

(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
2016年1月21日(21.01.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/010096 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 21/00 (2006.01) G01N 21/64 (2006.01)
G01M 11/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/070328
- (22) 国際出願日: 2015年7月15日(15.07.2015)
- (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 2014-145750 2014年7月16日(16.07.2014) JP
- (71) 出願人: オリンパス株式会社(OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 平田 唯史(HIRATA, Tadashi); 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 上田 邦生, 外(UEDA, Kunio et al.); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1 横浜ランドマークタワー37F Kanagawa (JP).

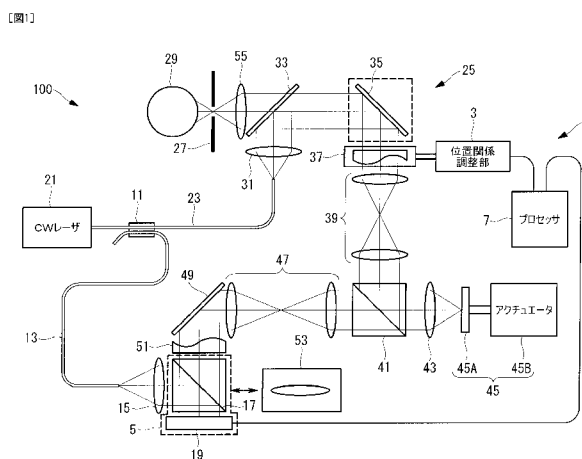
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, 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: SYSTEM FOR PHASE MODULATION ELEMENT ADJUSTMENT AND METHOD FOR PHASE MODULATION ELEMENT ADJUSTMENT

(54) 発明の名称: 位相変調素子調整システムおよび位相変調素子調整方法



- 3 Positional relationship adjustment unit
7 Processor
21 CW laser
45B Actuator

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to acquire a sharp final image by preventing scratches, foreign matter, defects, etc., of an optical element from being superimposed on an intermediate image, even if the intermediate image is imaged in a position corresponding to the optical element. This system (1) for phase modulation element adjustment comprises: a plurality of imaging lenses (55) which form a final image and at least one intermediate image; a positional relationship adjustment unit (3) which is used in a laser scanning confocal observation device (100) comprising a wavefront confusion element (37) and a wavefront recovery element (51) that have mutually opposite phase characteristics and are disposed in positions sandwiching any of the intermediate images formed by the imaging lenses (55) and which is capable of adjusting the relative positional relationship of the wavefront confusion element (37) and the wavefront recovery element (51); a wavefront aberration measurement unit (5) which measures wavefront aberrations of light that has passed from an object through the wavefront confusion element (37) and the wavefront recovery element (51); and a processor (7) which controls the positional relationship adjustment unit (3) so as to reduce the wavefront aberrations measured by the wavefront aberration measurement unit (5).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/010096 A1



中間像が光学素子に一致する位置で結像されても、中間像に光学素子の傷、異物および欠陥等が重なることを防止して鮮明な最終像を取得することを目的として、本発明の位相変調素子調整システム（１）は、最終像および少なくとも１つの中間像を形成する複数の結像レンズ（５５）と、結像レンズ（５５）により形成されるいずれかの中間像を挟む位置に配置された互いに逆の位相特性を有する波面錯乱素子（３７）と波面回復素子（５１）とを備えるレーザ走査型共焦点観察装置（１００）に用いられ、波面錯乱素子（３７）と波面回復素子（５１）との相対的な位置関係を調整可能な位置関係調整部（３）と、波面錯乱素子（３７）と波面回復素子（５１）とを通過した物体からの光の波面収差を測定する波面収差測定部（５）と、波面収差測定部（５）により測定された波面収差が低減するように位置関係調整部（３）を制御するプロセッサ（７）とを備える。

明 細 書

発明の名称：

位相変調素子調整システムおよび位相変調素子調整方法

技術分野

[0001] 本発明は、位相変調素子調整システムおよび位相変調素子調整方法に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、中間像位置において光路長を調節することにより、合焦点位置を光軸に沿う方向に移動させる方法が知られている（例えば、特許文献 1 参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第4 0 1 1 7 0 4 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特許文献 1 の方法では、中間像面に平面鏡を配置するので、平面鏡の表面の傷や異物が像に重なってしまうという不都合がある。また、特許文献 1 の方法が顕微鏡光学系に適用される場合には、顕微鏡光学系は拡大光学系であるため、縦倍率は横倍率の 2 乗に等しく、合焦点位置の光軸に沿う方向への僅かな移動によっても、中間像はその光軸方向に大きく移動する。その結果、移動した中間像がその中間像の前後に位置していたレンズに重なると、上記と同様に、レンズの表面の傷や異物あるいはレンズ内の欠陥等が像に重なってしまうという不都合がある。

[0005] 本発明は上述した事情に鑑みてなされたものであって、中間像が光学素子に一致する位置で結像されても、中間像に光学素子の傷、異物および欠陥等が重なることを防止して鮮明な最終像を取得することができる位相変調素子調整システムおよび位相変調素子調整方法を提供することを目的としている

。

課題を解決するための手段

[0006] 上記目的を達成するために、本発明は以下の手段を提供する。

本発明の第1態様は、最終像および少なくとも1つの中間像を形成する複数の結像レンズと、該結像レンズにより形成されるいずれかの前記中間像を挟む位置に配置された互いに逆の位相特性を有する2つの位相変調素子とを備える顕微鏡装置に用いられ、前記2つの位相変調素子の相対的な位置関係を調整可能な位置関係調整部と、前記2つの位相変調素子を通過した物体からの光の波面収差を測定する波面収差測定部と、該波面収差測定部により測定された前記波面収差が低減するように前記位置関係調整部を制御する制御部とを備える位相変調素子調整システムである。

[0007] 顕微鏡装置においては、結像レンズに対して物体側から入射された光が集光されることにより最終像が結像される。また、中間像の1つよりも物体側に配置された一方の位相変調素子を通過することにより、光の波面に空間的な乱れが生じるような位相変調が付与され、結像される中間像がぼやける。また、中間像を結像した光は他方の位相変調素子を通過することにより、一方の位相変調素子によって付与された波面の空間的な乱れが打ち消されるような位相調整が付与される。

[0008] 本態様によれば、制御部により位置関係調整部が制御されて2つの位相変調素子の相対的な位置関係が調整され、波面収差測定部により測定される2つの位相変調素子を通過した物体からの光の波面収差が低減する。これにより、一方の位相変調素子により光の波面に付与される空間的な乱れが他方の位相変調素子により精度よく打ち消され、他方の位相変調素子以降において結像される最終像が鮮明になる。したがって、中間像位置に何らかの光学素子が配置されて、その光学素子の表面や内部に傷、異物あるいは欠陥等が存在していても、それら光学素子の傷、異物および欠陥等が中間像に重なって最終的に最終像の一部として形成されてしまう不都合の発生を防止することができる。

[0009] 上記態様においては、前記位置関係調整部が、前記2つの位相変調素子の少なくとも一方の光軸に沿う方向の位置、光軸に交差する方向の位置および光軸回りの角度の少なくともいずれかを変更することとしてもよい。

このように構成することで、2つの位相変調素子の相対的な位置関係を精度よく調整することができる。

[0010] 上記態様においては、前記波面収差測定部が、前記2つの位相変調素子よりも前記物体から離間した位置に配置されることとしてもよい。

このように構成することで、2つの位相変調素子を通過した物体からの光の波面収差の測定を複雑な構成にすることなく行うことができる。

[0011] 上記態様においては、前記物体側から前記2つの位相変調素子に光を入射させる光源を備え、前記波面収差測定部が、前記2つの位相変調素子よりも前記最終像側に配置されることとしてもよい。

このように構成することで、2つの位相変調素子を通過した物体からの光の波面収差を測定する際に、物体からの光を集光する結像レンズ、すなわち、対物レンズを光路から外さなくて済む。また、その対物レンズによる収差の影響も含めて2つの位相変調素子の位置関係を調整することができる。

[0012] 上記態様においては、前記波面収差測定部が、前記光を前記顕微鏡装置による観察用の照明光と位相変調素子調整用の参照光とに分岐する光分岐部と、前記2つの位相変調素子を通過させた前記照明光と前記2つの位相変調素子を通過させていない前記参照光とを合波する合波部と、該合波部により合波された前記照明光と前記参照光の光路差により生じる干渉縞を撮像する撮像部と、該撮像部により撮像された干渉縞に基づいて前記波面収差を算出する算出部とを備えることとしてもよい。

このように構成することで、一般的に入手可能な部材により干渉計を構成して光の波面収差を簡易かつ精度よく測定することができる。

[0013] 上記態様においては、前記波面収差測定部がシャックハルトマンセンサであることとしてもよい。

このように構成することで、干渉計を用いなくても光の波面収差を測定す

ることができる。したがって、システムの構成の簡素化および小型化を図ることができる。

[0014] 本発明の第2態様は、中間像を結像する物体からの光の波面に対して第1位相変調素子により空間的な乱れを付与する一方、前記中間像を結像した前記光の波面の前記空間的な乱れを第2位相変調素子により打ち消して、最終像を結像させる顕微鏡装置の位相変調素子調整方法であって、前記2つの位相変調素子を通過した前記物体からの光の波面収差を測定する測定工程と、該測定工程により測定された波面収差が低減するように、前記2つの位相変調素子の相対的な位置関係を調整する調整工程とを含む位相変調素子調整方法である。

[0015] 本態様によれば、測定工程により測定された2つの位相変調素子を通過した物体からの光の波面収差に基づいて、調整工程により2つの位相変調素子の相対的な位置関係を調整して、2つの位相変調素子を通過した物体からの光の波面収差を低減することで、第1位相変調素子により光の波面に付与される空間的な乱れを第2位相変調素子により精度よく打ち消すことができる。これにより、中間像位置に何らかの光学素子が配置されて、該光学素子の表面や内部に傷、異物あるいは欠陥等が存在していても、それら光学素子の傷、異物および欠陥等が中間像に重なって最終的に最終像の一部として形成されてしまう不都合の発生を防止し、鮮明な最終像を得ることができる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、中間像が光学素子に一致する位置で結像されても、中間像に光学素子の傷、異物および欠陥等が重なることを防止して鮮明な最終像を取得することができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の第1実施形態に係る位相変調素子調整システムを示す概略構成図である。

[図2]本発明の第2実施形態に係る位相変調素子調整システムを示す概略構成図である。

[図3]本発明の第3実施形態に係る位相変調素子調整システムを示す概略構成図である。

[図4]本発明の第4実施形態に係る位相変調素子調整システムを示す概略構成図である。

発明を実施するための形態

[0018] 〔第1実施形態〕

本発明の第1実施形態に係る位相変調素子調整システムおよび位相変調素子調整方法について図面を参照して以下に説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム1は、例えば、図1に示すようなレーザ走査型共焦点観察装置（顕微鏡装置）100に用いられ、レーザ走査型共焦点観察装置100の波面錯乱素子（位相変調素子）37および波面回復素子（位相変調素子）51による位相変調を調整するものである。

[0019] まず、レーザ走査型共焦点観察装置100について説明する。

レーザ走査型共焦点観察装置100は、コヒーレントなレーザ光を連続的に発生するCWレーザ（Continuous Wave laser、物体）21と、CWレーザ21から発せられたレーザ光を導光するシングルモード光ファイバ23（以下、単に「光ファイバ23」とする。）と、光ファイバ23により導光されたレーザ光を観察対象物（物体、図示略）に集光させる一方、観察対象物からの光を集光する結像光学系25と、結像光学系25により集光された蛍光を通過させるピンホール27と、ピンホール27を通過した蛍光を検出する光電子増倍管のような光検出器29とを備えている。

[0020] 結像光学系25は、光ファイバ23により導光されたレーザ光を平行光に変換するコリメートレンズ31と、コリメートレンズ31により平行光に変換されたレーザ光を偏向する一方、観察対象物からの蛍光を透過させるダイクロイックミラー33と、ダイクロイックミラー33により偏向されたレーザ光を2次元的に走査させるガルバノミラー35と、ガルバノミラー35により走査されたレーザ光の波面に位相変調を付与する波面錯乱素子37と、

波面錯乱素子 37 からのレーザ光を集光して中間像を結像させる第 1 中間結像レンズ対（結像レンズ）39 とを備えている。

[0021] また、結像光学系 25 は、第 1 中間結像レンズ対 39 を透過したレーザ光を偏向するハーフミラー 41 と、ハーフミラー 41 により偏向されたレーザ光を集光して中間像を結像させる中間結像レンズ（結像レンズ）43 と、中間結像レンズ 43 により集光されたレーザ光を折り返すように反射する光路長変更部 45 と、光路長変更部 45 により折り返されたレーザ光を集光して中間像を結像させる第 2 中間結像レンズ対（結像レンズ）47 と、第 2 中間結像レンズ対 47 を透過したレーザ光を反射する反射ミラー 49 と、反射ミラー 49 からのレーザ光の波面に位相変調を付与する波面回復素子 51 と、波面回復素子 51 を透過したレーザ光を観察対象物に照射する一方、観察対象物において発生する蛍光を集光する対物レンズ（結像レンズ）53 と、対物レンズ 53 により集光されてレーザ光の光路を戻す蛍光を集光して最終像を結像させる結像レンズ 55 とを備えている。

[0022] ガルバノミラー 35 は、対物レンズ 53 の瞳と共役な位置の近傍に配置されている。このガルバノミラー 35 は、例えば、互いに直交する揺動軸回りに揺動可能な 2 枚のミラーにより構成されている。

[0023] 波面錯乱素子 37 は、第 1 中間結像レンズ対 39 の瞳位置近傍に配置されている。また、波面錯乱素子 37 は、光を透過可能な光学的に透明な材料により構成されており、光が透過する際に表面の凹凸形状に従う位相変調を光の波面に付与するようになっている。また、波面錯乱素子 37 は、波面回復素子 51 とは逆の位相特性を有している。

[0024] したがって、波面錯乱素子 37 は、例えば、CWレーザ 21 からのレーザ光を透過させる際に波面に乱れを付与するようになっている。また、波面錯乱素子 37 は、観察対象物から波面回復素子 51 を介してレーザ光の光路を戻す蛍光を透過させる際に、波面回復素子 51 により蛍光の波面に付与される位相変調を打ち消すような位相変調を付与するようになっている。

[0025] ハーフミラー 41 は、第 1 中間結像レンズ対 39 からのレーザ光を中間結

像レンズ４３に向けて反射する一方、光路長変更部４５から中間結像レンズ４３を介して戻るレーザ光を第２中間結像レンズ対４７に向けて透過させるようになっている。

[0026] 光路長変更部４５は、中間結像レンズ４３による中間結像面に配置された平面鏡４５Ａと、平面鏡４５Ａを光軸方向に変位させるアクチュエータ４５Ｂとを備えている。平面鏡４５Ａは、中間結像レンズ４３の光軸に直交するように配置されている。

[0027] この光路長変更部４５は、アクチュエータ４５Ｂの作動により平面鏡４５Ａを光軸方向に変位させることで、中間結像レンズ４３と平面鏡４５Ａとの間の光路長を変化させて、観察対象物における対物レンズ５３の合焦点位置を光軸方向に変化させるようになっている。光路長変更部４５により、観察対象物における対物レンズ５３の合焦点位置を光軸方向に移動させ、異なる合焦点位置において観察光を撮影することにより、観察対象物の奥行き方向に異なる位置に合焦させた複数の画像を取得することができる。

[0028] 波面回復素子５１は、対物レンズ５３の瞳位置近傍に配置されている。波面回復素子５１も光を透過可能な光学的に透明な材料により構成されており、光が透過する際に表面の凹凸形状に従う位相変調を光の波面に付与するようになっている。上述したように、波面回復素子５１は、波面錯乱素子３７とは逆の位相特性を有している。

[0029] したがって、波面回復素子５１は、例えば、ＣＷレーザ２１から波面錯乱素子３７を介して入射するレーザ光を透過させる際に、光の波面に対して波面錯乱素子３７により付与される波面の乱れを打ち消すような位相変調を付与するようになっている。また、観察対象物からの蛍光を透過させる際に波面に乱れを付与するようになっている。

[0030] このように構成されたレーザ走査型共焦点観察装置１００は、ＣＷレーザ２１から発生させたレーザ光が光ファイバ２３により導光されてコリメートレンズ３１により平行光に変換された後、ダイクロイックミラー３３により偏向されてガルバノミラー３５により２次元的に走査される。そして、レー

ザ光は、波面錯乱素子 37 を透過し、第 1 中間結像レンズ対 39 を介してハーフミラー 41 により偏向され、中間結像レンズ 43 により集光されて光路長変更部 45 の平面鏡 45 A により折り返される。

[0031] 平面鏡 45 A により折り返されたレーザ光は、中間結像レンズ 43、ハーフミラー 41 および第 2 中間結像レンズ対 47 を透過して反射ミラー 49 により反射され、波面回復素子 51 を透過して対物レンズ 53 により観察対象物に照射される。

[0032] このレーザ光は、波面錯乱素子 37 を透過することによって波面に乱れが付与された後に光路長変更部 45 の平面鏡 45 A に中間像を結像するので、中間像が不鮮明化する。したがって、平面鏡 45 A の表面に傷や塵埃等の異物が存在していても、その異物の像が中間像に重なることを防止することができる。また、光路長変更部 45 により折り返されたレーザ光は、波面回復素子 51 を透過することによって、波面錯乱素子 37 により付与された波面の乱れが打ち消される。したがって、鮮明化した最終像を観察対象物に結像させることができる。また、最終像の結像深さは、光路長変更部 45 によって任意に調節することができる。

[0033] レーザ光が照射されることにより観察対象物において発生する蛍光は、対物レンズ 53 により集光されてレーザ光の光路を戻り、波面回復素子 51 を透過する。そして、蛍光は、反射ミラー 49、第 2 中間結像レンズ対 47、ハーフミラー 41 および中間結像レンズ 43 を介して光路長変更部 45 の平面鏡 45 A により折り返される。

[0034] 平面鏡 45 A により折り返された蛍光は、中間結像レンズ 43、ハーフミラー 41 および第 1 中間結像レンズ対 39 を介して波面錯乱素子 37 を透過した後、ガルバノミラー 35 およびダイクロイックミラー 33 を介して結像レンズ 55 により集光され、ピンホール 27 を通過して光検出器 29 により検出される。

[0035] この蛍光は、波面回復素子 51 を透過することによって波面に乱れが付与された後に光路長変更部 45 の平面鏡 45 A に中間像を結像するので、中間

像が不鮮明化する。したがって、平面鏡 4 5 A の表面に異物が存在していても、その異物の像が中間像に重なることを防止することができる。また、不鮮明化した中間像を結像した後の蛍光は、波面錯乱素子 3 7 を透過することによって、波面回復素子 5 1 により付された波面の乱れが打ち消される。したがって、鮮明化した像をピンホール 2 7 に結像させ、光検出器 2 9 において、観察対象物におけるレーザ光の最終像の結像位置にて発生した蛍光を効率よく検出することができる。

[0036] 次に、本実施形態に係る位相変調素子調整システム 1 について説明する。

位相変調素子調整システム 1 は、レーザ走査型共焦点観察装置 1 0 0 の波面錯乱素子 3 7 と波面回復素子 5 1 との相対的な位置関係を調整可能な位置関係調整部 3 と、これら波面錯乱素子 3 7 および波面回復素子 5 1 を透過した CW レーザ 2 1 からのレーザ光の波面収差を測定する波面収差測定部 5 と、位置関係調整部 3 を制御するプロセッサ（制御部、算出部） 7 とを備えている。

[0037] また、位相変調素子調整システム 1 は、CW レーザ 2 1 から発せられるレーザ光を光ファイバ 2 3 によりコリメートレンズ 3 1 に導光する観察用のレーザ光（以下、「照明光」という。）と位相変調素子調整用のレーザ光（以下、「参照光」という。）とに分岐するファイバカップラ（光分岐部） 1 1 と、ファイバカップラ 1 1 により分岐された参照光を導光するシングルモード光ファイバ 1 3 （以下、単に「光ファイバ 1 3」という。）と、光ファイバ 1 3 により導光された参照光を平行光に変換するコリメートレンズ 1 5 とを備えている。

[0038] 位置関係調整部 3 は、波面錯乱素子 3 7 に接続されるようになっている。この位置関係調整部 3 は、プロセッサ 7 の制御により、波面錯乱素子 3 7 の光軸に沿う方向（Z 方向）や光軸に交差する方向（X 方向、Y 方向）の位置を変更したり、光軸回りの角度（ θ ）を変更したりすることができるようになっている。

[0039] 波面収差測定部 5 は、コリメートレンズ 1 5 により平行光束に変換された

参照光を波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 よりも観察対象物側で照明光に合波するハーフミラー（合波部）17 と、ハーフミラー 17 により合波されたいずれも略平行光束の照明光と参照光との光路差により生じる干渉縞を撮像する撮像素子（撮像部）19 とを備えている。これらハーフミラー 17 および撮像素子 19 は、CW レーザ 21 およびファイバカップラ 11 とともに用いられて干渉計を構成するようになっている。

[0040] ハーフミラー 17 は、対物レンズ 53 と共に図示しないレボルバに取り付けられている。このハーフミラー 17 は、レボルバを所定の回転軸回りに回転させることにより、照明光の光路上に対物レンズ 53 に置き換えて配置することができるようになっている。

[0041] 撮像素子 19 は、例えば、CCD (Charge Coupled Device) あるいは CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) のような 2 次元のイメージセンサである。

[0042] プロセッサ 7 は、撮像素子 19 により撮像された干渉縞に基づいて、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を通過した照明光の波面収差を算出するようになっている。また、プロセッサ 7 は、その算出結果に基づいて、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を通過した照明光の波面収差が低減するように位置関係調整部 3 を制御するようになっている。例えば、プロセッサ 7 は、照明光の波面が平面波にできるだけ近づくように、位置関係調整部 3 により波面錯乱素子 37 の位置および角度を調整して、照明光の波面収差を極めて小さくするようになっている。

[0043] 次に、本実施形態に係る位相変調素子調整方法について説明する。

位相変調素子調整方法は、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を通過した CW レーザ 21 からのレーザ光の波面収差を測定する測定工程と、測定工程により測定された波面収差が低減するように、波面錯乱素子 37 と波面回復素子 51 との相対的な位置関係を調整する調整工程とを含んでいる。

[0044] 次に、このように構成された位相変調素子調整システム 1 および位相変調

素子調整方法について説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム 1 によりレーザ走査型共焦点観察装置 100 の波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 による位相変調を調整するには、まず、対物レンズ 53 に代えて光路上にハーフミラー 17 を配置するとともに、観察対象物に代えて撮像素子 19 を配置する。

[0045] 次いで、CWレーザ 21 から発せられるレーザ光をファイバカップラ 11 により照明光と参照光とに分岐する。ファイバカップラ 11 により分岐された照明光は、光ファイバ 23 により結像光学系 25 に導光され、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を介してハーフミラー 17 を撮像素子 19 に向かって透過する。一方、ファイバカップラ 11 により分岐された参照光は、光ファイバ 13 により導光されてコリメートレンズ 15 を介してハーフミラー 17 により撮像素子 19 に向かって反射される。

[0046] これにより、ハーフミラー 17 において照明光と参照光とが合波され、略平行光束の照明光と参照光との干渉により生じる干渉縞が撮像素子 19 によって撮影される。そして、プロセッサ 7 により、撮像素子 19 によって撮影された干渉縞に基づいて、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を透過した照明光の波面収差が算出され（測定工程）、その波面収差に基づいて位置関係調整部 3 が制御される。

[0047] この場合において、波面錯乱素子 37 と波面回復素子 51 との位置関係にずれが生じていると、波面錯乱素子 37 により照明光の波面に付与される空間的な乱れを波面回復素子 51 により精度よく打ち消すことができず、また、波面回復素子 51 により蛍光の波面に付与される空間的な乱れも波面錯乱素子 37 により精度よく打ち消すことができない。この場合、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を通過した照明光の波面収差が大きくなる。

[0048] 本実施形態においては、位置関係調整部 3 により、照明光の波面が平面波にできるだけ近づくように波面錯乱素子 37 の XYZ 方向の位置や光軸回りの角度 θ が調整され（調整工程）、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を透過する照明光の波面収差が極めて低減される。

[0049] これにより、波面錯乱素子 37 によって照明光の波面に付与される空間的な乱れを波面回復素子 51 により精度よく打ち消し、波面回復素子 51 以降において結像される最終像をより鮮明にすることができる。また、波面回復素子 51 によって蛍光の波面に付与される空間的な乱れを波面錯乱素子 37 により精度よく打ち消し、ピンホール 27 に鮮明な像を結像させて光検出器 29 により蛍光をより効率よく検出することができる。

[0050] 光路長変更部 45 により観察対象物における合焦点位置を光軸方向に移動させると、第 2 中間結像レンズ対 47 によって形成される中間像も光軸方向に大きく変動する。その変動の結果、中間像が第 2 中間結像レンズ対 47 の位置に重なったり、その変動範囲内に何らかの他の光学素子が存在したりする場合であっても、中間像が不鮮明化されているので、異物の像が最終像に重なって撮影されてしまうことを防止することができる。

[0051] 以上説明したように、本実施形態に係る位相変調素子調整システム 1 および位相変調素子調整方法によれば、レーザ走査型共焦点観察装置 100 の中間像位置に何らかの光学素子が配置されて、その光学素子の表面や内部に傷、異物あるいは欠陥等が存在していても、それら光学素子の傷、異物および欠陥等が中間像に重なって最終的に最終像の一部として形成されてしまう不都合の発生を防止することができる。したがって、レーザ走査型共焦点観察装置 100 により観察対象物の鮮明な画像を取得させることができる。

[0052] [第 2 実施形態]

次に、本発明の第 2 実施形態に係る位相変調素子調整システム 101 および位相変調素子調整方法について説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム 101 は、図 2 に示すように、位置関係調整部 3 が波面回復素子 51 の位置および角度を調整する点で第 1 実施形態と異なる。位相変調素子調整方法については、第 1 実施形態と同様である。

以下、第 1 実施形態に係る位相変調素子調整システム 1 および位相変調素子調整方法と構成を共通する箇所には、同一符号を付して説明を省略する。

[0053] 本実施形態においては、図2に示すようなレーザ走査型共焦点観察装置（顕微鏡装置）200に位相変調素子調整システム101および位相変調素子調整方法を用いる場合について説明する。

まず、レーザ走査型共焦点観察装置200について説明する。

レーザ走査型共焦点観察装置200は、結像光学系25が、コリメートレンズ31と、ダイクロイックミラー33と、ダイクロイックミラー33により偏向されたレーザ光を集光して中間像を結像させる中間結像光学系（結像レンズ）61と、観察対象物における合焦点位置を変更するアクチュエータ（光路長変更部）63と、中間結像光学系61を透過したレーザ光の波面に位相変調を付与する波面錯乱素子37と、第1中間結像レンズ対39と、ガルバノミラー35と、ガルバノミラー35により走査されたレーザ光を集光して中間像を結像させる第2中間結像レンズ対47と、第2中間結像レンズ対47により集光されたレーザ光の波面に位相変調を付与する波面回復素子51と、対物レンズ53とを備えている。

[0054] アクチュエータ63は、中間結像光学系61を構成するレンズ61A、61Bの一方、例えば、レンズ61Aを光軸方向に移動させるようになっている。アクチュエータ63によりレンズ61Aを光軸方向に移動させることで、観察対象物における合焦点位置を光軸方向に移動させることができる。

[0055] このように構成されたレーザ走査型共焦点観察装置200は、CWレーザ21において発生させたレーザ光が光ファイバ23により導光されてコリメートレンズ31、ダイクロイックミラー33、中間結像光学系61を介して波面錯乱素子37を透過する。そして、レーザ光は、第1中間結像レンズ対39、ガルバノミラー35、第2中間結像レンズ対47を介して波面回復素子51を透過し、対物レンズ53により観察対象物に照射される。

[0056] ここで、波面錯乱素子37を透過することによりレーザ光の波面に乱れが付与されて中間像が不鮮明化するので、中間結像面に異物が存在していても異物の像が中間像に重なることを防止することができる。また、不鮮明化した中間像を結像した後のレーザ光は、波面回復素子51を透過することによ

り波面錯乱素子 37 によって付与された波面の乱れが打ち消されるので、鮮明化した最終像を観察対象物に結像させることができる。

[0057] レーザ光が照射されることにより観察対象物において発生する蛍光は、対物レンズ 53 により集光されてレーザ光の光路を戻り、波面回復素子 51 を透過する。そして、蛍光は、第 2 中間結像レンズ対 47、ガルバノミラー 35、第 1 中間結像レンズ対 39 を介して波面錯乱素子 37 を透過した後、中間結像光学系 61、ダイクロイックミラー 33 を介して結像レンズ 55 により集光され、ピンホール 27 を通過して光検出器 29 により検出される。

[0058] ここで、波面回復素子 51 を透過することにより蛍光の波面に乱れが付与されて中間像が不鮮明化するので、中間像面に異物が存在していても異物の像が中間像に重なることを防止することができる。また、不鮮明化した中間像を結像した後の蛍光は、波面錯乱素子 37 を透過することにより波面回復素子 51 によって付された波面の乱れが打ち消されるので、鮮明化した像をピンホール 27 に結像させて、光検出器 29 により蛍光を効率よく検出することができる。

[0059] アクチュエータ 63 により、レンズ 61 A を光軸方向に移動させて観察対象物における合焦点位置を光軸方向に移動させると、第 1 中間結像レンズ対 39 および第 2 中間結像レンズ対 47 によって形成される中間像も光軸方向に大きく変動する。変動の結果、中間像が第 1 中間結像レンズ対 39 および第 2 中間結像レンズ対 47 の位置に重なったり、その変動範囲内に何らかの他の光学素子が存在したりする場合であっても、中間像が不鮮明化しているので、異物の像が最終像に重なって撮影されてしまうことを防止することができる。

[0060] 次に、本実施形態に係る位相変調素子調整システム 101 について説明する。

位置関係調整部 3 は、プロセッサ 7 の制御により、波面回復素子 51 の光軸に沿う方向（Z 方向）や光軸に交差する方向（X 方向、Y 方向）の位置を変更したり、光軸回りの角度（ θ ）を変更したりすることができるようにな

っている。

[0061] このように構成された位相変調素子調整システム 101 および位相変調素子調整方法の作用について説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム 101 によりレーザ走査型共焦点観察装置 200 の波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 による位相変調を調整するには、対物レンズ 53 に代えて光路上にハーフミラー 17 を配置するとともに、観察対象物に代えて撮像素子 19 を配置する。そして、CWレーザ 21 から発せられるレーザ光をファイバカップラ 11 により照明光と参照光とに分岐する。

[0062] ファイバカップラ 11 により分岐された照明光は、光ファイバ 23 により結像光学系 25 に導光され、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を介してハーフミラー 17 を撮像素子 19 に向かって透過する。一方、ファイバカップラ 11 により分岐された参照光は、光ファイバ 13 により導光されてコリメートレンズ 15 を介してハーフミラー 17 により撮像素子 19 に向かって反射される。

[0063] これにより、ハーフミラー 17 において照明光と参照光とが合波され、略平行光束の照明光と参照光との干渉により生じる干渉縞が撮像素子 19 によって撮影される。そして、プロセッサ 7 により、撮像素子 19 によって撮影された干渉縞に基づいて、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を透過した照明光の波面収差が算出され（測定工程）、その波面収差に基づいて位置関係調整部 3 が制御される。

[0064] すなわち、位置関係調整部 3 により、照明光の波面が平面波にできるだけ近づくように波面回復素子 51 の X Y Z 方向の位置や光軸回りの角度 θ が調整され（調整工程）、波面錯乱素子 37 および波面回復素子 51 を透過する照明光の波面収差が極めて低減される。

[0065] これにより、波面錯乱素子 37 によって照明光の波面に付与される空間的な乱れを波面回復素子 51 により精度よく打ち消し、波面回復素子 51 以降において結像される最終像をより鮮明にすることができる。また、波面回復

素子 5 1 によって蛍光の波面に付与される空間的な乱れを波面錯乱素子 3 7 により精度よく打ち消し、ピンホール 2 7 に鮮明な像を結像させて光検出器 2 9 により蛍光をより効率よく検出することができる。

[0066] したがって、本実施形態に係る位相変調素子調整システム 1 0 1 および位相変調素子調整方法によれば、第 1 実施形態と同様の効果を奏する。

[0067] 〔第 3 実施形態〕

次に、本発明の第 3 実施形態に係る位相変調素子調整システム 1 および位相変調素子調整方法について説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム 2 0 1 は、図 3 に示すように、波面収差測定部として、シャックハルトマンセンサ 2 0 3 を備える点で第 1 実施形態および第 2 実施形態と異なる。

以下、第 1 実施形態、第 2 実施形態に係る位相変調素子調整システム 1, 1 0 1 および位相変調素子調整方法と構成を共通する箇所には、同一符号を付して説明を省略する。

[0068] 本実施形態においては、図 3 に示すようなレーザ走査型多光子励起観察装置（顕微鏡装置）3 0 0 に位相変調素子調整システム 2 0 1 および位相変調素子調整方法を用いる場合について説明する。

まず、レーザ走査型多光子励起観察装置 3 0 0 について説明する。

レーザ走査型多光子励起観察装置 3 0 0 は、極短パルスレーザ光（以下、単に「レーザ光」とする。）を発生するパルスレーザ（物体）7 1 と、パルスレーザ 7 1 から発せられたレーザ光を観察対象物に集光させる一方、観察対象物からの光を集光する結像光学系 7 3 と、結像光学系 7 3 により集光されてレーザ光の光路を戻る蛍光を検出する光検出器 2 9 とを備えている。

[0069] 結像光学系 7 3 は、パルスレーザ 7 1 からのレーザ光のビーム径を拡大するビームエキスパンダ 7 5 と、中間結像光学系 6 1 と、アクチュエータ 6 3 と、波面錯乱素子 3 7 と、第 1 中間結像レンズ対 3 9 と、ガルバノミラー 3 5 と、第 2 中間結像レンズ対 4 7 と、ハーフミラー 7 7 と、波面回復素子 5 1 と、対物レンズ 5 3 と、観察対象物において発生し対物レンズ 5 3 により

集光されてレーザ光の光路を戻す蛍光を集光する集光レンズ 79 とを備えている。

[0070] ハーフミラー 77 は、第 2 中間結像レンズ対 47 からのレーザ光を透過させる一方、観察対象物から対物レンズ 53 および波面回復素子 51 を介してレーザ光の光路を戻す蛍光を集光レンズ 79 に向けて偏向するようになっている。

[0071] このように構成されたレーザ走査型多光子励起観察装置 300 は、パルスレーザ 71 において発生させたレーザ光がビームエキスパンダ 75 によりビーム径を拡大された後、中間結像光学系 61 を介して波面錯乱素子 37 を透過し、第 1 中間結像レンズ対 39 を介してガルバノミラー 35 により 2 次元的に走査される。そして、レーザ光は、第 2 中間結像レンズ対 47 およびハーフミラー 77 を介して波面回復素子 51 を透過し、対物レンズ 53 により観察対象物に照射される。

[0072] レーザ光が照射されることにより観察対象物において発生する蛍光は、対物レンズ 53 により集光されて波面回復素子 51 を透過した後、ハーフミラー 77 により偏向されて集光レンズ 79 により集光され、光検出器 29 により検出される。

[0073] ここで、波面錯乱素子 37 を透過することによりレーザ光の波面に乱れが付与されて、中間像が不鮮明化するので、中間結像面に異物が存在していても異物の像が中間像に重なることを防止することができる。また、不鮮明化した中間像を結像した後のレーザ光は、波面回復素子 51 を透過することにより波面錯乱素子 37 によって付与された波面の乱れが打ち消されるので、鮮明化した最終像を観察対象物に結像させることができる。

[0074] 次に、本実施形態に係る位相変調素子調整システム 201 について説明する。

位相変調素子調整システム 201 は、波面錯乱素子 37 の光軸に沿う方向（Z 方向）および光軸に交差する方向（X 方向、Y 方向）の位置や光軸回りの角度（ θ ）を変更可能な位置関係調整部 3 と、略平行光束のレーザ光の波

面収差を測定するレーザシャックハルトマンセンサ203と、プロセッサ7とを備えている。

[0075] シャックハルトマンセンサ203は、対物レンズ53と共に図示しないレボルバに取り付けられており、レボルバを所定の回転軸回りに回転させることにより、レーザ光の光路上に対物レンズ53に置き換えて配置することができるようになっている。

[0076] このシャックハルトマンセンサ203は、例えば、マイクロレンズアレイと、撮像素子と、解析演算部（いずれも図示略）とを備えている。このシャックハルトマンセンサ203は、マイクロレンズアレイに入射した光束の集光スポットを撮像素子により撮像し、得られた画像データを用いて、解析演算部により各集光スポットの集光位置を解析することで、波面収差を測定するようになっている。

[0077] プロセッサ7は、シャックハルトマンセンサ203により測定された照明光の波面収差に基づいて、照明光の波面収差が低減するように位置関係調整部3を制御するようになっている。

[0078] 次に、本実施形態に係る位相変調素子調整方法について説明する。

位相変調素子調整方法は、波面錯乱素子37および波面回復素子51を通過したパルスレーザ71からのレーザ光の波面収差を測定する測定工程と、測定工程により測定された波面収差が低減するように、波面錯乱素子37と波面回復素子51との相対的な位置関係を調整する調整工程とを含んでいる。

[0079] このように構成された位相変調素子調整システム201および位相変調素子調整方法の作用について説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム201によりレーザ走査型多光子励起観察装置300の波面錯乱素子37および波面回復素子51による位相変調を調整するには、まず、対物レンズ53に代えてシャックハルトマンセンサ203を配置し、パルスレーザ71からレーザ光を発生させる。

[0080] パルスレーザ71から発せられたレーザ光は、上述した多光子励起観察の

場合と同様にして結像光学系 7 3 の波面錯乱素子 3 7 および波面回復素子 5 1 を透過する。そして、レーザ光は、シャックハルトマンセンサ 2 0 3 により受光されて、照明光の波面収差が算出される（測定工程）。

[0081] 次いで、プロセッサ 7 により、シャックハルトマンセンサ 2 0 3 により測定された照明光の波面収差に基づいて、位置関係調整部 3 が制御される。すなわち、位置関係調整部 3 により、照明光の波面が平面波にできるだけ近づくように波面錯乱素子 3 7 の X Y Z 方向の位置および光軸回りの角度 θ が調整され（調整工程）、波面錯乱素子 3 7 および波面回復素子 5 1 を透過したパルスレーザ 7 1 からのレーザ光の波面収差が極めて低減される。

[0082] これにより、波面錯乱素子 3 7 によってレーザ光の波面に付与される空間的な乱れが波面回復素子 5 1 により精度よく打ち消され、波面回復素子 5 1 以降において結像される最終像がより鮮明になる。

[0083] 以上説明したように、本実施形態に係る位相変調素子調整システム 2 0 1 および位相変調素子調整方法によれば、波面収差測定部としてシャックハルトマンセンサ 2 0 3 を採用することで、干渉計を用いなくても光の波面収差を測定することができる。したがって、システムの構成の簡素化および小型化を図ることができる。

[0084] 〔第 4 実施形態〕

次に、本発明の第 4 実施形態に係る位相変調素子調整システム 1 および位相変調素子調整方法について説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム 3 0 1 は、図 4 に示すように、位相調整用のレーザ光を発生する光源 3 0 3 と、波面錯乱素子 3 7 および波面回復素子 5 1 よりも最終像側に配置されるシャックハルトマンセンサ（波面収差測定部） 2 0 3 とを備える点で第 1 実施形態、第 2 実施形態および第 3 実施形態と異なる。

以下、第 1 実施形態、第 2 実施形態、第 3 実施形態に係る位相変調素子調整システム 1, 1 0 1, 2 0 1 および位相変調素子調整方法と構成を共通する箇所には、同一符号を付して説明を省略する。

[0085] 本実施形態においては、図4に示すような蛍光顕微鏡（顕微鏡装置）400に位相変調素子調整システム301および位相変調素子調整方法を用いる場合について説明する。

まず、蛍光顕微鏡400について説明する。

蛍光顕微鏡400は、非コヒーレントな照明光を発生する照明用光源（物体）81と、照明用光源81から発せられた照明光を観察対象物（物体）に照射する照明光学系83と、観察対象物からの光を集光する結像光学系85と、結像光学系85により集光された光を撮影して画像を取得するCCDやCMOSのような撮像素子87とを備えている。

[0086] 照明光学系83は、照明用光源81からの照明光を集光する照明レンズ89A、89Bと、照明レンズ89A、89Bにより集光された照明光を観察対象物に照射する対物レンズ53とを備えている。この照明光学系83は、いわゆるケーラー照明であり、照明レンズ89A、89Bは、照明用光源81の発光面と対物レンズ53の瞳面とが互いに共役になるように配置されている。

[0087] 結像光学系85は、観察対象物から発せられた観察光（例えば、反射光）を集光する上記対物レンズ（結像レンズ）53と、対物レンズ53により集光された観察光の波面に位相変調を付与する波面錯乱素子37と、波面に位相変調が付与された観察光を照明用光源81からの照明光路から分岐させる第1ビームスプリッタ91と、光軸方向に間隔をあけて配置された中間結像レンズ対（結像レンズ）93と、中間結像レンズ対93を透過した観察光を90°偏向する第2ビームスプリッタ95と、第2ビームスプリッタ95により偏向された観察光を集光して中間像を結像させる中間結像レンズ（結像レンズ）43と、中間結像レンズ43による中間結像面に配置された光路長変更部45と、第2ビームスプリッタ95と中間結像レンズ43との間に配置された波面回復素子51と、波面回復素子51および第2ビームスプリッタ95を透過した観察光を集光して最終像を結像させる結像レンズ55とを備えている。

- [0088] 撮像素子 8 7 は、結像レンズ 5 5 による最終像の結像位置に配置された撮像面（図示略）を備え、撮像面に入射される観察光を撮影することにより、観察対象物の 2 次元的な画像を取得することができるようになっている。
- [0089] 波面錯乱素子 3 7 は、対物レンズ 5 3 の瞳位置近傍に配置されている。この波面錯乱素子 3 7 は、観察対象物からの観察光を 1 回透過させることにより、必要な波面の乱れを付与するようになっている。
- [0090] 波面回復素子 5 1 は、第 2 中間結像レンズ対 4 7 の瞳位置近傍に配置されている。この波面回復素子 5 1 は、第 2 ビームスプリッタ 9 5 により偏向された観察光および光路長変更部 4 5 により折り返される観察光を往復で 2 回透過させることにより、波面錯乱素子 3 7 により付与される波面の乱れを打ち消すような位相変調を観察光の波面に与えるようになっている。
- [0091] このように構成された蛍光顕微鏡 4 0 0 は、照明用光源 8 1 から発せられた照明光を照明光学系 8 3 によって観察対象物に照射する。照明光が照射されることにより観察対象物から戻る観察光は、対物レンズ 5 3 によって集光されて波面錯乱素子 3 7 を 1 回透過し、第 1 ビームスプリッタ 9 1 および中間結像レンズ対 9 3 を介して第 2 ビームスプリッタ 9 5 により偏向される。
- [0092] 第 2 ビームスプリッタ 9 5 により偏向された観察光は、波面回復素子 5 1 を透過し、中間結像レンズ 4 3 を介して光路長変更部 4 5 の平面鏡 4 5 A によって折り返される。そして、観察光は、中間結像レンズ 4 3 を介して波面回復素子 5 1 を再度透過し、第 2 ビームスプリッタ 9 5 を透過して結像レンズ 5 5 により集光される。これにより、結像レンズ 5 5 により結像された最終像が撮像素子 8 7 によって撮影される。
- [0093] ここで、光路長変更部 4 5 の平面鏡 4 5 A 近傍には中間結像レンズ 4 3 による中間像が結像されるが、この中間像は、波面錯乱素子 3 7 を透過することにより付与された波面の乱れが波面回復素子 5 1 を 1 回透過することにより部分的に打ち消されて残った波面の乱れによって不鮮明化する。そして、不鮮明化した中間像を結像した後の観察光は、中間結像レンズ 4 3 によって集光された後に、波面回復素子 5 1 を再度透過することにより、波面の乱れが

打ち消される。

[0094] その結果、平面鏡45Aの表面に傷や塵埃等の異物が存在していても、異物の像が最終像に重なって撮影されてしまうことを防止することができ、かつ、観察対象物の鮮明な画像を得ることができる。

[0095] 次に、本実施形態に係る位相変調素子調整システム301について説明する。

位相変調素子調整システム301は、観察対象物側から波面錯乱素子37および波面回復素子51にレーザ光を入射させる光源303と、波面回復素子51のXYZ方向の位置や光軸回りの角度 θ を変更可能な位置関係調整部3と、光源303からのレーザ光を反射する反射ミラー305と、反射ミラー305により反射されたレーザ光をリレーするリレーレンズ群307と、リレーレンズ群307によりリレーされた略平行光束のレーザ光の波面収差を測定するシャックハルトマンセンサ203と、プロセッサ7とを備えている。

[0096] 次に、本実施形態に係る位相変調素子調整方法について説明する。

位相変調素子調整方法は、波面錯乱素子37および波面回復素子51を通過した光源（物体）303からのレーザ光の波面収差を測定する測定工程と、測定工程により測定された波面収差が低減するように、波面錯乱素子37と波面回復素子51との相対的な位置関係を調整する調整工程とを含んでいる。

[0097] このように構成された位相変調素子調整システム301および位相変調素子調整方法の作用について説明する。

本実施形態に係る位相変調素子調整システム301により蛍光顕微鏡400の波面錯乱素子37および波面回復素子51の位相変調を調整するには、まず、観察対象物に代えて光源303を配置し、光源303からレーザ光を発生させる。

[0098] 光源303から発せられたレーザ光は、対物レンズ53により集光されて波面錯乱素子37を透過し、第1ビームスプリッタ91、中間結像レンズ対

93を介して第2ビームスプリッタ95により偏向される。第2ビームスプリッタ95により偏向されたレーザ光は波面回復素子51を透過して中間結像レンズ43により集光され、光路長変更部45により折り返される。

[0099] 光路長変更部45により折り返されたレーザ光は、中間結像レンズ43を介して波面回復素子51を透過し、第2ビームスプリッタ95、反射ミラー305およびレーンズ群307を介してシャックハルトマンセンサ203により受光されて、レーザ光の波面収差が算出される（測定工程）。

[0100] 次に、プロセッサ7により、シャックハルトマンセンサ203により測定されたレーザ光の波面収差に基づいて、位置関係調整部3が制御される。すなわち、位置関係調整部3により、レーザ光の波面が平面波にできるだけ近づくように波面回復素子51のXYZ方向の位置および光軸回りの角度 θ が調整され（調整工程）、波面錯乱素子37および波面回復素子51を透過した光源303からのレーザ光の波面収差が極めて低減される。

[0101] これにより、波面錯乱素子37によって観察光の波面に付与される空間的な乱れが波面回復素子51により精度よく打ち消され、波面回復素子51以降において結像される最終像がより鮮明になる。

[0102] 以上説明したように、本実施形態に係る位相変調素子調整システム301および位相変調素子調整方法によれば、波面錯乱素子37および波面回復素子51を透過する光源303からのレーザ光の波面収差を測定する際に、観察対象物からの光を集光する対物レンズ53を光路から外さなくて済む。また、対物レンズ53による収差の影響も含めて2つの波面錯乱素子37および波面回復素子51の相対的な位置関係を調整することができる。

[0103] 以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。例えば、本発明を上記の各実施形態に適用したものに限定されることなく、これらの実施形態を適宜組み合わせた実施形態に適用してもよく、特に限定されるものではない。

[0104] また、上記各実施形態においては、波面錯乱素子37および波面回復素子

５１のいずれか一方の位置および角度を調整することとしたが、例えば、これら波面錯乱素子３７および波面回復素子５１のいずれか他方の位置および角度を調整することとしてもよい、これらの両方の位置および角度を調整することとしてもよい。

[0105] また、上記各実施形態においては、プロセッサ７が、照明光の波面が平面波にできるだけ近づくように位置関係調整部３を制御することとしたが、例えば、撮像素子１９やシャックハルトマンセンサ２０３の位置を変更し、照明光の波面が球面波にできるだけ近づくように位置関係調整部３を制御することとしてもよい。

符号の説明

- [0106] １， １０１， ２０１， ３０１ 位相変調素子調整システム
- ３ 位置関係調整部
- ５ 波面収差測定部
- ７ プロセッサ（制御部、算出部）
- １１ ファイバカップラ（光分岐部）
- １７ ハーフミラー（合波部）
- １９ 撮像素子（撮像部）
- ２１ ＣＷレーザ（物体）
- ３７ 波面錯乱素子（位相変調素子）
- ３９ 第１中間結像レンズ対（結像レンズ）
- ４３ 中間結像レンズ（結像レンズ）
- ４７ 第２中間結像レンズ対（結像レンズ）
- ５１ 波面回復素子（位相変調素子）
- ５３ 対物レンズ（結像レンズ）
- ５５ 結像レンズ
- ６１ 中間結像光学系（結像レンズ）
- ９３ 中間結像レンズ対（結像レンズ）
- １００， ２００ レーザ走査型共焦点観察装置（顕微鏡装置）

- 2 0 3 シャックハルトマンセンサ（波面収差測定部）
- 3 0 0 レーザ走査型多光子励起観察装置（顕微鏡装置）
- 3 0 3 光源
- 4 0 0 蛍光顕微鏡（顕微鏡装置）

請求の範囲

- [請求項1] 最終像および少なくとも1つの中間像を形成する複数の結像レンズと、該結像レンズにより形成されるいずれかの前記中間像を挟む位置に配置された互いに逆の位相特性を有する2つの位相変調素子とを備える顕微鏡装置に用いられ、前記2つの位相変調素子の相対的な位置関係を調整可能な位置関係調整部と、
- 前記2つの位相変調素子を通過した物体からの光の波面収差を測定する波面収差測定部と、
- 該波面収差測定部により測定された前記波面収差が低減するように前記位置関係調整部を制御する制御部とを備える位相変調素子調整システム。
- [請求項2] 前記位置関係調整部が、前記2つの位相変調素子の少なくとも一方の光軸に沿う方向の位置、光軸に交差する方向の位置および光軸回りの角度の少なくともいずれかを変更する請求項1に記載の位相変調素子調整システム。
- [請求項3] 前記波面収差測定部が、前記2つの位相変調素子よりも前記物体から離間した位置に配置される請求項1または請求項2に記載の位相変調素子調整システム。
- [請求項4] 前記物体側から前記2つの位相変調素子に光を入射させる光源を備え、
- 前記波面収差測定部が、前記2つの位相変調素子よりも前記最終像側に配置される請求項1または請求項2に記載の位相変調素子調整システム。
- [請求項5] 前記波面収差測定部が、前記光を前記顕微鏡装置による観察用の照明光と位相変調素子調整用の参照光とに分岐する光分岐部と、
- 前記2つの位相変調素子を通過させた前記照明光と前記2つの位相変調素子を通過させていない前記参照光とを合波する合波部と、
- 該合波部により合波された前記照明光と前記参照光の光路差により

生じる干渉縞を撮像する撮像部と、

該撮像部により撮像された干渉縞に基づいて前記波面収差を算出する算出部とを備える請求項 4 に記載の位相変調素子調整システム。

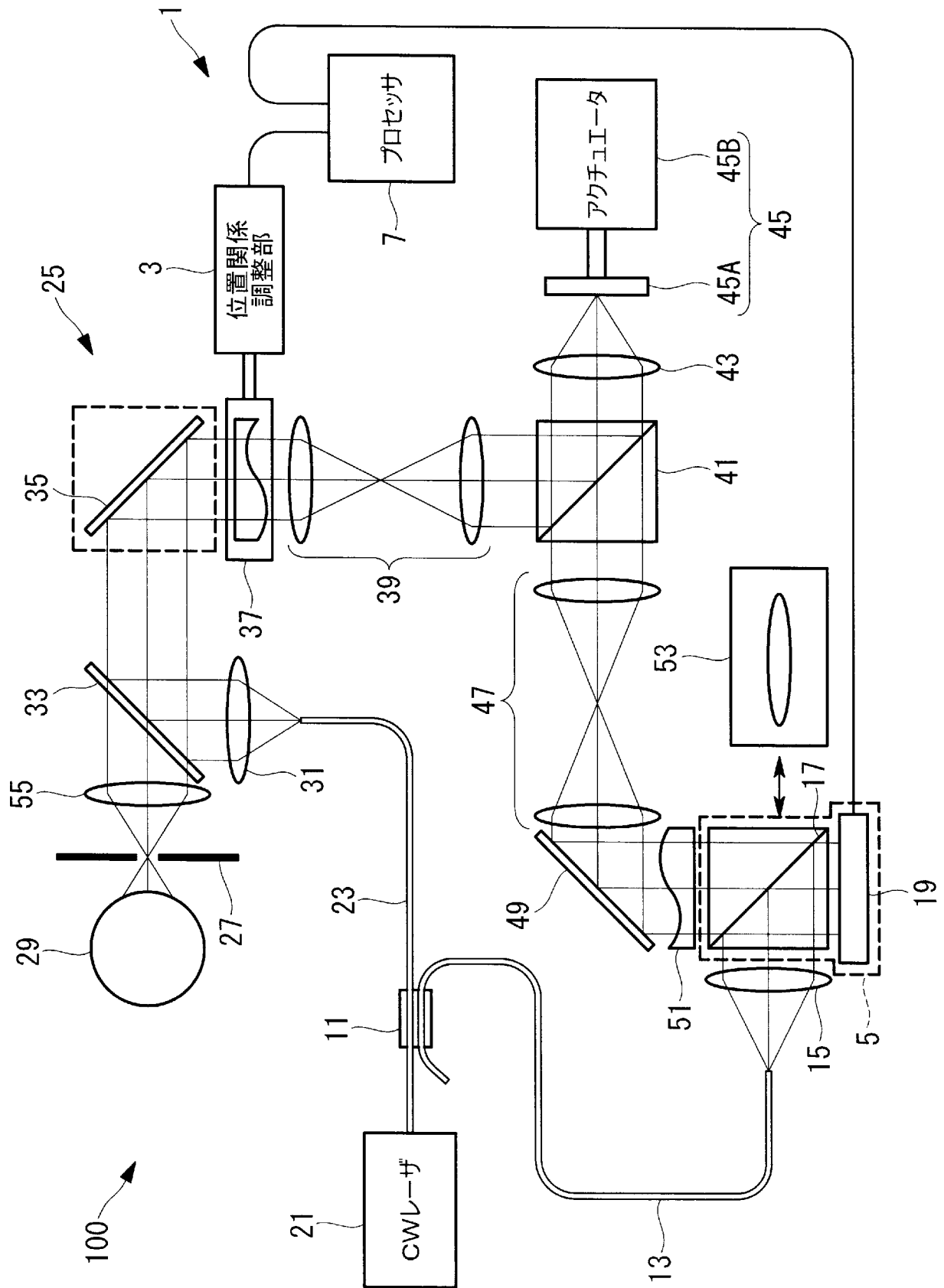
[請求項6] 前記波面収差測定部が Shack-Hartmann センサである請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の位相変調素子調整システム。

[請求項7] 中間像を結像する物体からの光の波面に対して第 1 位相変調素子により空間的な乱れを付与する一方、前記中間像を結像した前記光の波面の前記空間的な乱れを第 2 位相変調素子により打ち消して、最終像を結像させる顕微鏡装置の位相変調素子調整方法であって、

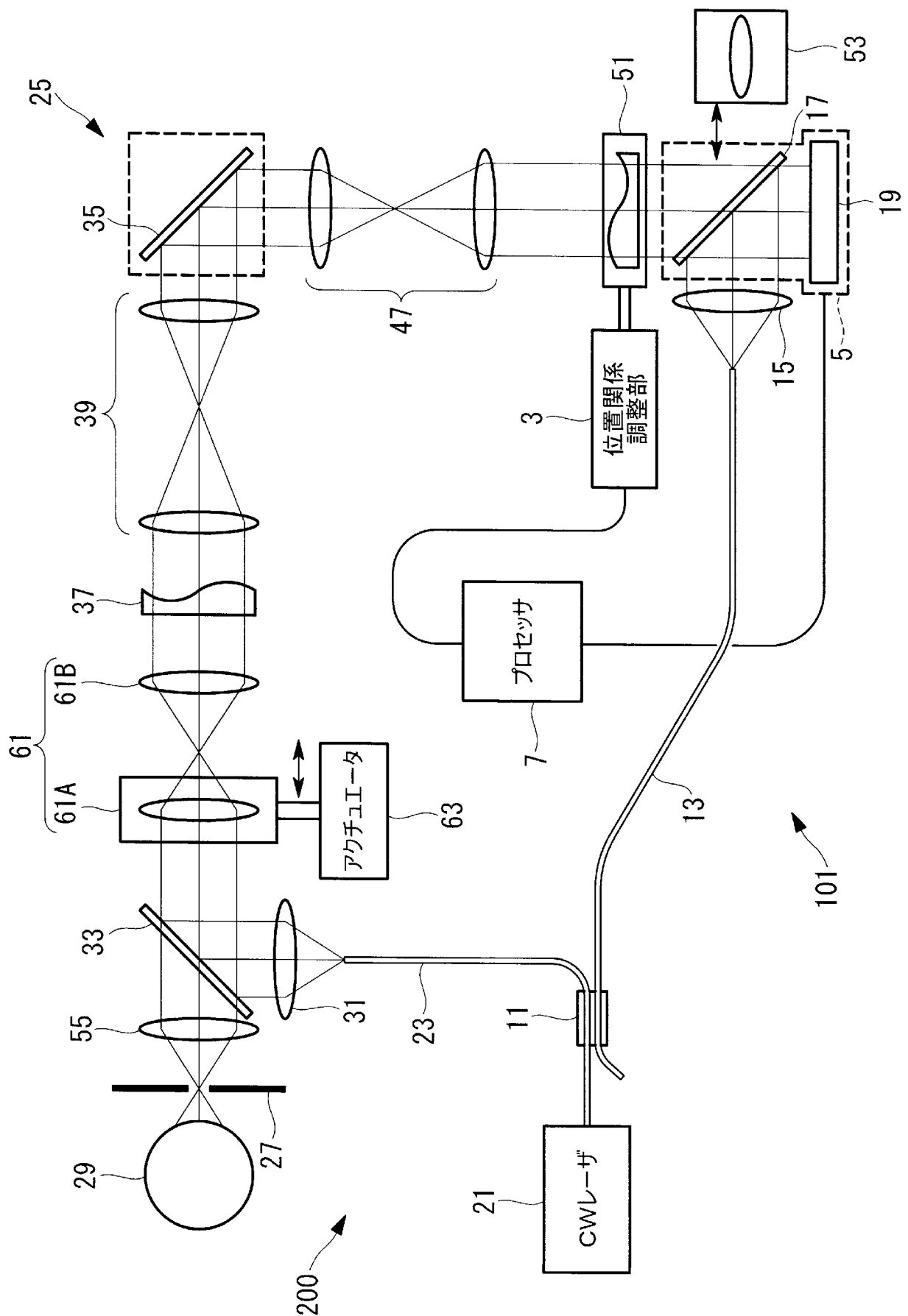
前記 2 つの位相変調素子を通じた前記物体からの光の波面収差を測定する測定工程と、

該測定工程により測定された波面収差が低減するように、前記 2 つの位相変調素子の相対的な位置関係を調整する調整工程とを含む位相変調素子調整方法。

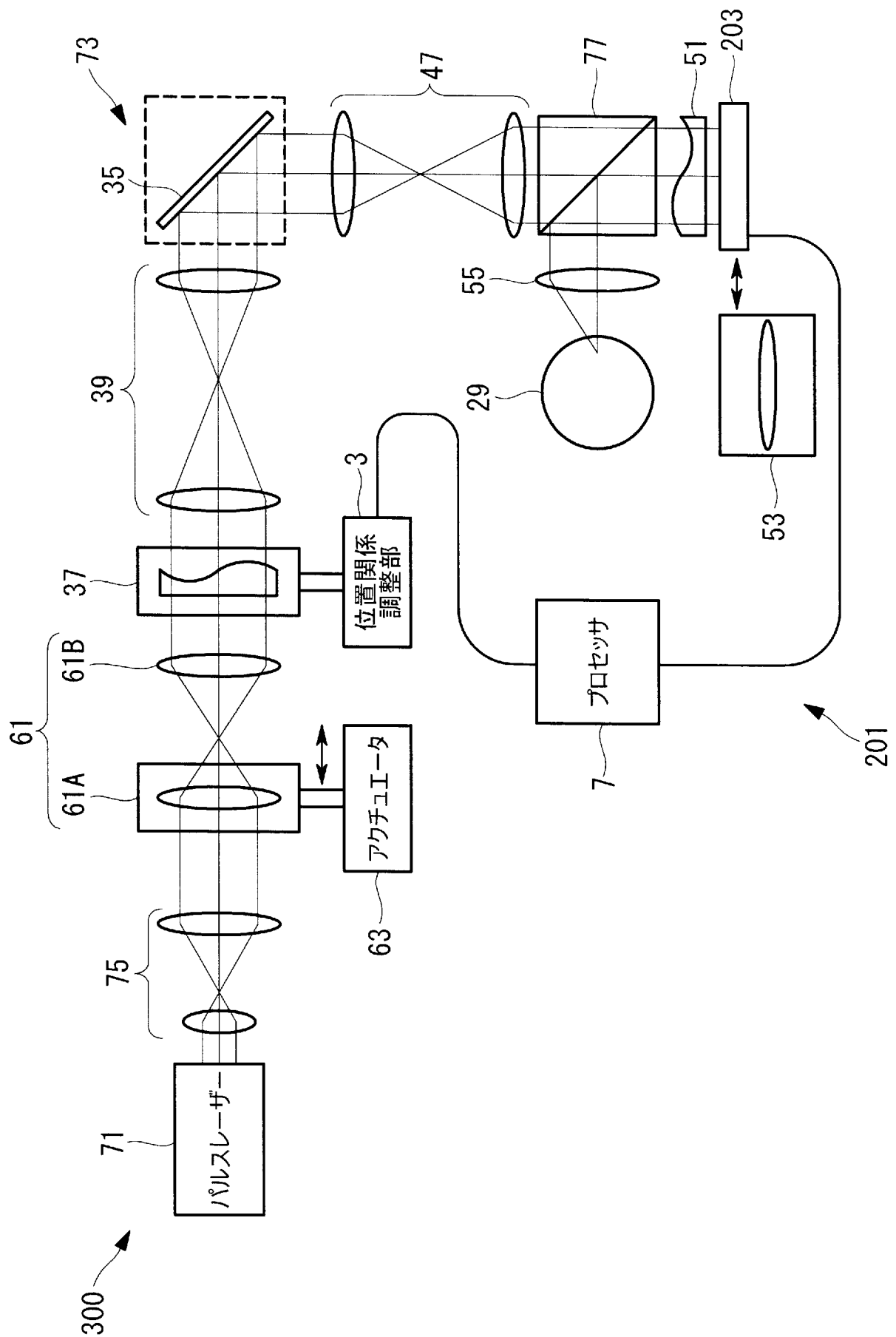
[図1]



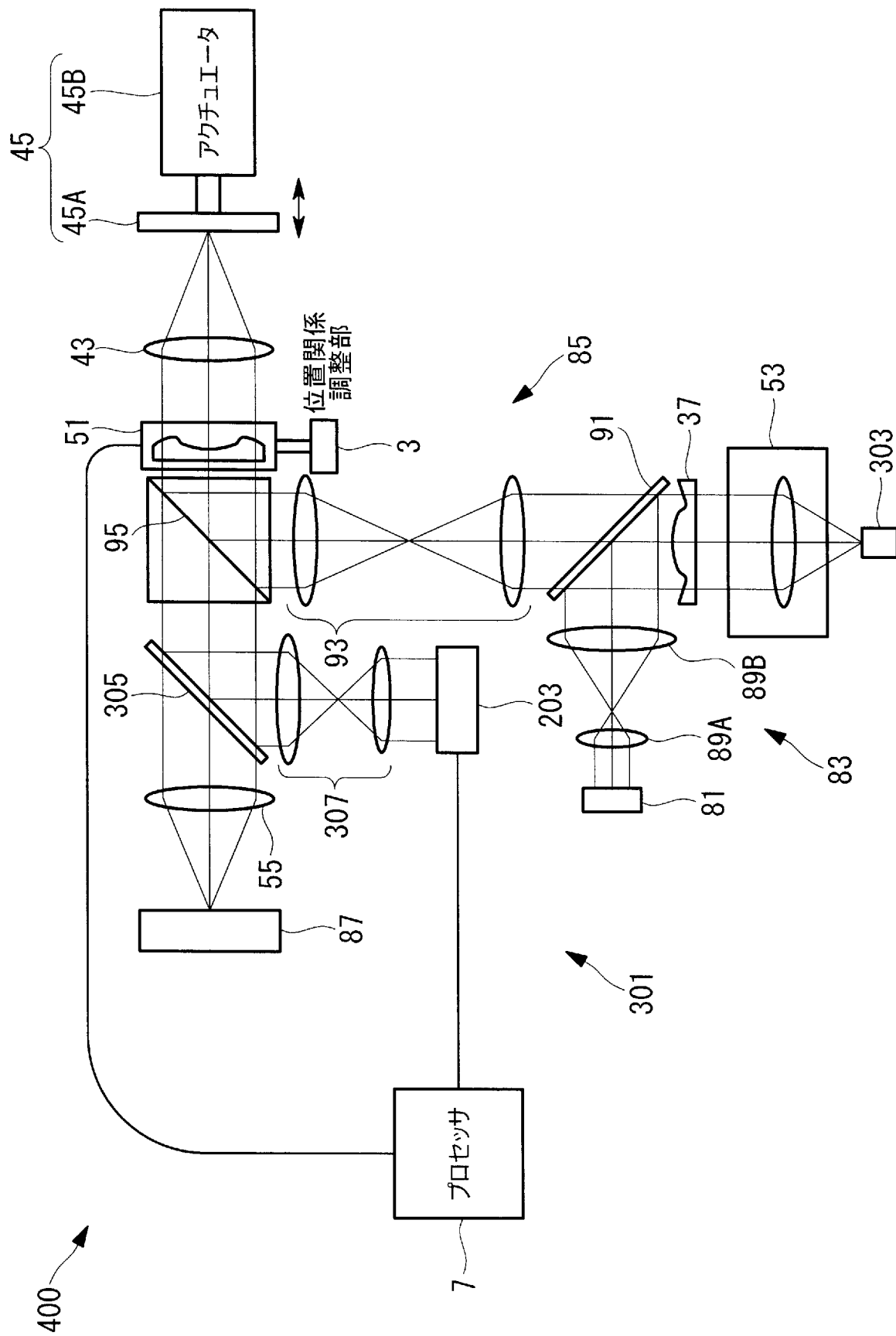
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/070328

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B21/00(2006.01) i, G01M11/00(2006.01) i, G01N21/64(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)

G02B21/00, G01M11/00, G01N21/64

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 2013-83817 A (Ricoh Co., Ltd.), 09 May 2013 (09.05.2013), claims; paragraphs [0011], [0048] to [0055]; fig. 6 & US 2013/0070217 A1 claims; paragraphs [0017] to [0018], [0115] to [0124]; fig. 17 & EP 2570852 A2 & CN 102998783 A	1-7
A	JP 06-265814 A (Asahi Optical Co., Ltd.), 22 September 1994 (22.09.1994), claims; paragraphs [0034] to [0039]; fig. 2 to 3 & US 5442413 A claims; column 9, line 53 to column 10, line 44; fig. 2 to 3	1-7



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
09 October 2015 (09.10.15)

Date of mailing of the international search report
20 October 2015 (20.10.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/070328

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 11-109243 A (Canon Inc.), 23 April 1999 (23.04.1999), claims; paragraphs [0017] to [0032], [0102] to [0105], [0119] to [0136] & US 2004/0150879 A1 claims; paragraphs [0018] to [0033], [0161] to [0164], [0176] to [0197]	1-7
A	JP 2006-311473 A (Kyocera Corp.), 25 December 2006 (25.12.2006), claims; paragraphs [0017] to [0047]; fig. 1 to 8 (Family: none)	1-7
A	JP 2007-60647 A (Kyocera Corp.), 08 March 2007 (08.03.2007), claims; paragraphs [0032] to [0050]; fig. 1 to 8 (Family: none)	1-7
A	JP 4011704 B2 (Olympus Corp.), 21 November 2007 (21.11.2007), claims; entire text; all drawings & US 6774944 B1 claims; entire text; all drawings	1-7
A	JP 2005-62155 A (Olympus Corp.), 10 March 2005 (10.03.2005), claims; paragraphs [0132] to [0133] (Family: none)	1-7
A	JP 2004-239660 A (Japan Science and Technology Agency), 26 August 2004 (26.08.2004), claims; paragraphs [0041] to [0044] & US 2004/0227101 A1 claims; paragraphs [0063] to [0066]	1-7
P,A	WO 2014/163114 A1 (Olympus Corp.), 09 October 2014 (09.10.2014), claims; entire text; all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02B21/00(2006.01)i, G01M11/00(2006.01)i, G01N21/64(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 (IPC))

Int.Cl. G02B21/00, G01M11/00, G01N21/64

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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 2013-83817 A (株式会社リコー) 2013.05.09, 特許請求の範囲、段落【0011】、【0048】-【0055】、第6図 & US 2013/0070217 A1, 特許請求の範囲、段落【0017】-【0018】、【0115】-【0124】、第17図 & EP 2570852 A2 & CN 102998783 A	1-7
A	JP 06-265814 A (旭光学工業株式会社) 1994.09.22, 特許請求の範囲、段落【0034】-【0039】、第2図-第3図 & US 5442413 A, 特許請求の範囲、第9欄第53行目乃至第10欄第44行目、第2図-第3図	1-7

☒ 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

09.10.2015

国際調査報告の発送日

20.10.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/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)

越河 勉

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

2V

9313

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 11-109243 A (キヤノン株式会社) 1999. 04. 23, 特許請求の範囲、段落【0017】 - 【0032】、【0102】 - 【0105】、【0119】 - 【0136】 & US 2004/0150879 A1, 特許請求の範囲、段落【0018】 - 【0033】、【0161】 - 【0164】、【0176】 - 【0197】	1-7
A	JP 2006-311473 A (京セラ株式会社) 2006. 11. 09, 特許請求の範囲、段落【0017】 - 【0047】、第1図-第8図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2007-60647 A (京セラ株式会社) 2007. 03. 08, 特許請求の範囲、段落【0032】 - 【0050】、第1図-第8図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 4011704 B2 (オリンパス株式会社) 2007. 11. 21, 特許請求の範囲、全文、全図 & US 6774944 B1, 特許請求の範囲、全文、全図	1-7
A	JP 2005-62155 A (オリンパス株式会社) 2005. 03. 10, 特許請求の範囲、段落【0132】 - 【0133】 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2004-239660 A (独立行政法人 科学技術振興機構) 2004. 08. 26, 特許請求の範囲、段落【0041】 - 【0044】 & US 2004/0227101 A1, 特許請求の範囲、段落【0063】 - 【0066】	1-7
P, A	WO 2014/163114 A1 (オリンパス株式会社) 2014. 10. 09, 請求の範囲、全文、全図 (ファミリーなし)	1-7