

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-21044
(P2007-21044A)

(43) 公開日 平成19年2月1日(2007.2.1)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 3/14 (2006.01)	A 6 1 B 3/14 L	2 H 0 4 1
G 0 2 B 5/08 (2006.01)	G 0 2 B 5/08 B	2 H 0 4 2
G 0 2 B 26/08 (2006.01)	G 0 2 B 26/08 E	
A 6 1 B 3/10 (2006.01)	A 6 1 B 3/10 Z	
A 6 1 B 3/12 (2006.01)	A 6 1 B 3/12 E	
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 19 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2005-210675 (P2005-210675)
(22) 出願日 平成17年7月20日 (2005.7.20)

特許法第30条第1項適用申請有り 2005年1月24日から25日 SPIE-国際光工学会発行の「SPIE (国際光工学会) 報 マイクロマシーン及び光マイクロマシーン素子とその応用2」に発表

(71) 出願人 000220343
株式会社トプコン
東京都板橋区蓮沼町75番1号
(74) 代理人 100091258
弁理士 吉村 直樹
(74) 代理人 100091580
弁理士 宮尾 雅文
(72) 発明者 中西 美智子
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内
(72) 発明者 川島 浩幸
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

最終頁に続く

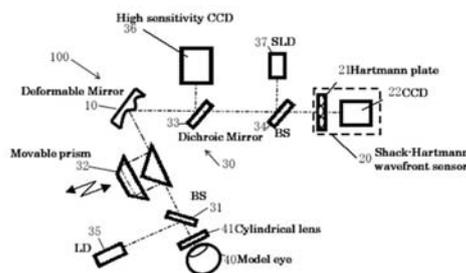
(54) 【発明の名称】 可変形状ミラーの変形方法、光学装置及び眼底観察装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 反射面光束の波面ひずみを補正する可変形状ミラーを用いて眼底観察装置を含む光学装置収差を補償する。

【解決手段】 複数の電極部と、これらの電極と対向して配置され電極部に印加された静電電圧により歪みを生じる薄膜状の反射面とを備え、前記反射面の反射光を検出して、所望の反射面形状をなすときの各電極部への印加電圧を測定し、一の基準となる反射面形状に対応する各電極部への印加電圧を一つの組として、所定の異なる数の反射面形状に対応する所定の組数を記憶し、前記記憶された電極部と印加電圧との組を重ね合わせることでより所望の形状に反射面を変形させ、収差を補償する。反射面の基準反射面形状をゼルニケ多項式の所定の次元に関連させて記憶しておくことが望ましい。

【選択図】 図12



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の電極部と、これらの電極と対向して配置され電極部に印加された静電電圧により歪みを生じる薄膜状の反射面とを備え、反射面光束の波面ひずみを補正する可変形状ミラーの変形方法において、

前記反射面の反射光を検出して、所望の反射面形状をなすときの各電極部への印加電圧を測定し、

一の基準となる反射面形状に対応する各電極部への印加電圧を 1 つの組として、所定の異なる数の反射面形状に対応する所定の組数を記憶し、

前記記憶された電極部と印加電圧との組を重ね合わせることにより所望の形状に反射面を変形させることを特徴とする可変形状ミラーの変形方法。 10

【請求項 2】

前記反射面の基準反射面形状をゼルニケ多項式の所定の次元の要素に対応して備えていることを特徴とする請求項 1 の可変形状ミラーの変形方法。

【請求項 3】

複数の電極部と、これらの電極と対向して配置され電極部に印加された静電電圧により歪みを生じる薄膜状の反射面とを備え、所定の形状に変形され反射面光束の波面ひずみを補正する可変形状ミラーと、

一の基準となる反射面形状に対応する各電極部への印加電圧を 1 つの組として、所定の異なる数の反射面形状に対応する所定の組数を記憶した記憶部と、 20

可変形状ミラーにより反射された対象物からの光の収差を検出する収差検出部と、

収差検出部により検出された収差検出信号に基づいて、記憶部に記憶された電極部と印加電圧との組を選択し、これらを重ね合わせて、電極部に電圧を印加して反射面を変形させて前記収差を補償する演算制御部とを設けたことを特徴とする光学装置。

【請求項 4】

前記記憶部には、前記反射面の基準反射面形状をゼルニケ多項式の所定の次元の要素に対応して備えていることを特徴とする請求項 4 の光学装置。

【請求項 5】

請求項 3 及び 4 の光学装置を含むことを特徴とする眼底観察装置。 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被写体に照射した光の収差を補正するための可変形状ミラーの変形方法および可変形状ミラーを用いた光学装置及び眼底観察装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、光学装置において、被写体に照射した光の光学的歪みを補正するために Deformable Mirror (以下、可変形状ミラーと略称する) が用いられている (例えば、特許文献 1 及び特許文献 2 参照)。 40

【0003】

また、眼底観察装置等において、眼底からの反射光は、眼光学系が不完全であるため収差を含み、鮮明な眼底像は得られない。この光学的ひずみを可変形状ミラーで補正することができる (例えば、特許文献 3 参照)。この眼底観察装置は、撮影光源から出射された光束を被検者の眼 (被検眼という) に照射して、その眼底で反射された反射光束を撮影光として記録手段に導いて被検眼の眼底像の記録を行う装置である。

【0004】

一般に、図 17 及び図 18 に示すように、可変形状ミラー 300 は、は室内雰囲気 (空気) 中に配置され、枠 302 に張設された薄膜ミラー (メンブレン) 301 と、この薄膜 50

ミラー 301 に所定の間隔を開けて形成した電極 305 を備えて構成されている、薄膜ミラー 301 は、表面を光反射面とした可撓性の膜体であり、電極 305 は平板状の基板で形成された基板 304 上面に複数（この例では 5 つ、305-1 ~ 305-5）配置されている。本例では、各電極 305-1 ~ 305-5 にはそれぞれ所定の電圧 $V_1 \sim V_5$ を印加できる電源 306 が接続され、各電極 305 に所定電圧を印加することにより、印加電圧 V と薄膜ミラー電極間距離に応じた静電力によって電極 305 に対向した部位の薄膜ミラー 301 を引き寄せ所望の歪みが発生するように変形させる。なお、図中符号 307 は、薄膜ミラー 301 と基板 304 との間隔を保持する間隔保持部材を示している。このような可変形状ミラー 300 は、図 18 に示すように、各電極 305-1 ~ 305-5 に所定の電圧 $V_1 \sim V_5$ を印加すると、所望の形状に変形する。

10

【0005】

【特許文献 1】特開 2004-247947 号公報

【特許文献 2】特開平 9-152505 号公報

【特許文献 3】特開平 11-137522 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、上述した従来の変形状ミラー 300 には、多数の電極部を備えており、薄膜ミラー 301 を所定の形状に変形させるとき個々の電極部に所定の電圧を印加しなければならない。しかし、各電極部に所定の電圧を正確に印加することは容易ではなく、すべての電極部に印可する電圧を正確に設定することは煩雑で時間を要し、作業効率が低下してしまうこととなる。

20

【0007】

そこで、本発明では、上記問題点を解消すべく、装置からの出力信号を基に適正な出力信号が得られるように複数の電極部に印加する電圧を、組としてあらかじめ記憶することができる記憶部を設け、短時間で簡易に個々の電圧補正を行い、作業効率を上げることができる光学装置及び眼底観察装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項 1 の発明は、複数の電極部と、これらの電極と対向して配置され電極部に印加された静電電圧により歪みを生じる薄膜状の反射面とを備え、反射面光束の波面ひずみを補正する可変形状ミラーの変形方法において、前記反射面の反射光を検出して、所望の反射面形状をなすときの各電極部への印加電圧を測定し、一の基準となる反射面形状に対応する各電極部への印加電圧を 1 つの組として、所定の異なる数の反射面形状に対応する所定の組数を記憶し、前記記憶された電極部と印加電圧との組を重ね合わせることで所望の形状に反射面を変形させることを特徴とする可変形状ミラーの変形方法である。

30

【0009】

請求項 2 の発明は、請求項 1 の可変形状ミラーの変形方法において、前記反射面の基準反射面形状をゼルニケ多項式の所定の次元の要素に対応して備えていることを特徴とする。即ち、本発明では、前記反射面形状を指定する組は、ゼルニケ次数の形状 $Z(n, m)$ について、1 番の電極に所定の V_1 ボルトの電圧、2 番の電極に V_2 ボルトの電圧、 \dots i 番の電極に V_i ボルトの電圧を印加するとし、電極の番号とその電極に印加する電圧値の組をセットにしたものをいう。従って、各ゼルニケ次数の形状に対応して反射面は規則的に変形するものとなり、これらを重ね合わせることで任意の反射面形状を得ることができる。

40

【0010】

請求項 3 の発明は、複数の電極部と、これらの電極と対向して配置され電極部に印加された静電電圧により歪みを生じる薄膜状の反射面とを備え、所定の形状に変形され反射面光束の波面ひずみを補正する可変形状ミラーと、一の基準となる反射面形状に対応する各電極部への印加電圧を 1 つの組として、所定の異なる数の反射面形状に対応する所定の組

50

数を記憶した記憶部と、可変形状ミラーにより反射された対象物からの光の収差を検出する収差検出部と、収差検出部により検出された収差検出信号に基づいて、記憶部に記憶された電極部と印加電圧との組を選択し、これらを重ね合わせて、電極部に電圧を印加して反射面を変形させて前記収差を補償する演算制御部とを設けたことを特徴とする光学装置である。

【0011】

請求項4の発明は、請求項3の光学装置において、前記記憶部には、前記反射面の基準反射面形状をゼルニケ多項式の所定の次元の要素に対応して備えていることを特徴とする。

【0012】

請求項5の発明は、請求項3及び4の光学装置を含むことを特徴とする眼底観察装置である。

10

【発明の効果】

【0013】

請求項1の発明によれば、収差補償のため、可変形状ミラーの反射面を変形して所望の形状とするときには、記憶しておいた各電極への印加電圧の組を重ね合わせ、得られた値に基づいて各電極に電圧を印加すればよいから、短時間で容易に可変形状ミラーの反射面を変形でき、収差補正に際して、試行錯誤的に操作を行うことなく作業効率を上げることができる。

【0014】

請求項2の発明によれば、反射面の基準反射面形状をゼルニケの多項式の次数に対応して備えているから、基準反射面形状を階層的に整理して格納しておくことができる。

20

【0015】

請求項3の発明によれば、光学装置において、収差補償のため可変形状ミラーの反射面を変形して所望の形状とするときには、収差検出部からの収差信号に対応して、記憶しておいた各電極への印加電圧の組を重ね合わせ、得られた値に基づいて各電極に電圧を印加すればよいから、短時間で容易に可変形状ミラーの反射面を変形でき、収差補正に際して、作業効率を上げることができる。

【0016】

請求項4の発明によれば、記憶部には、反射面の基準反射面形状をゼルニケの多項式の次数に対応して備えているから、基準反射面形状を階層的に整理して格納しておくことができ、記憶部の容量を少なくすることができるほか、必要な反射面形状を得るのに試行錯誤的な操作をおこなうことなく、作業効率をあげることができる。

30

【0017】

請求項5の発明によれば、眼球に起因する収差を可変形状ミラーで補償して、高い解像度での眼底像を容易に得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下本発明に係る可変形状ミラーの変形方法の実施の形態について説明する。本例の対象となる可変形状ミラーは、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) プロセスで製作したメンブレンタイプの可変形状ミラー (デフォーダブルミラー (DMと略記)) であり、眼底観察装置において人眼の収差補正を行うものである。可変形状ミラー10は、SOIウェハを加工して形成したシリコンメンブレンミラー部11と85個の電極12とからなる。シリコンメンブレンの直径は12mm、最大変位量は駆動電圧180Vにて16 μ mであった。

40

【0019】

本例ではシャックハルトマン波面センサーで測定された模型眼の収差を、Zernike多項式に展開し、Zernike多項式の各項に対する適合する電圧配列を用いて、メンブレンの形状が眼の収差を打ち消すように可変形状ミラーの駆動電圧を決定する。これらの電圧配列はあらかじめ実験的に決めたものである。本例では、模型眼の収差をRMS

50

0.1 μm 以下に補正することができた。この例において、可変形状ミラーの有効径は7.5 mmであり、模型眼の瞳径は8.5 mmである。

【0020】

高解像眼底カメラは人間の視細胞が見えるような綺麗な像を得るよう期待されている。このようなカメラを用いることにより、蛍光眼底撮影を行わずに新生血管などの微細な障害を撮影できるようになり、患者の肉体的負担は軽減される。眼底写真を撮る場合、人眼収差の影響により、眼底カメラが本来持っている解像度が得られない。この問題を解決するため、眼の収差を補正できるアダプティブオプティクスが研究されている。ビジョンサイエンス分野だけでなく天文学やレーザーコミュニケーション分野におけるアダプティブオプティクスに関する研究は、MEMSテクノロジーを用いた可変形状ミラーを用いて様々な研究機関で行われてきた。現在までに研究開発されてきた可変形状ミラーは、一般的にセグメントアレイタイプの可変形状ミラーとメンブレンタイプの可変形状ミラーに分類される。サーフェスマイクロマシニングにより作られるセグメントアレイタイプの可変形状ミラーは、比較的小さな変位量(数 μm)であるが、細密な形状制御が容易である。一方、バルクマイクログマシニングで作るメンブレンタイプの可変形状ミラーは、大きな変位量($\sim 10\ \mu\text{m}$ またはそれ以上)という利点はあるが、要求されるミラー形状を正確に作るのが難しい。

10

【0021】

人眼の収差は比較的大きい($\sim 10\ \mu\text{m}$)ので、高解像眼底カメラでは、大きな収差補正能力を持つ可変形状ミラーが必要となる。よって、我々はメンブレンタイプの可変形状ミラーを開発し、それをアダプティブオプティクスに適用した。メンブレンタイプの可変形状ミラーを含む収差補正システムにおける高速アルゴリズムも、正確なミラー形状を得るために必要となる。

20

【0022】

以下、可変形状ミラーの製作プロセスフロー、可変形状ミラーの性能、可変形状ミラーの収差補正手法、アダプティブオプティクスシステムを用いた収差補正結果について記載する。

【0023】

本例に係る可変形状ミラーの概略構造を図1に、その外観を図2に示す。本例に係る可変形状ミラー10は、シリコンメンブレンミラー部11と、85個の電極12を形成した多層PCB基板14と、両者の間隔を保つスペーサ13とを備えている。また、多層PCB基板の反りを低減するため、PCBの裏面に金属プレート17を接着し、この金属プレート17を可変形状ミラーの取り付け部として機能させている。また可変形状ミラー10は金属フレーム15とガラス窓16とを設けデバイスを保護するものとしている。

30

【0024】

本例に係る可変形状ミラーは以下の手順で作成した。図3に示すように、SOIウェハ(図2(a))の厚さ400 μm のハンドル層をDRIE(Deep-Reactive Ion Etching)により直径12 mmで円形にエッチングした(図3(b))。1 μm 厚の酸化層はフッ酸により除去した(図3(c))。そして、アルミニウム(200 nm)をシリコンメンブレン(厚さ6 μm)に高反射ミラー(633 nmで90%)として蒸着した(図3(d))。シリコンメンブレンミラーはエポキシ接着剤と直径50 μm のガラスボールを用いた3箇所スペーサを介し、PCB基板上に固定した。このガラスボールが、ミラーと電極間の間隔を精密にコントロールする。さらに、導電性接着剤を用いてシリコンメンブレンと多層PCBのGNDを電氣的に接続した。

40

【0025】

図4は85個すべての電極に同一電圧を印加したときの、メンブレン中央の可変形状ミラーの変位量を示す。およそ180 Vで最大16 μm の変位量が得られている。応答時間(立ち上がり、立下り)は10 ms以下である(図5中の表1参照)。

【0026】

以下上記可変形状ミラーの収差補正性能の判定について説明する。ミラー形状の測定方

50

法の概略を図6に示す。本例では駆動回路により可変形状ミラーの電極に所定の電圧が印加され、ミラー形状をフィゾー干渉計で測定する。この駆動回路は各電極に300Vまで印加できるものである。あるミラー形状(例えばZernike多項式の(2, ±2)次の形)を作るのに、周辺部分の電極には300V近くの電圧を印加する必要がある。第1のコンピュータPC1は、フィゾー干渉計のCCDで検出される干渉縞よりミラー面形状と各次数のZernike係数を算出する。第2のコンピュータPC2は、可変形状ミラーの85個の電極に印加する電圧を設定する。

【0027】

はじめに、可変形状ミラーに各Zernike次数の4次までの形状を形成した。結果を図7に示す。傾き成分(すなわちZernike多項式の1次成分)と球面成分(Zernike多項式の(2, 0)成分)は、図7におけるミラー形状から、さらに、この説明における以下のすべての収差図から削除されている。なぜなら、眼底カメラではこれらの成分を他の光学系で補正できるからである。なお、可変形状ミラーの有効径は7.5mmとしている。

10

【0028】

これにより、ゼルニケ次数の形状Z(n, m)について、1番の電極に所定のV1ボルトの電圧、2番の電極にV2ボルトの電圧・・・85番の電極にV85ボルトの電圧を印加するとし、電極の番号とその電極に印加する電圧値の組をセットにしたものを得る。従って、各ゼルニケ次数の形状に対応して反射面は図7に示すように規則的な形状をなし、これらを重ね合わせるにより、任意の反射面形状を得ることができる。

20

【0029】

次に、ウェーブフロントアナライザー(KR-9000PW、(株)トプコン製)で人眼収差を実際に測定し、そのデータを目標収差に設定した。人眼収差の例を図8に示す。これらの収差(図8における目標A, B, C)を補正できるような形状を可変形状ミラーで作ってみた。アダプティブオプティクスにて収差を補正する場合、可変形状ミラーの形状は目標収差の逆位相でその大きさが半分の形でなければならない。つまり残収差量は式(1)で表される。

$$\text{残収差量} = \text{目標収差量} + 2(\text{ミラー形状}) \cdots (1)$$

【0030】

図8に示すように、人眼の目標収差はこの可変形状ミラーにより補正できている。残収差量のRMSは0.1μm、またはそれ以下である。

30

【0031】

次に本例に係る可変形状ミラーを用いて収差を補正する方法について説明する。図9に、メンブレン中央の可変形状ミラーの変位量と全電極に印加した電圧の2乗のグラフを示す。変位は電圧の2乗にほぼ比例している。このことにより、Zernike係数の大きさが可変形状ミラーの全電極に印加する電圧の2乗に比例することがわかる。そこで、いくつかの2乗電圧分布を電極に印加した。その電圧は、図7に示したZernike次数の形を作ったときの電圧値の2乗値に比例したものである。可変形状ミラーの各電極に印加する電圧Vxは、式(2)のように計算される。

【0032】

$$V_x^2 = (dx / d_0) V_0^2 \cdots (2)$$

ここでV₀は、図7において印加した電圧値、d₀は図7において計算されたZernike係数の大きさ、dxは新たに目標としたZernike係数の大きさである。

40

【0033】

図10は、Z(3, -1)のZernike係数に関する目標とした係数と実際に作られたZernike係数を比べたものである。他のZernike係数でも、実験的に同じような関係が得られた。両者には比例関係が見られるが、実際に作られたZernike係数は目標とした係数より、常にわずかに大きくなっている。このことは図9に示したように、可変形状ミラーの変位量と電圧値の2乗が厳密には比例していないためである。しかし、目標と結果はリニアな関係にあるので、適当な電圧配列から、任意の大きさのZ

50

ernike 係数値を簡単に作り出すことができる。

【0034】

さらに、複数の Zernike 係数に対して 2 乗電圧値の配列を加算して印加することにより、この可変形状ミラーにおいて任意の形状を作り出すことができることを実験結果は示している。目標形状が Zernike 成分；A, B, C から成るとき、上述のように Zernike 係数 A, B, C を作る電圧配列の 2 乗； $\{VA(n)^2\}, \{VB(n)^2\}, \{VC(n)^2\}$ を計算する。ここで電極番号 n に印加する電圧は、式 (3) のように計算される。

$$V(n) = \sqrt{V_{add}(n)^2 - V_{min}^2} \dots (3)$$

ここで、

$$V_{add}(n)^2 = VA(n)^2 + VB(n)^2 + VC(n)^2 \dots (4)$$

さらに、

$$V_{min} = \min\{V_{add}(1), V_{add}(2), \dots, V_{add}(85)\} \dots (5)$$

である。電圧 V_{min} は重ね合わせの電圧値を減らし、他のより高次の Zernike 係数に重大な影響を与えることなく、球面成分 $Z(2, 0)$ の大きさを抑える。

式 (3) - (5) で決めた電圧配列により実験的に作ったミラー形状とその Zernike 係数を、計算により求めたミラー形状とその Zernike 係数を比較した。 $Z(2, -2)$, $Z(3, -3)$, $Z(4, -4)$ の電圧配列を実験に用いた。これらのミラー形状と Zernike 係数は、図 11 (a), (b), (c) のとおりである。実験的に得られたミラー形状と Zernike 係数は、図 9 (d) のとおり、理論的に計算された (要求された) ミラー形状と Zernike 係数は、図 11 (e) のとおりであり、両者はほぼ一致している。このように、Zernike 係数が式 (3) を用いて重ね合わせることができる。 20

【0035】

次に、本例に係る可変形状ミラーを使用した眼底観察装置について説明する。本例では模型眼の収差補正を行った。本例に係る眼底観察装置を図 12 に示す。この眼底観察装置 100 は、可変形状ミラー 10 と収差測定装置とを備えたアダプティブオプティクスシステムである。本例に係る眼底観察装置の光学系は、可変形状ミラー 10、水晶体や角膜などの眼光学系で発生する収差を測定する収差測定装置であるシャックハルトマン波面センサー 20、ビーム伝搬光学系 30 とからなる。このような装置において、収差は眼底像を劣化させるため、可変形状ミラー 10 で収差を補正することにより、綺麗な眼底像を得るようにしている。本例では模型眼 40 にシンドリカルレンズ 41 を取り付けて収差を発生させて、この収差を可変形状ミラー 10 で補償するものである。模型眼の眼底には $5 \mu\text{m}$ L/S のパターンが配置してある。ビーム伝搬光学系 30 はビームスプリッタ 31, 34、可動プリズム 32, ダイクロイックミラー 33、レーザダイオード 35、高感度 CCD 36、スーパーluminescentダイオード (SLD) 37 を備えている。 30

【0036】

このアダプティブオプティクスシステムにおいて、球面収差は可動プリズム 32 を用いて光路長を調整することにより、自動的に補正することができる。なお、本例において、可変形状ミラー 10 の有効径は 7.5 mm 、模型眼の瞳径は 8.5 mm である。可変形状ミラー 10 の入射角は 15 度である。 40

【0037】

シャックハルトマン波面センサー 20 は、公知であり、ハルトマンプレート 21 (即ち、マイクロレンズアレイ) と CCD 22 から成る。CCD 22 はマイクロレンズの焦点位置に配置される。可変形状ミラー 10 とハルトマンプレート 21 は光学的に共役位置にある。波長 840 nm の SLD 37 が、不要な干渉ノイズを避けるため、シャックハルトマン波面センサー 20 の光源に使用される。SLD 37、模型眼 40 の眼底、CCD 22 は共役位置にある。眼底像は波長 633 nm の LD 光源を用いて得られる。

【0038】

試験結果を図 13 に示す。可変形状ミラーに印加する電圧は、前述した方法で決定した 50

。上は補正のない場合、下は補正した場合である。図13のように、発生させた収差を、本システムによりRMS（二乗平均値）で $0.1\mu\text{m}$ より小さい残収差に抑えることができた。可変形状ミラー10による収差補正後は、前記パターンがはっきりと解像されている。このことは、約 $3\mu\text{m}$ の眼底の視細胞を撮るのに十分な解像度が得られることを示している。

【0039】

より複雑な収差での実験結果を、収差補正の経過とともに、図14に示す。経過として、補正回数における残収差のRMSとその収差マップを示す。さらに、収差補正前後の全Zernike係数を図15に示す。残収差は、補正後は4次までの次数で良く抑えられているが、より高次の収差が残っている。最終的なRMSは $0.13\mu\text{m}$ であった。なお、この実験では5次と6次の収差は考慮されていない。この次数の補正も行うことにより、RMSを $0.1\mu\text{m}$ より小さくできると考えられる。このように、簡単な手法により収差を自動的に補正できる。

10

【0040】

最後に、この可変形状ミラーでどれ位の収差量が補正できるか実験した。収差量を増やすため、様々なパワーのシリンドリカルレンズを模型眼の前にセットした。図16は、2ディオプターのシリンドリカルレンズでトータルのRMSが $3.9\mu\text{m}$ の収差量が発生させた場合の実験結果を示す。この可変形状ミラーを用いたアダプティブオプティクスシステムは、このような大きな収差を、残収差RMS $0.093\mu\text{m}$ に抑えることができた。この収差補正量は、現在市販されている可変形状ミラーに比べ、非常に大きいものである。

20

【0041】

以上のように、本例では85電極のメンブレンタイプの可変形状ミラーを製作した。メンブレンの直径は 12mm 、最大変位量は駆動電圧 180V にて $16\mu\text{m}$ である。特許出願人は、この可変形状ミラーと眼底カメラを模したアダプティブオプティクスシステムにより、模型眼の収差を補正することができる。この実施例において、可変形状ミラーの有効径は 7.5mm 、模型眼の瞳径は 8.5mm である。シャックハルトマン波面センサーで測定された眼の収差はZernike多項式に展開され、可変形状ミラーの駆動電圧は、メンブレンが眼の収差を打ち消すような形状になるように、あらかじめ実験的に決められた個々のZernike多項式の各項の形を作るための電圧配列を用いて決定される。模型眼の収差を $0.1\mu\text{m}$ 以下に補正した。可変形状ミラーを使ったアダプティブオプティクスシステムは、大きな収差（RMS $3.9\mu\text{m}$ ）を残収差 $0.1\mu\text{m}$ 以下に補正することができた

30

【0042】

なお、上記の実施の形態においては、可変形状ミラーを用いる装置として眼底観察装置を示しているが、可変形状ミラーを装着する装置としてはヘッドアップディスプレイ、天体望遠鏡、レーザ照射装置等、各種の光学機器に使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】実施の形態例に係る可変形状ミラーの構造を示す断面図である。

40

【図2】実施の形態例に係る可変形状ミラーの外観図である。

【図3】実施の形態例に係る可変形状ミラーの製造法を示す図である。

【図4】実施の形態例に係る可変形状ミラーへの印加電圧とミラーの変位との関係を示すグラフである

【図5】実施の形態例に係る可変形状ミラーの応答速度を示す表である。

【図6】実施の形態例に係る可変形状ミラーの反射面形状を測定する装置を示すブロック図である。

【図7】実施の形態例に係る可変形状ミラーの形状とZernike多項式成分とを示す図である。

【図8】実施の形態例に係る可変形状ミラーによる人眼の収差補償の例を示す図である。

50

【図 9】実施の形態例に係る可変形状ミラーに印可した電圧の二乗値とミラーの変位量との関係を示す図である。

【図 10】実施の形態例に係る可変形状ミラーにおける Z e r n i k e 次数の形状に関する目標とした係数と実際に作られた Z e r n i k e 係数を比較した図である。

【図 11】実施の形態例に係る可変形状ミラーにおいて Z e r n i k e 係数を重ね合わせてミラー形状を制御できることを示す図である。

【図 12】実施の形態に係る眼底観察装置の光学系を示す図である。

【図 13】図 12 に示した眼底観察装置による観察結果を示す図である。

【図 14】他の例に係る模型眼による眼底観察結果を示す図である。

【図 15】図 14 の補償を行ったときの Z e r n i k e 係数を示す図である。

10

【図 16】他の例に係る模型眼による眼底観察結果を示す図である。

【図 17】従来の可変形状ミラーの構成を示す断面図である。

【図 18】図 17 に示した可変形状ミラーの作動の状態を示す断面図である。

【符号の説明】

【 0 0 4 4 】

1 0 . . . 可変形状ミラー

1 1 . . . シリコンメンブレンミラー部

1 2 . . . 電極

1 3 . . . スペーサ

1 4 . . . 多層 P C B 基板

20

1 5 . . . 金属フレーム

1 6 . . . ガラス窓

1 7 . . . 金属プレート

2 0 . . . シャックハルトマン波面センサー

2 1 . . . ハルトマンプレート

3 0 . . . ビーム伝搬光学系

3 1 . . . ビームスプリッタ

3 2 . . . 可動プリズム

3 3 . . . ダイクロイックミラー

3 4 . . . ビームスプリッタ

30

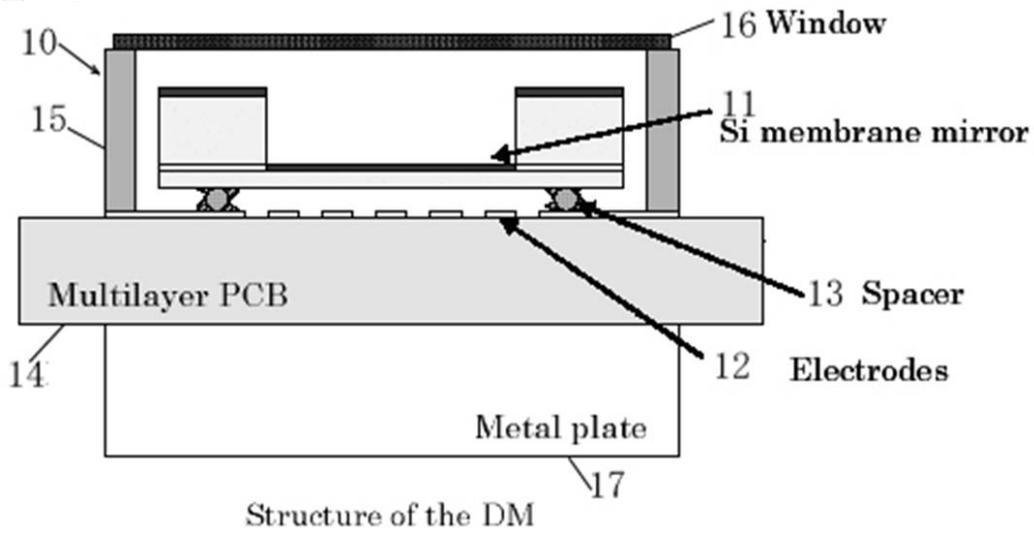
3 5 . . . レーザダイオード

3 7 . . . スーパーluminescentダイオード (S L D)

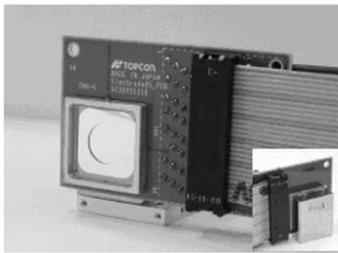
4 0 . . . 模型眼

4 1 . . . シンドリカルレンズ

【 図 1 】

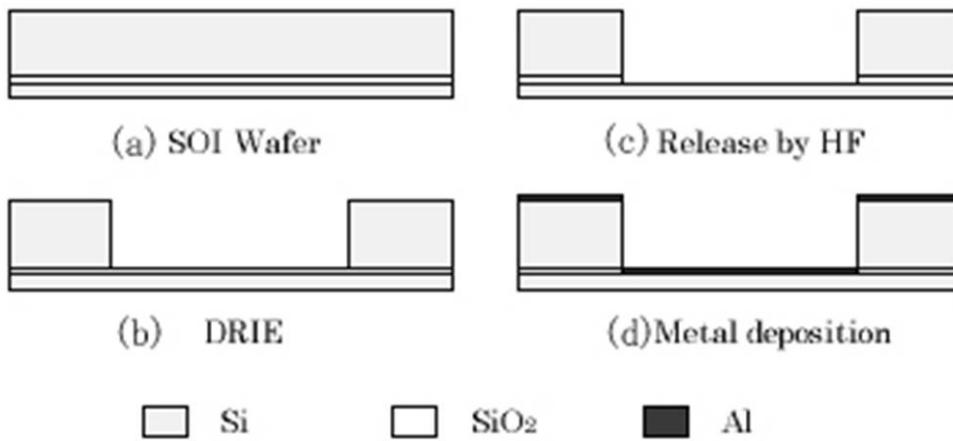


【 図 2 】



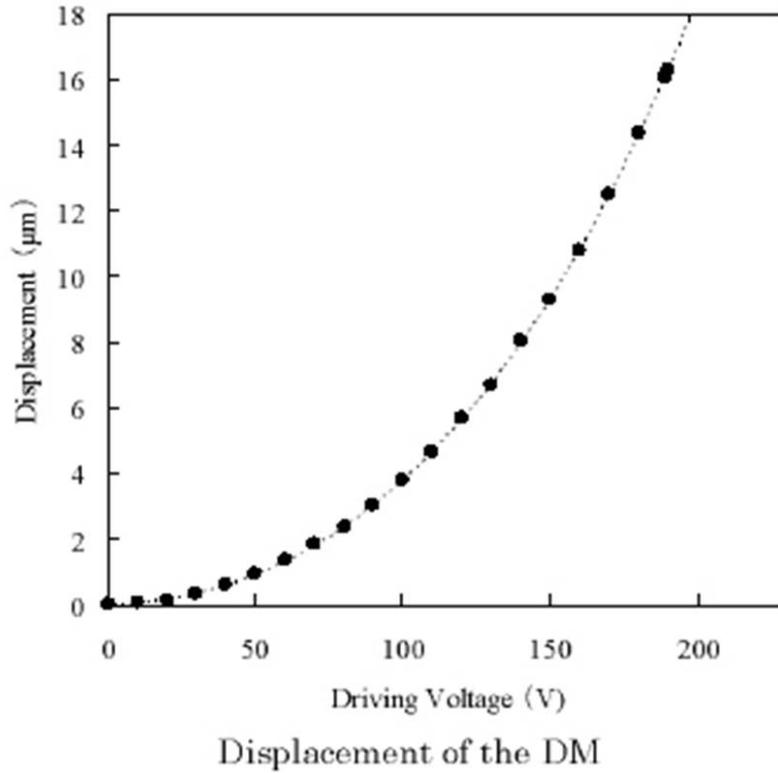
Appearance of the DM

【 図 3 】



Process flow of the membrane mirror

【 図 4 】

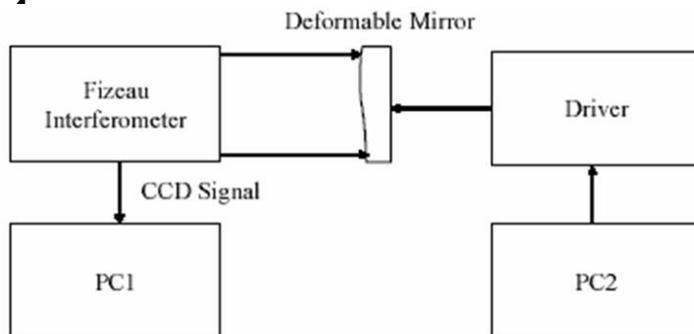


【 図 5 】

Table 1 Response Time

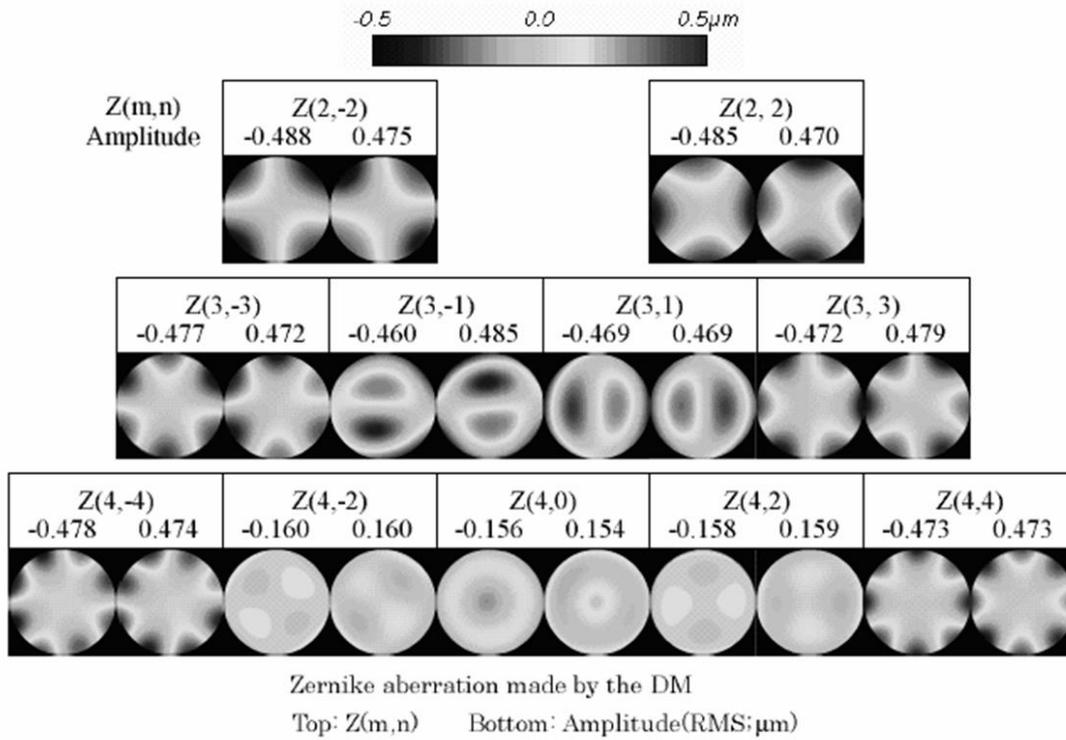
	Response Time [ms]
Rise time	9.7
Fall time	8.1

【 図 6 】



The block diagram of the mirror shape measurement

【 図 7 】

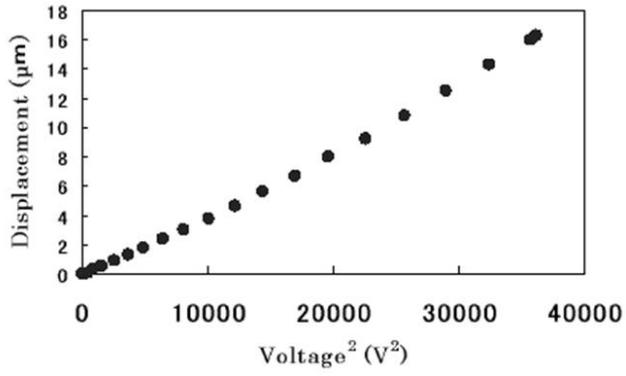


【 図 8 】

Target No.	A	B	C
Target Aberration map			
Aberration RMS	0.182 μm	0.701 μm	0.391 μm
Residual aberration			
Aberration RMS	0.100 μm	0.098 μm	0.093 μm

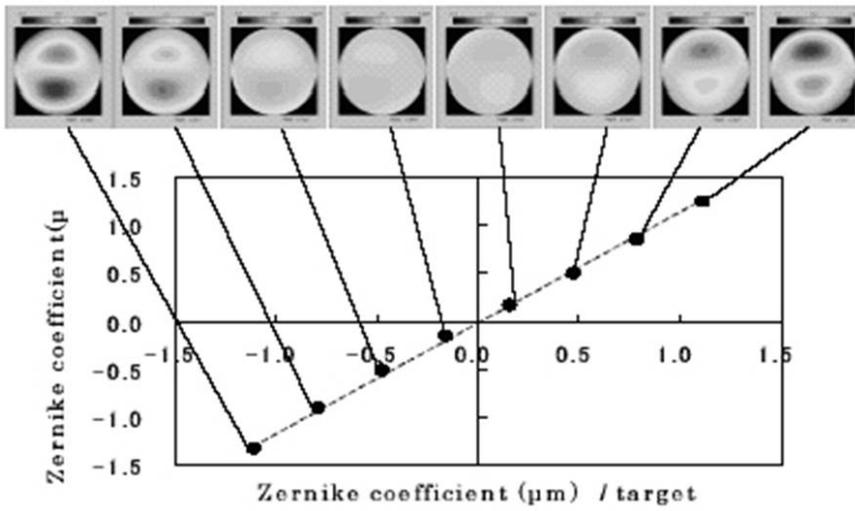
Examples of compensation of human eye aberrations

【 図 9 】



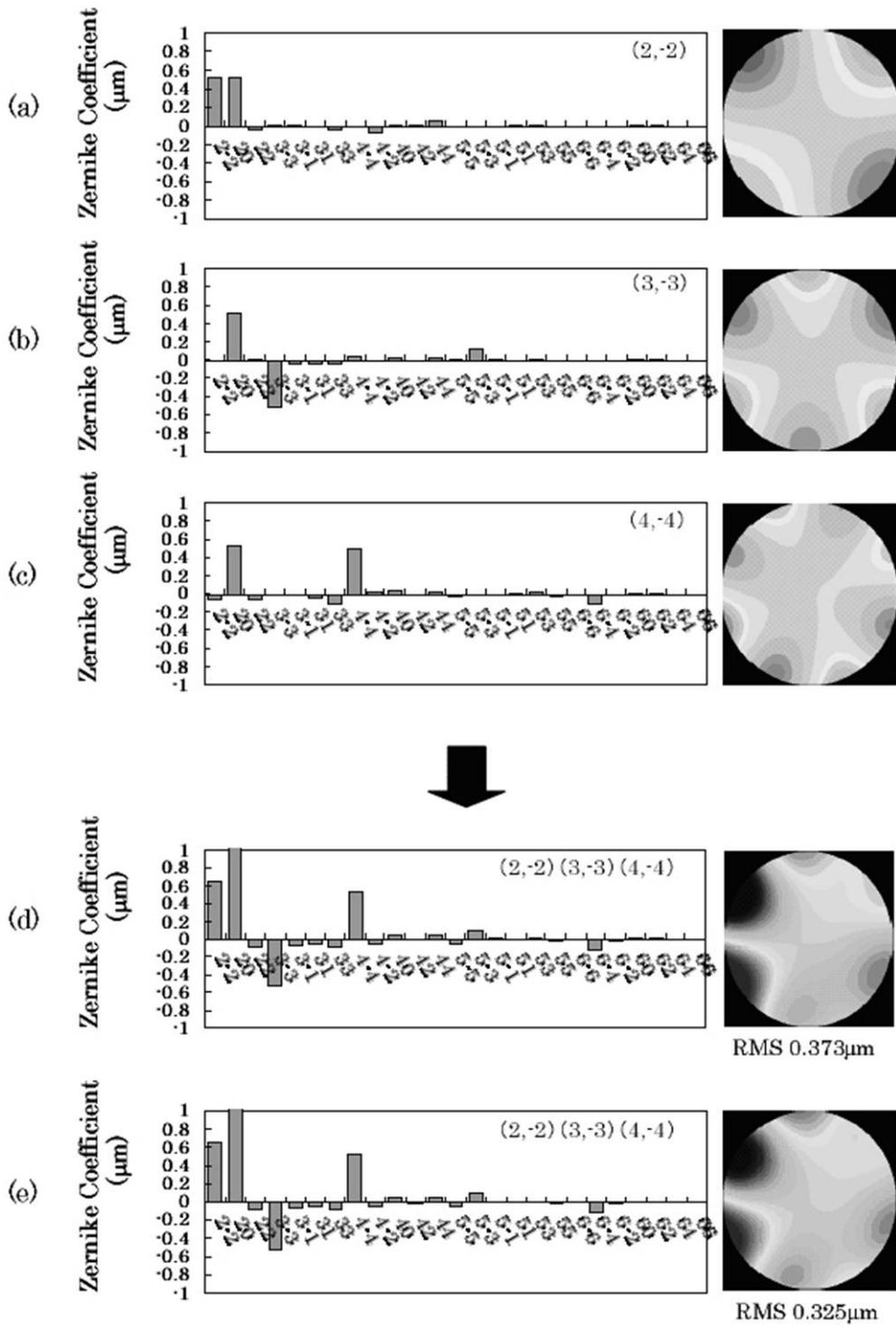
Displacement of the DM vs. the voltage square

【 図 10 】



The achieved Zernike coefficient s vs. their target

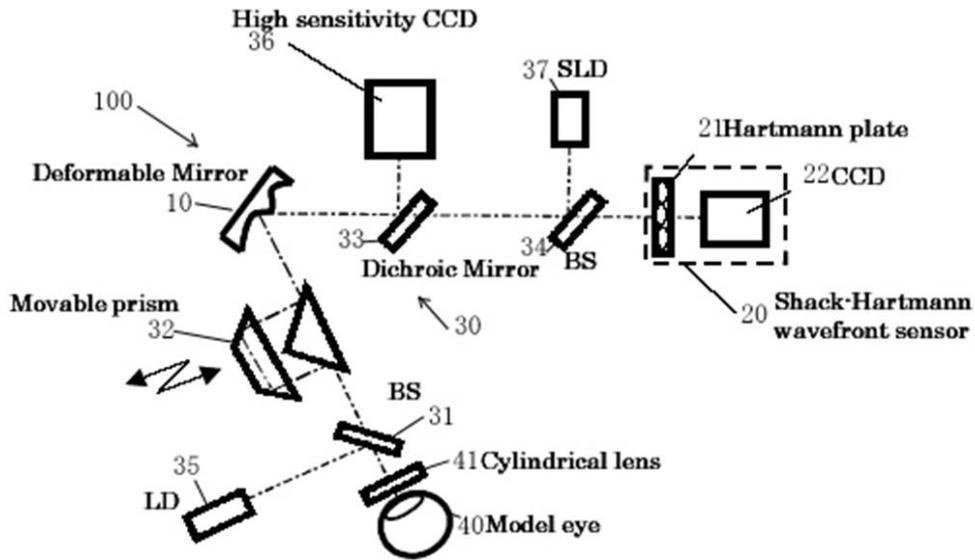
【 図 1 1 】



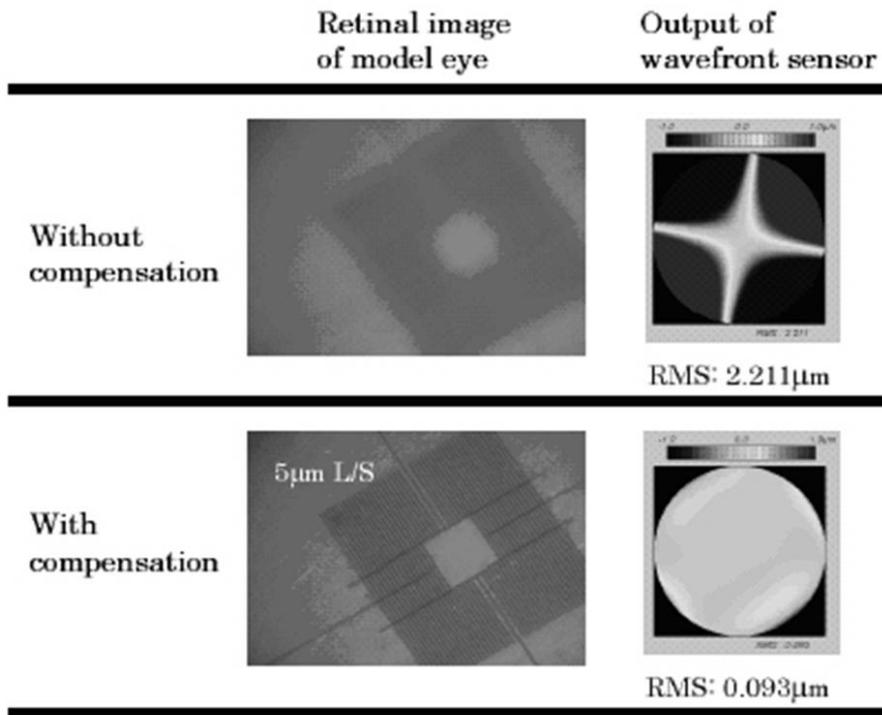
Aberration map which added three voltage arrangements

(a)+(b)+(c) = (d) : Experimental result, (e) : Calculation result

【 図 1 2 】

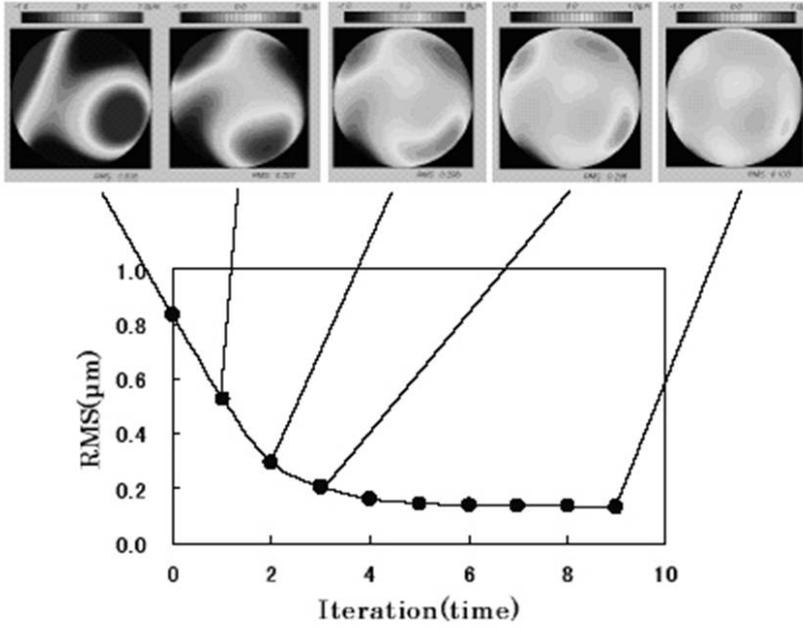


【 図 1 3 】



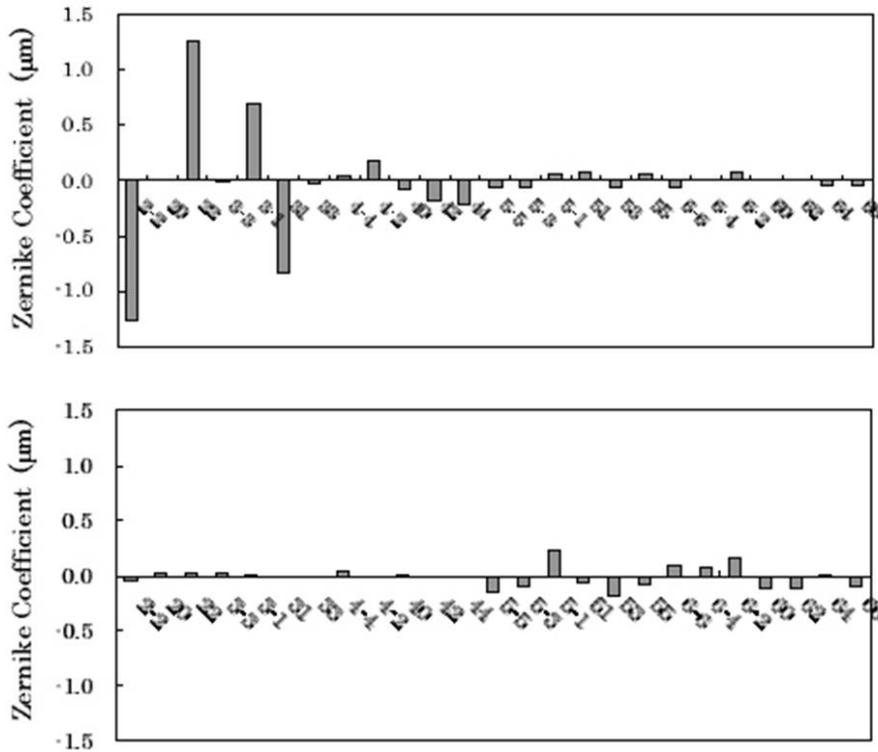
Compensation of the model eye's aberration

【 図 1 4 】



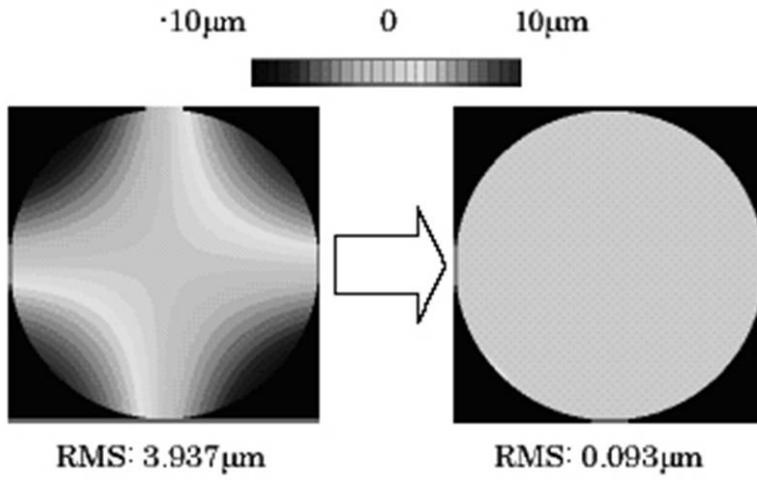
The progresses of RMS and aberration map

【 図 1 5 】



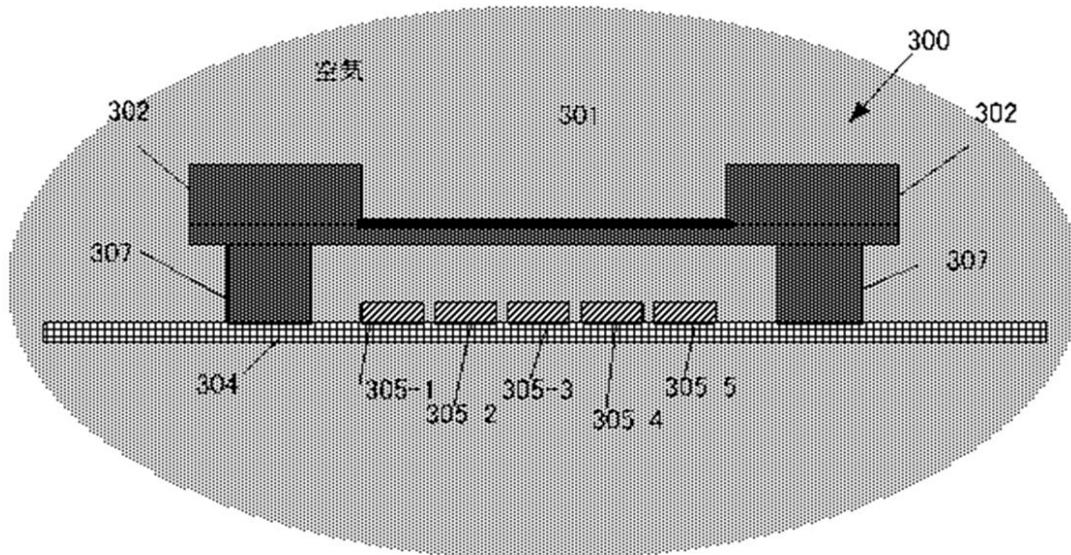
The progresses of RMS and aberration map
Top: Before compensation, Bottom: After compensation

【 図 1 6 】

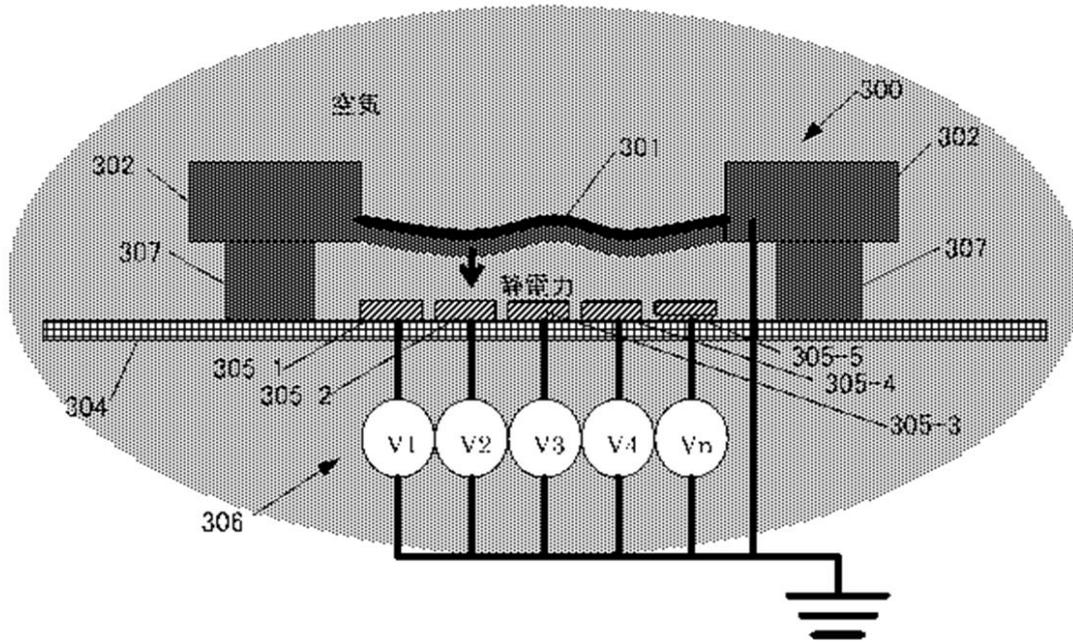


Compensation for 2-diopter cylindrical lens

【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
A 6 1 B 3/10 R

(72)発明者 齋藤 紀子
東京都板橋区蓮沼町7 5番1号 株式会社トプコン内

(72)発明者 峯岸 功
東京都板橋区蓮沼町7 5番1号 株式会社トプコン内

(72)発明者 小林 亮夫
東京都板橋区蓮沼町7 5番1号株式会社トプコン内

Fターム(参考) 2H041 AA12 AA23 AB14 AB38 AC06 AZ01
2H042 AA02 AA20 AA22 AA23 AA32 DA02 DA10 DA12 DA19 DB08
DD11 DD13 DE09