

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6604774号
(P6604774)

(45) 発行日 令和1年11月13日(2019.11.13)

(24) 登録日 令和1年10月25日(2019.10.25)

(51) Int.Cl. F 1
G O 2 B 21/06 (2006.01) G O 2 B 21/06
G O 2 B 13/00 (2006.01) G O 2 B 13/00
G O 2 B 13/18 (2006.01) G O 2 B 13/18

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-158464 (P2015-158464)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成27年8月10日 (2015.8.10)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2017-37191 (P2017-37191A)		東京都八王子市石川町2951番地
(43) 公開日	平成29年2月16日 (2017.2.16)	(74) 代理人	100074099
審査請求日	平成30年8月7日 (2018.8.7)		弁理士 大菅 義之
		(74) 代理人	100121083
			弁理士 青木 宏義
		(74) 代理人	100138391
			弁理士 天田 昌行
		(72) 発明者	嵐 文隆
			東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリンパス株式会社内
		審査官	金高 敏康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 顕微鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源と、

前記光源からの光の光路に対して挿脱自在に配置される、前記光源からの光を標本に照射するコンデンサレンズと、

前記光源と前記コンデンサレンズの間に配置された、コレクタレンズと、

前記標本を透過した前記光源からの光を集光する対物レンズと、を備え、

前記光源と前記コレクタレンズと前記コンデンサレンズとは、クリティカル照明光学系を構成し、

bを前記対物レンズの射出瞳径とし、 a_{det} を前記コンデンサレンズが前記光路から取り除かれ、前記コレクタレンズからの光が前記標本を直接照明する状態における、前記対物レンズの射出瞳面内の領域であって前記標本上の一点を介して前記対物レンズに入射した前記光源からの光が通過する領域の直径とするとき、以下の条件式

$$1/20 \leq a_{det}/b \leq 1/2 \quad \cdots (1)$$

を満たすことを特徴とする顕微鏡。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の顕微鏡において、

a_{att} を前記コンデンサレンズが前記光路に挿入されている状態における、前記対物レンズの射出瞳面内の領域であって前記標本上の一点を介して前記対物レンズに入射した前記光源からの光が通過する領域の直径とするとき、以下の条件式

10

20

$$1/3 \quad a_{att}/b \quad 1 \quad \cdots (2)$$

を満たすことを特徴とする顕微鏡。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の顕微鏡において、さらに、

前記光源と前記コンデンサレンズの間に配置される、開口絞りを備え、

a_{stop} を前記コンデンサレンズ及び前記開口絞りが前記光路に挿入されている状態における、前記対物レンズの射出瞳面内の領域であって前記標本上の一点を介して前記対物レンズに入射した前記光源からの光が通過する領域の直径とするとき、以下の条件式

$$1/20 \quad a_{stop}/b \quad 1/2 \quad \cdots (3)$$

を満たすことを特徴とする顕微鏡。

10

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の顕微鏡において、

F_b を前記コレクタレンズの最も前記光源に近い面である第 1 面から前記コレクタレンズの前側焦点位置までの距離とし、 d を前記第 1 面から前記光源の発光面までの距離とするとき、以下の条件式

$$0.9 \quad |d/F_b| \quad 1.1 \quad \cdots (4)$$

を満たすことを特徴とする顕微鏡。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の顕微鏡において、

f_{col} を前記コレクタレンズの焦点距離とし、 f_{cd} を前記コンデンサレンズの焦点距離とするとき、以下の条件式

$$2.5 \quad |f_{cd}/f_{col}| \quad 7 \quad \cdots (5)$$

を満たすことを特徴とする顕微鏡。

20

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の顕微鏡において、

f_{col} を前記コレクタレンズの焦点距離とし、 f_{cd} を前記コンデンサレンズの焦点距離とし、 L を前記光源の発光面から標本面までの距離とし、 WD_{det} を前記コレクタレンズの最も前記標本面に近い面から前記標本面までの距離とし、 WD_{att} を前記コンデンサレンズが前記光路に挿入されている状態における、前記コンデンサレンズの最も前記標本面に近い面から前記標本面までの距離とするとき、以下の条件式

$$1/8 \quad (f_{cd} + f_{col})/L \quad 2/3 \quad \cdots (6)$$

$$1.5 \quad WD_{det}/WD_{att} \quad 4 \quad \cdots (7)$$

を満たすことを特徴とする顕微鏡。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、顕微鏡に関し、特に、コンデンサレンズを光路に対して挿脱自在に配置した顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

培養顕微鏡は、シャーレなどの容器内で培養されている生きた細胞を観察する顕微鏡である。正立顕微鏡として構成した場合、対物レンズが培養液に浸ってしまう等の課題があるため、培養顕微鏡は、標本を上方から照明し下方から観察する倒立顕微鏡として構成されるのが通常である。

40

【0003】

培養顕微鏡では、細胞の汚染を防止するため、標本は培養容器ごとステージに配置されるが、培養容器のサイズは様々である。このため、背の高い容器であってもステージに配置して観察することができるよう、コンデンサレンズが着脱自在に保持された培養顕微鏡が提案されている。このような顕微鏡は、例えば、特許文献 1 に開示されている。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2014-002219号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、比較的安価な培養顕微鏡では、照明光学系を簡易な構成とするため、クリティカル照明光学系が採用されることが多い。

クリティカル照明光学系を採用した顕微鏡では、クリティカル照明光学系を構成するコンデンサレンズを取り外すと、コレクタレンズからの光が直接対物レンズに入射し、対物レンズの瞳位置に光源のボケた像が形成される。この状態は、一般的には、対物レンズの瞳充足率が高い状態になる。さらに、この状態では、照明光学系内には対物レンズの瞳位置と共役な位置が存在しないため、照明光学系内に開口絞りを設けることができない。このため、照明光学系の開口数を調整して対物レンズの瞳充足率を調整することも難しい。

【0006】

培養細胞などの照射した光の強度変化を生じにくい透明物体は、対物レンズの瞳充足率が高すぎると、画像のコントラストが弱すぎて、良好に可視化されない。従って、従来の比較的安価な培養顕微鏡では、コンデンサレンズを取り除いた状態で透明物体の観察を行うと、透明物体を良好に可視化することは困難である。特に、近年注目されているiPS細胞を観察する場合などの低倍での観察において、この課題は顕著である。

【0007】

以上のような実情を踏まえ、本発明は、コンデンサレンズを光路から取り除いても透明物体を良好に観察することができる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】

【0008】

本発明の一態様は、光源と、前記光源からの光の光路に対して挿脱自在に配置される、前記光源からの光を標本に照射するコンデンサレンズと、前記光源と前記コンデンサレンズの間に配置された、コレクタレンズと、前記標本を透過した前記光源からの光を集光する対物レンズと、を備え、前記光源と前記コレクタレンズと前記コンデンサレンズとは、クリティカル照明光学系を構成し、 b を前記対物レンズの射出瞳径とし、 a_{det} を前記コンデンサレンズが前記光路から取り除かれ、前記コレクタレンズからの光が前記標本を直接照明する状態における、前記対物レンズの射出瞳面内の領域であって前記標本上の一点を介して前記対物レンズに入射した前記光源からの光が通過する領域の直径とするとき、以下の条件式を満たす顕微鏡を提供する。

$$1/20 \leq a_{det}/b \leq 1/2 \quad \cdots (1)$$

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、コンデンサレンズを光路から取り除いても透明物体を良好に観察することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】顕微鏡100の概観図であり、図1(a)は正面図、図1(b)はコンデンサレンズ2を装着した状態での側面図、図1(c)はコンデンサレンズ2を取り外した状態での側面図である。

【図2】顕微鏡100の光学系の構成を示した図である。

【図3】対物レンズ11の瞳充足率を示した図であり、図3(a)はコンデンサレンズ2を取り外した状態における瞳充足率を、図3(b)はコンデンサレンズ2を装着した状態における瞳充足率を、図3(c)はコンデンサレンズ2を装着し且つ光源からの光の一部が開口絞り7aで遮られている状態における瞳充足率を示した図である。

【図4】実施例1に係る照明光学系20の断面図である。

【図5】実施例1に係る顕微鏡のLED光源21から対物レンズ11までの光線図であり、図5(a)はコンデンサレンズ23を装着した状態での光線図であり、図5(b)はコンデンサレンズ23を取り外した状態での光線図である。

【図6】実施例3に係る顕微鏡のLED光源31から標本面SPまでの光線図であり、図6(a)はコンデンサレンズ33を装着した状態での光線図であり、図6(b)はコンデンサレンズ33を取り外した状態での光線図である。

【図7】実施例5に係る顕微鏡のLED光源41から標本面SPまでの光線図であり、図7(a)はコンデンサレンズ43を装着した状態での光線図であり、図7(b)はコンデンサレンズ43を取り外した状態での光線図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0011】

以下、図1から図4を参照しながら、本発明の一実施形態について説明する。なお、本明細書では、“対物レンズの瞳”とは、特に断らない限り、対物レンズの射出瞳のことをいう。また、“対物レンズの瞳充足率”とは、対物レンズの瞳径に対する、対物レンズの射出瞳面内の領域であって標本上の一点を介して対物レンズに入射した光源からの光が通過する領域の直径の比率（即ち、領域の直径／瞳径）のことをいう。また、照明光学系において、“前側”とは光源に近い側をいう。即ち、“コンデンサレンズの前側焦点位置”とは、コンデンサレンズの焦点位置のうちコンデンサレンズよりも光源に近い位置をいう。“コレクタレンズの前側焦点位置”とは、コレクタレンズの焦点位置のうちコレクタレンズよりも光源に近い位置をいう。

20

【0012】

図1は、本発明の一実施形態に係る顕微鏡100の概観図である。図1(a)は正面図であり、図1(b)及び図1(c)は側面図である。図2は、顕微鏡100の光学系の構成を示した図である。顕微鏡100は、ステージ5の上方から照明した標本をステージ5の下方から観察する倒立顕微鏡であり、例えば、培養細胞などを観察する培養顕微鏡である。

【0013】

顕微鏡100は、図1(b)に示すように、ステージ5から延びる鏡柱4に取り付けられた照明光学系を、ステージ5の上方に備えている。顕微鏡100の照明光学系は、光源ユニット1とコンデンサレンズ2を含んでいる。光源ユニット1は、図2に示すように、その内部に光源1aとコレクタレンズ1bを備えている。光源1aは、面発光光源であり、例えば、LED(Light Emitting Diode)光源である。コレクタレンズ1bは、光源1aからの光を略平行光に変換してコンデンサレンズ2に向ける。コンデンサレンズ2は、コレクタレンズ1bを介して入射した光源1aからの光を標本に照射する。コンデンサレンズ2は、図1(b)及び図1(c)に示すように、鏡柱4に対して着脱自在な構成を有している。即ち、コンデンサレンズ2は、光源1aからの光の光路に対して挿脱自在に配置されている。

30

【0014】

なお、コンデンサレンズ2が光路に対して挿入されている状態では、図2に示すように、光源1aから出射した光は、コレクタレンズ1bで略平行光に変換され、コンデンサレンズ2によって標本面SPに集光する。つまり、顕微鏡100の照明光学系はクリティカル照明光学系であり、標本面SPに光源像が形成され、標本面SPが照明される。

40

【0015】

顕微鏡100は、図1(a)から図1(c)に示すように、光源ユニット1とコンデンサレンズ2の間で、コンデンサレンズ2の光軸と直交する方向にスライドするスライダ7を備えている。スライダ7には、例えば、図2に示す開口絞り7a、リングスリット、などの種々の光学部材が配置されている。スライダ7をスライドさせることで、スライダ7上の任意の光学部材が光源ユニット1とコンデンサレンズ2の光路中に、そして、望ましくは、コンデンサレンズ2の前側焦点位置に、挿入される。

【0016】

50

図 1 (b) 及び図 1 (c) に示すダイヤル 3 は、スライダ 7 により光路中に配置された光学部材の状態を変更するための調整用のダイヤルである。例えば、開口絞り 7 a が光路中に配置されている状態でダイヤル 3 をまわすことで、開口絞り 7 a の開口径 (以降、単に径と記す) を変更して、照明光学系の開口数を調整することができる。開口絞り 7 a がコンデンサレンズ 2 の前側焦点位置に配置されている場合には、開口径が変化しても照野が変化しない。このため、コンデンサレンズ 2 の前側焦点位置への開口絞り 7 a の配置は、視野内にケラレが生じないという点で望ましい。また、光源 1 a がデフォーカスした場合に標本に投影される光源像の大きさが変化しない点も望ましい。なお、開口絞り 7 a は、径が可変な可変絞りに限られず、特定の径の開口が形成された固定絞りであってもよい。また、開口絞り 7 a は、偏射照明を行うために、開口の中心がコンデンサレンズ 2 の光軸からずれた状態になるように配置されてもよい。

10

【 0 0 1 7 】

顕微鏡 1 0 0 は、図 1 (a) から図 1 (c) に示すように、鏡脚 6 に固定されたステージ 5 の下方に、レボルバ 1 0 と、レボルバ 1 0 に装着された対物レンズ 1 1 を備え、さらに、鏡脚 6 の前方から延びる鏡筒 8 と、鏡筒 8 に取り付けられた接眼レンズ 9 を備えている。対物レンズ 1 1 は、例えば、無限遠補正型の対物レンズであり、標本を透過した光源 1 a からの光を集光する。レボルバ 1 0 には、複数の対物レンズが装着可能であり、レボルバ 1 0 を回転させて、観察に使用する対物レンズを切り替えることができる。鏡筒 8 は、双眼鏡筒であり、対物レンズ 1 1 を介して入射する光を 2 つに分割して接眼レンズ 9 に導くように構成されている。

20

【 0 0 1 8 】

顕微鏡 1 0 0 は、図 2 に示すように、標本面 S P を通過した光を、対物レンズ 1 1 で平行光に変換し、結像レンズ 1 2 で像面 I P に集光させる。接眼レンズ 9 は、像面 I P に形成された標本像 (中間像) を、顕微鏡 1 0 0 の利用者の瞳に拡大投影する。これにより、顕微鏡 1 0 0 の利用者は、像面 I P に形成された標本像を、接眼レンズ 9 を介して観察することができる。

【 0 0 1 9 】

以上のように構成された顕微鏡 1 0 0 は、光源に L E D 光源などの面発光光源を用い、且つ、その光源位置を工夫して設計される。これにより、ステージ 5 上方に広い空間を確保するためにコンデンサレンズ 2 を光路から取り除いた状態でも透明物体を良好に観察することが可能となる。

30

【 0 0 2 0 】

なお、コンデンサレンズ 2 が光路から取り除かれた状態で標本面 S P に到達する光の入射角度は、光源の大きさに依存する。光源位置をコレクタレンズ 1 b から離す方向に変化させると、より小さな光源で同じ入射角度が実現され、同じサイズの光源でより大きな入射角度が実現される。つまり、光源位置によって最大入射角度を制御することができる。なお、ハロゲンランプのような発光部が光軸方向に一定以上の厚みを持つ光源が用いられると、光源からの光は光軸方向に広い範囲から出射することになるため、最大入射角度の制御が難しい。一方で、光源位置をコレクタレンズ 1 b の前側焦点位置から大きく離れた位置に配置すると、コンデンサレンズ 2 が光路に挿入された状態でコンデンサレンズ 2 の仕様どおりの開口数と作動距離を確保することができなくなる。これは、コンデンサレンズ 2 に入射する光が強く収斂又は発散した光になるからである。このため、光源位置は、これらの点を踏まえて、コンデンサレンズ 2 が光路から取り除かれた状態での性能と挿入された状態での性能がともに要求される性能を満たすように、決定される。

40

【 0 0 2 1 】

より具体的には、顕微鏡 1 0 0 は、コンデンサレンズ 2 が取り外された状態でも、培養細胞などの透明物体を良好に可視化できるように、以下の条件式 (1) を満たすように構成されている。但し、 b は対物レンズ 1 1 の射出瞳径である。 a_{det} はコンデンサレンズ 2 が光路から取り除かれている状態における、対物レンズ 1 1 の射出瞳面 P P 内の領域であって標本上の一点を介して対物レンズ 1 1 に入射した光源 1 a からの光が

50

通過する領域の直径である。なお、標本上の一点は、例えば、図 2 に示すような、標本面 S P 上で且つ光軸上の一点である。

$$1/20 \quad a_{det}/b \quad 1/2 \quad \cdots (1)$$

【0022】

条件式(1)は、コンデンサレンズ2が光路から取り除かれている状態での対物レンズ11の瞳充足率を規定している。瞳充足率を条件式(1)の上限値以下とすることで、画像のコントラストを十分に強調することができるため、標本が透明物体である場合であっても標本を良好に可視化して観察することができる。なお、従来の顕微鏡では、コンデンサレンズが取り除かれ、コレクタレンズからの光が標本に直接照射される状態では、対物レンズの瞳充足率が条件式(1)の上限値を上回る。このため、画像のコントラストが低く、透明物体が十分に可視化されない。一方、顕微鏡100では、コンデンサレンズ2が取り除かれた状態での対物レンズ11の瞳充足率が条件式(1)を満たすように予め設計されているため、コンデンサレンズ2が取り除かれた状態でも、透明物体を観察することができる。なお、条件式(1)の下限値を下回ると、コントラストは強くなるが解像力が低くなりすぎてしまい、望ましくない。

【0023】

顕微鏡100は、コンデンサレンズ2が装着された状態で明るい標本像を得るためには、以下の条件式(2)を満たすように構成されることが望ましい。但し、 a_{att} はコンデンサレンズ2が光路に挿入されている状態における、対物レンズ11の射出瞳面 P P 内の領域であって標本上の一点を介して対物レンズ11に入射した光源1aからの光が通過する領域の直径である。

$$1/3 \quad a_{att}/b \quad 1 \quad \cdots (2)$$

【0024】

条件式(2)は、コンデンサレンズ2が光路に挿入されている状態での対物レンズ11の瞳充足率を規定している。瞳充足率を条件式(2)の下限値以上とすることで、染色された標本等を明視野観察する際に、コントラストが高く、十分な解像力が得られる。なお、 a_{att} はbを越えて大きくなり得ない。

【0025】

顕微鏡100は、コンデンサレンズ2が装着された状態でも、コンデンサレンズ2が取り外された状態と同様に培養細胞などの透明物体を良好に可視化するためには、以下の条件式(3)を満たすように構成されることが望ましい。但し、 a_{stop} をコンデンサレンズ2及び開口絞り7aが光路に挿入されている状態における、対物レンズ11の射出瞳面 P P 内の領域であって標本上の一点を介して対物レンズ11に入射した光源1aからの光が通過する領域の直径である。

$$1/20 \quad a_{stop}/b \quad 1/2 \quad \cdots (3)$$

【0026】

条件式(3)は、コンデンサレンズ2及び開口絞り7aが光路に挿入されている状態での対物レンズ11の瞳充足率を規定している。条件式(3)を満たす瞳充足率の範囲は、条件式(1)と同様である。開口絞り7aが固定絞りである場合には、スライド7をスライドさせて開口絞り7aを光路中に挿入するだけで、容易に条件式(3)を満たすことができる。また、開口絞り7aが可変絞りの場合には、開口絞り7aの径を調整することによって、条件式(3)を満たしてもよい。

【0027】

図3は、対物レンズ11の瞳充足率を示した図である。図3(a)はコンデンサレンズ2を取り外した状態における瞳充足率を、図3(b)はコンデンサレンズ2を装着した状態における瞳充足率を、図3(c)はコンデンサレンズ2を装着し且つ光源からの光の一部が開口絞り7aで遮られている状態における瞳充足率を示した図である。

【0028】

顕微鏡100は、図3(a)及び図3(b)に示すように、コンデンサレンズ2を装着した状態ではコンデンサレンズ2を取り外した状態よりも高い瞳充足率を有することが望

10

20

30

40

50

ましい。これにより、コンデンサレンズ 2 を装着した状態では可視化されない透明物体を良好に可視化して観察することが可能となる。また、顕微鏡 100 は、図 3 (a) 及び図 3 (c) に示すように、コンデンサレンズ 2 を装着している状態で、さらに、開口絞り 7 a を光路中に配置することで、コンデンサレンズ 2 を外した状態と同じ程度の瞳充足率を有することが望ましい。これにより、コンデンサレンズ 2 を取り外すことなく、透明物体を良好に可視化して観察することができる。

【0029】

顕微鏡 100 は、コンデンサレンズ 2 が装着されている状態で十分な瞳充足率を確保するためには、以下の条件式 (4) を満たすように構成されることが望ましい。但し、 F_b はコレクタレンズ 1 b の最も光源 1 a に近い面である第 1 面からコレクタレンズ 1 b の前側焦点位置までの距離である。d はコレクタレンズ 1 b の第 1 面から光源 1 a の発光面 L P までの距離である。

$$0.9 \leq |d / F_b| \leq 1.1 \quad \dots (4)$$

【0030】

条件式 (4) は、コレクタレンズ 1 b の前側焦点位置と発光面 L P の位置関係を規定した式である。 $|d / F_b| = 1$ のときコレクタレンズ 1 b から標本面 S P に向う光は平行光になる。 $|d / F_b|$ が上限値を超えるか又は下限値を下回ると、発光面 L P から出射した光は、コレクタレンズ 1 b で強く収斂または発散する。その結果、コンデンサレンズ 2 が装着されている状態での照明光学系の開口数が設計値よりも小さくなってしまいうため、対物レンズ 1 1 の瞳充足率も低くなり、条件式 (2) が満たされなくなる。条件式 (4) を満たすことで十分な瞳充足率を確保することが容易になるため、染色された標本等を明視野観察する際に、クリティカル照明によって明るい標本像を得ることができる。なお、光源 1 a が LED 光源であり、ドーム型のレンズによってその LED 光源が取り囲まれている場合であっても、それ以外の場合と同様に、条件式 (4) を満たすことが望ましい。なお、LED 光源がドーム型のレンズによって取り囲まれている場合であっても、距離 d は LED 光源の発光面を基準に算出される。

【0031】

顕微鏡 100 は、十分な照野を確保するためには、以下の条件式 (5) を満たすように構成されることが望ましい。但し、 $f_{c o L}$ はコレクタレンズ 1 b の焦点距離であり、 $f_{c D}$ はコンデンサレンズ 2 の焦点距離である。

$$2.5 \leq |f_{c D} / f_{c o L}| \leq 7 \quad \dots (5)$$

【0032】

条件式 (5) は、光源 1 a を標本面 S P に投影する投影倍率を規定した式である。光源 1 a を 2.5 倍から 7 倍で標本面 S P に投影することで、透明物体を観察するのに十分な照野を確保することができる。

【0033】

顕微鏡 100 は、テレセントリック性を担保しつつ、全長を許容できる範囲内に抑えるためには、以下の条件式 (6) 及び条件式 (7) を満たすように構成されることが望ましい。但し、L は発光面 L P から標本面 S P までの距離である。 $W D_{d e t}$ はコレクタレンズ 1 b の最も標本面 S P に近い面から標本面 S P までの距離であり、 $W D_{a t t}$ はコンデンサレンズ 2 が光路に挿入されている状態における、コンデンサレンズ 2 の最も標本面 S P に近い面から標本面 S P までの距離である。

$$1/8 \leq (f_{c D} + f_{c o L}) / L \leq 2/3 \quad \dots (6)$$

$$1.5 \leq W D_{d e t} / W D_{a t t} \leq 4 \quad \dots (7)$$

【0034】

条件式 (6) は、照明光学系のテレセントリック性について規定した式である。 $(f_{c D} + f_{c o L}) / L = 1/2$ のとき照明光学系は完全なテレセントリック光学系である。条件式 (6) を満たすことで、テレセントリック性の劣化を許容し得る範囲内に抑えることができる。また、 $(f_{c D} + f_{c o L}) / L$ が下限値以上とすることで、全長が長くなりすぎることを防止することもできる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

条件式 (7) は、コレクタレンズ 1 b とコンデンサレンズ 2 の位置関係を規定した式である。条件式 (7) を満たすことで、全長が長くなりすぎることを防止しつつ、コンデンサレンズ 2 を取り外したときにステージ 5 上方に広い空間を確保することができる。

以下、上述した顕微鏡 1 0 0 について実施例を説明する。

【 0 0 3 6 】

[実施例 1]

図 4 は、本実施例に係る照明光学系 2 0 の断面図である。本実施例に係る顕微鏡は、図 4 に示す照明光学系 2 0 を備える点が顕微鏡 1 0 0 とは異なっている。その他の点は、顕微鏡 1 0 0 と同様である。照明光学系 2 0 は、LED 光源 2 1 と、コレクタレンズ 2 2 と、コンデンサレンズ 2 3 を備えている。LED 光源 2 1 は、面発光型の光源であり、例えば (直径) 2mm の発光面 LP を有している。コレクタレンズ 2 2 は、正のパワーを有する単レンズであり、標本側に非球面を有する非球面レンズである。コンデンサレンズ 2 3 は、正のパワーを有する単レンズであり、両凸レンズである。

【 0 0 3 7 】

照明光学系 2 0 の各種データは、以下のとおりである。

$F_b = 12.9951\text{mm}$, $d = 13\text{mm}$,

$f_{CD} = 79.0452\text{mm}$, $f_{COL} = 26.0025\text{mm}$, $L = 262\text{mm}$, $WD_{det} = 227\text{mm}$, $WD_{att} = 72\text{mm}$

【 0 0 3 8 】

照明光学系 2 0 と組み合わせて使用される対物レンズ 1 1 は、理想レンズであり、その焦点距離 f 、開口数 NA 、瞳径 b は以下のとおりである。なお、対物レンズ 1 1 は、焦点距離 180mm の結像レンズと組み合わせて使用される、4 倍対物レンズである。

$f = 45\text{mm}$, $NA = 0.16$, $b = 14.4\text{mm}$

【 0 0 3 9 】

照明光学系 2 0 と対物レンズ 1 1 を組み合わせたときのパラメータは以下のとおりである。なお、 a_{stop} は、コレクタレンズ 2 2 の標本側の面 (面番号 s3) に設けられた開口絞り 7 a の径を 5mm に設定した状態で算出されている。

$a_{det} = 3.5019\text{mm}$, $a_{att} = 14.4\text{mm}$, $a_{stop} = 2.7936\text{mm}$

【 0 0 4 0 】

照明光学系 2 0 のレンズデータは、以下のとおりである。なお、レンズデータ中の INF は無限大 () を示している。

照明光学系 2 0

s	r	d	nd	d
1	INF	13.0000		
2	68.2150	22.0000	1.52287	59.89
3*	-15.1000	140.0000		
4	80.0000	15.0000	1.52287	59.89
5	-80.0000	72.0000		
6	INF			

【 0 0 4 1 】

ここで、s は面番号を、r は曲率半径 (mm) を、d は面間隔 (mm) を、nd は d 線に対する屈折率を、d は d 線に対するアッベ数を示す。なお、面番号 s1 が示す面は、発光面 LP であり、面番号 s6 が示す面は、標本面 SP である。また、面間隔 d1 は、面番号 s1 が示す面から面番号 s2 が示す面までの距離を示している。

【 0 0 4 2 】

コレクタレンズ 2 2 の非球面データは、以下のとおりである。ここで、非球面形状は、下式で示される。但し、Z は、非球面の光軸の方向の座標であり、Y は非球面の光軸と直交する方向の座標であり、K はコーニク定数 (円錐定数) であり、r は非球面の近軸における曲率半径であり、A2, A4, A6, A8, A10 はそれぞれ 2 次、4 次、6 次、8 次、10 次の非球

10

20

30

40

50

面係数である。

【数 1】

$$Z = \frac{Y^2}{r + r\sqrt{1 - (K+1)\left(\frac{Y}{r}\right)^2}} + A_2 Y^2 + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10}$$

第 3 面 s3

$K = -1.0000$, $A_2 = 0$, $A_4 = -1.3000 \times 10^{-5}$, $A_6 = -3.8100 \times 10^{-9}$, $A_8 = 5.0500 \times 10^{-11}$, $A_{10} = 0$

【 0 0 4 3 】

本実施例では、以下で示されるように、条件式 (1) から (7) を満たしている。

10

(1) $a_{det} / b = 0.2431875$

(2) $a_{att} / b = 1$

(3) $a_{stop} / b = 0.194$

(4) $|d / F_b| = 1.000377065$

(5) $|f_{cd} / f_{col}| = 3.039907701$

(6) $(f_{cd} + f_{col}) / L = 0.40094542$

(7) $WD_{det} / WD_{att} = 3.152777778$

【 0 0 4 4 】

図 5 は、LED 光源 2 1 から対物レンズ 1 1 までの光線図であり、図 5 (a) はコンデンサレンズ 2 3 を装着した状態での光線図であり、図 5 (b) はコンデンサレンズ 2 3 を取り外した状態での光線図である。なお、図 5 の実線で示す光線は、標本面 S P 上の光軸上の一点に最大入射角で入射する光線である。即ち、図 5 は、標本面 S P から光源に向かって追跡した光線図である。

20

【 0 0 4 5 】

図 5 (a) に示すように、コンデンサレンズ 2 3 が光路に挿入されている状態では、照明光学系 2 0 は、発光面 L P の一点から出射した光が標本面 S P の一点に集光するクリティカル照明光学系である。この場合、照明光学系の設計値どおりの開口数で標本面 S P を照明することができるため、高い瞳充足率を実現することができる。

【 0 0 4 6 】

一方、図 5 (b) に示すように、コンデンサレンズ 2 3 が光路から取り除かれている状態では、照明光学系 2 0 はクリティカル照明光学系ではないため、標本面 S P の一点から追跡した光線は、発光面 L P の一点に集光しない。このため、標本面 S P における最大入射角は、光源 (LED 光源 2 1) のサイズと位置によって大きく変動する。例えば、光源のサイズが大きいほど最大入射角が大きくなり、瞳充足率も高くなる傾向がある。顕微鏡では、条件式 (1) を満たすように、LED 光源 2 1 のサイズと位置が設計されている。

30

【 0 0 4 7 】

[実施例 2]

本実施例に係る顕微鏡は、対物レンズ 1 1 の代わりに第 2 の対物レンズを備える点が、実施例 1 に係る顕微鏡と異なっている。図 4 に示す照明光学系 2 0 を備える点は、実施例 1 に係る顕微鏡と同様である。

40

【 0 0 4 8 】

照明光学系 2 0 と組み合わせて使用される第 2 の対物レンズは、理想レンズであり、その焦点距離 f 、開口数 NA 、瞳径 b は以下のとおりである。なお、第 2 の対物レンズは、焦点距離 180mm の結像レンズと組み合わせて使用される、40 倍対物レンズである。

$f = 4.5\text{mm}$, $NA = 0.6$, $b = 5.4\text{mm}$

【 0 0 4 9 】

照明光学系 2 0 と第 2 の対物レンズを組み合わせたときのパラメータは以下のとおりである。なお、 a_{stop} は、コレクタレンズ 2 2 の標本側の面 (面番号 s3) に設けられた開口絞り 7 a の径を 5mm に設定した状態で算出されている。

$a_{det} = 0.35019\text{mm}$, $a_{att} = 2.13111\text{mm}$, $a_{stop} = 0.27936\text{mm}$

50

【 0 0 5 0 】

本実施例では、以下で示されるように、条件式 (1) から (7) を満たしている。

$$(1) \ a_{det} / b = 0.06485$$

$$(2) \ a_{att} / b = 0.39465$$

$$(3) \ a_{stop} / b = 0.051733333333333$$

$$(4) \ |d / F_b| = 1.000377065$$

$$(5) \ |f_{CD} / f_{COL}| = 3.039907701$$

$$(6) \ (f_{CD} + f_{COL}) / L = 0.40094542$$

$$(7) \ WD_{det} / WD_{att} = 3.152777778$$

【 0 0 5 1 】

10

[実施例 3]

図 6 は、本実施例に係る照明光学系 3 0 の LED 光源 3 1 から標本面 S P までの光線図であり、図 6 (a) はコンデンサレンズ 3 3 を装着した状態での光線図であり、図 6 (b) はコンデンサレンズ 3 3 を取り外した状態での光線図である。なお、図 6 の実線で示す光線は、標本面 S P 上の光軸上の一点に最大入射角で入射する光線である。即ち、図 6 は、標本面 S P から光源に向かって追跡した光線図である。

【 0 0 5 2 】

本実施例に係る顕微鏡は、図 6 に示す照明光学系 3 0 を備える点が、実施例 1 に係る顕微鏡と異なっている。その他の点は、実施例 1 に係る顕微鏡と同様である。照明光学系 3 0 は、LED 光源 3 1 と、コレクタレンズ 3 2 と、コンデンサレンズ 3 3 を備える。LED 光源 3 1 は、面発光型の光源であり、例えば (直径) 2mm の発光面 L P を有している。コレクタレンズ 3 2 は、正のパワーを有する単レンズであり、標本側に非球面を有する非球面レンズである。コンデンサレンズ 3 3 は、正のパワーを有する単レンズであり、両凸レンズである。

20

【 0 0 5 3 】

なお、照明光学系 2 0 と照明光学系 3 0 を比較すると、照明光学系 3 0 の LED 光源 3 1 とコレクタレンズ 3 2 は、照明光学系 2 0 の LED 光源 2 1 とコレクタレンズ 2 2 と同じものである。ただし、照明光学系 3 0 は、LED 光源 3 1 とコレクタレンズ 3 2 の間の距離が LED 光源 2 1 とコレクタレンズ 2 2 の間の距離よりも長くなるように構成されている。つまり、LED 光源 3 1 がコレクタレンズ 3 2 の前側焦点位置からより離れた位置に配置されている。従って、LED 光源 3 1 から出射した光は、コレクタレンズ 3 2 で照明光学系 2 0 の場合よりも強く収斂する。コンデンサレンズ 3 3 のパワーを弱く設計することで作動距離 (WD) を長くすることができるが、パワーを弱くすると標本面 S P を照明する光の開口数 (NA) が小さくなってしまふ。照明光学系 3 0 では、コンデンサレンズ 3 3 のパワーを適切に設計することで、作動距離と開口数のバランスをとっている。

30

【 0 0 5 4 】

照明光学系 3 0 の各種データは、以下のとおりである。

$$F_b = 12.9951\text{mm}, \ d = 13.8\text{mm},$$

$$f_{CD} = 74.2696\text{mm}, \ f_{COL} = 26.0025\text{mm}, \ L = 260.8\text{mm}, \ WD_{det} = 225\text{mm}, \ WD_{att} = 70\text{mm}$$

40

【 0 0 5 5 】

照明光学系 3 0 と組み合わせて使用される対物レンズ 1 1 は、理想レンズであり、実施例 1 と同様の 4 倍対物レンズである。照明光学系 3 0 と対物レンズ 1 1 を組み合わせたときのパラメータは以下のとおりである。なお、 a_{stop} は、コレクタレンズ 3 2 の標本側の面 (面番号 s3) に設けられた開口絞り 7 a の径を 5mm に設定した状態で算出されている。

$$a_{det} = 6.8877\text{mm}, \ a_{att} = 14.4\text{mm}, \ a_{stop} = 3.0708\text{mm}$$

【 0 0 5 6 】

照明光学系 3 0 のレンズデータは、以下のとおりである。なお、レンズデータ中の INF は無限大 () を示している。なお、コレクタレンズ 3 2 の非球面データは、照明光学系

50

20のコレクタレンズ22の非球面データと同様である。

照明光学系30

s	r	d	nd	d
1	INF	13.8000		
2	68.2150	22.0000	1.52287	59.89
3*	-15.1000	140.0000		
4	75.0000	15.0000	1.52287	59.89
5	-75.0000	70.0000		
6	INF			

【0057】

10

本実施例では、以下で示されるように、条件式(1)から(7)を満たしている。

- (1) $a_{det} / b = 0.4783125$
 (2) $a_{att} / b = 1$
 (3) $a_{stop} / b = 0.21325$
 (4) $|d / F_b| = 1.06193873075236$
 (5) $|f_{CD} / f_{COL}| = 2.856248437650226$
 (6) $(f_{CD} + f_{COL}) / L = 0.384478911042945$
 (7) $WD_{det} / WD_{att} = 3.214285714285714$

【0058】

[実施例4]

20

本実施例に係る顕微鏡は、対物レンズ11の代わりに第2の対物レンズを備える点が、実施例3に係る顕微鏡と異なっている。図6に示す照明光学系30を備える点は、実施例3に係る顕微鏡と同様である。

【0059】

照明光学系30と組み合わせて使用される第2の対物レンズは、理想レンズであり、実施例2と同様の40倍対物レンズである。照明光学系30と第2の対物レンズを組み合わせたときのパラメータは以下のとおりである。なお、 a_{stop} は、コレクタレンズ32の標本側の面(面番号s3)に設けられた開口絞り7aの径を5mmに設定した状態で算出されている。

$$a_{det} = 0.68877\text{mm}, a_{att} = 2.01825\text{mm}, a_{stop} = 0.30708\text{mm}$$

30

【0060】

本実施例では、以下で示されるように、条件式(1)から(7)を満たしている。

- (1) $a_{det} / b = 0.12755$
 (2) $a_{att} / b = 0.37375$
 (3) $a_{stop} / b = 0.056866666666667$
 (4) $|d / F_b| = 1.06193873075236$
 (5) $|f_{CD} / f_{COL}| = 2.856248437650226$
 (6) $(f_{CD} + f_{COL}) / L = 0.384478911042945$
 (7) $WD_{det} / WD_{att} = 3.214285714285714$

【0061】

40

[実施例5]

図7は、本実施例に係る照明光学系40のLED光源41から標本面SPまでの光線図であり、図7(a)はコンデンサレンズ43を装着した状態での光線図であり、図7(b)はコンデンサレンズ43を取り外した状態での光線図である。なお、図7の実線で示す光線は、標本面SP上の光軸上の一点に最大入射角で入射する光線である。即ち、図7は、標本面SPから光源に向かって追跡した光線図である。

【0062】

本実施例に係る顕微鏡は、図7に示す照明光学系40を備える点が、実施例1に係る顕微鏡と異なっている。その他の点は、実施例1に係る顕微鏡と同様である。照明光学系40は、LED光源41と、コレクタレンズ42と、コンデンサレンズ43を備える。LE

50

D光源41は、面発光型の光源であり、例えば（直径）2mmの発光面LPを有している。コレクタレンズ42は、正のパワーを有する単レンズであり、標本側に非球面を有する非球面レンズである。コンデンサレンズ43は、正のパワーを有する単レンズであり、両凸レンズである。

【0063】

なお、照明光学系20と照明光学系40を比較すると、照明光学系40のLED光源41とコレクタレンズ42は、照明光学系20のLED光源21とコレクタレンズ22と同じものである。ただし、照明光学系40は、LED光源41とコレクタレンズ42の間の距離がLED光源21とコレクタレンズ22の間の距離よりも短くなるように構成されている。つまり、LED光源41がコレクタレンズ42の前側焦点位置よりもコレクタレン
10
ズ42に近い位置に配置されている。従って、LED光源41から出射した光は、コレクタレンズ42で照明光学系20の場合よりも小さく屈折し、標本面SPへ向かう光は発散光となる。コンデンサレンズ43をコレクタレンズ42から離すほどコンデンサレンズ43に必要なレンズ径が大きくなるが、コンデンサレンズ43を近づけすぎると、コンデンサレンズ43を取り外した場合の作動距離が十分に確保できない。照明光学系40では、コンデンサレンズ43の大きさと作動距離とのバランスを考慮して、コンデンサレンズ43のパワー及び配置が設計されている。

【0064】

照明光学系40の各種データは、以下のとおりである。

$$F_b = 12.9951\text{mm}, d = 12.1\text{mm},$$

$$f_{CD} = 88.5984\text{mm}, f_{COL} = 26.0025\text{mm}, L = 262.1\text{mm}, WD_{det} = 228\text{mm}, WD_{att} = 98\text{mm}$$

【0065】

照明光学系40と組み合わせて使用される対物レンズ11は、理想レンズであり、実施例1と同様の4倍対物レンズである。照明光学系40と対物レンズ11を組み合わせたときのパラメータは以下のとおりである。なお、 a_{stop} は、コレクタレンズ42の標本側の面（面番号s3）に設けられた開口絞り7aの径を13mmに設定した状態で算出されている。

$$a_{det} = 2.709\text{mm}, a_{att} = 14.4\text{mm}, a_{stop} = 7.1361\text{mm}$$

【0066】

照明光学系40のレンズデータは、以下のとおりである。なお、レンズデータ中のINFは無限大（ ∞ ）を示している。なお、コレクタレンズ42の非球面データは、照明光学系20のコレクタレンズ22の非球面データと同様である。

照明光学系40

s	r	d	nd	d
1	INF	12.1000		
2	68.2150	22.0000	1.52287	59.89
3*	-15.1000	115.0000		
4	90.0000	15.0000	1.52287	59.89
5	-90.0000	98.0000		
6	INF			

【0067】

本実施例では、以下で示されるように、条件式（1）から（7）を満たしている。

$$(1) a_{det} / b = 0.188125$$

$$(2) a_{att} / b = 1$$

$$(3) a_{stop} / b = 0.4955625$$

$$(4) |d / F_b| = 0.9311201915$$

$$(5) |f_{CD} / f_{COL}| = 3.407303143928468$$

$$(6) (f_{CD} + f_{COL}) / L = 0.437241129339947$$

$$(7) WD_{det} / WD_{att} = 2.326530612244898$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 8 】

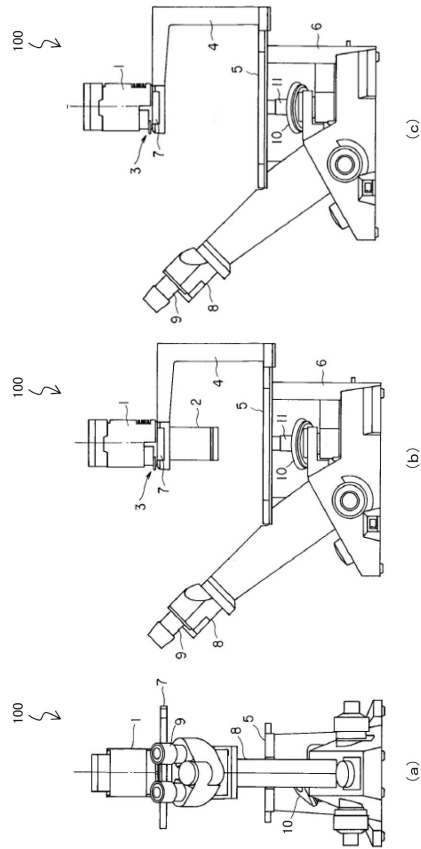
上述した実施例は、発明の理解を容易にするために具体例を示したものであり、本発明は上述した実施例に限定されるものではない。顕微鏡は、特許請求の範囲に記載した本発明の範囲を逸脱することなく、さまざまな変形、変更が可能である。

【 符号の説明 】

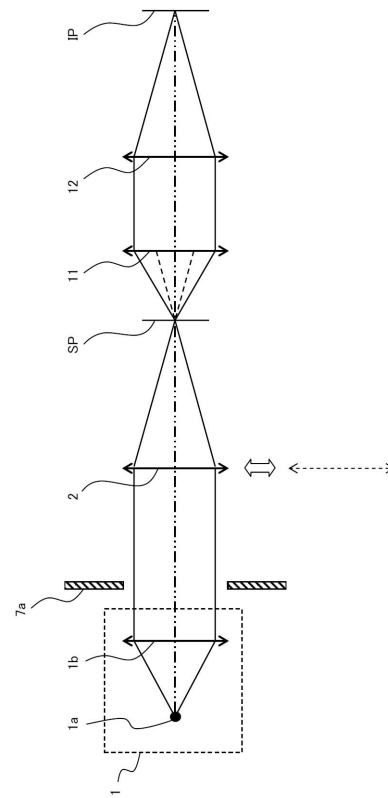
【 0 0 6 9 】

1	光源ユニット	
1 a	光源	
1 b、2 2、3 2、4 2	コレクタレンズ	
2、2 3、3 3、4 3	コンデンサレンズ	10
3	ダイヤル	
4	鏡柱	
5	ステージ	
6	鏡脚	
7	スライダ	
7 a	開口絞り	
8	鏡筒	
9	接眼レンズ	
1 0	レボルバ	
1 1	対物レンズ	20
1 2	結像レンズ	
2 0、3 0、4 0	照明光学系	
2 1、3 1、4 1	L E D 光源	
1 0 0	顕微鏡	
L P	発光面	
S P	標本面	
I P	像面	
P P	瞳面	

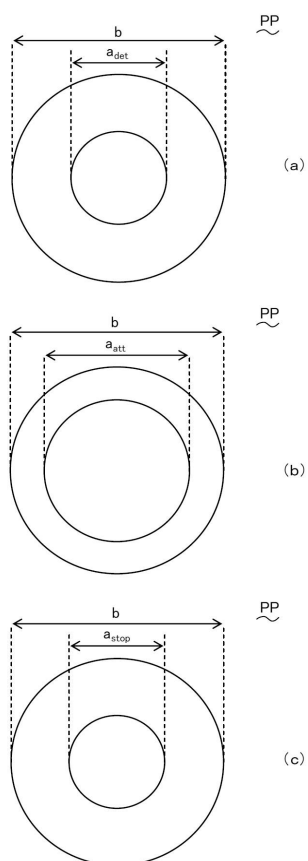
【図 1】



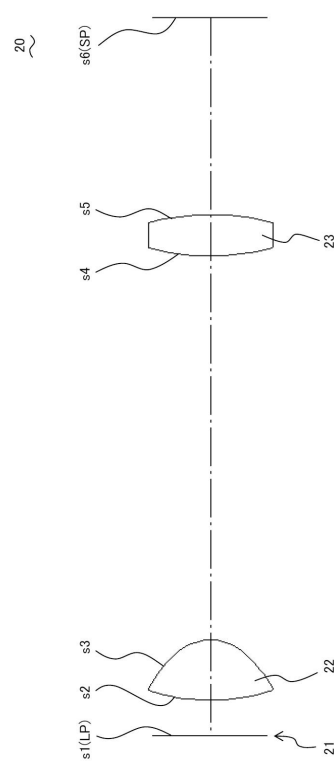
【図 2】



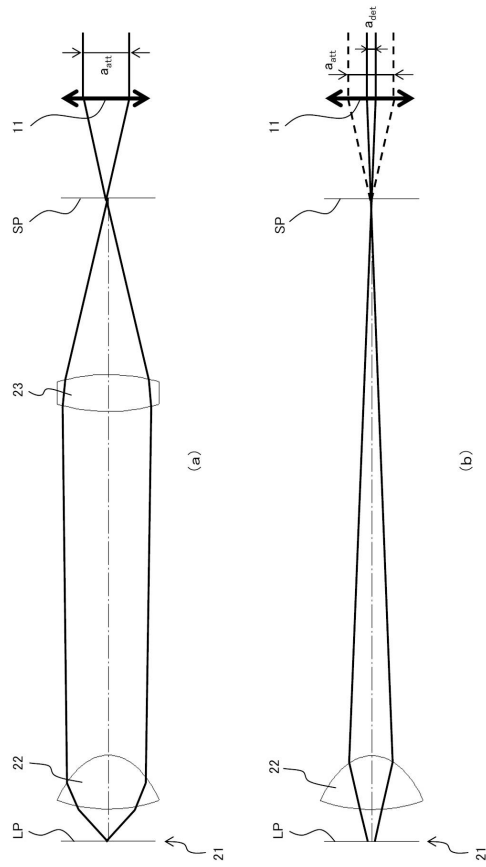
【図 3】



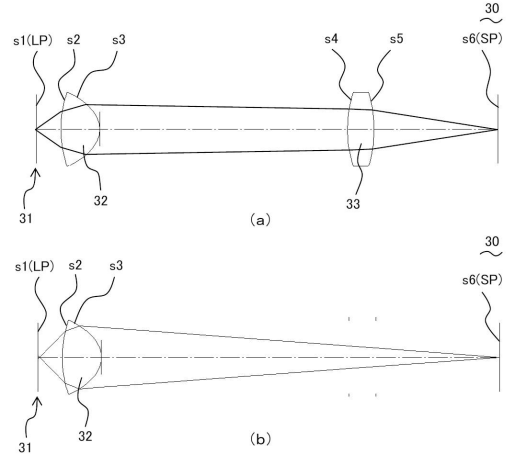
【図 4】



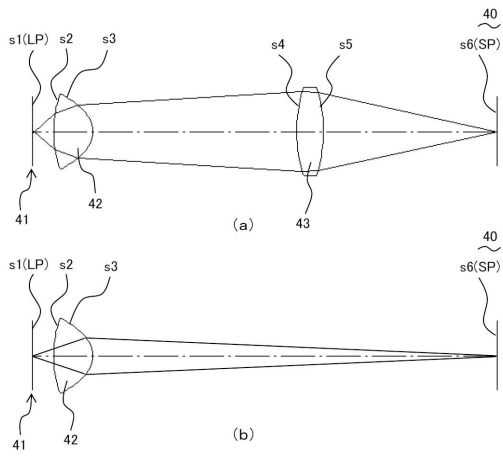
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2014 - 002219 (JP, A)
特開平 11 - 287955 (JP, A)
特開昭 59 - 177508 (JP, A)
特開 2014 - 235407 (JP, A)
特開 2001 - 117009 (JP, A)
国際公開第 2008 / 004679 (WO, A1)
米国特許第 05136429 (US, A)
米国特許出願公開第 2013 / 0335820 (US, A1)
米国特許第 06212005 (US, B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 21 / 06
G02B 13 / 00
G02B 13 / 18