

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)



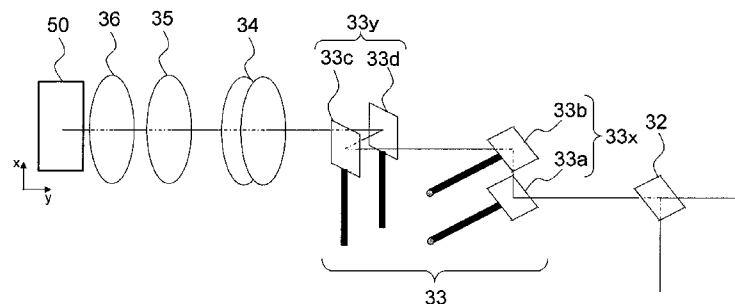
(10) 国際公開番号
WO 2012/133623 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 21/06 (2006.01) **G02B 26/10** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/058321
- (22) 国際出願日: 2012 年 3 月 29 日(29.03.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-077527 2011 年 3 月 31 日(31.03.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目 1 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 水田 正宏 (Mizuta Masahiro) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目 1 2 番 1 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 保坂 丈世(Hosaka Joyo); 〒1070052 東京都港区赤坂 2-8-1 1-301 クレアーレ 特許商標事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SCANNING MICROSCOPE

(54) 発明の名称: 走査型顕微鏡

[図2]



(57) Abstract: Provided is a scanning microscope which is configured such that, when an exit pupil location and an exit pupil conjugate location of an image forming optical assembly change, a center of gyration location of a light beam for scanning is moved, tracking the pupil location. A scanning microscope (10) comprises a light source (20), an objective lens (36), and a scan unit (33). The scan unit (33) further comprises first through fourth deflector elements (33a-33d). The deflection angle of illumination light is controlled by the first through fourth deflector elements (33a-33d) respectively, such that the center of gyration of illumination light by the first and second deflector elements (33a, 33b) and the center of gyration of illumination light by the third and fourth deflector elements (33c, 33d) approximately match either the exit pupil of the objective lens (36) or a conjugate location for the exit pupil thereof.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/133623 A1



結像光学系の射出瞳位置及び射出瞳共役位置が変化した場合に、この瞳位置に追従して走査のための光束の回転中心位置を移動させるように構成された走査型顕微鏡を提供する。走査型顕微鏡10は、光源20と、対物レンズ36と、走査ユニット33と、を有する。この走査ユニット33は、第1～第4の偏向素子33a～33dを含み、第1及び第2の偏向素子33a、33bによる照明光の回転中心と、第3及び第4の偏向素子33c、33dによる照明光の回転中心とが、対物レンズ36の射出瞳若しくはこの射出瞳と共役な位置に略一致するように、第1～第4の偏向素子33a～33dのそれぞれによる照明光の偏向角が制御される。

明 細 書

発明の名称：走査型顕微鏡

技術分野

[0001] 本発明は、走査型顕微鏡に関する。

背景技術

[0002] 周知のように、走査型の共焦点顕微鏡（以下、走査型顕微鏡と称する）は、レーザビームを対物レンズを介して観察試料に照射し、これにより観察試料からの反射光もしくは観察試料に照射されたレーザビームにより試料から発生した蛍光を、再び対物レンズ及び光学系を介して点状に結像し、これを検出器で検出して点像を取得する。このとき、観察試料の2次元XY面全体を偏向素子であるガルバノミラーを用いてスキャンすることで、2次元画像を得ることができる。

[0003] 図17は、このような走査型顕微鏡におけるレーザビームの具体的経路を示すものであり、A方向から入射したレーザビームは、ビームスプリッター132を透過し、2つの偏向素子133a, 133bを経て2次元に走査される。その後瞳投影レンズ134に入射し、この瞳投影レンズ134を通過して不図示の対物レンズの像面にスポットを結ぶ。この時、2つの偏向素子133a, 133bの回転（振り角）により、対物レンズの像面上を2次元スキャンすることで、この像面上にある試料面からの反射光または蛍光が上述したものと同一経路をたどってビームスプリッター132まで戻され、このビームスプリッター132で反射した後、さらに検出光学系を通り、不図示のフォトマルチプライア等からなる光検出器に入射され、ここで電気信号に変換され、図示しないモニターの各画素に、上述の2つの偏向素子133a, 133bのXY方向の走査位置に対応させて2次元画像を表示する。

[0004] ところで、このような走査型顕微鏡において、レーザビームの2次元スキャンによりムラのない2次元画像を得るためには、2つの偏向素子の回転角（振り角）にかかわらず、常に対物レンズの射出瞳の中心と対物レンズを通

過するレーザビームの回転中心を一致させることが必要であり、このためには偏向素子の回転中心と対物レンズの射出瞳位置を共役関係とすればよいことになる。ところが、レーザビームを2次元スキャンするのに、2つの偏向素子を使用しているため、常に、これら2つの偏向素子の両方を対物レンズの射出瞳位置と共役関係になるように設定することはできない。そこで特許文献1では、光束を一方向に沿って偏向する第1の偏向素子と、この第1の偏向素子が偏向した光束を前記方向に沿ってさらに偏向する第2の偏向素子と、第1及び第2の偏向素子の向きを同期させて回転させる駆動部とを備え、第2の偏向素子で偏向された光束の回転に伴う偏向の中心位置が、第1及び第2の偏向素子の間に有り、対物レンズの射出瞳位置と共役な位置に一致するように第1及び第2の偏向素子が配置されている。

[0005] ここで、対物レンズの射出瞳とは、理論的には、対物レンズの後側焦点位置であるが、当業者が対物レンズの収差、ビネッティング等の設計上必要な事項を考慮して決定した位置をも含む概念である。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2001-091848号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、対物レンズと第2対物レンズからなる結像光学系の射出瞳位置又は射出瞳と共役な位置（射出瞳共役位置）は、必ずしも一定の位置にあるわけではない。対物レンズの種類によって射出瞳位置が変化してしまう、若しくは変倍光学系が結像光学系に含まれる場合には、射出瞳位置及び射出瞳共役位置が変化してしまうという課題があった。

[0008] 本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであり、結像光学系の射出瞳位置及び射出瞳共役位置が変化した場合に、この射出瞳位置に追従して走査のための光束の回転中心位置を移動させるように構成された走査型顕微鏡

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

[0009] 前記課題を解決するために、本発明に係る走査型顕微鏡は、光源から射出された照明光を集光して試料面に照射する対物レンズと、光源と対物レンズとの間に配置され、照明光により試料面を走査する走査ユニットと、を有し、走査ユニットは、照明光を試料面上の第1の方向に走査する第1の偏向素子及び第2の偏向素子と、照明光を第1の方向に直交する第2の方向に走査する第3の偏向素子及び第4の偏向素子と、を含み、第1の偏向素子及び第2の偏向素子による照明光の回転中心と、第3の偏向素子及び第4の偏向素子による照明光の回転中心とが、対物レンズの射出瞳、若しくは当該射出瞳と共役な位置と略一致するように、第1の偏向素子、第2の偏向素子、第3の偏向素子及び第4の偏向素子のそれぞれによる照明光の偏向角が制御されることを特徴とする。なお、偏向角とは、所定の基準とのなす角度であり、例えば、所定の基準として、前記対物レンズを含む光学系の光軸、偏向素子の反射面、偏向素子の反射面の法線が挙げられる。

[0010] このような走査型顕微鏡は、試料面の像を変倍して形成し、当該変倍に伴って、対物レンズの射出瞳と共役な位置が移動する変倍光学系を有し、対物レンズの射出瞳と共役な位置の移動に伴って、第1の偏向素子及び第2の偏向素子による照明光の回転中心と、第3の偏向素子及び第4の偏向素子による照明光の回転中心とが、移動した射出瞳と共役な位置と略一致するように、第1の偏向素子、第2の偏向素子、第3の偏向素子及び第4の偏向素子のそれぞれによる照明光の偏向角が制御されることが好ましい。

[0011] また、このような走査型顕微鏡は、第1の偏向素子及び第2の偏向素子による照明光の回転中心が、第1の偏向素子よりも光源側の所定位置から第2の偏向素子よりも試料面側の所定位置までの間のいずれかに位置するように、第1の偏向素子及び第2の偏向素子が配置され、第3の偏向素子及び第4の偏向素子による照明光の回転中心が、第3の偏向素子よりも光源側の所定位置から第4の偏向素子よりも試料面側の所定位置までの間のいずれかに位

置するように、第3の偏向素子及び第4の偏向素子が配置されることが好ましい。

[0012] また、このような走査型顕微鏡において、第1の偏向素子及び第2の偏向素子は、それぞれが第1の方向に略直交する回転軸を中心に回転される反射面を有し、第3の偏向素子及び第4の偏向素子は、それぞれが第2の方向に略直交する回転軸を中心に回転される反射面を有し、光源から入射した照明光を第1の偏向素子で反射し、さらに、この第1の偏向素子で反射された照明光を前記第2の偏向素子で反射し、照明光を第3の偏向素子で反射し、さらに、この第3の偏向素子で反射された照明光を第4の偏向素子で反射することが好ましい。

[0013] また、このような走査型顕微鏡において、第1の偏向素子及び第2の偏向素子、並びに、第3の偏向素子及び第4の偏向素子は、次式の条件を満足するように、第1の偏向素子及び第2の偏向素子による照明光の偏向角の所定状態からの変化量、第3の偏向素子及び第4の偏向素子による照明光の偏向角の所定状態からの変化量が制御されることが好ましい。

[数1]

$$\beta = \operatorname{atan} \left(\frac{L \tan \alpha \pm \tan \alpha \sqrt{M^2 (\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}}{-L \tan \alpha \pm \sqrt{M^2 (\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}} \right)$$

但し、

α : 第1の偏向素子又は第3の偏向素子による照明光の偏向角の所定状態からの変化量

β : 第2の偏向素子又は第4の偏向素子による照明光の偏向角の所定状態からの変化量

L : 第1の偏向素子の回転中心と第2の偏向素子の回転中心との距離、又は、第3の偏向素子の回転中心と第4の偏向素子の回転中心との距離

M : 第2の偏向素子の回転中心と第1の偏向素子及び第2の偏向素子による回転中心との距離、又は、第4の偏向素子の回転中心と第3の偏向素子及び第4の偏向素子による回転中心との距離

[0014] また、このような走査型顕微鏡において、照明光が対物レンズの光軸中心を通過する際の第1の偏向素子の反射面及び第2の偏向素子の反射面への照明光の入射角度が 45° より小さくなるように配置されていることが好ましい。

[0015] また、このような走査型顕微鏡において、照明光が対物レンズの光軸中心を通過する際の第3の偏向素子の反射面及び第4の偏向素子の反射面への照明光の入射角度が 45° より小さくなるように配置されていることが好ましい。

[0016] また、このような走査型顕微鏡において、第1の偏向素子及び第2の偏向素子は、第1の偏向素子の反射面に入射する照明光に対して、第2の偏向素子の反射面で反射されて射出する照明光が交差するように配置されていることが好ましい。

[0017] このとき、第1の偏向素子及び第2の偏向素子は、第1の偏向素子の反射面に入射する照明光に対して、第2の偏向素子の反射面で反射されて射出する照明光が略直交するように配置されていることが好ましい。

[0018] また、このような走査型顕微鏡において、第3の偏向素子及び第4の偏向素子は、第3の偏向素子の反射面に入射する照明光に対して、第4の偏向素子の反射面で反射されて射出する照明光が交差するように配置されていることが好ましい。

[0019] このとき、第3の偏向素子及び第4の偏向素子は、第3の偏向素子の反射面に入射する照明光に対して、第4の偏向素子の反射面で反射されて射出する照明光が略直交するように配置されていることが好ましい。

発明の効果

[0020] 本発明に係る走査型顕微鏡を以上のように構成すると、結像光学系の射出瞳位置及び射出瞳共役位置が変化した場合に、この射出瞳位置又は射出瞳共役位置に追従して走査のための光束の回転中心位置を移動させることができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本実施形態に係る走査型顕微鏡の構成を示す説明図である。

[図2]第1の実施形態に係る走査ユニットの構成を示す説明図である。

[図3]第1及び第2の偏向素子による回転中心を試料面側に配置して試料面上を走査するときの光線を示す説明図であって、(a)は走査時の光線の軌跡を示し、(b)は(a)における上方の光線を示し、(c)は(a)における光軸上の光線を示し、(d)は(a)における下方の光線を示す。

[図4]第1及び第2の偏向素子による回転中心を光源側に配置して試料面上を走査するときの光線を示す説明図であって、(a)は走査時の光線の軌跡を示し、(b)は(a)における上方の光線を示し、(c)は(a)における光軸上の光線を示し、(d)は(a)における下方の光線を示す。

[図5]第1及び第2の偏向素子による回転中心を第2の偏向素子の回転中心に配置して試料面上を走査するときの光線を示す説明図であって、(a)は走査時の光線の軌跡を示し、(b)は(a)における上方の光線を示し、(c)は(a)における光軸上の光線を示し、(d)は(a)における下方の光線を示す。

[図6]第1及び第2の偏向素子による回転中心を第1及び第2の偏向素子の略中間に配置して試料面上を走査するときの光線を示す説明図であって、(a)は走査時の光線の軌跡を示し、(b)は(a)における上方の光線を示し、(c)は(a)における光軸上の光線を示し、(d)は(a)における下方の光線を示す。

[図7]第1及び第2の偏向素子による回転中心を第1の偏向素子の回転中心に配置して試料面上を走査するときの光線を示す説明図であって、(a)は走査時の光線の軌跡を示し、(b)は(a)における上方の光線を示し、(c)は(a)における光軸上の光線を示し、(d)は(a)における下方の光線を示す。

[図8]本実施形態に係る走査ユニットの構成を比較する説明図であって、(a)は第1の実施形態に係る走査ユニットを示し、(b)は第2の実施形態に係る走査ユニットの構成を示す。

[図9]走査ユニットにおける偏向素子の配置を説明するための説明図であって、（a）は従来の走査型顕微鏡を示し、（b）は第2の実施形態に係る走査型顕微鏡を示す。

[図10]射出瞳の位置が変化する走査光学系の構成を示す説明図であって、（a）はこの走査光学系を構成する変倍第2対物光学系の焦点距離が60mmの場合を示し、（b）は変倍第2対物光学系の焦点距離が450mmの場合を示す。

[図11]上記変倍第2対物光学系の焦点距離が60mmの場合であって、射出瞳共役位置に第2の偏向素子を配置した場合の状態を示す説明図であって、（a）は軸上光束の状態を示し、（b）は軸外光束の状態を示す。

[図12]図11の状態から変倍第2対物光学系の焦点距離を450mmに変倍したときの状態を示す説明図であって、（a）は軸上光束の状態を示し、（b）は軸外光束の状態を示す。

[図13]上記変倍第2対物光学系の焦点距離が60mmの場合であって、射出瞳共役位置に第2の偏向素子を配置し、その像側に第1の偏向素子を配置した場合の状態を示す説明図であって、（a）は軸上光束の状態を示し、（b）は軸外光束の状態を示す。

[図14]図13の状態から変倍第2対物光学系の焦点距離を450mmに変倍したときの状態を示す説明図であって、（a）は軸上光束の状態を示し、（b）は軸外光束の状態を示す。

[図15]第1及び第2の偏向素子の回転角度とこれらの偏向素子による照明光の偏向角との関係を示す説明図であって、（a）は初期状態を示し、（b）は第1及び第2の偏向素子を回転させた状態を示す。

[図16]第1及び第2の偏向素子の回転中心とこれらの偏向素子による照明光の回転中心との関係を示す説明図である。

[図17]従来の走査型顕微鏡における偏向素子の配置を説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照して説明する。まず、図1を用いて本実施形態に係る走査型顕微鏡の構成を説明する。この走査型顕微鏡10は、光源20から放射されたレーザビーム（照明光）を観察試料の試料面50に照射して走査する走査光学系30と、試料面50からの反射光または蛍光を検出する検出光学系40と、を有して構成される。

[0023] 走査光学系30は、光源20側から順に、ビームエキスパンダ31、ビームスプリッター32、走査ユニット33、瞳投影レンズ34、第2対物レンズ35、及び、対物レンズ36を有する。また、検出光学系40は、走査光学系30の側方に配置され、ビームスプリッター32側から順に、結像レンズ41、遮光板42、及び、光検出器43を有する。また、この走査型顕微鏡10には、走査ユニット33で走査する位置（試料面50上の座標）及び光検出器43で検出された値を処理する処理部70が設けられている。

[0024] この走査型顕微鏡10において、光源20から放射されたレーザビームは、ビームエキスパンダ31で必要なビーム径の略平行光束となり、ビームスプリッター32を透過し、走査ユニット33に入射する。この走査ユニット33は、後述するように光軸に直交する方向にレーザビームを2次元的に走査するものであり、例えば、図2に示すようにレーザビームを反射することによりこのレーザビームを偏向させる第1の偏向素子33a、第2の偏向素子33b、第3の偏向素子33c及び第4の偏向素子33dからなる4つの偏向素子で構成されている。また、これらの第1～第4の偏向素子33a～33dは、駆動部60のモータで回転（揺動）されるように構成されている。そして、この走査ユニット33を出射したレーザビーム（略平行光束）は瞳投影レンズ34により一次像面Iに結像された後、第2対物レンズ35を通過することにより再び略平行光束となり、対物レンズ36によって試料面（対物レンズ36の焦点面）50上に結像される。

[0025] 試料面50上に結像されたレーザビームの像は点像となっており、その点像の径は対物レンズ36の開口数（NA）で決まる大きさである。試料面50上の点像（照射領域）からの反射光または蛍光は、再び対物レンズ36で

集光されて略平行光束となり、第2対物レンズ35により一次像面1に結像された後、さらに瞳投影レンズ34で略平行光束にされて走査ユニット33に入射する。そして、この走査ユニット33でデスキャンされて出射した反射光または蛍光（略平行光束）はビームスプリッター32で反射されて検出光学系40内に入り、結像レンズ41により遮光板42の開口部42a上に集光される。この遮光板42の開口部42aを通過した光のみが光検出器43に到達し検出される。

[0026] 上述のように、遮光板42の開口部42aは試料面50上に結像されたレーザービームの点像と共役であり、試料面50上の照射領域から出た光（反射光または蛍光）はこの開口部42aを通過することができる。一方、試料面50上の他の領域から出た光のほとんどはこの開口部42a上には結像されず、通過することができない。以上より、処理部70が走査ユニット33の走査に同期させて光検出器43で検出された光信号を処理することにより、試料面50上のレーザービームが照射された座標と光信号から求められる輝度を用いて、試料面50の二次元的な画像を得ることができる。これによりこの走査型顕微鏡10は、高い分解能で試料面50の像を得ることができる。

[0027] ところで、上述したように、このような走査型顕微鏡10において、レーザービームの2次元スキャンによりムラのない2次元画像を得るためには、走査ユニット33を構成する第1～第4の偏向素子33a～33dによるレーザービームの回転中心（試料面50を走査するためにレーザービームを振るときの振り角の中心）と対物レンズ（結像光学系）36の射出瞳Pの位置を共役関係とすることが必要である。ここで、瞳投影レンズ34は、対物レンズ36の射出瞳Pの像を走査ユニット33上若しくはその近傍に形成するように構成されている。以下に、この走査ユニット33の構成について説明する。

[0028] [第1の実施形態]

上述の図2は、第1の実施形態に係る走査ユニット33の構成を示しており、この図2に示すように、光軸に直交する試料面50において所定の方角（図2においては上下方向）をx軸方向とし、このx軸方向に直交する方向

(図2においては左右方向)をy軸方向とすると、レーザビームの点像をこの試料面50においてx軸方向に走査させる2枚の偏向素子(第1及び第2の偏向素子33a, 33b)と、y軸方向に走査させる2枚の偏向素子(第3及び第4の偏向素子33c, 33d)とから構成される。なお、図2の構成において、第1及び第2の偏向素子33a, 33bは、y軸方向に延びる走査回転軸を有し、第3及び第4の偏向素子33c, 33dは、x軸方向に延びる走査回転軸を有しており、これらの回転軸が、上述の駆動部60のモータで回転されることにより、第1及び第2の偏向素子33a, 33bの反射面がx軸方向に回転(揺動)し、第3及び第4の偏向素子33c, 33dの反射面がy軸方向に回転(揺動)する。また、図3(c)に示すように、この走査ユニット33を射出して、試料面50のx軸方向における光軸上の領域にレーザビームを照射するときは、第1及び第2の偏向素子33a, 33bの反射面は略平行で光軸に対して45°傾いて配置されている(レーザビームの入射角が45°となる)。y軸方向に対する第3及び第4の偏向素子33c, 33dも同様である。以下、レーザビームをx軸方向に走査する第1及び第2の偏向素子33a, 33bについて説明するが、y軸方向に走査する第3及び第4の偏向素子33c, 33dも同様の構成を有している。

[0029] 本実施形態では対物レンズ36と第2対物レンズ35からなる結像光学系の射出瞳位置(対物レンズ36の射出瞳の位置)が変化する場合、例えば異なる射出瞳位置を持つ複数の対物レンズ36を使用する場合や、結像光学系に変倍光学系が含まれて(対物レンズ、変倍光学系、第2対物レンズからなる)、射出瞳共役位置が倍率によって変化する場合を想定している。この場合2次元走査光束の両回転中心が重なっていたとしても、その位置が射出瞳と共役でない場合、射出瞳共役位置と一致しない場合は、両次元ともに軸上と軸外での光量ロスと光学性能の劣化が発生する。それを防ぐために射出瞳位置変化又は射出瞳共役位置変化に合わせて両回転中心を共に移動させる。

[0030] 図3～図7は、第1及び第2の偏向素子33a, 33bにより、光軸上を通して入射したレーザ光を、試料面50においてx軸方向に走査させる(以

下、「1次元走査」と呼ぶ)場合を示している。ここで、第1及び第2の偏向素子33a, 33bはその走査回転軸がy軸方向に互いに略平行に延びている。図3は、第1及び第2の偏向素子33a, 33bの回転角度(揺動角度)を調整することにより、第2の偏向素子33bよりも試料面50側の点P'を回転中心としてこのレーザビームを走査させる場合を示している。また、図4は、第1及び第2の偏向素子33a, 33bによるレーザビームの走査の回転中心P'が、第1の偏向素子33aよりも光源20側に位置するようにこれらの回転角度(回転振り角)を制御した場合を示している。また、図5は、第1及び第2の偏向素子33a, 33bによるレーザビームの走査の回転中心P'が、第2の偏向素子33bの回転中心と重なるようにこれらの回転角度(回転振り角)を制御した場合を示している。なお、この場合、第1の偏向素子33aは回転しない。また、図6は、第1及び第2の偏向素子33a, 33bによるレーザビームの走査の回転中心P'が、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bとの略中間に位置するようにこれらの回転角度(回転振り角)を制御した場合を示している。なお、この場合、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bとはおよそ対称な位置関係になるために、回転振り角はほぼ同じとなる。また、図7は、第1及び第2の偏向素子33a, 33bによるレーザビームの走査の回転中心P'が、第1の偏向素子33aの回転中心と重なるようにこれらの回転角度(回転振り角)を制御した場合を示している。なお、この場合、第2の偏向素子33bは回転しない。

[0031] 以上のように、第1及び第2の偏向素子33a, 33bの回転角度(回転振り角)を制御することにより、レーザビームで試料面50をx軸方向に走査するときの回転中心P'を第1の偏向素子33aの像側から第2の偏向素子33bの物体側までの範囲で移動させることができる。すなわち、以上のような構成により、

1. 1次元走査における回転中心P'が第1の偏向素子33aよりも入射側に位置する場合(図4の場合)

ⅠⅠ． 1次元走査における回転中心 P' が第1の偏向素子33aの回転中心と重なっている場合（図7の場合）

ⅠⅠⅠ． 1次元走査における回転中心 P' が第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bとの間に位置する場合（図6の場合）

ⅠⅤ． 1次元走査における回転中心 P' が第2の偏向素子33bの回転中心と重なっている場合（図5の場合）

Ⅴ． 1次元走査における回転中心 P' が第2の偏向素子33bよりも射出側に位置する場合（図3の場合）

の計5種類の1次元走査光学系が2つの偏向素子33a, 33bを含む同一の構成で可能であることが示された。この構成は、第3の偏向素子33c及び第4の偏向素子33dにおいても同様である。

[0032] 図2に示すように、光源20側から順（レーザビームの入射順）に、第1及び第2の偏向素子33a, 33bからなる第1の1次元走査光学系（以後、X走査光学系33xとする）と第3及び第4の偏向素子33c, 33dからなる第2の1次元走査光学系（以後、Y走査光学系33yとする）とから構成される2次元走査光学系（走査ユニット33）を備えた走査型顕微鏡10において、結像光学系の射出瞳共役位置がX走査光学系33xの第1の偏向素子33aよりも入射側にある場合、X走査光学系33x及びY走査光学系33yは共に、タイプⅠの1次元走査光学系でなくてはならない。また、結像光学系の射出瞳共役位置がX走査光学系33xの第1の偏向素子33aの回転中心と一致している場合、X走査光学系33xはタイプⅠⅠであり、Y走査光学系33yは、タイプⅠである。また、結像光学系の射出瞳共役位置がX走査光学系33xの第1及び第2の偏向素子33a, 33bの間にある場合、X走査光学系はタイプⅠⅠⅠであり、Y走査光学系33yは、タイプⅠである。また、結像光学系の射出瞳共役位置がX走査光学系33xの第2の偏向素子33bの回転中心と一致している場合、X走査光学系33xはタイプⅠⅤであり、Y走査光学系33yは、タイプⅠである。また、結像光学系の瞳共役位置がX走査光学系33xの第2の偏向素子33bよりも射出

側にある場合、X走査光学系はタイプVであり、Y走査光学系33yは、タイプIである。また、結像光学系の射出瞳共役位置がY走査光学系33yの第3の偏向素子33cの回転中心と一致している場合、X走査光学系33xはタイプVであり、Y走査光学系33yは、タイプIIである。また、結像光学系の射出瞳共役位置がY走査光学系33yの第3及び第4の偏向素子33c、33dの間にある場合、X走査光学系33xはタイプVであり、Y走査光学系33yはタイプIIIである。また、結像光学系の射出瞳共役位置がY走査光学系33yの第4の偏向素子33dの回転中心と一致している場合、X走査光学系33xはタイプVであり、Y走査光学系33yはタイプIVである。また、結像光学系の射出瞳共役位置がY走査光学系33yの第4の偏向素子33dよりも射出側にある場合、X走査光学系33x及びY走査光学系33yは共に、タイプVの1次元走査光学系でなくてはならない。

[0033] 以上のように結像光学系の射出瞳共役位置がいずれの場所にあったとしても、同一の構成を持つ本実施形態に係る2次元走査光学系（走査ユニット33）を使用すれば、射出瞳共役を保つことができる。

[0034] また、以上の偏向素子33a～33dは、例えばポリゴンミラー（回転多面鏡）、音響光学素子等で構成することも可能である。また、第1及び第2の偏向素子33a、33bにより、試料面50においてレーザ光をy軸方向に走査させ、第3及び第4の偏向素子33c、33dによりx軸方向に走査させるように構成することも可能である。

[0035] また、X走査光学系33xとY走査光学系33yは入れ子構造になっていても良い。具体的には光源20側から順にX走査光学系33xの第1の偏向素子33a、Y走査光学系33yの第3の偏向素子33c、X走査光学系33xの第2の偏向素子33b、Y走査光学系33yの第4の偏向素子33dという順に配置されていてもよいし、光源20側から順にX走査光学系33xの第1の偏向素子33a、Y走査光学系33yの第3の偏向素子33c、Y走査光学系33yの第4の偏向素子33d、X走査光学系33xの第2の偏向素子33bという順に配置されていてもよい。各走査方向に対して偏向

素子が2つ備えられていることが重要である。

[0036] [第2の実施形態]

第1の実施形態に係る走査ユニット33に示すように、この走査ユニット33から光軸上にレーザビームが射出されるとき、第1及び第2の偏向素子33a、33bの反射面に入射するレーザビームの入射角度をそれぞれ 45° に設定すると、図8(a)に示すように、第1の偏向素子33aの回転(揺動)により第2の偏向素子33bに入射する光束がx軸方向に移動するため、この第2の偏向素子33bの反射面が大きくなってしまう。そこで、図8(b)に示すように、第1の偏向素子33aに入射する光束と第2の偏向素子33bから射出する光束とを交差させることで、第2の偏向素子33bの反射面を小型化することができる。これは、第1及び第2の偏向素子33a、33bに対するレーザビームの入射角(この走査ユニット33から光軸上に射出されるときの入射角)を 45° より小さくすることができるため、これにより、第1の偏向素子33aの回転により第2の偏向素子33bに入射する光束のx軸方向の移動量が小さくなるからである。また、このように配置すると、図8(a)の場合に比べて第1の偏向素子33aも小型化することができる。これは、第3及び第4の偏向素子33c、33dも同様である。

[0037] さらに、図8(a)に示すように走査光学系30が像面の中心(光軸上)を走査する状態において、第1の偏向素子33aに入射する光束と第2の偏向素子33bから出射する光束が略平行光束である場合は、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bも平行である。この状態で第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bとを一定以上近づけると第2の偏向素子33bが入射光束を妨げてしまう。一方、図8(b)のように第1の偏向素子33aに入射する光束と第2の偏向素子33bから出射する光束を交差させる構成では光束を折り畳むことができるために、走査光学系30をより小型化することができる。

[0038] 以下の表1に、入射ビーム径 ϕ が5.5mm、走査最大角 θ が 6.89°

、第1及び第2の偏向素子33a、33bの反射面の光軸上の面間隔L1が10.0mm、及び、第2の偏向素子33bの反射面から対物レンズ36の入射瞳と共役な面P'までの光軸上の距離L2が15.0mmのときの、図8(a)に示す入出射光束が平行な場合と、図8(b)に示す入出射光束が交差する場合における第1及び第2の偏向素子33a、33bの反射面の有効径 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ を示す。

[0039] [表1]

	入出射光束が平行	入出射光束が交差
入射ビーム径 ϕ [mm]	5.5	5.5
走査最大角 θ [°]	6.89	6.89
第1の偏向素子の有効径 $\phi 1$ [mm]	8.6	6.2
第2の偏向素子の有効径 $\phi 2$ [mm]	13.2	10.0
反射面の間隔L1[mm]	10.0	10.0
第2の偏向素子と瞳との距離L2[mm]	15.0	15.0

[0040] また、図9(b)に示すように、第1の偏向素子33aに入射する光束と第2の偏向素子33bから射出する光束の交差角が90°であり、かつ、第3の偏向素子33cに入射する光束と第4の偏向素子33dから射出する光束の交差角が90°である場合は、図9(a)に示す通常の2次元走査光学系の入射光束方向及び、射出光束方向が変わらないために光学系の他要素を一切変更せずに、第2の実施形態に係る走査光学系30を導入することができる。

[0041] 走査される光束の回転中心位置に偏向素子が存在する場合は、対物レンズ36の射出瞳位置には偏向素子を配置できないので、対物レンズ36と偏向素子との間に、第2対物レンズ35、瞳投影レンズ36（リレー光学系）を設けて偏向素子近傍に射出瞳共役位置を形成することにより、走査される光束の回転中心位置近傍と対物レンズ36の射出瞳とを共役関係にしている。リレー光学系を設けることによって、装置の大型化、リレー光学系が持つ収差の影響が避けられないという問題がある。第1の実施形態のタイプI、V（図4、図3）では、走査される光束の回転中心位置に偏向素子が存在しないために、対物レンズ36の射出瞳位置に走査される光束の回転中心位置を

配置することができるので、リレー光学系は必ずしも必要なく、収差の影響を避けることができる。

[0042] [第3の実施形態]

次に第3の実施形態として、射出瞳Pの共役位置が変化する走査光学系30に対して、上述した構成の2次元走査光学系である走査ユニット33を適用した場合について説明する。具体的には、この第3の実施形態に係る走査光学系30は、図10に示すように、対物レンズ36と瞳投影レンズ34との間に、物体側から順に、変倍光学系37と、第2対物レンズ35とを有して構成されている。なお、以降の説明においては、変倍光学系37と第2対物レンズ35とをまとめて変倍第2対物光学系38と呼ぶこととする。また、図10は対物レンズ36の射出瞳Pから瞳投影レンズ34でリレーされた射出瞳の像P''までの光学系の構成を示している。すなわち、この図10は、変倍第2対物光学系38の物体側の入射瞳Pから、その瞳Pを瞳投影レンズ34によってリレーした変倍第2対物光学系38の射出瞳共役位置P''までの光路図を示している。また、図10(a)は、変倍第2対物光学系38の焦点距離fが60mmの状態を示し、図10(b)は焦点距離fが450mmの状態を示している。この図10(a)及び(b)から明らかなように、変倍第2対物光学系38の焦点距離fにより、リレーされた射出瞳共役位置P''が異なっていることがわかる。

[0043] この変倍第2対物光学系38を構成する変倍光学系37は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、負の屈折力を有する第3レンズ群G3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G4と、を有して構成されている。また、第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と両凸レンズL12とを接合した接合レンズ、及び、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL13で構成され、第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹レンズL21、両凸レンズL22と両凹レンズL23とを接合した接合レンズ、及び、両凹レンズL24で構成され、第3レンズ群G3は、物体側か

ら順に、両凸レンズL 3 1、及び、両凸レンズ3 2と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 3とを接合した接合レンズで構成され、第4レンズ群G 4は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 4 1と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 4 2とを接合した接合レンズで構成されている。なお、この変倍光学系3 7は、図1 0に示すように、高倍端状態から低倍端状態に変倍する際に、第2レンズ群G 2及び第3レンズ群G 3が光軸に沿って像側に移動するように構成されている。このとき、第1レンズ群G 1及び第4レンズ群G 4は変倍においては光軸上に固定されている。

[0044] また、第2対物レンズ3 5は、物体側から順に、両凸レンズL 5 1と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 5 2とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズL 5 3と両凹レンズL 5 4とを接合した接合レンズから構成されている。

[0045] 以下の表1に、この変倍第2対物光学系3 8の諸元の値を示す。この表1において、全体諸元におけるfは物体距離を無限遠としたときの変倍第2対物光学系3 8の全系の焦点距離を示し、F n oはFナンバーを示し、d 0は対物レンズ3 6の射出瞳Pから変倍第2対物光学系3 8の最も物体側のレンズ面（第1面）までの光軸上の距離を示す。また、レンズデータにおける第1欄mは物体側から光線の進行する方向に沿った各光学面の面番号を、第2欄rは各光学面の曲率半径を、第3欄dは各光学面から次の光学面までの光軸上の距離（面間隔であって、光軸上でのレンズ厚または空気間隔）を、第4欄 ν d及び第5欄n dはd線（ $\lambda = 587.6 \text{ nm}$ ）に対するアッペ数及び屈折率を、それぞれ表している。ここで、表1に示す面番号1～26は、図1 0における変倍光学系3 7の最も物体側の面を1とし、第2対物レンズ3 5の最も像側の面を26としている。また、曲率半径におけるマイナス（－）は、レンズ面が物側に向けて凹状であることを表す。また、空気の屈折率1.0000は省略してある。また、第26面の面間隔dは変倍第2対物光学系3 8（第2対物レンズ3 5）の最も像側のレンズ面（第26面）から瞳投影

レンズ 3 4 の最も物体側のレンズ面（第 2 7 面）までの光軸上の距離を示している。

[0046] また、上述したように変倍光学系 3 7 は、高倍端状態から低倍端状態に変倍するとき、第 2 レンズ群 G 2 及び第 3 レンズ群 G 3 が光軸に沿って移動するため、変倍に際し、第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との間隔 d 1、第 2 レンズ群 G 2 と第 3 レンズ群 G 3 との間隔 d 2、及び、第 3 レンズ群 G 3 と第 4 レンズ群 G 4 との間隔 d 3 が変化する。以下の表 1 のレンズ群間隔には、高倍端状態、中間焦点距離状態及び低倍端状態における、最も物体側のレンズ面（第 1 面）の有効径 Φ 、変倍第 2 対物光学系 3 8 の全系の焦点距離 f 及びレンズ群間隔 d 1、d 2、d 3 の値を示している。なお、第 1 面の有効径 Φ は、変倍に伴い変化し、各焦点距離においてこの変倍光学系 3 7 に入射する光束径を決定する物側入射瞳の役割を果たしている。

[0047] なお、以下の全ての諸元値において掲載されている焦点距離 f、曲率半径 r、面間隔 d その他長さの単位は一般に「mm」が使われるが、光学系は、比例拡大又は比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、これに限られるものではない。また、以上の諸元表の説明は、以降に示す諸元表においても同様である。

[0048] （表 1）

全体諸元

f = 60 ~ 450

F n o = 10.0 ~ 22.5

d 0 = 15.0 ~ 15.0

レンズデータ

m	r	d	ν d	n d
1	120.1967	2.0000	39.57	1.804400
2	48.7980	3.0000	82.56	1.497820
3	-509.0866	0.5000		
4	50.4610	3.0000	82.56	1.497820

5	3179.8129	d1		
6	-108.0082	1.5000	35.71	1.902650
7	25.8194	2.0000		
8	32.8474	3.5000	23.78	1.846660
9	-19.0003	1.0000	60.29	1.620410
10	31.8448	1.5000		
11	-25.9839	1.5000	35.71	1.902650
12	228.2515	d2		
13	838.2380	6.0000	82.56	1.497820
14	-31.9728	0.2000		
15	136.9685	6.0000	82.56	1.497820
16	-39.2120	2.0000	28.55	1.795040
17	-92.0449	d3		
18	-339.8016	5.5000	36.24	1.620040
19	-40.8020	1.5000	39.57	1.804400
20	-124.4210	5.5017		
21	327.0571	6.0000	71.34	1.569076
22	-73.5845	3.0000	41.96	1.667551
23	-186.9698	0.5000		
24	140.9037	5.5000	71.34	1.569076
25	-82.7373	2.5000	56.34	1.568832
26	418.3780	195.1762		

レンズ群間隔

	高倍端	中間焦点距離	低倍端
Φ	6.0000	12.0000	20.0000
f	60.0000	150.0000	450.0000
d 1	2.6024	42.4730	60.3676
d 2	22.8372	18.1594	2.5051

d 3 43.3588 8.1659 5.9257

[0049] また、瞳投影レンズ 3 4 は、物体側から順に、両凹レンズ L 6 1 と両凸レンズ L 6 2 との接合レンズ、及び、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 6 3 から構成されている。以下の表 2 に、この瞳投影レンズ 3 4 の諸元の値を示す。この瞳投影レンズ 3 4 は変倍第 2 対物光学系 3 8 が形成する像 I よりも、物体側からみて離れた方向に位置し変倍第 2 対物光学系 3 8 の射出瞳をリレーしている。ここで、表 2 に示す面番号 2 7 ~ 3 1 は、図 1 0 における瞳投影レンズ 2 4 の最も物体側の面を 2 7 とし、最も像側の面を 3 1 としている。

[0050] (表 2)

m	r	d	ν d	n d
27	-104.4668	2.0000	28.23	1.754521
28	128.4039	5.0000	70.33	1.487605
29	-34.6546	1.0000		
30	44.4201	3.0000	70.20	1.487825
31	∞			

[0051] まず、上述した構成の走査光学系 3 0 に対し、1 枚の反射ミラーである第 2 の偏向素子 3 3 b で 1 次元走査光学系を構成した場合について説明する（ここでは、X 走査光学系 3 3 x として説明するが、Y 走査光学系 3 3 y も同様である）。この第 2 の偏向素子 3 3 b は、図 1 1 (a) に示すように、その回転中心を変倍第 2 対物光学系 3 8 の焦点距離 f が 6 0 m m のときのリレーされた射出瞳共役位置 P'' に一致し、さらに、この第 2 の偏向素子 3 3 b への入射光束と反射光束が垂直をなし、その反射光束が変倍第 2 対物光学系 3 8 の軸上光束となるように配置されている。そして、その状態から第 2 の偏向素子 3 3 b を 2.5° 回転させると、図 1 1 (b) に示すように、反射光束は変倍第 2 対物光学系 3 8 の光軸に対して 5° 傾斜した軸外光束として瞳投影レンズ 3 8 に入射する。このとき、第 2 の偏向素子 3 3 b の回転中心と変倍第 2 対物光学系 3 8 の射出瞳共役位置 P'' は一致しているので、軸上

、軸外共に凡そ全光束が変倍第2対物光学系38の物体側の入射瞳Pを通過することができる。

[0052] 一方、第2の偏向素子33bの位置を変えずに、変倍第2対物光学系38の焦点距離 f を450mmに変倍した状態でも、図12(a)に示すように、第2の偏向素子33bへの入射光束と反射光束が垂直をなす場合は、その反射光束が変倍第2対物光学系38の軸上光束となり、変倍第2対物光学系38の入射瞳Pを通過することができるが、第2の偏向素子33bを 2.5° 回転させると、この第2の偏向素子33bの回転中心から変倍第2対物光学系38の射出瞳共役位置 P'' がはずれているため、図12(b)に示すように、軸外光束は変倍第2対物光学系38の途中で有効径を外れてしまう。

[0053] そこで、図13に示す通り第1の偏向素子33aを追加し、2枚の反射ミラーで1次元走査光学系(X走査光学系33x)を構成する。ここで、図13(a)に示すように、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bの回転中心を結ぶ線分(20mm)と変倍第2対物光学系38の光軸は直交し、第1の偏向素子33aへの入射光束は変倍第2対物光学系38の光軸と平行である。なお、上述したように、このときの射出瞳共役位置 P'' は第2の偏向素子33bの回転中心、及び第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bによるレーザビーム(照明光)の回転中心と一致しているものとする。そのため、図13(b)に示すように、第2の偏向素子33bを 2.5° 回転させると、瞳投影レンズ34に入射する軸外光束は変倍第2対物光学系38の光軸に対して 5° 傾斜するが、図11(a)、(b)の場合と同様に、軸上、軸外共に凡そ全光束が変倍第2対物光学系38の物体側の入射瞳Pを通過することができる。もっとも、射出瞳共役位置 P'' が第2の偏向素子33bの回転中心と一致していたとしても、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bによるレーザビーム(照明光)の回転中心と一致していない場合は、軸外光束は変倍第2対物光学系38の途中で有効径を外れてしまう。

[0054] 一方、この状態で、変倍第2対物光学系38の焦点距離 f を450mmに変倍した状態でも、図14(a)に示すように、第2の偏向素子33bへの

入射光束と反射光束が直交し、さらに、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bの回転中心を結ぶ線分と変倍第2対物光学系38の光軸が直交する場合は、その反射光束が変倍第2対物光学系38の軸上光束となり、変倍第2対物光学系38の入射瞳Pを通過することができる。そして、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bによるレーザビーム（照明光）の回転中心が、射出瞳共役位置P''に一致するように第1の偏向素子33a及び第2の偏向素子33bの各々の回転角度（回転振り角）を調整して、瞳投影レンズ34に入射する軸外光束を変倍第2対物光学系38の光軸に対して5°傾斜させると、図14（b）に示すように、変倍第2対物光学系38の途中でケラれることなく、変倍第2対物光学系38の物体側の入射瞳Pを通過させることができる。このように第1の偏向素子33a及び第2の偏向素子33bを配置し、これらの2つの偏向素子33a、33bによるレーザビーム（照明光）の回転中心を射出瞳共役位置P''に一致させることにより、変倍第2対物光学系38の焦点距離fが60mmであっても、450mmであっても、軸上、軸外共に凡そ全光束が変倍第2対物光学系38の物体側の入射瞳Pを通過することができる。

[0055] それでは、第1の偏向素子33aと第2の偏向素子33bによるレーザビーム（照明光）の回転中心が射出瞳共役位置P''に一致するような第1の偏向素子33a及び第2の偏向素子33bの各々の回転角度（回転振り角）の決め方の一例、すなわち、2枚の偏向素子33a、33bの回転振り角と、これらの偏向素子33a、33bによるレーザビーム（照明光）の回転中心の位置との関係について説明する。まず、図15（a）に示すように、2枚の偏向素子33a、33bから構成されるX走査光学系33xへの入射光がこれらの偏向素子33a、33bの回転中心を通過し、このX走査光学系33xからの射出光が、変倍第2対物光学系38の光軸を通過する場合を初期状態として説明する。ここで、第1の偏向素子33aの回転中心をAとし、第2の偏向素子33bの回転中心をCとし、これらの偏向素子33a、33bによるレーザビームの回転中心（X走査光学系33xの回転中心）をP'

とする。また、第1の偏向素子33aの回転中心Aと第2の偏向素子33bの回転中心Cとの距離をLとし、第2の偏向素子33bの回転中心CとX走査光学系33xの回転中心P'との距離をMとする。また、図15において時計回りを正の値として説明する。

[0056] 図15(b)に示すように、上述の初期状態から第1の偏向素子33aを $\alpha/2$ [°] 回転させ、第2の偏向素子33bを $\beta/2$ [°] 回転させたとする。また、第1の偏向素子33aで反射された入射光が第2の偏向素子33bに入射する位置をBとし、第1の偏向素子33aの回転中心Aの鏡像をA'とする。

[0057] 上述したように、点A'は点Aの鏡像であるため、三角形A'CP'において、線分A'Cの長さはLであり、角BA'Cは α である。従って、図16に示すように、中心が第2の偏向素子33bの回転中心Cであって半径がMの円と、傾きが $\tan \alpha$ でY切片が $L \cdot \tan \alpha$ の直線との光線とを求めれば、X走査光学系33xの回転中心P'が確定する。なお、直線CAをy軸とし、変倍第2対物光学系38の光軸をx軸とする。

[0058] $X^2 + Y^2 = M^2$

$$Y = \tan \alpha \cdot X + L \cdot \tan \alpha$$

[0059] 上述した2式を連立させて解くことによりXとYが求まる。また、図15(b)において、上述の初期状態の場合、鏡像A'は、光軸上に形成されるので、角ACA'は90 [°] であり、この状態から第2の偏向素子33bが $\beta/2$ [°] 回転すると、線A'Cと光軸とのなす角(鋭角)は、 β [°] となる。この角 β は、図16(a)においては、線P'Cとx軸(変倍第2対物光学系38の光軸)とのなす角(鋭角)となるので、次式より求められる。

[0060] [数2]

$$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{Y}{X}\right) = \operatorname{atan}\left(\frac{L \tan \alpha + \tan \alpha \sqrt{M^2(\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}}{-L \tan^2 \alpha + \sqrt{M^2(\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}}\right)$$

[0061] 図16(a)に示した上述の説明は、特定の偏向素子配置、すなわち、X

走査光学系 33x を射出するレーザービーム（照明光）の回転中心 P' が第 2 の偏向素子 33b よりも変倍第 2 対物光学系 38 側にある場合におけるものであるが、回転中心 P' が第 2 の偏向素子 33b よりも第 1 の偏向素子 33a 側にある場合は、図 16 (b) のようになる。そのため、偏向素子の配置に関わらず一般的に以下の式が成立する。

[0062] [数3]

$$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{L \tan \alpha \pm \tan \alpha \sqrt{M^2 (\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}}{-L \tan \alpha \pm \sqrt{M^2 (\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}}\right) \quad (1)$$

[0063] 上述の式 (1) において、X 走査光学系 33x を射出するレーザービーム（照明光）の回転中心 P' が第 2 の偏向素子 33b よりも変倍第 2 対物光学系 38 側にある場合は、式中の ± において + を採用し、第 2 の偏向素子 33b よりも第 1 の偏向素子 33a 側にある場合は式中の ± において - を採用する。

[0064] 以上のように、第 1 及び第 2 の偏向素子 33a, 33b の回転角度（回転振り角）である $\alpha/2$ 及び $\beta/2$ が上述の式 (1) の関係を満たすようにこれらの偏向素子 33a, 33b を制御することにより、これらの偏向素子 33a, 33b による照明光の偏向角が制御され、所望の回転中心 P' でレーザービーム（照明光）を回転させることができる。なお、図 16 に示すように、上述の式 (b) 及び式 (c) からは 2 つの点 P' の位置が求められ、これに応じて式 (1) における α , β に対しても 2 つの関係が求められるが、第 1 の実施形態で説明した 5 つのタイプ（タイプ I ～タイプ V）に応じて、これらの値を使い分けることにより、所望の位置に回転中心を配置することができる。

[0065] 例えば、上述した図 14 の例では、図 14 (a) に示すように、軸上光束に対して第 1 及び第 2 の偏向素子 33a, 33b を、これらの反射面と光軸とのなす角度が 45° になるように配置されているときに、図 14 (b) に示すように、軸外光束を変倍第 2 対物光学系 38 の光軸に対して 5° 傾斜させるために、第 1 の偏向素子 33a を 5.1° 回転させ（反射面と光軸との

なす角度を 50.1° にし)、第2の偏向素子33bを 2.6° 回転させる（
反射面と光軸とのなす角度を 47.6° とする）。

符号の説明

[0066] 10 走査型顕微鏡 20 光源 33 走査ユニット
33a 第1の偏向素子 33b 第2の偏向素子
33c 第3の偏向素子 33d 第4の偏向素子
36 対物レンズ

請求の範囲

- [請求項1] 光源から射出された照明光を集光して試料面に照射する対物レンズと、
- 前記光源と前記対物レンズとの間に配置され、前記照明光により前記試料面を走査する走査ユニットと、を有し、
- 前記走査ユニットは、
- 前記照明光を前記試料面上の第1の方向に走査する第1の偏向素子及び第2の偏向素子と、前記照明光を前記第1の方向に直交する第2の方向に走査する第3の偏向素子及び第4の偏向素子と、を含み、
- 前記第1の偏向素子及び前記第2の偏向素子による前記照明光の回転中心と、前記第3の偏向素子及び前記第4の偏向素子による前記照明光の回転中心とが、前記対物レンズの射出瞳、若しくは当該射出瞳と共役な位置と略一致するように、前記第1の偏向素子、前記第2の偏向素子、前記第3の偏向素子及び前記第4の偏向素子のそれぞれによる前記照明光の偏向角が制御されることを特徴とする走査型顕微鏡。
- [請求項2] 前記試料面の像を変倍して形成し、当該変倍に伴って、前記対物レンズの射出瞳と共役な位置が移動する変倍光学系を有し、
- 前記対物レンズの射出瞳と共役な位置の移動に伴って、前記第1の偏向素子及び前記第2の偏向素子による前記照明光の前記回転中心と、前記第3の偏向素子及び前記第4の偏向素子による前記照明光の前記回転中心とが、移動した前記射出瞳と共役な位置と略一致するように、前記第1の偏向素子、前記第2の偏向素子、前記第3の偏向素子及び前記第4の偏向素子のそれぞれによる前記照明光の偏向角が制御されることを特徴とする請求項1記載の走査型顕微鏡。
- [請求項3] 前記第1の偏向素子及び前記第2の偏向素子による前記照明光の前記回転中心が、前記第1の偏向素子よりも前記光源側の所定位置から前記第2の偏向素子よりも前記試料面側の所定位置までの間のいずれ

かに位置するように、前記第 1 の偏向素子及び前記第 2 の偏向素子が配置され、

前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子による前記照明光の前記回転中心が、前記第 3 の偏向素子よりも前記光源側の所定位置から前記第 4 の偏向素子よりも前記試料面側の所定位置までの間のいずれかに位置するように、前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子が配置されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の走査型顕微鏡。

[請求項 4] 前記第 1 の偏向素子及び前記第 2 の偏向素子は、それぞれが前記第 1 の方向に略直交する回転軸を中心に回転される反射面を有し、
前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子は、それぞれが前記第 2 の方向に略直交する回転軸を中心に回転される反射面を有し、
前記光源から入射した前記照明光を前記第 1 の偏向素子で反射し、さらに、前記第 1 の偏向素子で反射された前記照明光を前記第 2 の偏向素子で反射し、
前記照明光を前記第 3 の偏向素子で反射し、さらに、前記第 3 の偏向素子で反射された前記照明光を前記第 4 の偏向素子で反射することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の走査型顕微鏡。

[請求項 5] 前記第 1 の偏向素子及び前記第 2 の偏向素子、並びに、前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子は、次式の条件を満足するように、前記第 1 の偏向素子及び前記第 2 の偏向素子による前記照明光の前記偏向角の所定状態からの変化量、前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子による前記照明光の前記偏向角の所定状態からの変化量が制御されることを特徴とする請求項 4 に記載の走査型顕微鏡。

[数 4]

$$\beta = \operatorname{atan} \left(\frac{L \tan \alpha \pm \tan \alpha \sqrt{M^2 (\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}}{-L \tan \alpha \pm \sqrt{M^2 (\tan^2 \alpha + 1)^2 - L^2 \tan^2 \alpha}} \right)$$

但し、

α : 前記第 1 の偏向素子又は前記第 3 の偏向素子による前記照明光の前記偏向角の所定状態からの変化量

β : 前記第 2 の偏向素子又は前記第 4 の偏向素子による前記照明光の前記偏向角の所定状態からの変化量

L : 前記第 1 の偏向素子の回転中心と前記第 2 の偏向素子の回転中心との距離、又は、前記第 3 の偏向素子の回転中心と前記第 4 の偏向素子の回転中心との距離

M : 前記第 2 の偏向素子の回転中心と前記第 1 の偏向素子及び前記第 2 の偏向素子による回転中心との距離、又は、前記第 4 の偏向素子の回転中心と前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子による回転中心との距離

[請求項6] 前記照明光が前記対物レンズの光軸中心を通過する際の前記第 1 の偏向素子の前記反射面及び前記第 2 の偏向素子の前記反射面への前記照明光の入射角度が 45° より小さくなるように配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の走査型顕微鏡。

[請求項7] 前記照明光が前記対物レンズの光軸中心を通過する際の前記第 3 の偏向素子の前記反射面及び前記第 4 の偏向素子の前記反射面への前記照明光の入射角度が 45° より小さくなるように配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の走査型顕微鏡。

[請求項8] 前記第 1 の偏向素子及び前記第 2 の偏向素子は、前記第 1 の偏向素子の前記反射面に入射する前記照明光に対して、前記第 2 の偏向素子の前記反射面で反射されて射出する前記照明光が交差するように配置されていることを特徴とする請求項 4～7 のいずれか一項に記載の走査型顕微鏡。

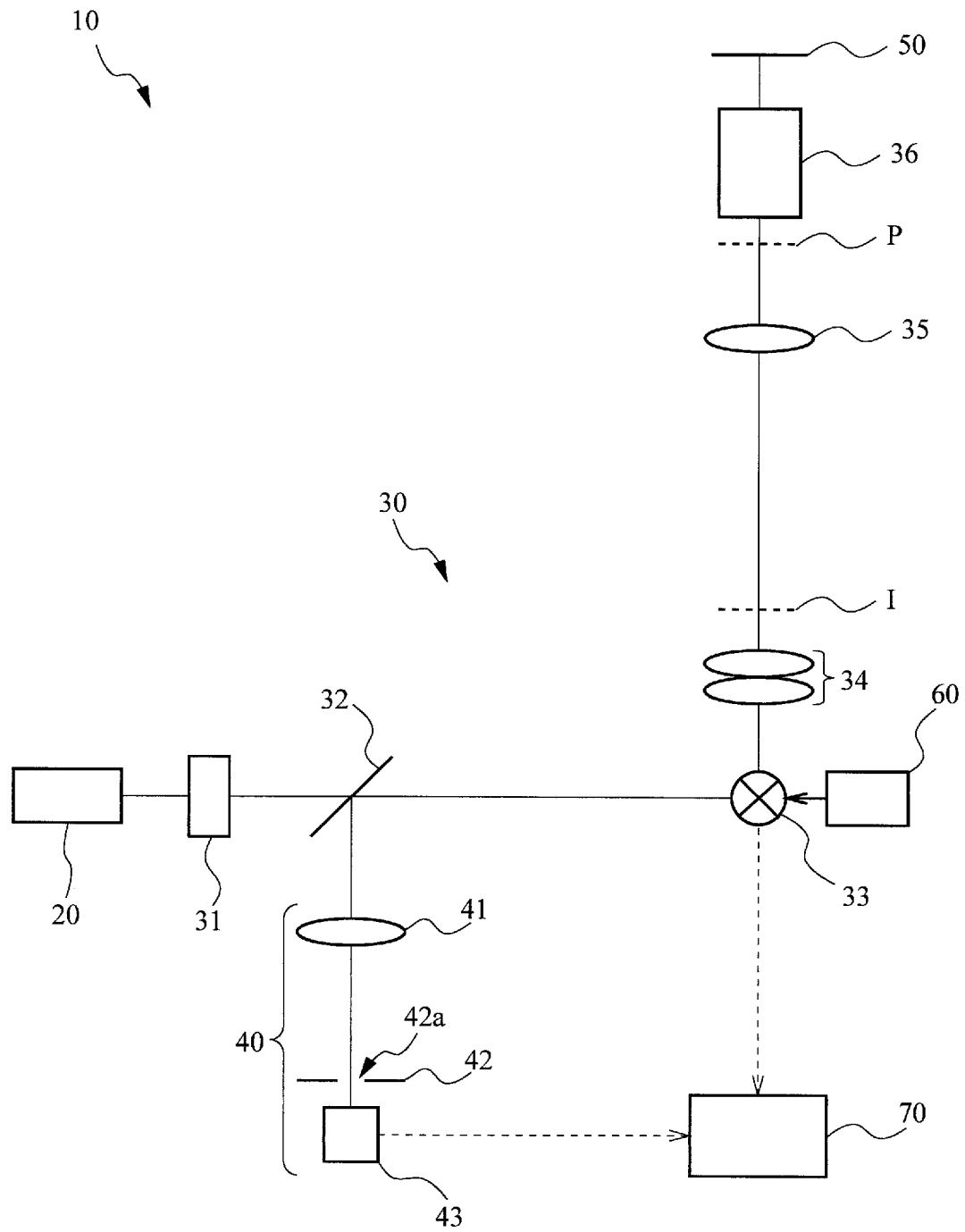
[請求項9] 前記第 1 の偏向素子及び前記第 2 の偏向素子は、前記第 1 の偏向素子の前記反射面に入射する前記照明光に対して、前記第 2 の偏向素子の前記反射面で反射されて射出する前記照明光が略直交するように配

置されていることを特徴とする請求項 8 に記載の走査型顕微鏡。

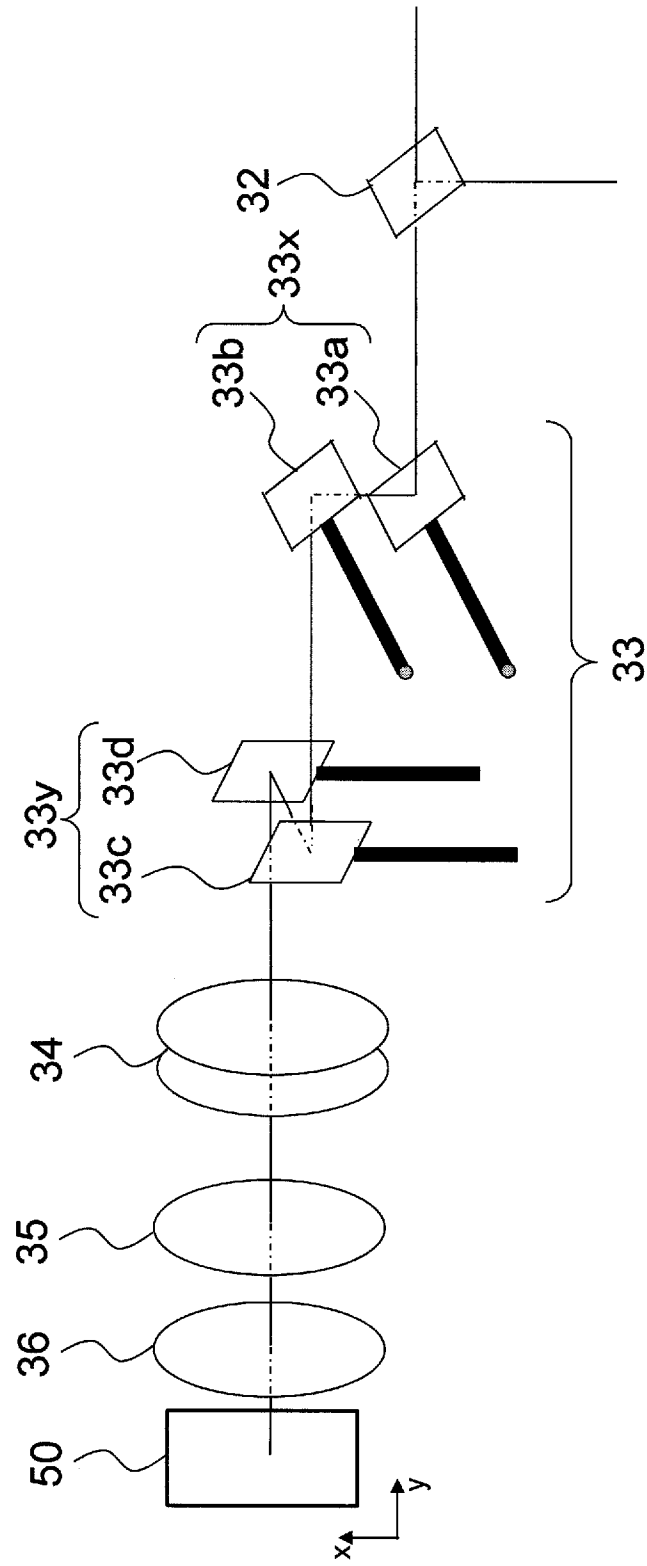
[請求項10] 前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子は、前記第 3 の偏向素子の前記反射面に入射する前記照明光に対して、前記第 4 の偏向素子の前記反射面で反射されて射出する前記照明光が交差するように配置されていることを特徴とする請求項 4 ～ 7 のいずれか一項に記載の走査型顕微鏡。

[請求項11] 前記第 3 の偏向素子及び前記第 4 の偏向素子は、前記第 3 の偏向素子の前記反射面に入射する前記照明光に対して、前記第 4 の偏向素子の前記反射面で反射されて射出する前記照明光が略直交するように配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載の走査型顕微鏡。

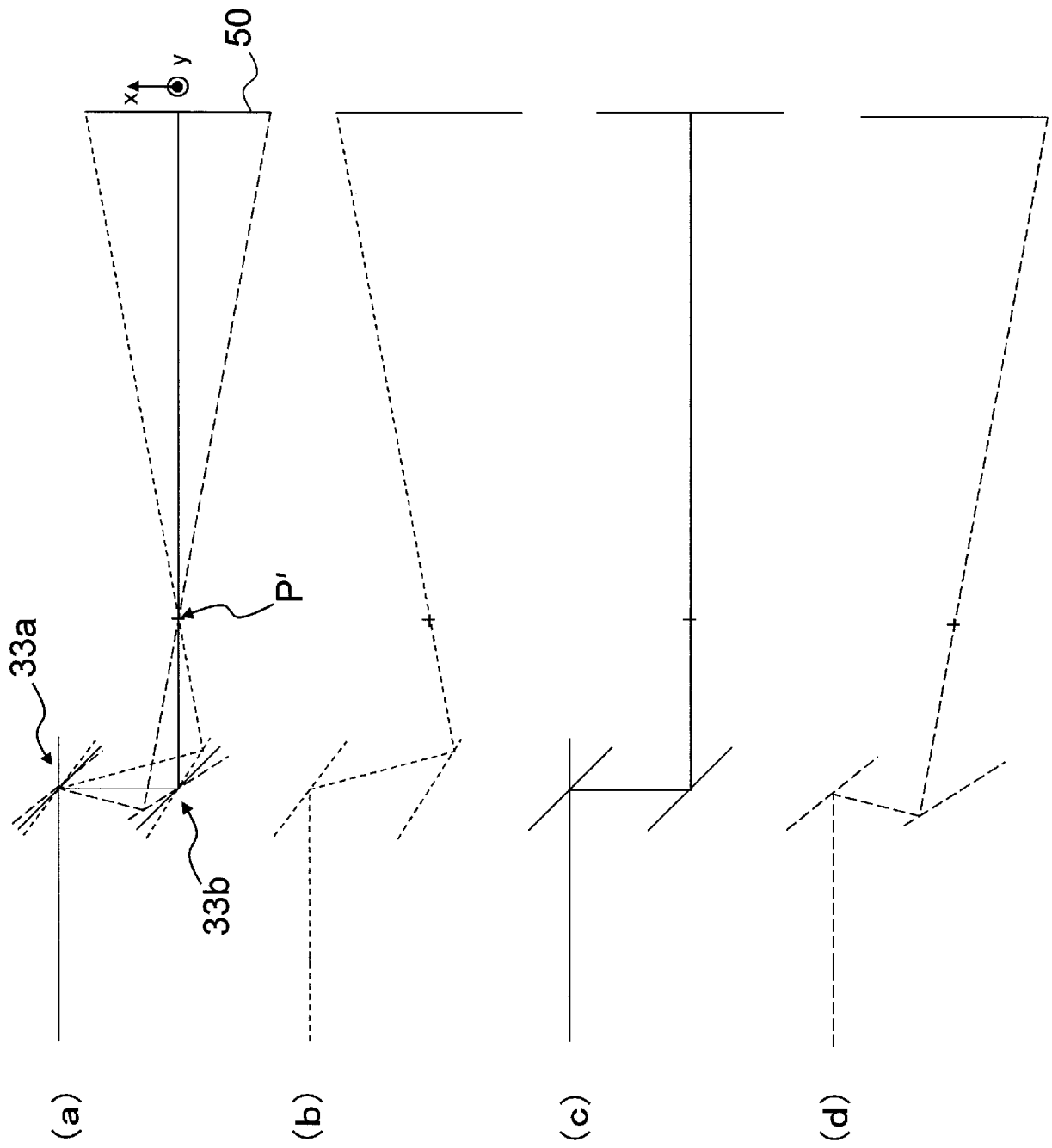
[図1]



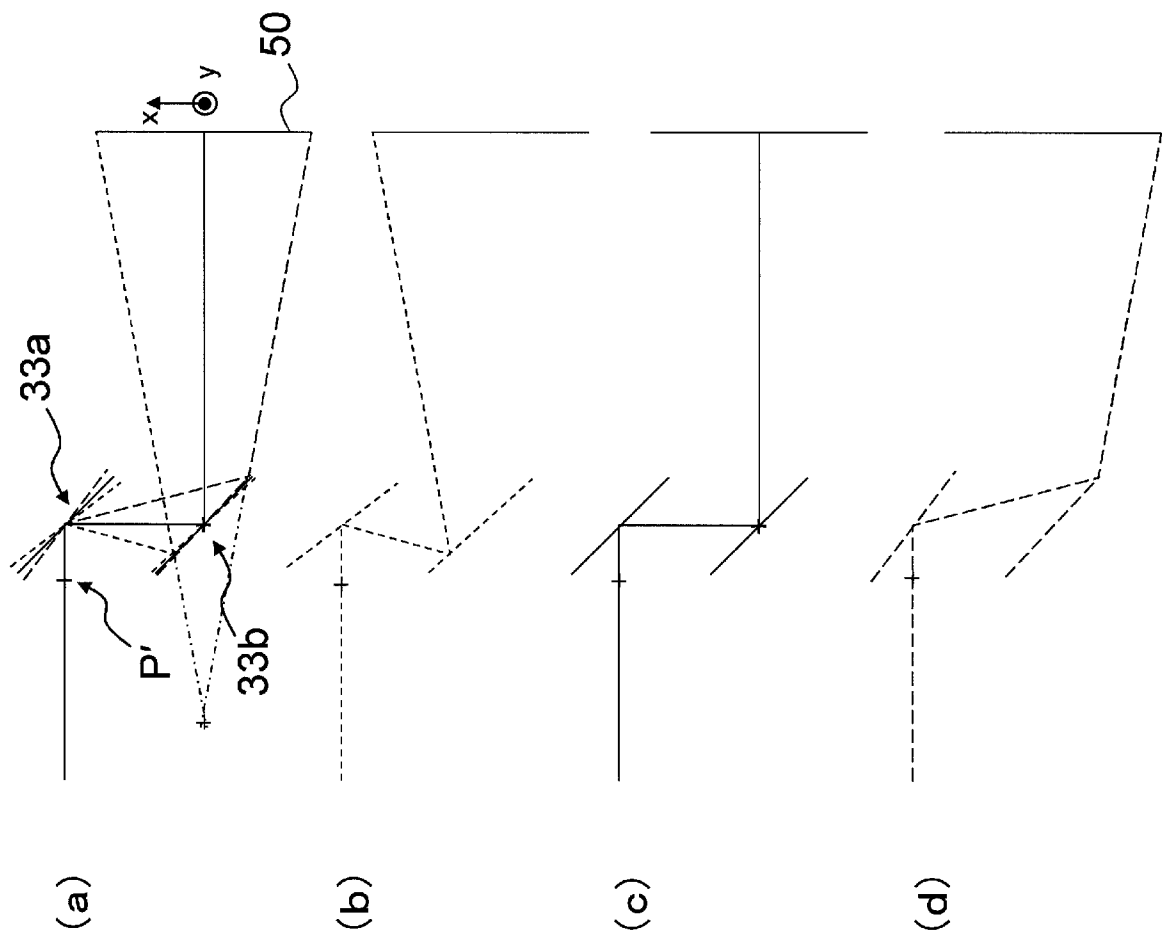
[図2]



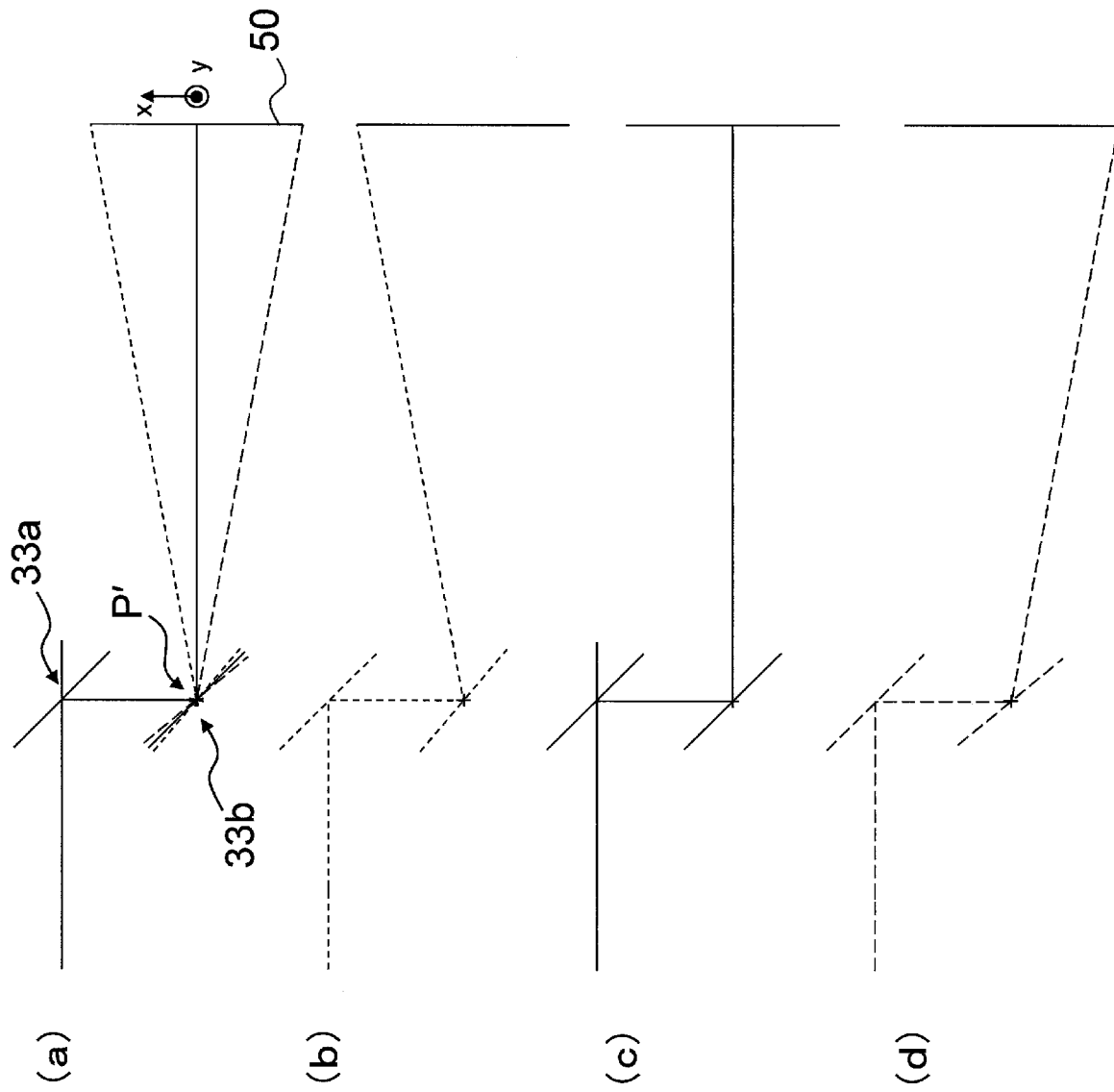
[図3]



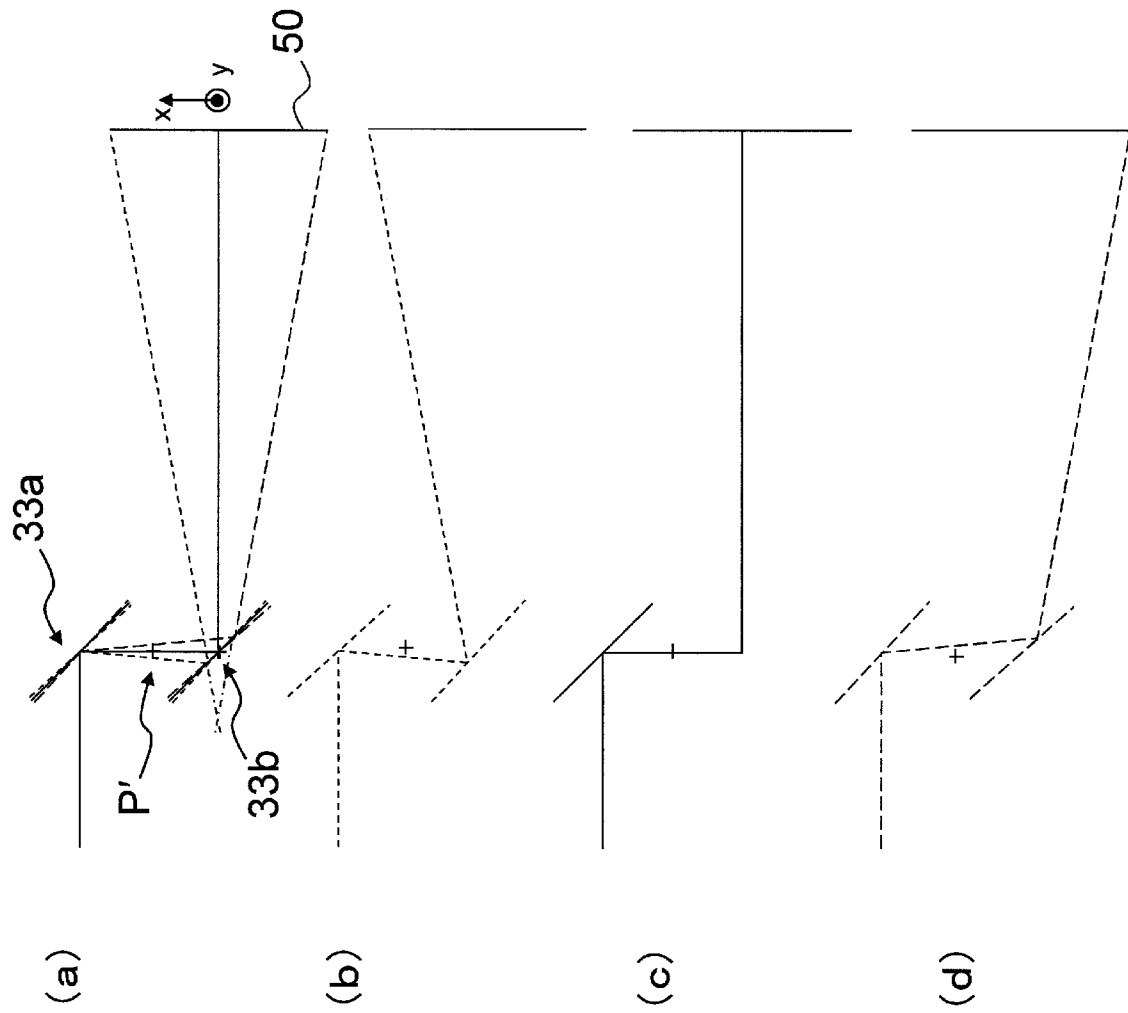
[図4]



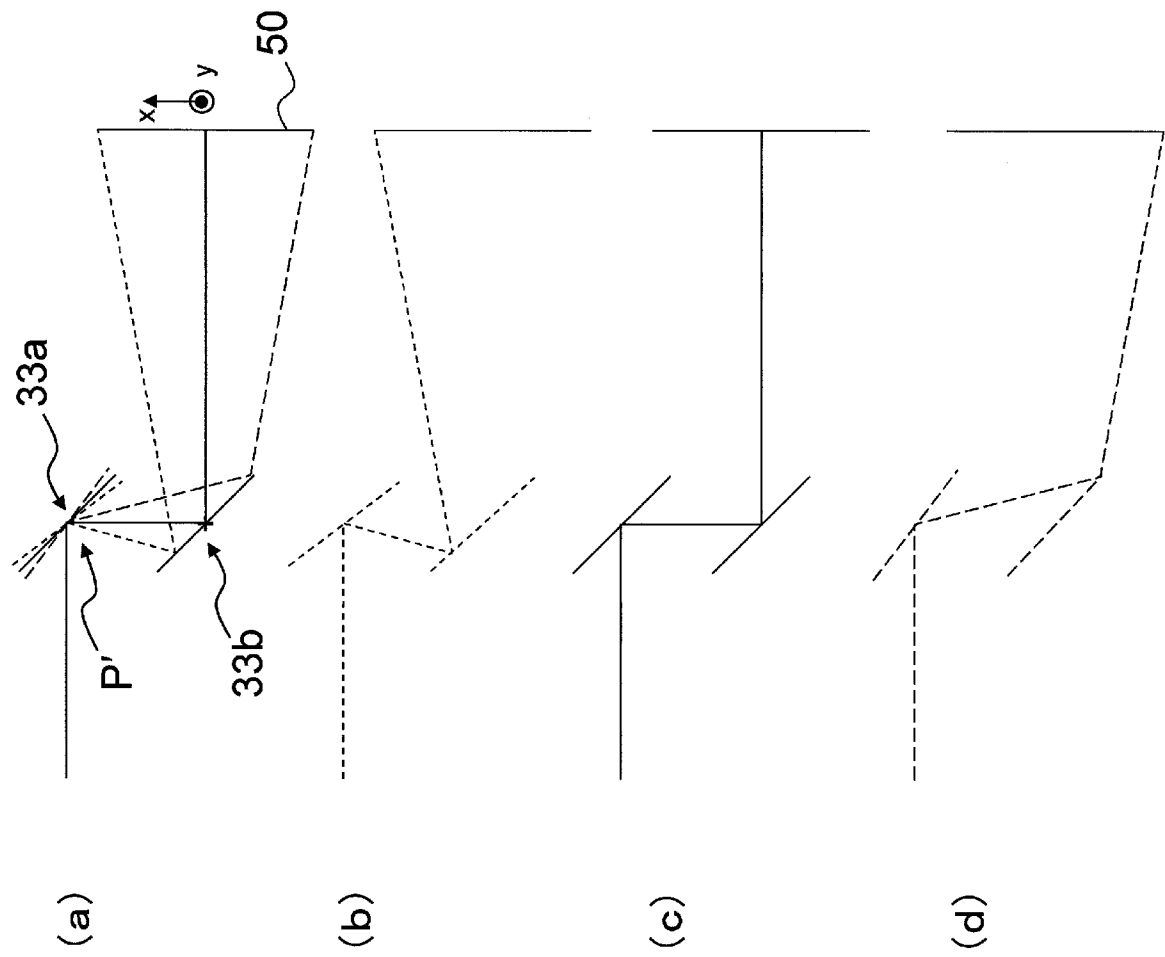
[図5]



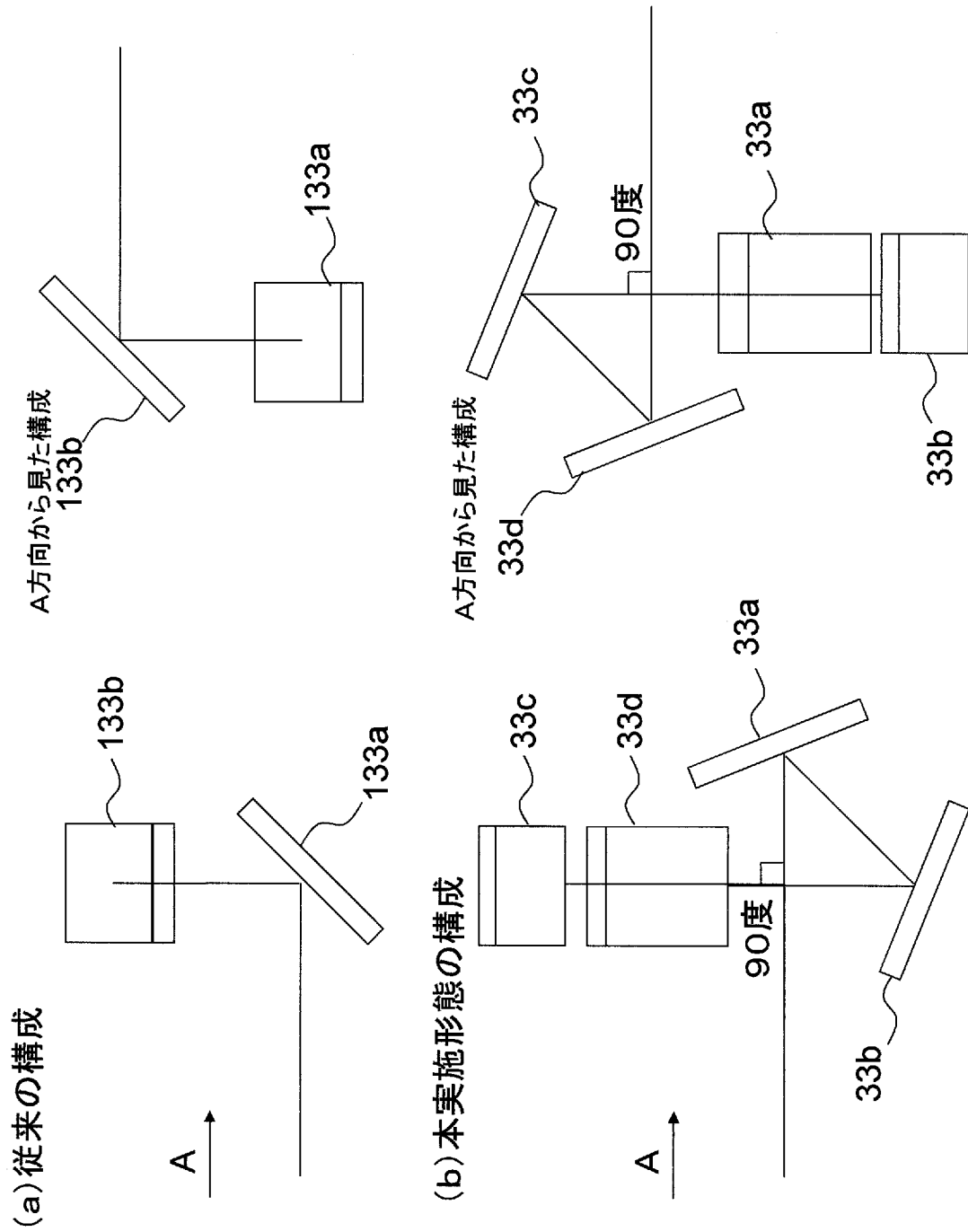
[図6]



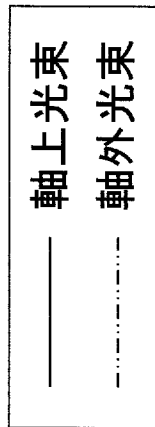
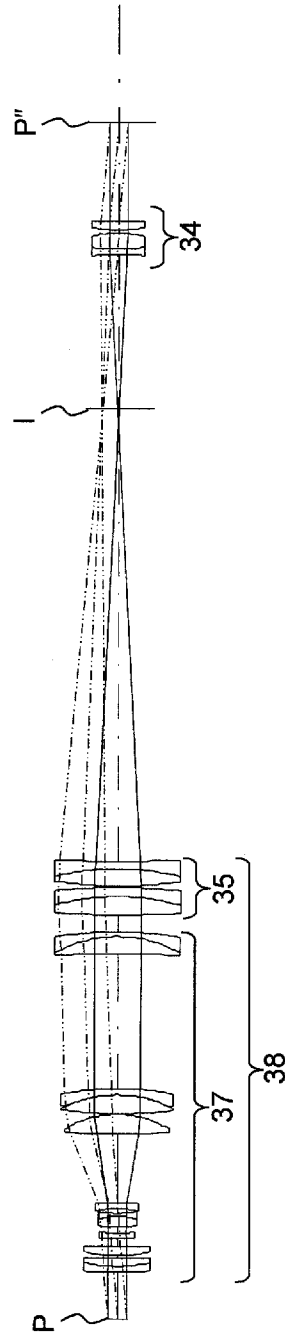
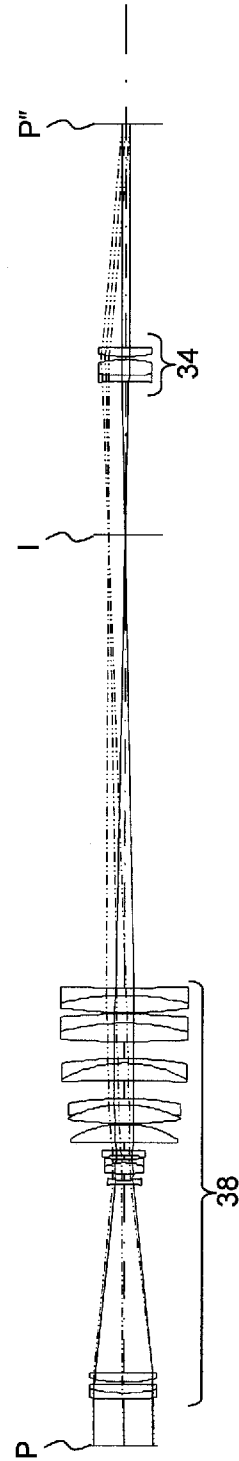
[図7]



[図9]

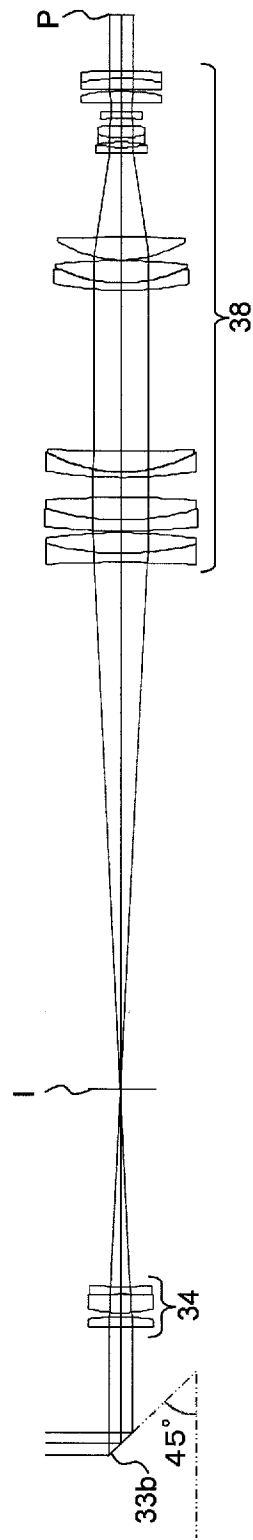


[図10]

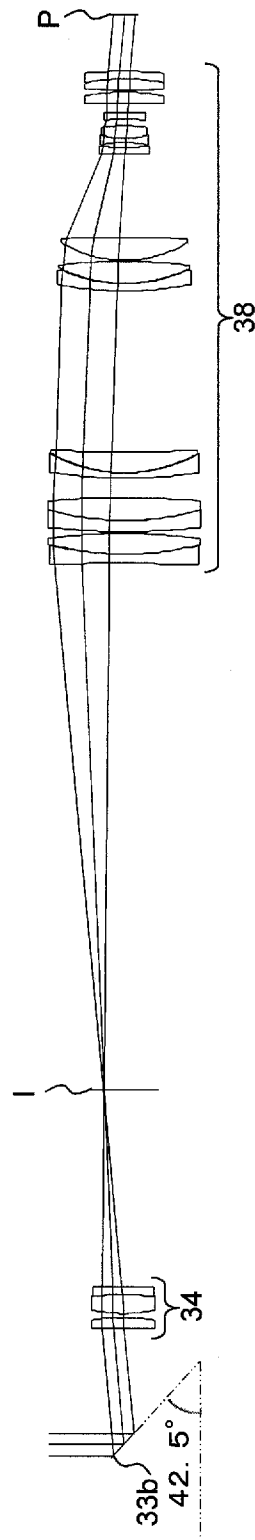
(a) $f = 60\text{mm}$ (b) $f = 450\text{mm}$ 

[図11]

(a) 軸上光束

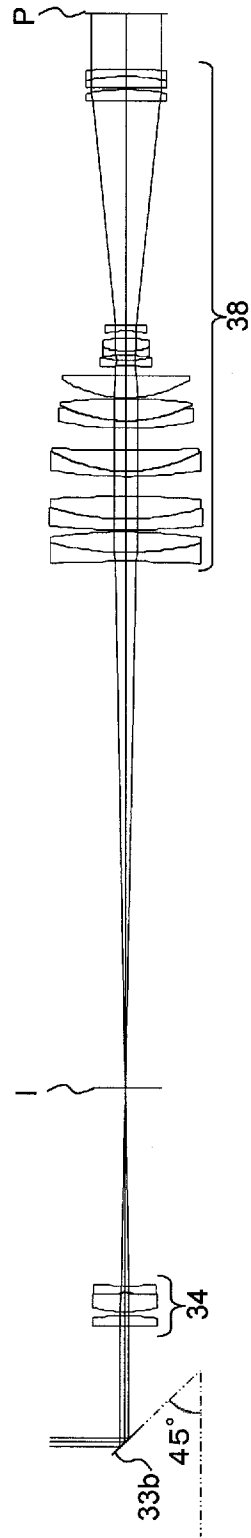


(b) 軸外光束

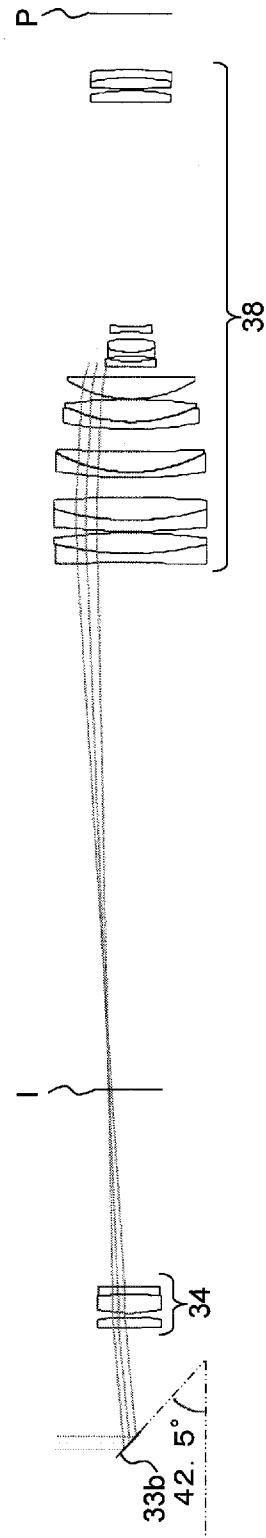


[図12]

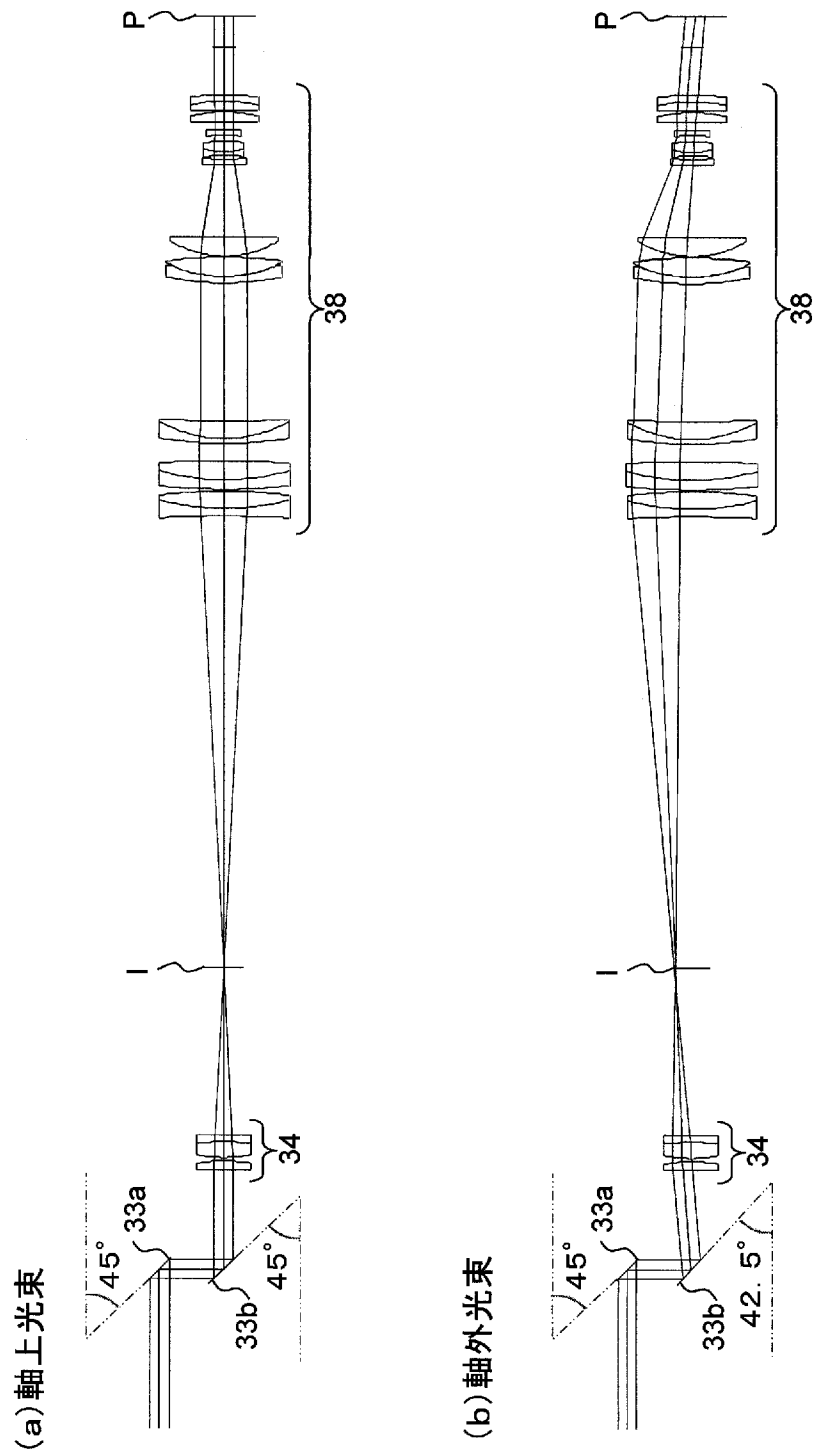
(a) 軸上光束



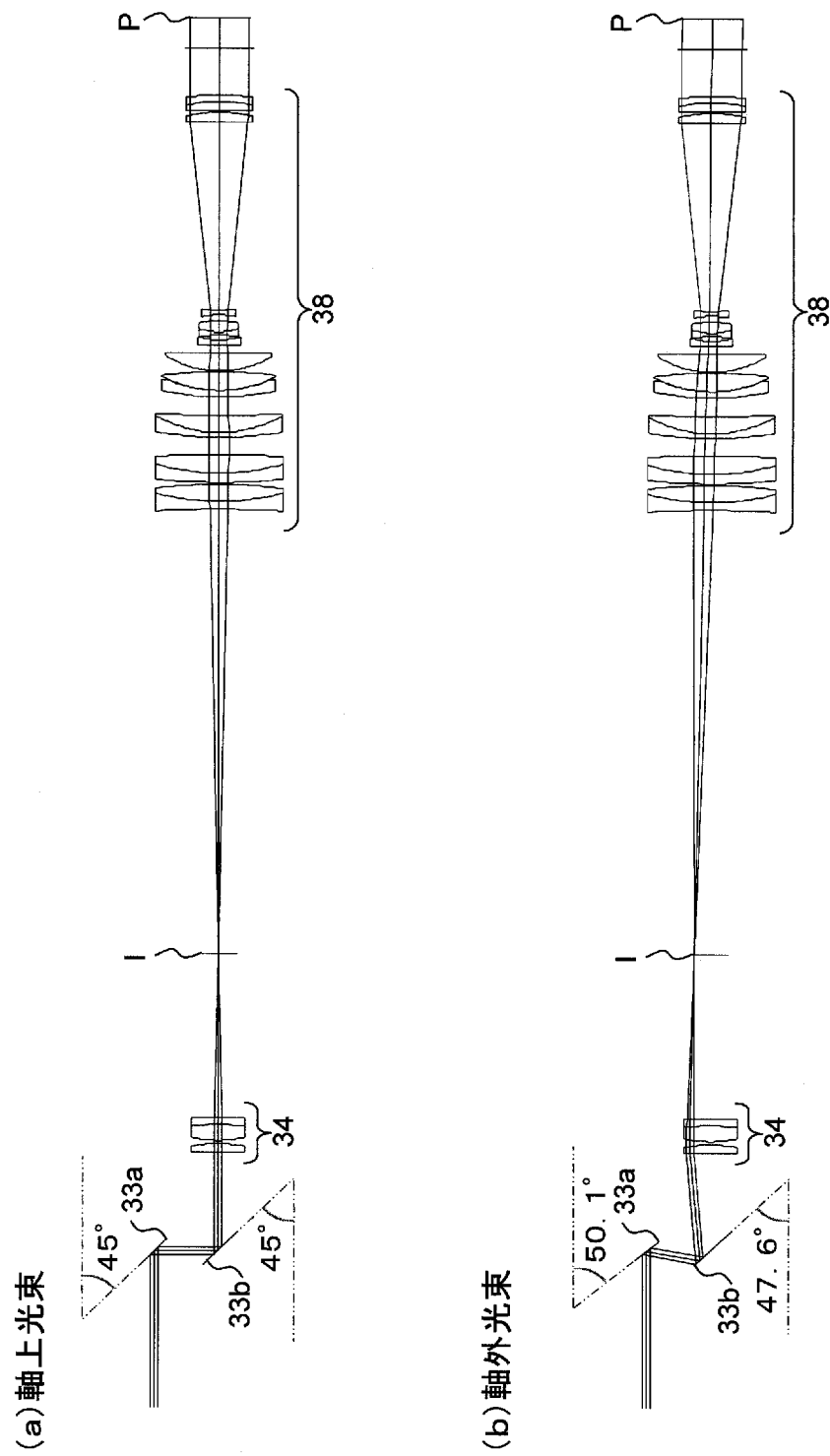
(b) 軸外光束



[図13]

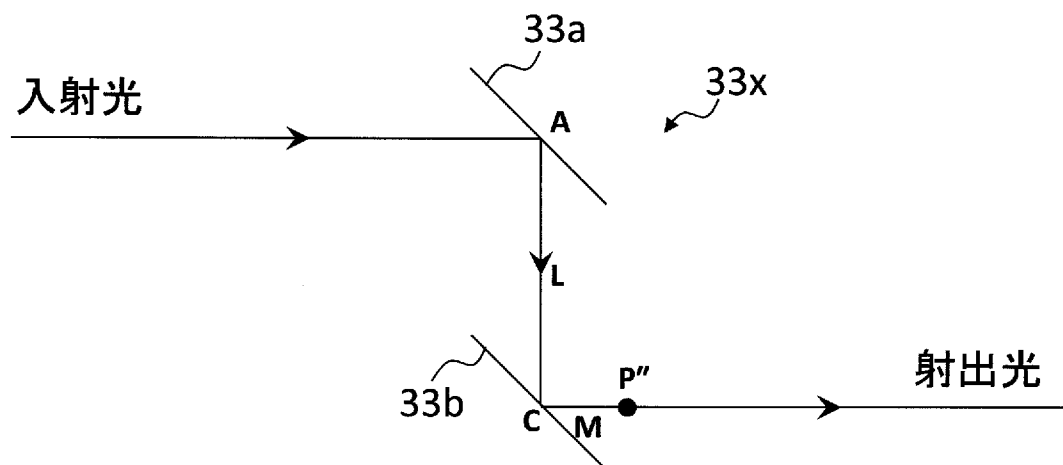


[図14]

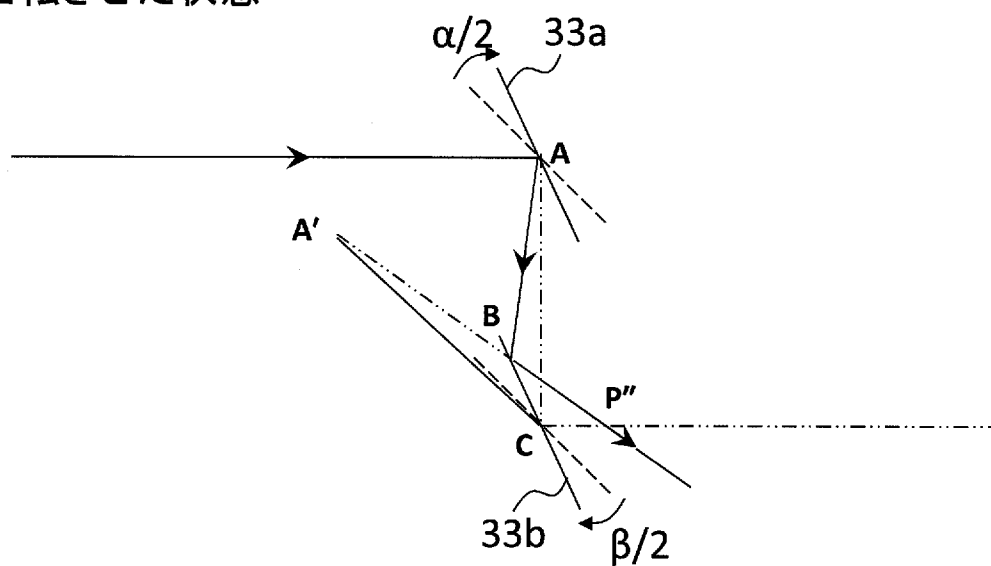


[図15]

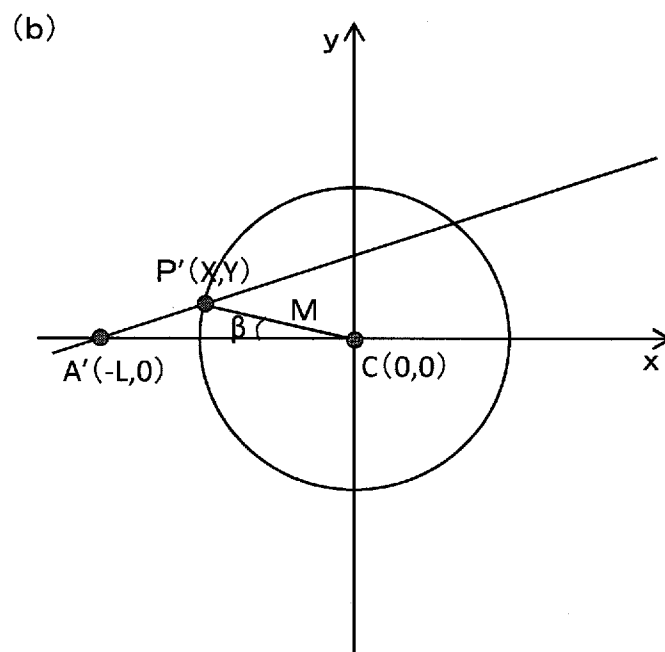
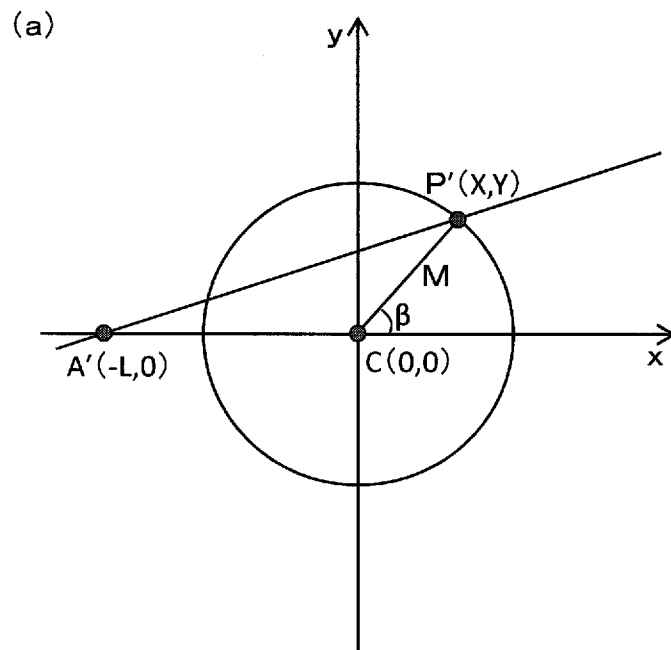
(a) 初期状態



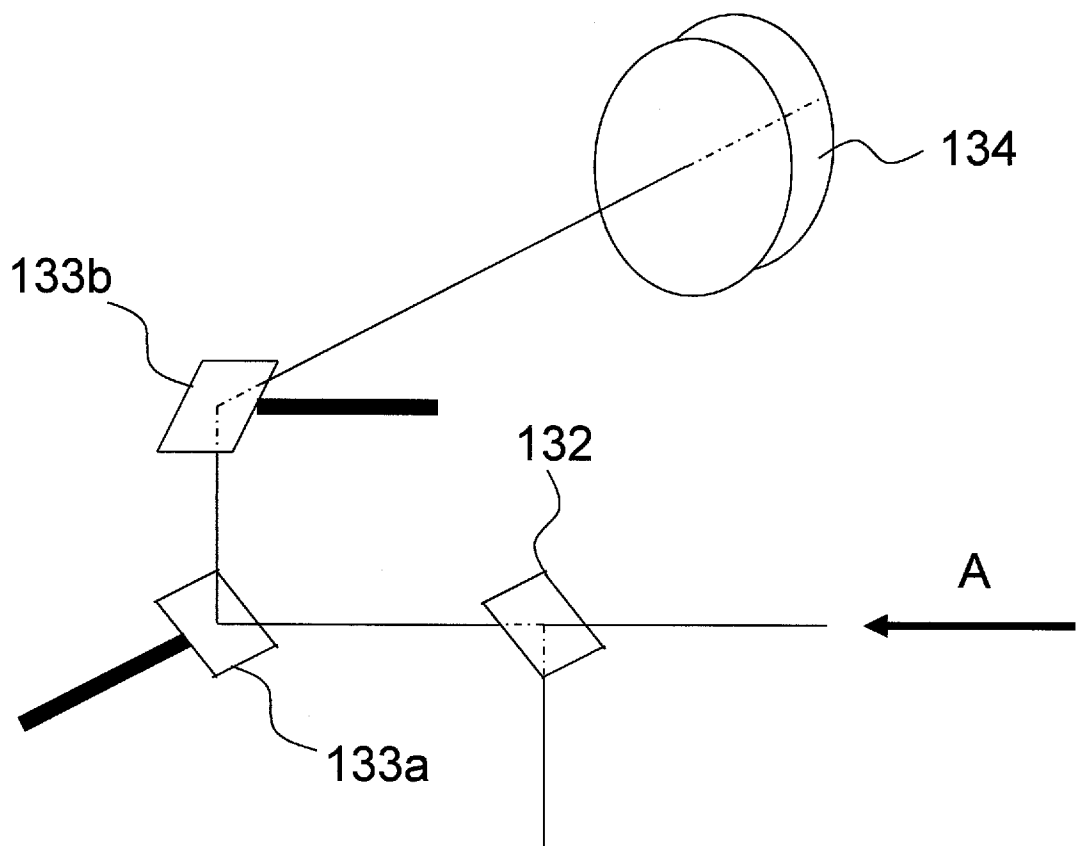
(b) 回転させた状態



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/058321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B21/06(2006.01)i, G02B26/10(2006.01)i

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)

G02B21/06, G02B26/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 09-304700 A (Nikon Corp.), 28 November 1997 (28.11.1997), paragraphs [0021] to [0033]; fig. 1 (Family: none)	1-11
A	JP 06-043369 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 18 February 1994 (18.02.1994), paragraphs [0015] to [0032]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-11
A	JP 2001-255463 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 21 September 2001 (21.09.2001), entire text; all drawings & US 6459484 B1	1-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 June, 2012 (01.06.12)

Date of mailing of the international search report
12 June, 2012 (12.06.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/058321

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-106337 A (Olympus Corp.), 20 April 2006 (20.04.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G02B21/06(2006.01)i, G02B26/10(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B21/06, G02B26/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 09-304700 A（株式会社ニコン）1997. 11. 28, 【0021】－【0033】、図1（ファミリーなし）	1-11
A	JP 06-043369 A（浜松ホトニクス株式会社）1994. 02. 18, 【0015】－【0032】、図1-3（ファミリーなし）	1-11
A	JP 2001-255463 A（オリンパス光学工業株式会社）2001. 09. 21, 全文、全図 & US 6459484 B1	1-11

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 1 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

菊岡 智代

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

2 V

2 9 1 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-106337 A (オリンパス株式会社) 2006. 04. 20, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-11