

(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2007-514179

(P2007-514179A)

(43) 公表日 平成19年5月31日(2007.5.31)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 17/08 (2006.01)	GO2B 17/08 A	2H052
GO2B 21/06 (2006.01)	GO2B 21/06	2H087
HO1L 21/027 (2006.01)	HO1L 21/30 515D	5F046

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 36 頁)

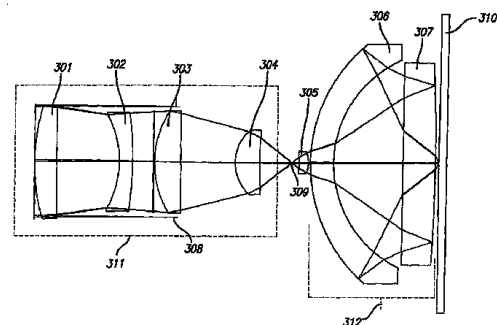
(21) 出願番号	特願2006-524719 (P2006-524719)	(71) 出願人	302058853
(86) (22) 出願日	平成16年8月18日 (2004. 8. 18)		ケーエルエー・テンコール・テクノロジー ズ・コーポレーション
(85) 翻訳文提出日	平成18年3月30日 (2006. 3. 30)		アメリカ合衆国・95035・カリフォル ニア州・ミルピタス・ワン テクノロジ ドライブ・(番地なし)
(86) 国際出願番号	PCT/US2004/026782	(74) 代理人	100075258
(87) 国際公開番号	W02005/022204		弁理士 吉田 研二
(87) 国際公開日	平成17年3月10日 (2005. 3. 10)	(74) 代理人	100096976
(31) 優先権主張番号	10/646, 073		弁理士 石田 純
(32) 優先日	平成15年8月22日 (2003. 8. 22)	(72) 発明者	シェーファー デービッド アール
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国 コネチカット フェアフ ールド ドレイク レーン 56

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域顕微鏡用カタジオプトリック結像系

(57) 【要約】

約266～1000nmの波長域や157nmから赤外に至る波長域といった各種の波長域に属する光エネルギー用の対物系を用いる検査システム及び方法を提供する。この対物系は、光を受け取る1個又は複数個の合焦レンズ素子(304)を含む合焦レンズ素子集合体(311)と、合焦レンズ素子集合体(311)により合焦された光エネルギーを受け取り中間的な光エネルギーを射出するよう方向設定された視野レンズ素子(305)と、視野レンズ素子(305)から中間的な光エネルギーを受け取り制御された光エネルギーを発生させるよう位置設定されたマンジャンミラー装置(312)とを備える。各合焦レンズ素子は約100mm未満と小径であり、その最大補正視野サイズは約0.15mmである。制御された光エネルギーは、検査する標本(310)に与える前に、油、水、シリコーンゲル等の浸漬媒に通してもよい。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

約 266 ~ 1000 nm の波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、

入射光エネルギーを受け取り合焦光エネルギーを出射するよう構成された合焦レンズ素子を 1 個又は複数個含む合焦レンズ素子集合体と、

合焦レンズ素子集合体から合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射するよう方向設定された視野レンズ素子と、

視野レンズ素子から中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを出射するよう位置設定されたマンジャンミラー装置と、

を備え、各合焦レンズ素子の直径が約 100 mm 未満で収差補正後における最大視野サイズが約 0.15 mm の対物系。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の対物系であって、約 266 ~ 1000 nm の波長域に属する波長を有する入射光エネルギーに対する比帯域幅が 0.5 超の対物系。

【請求項 3】

請求項 1 記載の対物系であって、マンジャンミラー装置が、大きく湾曲した凹面及び反射性の第 2 面を有する第 1 レンズ/ミラー素子と、その湾曲が最小限の曲面及び反射性の第 2 面を有する第 2 レンズ/ミラー素子と、を含む対物系。

【請求項 4】

請求項 1 記載の対物系であって、その NA 値が約 0.9 になるよう構成された対物系。

20

【請求項 5】

請求項 1 記載の対物系であって、合焦レンズ素子集合体に属するレンズ素子の直径が何れも約 25 mm 未満、視野レンズ素子の直径が約 25 mm 未満の対物系。

【請求項 6】

請求項 1 記載の対物系であって、全レンズ素子がある同じ単一のガラス素材から形成された対物系。

【請求項 7】

請求項 1 記載の対物系であって、合焦レンズ素子集合体、視野レンズ素子及びマンジャンミラー装置を含めた対物系全体での素子数が 7 以下の対物系。

30

【請求項 8】

請求項 7 記載の対物系であって、合焦レンズ素子集合体に属するレンズ素子の何れか又は視野レンズ素子にて 10 μ m の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が約 0.10 μ m 未満の対物系。

【請求項 9】

請求項 7 記載の対物系であって、マンジャンミラー装置にて 10 μ m の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が約 0.065 μ m の対物系。

【請求項 10】

請求項 1 記載の対物系であって、全素子数が 9 以下の対物系。

【請求項 11】

請求項 10 記載の対物系であって、使用している何れかのレンズ素子にて 10 μ m の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が約 0.10 μ m 未満の対物系。

40

【請求項 12】

請求項 11 記載の対物系であって、マンジャンミラー装置にて 10 μ m の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が約 0.065 μ m の対物系。

【請求項 13】

請求項 6 記載の対物系であって、上記単一のガラス素材が熔融シリカの対物系。

【請求項 14】

請求項 6 記載の対物系であって、上記単一のガラス素材が弗化カルシウムの対物系。

【請求項 15】

50

請求項 2 記載の対物系であって、収差補正された結果中心波長 633 nm で得られる比帯域幅が最大で約 0.9 に達する対物系。

【請求項 16】

請求項 2 記載の対物系であって、収差補正された結果中心波長 196 nm で得られる比帯域幅が最大で約 0.07 に達する対物系。

【請求項 17】

請求項 1 記載の対物系であって、複数のガラス素材から形成された対物系。

【請求項 18】

請求項 17 記載の対物系であって、上記複数のガラス素材に熔融シリカ及び弗化カルシウムが含まれる対物系。

【請求項 19】

請求項 1 記載の対物系であって、標本から約 45 mm の場所にフランジがある顕微鏡にて使用される対物系。

【請求項 20】

請求項 1 記載の対物系であって、標本から約 100 mm の場所にフランジがある顕微鏡にて使用される対物系。

【請求項 21】

請求項 1 記載の対物系であって、合焦レンズ素子の個数が 4 未満の対物系。

【請求項 22】

請求項 1 記載の対物系であって、合焦レンズ素子の個数が 6 未満の対物系。

【請求項 23】

請求項 1 記載の対物系であって、視野レンズ素子が自分とマンジャンミラー装置の間に中間像を形成する対物系。

【請求項 24】

約 157 nm から赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、

入射光エネルギーを受け取るよう構成された合焦レンズ素子集合体であって 1 個又は複数の合焦レンズ素子を含む合焦レンズ素子集合体と、

合焦レンズ素子集合体から合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射するよう方向設定された 1 個又は複数の視野レンズ素子と、

視野レンズ素子から中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを出射するよう位置設定されたマンジャンミラー装置と、

を備え、合焦レンズ素子及び視野レンズ素子が何れもその直径が約 100 mm 未満の素子であり且つマンジャンミラー装置が制御光エネルギーを標本に与えるときの NA 値が 0.65 超で視野サイズが約 0.15 mm である対物系。

【請求項 25】

請求項 24 記載の対物系であって、約 157 nm から赤外光域に至る波長域に属する波長を有する入射光エネルギーに対する比帯域幅が 0.5 超の対物系。

【請求項 26】

請求項 24 記載の対物系であって、上記マンジャンミラー装置が、大きく湾曲した凹面及び反射性の第 2 面を有する第 1 レンズ/ミラー素子と、その湾曲が最小限の曲面及び反射性の第 2 面を有する第 2 レンズ/ミラー素子と、を含む対物系。

【請求項 27】

請求項 26 記載の対物系であって、各レンズ素子の直径が何れも約 25 mm 未満の対物系。

【請求項 28】

請求項 24 記載の対物系であって、全レンズ素子がある同じ単一のガラス素材から形成された対物系。

【請求項 29】

請求項 24 記載の対物系であって、全素子数が 7 以下の対物系。

10

20

30

40

50

【請求項 3 0】

請求項 2 7 記載の対物系であって、何れかのレンズ素子単体で $10\text{ }\mu\text{m}$ の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が約 $0.10\text{ }\mu\text{m}$ 未満の対物系。

【請求項 3 1】

請求項 2 4 記載の対物系であって、カタジオプトリック素子集合体にて $10\text{ }\mu\text{m}$ の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が $0.065\text{ }\mu\text{m}$ の対物系。

【請求項 3 2】

請求項 2 4 記載の対物系であって、全レンズ素子数が 9 未満の対物系。

【請求項 3 3】

請求項 3 2 記載の対物系であって、何れかのレンズ素子にて $10\text{ }\mu\text{m}$ の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が約 $0.10\text{ }\mu\text{m}$ 未満の対物系。 10

【請求項 3 4】

請求項 3 2 記載の対物系であって、マンジャンミラー装置にて $10\text{ }\mu\text{m}$ の芯ズレが発生したときの最大光路誤差が $0.065\text{ }\mu\text{m}$ の対物系。

【請求項 3 5】

請求項 3 2 記載の対物系であって、全レンズ素子がある同じ単一のガラス素材から形成された対物系。

【請求項 3 6】

請求項 3 5 記載の対物系であって、上記単一のガラス素材が熔融シリカの対物系。

【請求項 3 7】

請求項 3 5 記載の対物系であって、上記単一のガラス素材が弗化カルシウムの対物系。 20

【請求項 3 8】

請求項 2 4 記載の対物系であって、収差補正された結果中心波長約 633 nm で得られる比帯域幅が最大で約 0.9 に達する対物系。

【請求項 3 9】

請求項 2 4 記載の対物系であって、収差補正された結果中心波長 196 nm で得られる比帯域幅が最大で約 0.07 に達する対物系。

【請求項 4 0】

請求項 2 4 記載の対物系であって、通常動作時におけるフランジ対物距離が約 45 mm 以下の顕微鏡のフランジ内に配置される対物系。 30

【請求項 4 1】

請求項 2 4 記載の対物系であって、通常動作時におけるフランジ対物距離が約 100 mm 以下の顕微鏡のフランジ内に配置される対物系。

【請求項 4 2】

請求項 3 1 記載の対物系であって、その NA 値が約 0.9 超の対物系。

【請求項 4 3】

約 157 nm から赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、

入射光エネルギーを受け取り合焦光エネルギーを出射する 1 個又は複数個の合焦レンズ素子と、 40

合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射する 1 個又は複数個の視野レンズ素子と、

中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを浸漬媒を介して標本に向け出射する 1 個又は複数個のマンジャンミラー素子と、

を備え、更に、合焦レンズ素子、視野レンズ素子及びマンジャンミラー素子が何れもその直径が約 100 mm 未満の素子であり、更にそれらが全てある同じ単一のガラス素材から形成された対物系。

【請求項 4 4】

請求項 4 3 記載の対物系であって、その視野サイズが約 0.15 mm の対物系。

【請求項 4 5】

請求項 4 3 記載の対物系であって、その N A 値が約 1 . 2 となるよう構成された対物系。

【請求項 4 6】

請求項 4 3 記載の対物系であって、使用している各レンズ素子の直径が約 2 5 m m 未満の対物系。

【請求項 4 7】

請求項 4 3 記載の対物系であって、通常動作時におけるフランジ対物距離が最小約 4 5 m m の顕微鏡にて使用される対物系。

【請求項 4 8】

請求項 4 7 記載の対物系であって、通常動作時におけるフランジ対物距離が最小約 1 0 0 m m の顕微鏡にて使用される対物系。 10

【請求項 4 9】

請求項 4 3 記載の対物系であって、ガラス素材を二種類だけ使用して構成された対物系。

【請求項 5 0】

請求項 4 3 記載の対物系であって、浸漬媒が水の対物系。

【請求項 5 1】

請求項 4 3 記載の対物系であって、浸漬媒が油の対物系。

【請求項 5 2】

請求項 4 3 記載の対物系であって、浸漬媒がシリコーンゲルの対物系。 20

【請求項 5 3】

請求項 4 3 記載の対物系であって、球面収差、軸方向色収差及び収差色変化が最小になるよう構成された対物系。

【請求項 5 4】

請求項 4 3 記載の対物系であって、上記 1 個又は複数個のマンジャンミラー素子が、合焦レンズ素子集合体にて発生する収差が補償されるよう球面収差、軸方向色収差及び収差色変化を発生させる対物系。

【請求項 5 5】

約 1 5 7 n m から赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、 30

入射光エネルギーを受け取り合焦光エネルギーを出射する 1 個又は複数個の合焦レンズ素子と、

合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射する 1 個又は複数個の視野レンズ素子と、

中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを浸漬媒を介して標本に向け出射する 1 個又は複数個のマンジャンミラー素子と、

を備え、更に、合焦レンズ素子、視野レンズ素子及びマンジャンミラー素子が何れもその直径が約 1 0 0 m m 未満の素子であり、更にそれらが全てある同じ単一のガラス素材から形成された対物系。

【請求項 5 6】 40

請求項 5 5 記載の対物系であって、その視野サイズが約 0 . 1 5 m m の対物系。

【請求項 5 7】

請求項 5 5 記載の対物系であって、上記 1 個又は複数個のマンジャンミラー素子が、大きく湾曲した凹面及びその湾曲が最小限の第 2 面を有するレンズ / ミラー素子を 1 個含み、このレンズ / ミラー素子の両面が反射性であり、それらの中央には光エネルギーが通過し得る小さな開口がある対物系。

【請求項 5 8】

請求項 5 5 記載の対物系であって、標本に対する N A 値が約 1 . 0 超の対物系。

【請求項 5 9】

請求項 5 5 記載の対物系であって、各レンズ素子の直径が約 2 5 m m 未満の対物系。 50

【請求項 6 0】

請求項 5 5 記載の対物系であって、通常動作時におけるフランジ対物距離が約 4 5 m m 以下の顕微鏡にて使用できる対物系。

【請求項 6 1】

請求項 5 5 記載の対物系であって、二種類以下のガラス素材を使用して構成された対物系。

【請求項 6 2】

請求項 6 1 記載の対物系であって、上記二種類以下のガラス素材に熔融シリカ及び弗化カルシウムが含まれる対物系。

【請求項 6 3】

請求項 5 5 記載の対物系であって、浸漬媒が水、油及びシリコーンゲルのうち何れかを含む対物系。

【請求項 6 4】

請求項 5 5 記載の対物系であって、その N A 値が約 1 . 2 となるよう構成された対物系。

【請求項 6 5】

標本を検査する方法であって、

約 1 5 7 n m から赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーを入射するステップと、

何れもその直径が約 1 0 0 m m 未満である 1 個又は複数個のレンズ素子を用いて入射光エネルギーを合焦光エネルギーへと合焦させるステップと、

合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーに変換するステップと、

中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを浸漬媒を介して標本に向け出射するステップと、

を有する方法。

【請求項 6 6】

請求項 6 5 記載の方法であって、約 0 . 1 5 m m の視野サイズがもたらされる方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本願は「高性能カタジオプトリック結像系」(High Performance Catadioptric Imaging System)と題する 2 0 0 3 年 5 月 7 日付米国特許出願第 1 0 / 4 3 4 3 7 4 号(発明者: David G. Shafer, et al.)の一部継続出願であり、この米国特許出願第 1 0 / 4 3 4 3 7 4 号は「高性能低コストカタジオプトリック結像系」(High Performance, Low Cost Catadioptric Imaging System)と題する 2 0 0 3 年 2 月 2 1 日付米国暫定特許出願第 6 0 / 4 4 9 3 2 6 号に基づく利益を享受する出願である。

【0 0 0 2】

本発明は、概略、光学的画像取得の分野に関し、より詳細には、顕微鏡的乃至微視的な撮影、検査、リソグラフィ等を使用されるカタジオプトリック光学系に関する。

【背景技術】

【0 0 0 3】

標本表面に現れている構造物を検査し又はその画像を取得すること(イメージング)ができる光学系は多数あり、また顕微鏡を用いてイメージングを行う分野もいろいろある。顕微鏡を用いたイメージングが行われるのは、例えば、生物学、度量衡学、半導体検査等、やや込み入った検査分野であり、そうした分野では微小エリア乃至微小構造物を高解像度でイメージングできる性能が求められる。また、顕微鏡を用いたイメージングでは様々な結像モードを使用できる。様々な結像モードがあるのは標本上の構造物に様々な種類があるためである。結像モードは、狙っている対象物の種類に応じ、その種の構造物から明確な像を取得できるように選択する。なお、結像モードの例としては、明視野、暗視野、微分干渉、共焦点、浸漬等がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

また、UV（紫外）波長域向け広帯域結像型顕微鏡があれば、多くの分野で有益に使用できるであろう。例えばOCT（optical coherence tomography：光干渉断層計）は生体組織断面をイメージングする装置として知られており、OCTにより得られる像の縦方向解像度は、使用光の帯域幅に反比例する光干渉距離（light coherence length）により決定づけられている。そのため、OCTにて広帯域顕微鏡を使用すること、ひいては光干渉距離を小さくし画像の縦方向解像度を精細にする（高める）ことができれば、有益である。このように、UV波長域広帯域イメージング技術は、縦方向解像度や横方向解像度が高い像が得られる技術であると見込まれている。

【 0 0 0 5 】

400nmより短い波長を使用し顕微鏡で広帯域イメージングを実現するに当たり、肝要な光学部品の一つは結像用の光学系乃至結像系即ち対物系（本願では単に「対物系」と呼ぶ）である。従来の対物系の中にはUV波長域で利用できるものもあり、そのなかには下は340nmに至る波長の光を通すことができるものもあるが、光の波長が400nm未満の領域では不十分な結像精度しか得られない。それは、その種の対物系の主たる用途が蛍光イメージングであるからである。蛍光イメージングとは、そのスペクトラムが340nm～可視光域に属する励起光によってマーカー染料中の蛍光成分を励起するイメージング手法であり、その典型的な使用波長域は可視光域である。そのため、蛍光イメージング用対物系に対する性能要求は可視光域を基準として画定されるから、UV波長域では結像精度が不十分になる。

【 0 0 0 6 】

また、400nmより短波長側で広帯域に亘り十分な性能を呈する対物系もわずかながある。しかしながらその何れも標準的な顕微鏡システム用の対物系としては使用できないものである。即ち、大きすぎたり、NA（numerical aperture：数値開口乃至開口率）値が不十分であったり、視野サイズが不十分であったりする。

【 0 0 0 7 】

対物系のNA値とは、一定対物距離におけるその対物系の集光能力及び標本細部分解能力を表す数値であり、その対物系若しくはその構成部品に入射するメリジオナル光線又は当該対物系若しくはその構成部品から出射するメリジオナル光線の最大円錐頂角の正弦値に、その円錐の頂点の所在場所を満たしている媒体の屈折率を乗ずることによって、求められる。大NA光学系を対物系として使用できれば、標本上のより小さな構造物を解像できる等の検査上望みすべき効果が得られるだけでなく、広角度に亘り散乱光を集光できるため暗視野環境での性能を高めることができる。

【 0 0 0 8 】

ここに、何れもShaffer et al. に付与された米国特許に係る特許文献1及び2に記載の対物系は、UV波長域で強力に収差補正された大NA広帯域カタジオプトリック光学系である。図1には特許文献1に示されている発想によるカタジオプトリック装置の典型的な構成100を、また図2には特許文献2に示されている発想によるカタジオプトリック装置の典型的な構成200を、それぞれ示す。図1は特許文献1の図1と、図2は特許文献2の図4と、類似した図である。

【 0 0 0 9 】

まず、Shaffer et al. に係る特許文献1に記載されている対物系は、UV波長域で超広帯域イメージングを実現可能な大NA対物系である。最大約0.9にも及ぶ大きなNA値を有するこの対物系によれば、明視野モードを用いて広帯域でイメージングを行うことができ、また暗視野モードを用いて複数の波長でイメージングを行うことができる。しかしながら、図1に示した如き対物系100には幾つかの問題点がある。第1に、大きく湾曲しているカタジオプトリック素子の中央部の孔内に視野レンズ集合体を実体配置する必要があるため、製造が面倒になりがちでありまた値もはりがちである。第2に、この対物系100においては視野レンズ素子同士を糊付けしなくてはならず、そのため光路上に糊付け面が何個か介在することとなるのに、365nm未満の波長で使用できし

10

20

30

40

50

かも内部焦点における光強度レベルに耐え得るほど信頼度が高い糊などというものは普通は実現することができない。第3に、この対物系100におけるレンズ素子は視野面の非常に近くに配置されるため、非常に高い水準の(ほとんど完全というべき水準の)表面品質及びバルク素材品質を有するものでないと画像品質の劣化を避けられない。第4に、この対物系100を構成する素子特にカタジオプトリック素子集合体に属する素子の直径は標準的な顕微鏡用対物系よりも普通は大きくなるが、素子直径が大きいと検査システムへの組込が難しくなり製造コストが高むことが多い。

【0010】

次に、図2に示されている対物系200も概ねUV波長域で超広帯域イメージングを実現可能な大NA対物系である。最大約0.9にも及ぶ大きなNA値を有するこの対物系200によれば、明視野モードを用いて広帯域でイメージングを行うことができ、暗視野モードを用いて複数の波長でイメージングを行うことができ、しかも可変焦点チューブレンズを用いれば倍率を大きく変化させることができる。しかしながら、そのカタジオプトリック素子集合体にて大きめの軸上球面収差(on-axis spherical aberration)が発生すること等を考慮すると、この図に示した対物系200においては、その視野レンズ集合体における公差を非常に厳しくする必要や、発生した軸上球面収差をその後段の屈折レンズ素子により補正する必要があるといえる。更に、この図に示した対物系200はやや大きすぎ、そのため素子特にカタジオプトリック素子集合体に属する素子の光機械実装手順乃至形態が込み入りがちである。

【0011】

更に、図1及び図2に示した大NA対物系100又は200を顕微鏡用として使用するには、顕微鏡の特質に由来する幾つかの厳しい条件をクリアしなければならない。まず、通常、標本からその装着用フランジまでの距離(フランジ対物距離)の上限は45mmである。顕微鏡のタレットに装着できる対物系は大抵はその直径が40mm以内のものに限られる。通常、対物系を顕微鏡タレット内にネジ止めするのに使用されるネジ山のピッチは通常は20mm、25mm及び32mmのうち何れかに限られる。そして、顕微鏡用対物系の多くは屈折型素子だけで構成された全屈折型対物系であるが、全屈折型対物系で使用する波長は使用可能なガラス素材による制約を受ける。

【0012】

標本の顕微鏡検査向けに開発された光学装置は他にもあるが、そうした光学装置には共通する欠点乃至制約が見られる。総じて、高精度検査環境では長中心波長対物系ではなく短中心波長対物系を用いる方が有利である。例えば半導体ウェハのような多層標本を検査する場合、短波長であればその標本を高い光学的解像度で検査できるため、その上層にある欠陥をより高い確率で且つ相互に分離して検知でき、また検知した欠陥の特性・特徴をより明確に判別決定できる。加えて、特に照明用光源としてアークランプを用いる場合、使用できる帯域ができるだけ広い対物系を用いることが望ましい。しかしながら、短波長域で広帯域をカバーできる全屈折型対物系を実現するのは難しい。それは、高透過率で色収差を十分に補正できるガラス素材がほとんどないためである。かといって狭帯域対物系では、使用可能光パワー値が低く検査対象面上の薄膜による干渉が多くなりがちであるため、検査用には望ましくない。

【0013】

また、標準的な顕微鏡用対物系におけるフランジ対物距離は45mm以内であるのに、これまでに実現されているカタジオプトリック対物系にはこの条件を満足できないものが多い。仮に、そうしたカタジオプトリック対物系を使用するとしたら、顕微鏡の光学系をやや特殊な光学系、即ちフランジ対物距離が60mmを超えまたレンズ直径が60mmを超える特殊な対物系を使用可能な光学系としなければならない。そのため、標準的な顕微鏡用対物系と併用でき標準的な顕微鏡用タレット内に物理的に組み込むことができる小型対物系を実現することも、囑望されている。しかしながら、これまでに知られている小型対物系のNA値は高々0.75、視野サイズも高々0.12mm、帯域幅も高々10nmと狭小である。また、こうした小型対物系の代表例はシュバルツシルト方式を用い性能向

10

20

30

40

50

上を狙ってカタジオプトリック素子集合体内に何個かのレンズ素子を付加したものであるが、それがため普通はその作動距離が8mmを超えてしまう。勿論、シュバルツシルト方式の小型対物系における作動距離を短くすることも可能でありそれによってその対物系の直径を更に小さくすることが可能ではあるものの、その引替として中央暗部 (central obscuration) が広くなり対物系としての性能が大きく劣化してしまう。

【0014】

更に、固有収差 (intrinsic aberration) の少ない対物系、例えば単色収差及び色収差双方を強力に自己補正 (self correction) でき、従前の自己補正型結像系に比べ配置公差が緩い自己補正型対物系も望まれている。なかでも、製造公差例えばレンズ素子芯ズレ公差 (lens centering tolerance/lens decenter tolerance) が緩い対物系を実現できれば、特に有益である。更に、レンズ素子表面への入射角を抑えることは光学被膜の性能を高めまた製造を効率化する上でとみに有益であり、レンズ素子表面への入射角を抑えることによって一般に製造公差が緩くなる。

10

【0015】

従って、従来公知の対物系が有している前掲の各問題点が解消された顕微鏡用光学系を実現できれば、またそうした問題点を呈する装置に比べ優れた機能を有する光学検査システムを提供できれば、有益であるといえよう。

【0016】

【特許文献1】米国特許第5717518号明細書

【特許文献2】米国特許第6483638号明細書

20

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明の第1実施形態に係る対物系は、約266~1000nmの波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、入射光エネルギーを受け取り合焦光エネルギーを出射するよう構成された1個又は複数個の合焦レンズ素子を含む合焦レンズ素子集合体と、合焦レンズ素子集合体から合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射するよう方向設定された視野レンズ素子と、視野レンズ素子から中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを出射するよう位置設定されたマンジャンミラー装置と、を設けると共に、各合焦レンズ素子の直径を約100mm未満とし、収差補正後における最大視野サイズが約0.15mmになるようにしたものである。

30

【0018】

本発明の第2実施形態に係る対物系は、約157nmから赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、入射光エネルギーを受け取るよう構成された合焦レンズ素子集合体であって1個又は複数個の合焦レンズ素子を含む合焦レンズ素子集合体と、合焦レンズ素子集合体から合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射するよう方向設定された1個又は複数個の視野レンズ素子と、視野レンズ素子から中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを出射するよう位置設定されたマンジャンミラー装置と、を設けると共に、合焦レンズ素子及び視野レンズ素子を何れもその直径が約100mm未満の素子とし且つマンジャンミラー装置が制御光エネルギーを標本に与えるときのNA値を0.65超にまた視野サイズを約0.15mmにしたものである。

40

【0019】

本発明の第3実施形態に係る対物系は、約157nmから赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、入射光エネルギーを受け取り合焦光エネルギーを出射する1個又は複数個の合焦レンズ素子と、合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射する1個又は複数個の視野レンズ素子と、中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを浸漬媒を介して標本に向け出射する1個又は複数個のマンジャンミラー素子と、を設けると共に、合焦レンズ素子、視野レンズ素子及びマンジャンミラー素子を何れもその直径が約100mm未満の素子とし、更にそれらを全てある同じ単一のガラス素材から形成したある同じガラス素材から形成したものである。

50

【 0 0 2 0 】

本発明の第4実施形態に係る対物系は、約157nmから赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーが入射される対物系であって、入射光エネルギーを受け取り合焦光エネルギーを出射する1個又は複数個の合焦レンズ素子と、合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーを出射する1個又は複数個の視野レンズ素子と、中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを浸漬媒を介して標本に向け出射する1個又は複数個のマンジャンミラー素子と、を設けると共に、合焦レンズ素子、視野レンズ素子及びマンジャンミラー素子を何れもその直径が約100mm未満の素子とし、更にそれらを全てある同じ単一のガラス素材から形成したある同じガラス素材から形成したものである。

【 0 0 2 1 】

本発明の第5実施形態に係る方法は、標本を検査する方法であって、約157nmから赤外光域に至る波長域に属する波長を有する光エネルギーを入射するステップと、何れもその直径が約100mm未満である1個又は複数個のレンズ素子を用いて入射光エネルギーを合焦光エネルギーへと合焦させるステップと、合焦光エネルギーを受け取り中間光エネルギーに変換するステップと、中間光エネルギーを受け取り制御光エネルギーを浸漬媒を介して標本に向け出射するステップと、を有する。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 2 】

以下、本発明について別紙図面を参照しながら詳細に説明する。本件技術分野における習熟者（いわゆる当業者）であれば、以下の説明及び図示を参照することにより、上述したのももそれ以外のものも含めて本発明の実施形態を明瞭に認識できるであろう。

【 0 0 2 3 】

なお、本発明についての以下の図示説明は例示的な性格のものであり、趣旨限定的な性格のものではない。

【 0 0 2 4 】

本発明の一実施形態に係るカタジオプトリック対物系は、その収差補正帯域が266～1000nmの波長域で且つ形成に使用されたガラス素材が一種類の（性能向上につながる場合は複数種類の）カタジオプトリック対物系であり、その有益さが特に明らかになるのは顕微鏡の分野にて用いられた場合である。図3に、本発明の一実施形態に係る対物系を示す。この図に示すカタジオプトリック対物系は、UV及び可視光の両スペクトル域に跨る広い帯域、即ち約0.266～1.000μmの波長域に属する光を結像できるよう構成されており、従来に比べそのNA値が大きく且つ対物視野が広い対物系である。本対物系はシュブマンの原理に基づき構成されており、更にオフナー式視野レンズ素子を併用して軸方向色収差（axial color aberration）及び一次横方向色収差（first order lateral color aberration）を補正するようにしたものである。図上明らかなように、本実施形態では、視野レンズ集合体305の位置を中間像309の位置からわずかにずらすことによって、性能を向上させている。

【 0 0 2 5 】

図3中のカタジオプトリック素子集合体312はマンジャンミラー装置であり、何れも反射被膜付きのレンズ素子であるマンジャンミラー素子307及び凹球面反射素子306から構成されている。これらマンジャンミラー素子307及び凹球面反射素子306の中心部には光学的な開口即ち反射素材のない部分が形成されているため、標本乃至対象物310から到来する光線はまずマンジャンミラー素子307を通り抜け、凹球面反射素子306に設けられている反射性の第2面に内側から入射してマンジャンミラー素子307の反射面方向に反射され、そして凹球面反射素子306及び視野レンズ集合体305を通り抜けた場所に中間像309を形成することとなる。なお、この図中で視野レンズ集合体305を構成している視野レンズ素子の個数は1個であるが、複数個のレンズ素子を用いて視野レンズ集合体305を構成することもできる。

【 0 0 2 6 】

また、視野レンズ集合体305の方向から到来する光線を中間像309を含め集光する

10

20

30

40

50

合焦レンズ素子集合体 3 1 1 は、複数個のレンズ素子（図では 4 個のレンズ素子 3 0 1、3 0 2、3 0 3 及び 3 0 4）から構成されており、それらレンズ素子は皆ある同じ素材から形成されている。

【 0 0 2 7 】

図 3 に示した実施形態向けのレンズ処方を表 1 に示す。

【 表 1 】

表 1. 図 3 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス
物体空間（光源）	無限大	無限大	
1	無限大	15.612	
絞り	無限大	-15.612	
3	21.214	2.500	熔融シリカ
4	無限大	6.866	
5	-10.633	1.500	熔融シリカ
6	-36.469	2.334	
7	無限大	0.100	
8	10.162	3.000	熔融シリカ
9	無限大	5.985	
10	4.481	2.750	熔融シリカ
11	30.793	4.432	
12	-5.645	1.000	熔融シリカ
13	-2.872	0.250	
14	16.802	2.593	熔融シリカ
15	12.273	7.711	
16	無限大	3.603	熔融シリカ
17	-181.041	-3.603	鏡面
18	無限大	-7.711	
19	12.273	-2.593	熔融シリカ
20	16.802	2.593	鏡面
21	12.273	7.711	
22	無限大	3.603	熔融シリカ
23	-181.041	0.375	
像空間（標本）	無限大		

10

20

30

【 0 0 2 8 】

いわゆる当業者であれば容易に認め得る通り、表 1 最左欄に記されている数字は図 3 に示した対物系より左側にある不図示部材を含めて左側から数えた面番号を表している。例えば、レンズ素子 3 0 1 の左面は表 1 でいうと面 3 に該当し、右面は面 4 に該当する。面 3 の曲率半径は 2 1 . 2 1 4 mm、面 4 の曲率半径は無限大（平坦）であり、レンズ素子 3 0 1 の厚みは 2 . 5 mm、面 4 とその次にくる面との間隔は 6 . 8 6 6 mm、素材は熔融シリカ、というように読む。

40

【 0 0 2 9 】

図 3 に示した対物系における N A 値は約 0 . 9 0 又はそれ以上の値となる。本実施形態を含め、本願記載の実施形態は例外なく 0 . 6 5 超という顕著に大きな N A 値を有している。

【 0 0 3 0 】

図 3 中の合焦レンズ素子集合体 3 1 1 は、入射してくる光エネルギーを受け取り合焦させつつ出射して中間像 3 0 9 を形成する機能を有している。視野レンズ集合体 3 0 5 は、合

50

焦レンズ素子集合体 311 から出射され中間像 309 として合焦された光エネルギーを受け取り中間的な光エネルギーとして出射する機能を有している。マンジャンミラー装置であるカタジオプトリック素子集合体 312 はこの中間的な光エネルギーを受け取り制御された光エネルギーを標本 310 に向け出射する。標本 310 は制御された光エネルギーを反射する。即ち反射光路は標本 310 にて始まる。マンジャンミラー装置たるカタジオプトリック素子集合体 312 は標本 310 により反射された光エネルギーを受け取り出射する。視野レンズ集合体 305 は反射された光エネルギーを受け取り中間像 309 として合焦させる。合焦レンズ素子集合体 311 はこの合焦された最終的な光エネルギーを受け取り出射する。その結果現れる入射瞳 308 は本対物系内にある内部瞳の像である。なお、本対物系の NA 値を制限乃至変更するには、この入射瞳 308 に開口乃至マスクを配置しておけばよい。

10

【0031】

また、図 3 及び表 1 に示した対物系はある単一のガラス素材から形成されている。ここではその素材は熔融シリカであるが、他種ガラス素材を用いることもできる。本対物系で熔融シリカを使用しているのは、190 nm ~ 赤外波長という広い波長域に亘ってその光吸収率が低い素材だからであり、他種素材を使用する場合もこの条件を満たすものを選ぶ必要がある。熔融シリカを用いた対物系は、この波長域内であればどのような中心波長向けにも構成できる。例えば、193 nm、198.5 nm、213 nm、244 nm、248 nm、257 nm、266 nm、308 nm、325 nm、351 nm、355 nm、364 nm 等の波長で発振するレーザ光源向けや、190 ~ 202 nm、210 ~ 220 nm、230 ~ 254 nm、285 ~ 320 nm、365 ~ 546 nm 等のスペクトル

20

【0032】

更に、本対物系を構成するレンズ素子での最大直径は 26 mm であり、この波長域で従来使用されていた対物系に比べると顕著に小さくなっている。このように小型の対物系はその特性面で際だって特徴的且つ有益であり、そのフランジ対物距離が約 45 mm の標準的な顕微鏡タレットにも装着できる。しかもこの対物系は、約 0.90 という大きな NA 値及び約 0.4 mm という大きな視野サイズを有しており、その収差補正帯域が約 285 ~ 313 nm と広く、その多色波面収差 (polychromatic wavefront error) が約 0.067 波長未満と小さな対物系である。

30

【0033】

なお、対物系における視野サイズとは、標本のうち最小限の光学品質を保ちつつ結像できる部分のサイズのことであり、一般に、大抵の用途で視野サイズが大きいものが重宝される。

【0034】

どのような光学系でもいえることであるが、本対物系にも性能に関わるトレードオフ関係がある。本対物系の性能をその所期用途に応じた性質のものにするには、そうしたトレードオフ関係を利用すればよい。例えば、帯域幅、視野サイズ、NA 値及び対物系サイズといった特徴的性能のうち何個かを犠牲にし残りの何個かを増強することができる。どれを犠牲にしてどれを増強するかは用途に応じて決めればよい。例えば NA 値を小さくすることによって、製造公差を緩くすると共に対物系外径を小さくし、視野サイズを大きくすると共に帯域幅を拡げ、(同一性能を保ちつつ) 構成光学素子数を減らすことができる。逆に、NA 値を大きくするには一般に視野サイズや帯域幅を抑えればよく、それに伴い対物系を構成する素子の直径がわずかに大きくなる。なお図 3 に示した対物系の視野サイズは直径で 0.150 mm である。

40

50

【 0 0 3 5 】

更に、図 3 に示した対物系によれば、約 2 6 6 ~ 1 0 0 0 n m という設定帯域内での固有多色波面収差 (intrinsic polychromatic wavefront aberration) が従来より小さくなる。波面収差が小さければ製造上の余裕乃至製造上の容易さが増し、それでいて対物系製品の性能は従来より高くなる。また、本対物系は自己補正型でもある。本願では、自己補正という用語を、その対物系に何ら光学部品を付加せずとも収差を補正でき設計仕様を充足できる、という意味で使用している。自己補正機能があるため、本対物系と他の自己補正型結像系とを位置合わせして行う光学計測試験は単純乃至簡便なものとなる。勿論、結像に関わる光学系乃至光学部品を付加して残留収差 (residual aberration) を補正することもでき、それによって帯域幅や視野サイズ等の光学的仕様をより高水準にすることができる。 10

【 0 0 3 6 】

また、本対物系の利点の一つはその製造公差が従来より緩いこと、詳細にはレンズ素子芯ズレ公差が従来より緩いことである。個別のレンズ素子に対する芯ズレ公差が緩いということはその対物系の製造条件が傾向として単純になるということである。製造時に発生するレンズ素子芯ズレは他種収差残留無しに補正するのが困難な軸上コマ収差 (on-axis coma) を引き起こすものであるが、本対物系では、カタジオプトリック素子集合体 3 1 2 における収差や合焦レンズ素子集合体 3 1 1 における収差を注意深くバランスさせることによって、そのレンズ素子やミラー素子の芯ズレ感受性を抑えることができる。更に、図 3 に示した対物系では、視野レンズ集合体 3 0 5 及び合焦レンズ素子集合体 3 1 1 における必要補正量をうまくバランスさせることによって、カタジオプトリック素子集合体 3 1 2 を含めた合計収差 (total aberration) を最善水準とすることができる。 20

【 0 0 3 7 】

本対物系における芯ズレ感受性は低く、何ら収差補正器を付加していないにもかかわらず、1 0 μ m の芯ズレによって各素子で生じる収差が高々約 0 . 2 7 波長に留まる。なかでもカタジオプトリック素子集合体 3 1 2 は特に芯ズレ感受性が低く、凹球面反射素子 3 0 6 とマンジャンミラー素子 3 0 7 との芯ズレが 1 0 μ m あっても、それにより発生する収差は高々 0 . 1 5 波長である。図 3 に示した対物系における波長 = 約 3 1 3 n m での平均公差は、収差でいって約 0 . 1 5 波長と緩いものである。カタジオプトリック素子集合体 3 1 2 に属する素子間で公差を更にバランスさせれば、芯ズレ感受性をより良好な水準にすることもできる。 30

【 0 0 3 8 】

また、芯ズレが小さい場合、傾向として、その芯ズレによって生じる光路長誤差は波長に対して概ね直線的に変化するので、使用波長が変われば芯ズレ公差も変わる。例えば、芯ズレが 1 0 μ m である場合の光路長誤差が約 0 . 0 5 3 2 μ m であるとする。この光路長誤差は波長 = 2 6 6 n m で動作している対物系では 0 . 2 波長分の収差に相当するのに、波長 = 3 6 5 n m で動作している対物系ではたった 0 . 1 5 波長分の収差に相当するに過ぎない。このように、使用波長によって芯ズレ公差は変わる。

【 0 0 3 9 】

このように、図 3 に示した対物系においては、同様の環境で使用される従来のカタジオプトリック対物系に比べまた大抵の標準的な屈折型対物系に比べ芯ズレ公差が緩くなるだけでなく、ガラス素材屈折率公差も従来より緩くなる。ガラス素材屈折率公差が緩くなる主たる理由は、屈折率が違う二種類のガラス素材を利用して色収差を補正する手法を採らず、使用するガラス素材を一種類に絞りつつも色収差を抑えられるようにしたからである。更に、従来の対物系、即ち屈折率特性が異なる複数種類のガラス素材を用い色収差補正を行う対物系では、温度による屈折率特性の変化が素材毎にバラバラであるため、設計の際に基準とした温度以外の温度では色収差補正量が所期とは違う量になり、これにより全体性能の低下が生じていた。これに対して、本対物系は、使用しているガラス素材が一種類であるため温度変化に対する感受性が低い。 40

【 0 0 4 0 】

また、本願にて実施形態として記載されている対物系は、明視野 (bright field) モード、各種の暗視野 (dark field) モード、共焦点 (confocal) モード、微分干渉 (differential interference contrast) モード、偏向 (polarization contrast) モードを含め、各種の照明 / 結像モードに対応できる。

【0041】

顕微鏡用の対物系で最もよく用いられるのは明視野モードであり、明視野モードによる照明の利点は鮮明な像が得られることである。本願に実施形態として記載されている対物系で明視野モードによる照明を実施した場合、像の寸法値にその対物系の倍率を乗じて得られる寸法値即ち標本上における特徴的構造物の寸法値を、精度よく知ることができる。また、当該対物系及びその光学構成部品は特に支障なく画像比較及び処理アルゴリズムと組み合わせることができるため、対象物検知 / 分類処理をコンピュータ化できる。なお、明視野モードを実施する際に使用される光源は、通常はそのスペクトルが広帯域に広がった非コヒーレント光源であるが、レーザ光源を用いて照明してもかまわない。本発明を実施するに当たり、照明系の構成は使用する光源の種類によってやや変わる。

10

【0042】

光学的セクショニングにより対象物 (標本) 上の構造物の高さの違いを解像するのに用いられるのは共焦点モードである。大抵の結像モードでは構造物の高さ変化を検知するのが困難であるが、共焦点モードでは、対象物上の構造物の像がその高さの違いによって異なる現れ方をするため、高さの違いによる像の違いに着目して構造物間高さ比率乃至相対的高さ関係を知ることができる。本発明は、この共焦点モードを実施可能な形態で実施できる。

20

【0043】

対象物上の構造物を検知できるモードには更に暗視野モードがある。暗視野モードの利点の一つは、対象物上の平坦な反射エリアから検知器に向かって到来するごくわずかな散乱光、例えば対象物から突出している表面構造物にて発生する散乱光から、暗いながらも像を生成できることである。半導体ウェハ等の対象物を検査する際暗視野モードにより結像させれば、暗い背景の中に対象物上の構造物、粒子その他の不規則形状部分が浮かび上がった像を、得ることができる。本発明は、こうした暗視野モードによる照明を行える構成で実施することができる。また、暗視野モードでは、光散乱性の微小構造物に対して光をぶつけたときに得られる信号が、像としての広がり大きな信号となる。像としての広がり大きな信号であるから、検知対象としている構造物のサイズに比肩し使用画素サイズが大きめでも特に支障はないので、画素サイズを大きめにして対物検査を高速化することができる。暗視野モードによる検査を実施する際得られる信号中に繰り返し現れるパターンを抑圧し、対象物上の構造物 (ウェハの表面欠陥等) を示す信号の信号対雑音比を向上させるには、フーリエフィルタを使用すればよい。

30

【0044】

また、暗視野モードにも様々な種類があり、それぞれ照明方式や集光方式に違いがある。照明方式や集光方式は、対象物から到来する散乱回折光から取得する信号の信号対雑音比が許容水準になるよう、選べばよい。本対物系で結像に使用できる暗視野モードとしては、例えば、環状暗視野 (ring dark field)、レーザ方向性暗視野 (laser directional dark field)、二重暗視野 (double dark field)、中央暗視野 (central dark ground) 等のモードがある。本発明を実施する際には、こうした暗視野モードを随意に実行可能な構成とすることができる。

40

【0045】

図4に、本発明の他の実施形態に係る8素子対物系を示す。図3に示した対物系に対する本対物系の相違点の一つは、素子を1個追加することによって収差を小さくし対物系の公差を緩くしていることである。即ち、この図に示した対物系における収差補正帯域は約266 ~ 1000 nmに亘っており、その視野サイズは約0.150 mmであり、NA値としては約0.90という大きな値を確保しており、それでいて多色波面収差最悪値は約0.062波長と抑えられている。

50

【 0 0 4 6 】

図 4 中のカタジオプトリック素子集合体 4 1 3 はマンジャンミラー素子 4 0 8 及び凹球面反射素子 4 0 7 から構成されている。これらマンジャンミラー素子 4 0 8 及び凹球面反射素子 4 0 7 は何れも反射被膜付きレンズ素子であり、その中央には、反射素材のない部分即ち光学的開口が形成されている。このように反射被膜無しの部分があるため、対象物たる標本 4 1 1 から到来する光は、マンジャンミラー素子 4 0 8 を通り抜け、凹球面反射素子 4 0 7 の反射性の第 2 面によりマンジャンミラー素子 4 0 8 方向に反射され、凹球面反射素子 4 0 7 及び視野レンズ集合体 4 0 6 を通過して、中間像 4 1 0 を形成する。なお本実施形態で視野レンズ集合体 4 0 6 を構成している視野レンズ素子の個数は 1 個である。

10

【 0 0 4 7 】

また、中間像 4 1 0 を含め視野レンズ集合体 4 0 6 の方向から到来する光線を集光する合焦レンズ素子集合体 4 1 2 は、複数個のレンズ素子（図では 5 個のレンズ素子 4 0 1、4 0 2、4 0 3、4 0 4 及び 4 0 5）から構成されており、それらレンズ素子は皆ある同じ素材から形成されている。また、入射瞳 4 0 9 は本対物系の内部瞳の像であり、この位置に開口乃至マスクを配置すれば本対物系の N A 値を制限乃至変更することができる。図 4 に示した対物系は、図 3 に示した対物系と同様の利点及び柔軟性（変形可能性）を有している。本実施形態向けのレンズ処方を表 2 に示す。

【表 2】

表 2. 図 4 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス	直径
物体空間 (光源)	無限大	無限大		0.0
1	無限大	18.442		10.5
絞り	無限大	-18.442		10.0
3	61.412	2.500	熔融シリカ	10.5
4	-26.873	8.264		10.4
5	-7.688	1.500	熔融シリカ	8.1
6	-49.641	2.881		8.6
7	無限大	0.220		9.2
8	10.794	2.500	熔融シリカ	9.5
9	74.618	0.100		9.2
10	7.061	2.750	熔融シリカ	9.0
11	22.966	0.250		8.1
12	6.520	7.180	熔融シリカ	7.4
13	-11.605	1.484		2.0
14	-5.176	1.000	熔融シリカ	1.3
15	-2.511	0.250		2.2
16	17.165	2.500	熔融シリカ	26.0
17	13.434	7.418		22.5
18	-281.019	3.829	熔融シリカ	22.0
19	-122.544	-3.829	鏡面	22.0
20	-281.019	-7.418		22.0
21	13.434	-2.500	熔融シリカ	22.5
22	17.165	2.500	鏡面	26.0
23	13.434	7.418		22.5
24	-281.019	3.829	熔融シリカ	22.0
25	-122.544	0.375		22.0
像空間 (標本)	無限大			0.2

【0048】

本対物系における芯ズレ感受性は低く、何ら補正器を設けていないにもかかわらず、 $10\ \mu\text{m}$ の芯ズレによって各素子で生じる収差が高々約 0.23 波長に留まる。なかでもカタジオプトリック素子集合体 413 は特に芯ズレ感受性が低く、凹球面反射素子 407 とマンジャンミラー素子 408 の芯ズレが $10\ \mu\text{m}$ あってもそれによって生じる収差は高々 0.15 波長である。図 4 に示した対物系における波長 = 約 $313\ \text{nm}$ での平均公差は、収差でいて約 0.15 波長と緩いものである。

【0049】

図 5 に、本発明の他の実施形態に係る 9 素子対物系を示す。図 3 に示した対物系に対する本対物系の主な相違点は、素子を 2 個追加して対物系の公差を緩くしていることである。即ち、この図に示した対物系における収差補正帯域は $266 \sim 1000\ \text{nm}$ に亘ってお

10

20

30

40

50

り、その視野サイズは約 0.150 mm であり、NA 値としては約 0.90 と大きな値を確保しており、それでいて多色波面収差最悪値は約 0.056 波長に抑えられている。

【0050】

図 5 中のカタジオプトリック素子集合体 514 はマンジャンミラー素子 509 及び凹球面反射素子 508 から構成されている。これらマンジャンミラー素子 509 及び凹球面反射素子 508 は何れも反射被膜付きレンズ素子であり、その中央には、反射素材のない部分即ち光学的開口が形成されている。この反射被膜無し部分があるため、対象物たる標本 512 から到来する光は、マンジャンミラー素子 509 を通り抜け、凹球面反射素子 508 の反射性の第 2 面によりマンジャンミラー素子 509 方向に反射され、凹球面反射素子 508 を通過した後視野レンズ集合体 507 を通過する前の位置に中間像 511 を形成する。なお本実施形態で視野レンズ集合体 507 を構成している視野レンズ素子の個数は 1 個である。

10

【0051】

また、中間像 511 を含め視野レンズ集合体 507 の方向から到来する光線を集光する合焦レンズ素子集合体 513 は、複数個のレンズ素子（図では 6 個のレンズ素子 501、502、503、504、505 及び 506）から構成されており、それらレンズ素子は皆ある同じ素材から形成されている。入射瞳 510 は本対物系の内部瞳の像であり、この位置に開口乃至マスクを配置すれば本対物系の NA 値を制限乃至変更することができる。図 5 に示した対物系は、図 3 に示した対物系と同様の利点及び柔軟性（変形可能性）を有している。本実施形態向けのレンズ処方を表 3 に示す。

20

【表 3】

表 3. 図 5 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス	直径
物体空間 (光源)	無限大	無限大		0.0
1	無限大	17.404		9.1
絞り	無限大	-17.404		8.5
3	22.472	2.000	熔融シリカ	9.0
4	-30.197	0.500		8.9
5	18.198	1.250	熔融シリカ	8.4
6	6.908	5.699		7.6
7	-6.044	2.144	熔融シリカ	7.6
8	-11.736	0.500		8.9
9	29.226	2.000	熔融シリカ	9.4
10	-22.533	0.500		9.6
11	54.321	2.000	熔融シリカ	9.5
12	-38.410	0.500		9.4
13	6.850	2.250	熔融シリカ	8.9
14	20.279	7.835		8.2
15	2.040	1.249	熔融シリカ	2.6
16	7.791	0.837		1.7
17	無限大	1.000		0.6
18	17.766	3.020	熔融シリカ	25.0
19	13.292	6.170		21.0
20	無限大	4.900	熔融シリカ	20.5
21	-76.135	-4.900	鏡面	20.5
22	無限大	-6.170		20.5
23	13.292	-3.020	熔融シリカ	21.0
24	17.766	3.020	鏡面	25.0
25	13.292	6.170		21.0
26	無限大	4.900	熔融シリカ	20.5
27	-76.135	0.300		20.5
像空間 (標本)	無限大			0.2

10

20

30

【0052】

図 5 に示した対物系における芯ズレ感受性は低く、何ら補正器を設けていないにもかかわらず、 $10\ \mu\text{m}$ の芯ズレによって各素子で生じる収差が高々約 0.25 波長に留まる。波長 = 約 $313\ \text{nm}$ での平均公差は収差でいて約 0.15 波長と緩いものである。

【0053】

本発明に係る小型カタジオプトリック対物系実現手法によれば、使用しているガラス素材が一種類であるため収差補正帯域が非常に広くなり、また従来よりもレンズ素子の直径が小さくなる。例えば、従来の全自己補正型対物系における視野サイズは約 $0.4\ \text{mm}$ 近傍の値でありまた比帯域幅の上限は約 0.19 近傍の値であったが、本発明に係る新規な全自己補正型対物系における視野サイズは約 $0.15\ \text{mm}$ と小さくまた比帯域幅は最大で約 0.9 に達する程に広いものとなる。

40

【0054】

図 6 に、図 3 ~ 図 5 に示した対物系により実現できる比帯域幅を示す。本願でいうところの比帯域幅とは帯域幅を中心波長で除した比の値のことであり、本発明に係る対物系で実現できる比帯域幅は従来より広く、また使用可能帯域は UV 波長域に属する波長である $400\ \text{nm}$ 近くまで延びている。一般に、比帯域幅が広いと色彩が鮮明になるため、こうした広い比帯域幅が望まれることが多い。また、使用素材の屈折率増加が非線形的である

50

ため比帯域幅には中心波長が短くなると狭くなる傾向があり、これは中心波長が短く且つ比帯域幅が広い対物系を実現する上でやっかいな問題であった。即ち、事実上この現象が原因で対物系を実現できないことが多かった。これに対して、本発明の実施形態に係る対物系によれば、顕著に望ましいことに、この図に示すように高い性能及び広い比帯域幅を実現することができる。

【0055】

図7に、本発明の他の実施形態に係る9素子対物系を示す。図5に示した対物系に対する本対物系の相違点の一つは、違う中心周波数向けに構成されていることである。即ち、この図に示した対物系における収差補正帯域は190～202nmに亘っており、その視野サイズは約0.150mmであり、NA値はやはり約0.90と大きな値であり、多色波面収差最悪値は約0.045波長となっており、それでいてその比帯域幅は約0.06と広がっている。従来型の典型的なカタジオプトリック対物系では、中心波長が196nmである場合の実際の比帯域幅が高々約0.005であったから、本対物系における約0.06という比帯域幅は顕著に広いものである。

10

【0056】

図7中のカタジオプトリック素子集合体714はマンジャンミラー素子709及び凹球面反射素子708から構成されている。これらマンジャンミラー素子709及び凹球面反射素子708は何れも反射被膜付きレンズ素子であり、その中央には、反射素材のない部分即ち光学的開口が形成されている。これらの素子の中央部分に反射被膜がないため、対象物たる標本712から到来する光は、マンジャンミラー素子709を通り抜け、凹球面反射素子708の反射性の第2面によりマンジャンミラー素子709方向に反射され、凹球面反射素子708を通過した後視野レンズ集合体707を通過する前の位置に中間像711を形成する。なお本実施形態で視野レンズ集合体707を構成している視野レンズ素子の個数は1個である。

20

【0057】

また、中間像711を含め視野レンズ集合体707の方向から到来する光線を集光する合焦レンズ素子集合体713は、複数個のレンズ素子(図では6個のレンズ素子701、702、703、704、705及び706)から構成されており、それらレンズ素子は皆ある同じ素材から形成されている。入射瞳710は本対物系の内部瞳の像であり、この位置に開口乃至マスクを配置することによって本対物系のNA値を制限乃至変更することができる。

30

【0058】

本実施形態向けのレンズ処方を表4に示す。

【表 4】

表 4. 図 7 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス	直径
物体空間 (光源)	無限大	無限大		0.0
1	無限大	16.374		9.0
絞り	無限大	-16.374		8.5
3	13.996	2.500	熔融シリカ	9.0
4	-44.912	0.500		8.6
5	70.761	1.250	熔融シリカ	8.2
6	6.483	4.999		7.3
7	-4.675	1.964	熔融シリカ	7.6
8	-5.735	0.500		9.1
9	15.538	2.500	熔融シリカ	9.9
10	-48.225	0.500		9.7
11	8.447	2.250	熔融シリカ	9.2
12	22.024	1.498		8.4
13	無限大	1.500		7.6
14	-12.098	3.323	熔融シリカ	6.9
15	-10.131	3.985		6.2
16	2.582	1.250	熔融シリカ	2.8
17	11.533	1.216		2.0
18	無限大	0.699		0.4
19	17.897	3.038	熔融シリカ	25.0
20	13.385	6.122		21.0
21	無限大	5.409	熔融シリカ	20.5
22	-73.634	-5.409	鏡面	20.5
23	無限大	-6.122		20.5
24	13.385	-3.038	熔融シリカ	21.0
25	17.897	3.038	鏡面	25.0
26	13.385	6.122		21.0
27	無限大	5.409	熔融シリカ	20.5
28	-73.634	0.300		20.5
像空間 (標本)	無限大			0.2

10

20

30

【0059】

本発明は、更に、その結像モードとして浸漬 (immersion) モードを使用可能な対物系としても実施でき、本発明の実施形態に係る対物系にて浸漬モードを用いれば、NA 値を大きくして解像度を向上させることができる。即ち、標本と対物系の間に流体を差し挟むことにより対物系の NA 値が大きくなる。例えば、標本と対物系の間の空間を屈折率 1.5 の油で満たせば、限界入射角が広がって 64° に達する結果、NA 値が大きくなり約 1.35 にも達する。

40

【0060】

図 3 に示した対物系においては、マンジャンミラー素子 307 の両面が平坦面乃至緩湾曲面であるため、マンジャンミラー素子 307 と標本 310 に挟まれている空間内に流体を入れることによって、その空間における NA 値を大きくして浸漬モードを実施することができる。この場合、マンジャンミラー素子 307 の第 2 面即ち右面に入射する光のうち、その入射角が 41° を超える光は全て内部全反射される。

【0061】

図 8 に、素子が湾曲している場合でも浸漬モードを実施できるようにしたマンジャンミ

50

ラー装置を示す。このマンジャンミラー装置においては、マンジャンミラー素子 802 の第 2 面即ち標本 801 に最も近い面の曲率を大きくすることによって、これを達成している。即ち、マンジャンミラー装置たるカタジオプトリック素子集合体を構成するマンジャンミラー素子 802 及び凹球面反射素子 803 の厚み及び曲率に工夫が施されているため、当該マンジャンミラー装置乃至カタジオプトリック素子集合体を浸漬媒存在環境下で機能させることができる。また、本カタジオプトリック素子集合体においては、球面収差のみならず、軸方向色収差や球面収差色変化 (chromatic variation of spherical aberration) も補正できる。このカタジオプトリック素子集合体に対し更に変形を施すことにより、次段以降の屈折性素子で発生する収差を補正することもできる。

【0062】

10

図 9 に、本発明の他の実施形態に係り浸漬モードを実行できるよう上掲の手法で構成してあるカタジオプトリック対物系を示す。この図に示した対物系における収差補正帯域は約 266 ~ 436 nm に亘っており、その視野サイズは約 0.150 mm であり、多色波面収差最悪値は約 0.057 波長となっており、そして NA 値は約 1.1 と大きくなっている。

【0063】

図 9 中のカタジオプトリック素子集合体 918 はマンジャンミラー素子 912 及び凹球面反射素子 911 から構成されている。これらマンジャンミラー素子 912 及び凹球面反射素子 911 は何れも反射被膜付きレンズ素子であり、その中央には、反射素材のない部分即ち光学的開口が形成されている。これらの部材の中央部に反射被膜がないため、対象物たる標本 913 から到来する光は、マンジャンミラー素子 912 を通り抜け、凹球面反射素子 911 の第 2 面によりマンジャンミラー素子 912 方向に反射され、凹球面反射素子 911 を通過した後視野レンズ集合体 917 内に中間像 915 を形成する。なお本実施形態で視野レンズ集合体 917 を構成する視野レンズ素子は 908、909 及び 910 の 3 個である。

20

【0064】

また、中間像 915 を含め視野レンズ集合体 917 の方向から到来する光線を集光する合焦レンズ素子集合体 916 は、複数個のレンズ素子 (図では 7 個のレンズ素子 901、902、903、904、905、906 及び 907) から構成されている。入射瞳 914 は本対物系の内部瞳の像であり、この位置に開口乃至マスクを配置することにより本対物系の NA 値を制限乃至変更することができる。図 9 に示した実施形態向けのレンズ処方を表 5 に示す。

30

【表 5】

表 5. 図 9 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス	直径
物体空間 (光源)	無限大	無限大		0.0
1	無限大	23.363		8.8
絞り	無限大	-23.363		7.8
3	17.529	1.500	弗化カルシウム	8.8
4	123.317	6.560		8.6
5	8.254	1.750	弗化カルシウム	6.9
6	-21.949	0.099		6.5
7	8.712	1.250	熔融シリカ	5.8
8	3.105	0.684		4.5
9	5.063	2.089	弗化カルシウム	4.4
10	-11.418	0.470		3.7
11	-4.096	5.352	熔融シリカ	3.6
12	93.921	0.250		3.2
13	2.946	2.000	弗化カルシウム	3.1
14	-3.475	0.249		2.5
15	-2.433	1.250	熔融シリカ	2.3
16	3.487	0.231		1.8
17	2.262	2.250	弗化カルシウム	1.8
18	-5.028	0.110		1.0
19	2.727	1.250	弗化カルシウム	0.9
20	-1.967	0.243		1.1
21	-1.513	2.577	熔融シリカ	1.2
22	2.241	0.608		2.1
23	19.760	3.499	熔融シリカ	25.0
24	27.518	0.717		23.0
25	33.723	10.010	熔融シリカ	23.0
26	無限大	-10.010	鏡面	23.0
27	33.723	-0.717		23.0
28	27.518	-3.499	熔融シリカ	23.0
29	19.760	3.499	鏡面	25.0
30	27.518	0.717		23.0
31	33.723	10.010	熔融シリカ	23.0
32	無限大	0.375	浸漬媒	23.0
像空間 (標本)	無限大			0.2

10

20

30

【0065】

本発明は、更に、類似した構成のカタジオプトリック対物系を用いつつもまた別のやり方で浸漬モードを実行する形態、例えばそのカタジオプトリック素子集合体を単体の固形素子により構成する形態でも、実施することができる。図 10 に、この種の構成を有するカタジオプトリック素子集合体を用いた対物系を示す。この図に示した対物系における収差補正帯域は約 266 ~ 436 nm に亘っており、その視野サイズは 0.150 mm であり、多色波面収差最悪値は約 0.037 波長となっており、そして NA 値は約 0.95 という大きな値になっている。

40

【0066】

図 10 中のカタジオプトリック素子集合体 1014 はマンジャンミラー素子 1002 のみから構成されている。このマンジャンミラー素子 1002 は両面反射被膜付きレンズ素子であり、その中央には、両面とも、反射素材のない部分即ち光学的開口が形成されてい

50

る。前掲の各実施形態から類推できるように、この部材の両面中央部に反射被膜がないため、対象物たる標本1001から到来する光乃至光エネルギーは、マンジャンミラー素子1002の第1面を通り抜け、同素子1002の第2面により同素子1002の第1面方向に反射され、同素子1002の第1面によって反射された後に、同素子1002の第2面と視野レンズ集合体1015を通過した後中間像1013を形成する。なお本実施形態で視野レンズ集合体1015を構成している視野レンズ素子は1003及び1004の2個である。

【0067】

更に、図中、標本1001とマンジャンミラー素子1002により挟まれている空間は浸漬媒（流体や液体の様に浸漬先となり得る媒体のこと；本願中同様）により満たされる空間であり、通常使用時には浸漬媒がマンジャンミラー素子1002に直に接触することとなる。マンジャンミラー素子1002の右面に形成されている反射被膜の中央には小さな開口があるため、この開口を介して浸漬媒更には標本1001へと光線を通すことができる。通常使用時には、まず少量の浸漬媒例えば液滴をイメージング対象物即ち標本1001上に載せる。検査システムは、対物系をこの標本1001の近傍に移動させ、対物系を浸漬媒に接触させる。この接触によって浸漬媒は押し広げられ、マンジャンミラー素子1002対標本1001間隙に満ちていく。

10

【0068】

また、中間像1013を含め視野レンズ集合体1015の方向から到来する光線を集光する合焦レンズ素子集合体1016は、複数個のレンズ素子（図では8個のレンズ素子1005、1006、1007、1008、1009、1010、1011及び1012）から構成されている。

20

【0069】

図10に示した実施形態向けのレンズ処方を表6に示す。

【表 6】

表 6. 図 10 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス	直径
物体空間 (標本)	無限大	0.375	浸漬媒	0.0
1	無限大	13.250	熔融シリカ	18.0
絞り	-18.906	-13.250	鏡面	18.0
3	無限大	13.250	鏡面	18.0
4	-18.906	0.313		18.0
5	-2.281	1.514	熔融シリカ	1.7
6	2.442	0.292		1.2
7	18.937	2.015	弗化カルシウム	1.1
8	-2.371	3.750		0.8
9	3.981	2.250	弗化カルシウム	1.3
10	-2.017	0.125		1.7
11	-1.975	1.250	熔融シリカ	1.7
12	2.762	0.250		2.0
13	3.800	2.500	弗化カルシウム	2.2
14	-3.788	0.250		2.8
15	27.780	1.356	熔融シリカ	2.8
16	7.300	0.250		2.9
17	7.757	4.063	弗化カルシウム	2.9
18	-3.391	0.250		3.1
19	-3.101	1.250	熔融シリカ	3.0
20	3.484	0.500		3.2
21	7.930	1.750	弗化カルシウム	3.4
22	-9.660	5.199		3.8
23	24.789	2.250	弗化カルシウム	5.7
24	-13.120	5.000		6.0
25	-	11.336		6.0
像空間 (像)	無限大			0.9

10

20

30

【0070】

本発明は、更に、レンズ素子及びミラー素子から構成された空洞を二組有するカタジオプトリック素子集合体を用い浸漬モードを実施する形態にて、実施することもできる。図 11 に、この種の構成を有するカタジオプトリック素子集合体を用いた対物系を示す。この図に示した対物系における収差補正帯域は 266 ~ 320 nm に亘っており、その視野サイズは 0.150 mm であり、多色波面収差最悪値は約 0.052 波長となっており、そして NA 値は約 1.15 という大きな値になっている。

40

【0071】

図 11 中のカタジオプトリック素子集合体 1113 は、片面反射被膜付きの第 1 マンジャンミラー素子 1102 と、両面反射被膜付きのミラー素子 1103 と、レンズ素子 1104 と、片面反射被膜付きの第 2 マンジャンミラー素子 1105 とを有している。第 2 マンジャンミラー素子 1105 の反射被膜は第 2 面、即ち図中カタジオプトリック素子集合

50

体 1 1 1 3 外を向いている左側の面に、設けられている。第 1 マンジャンミラー素子 1 1 0 2 の前面（第 1 面）、ミラー素子 1 1 0 3 の両面並びに第 2 マンジャンミラー素子 1 1 0 5 の第 2 面の中央には、反射素材のない部分即ち光学的開口が形成されている。これらの部材の中央部に反射被膜がないため、対象物たる標本 1 1 0 1 から到来する光は、第 1 マンジャンミラー素子 1 1 0 2 の第 1 面を通り抜け、ミラー素子 1 1 0 3 の第 1 面（右面）により第 1 マンジャンミラー素子 1 1 0 2 の第 1 面方向に反射され、同素子 1 1 0 2 の第 1 面により反射され、ミラー素子 1 1 0 3 の第 2 面（左面）を通り抜けて第 1 中間像 1 1 1 5 を形成する。この光は更にレンズ素子 1 1 0 4 を通り抜け、第 2 マンジャンミラー素子 1 1 0 5 の第 2 面により反射されてレンズ素子 1 1 0 4 方向に戻り、ミラー素子 1 1 0 3 の第 2 面により反射され、レンズ素子 1 1 0 4、第 2 マンジャンミラー素子 1 1 0 5 及び視野レンズ集合体を通り抜けた後に第 2 中間像 1 1 1 6 を形成する。なお本実施形態で視野レンズ集合体を構成している視野レンズ素子は 1 1 0 6 の 1 個である。

10

【0072】

更に、標本 1 1 0 1 と第 1 マンジャンミラー素子 1 1 0 2 により挟まれている空間は浸漬媒により満たされる空間であり、通常使用時には浸漬媒が第 1 マンジャンミラー素子 1 1 0 2 に直に接触することとなる。第 1 マンジャンミラー素子 1 1 0 2 の右面に形成されている反射被膜の中央には小さな開口があるため、この開口を介して浸漬媒更には標本 1 1 0 1 へと光線を通すことができる。通常使用時には、まず少量の浸漬媒例えば液滴をイメージング対象物即ち標本 1 1 0 1 上に載せる。検査システムは、対物系をこの標本 1 1 0 1 の近傍に移動させ、対物系を浸漬媒に接触させる。この接触によって浸漬媒は押し広げられ、第 1 マンジャンミラー素子 1 1 0 2 対標本 1 0 0 1 間隙に満ちていく。

20

【0073】

また、中間像 1 1 1 6 を含め視野レンズ集合体 1 1 0 6 の方向から到来する光線を集光する合焦レンズ素子集合体 1 1 1 4 は、複数個のレンズ素子（図では 6 個のレンズ素子 1 1 0 7、1 1 0 8、1 1 0 9、1 1 1 0、1 1 1 1 及び 1 1 1 2）から構成されている。

【0074】

図 1 1 に示した実施形態向けのレンズ処方を表 7 に示す。

【表 7】

表 7. 図 1 1 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス	直径
物体空間 (標本)	無限大	1.000	浸漬媒	0.030165
1	無限大	-0.675	浸漬媒	20
2	無限大	9.443	熔融シリカ	20
3	-25.125	2.328		20
4	-14.436	-2.328	鏡面	20
5	-25.125	-9.443	熔融シリカ	20
6	無限大	9.443	鏡面	20
7	-25.125	2.328		20
8	-14.427	1.750	熔融シリカ	20
9	29.875	5.071		16
10	-8.482	4.931	熔融シリカ	13
11	-9.652	2.877		16
12	-41.988	2.500	熔融シリカ	16
13	-32.709	-2.500	鏡面	16
14	-41.988	-2.877		16
15	-9.652	-4.931	熔融シリカ	16
16	-8.482	-5.071		13
絞り	29.875	5.071	鏡面	13
18	-8.482	4.931	熔融シリカ	13
19	-9.652	2.877		16
20	-41.988	2.500	熔融シリカ	16
21	-32.709	0.250		16
22	5.939	1.500	熔融シリカ	3
23	-5.557	1.332		3
24	3.374	2.422	熔融シリカ	3
25	5.773	0.336		3
26	4.071	1.500	熔融シリカ	3.5
27	-3.249	0.250		3.5
28	2.358	1.500	熔融シリカ	4
29	3.166	1.092		3
30	-2.132	1.250	熔融シリカ	3
31	4.177	0.746		4
32	-32.009	1.500	熔融シリカ	4.5
33	-4.559	0.100		5.5
34	8.802	2.000	熔融シリカ	7
35	-12.695	4.750		7
36	-	10.000		4.942964
像空間 (像)	無限大			0.166772

【0075】

図 1 2 に、本発明の他の実施形態に係る 7 素子対物系を示す。本カタジオプトリック対物系は、単一のガラス素材を用いて（性能向上につながる場合は複数のガラス素材を用いて）形成されており、その収差補正帯域が 320 ~ 1300 nm に亘っているため、UV 波長域から赤外域に亘る（即ち約 0.320 ~ 1.3 μm の波長域に亘る）広帯域イメージング向けに使用できる。

【 0 0 7 6 】

図 1 2 中、マンジャンミラー装置たるカタジオプトリック素子集合体 1 2 1 2 はマンジャンミラー素子 1 2 0 7 及び凹球面反射素子 1 2 0 6 を備えている。これらマンジャンミラー素子 1 2 0 7 及び凹球面反射素子 1 2 0 6 は何れも反射被膜付きレンズ素子であり、その中央には反射素材のない部分即ち光学的開口が形成されている。これらの部材の中央部に反射被膜がないため、対象物たる標本 1 2 1 0 から到来する光は、マンジャンミラー素子 1 2 0 7 を通り抜け、凹球面反射素子 1 2 0 6 の第 2 面乃至内面によりマンジャンミラー素子 1 2 0 7 の反射面方向に反射され、凹球面反射素子 1 2 0 6 及び視野レンズ集合体 1 2 0 5 を通り抜けた後に中間像 1 2 0 9 を形成する。なお本実施形態で視野レンズ集合体 1 2 0 5 を構成している視野レンズ素子は 1 個であるが、これは何個にもすることができる。

10

【 0 0 7 7 】

また、中間像 1 2 0 9 を含め視野レンズ集合体 1 2 0 5 の方向から到来する光線を集光する合焦レンズ素子集合体 1 2 1 1 は、複数個のレンズ素子（図では 4 個のレンズ素子 1 2 0 1、1 2 0 2、1 2 0 3 及び 1 2 0 4）から構成されている。これら、合焦レンズ素子集合体 1 2 1 1 を構成するレンズ素子は何れもある同じ種類の素材により形成されている。入射瞳 1 2 0 8 は本対物系の内部瞳の像であり、この位置に開口乃至マスクを配置することによって、本対物系の N A 値を制限乃至変更することができる。

【 0 0 7 8 】

図 1 2 に示した実施形態向けのレンズ処方を表 8 に示す。

20

【表 8】

表 8. 図 1 2 に示した対物系向けのレンズ処方

面番号	曲率半径	厚み	ガラス	直径
物体空間 (光源)	無限大	無限大		0.0
1	無限大	15.612		12.4
絞り	無限大	-15.612		12.0
3	21.987	2.500	熔融シリカ	12.3
4	無限大	6.866		12.0
5	-10.614	1.500	熔融シリカ	10.5
6	-37.828	1.900		10.9
7	無限大	0.100		11.1
8	10.233	3.000	熔融シリカ	11.3
9	無限大	4.985		10.9
10	5.054	5.802	熔融シリカ	7.8
11	無限大	2.914		4.1
12	-7.057	1.500	熔融シリカ	1.5
13	-2.981	0.250		2.7
14	16.091	1.967	熔融シリカ	26.0
15	12.205	7.862		22.5
16	無限大	3.479	熔融シリカ	22.0
17	-231.641	-3.479	鏡面	22.0
18	無限大	-7.862		22.0
19	12.205	-1.967	熔融シリカ	22.5
20	16.091	1.967	鏡面	26.0
21	12.205	7.862		22.5
22	無限大	3.479	熔融シリカ	22.0
23	-231.641	0.375		22.0
像空間 (標本)	無限大			0.2

10

20

30

【0079】

図 1 2 に示した対物系における NA 値は約 0.90 又はそれ以上の値となる。この実施形態を含め、本願記載の実施形態は何れも、0.65 超という顕著に大きな NA 値を有している。

【0080】

図 1 2 中の合焦レンズ素子集合体 1211 は、入射してくる光エネルギーを受け取り合焦させつつ出射して中間像 1209 を形成する機能を有している。視野レンズ集合体 1205 は、合焦レンズ素子集合体 1211 から出射され中間像 1209 として合焦された光エネルギーを受け取り中間的な光エネルギーとして出射する機能を有している。マンジャンミラー装置であるカタジオプトリック素子集合体 1212 はこの中間的な光エネルギーを受け取り制御された光エネルギーを標本 1210 に向け出射する。標本 1210 は制御された光エネルギーを反射する。即ち反射光路は標本 1210 にて始まる。マンジャンミラー装置たるカタジオプトリック素子集合体 1212 は標本 1210 により反射された光エネルギーを受け取り出射する。視野レンズ集合体 1205 は反射された光エネルギーを受け取り中間像 1209 として合焦させる。合焦レンズ素子集合体 1211 はこの合焦された最終的な光エネルギーを受け取り出射する。

40

【0081】

以上説明した本発明に係る対物系は、様々な環境において使用できる。例えばリソグラ

50

フィ、顕微鏡、生物学的乃至生体検査、医学研究等である（但しこれらに限られない）。

【0082】

また、本願における対物系乃至実施形態についての説明は、本発明の要旨を限定する性格のものではない。本発明の技術的範囲を逸脱しないようまた本発明の効果が損なわれないよう、以上説明した対物系の構成を改変することも可能である。即ち、NA値が大きく且つ様々な波長及び照明モードで利用できる小型対物系を得ることができる。また、本発明について特定の実施形態を例示して説明を行ったが、これらに対して様々な変形乃至修正を施すことも可能であると了解されたい。本願は、概ね本発明の基本原理に従う限り、どのような変形物、使用形態及び適用形態をも包括しようという趣旨の出願であり、本発明が属する技術分野にて既知の手法や慣用されている手法の適用によってなされる類の変更を本願記載の構成に適用したもの等も、本発明の技術的範囲に包含される。

10

【0083】

本発明について特定の実施形態を例示して説明を行ったが、これらに対して様々な変形乃至修正を施すことも可能であると了解されたい。本願は、概ね本発明の基本原理に従う限り、どのような変形物、使用形態及び適用形態をも包括しようという趣旨の出願であり、本発明が属する技術分野にて既知の手法や慣用されている手法の適用によってなされる類の変更を本願記載の構成に適用したもの等も、本発明の技術的範囲に包含される。

【図面の簡単な説明】

【0084】

【図1】特許文献1の図1に示されているものと同様の構成を有するカタジオプトリック対物系を例示する図である。

20

【図2】特許文献2の図4に示されているものと同様の構成を有するカタジオプトリック対物系を例示する図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る大NA小型7素子カタジオプトリック対物系を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る大NA小型8素子カタジオプトリック対物系であってその収差補正帯域が266～1000nmでその視野サイズが約0.150mmの対物系を示す図である。

【図5】本発明の一実施形態に係る大NA小型9素子カタジオプトリック対物系であってその収差補正帯域が266～1000nmでその視野サイズが約0.150mmの対物系を示す図である。

30

【図6】本発明の実施形態によりサポートされる比帯域幅を示すグラフである。

【図7】図5に示したものと異なる中心波長向けに設計された9素子対物系を示す図である。

【図8】対物系にて使用されるカタジオプトリック素子集合体乃至マンジャンミラー装置の変形例、特に水、油、シリコングル等の浸漬媒を有するものを示す図である。

【図9】浸漬媒を有するカタジオプトリック対物系を示す図である。

【図10】浸漬媒を有するカタジオプトリック対物系、特にそのカタジオプトリック素子集合体が1個の固形素子から構成された対物系を示す図である。

【図11】浸漬媒を有するカタジオプトリック対物系、特にそのカタジオプトリック素子集合体にて二組のレンズミラー空洞が形成された対物系を示す図である。

40

【図12】その収差補正帯域が320～1300nmの7素子対物系、特に単一のガラス素材を用いて（性能を向上できる場合は複数のガラス素材を用いて）形成された対物系を示す図である。

【図 1】

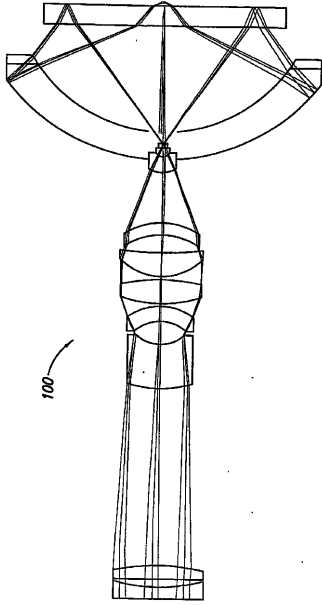


FIG. 1

【図 2】

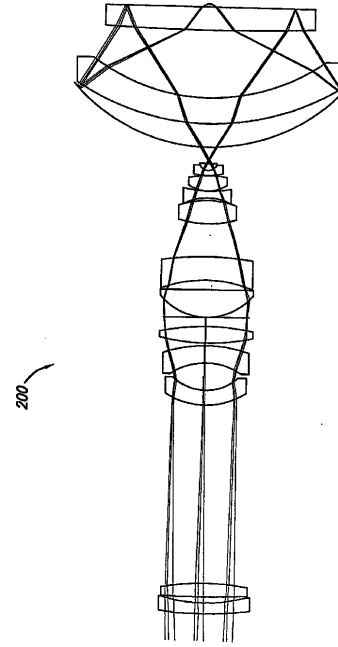


FIG. 2

【図 3】

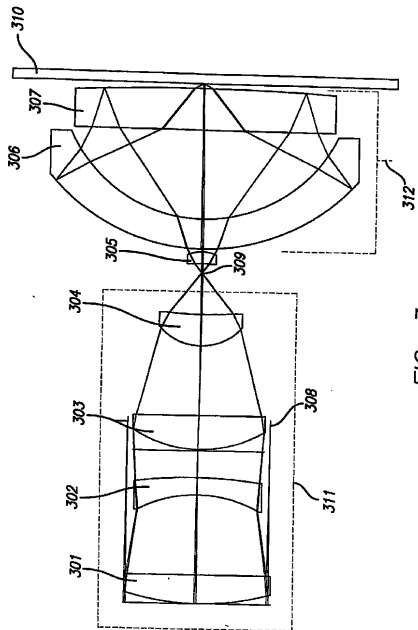


FIG. 3

【図 4】

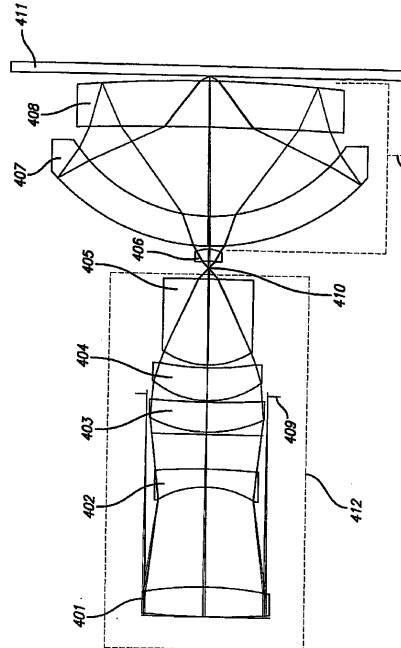


FIG. 4

【図 5】

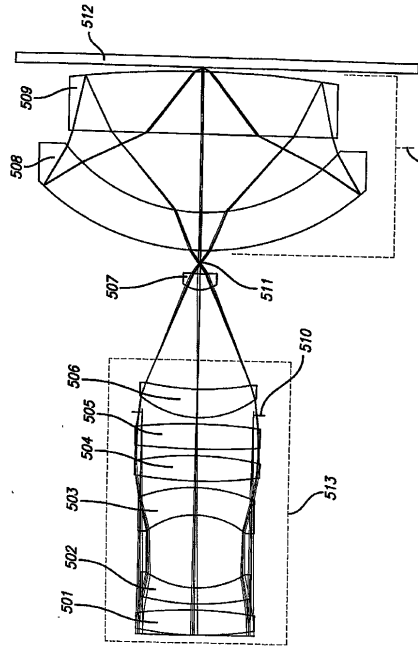
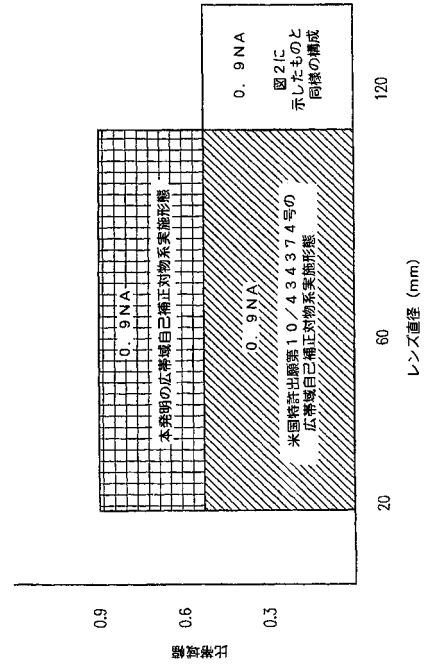


FIG. 5

【図 6】



【図 1】

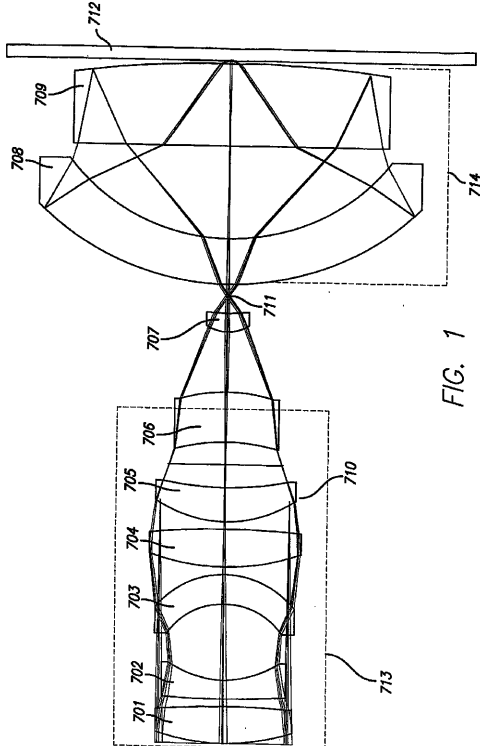


FIG. 1

【図 8】

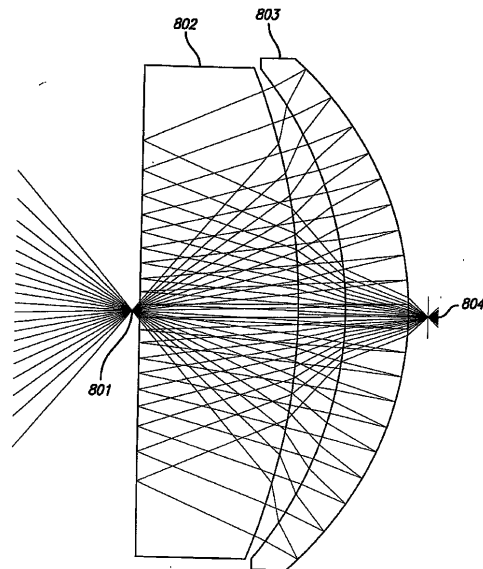


FIG. 8

【 図 9 】

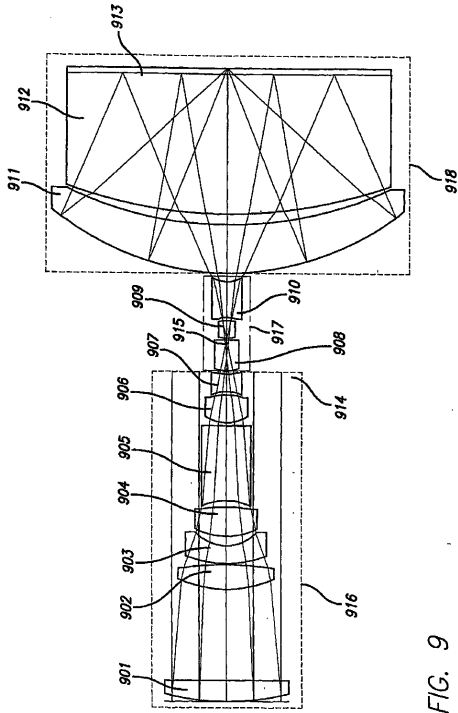


FIG. 9

【 ㊦ 1 0 】

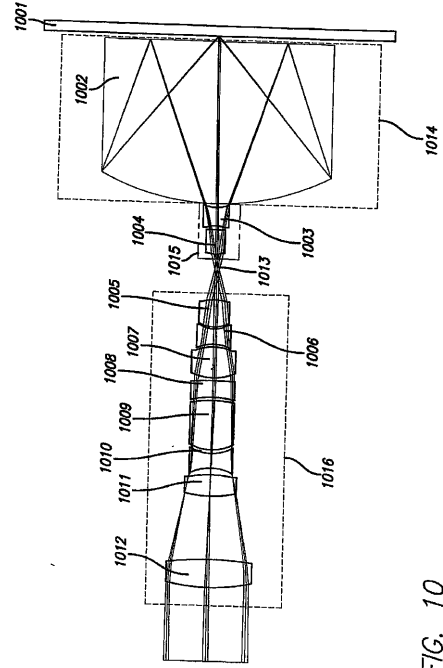


FIG. 10

【 図 1 1 】

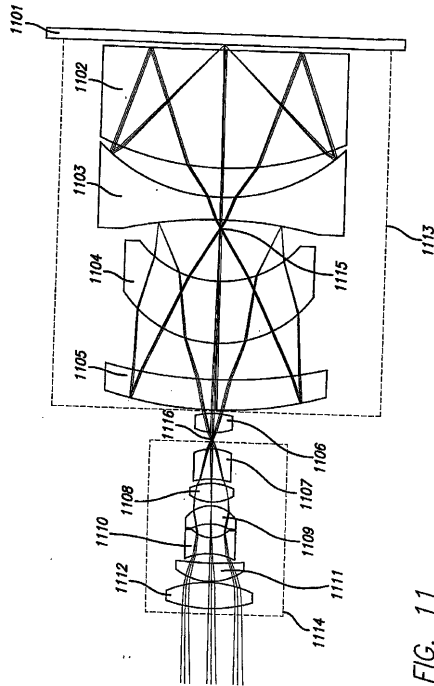


FIG. 11

【 図 1 2 】

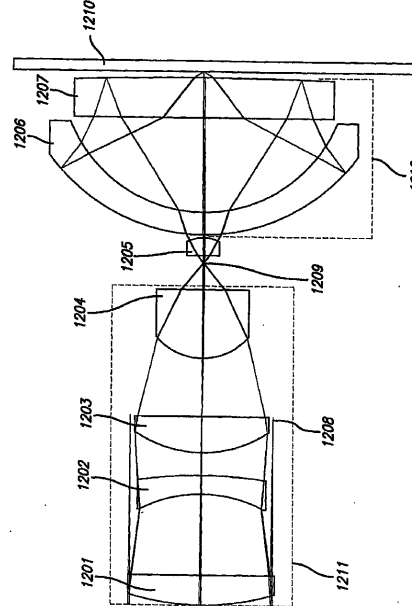


FIG. 12

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US04/26782

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : G02B 17/00 US CL : 359/366 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 359/364-366, 368, 351, 355-357, 729-731, 858-859 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EAST		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6,512,631 B2 (Shafer et al.) 28 January 2003 (28.01.2003) figs. 1, 23 and 5, column 7, line 34-column 14, line 35.	1-23
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "B" earlier application or patent 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 26 September 2005 (26.09.2005)		Date of mailing of the international search report 28 OCT 2005
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer <i>Sylvia Anne For</i> Drew Dunn Telephone No. (571) 272-2312

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US04/26782

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
Please See Continuation Sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of any additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-23

- Remark on Protest**
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US04/26782

BOX III. OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION IS LACKING

This application contains claims directed to more than one species of the generic invention. These species are deemed to lack unity of invention because they are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1.

In order for more than one species to be examined, the appropriate additional examination fees must be paid. The species are as follows:

Species I: Objective with focusing lenses having a maximum corrected field size of approximately 0.15 mm

Species II: Objective with Mangin mirror arrangement having a numerical aperture in excess of 0.65 and a field size of approximately 0.15 mm

Species III: Objective including an immersion substance

The claims are deemed to correspond to the species listed above in the following manner:

Species I: Claims 1-23

Species II: Claims 24-42

Species III: Claims 43-66

The following claim(s) are generic: No claims are generic to all species.

The species listed above do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, the species lack the same or corresponding special technical features for the following reasons:

Species I: Objective with focusing lenses having a maximum corrected field size of approximately 0.15 mm

Species II: Objective with Mangin mirror arrangement having a numerical aperture in excess of 0.65 and a field size of approximately 0.15 mm

Species III: Objective including an immersion substance

フロントページの続き

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

(72)発明者 チャン ユン - ホ

アメリカ合衆国 カリフォルニア クパティノー ファーアーロン ドライブ 10678

(72)発明者 アームストロング ジェイ ジョセフ

アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピタス フォルソム サークル 729

Fターム(参考) 2H052 AA05 AA08 AB02 AB06 AC08 AC14 AC20 AC34 AF02

2H087 KA09 LA01 NA04 TA01 TA02 TA04 UA03 UA04 UA09

5F046 CB12 CB25 DA14