体を満たされた内部空間 1 4 7 を規定し、この空間が、界面を接する流体 1 4 4 に支持を提供し、そして可撓性レンズ表面 1 2 4 a (これは、2 つの横方向支持領域の間で横方向に延びる)に対して移動力を付与してレンズ表面に選択された形状または曲率を提供することによって、適合性光学部品を起動させる。

【0039】

特に興味深いことに、移動構造体 1 4 5 A は、等体積屈折構造体であり、ここで、流体および第一のポリマーモノリスの正味の体積は、変化しないままであるが、第二の形状記憶ポリマーモノリス 1 4 6 b の、光ビーム L B からの光熱的效果による起動 (この場合は、図 3 A において垂直方向)は、矢印によって示される、流体媒体 1 4 4 からの流体圧力の再分配を引き起こし、その結果、流体は、その表面層 1 2 4 a の横方向に延びる部分を支持する。第一のポリマーモノリスは、必要に応じて、移動構造体の屈折性部分の外側に、可撓性壁部分 1 4 8 を有し、これによって、流体圧力のいくつかの変化に適合し得る。図 3 B に見られ得るように、光線 R は、その改変された屈折と一緒に示されている。

【0040】

図 3 C ~ 3 D において、別の例示的な移動構造体 1 4 5 B は、第一のポリマーモノリス 1 4 6 A および第二の形状記憶ポリマーモノリス 1 4 6 B が、図 3 B におけるような第一の空間部分 1 4 7 に流体 1 4 4 を移動させるように組み立てられ、これが、横方向空間部分 1 4 7' から移動された流体で適合性光学部品および可撓性レンズ表面 1 2 4 a を起動させることを除いて、図 3 A ~ 3 B のものと類似である。換言すれば、形状記憶ポリマーモノリス 1 4 6 B は、流体 1 4 4 の移動手段またはポンピング手段として機能し、可撓性表面を、1 4 7 において示される内部空間上で変形させる (図 3 B と比較のこと)。ポリマー 1 4 6 B は、上記のように、光熱的效果によって、変化される。

【0041】

図 3 C から 3 D において、形状記憶ポリマー 1 4 6 B は、表面改変 S M を有するように示され、これは、このポリマーが、実質的に流体不透過性であり、流体をよりよく移動させる、改変された表面を有することを示す。いくつかの S M P において、選択された方向でのポリマーの発泡は、連続気泡 S M P が使用される場合、内部を充填する媒体が、このポリマーにおける連続細孔を充填することを必要とし得、この場合には、このポリマーは、ポリマーの発泡を容易にするために容易に理解され得るように、移植体 (図示せず)の内部または外部の流体媒体供給源を提供される。従って、図 3 C ~ 3 D のこの移動構造体 1 4 5 B は、流体を漸増的かつ不可逆的に移動させ得、そしていくつかの実施形態において、レンズにおいて、適合性光学部品を起動させるために使用され、そして以下により詳細に記載される。

【0042】

図 3 E ~ 3 F は、図 3 C ~ 3 D の構造体の逆の様式で機能する、別の例示的な移動構造

体 1 4 5 C を図示する。図 3 B に見られ得るように、このアセンブリはまた、第一のポリマーモノリス 1 4 6 A (非形状変化ポリマー) および第二の形状記憶ポリマーモノリス 1 4 6 B のものであり、これらは、流体 1 4 4 を、レンズ表面 1 3 4 a を起動させる第一の流体を充填された空間部分 1 4 7 (図 3 B においてのように) から、移動構造体 1 4 5 C 内の横方向空間部分 1 4 7' へと移動させるように、組み立てられる。この実施形態において、形状記憶ポリマー 1 4 6 B は、スポンジ様の移動手段として機能し、流体がその一時的形状 (図 3 E) からその拡張した記憶形状 (図 3 F) へと移動する際に、流体 1 4 4 を、1 4 7'' で示される内部空間内に引き込む。

【0043】

この作業を達成するために、潜在的な内部空間を、内部の実際の内部空間 1 4 7'' まで発泡させる、連続気泡透過性形状記憶ポリマー発泡体または C H E M が、利用される。この実施形態において、流体不透過性表面改変 S M が、移動構造体 1 4 5 C の外側の周りに提供される。適合性光学部品において使用される場合、移動構造体 1 4 5 C は、レンズの周囲の周りに配置されて、S M モノリス 1 4 6 B に、レンズの屈折パラメータに影響を与えないように拡張する領域を提供する。図 3 E ~ 3 F の移動構造体 1 4 5 C は、流体 1 4 4 を漸増的かつ不可逆的に移動させ、そして図 3 C ~ 3 D の構造体 1 4 5 B と組み合わせられて、予め決定された量の振幅を有する、可逆的移動システムを提供し得る。

【0044】

図 3 B から 3 H は、流体を移動させるために、図 3 C ~ 3 D の構造体 1 4 5 B として機能する、別の例示的な移動構造体 1 4 5 D を図示する。この実施形態において、この構造体は再度、第一のポリマーモノリス 1 4 6 A (非形状変化ポリマー) および第二の形状変化熱収縮ポリマーモノリス 1 4 6 C (これは、流体 1 4 4 を、第一の流体が満たされた空間部分 1 4 7 (図 3 B および 3 D においてのような) に移動させて、このレンズを起動させ得る) のものである。この場合、移動構造体 1 4 5 C 内の横方向空間部分 1 4 7' へである。この実施形態において、熱収縮ポリマーモノリス 1 4 6 C は、流体 1 4 4 を、1 4 7' で示される空間部分から、適合性光学部品の光学部分を有する空間 1 4 7 へと移動させる。

【0045】

図 3 I ~ 3 J は、流体を移動させるために、図 3 E ~ 3 F の構造体 1 4 5 C として機能する、別の例示的な移動構造体 1 4 5 E を図示する。この実施形態は、ポリマーモノリス 1 4 6 D が、非形状変化ポリマーと第二の記憶ポリマーとのコポリマー、または流体を満たされた空間部分 1 4 7' の周りの透過性のつづれない層 1 4 9 を有する S M P モノリスであり得ることを図示する。上記空間部分は、適合性光学部品を起動する空間部分 1 4 7 と連絡する (図 3 B および 3 D においてと同様)。

【0046】

この場合、空間部分 1 4 7' は、少なくとも部分的に連続気泡透過性形状記憶ポリマー発泡体すなわち C H E M である、モノリシック壁内の管腔として、単に規定される。上記のように、この移動構造体は、潜在的な内部空間を膨張させて、1 4 7'' で示される実際の空間を膨張させ得、そして内部に、適合性光学空間 1 4 7 から流体 1 4 4 を吸引し得る。熱収縮ポリマーはまた、単に、流体 1 4 4 を適合性光学部品の光学部分における空間 1 4 7 へとポンピングするための潜在的な収縮のために適合された、管状構造体であり得ることが、理解されるべきである。

【0047】

ここで、図 3 A ~ 3 J に記載されたばかりの流体移動構造体の 1 つを利用する、別の例示的な適合性光学レンズ 1 0 0 B に注目すると、図 4 は、複数の移動構造体 1 2 5 を有する内部相 1 2 0 を有するレンズを図示し、この構造体は、第一の各配置構造体部分 1 2 6 a および第二の移動構造体部分 1 2 6 である。内部相 1 2 0 は、再度、前レンズ表面 1 2 4 a および後レンズ本体 1 2 4 b によって囲まれている、薄い層であり、ここで、分解図は、図 3 と類似している。移動構造体 1 2 5 は、流動可能な媒体を包む、光改変可能な薄いフィルムポリマー 1 2 7 を備え、この媒体は、第二の構造体部分 1 2 6 b を構成する。

【 0 0 4 8 】

この実施形態において、流動可能なポリマー 1 2 6 b は、熱的に安定な特性（シリコンにおいてと同様）を有し、そしてこの薄いフィルム 1 2 7（第一の部分 1 2 6 a）は、その形状エンベロープを収縮させることによって起動し、これによって、機動力を、レンズ表面 1 2 4 a に直接ではなく、その内部の包まれた流動可能媒体に付与する型のポリマーである。従って、薄い断面部分 1 2 6 a の収縮は、流動可能な媒体を移動させて、第二の移動構造体部分 1 2 6 a の軸方向高さの膨潤を起動する。例示的な概略の起動の拡大図が、図 3 H において以下に提供され、そしてこの導入は、本発明の形状変化ポリマーが、エンベロープにおいて発泡して、アクチュエータを構成する型の S M P 型、およびポリマーアクチュエータを構成するようにエンベロープにおいて収縮可能である、熱収縮型のポリマーを包含することを説明する目的である。図 5 A に示されるような、別の例示的なレンズ 1 0 0 C において、内部層 1 2 0 は、再度、第一の光改変可能なポリマー 1 2 8 a および第二の光改変可能なポリマー 1 2 8 b を有する、複数の移動構造体 1 2 5 を有し、これらのポリマーは、図 4 の先のレンズ 1 0 0 B に記載されるように、囲まれた流動可能媒体 1 2 6 b に連結している。内部相 1 2 0 は、再度、前レンズ表面 1 2 4 a および後レンズ本体 1 2 4 b によって囲まれている、薄い層であり、図 5 B に、分解図で示されている。

【 0 0 4 9 】

特に興味深いものとして、第一の光改変可能ポリマー 1 2 8 a および第二の光改変可能ポリマー 1 2 8 b は、両方が、レンズ 1 0 0 A および 1 1 0 B において使用される型のポリマーである。第一の光改変可能ポリマー 1 2 8 a は、エンベロープ内で発泡可能な S M P 型であり、そして第二の光改変可能ポリマー 1 2 8 b は、エンベロープ内で収縮可能な、熱収縮型のポリマーである。ポリマーにおける逆の形状効果の組み合わせは、多数のサイクルを含むために、2 つの方向で起動されうる、移動構造体 1 2 5 を提供するために利用される。

【 0 0 5 0 】

図 5 A ~ 5 B の例示的な実施形態において、各移動構造体 1 2 5 の第一の光改変可能ポリマー 1 2 8 a および第二の光改変可能ポリマー 1 2 8 b は、レンズの周囲に配置され、そして体積（または他のパラメータを変化させて、流動可能な媒体 1 2 6 b に対する圧力を付与または減少し、この圧力が、次に、後表面 1 2 2 A の局所領域に力を付与して、その形状を改変する。図 5 A ~ 5 B のレンズ 1 0 0 C は、光エネルギーが、レンズの周囲部分または非光学部分 1 1 2 において標的化され得ることを除いて、図 2 および 4 のレンズ 1 0 0 A および 1 0 0 B と正確に同じレンズ形状の改変を可能にする。このことは、網膜を損傷するわずかな危険さえ提示し得るエネルギー密度を用いて調節される、特定の光改変可能なポリマーに対して有利である。光改変可能ポリマーをレンズの非光学部分 1 1 2 に配置することによって、不透過性複合材料またはバックینگが、図 4 において 1 3 0 で示されるように提供され、あらゆるレーザービームが、患者の網膜を照射することを防止し得る。図 5 A ~ 5 B におけるようなレンズ 1 0 0 C および移動構造体 1 2 5、ならびにその使用方法および製造方法のより詳細な説明は、図 1 1 A ~ 1 1 D に提供される。

【 0 0 5 1 】

本発明の範囲は、空間 1 2 5 の内部またはこの空間に連結された任意の移動光改変可能媒体の使用を包含する。この空間は、その物理的パラメータまたは化学的パラメータを制御可能に変化させるように起動されて、各間隔 1 2 5 上のレンズ表面領域を移動および変形させ得る。光改変可能な媒体は、形状変化ポリマー、流体環境において密度もしくは多孔性を変化させるポリマー媒体、移動もしくは圧縮される流体もしくはゲルのような、任意の移動可能な媒体、これらの任意の組み合わせであり得る。

【 0 0 5 2 】

換言すれば、各移動構造体 1 2 5 は、レンズ本体の位置に付与されるエネルギーに応答して、第一の安定な機能的パラメータから第二の安定なパラメータへと調節可能であり、各配置構造体 1 2 5 を個々に変化させる、媒体または媒体の組み合わせを含む、その機能

パラメータは、媒体体積、媒体形状、媒体多孔性、媒体密度および媒体内部圧力からなる群である。以下に記載されるように、レンズ本体にエネルギーを付与する好ましい方法は、レーザーまたは非干渉性の回折光エネルギービームの使用である。

【0053】

図2において、レンズの前表面122Aは、参照マーカー132をその周囲の周りに保有することが見られえ、このマーカーは、例えば、1～10までの任意の適切な番号で提供され得る。参照マーク132は、光源およびそのコンピュータで制御される操作システムが、光ビームを、レンズ100Aの標的化された位置に局在させるために利用される。参照マーク132は、代表的に、CD（コンパクトディスク）において使用されるものと類似の参照光ビームおよび感知システムを用いる反射率に基づく関数であり、これは、当該分野において公知であり、そして本明細書中にさらに記載される必要はない。

【0054】

（2.「A」型適合性光学系の内部レンズ相を作製および使用する方法）

本発明に対応する適合性光学部品を作製する方法の範囲は、一般に、パターン化された適合性特徴をIOLまたは他の視力矯正レンズの内部レンズ相に作製する分野、あるいはデータによって駆動される様式で、レンズ構成要素上への媒体の液滴の精密マイクロジェット分配の使用によって、媒体で満たされた空間125を提供する分野を包含する。種々の用語が、このような加速された流体液滴の、基材上の標的化された位置への分配のために適用され、そして用語マイクロジェット分配およびドロップオン分配は、本明細書中で、交換可能に使用される。ドロップオンシステムはまた、微細加工された特徴をレンズ構成要素に満たすために使用される。

【0055】

このようなドロップオン分配は、適合性光学加工において、新規かつ有利である。なぜなら、非常に小さい精密なポリマー流体の体積が、レンズ構成要素の表面または内部に制御可能に配置されなければならないからである。非接触流体分配プロセスと同様に、体積の精密さは、ポジティブな分配またはピン移動システムが、流体が分配される際に基材上に流体を「発射」する場合と同様に、流体ポリマー媒体が基材をどのようにぬらすかによっては、影響を受けない。さらなる利点は、ジェット化された流体が、流体のぬれおよび分配を制御するために提供された基材特徴（例えば、ウェルまたは他の特徴）の表面または内部に分配され得る。

【0056】

ドロップオン分配は、5ピコリットル程度に小さい単一の液滴体積、および5ナノリットル程度に大きい単一の液滴体積に制御されうる。このような精密な流体分配は、ポリマー流体およびナノ粒子を保有する流体の「液滴」を、ミクロン規模の制度で生成および配置し得、ここの液滴は、ドロップオンデマンドシステム（以下に記載される）における単一の液滴について、1秒間あたり0～25,000個の分配速度において、直径が約10～200μmの範囲であり、そして連続モードシステム（以下に記載される）における液滴について、1MHzまでである。

【0057】

特に興味深いことに、この方法は、データにより駆動される様式で、非常に精密なポリマーの堆積を可能にし、本発明による任意の適合性光学部品の内部相120にける移動構造体125のパターンを作製する。この方法は、非接触の、融通のきく、データにより駆動される様式で、マスクもスクリーンも他のものもなしで、低い費用でのポリマー堆積を可能にする（工具の使用も成型も必要とされない）。なぜなら、レンズのパターンおよび印刷情報は、デジタル形式で格納されたCADデータから直接作製されるからである。ドロップオンデマンドシステムは、MicroFab Technologies, Inc., 1104 Summit Ave., Ste. 110, Plano, Texas 75074によって、広範に調査および開発された（Matrix JetTM マイクロ分配）。

【0058】

一般に、マイクロジェット分配システムの物理学および方法は、実質的に異なりうるが、各システム変数は、高速で加速された流体媒体の小さい液滴の、ジェットから基材上への再現性のある生成を提供する。製造において使用するための、流体分配技術の2つの広範なカテゴリーは、公知である：(i)ドロップオンデマンドまたはデマンドモードシステム、および(ii)連続モード充填および変形システム。これらの技術は、卓上インクジェットプリンタの形態で、ほとんどのヒトに馴染み深い。

【0059】

ドロップオンデマンド流体分配システムにおいて、流体は、周囲圧力に維持され、そして変換器が、液滴を要求に応じて作製するために利用される。この変換器は、流体の体積変化を生じて、ジェットまたはオリフィスに移動する圧力波を発生させ、このジェットまたはオリフィスにおいて、この圧力は、流体速度に変換される。これによって、液滴は、ジェットから排出される。ドロップオンデマンドシステムにおける変換器は、圧電材料または薄膜レジスタであり得る。後者において、レジスタは、蒸気の気泡の形成を加える局所流体温度を生じ、これは、圧電変換器の電気機械的作用と類似の様式で、流体媒体の体積の移動を生じる。

【0060】

「連続モード」の液滴分配システムにおいて、加圧された流体が、オリフィス(代表的に、 $25 \sim 80 \mu\text{m}$ の直径)を通して力を加えられて、液体ジェットを形成する。表面張力は、このジェットの直径の小さい変動を増幅するように働き、このジェットを液滴に破壊する。この挙動は、通常、レイリー破壊と称される。正しい周波数範囲内での単一の周波数摂動が、このジェット化された流体に付与される場合、この摂動は増幅され、そして正確に再現可能な大きさおよび速度の液滴が、適切な摂動周波数で発生し得る。このような摂動は、流体における圧力振動を生じる電気機械的デバイス(例えば、圧電素子)によって発生される。この型の流体分配は、連続モードと称される。なぜなら、液滴が、それらの軌道を静電荷によって変化させながら連続的に生成されるからである。レイリー破壊によって発生する非常に均一な液滴を制御するためには、静電力が使用される。荷電液滴が、基材上の標的化された位置またはカテーテルのいずれかに、固定された静電場(偏向場と称される)によって方向付けられる。

【0061】

ドロップオンデマンドシステムは、連続モードシステムより複雑さが低い。他方で、デマンドモードの液滴生成は、液滴を生成するために、連続モード(これは、初期摂動を増幅するために自然の不安定性に依存する)と比較して3桁より大きいエネルギーを送達するための変換器を必要とする。

【0062】

ここで図6Aを参照すると、図2~3の第一の例示的な「A」型レンズ100Aの一部分の拡大断面図が示されている。空間および移動構造体125は、上および第I節において上で同定された文献に記載されるような、屈折率が一致する光改変可能な形状記憶ポリマー(SMP)を含有する、ポリマー媒体を保有する。前レンズ層124aは、選択された厚さ寸法Aおよび弾性率(E)を規定し、その結果、層124aの表面領域140(斜線を引いて示される)は、空間125の表面積と相関して、変形した層124aの曲率半径が選択されたパラメータ内であることを保障する。変形可能な前層124aの厚さ寸法Aは、約1ミクロン~約100ミクロンである。

【0063】

より好ましくは、前層124aの寸法Aは、約5ミクロンから50ミクロンである。図6Aをさらに参照して、構造体125の、その横断主軸16'(図2におけるレンズ本体105の横軸116と比較のこと)にわたる寸法Bは、約 $2000 \mu\text{m}$ (ミクロン)より小さい。より具体的には、構造体125の横寸法Aは、約100ミクロン~約500ミクロンであり、そしてこの寸法は、移動構造体の各同心パターンにおいて、変動し得る。

【0064】

図6Aにおいて、第一のポリマーレンズ部分124aおよび第二のポリマーレンズ部分

124bは、内部相120および144で示される流動可能な媒体の隣接する層を囲むことが見られ得る。中間の流動可能な媒体144は、ここでまた、屈折率が一致する流体の薄い層、非常に低い弾性率の一致する材料、または屈折率が一致する流体を内部に有する、屈折率が一致したゲルもしくは多孔性構造体である。これらの例示的な実施形態において、この中間媒体144は、移動構造体125の起動によるレンズの調節の前および後に、レンズの体積を占有し、そして適切な補強を提供するように適合される。

【0065】

流体144を利用する実施形態において、選択された粘度のシリコンが使用され得る。本発明について特に興味深いことに、シリコン流体は、上記のような一致する屈折率を提供するように製造され得る。シリコンは、広範な温度範囲にわたって、粘度がほとんど変化せず、このことは、それらの高いぬれ性と一緒になって、本発明に対応するレンズの適合性構造体の機能のために必要な特性を提供し得る。さらに、シリコン流体は、本発明において使用されることが予測されるほかの物質に対して、本質的に不活性である。これらの全ての特徴（温度に対する低い粘度変化、誘電安定性、化学的不活性、せん断安定性、低い表面張力、酸化安定性、熱安定性および高い圧縮性）は、シリコンを、本発明において使用するための論理的な候補にする。

【0066】

さらに、シリコン流体は、本願において、FDA規制の再調査に従って、レンズ移植物の内部のための生体適合性材料であることが見出されると考えられる。シリコンまたは他の適切な流体の粘度は、代表的に、センチストークス(cSt)と称される単位で測定され、ここで、この数が低いほど、この材料は薄くなり、そして粘度が低い。レンズにおいて使用するための流体144は、約0.65cSt~約1,000,000cStの範囲の粘度を有し、これは、非常に低い粘度の流体から、高い粘度の流体まで変化する。より具体的には、流体144は、約5.0cSt~100,000cStの範囲の流体粘度を有し得る。

【0067】

広範な数の市販のシリコン流体の供給源が公知であり、例えば、NuSil Silicone Technology, Inc. (www.nusil.com); General Electric, Inc. (www.gesilicones.com) およびDow Corning, Inc. (www.dowcorning.com) である。シリコン流体は、本発明において使用するために好ましい材料であるが、適切な一致する屈折率、粘度および生体適合性を有する、ヒドロゲルおよび他の任意の流体が、本発明の範囲内に入ることが、理解されるべきである。

【0068】

図6Aのレンズ100Aにおいて、各構造体125は、構造体125を既定する形状記憶媒体によるエネルギーの調節の付与および吸収によって、起動されて、媒体の上に重なる表面部分140を変形させる。この媒体は、選択された波長を吸収することが必要とされる場合、任意の適切な発色団を保有しうる。各構造体125は、アドレスを割り当てられる。用語アドレスとは、適合性要素の上に重なる眼鏡表面の部分的な位置が、130において示される参照マーカーに関して、表面座標を割り当てられることを意味する。

【0069】

図6Aの例示的レンズ100Aにおいて、内部相120は、基材145を備え、この基材の上に、形状記憶媒体が、以下により詳細に記載される方法で配置される。レンズの周囲部分112は、断面が増加した空間146を有し、この空間は、適切な体積の流動可能な媒体144を保有することが見られ得る。この媒体は、可撓性表面124aと起動可能な内部相120との間の領域の回りで移動して、この空間を完全に占有し得る。増加した断面の空間146の少なくとも一部分の上に重なるレンズ周囲部分112はまた、148において示される、可撓性の壁の部分有し、この部分は、わずかに変形して、移動構造体が体積を変化した後、流体144の、周囲へまたは周囲からの移動を可能にする。

【0070】

ここで図 6 B を参照すると、図 4 の第二の例示的な「A」型レンズ 1 0 0 B の一部分が、切り取り図で示されている。このレンズ 1 0 0 B は、図 6 A と類似の様式で機能して、レンズ表面 1 2 4 a を変形させるが、上記のように、熱収縮型の形状変化ポリマーを利用する。従って、移動構造体 1 2 5 は、光改変可能な薄膜ポリマー 1 2 7 の第一の部分を備え、この部分は、流動可能な媒体または第二の構造体部分 1 2 6 b を包む。この実施形態において、薄膜 1 2 7 の第一の部分は、光で作動されて、その形状エンベロープを熱収縮させ、流体を、これによって付与される移動力から排出して、構造体 1 2 5 の中心部分の軸方向高さを増加させ、流動可能な媒体 1 2 6 b の流入によって、レンズ表面 1 2 5 a を変形させる。この実施形態において、熱収縮形状エンベロープは、1 4 9 において（包括的に）示される延長部分の少なくとも 1 つ（または複数）を有する。複数の延長部分 1 4 9 は、光エネルギーでの独立した標的化を可能にして、延長部分 1 4 9 の制御された収縮を可能にし、このレンズを起動させる。より完全な記載は、この内部相 1 2 0 を作製する方法を説明する場合に、以下に提供される。

【0071】

ここで、図 6 C を参照すると、図 5 A ~ 5 B の第三の例示的な「A」型レンズ 1 0 0 C の一部分が、切り取り図で示されている。このレンズ 1 0 0 C は、(i) 光起動可能ポリマー媒体が、レンズ本体の周囲部分 1 1 2 に配置されること、および (i i) 熱発泡可能ポリマーと熱収縮可能ポリマー（それぞれ、1 2 8 a および 1 2 8 b ）が、移動構造体 1 2 5 内に一体化されて、可逆的起動を可能にすることを除いて、レンズ表面 1 2 4 a を、図 6 A および 6 B と類似の様式で配置する。うえで議論され、そして図 5 B に示されるように、この実施形態は、形状変化媒体を起動させるために、より高い流れの使用を可能にする。なぜなら、周囲の非光学レンズ本体 1 1 2 は、不透過性組成物 1 3 0 （図 5 A を参照のこと）を、標的化された光改変可能媒体の後方に保有し得るからである。

【0072】

図 6 C のレンズ 1 0 0 C において、間隔または移動構造体 1 2 5 は、第一の間隔部分 1 2 5 ' および第二の間隔部分 1 2 5 " を規定し、これらの部分は、再度、内部相 1 2 0 を保有する。この実施形態において、内部相 1 2 0 は、流動可能な媒体層 1 4 4 内で、本質的に浮動する。部材 1 2 4 a と 1 2 4 b とのあいだのベグ構造体（図示せず）は、相 1 2 0 内の開口部であるが、この層を、固定された位置に維持して、横方向移動を防止し得る。

【0073】

移動構造体 間隔 の第一の間隔部分 1 2 5 ' は、レンズの光学部分 1 1 0 にあり、そして体積および軸方向寸法を変化させて、上に重なる表面領域 1 4 0 を、図 6 A に関する上の文書において記載されたように、正確に変形させる。第一の空間部分 1 2 5 ' は、流動可能な媒体 1 2 6 b を保有し、この媒体は、レンズの周囲 1 1 2 内の第二の空間部分 1 2 5 " 内に配置された、第一および第二の形状変化ポリマー 1 2 8 a および 1 2 8 b と界面を接する。

【0074】

第二の空間部分 1 2 5 " における第一および第二の形状変化ポリマー 1 2 8 a および 1 2 8 b の膨張および収縮が、これによってどのように、流体圧力および媒体の流れを発生させて、移動構造体を起動させうるかは、容易に理解され得る。図 6 C に見られうるように、形状変化ポリマーおよび流動可能媒体 1 2 6 b は、内部相内に密封されて保有され、これは、基部基材 1 2 5 および上に重なるキャップ相 1 7 6 を有し、これらは、以下に記載されるような種々の様式で、製造され得る。レンズ構成要素の他の全ての局面および寸法は、図 6 A ~ 6 C のレンズ 1 0 0 A、1 0 0 B および 1 0 0 C においてと類似である。

【0075】

ここで図 7 および 8 A ~ 8 B を参照すると、適合性光学部品のコアである、内部レンズ相 1 2 0 を製造および使用する工程が、概略的に示されている。図 7 において、基材 1 4 5 は、任意の非常に薄いポリマーフィルムを備え得、これは、ドロップオンマイクロジェットシステム 1 6 0 のステージ上で堆積され、ここで、複数の内部相構成要素は、同時に

製造され得、各丸い基材部分は、後に、内部相 1 2 0 を製造するために、このフィルムから後に切り出される。

【 0 0 7 6 】

図 5 A のレンズ 1 0 0 A の内部相 1 2 0 の製造において、ドロップオンシステムは、上記のような第一の状態の形状記憶ポリマー媒体を配置して、所望のパターンを、同心円 1 1 8 a ~ 1 1 8 n に作製する。液滴 1 6 2 は、約 1 0 0 ピコリットルと 1 0 0 0 ナノリットルとの間の範囲の、所望の体積で、移動構造体 1 2 5 を作製するために使用され得る。

【 0 0 7 7 】

図 8 A は、基材上に配置され、そして所定の軸方向高さを有する記憶形状を規定するように重合または部分的に重合された後の、2つの移動構造体 1 2 5 の、大いに拡大された図である。図 8 B は、次に、軸方向高さ C を有する第二の一時的な状態に機械的に圧縮された後の、図 8 A の2つの移動構造体 1 2 5 を示す。ここで、SMP のポリマーセグメントが重合されて、その圧縮された状態で構造を維持する。媒体は、上記のような形状記憶ポリマー発泡体であり得る。図 8 B はまた、任意の適切な手段（例えば、ドロップオン分配システムまたは類似のスプレーオンシステム）によって、内部相 1 2 0 にわたって配置された流体相 1 4 4 を図示する。

【 0 0 7 8 】

流体層 1 4 4 はまた、第三のゲル層または光切断可能なポリマーを備え得、これは、ゲルまたは固体の形態で提供され、そしてレンズ構成要素 1 2 0、1 2 4 a、1 2 4 b および 1 4 4 の組み立て後のエネルギー送達によって、流体に変換される。図 8 B の内部相 1 2 0 および移動構造体 1 2 5 は、光源からのビームによるエネルギー送達によって起動され、ここで、この構造体は、その記憶軸方向高さの方へと戻される。

【 0 0 7 9 】

図 9 A および 9 B は、変形可能なレンズ表面 1 2 4 a および基部層 1 2 4 b を用いて組み立てられた場合の、移動構造体 1 2 5 の起動を示し、構造体 1 2 5 の上に重なる領域 1 4 0 の形状変化を図示する。図 9 B において、流体またはゲルの層 1 4 4 が、どのように移動して、内部相 1 2 0 と変形可能なレンズ表面 1 2 4 a との間の間隔全体を占有し、屈折率が一致した媒体の連続的なレンズ内部を提供するかが見られ得る。

【 0 0 8 0 】

図 1 0 は、基部層 1 2 4 b を用いて組み立てるために、レンズ層 1 2 4 a（これは次いで、ひっくり返される）上に直接配置された、移動構造体 1 2 5 を示す、代替のレンズ 1 0 0 C を示す。レンズ層 1 2 4 a および 1 2 4 b を密着させることは、種々の様式（例えば、接着剤、または協働するポリマー前駆体を各層に提供し、その後、このアセンブリを完全に重合させること）において、達成され得る。別の方法において、移動構造体 1 2 5 は、非平面の基部層 1 2 4 b に分配され得、この基部層が次いで、流体層 1 4 4 およびレンズ表面相 1 2 4 a と組み立てられる。

【 0 0 8 1 】

ここで、図 1 1 A ~ 1 1 C を参照すると、図 6 B のレンズ 1 0 0 B の内部レンズ層 1 2 0 を作製および使用する工程が示されている。図 1 1 A において、ドロップオンシステム 1 6 0 が、流体媒体 1 2 6 b を基材 1 4 5 上に、少なくとも1つの延長部分 1 2 9 を有して示されるパターンで分配するために使用される。この実施形態において、1つの延長部分 1 2 9 が示されるが、この数は、1 ~ 6 の範囲、またはそれより多くあり得る。

【 0 0 8 2 】

1つの方法において、より大きい体積の媒体 1 2 6 b が、第一の表面張力を有する中心部分に分配され、次いで（必要に応じて）、表面張力を増加させるために、照射され、そして部分的に重合され、そしてその後、別の体積の流動可能媒体 1 2 6 b が、ドロップオンで分配されて、第二の表面張力で、延長部分 1 2 9 を提供し得る。従って、本発明の方法は、媒体部分の表面張力を変化させるための中間工程、または異なる表面張力を有する、異なる屈折率が一致した媒体を使用して、異なる軸方向高さを有する異なる部分を有する移動構造体を作製するための、中間工程を含んだ。

【 0 0 8 3 】

図 1 1 B は、この方法の次の工程を図示し、ここで、熱収縮ポリマーまたは形状変化ポリマーは、システム 1 2 6 を用いてスプレーされるか、またはドロップオン技術を使用して分配されて、流動可能媒体 1 2 6 b を包み、これによって、この媒体が、空間 1 2 9 からより中心の空間部分 1 2 5 へと流れて、図 9 B において上で議論されたように正確に、上に重なるレンズ領域 1 4 0 を移動させる。この実施形態において、流動可能媒体 1 2 6 b は、光改変可能なポリマーキャッピング層 1 2 7 内で、流れを誘導し得る。このキャッピング層は、移動構造体 1 2 5 全体を、微小加工された内部相 1 2 0 内に密封する。

【 0 0 8 4 】

図 1 1 B に図示される 1 つの方法において、薄膜 1 2 7 が、屈折率が一致する熱収縮ポリマー前駆体を、アセンブリ上にドロップオンまたはスプレー分配し、これを次いで、適切な手段（例えば、UV 硬化）によって、薄膜上のコーティングに重合させることによって、製造される。図には示されない別の方法において、キャップ層 1 2 7 は、薄膜熱収縮基材の形態で提供され、この層は、図 1 1 B においてのように、アセンブリ上に密着されて形成される。

【 0 0 8 5 】

図 1 1 C は、次に、レーザーまたは光源を利用して、光エネルギーを、周囲の延長部分 1 2 9 において熱収縮層 1 2 7 に付与することによって、移動構造体 1 2 5 を起動する方法を示す。この延長部分は、その内部の体積に影響を与えて、流動可能な媒体 1 2 6 b を中心部分に移動させ、これが、軸方向高さ C' を、図 1 1 B のより低い高さ C から移動させる。従って、図 1 1 A ~ 1 1 C の熱収縮ポリマーは、移動構造体 1 2 5 を起動させるために、流動可能な媒体 1 2 6 b を移動させるための型のポンプ手段として規定され得る。図 1 1 C の内部相は、図 9 B においてとまったく同様に、レンズ表面層 1 2 4 b を変形させるように作動する。ここで、流体層 1 4 4（図示せず）は、再度、起動された移動構造体 1 2 5 の周りの領域の内部を充填する。従って、好都合なために、図 1 1 C の移動構造体 1 2 5 を説明する工程は、上に重なる変形可能なレンズ層 1 2 4 a と一緒に、提供されない。

【 0 0 8 6 】

ここで、図 1 2 A ~ 1 2 C を参照して、図 6 C のレンズ 1 0 0 C の内部レンズ相 1 2 0 を製作および用いるステップが示される。図 1 2 A は、非透過層 1 3 0 が基板 1 4 5 上にプリンティング、非透過性環状要素などのボンディングのような任意の適切な手段により製作され得ることを示す。図 1 2 A では、移動構造体 1 2 5 の第 1 および第 2 の形状変化ポリマー 1 2 8 a および 1 2 8 b が、ドロップ - オン分与または別の予備操作によって生成され得、光学および基板 1 4 5 の周縁領域 1 1 2 中に、拡張可能な形状変化ポリマー 1 2 8 a 部分および熱収縮ポリマー部分 1 2 8 b を提供する。形状記憶収縮ポリマーは、上記のように発泡または C H E M であり、可能な内部開放容量で、コンパクトな一時的形状にある S M P 構造である。

【 0 0 8 7 】

光熱改変に際し、上記 S M P の拡張は、流動可能な媒体 1 2 6 b を発泡ネットワークの開放内部中に引き、レンズの光学部分 1 1 0 内の第 1 の空間部分 1 2 5 ' の容量から減じ、それによって、その軸方向寸法 C を減少する。この熱収縮ポリマー構造 1 2 8 b は、例えば、網目構造の、多孔性の、チャネルであるか、または、それはまた、単一の内部管腔をもつ薄膜構造であり得 - 上記ポリマーは、その初期の展開状態では、非収縮状態である。さらに、この熱収縮ポリマー構造 1 2 8 b の開放内部は、次に説明されるドロップ - オン分与ステップにより、予備操作において流動可能な媒体 1 2 6 b で注入される。

【 0 0 8 8 】

図 1 2 A は、図 7 および 8 A のそれと類似である方法のステップをさらに示し、ここで、流動可能な媒体 1 2 6 b は、空間 1 2 5 ' 中およびそれに沿ってドロップ - オンされ、その上に形態化される第 1 および第 2 の形状変化ポリマー 1 2 8 a および 1 2 8 b を保持する周縁基板領域と作動可能にインターフェースする。図 1 1 A ~ 1 1 C に関連する文

脈で記載したように、上記流動可能な媒体 1 2 6 b は、変動する深さおよび表面張力で提供され得る。

【 0 0 8 9 】

図 1 2 B は、次に、第 1 および第 2 の形状変化ポリマー 1 2 8 a、1 2 8 b の全体アセンブリの上のキャップ層 1 7 6 の製作、および光作動可能な移動構造体 1 2 5 を提供するために、その中の交換可能な流動可能媒体の容量をシールするための流動可能な媒体 1 2 6 b を示す。図 1 2 B に描写される 1 つの方法は、上記アセンブリの上に、次いで薄膜コーティングに重合される率が一致したポリマーを分与するスプレー - オンシステム 1 6 2 の使用による、薄膜キャップ層 1 7 6 を製作している。先に記載のように、このようなキャップ層 1 7 6 はまた、この移動構造体アセンブリの上にシール可能に形成された薄膜ポリマー基板の形態で提供され得る。

【 0 0 9 0 】

図 1 2 c は、次に、レーザーまたは光源を利用して上記移動構造体 1 2 5 を作動する方法を示し、光エネルギーを熱収縮ポリマー部分 1 2 8 b の領域 1 8 0 に付与することにより、ここで、光熱吸収が、領域 1 8 0 の収縮を引き起こし、それによって、それから流動可能な媒体 1 2 6 b を放出し、これは、次に、流れ（矢印を参照のこと）を空間部分 1 2 5 ' 中に駆動し、この構造を、図 1 2 B のより少ない高さ C からより大きな軸方向高さ C ' に移動する。図 1 2 C の形状変化ポリマー 1 2 8 b は、実際、流動可能媒体 1 2 6 b をポンプ輸送および変位し、この移動構造体 1 2 5 を軸方向次元に作動する。図 1 2 C のこの内部相は、作動して、図 9 B におけるようにレンズ表面層 1 2 4 b を正確に変形し、流体層 1 4 4 は、再び、作動された移動構造体 1 2 5 の周りの領域を充填する。便宜のために、図 1 2 C は、レンズ表面層 1 2 4 b および中間流体層 1 4 4 は示していない。

【 0 0 9 1 】

図 1 2 C はまた、光エネルギーを形状記憶ポリマー部分 1 2 8 b の領域への領域に付与することによる、上記移動構造体 1 2 5 を可逆的に作動するために付与された光エネルギーを利用する方法を影図で描写し、ここで、その中における光熱効果は、局所領域 1 8 2 の拡張を引き起こし、それによって、流動可能な媒体 1 2 6 b をポリマー 1 2 8 a の開放内部に引き、それによって上記空間 1 2 5 の軸方向高さを減少する。

【 0 0 9 2 】

従って、本発明は、上記移動構造体 1 2 5 の可逆的作動を提供する。このシステムは、上記移動構造体 1 2 5 を可逆的に作動するために用いられ得、形状変化ポリマー部分 1 2 8 a および 1 2 8 b の寸法および容量によって決定される回数でその軸方向大きさを改変する。この手段により、各アクチュエータの上にあるレンズ領域 1 4 0 は、可逆的に作動され得、そして波面収差の矯正のための既知の大きさの最大範囲が提供されるか、または複数のアクチュエータとともにレンズの球形形状を改変する。

【 0 0 9 3 】

図 1 3 A および 1 3 B は、適応光学 1 0 0 E のタイプ「A」実施形態を示し、ここで、内部適応相 1 2 0 は、微細製作されたウェル 1 9 0（集合的）に形成されている移動構造体または空間 1 2 5 をもつ基板 1 4 5 を備え、2つのこのようなウェル 1 9 0 a および 1 9 0 b が描写されている。この基板はまた、図 2 におけるような、前方または後方レンズ本体層 1 2 4 a および 1 2 4 b のいずれかであり得る。

【 0 0 9 4 】

図 1 3 A は、ドロップ - オン分与システム 1 6 0 で充填されているウェル 1 9 0 を示し、形状記憶ポリマー発泡媒体 1 9 2 がその中に分与され、この媒体は、実質的な表面張力を有し、基板の表面に対し高度に膨れた形状記憶を提供する。図 1 3 B は、次いで、上記内部相 1 2 0 を製作および用いるいくつかのステップを示す。第 1 に、上記形状記憶ポリマー媒体 1 9 2 構造は、すべて、基板 1 4 5 の表面と一致するストレスを受けた一時的形状に圧縮される。

【 0 0 9 5 】

図 1 3 B はまた、上記移動構造体 1 2 5 の上での基板 1 4 5 への薄膜 1 9 5 の配置およ

び結合を示す。この結合は、基板を横切るか、または上記形状記憶ポリマー媒体 192 から離れて間隔のある 196 で示される線に沿って完全であり得る。使用の方法では、ウェル 190 a 内の媒体 192 が、 λ_1 で示される第 1 の波長からの光熱吸収により、 C' で示す軸方向高さまで拡張され得ることが理解され得る。熱収縮薄膜 195 の照射が、図 13 B 中にウェル 190 b で示されるような拡張した SMP 発泡の収縮を引き起こし、ここで、この構造の高さは、 C' から C'' まで改変され得る。

【0096】

好ましくは、 λ_2 で示される第 2 の波長が、上記熱収縮ポリマーの照射のために用いられる。代替の実施形態では、SMP のガラス転移温度および上記膜の収縮温度は、異なる得、反対の方向に上記移動構造体 125 を作動するために異なる熱レベルを可能にする。

【0097】

本発明の範囲および適応光学を作製する方法は、図 2、4、5、6 A ~ 6 C および 10 の移動構造体タイプの任意におけるように、任意のレンズ成分の微細製作ウェルにおける正確なポリマー容量のドロップ・オンマイクロジェット分与を含む。

【0098】

(3. タイプ「B」適応光学システム)

図 14 および 15 A ~ 15 B は、レンズ本体 205 のエッジ部分のみの切り取り図によって理解され得る代替の適応光学 200 A を示す。この実施形態では、内部相 220 は、222 で示される、弾性率が一致した多孔性熱収縮ポリマー形態である。この形態 222 は、その中に同心に形成されたうねり 225 a を有し、ここで、これらうねりの前方ピークおよび後方ピークは、第 1 および第 2 のレンズ本体層 124 a および 124 b に結合される。

【0099】

内部相 220 を含む側方空間 226 は、上記のタイプ「A」実施形態におけるように、弾性率が一致した流体 144 で再び充填される（流体 144 のための周縁拡張空間は示されていない）。このうねり 225 a の構造は、アンフォールディング展開後、図 14 におけるような開放位置に上記空間 226 を維持するに十分弾性である。この内部相 220 は、表面層で、所定の位置またはアドレス 228 a、228 b などによって照射され得、ポリマーを収縮し、それによって、この表面層を内側に変位し、パワー調節を起こすことが容易に理解され得る（図 15 B を参照のこと）。この適応光学タイプでは、レンズは、過剰に急勾配の湾曲で移植され、そして内部相は、この湾曲を減少するよう適応される。

【0100】

図 15 A および 15 B は、代替の実施形態を示し、ここで、内部相 220 は、再び、弾性率が一致した多孔性熱収縮材料であるが、図 14 におけるようなうねりよりむしろ、形成されたドーム 225 b である。本発明の範囲は、それ故、内部空間 226 を横切る間隔を維持するために表面解放を規定する任意の弾性内部相 220 をカバーする。この前方ドーム表面は、前方層 124 a に連結され、その結果、ドームの収縮は、図 15 B に描写されるような照射に際し、構造 225 b を重層する表面層の領域を動かし、そして押す。事実上、アクチュエータは、タイプ「A」実施形態のそれとは反対の様式で機能する。

【0101】

図 15 C は、重複して表面半径における平滑な変化を可能にする 3 つの内部相 222 a ~ 222 c をもつ適応光学を示す。特に重要なのは、1 つの相がポジティブな垂直力をウ付与するよう適応され得、そして第 2 の相が可逆的システムのために垂直力を取り去るよう適応され得る。また、内部相中の流体は、移動構造体の間の分布が最終形状をセットした後、任意のタイプの光硬化によって完全に重合され得るタイプであり得る。

【0102】

上記のタイプ「A」および「B」実施形態の図を繰り返すことなく、タイプ「A」および「B」変位システムの第 1 および第 2 の内部相 220 および 220' が、それぞれ、組み合わせられ得、可逆的作動システムを提供することは容易に理解され得る。図 16 A および 16 B は、前方位置および間隔を置いて離れた位置に二重相 220 および 220' を

もつこのようなレンズ 200B を示す。

【0103】

(4. タイプ「C」適応光学システム)

図17は、レンズ本体305の周縁部分の切り取り図によって再び理解され得る、代替の適応光学300を示す。この実施形態では、内部相320は、再び、325で示される流体充填された複数の移動構造体を保持する。各このような構造は、眼内圧力に起因してレンズが移植された後、幾分加圧される。

【0104】

これらレンズの周縁領域は、光熱により作動されて各移動構造体325から流体媒体340を放出し得る犠牲バルブ328または制御可能な解放バルブを有し、ここで、この流体は、レンズ周縁にある内部チャンバーがつぶれた可撓性サックチャンバー342に流れる。実際に、このシステムは、ほぼ上記タイプ「A」実施形態のように機能し、ここで、つぶれた多孔性SMP構造は、光熱により改変されてその中またはそれを通る流体流れを可能にする。

【0105】

上記のタイプ「A」実施形態の図を繰り返すことなく、内部相120中の図6A～6Cの移動構造体タイプが、上記犠牲バルブ328または図17の制御可能な解放バルブと組み合わせられ得、可逆的作動システムを提供することは容易に理解され得る。

【0106】

(5. タイプ「D」適応光学および作製方法)

図18Aおよび18Bは、代替の適応光学400Aを示し、弾性ヒドロゲル、アクリル、シリコンまたはその他の類似の材料の例示のレンズ本体405の周縁部分の切り取り図のみを示す。このレンズの実施形態は、再び、レンズ表面で、アドレス228a、228などとして識別可能な425で示される流体で充填された複数の移動構造体または空間を保持する。このレンズは、その製作の方法が異なる。この実施形態では、レンズ本体は、成形、キャストイングまたはターニング、および研磨、またはIOL製作の技術分野で公知の任意のその他の様式によって製作され、既知のパワーおよび形状を有する完成レンズ本体を提供する。換言すれば、このレンズは、在庫レンズで本質的に開始されることによって作製され得る。以下に説明されるように、さらなる周縁形状変更ポリマー成分440が必要である。

【0107】

図18Aは、レンズ本体中の空間425を製作する方法を示し、各空間425の上に薄い弾性の変形可能層442を提供する。図18Aでは、当該技術分野で公知のようなフェムト秒レーザーが、焦点合わせされ、レンズ本体405の平面または相420の内部層にエネルギーを、fsまたはpsのような非常に短時間の間隔で堆積する。このエネルギーが、レーザービームから移されるとき、プラズマ形成が起こり、そして材料が除去またはアブレーションされ空間425を生成する。

【0108】

このレンズ材料では、レーザーエネルギーに起因する熱が分与される距離は、レーザーの吸収距離よりも少なく、それによって、熱拡散が生じ得、かつポリマーを過熱し得ることに起因してエネルギーが失われる前に材料の容量除去を可能にする。フェムト秒を利用する科学は、良好に確立されており、そしてさらに説明する必要はない。図18Aから、このアプローチは、間隔425およびレンズ本体の周縁非光学部分112まで延びる間隔のチャンネル部分245'を微細製作され得ることが観察され得る。レンズの製作の後、内部空間およびチャンネルは、そしてレンズ本体に率が一致している流体444で洗浄および充填され、空間425を再占領し、そしてレンズは、次いで、その当初の形状およびパワーを有する。

【0109】

レンズ形状を改変するために、図6Cに示されるような任意のポリマー形状調節可能システムが利用され、各空間425に流体により連結されているレンズ周縁において、位置

440a、440b、440cなどの任意のサブパターンにある、440で示される標的となるポリマーの照射により、上記チャンバー中またはそれから出る流体流れを引き起こす。図18Bは、適応空間425が複数の内部相または層420および420'内に保持されるということを除いて、すべての局面で、図18Aのレンズに類似である代替のレンズ400Bを示し、ここで、これら空間は、互いにオフセット位置にあり、ここで、種々の相の独立の作動が、実質的に平滑なレンズ表面湾曲の生成を可能にする。

【0110】

本発明の範囲は、従来の成形またはキャスティングおよび当該技術分野で公知のアセンブリ技法により、複数の内部相または層をもつ適応光学の微細製作まで拡張される。

【0111】

本発明の範囲は、レンズの形状において多孔性のポリマーブロックモノリスを生成することにより適応光学の微細製作に拡張され、ここで、この孔は、率が一一致した流体媒体で充填され、そしてここで、上記本体部分は球状に重合され、そして走査され、焦点合わせされた光エネルギー送達を用いる光硬化により、光学の周縁内または光学の周縁に結合でアセンブルされている図3A～3Jおよび18A～18Bの任意の移動構造体まで延びる空間およびチャンネルを除いて、全体のレンズブロックを完全に重合する。

【0112】

本発明の範囲は、当該技術分野で公知のような、電気浸透圧、電気水動力学および磁気水動力学ポンプシステムのクラスから選択される非機械的ポンプを含む、図2におけるような各内部空間に連結される媒体変位手段を有する任意の適応光学に拡張され得る。本発明の範囲は、熱水動力学マイクロポンプシステム、熱空気支援ポンプシステム、および熱蠕動システムのクラスから選択される機械的ポンプを含む、図2におけるような各内部空間に連結される媒体変位手段を有する任意の適応光学に拡張される。

【0113】

上記に記載の実施形態のいずれにおいても、上記眼内レンズは波面感知システム（例えば、Shack-Hartman system）と組み合わせられ得、本発明の適応光学における収差のコンピューター制御された矯正を可能にする。

【0114】

本発明の範囲は、非眼科使用のための上記に記載のような任意の適応光学に拡張される。例えば、適応光学は、弾性レンズ本体が少なくとも1つの内部相を有して開発され得、複数の移動構造体（アクチュエータ）の各々は、その中に率が一一致した流体で充填された空間を備える。各移動構造体は、流体充填周縁空間、このレンズ光学部分の外側の流体供給源（または遠隔チャンバー）に連結され、この流体供給源は、リアルタイムコンピューターコントローラに連結され、上記内部レンズ相中の各移動構造体の容量および圧力を制御し、高い繰り返し速度でレンズ形状を調整する。

【0115】

このような適応光学は、マイクロ流体チャンネルおよびポンプ、コントローラ、ならびに、光学コミュニケーション、生体医療イメージング、天文学機器、軍事レーザー焦点合わせ、航空および空気動力学制御、レーザービームおよびキャビティ制御、ならびにレーザー溶接およびその他の類似の使用のためのイメージングおよびビーム形成システムで波面矯正のための波面センサーとともに容易に製作され得る。これらレンズは、一般に、図2で表示されている。このような適応光学は、経済的に微細製作され得、そして、当該技術分野で開発および公知であるマイクロミラーアレイおよびレンズより、特定の作動環境のためにはるかにより頑丈であり得る。

【0116】

当業者は、例示の実施形態およびその説明は、概して、本発明の例示に過ぎず、そして多くの改変が本発明の思想および範囲内でなされ得ることを認識する。本発明の特定の特徵は、いくつかの図に示され得るが、その他の図では示されず、そしてこれは、便宜のためのためであり、そして任意の特徴は、本発明によるその他と組み合わせられ得る。

【0117】

本発明の原理は、例示の実施形態で明瞭になされているが、本発明の実施で利用される構造、配列、比率、要素の改変は当業者に自明であり、そしてそうでなければ、それらは、本発明の原理から逸脱することなく、特定の環境および操作要件に特に適応される。添付の請求項は、このような改変の任意およびすべてをカバーすることが意図され、本発明の真の範囲、思想および範囲のみを限定して、このような改変の任意およびすべてをカバーすることが意図される。

【図面の簡単な説明】

【0118】

本発明のさらなる特徴、その性質および種々の利点は、添付の図面および以下の好ましい実施形態の詳細な説明からより明らかとなる。

【図1A】図1Aは、反射ミラー面の外側にアクチュエータを備える天体望遠鏡のための変形可能なミラーの分野で公知のAO（適合性光学素子）の概念図である。

【図1B】図1Bは、本発明に対応するAO（適合性光学素子）構造体の1つの実施形態における、レンズの内部平面に、屈折率が一致した軟質ポリマーの移動構造体またはアクチュエータを備える、レンズ要素（例えば、IOLまたはコンタクトレンズ）の概略表現である。

【図2A】図2Aは、AO（適合性光学素子）移動構造体を備える内部相を備える、「A」型適合性眼内レンズ（IOL）の、斜視図である。

【図2B】図2Bは、本発明に対応するAO移動構造体を備える内部相を示す図2Aの「A」型適合性光学素子の構成要素の分解図である。

【図3】図3A～3Bは、等容性屈折デバイス内の、移動構造体として機能する第1の型のポリマーモノリスとその製造方法の略図である。図3C～3Dは、移動構造体として機能する第2の型のポリマーモノリスとその製造方法の略図である。図3E～3Fは、移動構造体として機能する第3の型のポリマーモノリスとその製造方法の略図である。図3G～3Hは、移動構造体として機能する第4の型のポリマーモノリスとその製造方法の略図である。図3I～3Jは、移動構造体として機能する第5の型のポリマーモノリスとその製造方法の略図である。

【図4】図4は、本発明に対応する代替の移動構造体を備える内部相を示す、代替的な「A」型適合性光学素子の分解図である。

【図5】図5Aは、代替的な移動構造体を備える内部相を示す、別の代替的な「A」型適合性光学素子の斜視図である。図5Bは、その内部相および非透過性周辺要素を示す、図5Aの適合性光学素子の分解図である。

【図6】図6Aは、図2および図3の適合性光学素子の一部の拡大切断図であり、その内部相と、その中の特徴を示す。図6Bは、図4の適合性光学素子の拡大切断図であり、その内部相と、その中の特徴を示す。図6Cは、図5A～5Bの適合性光学素子の拡大切断図であり、その内部相とその中の特徴を示す。

【図7】図7は、ドロップオンマイクロジェット流体分注（drop-on micro jet fluid dispensing）を利用する適合性光学素子の作製方法に対応する、図6Aにおけるような「A」型光学素子の内部相を作製する際の最初の工程の斜視概略図である。

【図8A】図8Aは、形状記憶ポリマー（SMP）の、図6Aの内部相、および「A」型移動構造体を作製する最初の工程の拡大斜視図である。

【図8B】図8Bは、図6Aの内部相および移動構造体の作製方法の次の工程を例示し、これらの工程としては、SMPをその詰まった現在の形状へと変更する工程、および内部流体層を内部相に追加する工程が挙げられる。

【図9】図9Aは、可撓性外部レンズ表面と組み立てられた図8Bのような、内部相および移動構造体を例示する。図9Bは、波面収差矯正手順において改変されたレンズの形状を有する、図9Aのような移動構造体を例示する。

【図10】図10は、代替的な「A」型適合性光学素子を例示し、ここで、移動構造体は、可撓性レンズ表面に係合されている。

【図 1 1 A】図 1 1 A は、ドロップオンシステムを用いる、図 6 B の内部相および移動構造体を作製する最初の工程の拡大斜視図である。

【図 1 1 B】図 1 1 B は、図 1 1 A の内部相の作製方法の次の工程を例示し、ここで、薄膜熱収縮ポリマーが、移動構造体を覆って配置される。

【図 1 1 C】図 1 1 C は、図 6 B の内部相および移動構造体の利用方法を例示し、ここで、適用される光エネルギーが、熱収縮ポリマーを収縮させて、移動構造体を始動させる。

【図 1 2 A】図 1 2 A は、ドロップオンシステムを使用する、図 6 C の内部相および移動構造体の作製方法の最初の工程の拡大斜視図である。

【図 1 2 B】図 1 2 B は、図 1 2 A の内部相の作製方法の次の工程を例示し、ここで、フィルムキャップ層が移動構造体および 2 つの形状変化ポリマー構成要素を覆って配置される。

【図 1 2 C】図 1 2 C は、図 6 C の内部相および移動構造体の利用方法を例示し、ここで、適用される光エネルギーが、複数の形状変化ポリマーを変更し、移動構造体を可逆的に始動させる。

【図 1 3 A】図 1 3 A は、ドロップオンシステムを用いて、基板内の微細加工されたウェル内に、代替的な適合性内部相および移動構造体を作製する最初の工程の斜視図である。

【図 1 3 B】図 1 3 B は、図 1 3 A の内部相の作製方法の次の工程を例示し、ここで、薄膜流体浸透可能な熱収縮キャップ層が、移動構造体を覆って配置される。

【図 1 4】図 1 4 は、可撓性レンズ表面に係合されている代替的な内部相を有する、「B」型適合性光学素子を例示する。

【図 1 5】図 1 5 A は、代替的な内部相を有する「B」型適合性光学素子を例示する。図 1 5 B は、始動後の、図 1 5 A の代替的な内部相を例示する。図 1 5 C は、図 1 4 と類似するが、別個の相における構造体の独立した始動の後に、レンズ表面の湾曲を滑らかにするために、重なった内部相を有する、代替的な適合性光学素子を例示する。

【図 1 6】図 1 6 A ~ 1 6 B は、複数の内部相の位置を有する、本発明の任意の適合性光学素子を例示する。

【図 1 7】図 1 7 は、光熱的犠牲バルブを有する、本発明の適合性光学素子である。

【図 1 8】図 1 8 A ~ 1 8 B は、図 3 C ~ 3 F の移動構造体を利用する、複数の重なった内部相を有する適合性光学素子を例示する。