

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6673362号
(P6673362)

(45) 発行日 令和2年3月25日(2020.3.25)

(24) 登録日 令和2年3月9日(2020.3.9)

(51) Int.Cl.

G 0 2 B 21/06 (2006.01)

F 1

G 0 2 B 21/06

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2017-546293 (P2017-546293)	(73) 特許権者	000004112
(86) (22) 出願日	平成27年10月19日(2015.10.19)		株式会社ニコン
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/079455		東京都港区港南二丁目15番3号
(87) 国際公開番号	W02017/068627	(74) 代理人	110000877
(87) 国際公開日	平成29年4月27日(2017.4.27)		龍華国際特許業務法人
審査請求日	平成30年3月9日(2018.3.9)	(72) 発明者	三宅 範夫
			東京都港区港南二丁目15番3号 株式会
			社ニコン内
		(72) 発明者	鈴木 章夫
			東京都港区港南二丁目15番3号 株式会
			社ニコン内
		(72) 発明者	中山 浩明
			東京都港区港南二丁目15番3号 株式会
			社ニコン内

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】

所定の瞳径を有する対物レンズおよび、
 フライアイレンズを有し、光源からの光を、前記フライアイレンズおよび前記対物レン
 ズを介して試料に照射する照明光学系と、

前記対物レンズを有する観察光学系と

を備えた顕微鏡であって、

前記フライアイレンズは、複数のレンズエレメントを有し、

前記照明光学系において、前記複数のレンズエレメントの像は、前記対物レンズの瞳の
 内部および外周上に投影され、

前記対物レンズの瞳の内部に投影される前記レンズエレメントの像は、前記対物レン
 ズの瞳の外周上に投影される前記レンズエレメントの像に囲まれた像であり、

前記対物レンズの瞳の外周上に投影される前記レンズエレメントの像の数 n_2 よりも、
 前記対物レンズの瞳の内部に投影される前記レンズエレメントの像の数 n_1 が多いことを
 特徴とする

顕微鏡。

【請求項2】

第1の瞳径を有する第1の対物レンズと、前記第1の瞳径よりも瞳径が小さい第2の瞳
 径を有する第2の対物レンズとが切り替え可能であり、前記第2の対物レンズにおいて、
 前記数 n_1 が前記数 n_2 よりも多いことを特徴とする

10

20

請求項 1 に記載の顕微鏡。

【請求項 3】

互いに瞳径が異なる複数の対物レンズが切り替え可能であり、

前記複数の対物レンズのうち最も瞳径が小さい対物レンズにおいて、前記数 n_1 が前記数 n_2 よりも多いことを特徴とする

請求項 1 に記載の顕微鏡。

【請求項 4】

光源と前記フライアイレンズとの組が着脱可能であることを特徴とする

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の顕微鏡。

【請求項 5】

前記照明光学系は、光源から放射される光の取り込み角 NA' が、下記の式 1 を満たすことを特徴とする

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の顕微鏡。

【数 1】

$$NA' \geq 0.67$$

【請求項 6】

光源から放射された照明光を前記フライアイレンズに入射させるコレクタレンズを更に備え、

前記光源の発光面が正方形である場合に、前記照明光学系が下記の式 2 を満たすことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の顕微鏡。

【数 2】

$$\frac{\sqrt{3}}{2} a \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right) \leq p \leq \frac{2}{\sqrt[4]{3}} a \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right)$$

ただし、

p は前記複数のレンズエレメントのピッチ、

a は前記発光面の一辺の長さ、

f_{FE} は前記レンズエレメントの焦点距離、

f_{cl} は前記コレクタレンズの焦点距離である。

【請求項 7】

光源から放射された照明光を前記フライアイレンズに入射させるコレクタレンズを更に備え、

前記光源の発光面が円形である場合に、前記照明光学系が下記の式 3 を満たすことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の顕微鏡。

【数 3】

$$\frac{\sqrt{3}}{2} b \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right) \leq p \leq \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt[4]{3}} b \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right)$$

ただし、

p は前記複数のレンズエレメントのピッチ、

b は前記発光面の直径、

f_{FE} は前記レンズエレメントの焦点距離、

f_{cl} は前記コレクタレンズの焦点距離である。

【請求項 8】

前記照明光学系は、

前記対物レンズの瞳に投影される前記複数のレンズエレメントの像の倍率を変化させる変倍光学系を含むことを特徴とする

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

視野を均一に照明するために、フライアイレンズを用いた顕微鏡がある（例えば、特許文献 1 参照）。

特許文献 1 US 2011/0235170 A1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

フライアイレンズを用いた顕微鏡において、より均一な照明を行うことが要望されている。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の一態様においては、対物レンズと、フライアイレンズを有する照明光学系とを備えた顕微鏡であって、前記フライアイレンズは複数のレンズエレメントを有し、照明光学系において、複数のレンズエレメントの像は、対物レンズの瞳に投影され、対物レンズの瞳の外周上に投影されるレンズエレメントの像の数 n_2 よりも、対物レンズの瞳の内部に投影されるレンズエレメントの像の数 n_1 が多い。

【0005】

上記の発明の概要は、本発明の特徴の全てを列挙したものではない。これらの特徴群のサブコンビネーションもまた発明となり得る。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図 1】顕微鏡の模式図である。

【図 2】顕微鏡の光学的な構造を示す模式図である。

【図 3】フライアイレンズを例示する図である。

【図 4】レンズエレメントの像を例示する図である。

【図 5】照明光学系における照度分布を示すグラフである。

【図 6】フライアイレンズの像と瞳径の関係を示す模式図である。

【図 7】他の照明光学系の構造を示す模式図である。

【図 8】変倍光学系によるフライアイレンズの像を説明する図である。

【図 9】レンズエレメントにおいて形成される光源像を示す模式図である。

【図 10】レンズエレメントにおいて形成される光源像を示す模式図である。

【図 11】光源の配向特性を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明する。下記の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

【0008】

図 1 は、顕微鏡 10 の模式図である。顕微鏡 10 は、観察光学系 100、照明光学系 200 および光源 210 を備える。

【0009】

10

20

30

40

50

観察光学系 100 は、試料 180 の像を形成する。観察光学系 100 は、接眼レンズ 110、対物レンズ 160 を有する。

【0010】

対物レンズ 160 は、ステージ 170 に配置された試料 180 の直下に、試料 180 に対して対向して配される。図の例では、互いに異なる倍率および対物瞳径を有する複数の対物レンズ 160 が、レボルバ 162 に取り付けられている。

【0011】

ステージ 170 は、試料 180 を図中下方から照明および観察できる観察孔を有し、ステージ 170 には、観察対象となる試料 180 が配置されている。また、ステージ 170 は、顕微鏡 10 が置かれた環境に対して、水平方向および垂直方向に個別に移動させることができる。

10

【0012】

照明光学系 200 は、光源 210 から発せられた照明光を試料 180 に照射する。フィルタキューブ 270 は、対物レンズ 160 の直下に配される。フィルタキューブ 270 の詳細は後述する。

【0013】

図 2 は、顕微鏡 10 の光学的な構造を示す模式図である。

【0014】

観察光学系 100 は、対物レンズ 160、フィルタキューブ 270、結像レンズ 150、複数のリレーレンズ 132、134、136、および、複数の反射鏡 120、142、144 を含む。

20

【0015】

対物レンズ 160 は、試料 180 の観察面 191 に対面して配される。対物レンズ 160 および結像レンズ 150 により、ステージ 170 上の試料 180 の一次像 192 が形成される。

【0016】

リレーレンズ 132、134、136 は、結像レンズ 150 が形成した一次像 192 をリレーし、二次像 193 を形成する。顕微鏡 10 の使用者は、接眼レンズ 110 によって、二次像 193 を観察する。

【0017】

30

対物レンズ 160 および結像レンズ 150 の間には、フィルタキューブ 270 が配される。フィルタキューブ 270 は、励起フィルタ 272、ダイクロイックミラー 274、および吸収フィルタ 276 を有する。励起フィルタ 272 は、例えば、試料 180 に蛍光を発生させる帯域の光（励起光）を選択的に透過させ、他の帯域の光を遮断する特性を有する。

【0018】

ダイクロイックミラー 274 は、照明光学系 200 から照射された照明光を反射すると共に、試料 180 から発生した観察光、例えば蛍光を透過させる。これにより、照明光学系 200 は、対物レンズ 160 と同じ側から試料 180 を照明または励起できる。吸収フィルタ 276 は、試料 180 が発生した蛍光以外の帯域の光を遮断する特性を有する。

40

【0019】

反射鏡 120、142、144 は、観察光学系 100 の光路を折り曲げる。

【0020】

顕微鏡 10 は、第二観察光学系 202 と、当該第二観察系 202 が形成する観察像を撮像するカメラ 282 を備える。第二観察光学系 202 は、対物レンズ 160、フィルタキューブ 270 および結像レンズ 150 を観察光学系 100 と共有している。また、第二観察光学系 202 は、リレーレンズ 284 およびプリズム 286 を有する。プリズム 286 は、第二観察光学系 202 の光路上に交換可能に配置され、観察光を反射して、リレーレンズ 284 に導く。リレーレンズ 284 は、反射された観察光を、カメラ 282 に導き、像を形成する。カメラ 282 は、CCD、CMOS センサ等のイメージセンサにより、観

50

察像を電気信号に変換して出力する。

【 0 0 2 1 】

照明光学系 2 0 0 は、コレクタレンズ 2 2 0、フライアイレンズ 2 3 0 リレーレンズ 2 4 2、2 4 4、および視野絞り 2 5 0 を有する。また、観察光学系 1 0 0 の対物レンズ 1 6 0 は、照明光学系 2 0 0 におけるコンデンサレンズとしての機能も兼ねる。さらに照明光学系 2 0 0 は、フィルタキューブ 2 7 0 を観察光学系 1 0 0 と共有している。

【 0 0 2 2 】

光源 2 1 0 として、例えば、LED、LD 等の発光素子が用いられる。コレクタレンズ 2 2 0 は、前側焦点が光源 2 1 0 の発光面と一致する位置に配されて、光源 2 1 0 から発せられた照明光を略平行光にする。

10

【 0 0 2 3 】

フライアイレンズ 2 3 0 は、図 3 に示すように、複数のレンズエレメント 2 3 9 を有する。

【 0 0 2 4 】

フライアイレンズ 2 3 0 の入射端面には、光源 2 1 0 から放射されてコレクタレンズ 2 2 0 で略平行光にされた照明光が入射する。また、フライアイレンズ 2 3 0 の射出端面において、レンズエレメント 2 3 9 それぞれに光源 2 1 0 の光源像が形成される。

【 0 0 2 5 】

フライアイレンズ 2 3 0 と対物レンズ 1 6 0 との間に一对のリレーレンズ 2 4 2、2 4 4 が配される。フライアイレンズ 2 3 0 の射出端面は、対物レンズ 1 6 0 の瞳位置（後側焦点位置）と共役な位置（瞳共役位置）または、その近傍に配置される。なお、瞳共役位置の近傍とは、例えば、瞳共役位置から $\pm 15 \text{ mm}$ 内である。

20

【 0 0 2 6 】

フライアイレンズ 2 3 0 の入射端面は、視野絞り 2 5 0 と共役な位置に配置される。図 2 の例において視野絞り 2 5 0 は当該一对のリレーレンズ 2 4 2、2 4 4 の間に配されている。

【 0 0 2 7 】

上述たように、フライアイレンズ 2 3 0 の射出端面は、対物レンズ 1 6 0 の瞳位置（後側焦点位置）と共役な位置（瞳共役位置）または、その近傍に配置されているので、一对のリレーレンズ 2 4 2、2 4 4 により、レンズエレメント 2 3 9 の像が対物レンズ 1 6 0 の瞳に投影され、二次光源が形成される。

30

【 0 0 2 8 】

視野絞り 2 5 0 の位置には複数のレンズエレメント 2 3 9 の入射端面の像が重ね合わされて形成される。この像と共役な像が、試料 1 8 0 を含む観察面 1 9 1 に形成され、試料 1 8 0 を照明する。

【 0 0 2 9 】

照明光源 2 1 0、コレクタレンズ 2 2 0、およびフライアイレンズ 2 3 0 をまとめて交換ユニット 2 0 9 を形成し、顕微鏡 1 0 の用途に合わせてまとめて交換できるようにしてもよい。例えば、発光波長が長い 470 nm の LED を用いる場合、樹脂製のフライアイレンズ 2 3 0 を用いてもよい。この場合、例えば、発光波長が長い 470 nm の LED とコレクタレンズ 2 2 0 および樹脂製のフライアイレンズ 2 3 0 とを組み合わせると交換可能としてもよい。また、発光波長が短い 385 nm 、 455 nm 等の LED を用いる場合、石英製またはシリコン樹脂製のフライアイレンズ 2 3 0 を用いてもよい。この場合、発光波長が短い 385 nm 、 455 nm 等の LED とコレクタレンズ 2 2 0 および石英製またはシリコン樹脂製のフライアイレンズ 2 3 0 とを組み合わせると交換可能としてもよい。

40

【 0 0 3 0 】

図 3 は、フライアイレンズ 2 3 0 の構成を示す図である。フライアイレンズ 2 3 0 は、各々が六角形のレンズエレメント 2 3 9 が、蜂の巣（ハニカム）状に配置された構成を有する。各レンズエレメント 2 3 9 は、一例として、入射側の曲率半径と射出側の曲率半径とが等しく、入射側から平行光束が入射すると射出端面に集光する。

50

【 0 0 3 1 】

図 4 (a) から (e) は、対物レンズ 1 6 0 の瞳面に投影されたフライアイレンズの像 2 3 1、2 3 2、2 3 3、2 3 4、2 3 5 をそれぞれ示す図である。図 4 (a) から (e) では、瞳 2 5 1 の大きさが同一であるが、瞳 2 5 1 に投影されているレンズエレメント 2 3 9 の像 2 3 7 の大きさがそれぞれ異なっている。

【 0 0 3 2 】

ここで、図 4 (a) から (e) では、瞳 2 5 1 の外周上にレンズエレメントの像 2 3 7 が投影されているが、本発明者は、瞳 2 5 1 の外周上に投影されたレンズエレメントの像 2 3 7 が、照明光の不均一性に影響を与えていることを見出した。例えば、図 4 (a) では、図中の方向 X 1 と方向 X 2 とでは、瞳 2 5 1 の外周上に投影されるレンズエレメントの像 2 3 7 のうち、瞳 2 5 1 を通過する割合、すなわち、照明光として寄与する割合が異なるため、照明光の二次元的な不均一性、に影響を与えている。図 4 (b) の図中の方向 Y 1 と方向 Y 2 とにおいても、同様である。

10

【 0 0 3 3 】

そこで、瞳 2 5 1 の外周に投影されるレンズエレメント 2 3 9 が照明光の二次元的な不均一性に与える影響を検討した。具体的には、図 4 (a) から (e) それぞれにおいて、観察面 1 9 1 における照度分布をシミュレーションした。当該シミュレーションでは一次元方向の照度分布を計算した。

【 0 0 3 4 】

まず、図 4 (a) に示すように、瞳 2 5 1 に投影されたフライアイレンズの像 2 3 1 におけるレンズエレメントの像 2 3 7 の数をみると、下記の通りとなる。フライアイレンズの像 2 3 1 において、瞳 2 5 1 の外周に投影されるレンズエレメントの像 2 3 7 の数 n_2 は 6 個である。言い換えると、 n_2 は、瞳 2 5 1 の外周を横切るようなレンズエレメントの像 2 3 7 の数である。一方、瞳 2 5 1 の内部に投影されるレンズエレメントの像 2 3 7 の数 n_1 は 1 個である。言い換えると、 n_1 は、瞳 2 5 1 の外周と交差する 6 個のレンズエレメントの像 2 3 7 で囲まれたレンズエレメントの像 2 3 7 の数である。

20

【 0 0 3 5 】

図 4 (b) に示すフライアイレンズの像 2 3 2 では、 n_2 が 1 2 個であり n_1 は 7 個になる。これら n_1 と n_2 との関係を、図 4 に示していない例も含めて表 1 に示す。

【表 1】

エレメント数			
番号 n	内側領域 n_1	周縁領域 n_2	内外比 n_1 / n_2
1	1	6	0.1667
2	7	12	0.5833
3	19	18	1.0566
4	37	24	1.5417
5	61	30	2.0333
6	91	36	2.5278
7	127	42	3.0238
8	169	48	3.5208
9	217	54	4.0185
10	271	60	4.5167

【0036】

図5は、図4(a)から(e)それぞれにおける、観察面191での照度分布のシミュレーション結果を示すグラフである。

【0037】

図5に示すように、図4(a)から(e)それぞれにおいて、瞳251の外周上に投影されるレンズエレメント239の数 n_2 よりも、瞳251の内部に投影されるレンズエレメント239の数 n_1 の方が多い場合(すなわち、 $n_1 > n_2$ の場合)は、観察面191の一次元方向における照度の変化が1%未満となることが判った。つまり、観察面191の一次元方向における照度の変化が1%未満となり、ほぼ均一であるとなすことができるので、二次元方向における照度分布の不均一性に対する影響も小さくなる。つまり、 $n_1 > n_2$ とすることにより、観察面191の一次元方向における照度分布はほぼ均一となるので、瞳251の外周上に投影されるレンズエレメントの像237による二次元方向における照度分布の不均一性に対する影響を低減することができる、したがって、観察面191の二次元方向の不均一性も小さくなる。

【0038】

図6は、顕微鏡10における瞳径の変化に対するレンズエレメント239の像236の対応を説明する図である。顕微鏡10は、レボルバ162に取り付けられた複数の対物レンズ160を備え、観察に用いる対物レンズ160を簡単に切り替えることができる。

【0039】

使用する対物レンズ160を変更した場合、瞳径が変化する場合がある。例えば、対物レンズ160を、10倍から40倍に変更すると、瞳径が小さくなる場合がある。つまり、使用する対物レンズ160を変更すると、図6に示すように瞳254から瞳256に変化する場合がある。そこで、顕微鏡10においては、対物レンズ160が切り替えられて瞳径が小さくなった場合にも、上記の条件、即ち、 $n_1 > n_2$ となるように、照明光学系200を構成することにより、対物レンズ160を切り替えても、観察面191における照明光照度の均一性が低下しない顕微鏡10を形成できる。

【0040】

図 6 の例では、瞳径が小さい瞳 2 5 6 においても、 $n_1 > n_2$ となるように、照明光学系 2 0 0 を構成すればよい。

【 0 0 4 1 】

すなわち、第 1 の瞳径を有する第 1 の対物レンズと、前記第 1 の瞳径よりも瞳径が小さい第 2 の瞳径を有する第 2 の対物レンズとが切り替え可能であり、第 2 の対物レンズにおいて、数 n_1 が数 n_2 よりも多くなるように照明光学系 2 0 0 を構成することが好ましい。特に、互いに瞳径が異なり、切り替え可能な対物レンズが 3 つ以上ある場合に、複数の対物レンズのうち最も瞳径が小さい対物レンズにおいて、数 n_1 が数 n_2 よりも多くなるように照明光学系 2 0 0 を構成することが好ましい。これにより、顕微鏡 1 0 においては、瞳径が小さい対物レンズ 1 6 0 を選択した場合であっても、視野全体が均一に照明される。

10

【 0 0 4 2 】

図 7 は、他の照明光学系 2 0 1 の構造を示す模式図である。照明光学系 2 0 1 は、次に説明する部分を除くと、図 2 に示した照明光学系 2 0 0 と同じ構造を有し、共通の要素には同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

【 0 0 4 3 】

照明光学系 2 0 1 は、一方のリレーレンズ 2 4 2 に換えて、複数のレンズにより形成された変倍光学系 2 4 6 を備える点において、照明光学系 2 0 0 と異なる。変倍光学系 2 4 6 の倍率を変化させた場合、瞳面に投影されるフライアイレンズ 2 3 0 の像の大きさが変化する。

20

【 0 0 4 4 】

図 8 は、変倍光学系 2 4 6 によるフライアイレンズ 2 3 0 の像を説明する図である。変倍光学系 2 4 6 のある倍率において例えば図 8 (A) に示すように、フライアイレンズの像 2 9 0 において瞳 2 5 1 の外周上に投影されるレンズエレメントの像 2 3 7 の数 n_2 が 1 2 個であるのに対して、瞳 2 5 1 の内部に投影されるレンズエレメントの像 2 3 7 の数 n_1 が 7 個となっているとする。

【 0 0 4 5 】

照明光学系 2 0 1 においては、変倍光学系 2 4 6 により、瞳 2 5 1 に投影されるフライアイレンズ 2 3 0 の像の大きさを変化させることができる。そこで、図 8 (B) に示す通り、変倍光学系 2 4 6 の倍率を小さくしてフライアイレンズ 2 3 0 の像 2 9 1 の大きさを、フライアイレンズ 2 3 0 の像 2 9 0 の大きさよりも縮小することにより、 n_1 を 1 9 個かつ n_2 を 1 8 個とすることができる。このように、変倍光学系 2 4 6 を用いることでフライアイレンズ 2 3 0 自体を変更することなく、 $n_1 > n_2$ の条件を満足させることができる。

30

【 0 0 4 6 】

図 9 は、照明光学系 2 0 0 における、フライアイレンズ 2 3 0 の射出面に投影された光源 2 1 0 の像を示す図である。図示の例では、光源 2 1 0 として、正方形の発光面を有する LED を用いる場合が示されている。図 9 に示すように、光源 2 1 0 の一辺の長さを a とする。また、レンズエレメント 2 3 9 の向かい合う平行な辺の間隔は、エレメントピッチ p に等しい。

40

【 0 0 4 7 】

光源 2 1 0 が、フライアイレンズ 2 3 0 の射出面に投影される倍率は、コレクタレンズ 2 2 0 の焦点距離 f_{c1} と、レンズエレメント 2 3 9 の焦点距離 f_{FE} とを用いて、 (f_{FE} / f_{c1}) と表せる。よって、フライアイレンズ 2 3 0 の射出面に投影される光源 2 1 0 の像の一辺の長さは、 $(f_{FE} / f_{c1}) a$ となり、LED がレンズエレメント 2 3 9 の各々の射出面に投影される面積は、 $(f_{FE} / f_{c1})^2 a^2$ と表せる。

【 0 0 4 8 】

レンズエレメント 2 3 9 の射出面の面積は、 $((3^{1/2} \cdot p^2) / 2)$ である。ここで、光源 2 1 0 の像 2 1 4 に示すように、レンズエレメント 2 3 9 の射出面の内部に、光源 2 1 0 の像が投影されている場合、レンズエレメント 2 3 9 における光源 2 1 0 の像の

50

充填率は、レンズエレメント 2 3 9 の面積に対する光源 2 1 0 の像の面積の割合と定義できる。

【 0 0 4 9 】

上記定義において、充填率が 5 0 % 以上となることが好ましい。充填率が 5 0 % より小さいと、瞳 2 5 2 における光源 2 1 0 の像の面積が小さくなり、実質的 N A が低下するからである。そのための照明光学系 2 0 0 の条件は、光源 2 1 0 の一辺の長さ a を用いて下記の通りに表わされる。

【 数 1 】

$$p \leq \frac{2}{\sqrt[4]{3}} a \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right)$$

10

【 0 0 5 0 】

光源 2 1 0 の像 2 1 2 のように、光源 2 1 0 の像が、レンズエレメント 2 3 9 の射出面より大きい場合には、光源 2 1 0 の像の一辺の長さは、レンズエレメント 2 3 9 の最大長さ（図 9 においては向かい合う頂点間の距離）よりも小さいことが好ましい。レンズエレメント 2 3 9 における光源 2 1 0 の像の一辺の長さが、レンズエレメント 2 3 9 の最大長さよりも大きいと、光量の損失およびフレアの原因となるからである。したがって、レンズエレメント 2 3 9 のピッチ p は、光源 2 1 0 の一辺長さ a を用いて下記の通りに表わされる。

20

【 数 2 】

$$\frac{\sqrt{3}}{2} a \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right) \leq p$$

【 0 0 5 1 】

上記 2 式をまとめると、下記条件となる。

【 数 3 】

$$\frac{\sqrt{3}}{2} a \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right) \leq p \leq \frac{2}{\sqrt[4]{3}} a \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right)$$

30

【 0 0 5 2 】

図 1 0 は、照明光学系 2 0 0 における、フライアイレンズ 2 3 0 の射出面に投影された光源 2 1 9 の像を示す図である。図示の例では、光源 2 1 0 に替えて直径 b の光源 2 1 9（光ファイバ 2 1 9）を用いる場合が示されている。

【 0 0 5 3 】

上記図 9 の場合と同様の考察により、レンズエレメント 2 3 9 の射出面に投影された光ファイバ 2 1 9 の像の直径は $(f_{FE} / f_{cl}) b$ と表され、面積は $\pi (f_{FE} / f_{cl})^2 (b / 2)^2$ と表される。光ファイバ 2 1 9 を用いた場合においても、上記図 9 と同様に光ファイバ 2 1 9 の像が、レンズエレメント 2 3 9 の射出面の内部に投影されている場合（図 1 0 の像 2 1 8）、充填率は 5 0 % 以上となることが好ましい。また、光ファイバ 2 1 9 の像が、レンズエレメント 2 3 9 の射出面より大きい場合には（図 1 0 の像 2 1 6）、光ファイバ 2 1 9 の像の直径は、レンズエレメント 2 3 9 の最大長さ（図 9 においては向かい合う頂点間の距離）よりも小さいことが好ましい。したがって、レンズエレメント 2 3 9 のピッチ p は、光ファイバ 2 1 9 の直径 b を用いて下記の通りに表わされる。

40

【数 4】

$$\frac{\sqrt{3}}{2} b \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right) \leq p \leq \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt[4]{3}} b \left(\frac{f_{FE}}{f_{cl}} \right)$$

【 0 0 5 4 】

以下、光源 2 1 0 から放射される光の取り込み角 NA' について説明する。光源 2 1 0 の射出角が θ であるときの光強度は、 $r \cos \theta$ となる。その場合に、図 1 1 に示す極座標で示される空間における微小体積 ΔV は下記数式 5 のように表せる。

10

【数 5】

$$\Delta V = r \cos \theta \sin \theta \cdot r \cos \theta d\theta \cdot \cos \theta dr$$

これを積分した数式 6 が光源 2 1 0 の発光面の 1 点から射出角 θ の範囲の取り込み光量となる。

【数 6】

$$\begin{aligned} \int \Delta V &= \int_0^{2\pi} \int_0^r \int_0^\theta r^2 (\cos \theta)^3 \sin \theta d\theta dr d\varphi \\ &= \frac{2\pi}{3} r^3 \left(\frac{1 - (\cos \theta)^4}{4} \right) \end{aligned}$$

20

【 0 0 5 5 】

ここで、発光面の 1 点からの取り込み光量は、光量の損失を考慮するとおおよそ 70 % 以上確保することが好ましい。70 % 以上の取り込み光量を確保できる射出角を θ_1 とおくと、取り込み光量が 100 % のときの射出角が 90° であることを考慮して、下記の通りとなる。

30

【数 7】

$$\frac{2\pi}{3} r^3 \left(\frac{1 - (\cos \theta_1)^4}{4} \right) / \frac{2\pi}{3} r^3 \left(\frac{1 - (\cos 90^\circ)^4}{4} \right) \geq 0.7$$

これを $\cos \theta_1$ について解いて、 $\sin \theta_1$ で表すと、数式 8 の関係を得る。

【数 8】

$$\sin \theta_1 \geq 0.6725 \dots$$

40

【 0 0 5 6 】

取り込み角 NA' は $n \cdot \sin \theta_1$ であって、照明光学系 2 0 0 において $n = 1$ であるから、小数点 3 桁を四捨五入すると、下記数式 9 を得る。

【数 9】

$$NA' \geq 0.67$$

以上により、下記数式 9 を満たすように光学的な各パラメータを設定することにより、光源 2 1 0 からの光量をより多く取り込むことができる。

【 0 0 5 7 】

50

上記の例では、照明光学系 200 における光源 210 として LED を用いたが、フライアイレンズ 230 を用いた照明光学系 200 が、ハロゲンランプ等の他の光源 210 にも対応できることはもちろんである。また、光源 210 としては、外部から供給された照明光を導入する光ファイバ等の導波路の射出端も使用できる。

【0058】

なお、上記の例では、照明光学系 200 を落射照明に使用した。しかしながら、上記のようなフライアイレンズ 230 を用いた照明光学系 200 は、顕微鏡 10 における透過照明観察における試料 180 の照明にも使用できる。また、上記の照明光学系 200 は、明視野観察用の照明光を照射してもよいし、蛍光観察における励起光を照射してもよい。

【0059】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

【0060】

請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

【符号の説明】

【0061】

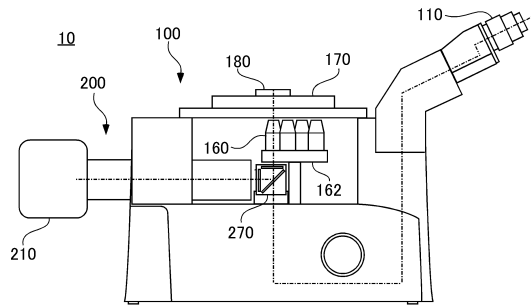
10 顕微鏡、100 観察光学系、110 接眼レンズ、120、142、144 反射鏡、132、134、136、242、244、284 リレーレンズ、150 結像レンズ、160 対物レンズ、162 レボルバ、170 ステージ、180 試料、191 観察面、192 一次像、193 二次像、200、201 照明光学系、202 第二観察光学系、209 交換ユニット、210 光源、212 像、214 像、216 像、218 像、236 像、219 光ファイバ、220 コレクタレンズ、230 フライアイレンズ、231、232、233、234、235 像、237 像、239 レンズエレメント、246 変倍光学系、250 視野絞り、251 瞳、252 瞳、254 瞳、256 瞳、270 フィルタキューブ、272 励起フィルタ、274 ダイクロイックミラー、276 吸収フィルタ、282 カメラ、284 リレーレンズ、286 プリズム

10

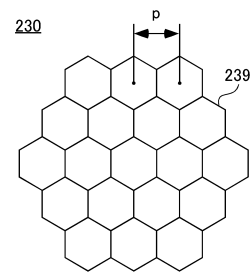
20

30

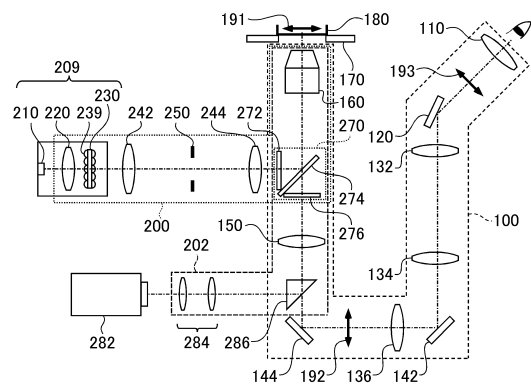
【図 1】



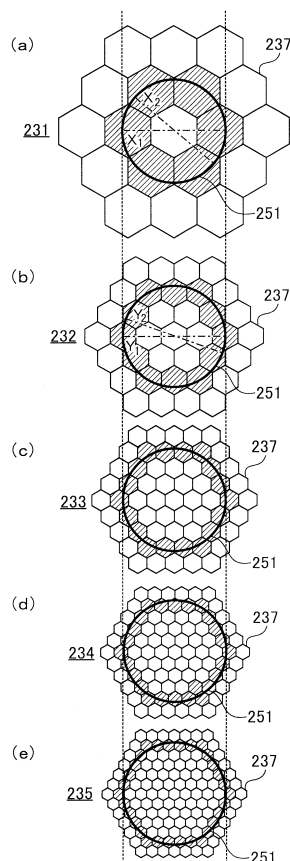
【図 3】



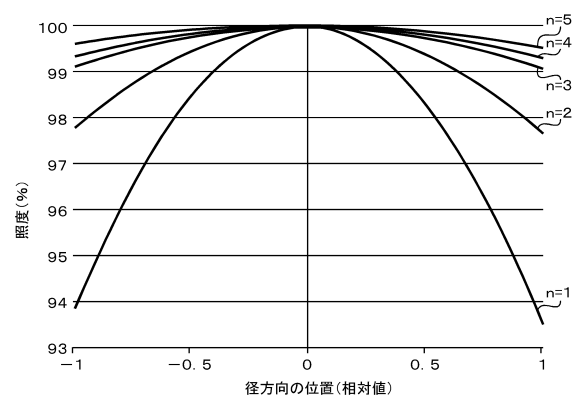
【図 2】



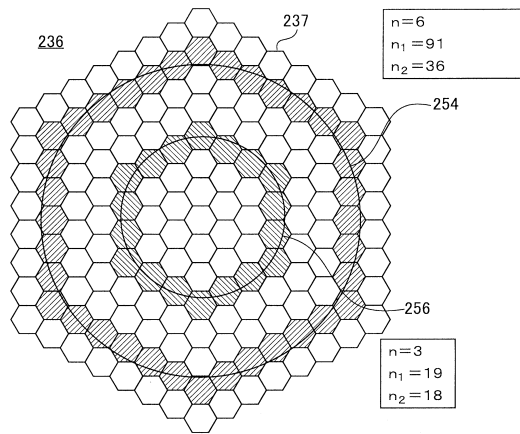
【図 4】



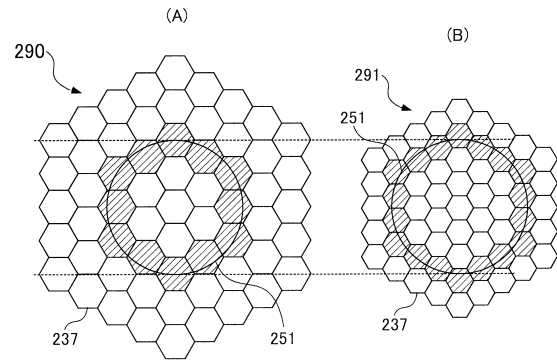
【図 5】



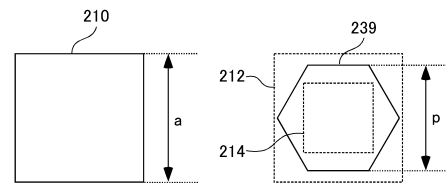
【図 6】



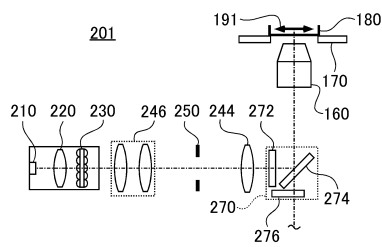
【図 8】



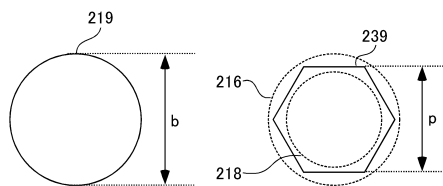
【図 9】



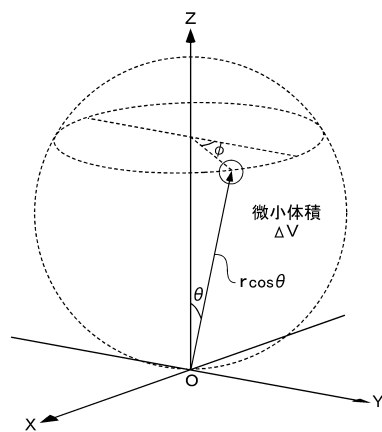
【図 7】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

審査官 殿岡 雅仁

(56)参考文献 特開 2 0 0 9 - 2 7 6 5 4 4 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 1 1 8 1 3 9 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 3 4 1 9 1 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 4 5 7 8 0 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 0 6 9 6 9 1 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 5 7 0 1 5 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 2 0 9 4 2 8 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 8 8 3 1 4 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 2 B 2 1 / 0 0 - 2 1 / 3 6