

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6531403号
(P6531403)

(45) 発行日 令和1年6月19日(2019.6.19)

(24) 登録日 令和1年5月31日(2019.5.31)

(51) Int.Cl.
G O 2 B 21/06 (2006.01)

F I
G O 2 B 21/06

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-13769 (P2015-13769)	(73) 特許権者	000004112
(22) 出願日	平成27年1月27日 (2015.1.27)		株式会社ニコン
(65) 公開番号	特開2016-139007 (P2016-139007A)		東京都港区港南二丁目15番3号
(43) 公開日	平成28年8月4日 (2016.8.4)	(74) 代理人	100107836
審査請求日	平成29年12月5日 (2017.12.5)		弁理士 西 和哉
		(74) 代理人	100134692
			弁理士 川村 武
		(72) 発明者	鈴木 俊也
			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	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
		審査官	小倉 宏之
			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】

照明光が通過可能な開口部を有する絞り部材と、
前記開口部の一部を覆う第1の偏光板と、
前記照明光の光路に配置され、前記第1の偏光板と相対的に回転可能な第2の偏光板と、
前記第1の偏光板および前記第2の偏光板を通った前記照明光を試料に照射するコンデンサレンズと、
前記試料の観察側に配置される対物レンズと、を備え、
前記開口部は、前記コンデンサレンズの光軸を含む面を挟む一对の領域のうち一方の領域のみに、前記コンデンサレンズの光軸から離れた位置に配置され、
前記コンデンサレンズの光軸から前記開口部のエッジまでの最短距離を h_1 とし、前記光軸から前記開口部における前記第1の偏光板のエッジまでの最短距離を h_2 とし、前記コンデンサレンズの光軸から前記開口部のエッジまでの最長距離を h_4 とし、前記コンデンサレンズの焦点距離を f とし、前記対物レンズの開口数を NA_1 としたときに、
 $h_1 < f \times NA_1 \leq h_2 < h_4$ を満たし、
前記開口部の一部を覆うNDフィルタを備え、
前記光軸から前記開口部における前記NDフィルタのエッジまでの最短距離を h_6 としたときに、 $h_1 < h_6 \leq h_2$ を満たし、
前記NDフィルタに対する前記照明光の透過率を T としたときに、 $0.22 \leq (h_6 -$

10

20

$h_1) / (h_2 - h_1) \leq 0.75$ 、かつ $30\% \leq T \leq 70\%$ を満たす、ことを特徴とする顕微鏡。

【請求項 2】

前記第 1 の偏光板と前記第 2 の偏光板とが相対的に回転することにより、前記対物レンズの開口角以下の角度で前記試料に入射する光の量を調整する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の顕微鏡。

【請求項 3】

前記第 1 の偏光板と前記第 2 の偏光板とは、それぞれの透過軸が互いに平行となる回転位置から、それぞれの透過軸が互いに垂直となる回転位置まで、相対的に回転可能である、ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の顕微鏡。

10

【請求項 4】

前記第 2 の偏光板は、前記第 1 の偏光板に対する前記照明光の入射側に配置されている、ことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の顕微鏡。

【請求項 5】

前記第 1 の偏光板は、前記絞り部材とユニット化されている、ことを特徴とする請求項 4 に記載の顕微鏡。

【請求項 6】

前記第 1 の偏光板および前記絞り部材の一部は、前記コンデンサレンズの前側焦点面に配置される、ことを特徴とする請求項 5 に記載の顕微鏡。

20

【請求項 7】

前記第 1 の偏光板の回転位置が固定されており、前記第 2 の偏光板は、前記第 1 の偏光板に対して回転可能である、ことを特徴とする請求項 5 または 6 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】

顕微鏡の分野において、位相差観察、暗視野観察、偏斜照明観察などの観察方法を切り替え可能な顕微鏡が提案されている（例えば、下記の特許文献 1 参照）。特許文献 1 の顕微鏡は、形状が異なる複数の開口が形成された絞り部材を備える。この顕微鏡は、絞り部材をスライドさせることによって、光路に配置される開口を選択可能であり、位相差観察と偏斜照明観察とを切り替え可能である。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】 米国特許第 4 4 0 7 5 6 9 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

40

ところで、絞り部材をスライドさせる場合、絞り部材の位置決めのための構成や手間を要することがある。本発明は、試料に照射される照明光の強度分布の角度依存性を簡易に切り替え可能な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】

【0005】

本発明の態様に従えば、照明光が通過可能な開口部を有する絞り部材と、開口部の一部を覆う第 1 の偏光板と、照明光の光路に配置され、第 1 の偏光板と相対的に回転可能な第 2 の偏光板と、第 1 の偏光板および第 2 の偏光板を通った照明光を試料に照射するコンデンサレンズと、試料の観察側に配置される対物レンズと、を備え、開口部は、コンデンサレンズの光軸を含む面を挟む一対の領域のうち一方の領域のみに、コンデンサレンズの光

50

軸から離れた位置に配置され、コンデンサレンズの光軸から開口部のエッジまでの最短距離を h_1 とし、光軸から開口部における第1の偏光板のエッジまでの最短距離を h_2 とし、コンデンサレンズの光軸から開口部のエッジまでの最長距離を h_4 とし、コンデンサレンズの焦点距離を f とし、対物レンズの開口数を NA_1 としたときに、 $h_1 < f \times NA_1 \leq h_2 < h_4$ を満たし、開口部の一部を覆うNDフィルタを備え、光軸から開口部におけるNDフィルタのエッジまでの最短距離を h_6 としたときに、 $h_1 < h_6 \leq h_2$ を満たし、NDフィルタに対する照明光の透過率を T としたときに、 $0.22 \leq (h_6 - h_1) / (h_2 - h_1) \leq 0.75$ 、かつ $30\% \leq T \leq 70\%$ を満たす、ことを特徴とする顕微鏡が提供される。

【発明の効果】

10

【0006】

本発明によれば、試料に照射される照明光の強度分布の角度依存性を簡易に切り替え可能な顕微鏡を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】実施形態に係る顕微鏡を示す図である。

【図2】第1実施形態に係る絞り部を示す図である。

【図3】第1実施形態に係る顕微鏡の光路を示す図である。

【図4】変形例に係る絞り部を示す図である。

【図5】第2実施形態に係る絞り部を示す図である。

20

【図6】第2実施形態に係る顕微鏡の光路を示す図である。

【図7】減光領域のパラメータを変化させた際の結像性能の評価を示す表である。

【図8】透過率を変化させた数値シミュレーションを説明するための図である。

【図9】変形例に係る絞り部を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

[第1実施形態]

第1実施形態について説明する。図1は、本実施形態に係る顕微鏡MSを示す図である。顕微鏡MSは、例えば、試料Sを拡大観察する正立型の顕微鏡である。顕微鏡MSは、例えば、試料Sで透過散乱した光により観察を行う透過型の顕微鏡であるが、試料Sで反

30

射散乱した光により観察を行う反射型の顕微鏡であってもよい。

【0009】

顕微鏡MSは、例えば、光源部10、基台11、直立ベース12、アーム13、照明レンズユニット14、試料ステージ15、ステージ駆動部16、レボルバ17、複数の対物レンズ18、観察鏡筒19、および接眼レンズ鏡筒20を備える。光源部10から接眼レンズ鏡筒20の内部に至る光路に配置される光学系は、例えば、球面レンズや非球面レンズなどの回転対称な形状のレンズ部材を含む。以下、顕微鏡MSの光学系において、レンズ部材の回転対称軸を連結した軸を光軸AXと称す。光軸AXは、カットレンズなどのように回転対称な形状の一部を用いたレンズ部材においても、その元になる回転対称な形状の回転対称軸に応じて定められる。

40

【0010】

基台11は、例えば、机やテーブルなどに載置可能であり、その下面が平坦に形成される。直立ベース12は、例えば、基台11を基端として鉛直方向に延びる部材である。アーム13は、例えば、直立ベース12を基端として水平方向に延びる部材である。以下、アーム13の先端側を顕微鏡MSの前面側と称し、その反対側を後面側と称す。

【0011】

光源部10は、例えば、基台11の後面側に配置され、基台11の後面に接続される。照明レンズユニット14は、直立ベース12の前面側に固定されている。ステージ駆動部16は、照明レンズユニット14の上方に配置され、直立ベース12の前面側に固定されている。ステージ駆動部16は、試料Sを載置する試料ステージ15を保持する。ステー

50

ジ駆動部 16 は、試料ステージ 15 を光軸 A X と平行な方向に上下させること、試料ステージ 15 を光軸 A X と垂直な方向に移動させること、試料ステージ 15 を光軸 A X の回りで回転させることなどができる。

【0012】

レボルバ 17 は、試料ステージ 15 の上方に配置され、アーム 13 の先端下部に取り付けられている。レボルバ 17 は、例えば、倍率が異なる複数の対物レンズ 18（例、対物レンズ 18 a および対物レンズ 18 b）を保持する。顕微鏡 M S は、レボルバ 17 の回転により、複数の対物レンズ 18 のうち光路（光軸 A X の周囲）に配置される対物レンズ（例、対物レンズ 18 a）を切り替え可能である。

【0013】

観察鏡筒 19 は、レボルバ 17 の上方に配置され、アーム 13 の先端上部に取り付けられている。観察鏡筒 19 は、アーム 13 を基端として上方に延びており、その先端側が基端側に対して折れ曲がって傾斜している。接眼レンズ鏡筒 20 は、観察鏡筒 19 の先端側に接続されている。

【0014】

以下、顕微鏡 M S の光学系の各部について、光源部 10 から接眼レンズ鏡筒 20 に向かう順に説明する。光源部 10 は、照明光を射出する。光源部 10 は、その筐体内に收容される光源 21 を備える。光源 21 は、LED などの固体光源であってもよいし、ランプ光源であってもよい。なお、顕微鏡 M S は、光源部 10 の少なくとも一部を備えていなくてもよい。例えば、光源部 10 は、観察の際に外付けされる態様であってもよい。

【0015】

顕微鏡 M S は、光源部 10 の光出射側に、基台 11 に收容されたコレクタレンズ 22 およびミラー 23 を備える。コレクタレンズ 22 は、例えば、その光軸が光軸 A X と同軸に設定され、光源部 10 からの照明光束を平行にする。ミラー 23 は、例えば、その反射面が光軸 A X と 45° の角度で配置される。コレクタレンズ 22 からの照明光は、ミラー 23 で反射し、上方に向かって進行する。

【0016】

照明レンズユニット 14 は、複数の絞り部 24（例、絞り部 24 a および絞り部 24 b）、ターレット 25、およびコンデンサレンズ 26 を備える。複数の絞り部 24 は、それぞれ、複数の対物レンズ 18 のいずれかと 1 対 1 の対応で設けられる。例えば、絞り部 24 a は対物レンズ 18 a と対応し、絞り部 24 b は対物レンズ 18 b と対応する。ターレット 25 は、複数の絞り部 24 を保持し、所定軸 25 a の周りで回転可能である。所定軸 25 a は、例えば、光軸 A X と平行、かつ光軸 A X と直交する方向において光軸 A X からずれた位置に設定される。顕微鏡 M S は、ターレット 25 の回転によって、複数の絞り部 24 のうち光路（光軸 A X の周囲）に配置される絞り部（例、絞り部 24 a）を切り替え可能である。なお、以下の説明において、複数の絞り部 24 のうち照明光 L の光路に配置されている 1 つの絞り部を、適宜、符号 24 を付して表す。

【0017】

コンデンサレンズ 26 は、絞り部 24（例、絞り部 24 a）を通った照明光を集光し、試料 S に照射する。コンデンサレンズ 26 の光軸は、光軸 A X と同軸である。以下、照明光の照射により試料 S から放射される光を観察光という。透過型の顕微鏡である場合に、観察光は試料 S で透過散乱した光を含み、反射型の顕微鏡である場合に、観察光は試料 S で反射散乱した光を含む。

【0018】

試料 S は、例えば、コンデンサレンズ 26 の後側焦点を含み光軸 A X に直交する面に配置される。複数の絞り部 24 は、それぞれ、例えばコンデンサレンズ 26 の前側焦点を含み光軸 A X に直交する面に配置される。

【0019】

複数の対物レンズ 18 は、それぞれ、その前側焦点面がコンデンサレンズ 26 の後側焦点面と一致するように配置される。以下の説明において、複数の対物レンズ 18 のうち、

10

20

30

40

50

照明光の光路に配置されている１つの対物レンズを、適宜、第１対物レンズ１８と称す。

【００２０】

顕微鏡ＭＳは、第１対物レンズ（例、対物レンズ１８ａ）の光出射側に、観察鏡筒１９に保持された第２対物レンズ２７およびプリズム２８、並びに接眼レンズ鏡筒２０に保持された接眼レンズ２９を備える。第１対物レンズ１８および第２対物レンズ２７は、試料Ｓの像を形成する。プリズム２８は、第２対物レンズ２７からの観察光を、接眼レンズ２９へ導く。接眼レンズ２９は、例えば、第１対物レンズ１８および第２対物レンズ２７が形成した像をリレーする。

【００２１】

なお、顕微鏡ＭＳが備える対物レンズの数は、１つでもよいし、２以上の任意の数でもよい。対物レンズの数が１つの場合、絞り部２４の数は１つでもよい。また、プリズム２８は、観察光の少なくとも一部を、試料Ｓの像を撮像する撮像素子へ導いてもよい。また、プリズム２８は、観察光を分岐して、観察光の一部を撮像素子へ導くとともに、観察光の他の一部を接眼レンズ２９に導いてもよい。顕微鏡ＭＳは、上述の撮像素子を備えていてもよいし、備えていなくてもよい。例えば、撮像素子は、観察の際に顕微鏡ＭＳに外付けされてもよい。

【００２２】

本実施形態において、顕微鏡ＭＳは、偏斜照明観察用のモード（以下、偏斜モードという）と、暗視野観察用のモード（以下、暗視野モードという）とを有し、これらのモードを切り替え可能である。顕微鏡ＭＳは、絞り部２４を通る照明光の強度分布を可変であり、これにより、試料Ｓに向かう照明光の角度分布を変化させることができる。

【００２３】

図２（Ａ）は絞り部２４を示す斜視図であり、図２（Ｂ）は絞り部２４を示す平面図である。なお、以下の説明において、光軸ＡＸと平行な方向をＺ方向とし、Ｚ方向に直交する１方向をＸ方向とし、Ｘ方向およびＺ方向に直交する方向をＹ方向とする。図２（Ａ）に示すように、絞り部２４は、第１の偏光板３１、第２の偏光板３２、及び絞り部材３３を備える。

【００２４】

絞り部材３３は、照明光Ｌが通過可能な開口部３４を有する。絞り部材３３は、開口部３４の周囲が照明光Ｌを遮光する遮光部になっている。絞り部材３３は、例えば、円盤状の部材であり、光軸ＡＸと垂直に配置される。開口部３４は、コンデンサレンズ２６の光軸（光軸ＡＸ）を含む面Ｐｘｚを挟む一対の領域（領域Ａ４および領域Ａ５）のうち一方の領域Ａ４（＋Ｙ方向の領域）のみに配置されている。開口部３４は、コンデンサレンズの光軸（光軸ＡＸ）から離れた位置に配置されており、絞り部材３３は、光軸ＡＸ上の照明光Ｌを遮光する。開口部３４は、例えば、そのエッジの形状が矩形状である。

【００２５】

第１の偏光板３１は、光軸ＡＸの方向から平面的に見た場合に、開口部３４の一部を覆うように配置されている。第１の偏光板３１は、開口部３４の内側の領域の一部と重なるように配置されている。開口部３４の内側の領域（図２（Ｂ）参照）は、第１の偏光板３１を経由する照明光Ｌが通る調光領域Ａ１と、第１の偏光板３１を経由しない照明光Ｌが通る通過領域Ａ２とを含む。

【００２６】

第１の偏光板３１は、開口部３４のうち相対的に光軸ＡＸから近い部分を覆うとともに、開口部３４のうち相対的に光軸ＡＸから遠い部分を覆わないように、配置されている。すなわち、調光領域Ａ１は、通過領域Ａ２と比べて、光軸ＡＸの近くに配置される。第１の偏光板３１は、例えば、平面形状が矩形の角を丸めた形状の板状の部材であり、その１辺が開口部３４のエッジの１辺と平行になるように配置される。

【００２７】

第１の偏光板３１は、絞り部材３３に固定され、絞り部材３３とユニット化されている

10

20

30

40

50

。第1の偏光板31は、絞り部材33のうち照明光Lの入射側の面に設けられている。第1の偏光板31および絞り部材33を含むユニットの一部は、例えば、コンデンサレンズ26の前側焦点面またはその近傍に配置される。例えば、コンデンサレンズ26の前側焦点面に、第1の偏光板31の一部が配置されていてもよいし、絞り部材33の一部が配置されていてもよい。

【0028】

第1の偏光板31および絞り部材33は、例えば、照明光の光路に配置されている状態（例、観察中）において、光軸AXの周りで回転しないように保持される。なお、第1の偏光板31は、照明光Lの光路に配置されている状態において、光軸AXの周りで回転可能であってもよい。例えば、第1の偏光板31は、絞り部材33とともに回転可能であつてもよい。第1の偏光板31の透過軸31aの方向は、任意に設定されるが、ここではY方向に平行であるとする。偏光板は、所定方向の直線偏光が通る光学部材であり、以下、所定方向に平行な軸を透過軸という。

10

【0029】

第2の偏光板32は、照明光Lの光路に配置されている。第2の偏光板32は、例えば、第1の偏光板31に対する照明光Lの入射側に配置される。第2の偏光板32は、例えば円盤状の部材であり、光軸AXと直交するように配置される。第2の偏光板32は、第1の偏光板31と相対的に回転可能である。ここでは、第1の偏光板31の回転位置が固定されており、第2の偏光板32は、第1の偏光板31に対して光軸AXの周りで回転可能である。第1の偏光板31および第2の偏光板32は、互いにオープンニコルの関係を満たす回転位置とクロスニコルの関係を満たす回転位置とに配置可能である。図2（A）に示すように、第2の偏光板32は、例えば、その透過軸32aが第1の偏光板31の透過軸31aに平行となる回転位置から、その透過軸32aが第1の偏光板31の透過軸31aに垂直となる回転位置まで、回転可能である。

20

【0030】

顕微鏡MSは、第1の偏光板31と第2の偏光板32とが相対的に回転することにより試料Sに入射する照明光Lの量を調整する。偏斜モードにおいて、第1の偏光板31および第2の偏光板32は、透過軸31aと透過軸32aとが非垂直（例、平行）となる回転位置に配置される。例えば、偏斜モードにおいて、透過軸31aと透過軸32aとの角度は、 0° 以上 90° 未満に設定される。また、暗視野モードにおいて、第1の偏光板31および第2の偏光板32は、透過軸31aと透過軸32aとの角度が偏斜モードに比べて 90° に近くなる回転位置に、もしくは透過軸31aと透過軸32aの角度が 90° になる回転位置に配置される。そのため、暗視野モードでは、第1の偏光板31を通る照明光Lの光量が偏斜モードに比べて少なくなり、絞り部24を通る照明光Lのうち試料Sに対する入射角が相対的に小さい成分の光量が減少する。

30

【0031】

また、第1の偏光板31は、絞り部材33と別の部材に取り付けられ、この部材に支持されていてもよい。この場合に、第1の偏光板31は、光軸AXの周りで回転可能であってもよいし、光軸AXの周りで回転しないように固定されていてもよい。また、第1の偏光板31が回転可能である場合、第2の偏光板32は、第1の偏光板31との回転位置の関係が変化するように、回転可能であってもよいし、回転しないように固定されていてもよい。

40

【0032】

ここで、光軸AXに関する放射方向（絞り部材33上で光軸AXを中心とする円の径方向）において、光軸AXに近づく側を内側と称し、光軸AXから離れる側を外側と称す。図2（B）に示すように、光軸AXから開口部34の内側のエッジまでの最短距離をh1とし、光軸AXから開口部34における第1の偏光板31の外側のエッジまでの最短距離をh2とし、光軸AXから開口部34の外側のエッジまでの最長距離をh4とする。最短距離h1および最短距離h2は、コンデンサレンズ26の焦点距離をfとし、複数の対物レンズ18から選択される1つの対物レンズの開口数をNA1としたときに、下記の式（

50

1) を満たすように設定される。

$$h_1 < f \times NA_1 \leq h_2 < h_4 \quad \cdots (1)$$

【0033】

図2 (B) において、開口部34の形状は矩形状であり、最短距離 h_1 は、開口部34の4辺のうち光軸AXに最も近い辺から、光軸AXまでの距離である。また、最長距離 h_4 は、開口部34の4つの頂点のうち光軸AXから最も遠い頂点から、光軸AXまでの距離である。なお、図2 (B) において、符号 h_5 は、最短距離 h_1 に対応する辺の対辺から光軸AXの距離であり、距離 h_5 は、 $h_2 < h_5 < h_4$ の関係を満たす。

【0034】

なお、図1に示したように、対になる絞り部と対物レンズとが複数組設けられる場合、絞り部は、対になる対物レンズとの間で、上記の式(1)を満たす。例えば、絞り部24aにおける h_1 、 h_2 、及び h_4 は、対物レンズ18aの開口数に対して、上記の式(1)を満たすように設定される。また、絞り部24bの h_1 、 h_2 、及び h_4 は、対物レンズ18bの開口数に対して、上記の式(1)を満たすように設定される。

【0035】

図3 (A) は偏斜モードにおける光路を示す図であり、図3 (B) は暗視野モードにおける光路を示す図である。なお、図3 (A) および図3 (B) において、絞り部24よりも光源部10側の光学系および対物レンズ18よりも像面Vp側の光学系については図示を省略した。

【0036】

なお、偏斜モードとは、第1の偏光板31の透過軸と第2の偏光板32の透過軸とが互いに垂直とならない場合を称し、暗視野モードとは、第1の偏光板31の透過軸と第2の偏光板32の透過軸とが互いに垂直または垂直に近い場合を称す。図3 (A) に示すように、偏斜モードにおいて絞り部24に入射した照明光Lは、その一部が絞り部材33の開口部34のうち通過領域A2を通り、他の一部が調光領域A1を通る。なお、図3 (A) では、 $f \times NA_1 = h_2$ である場合を例として示している。

ここで、照明光Lのうちその直接光が対物レンズ18入射する光を低NA成分L1と称し、照明光Lのうちその直接光が対物レンズ18に入射しない光を高NA成分L2と称す。図3 (A)、(B) に示す例では、 $f \times NA_1 = h_2$ 場合を示しているため、照明光Lのうち調光領域A1を通る光が低NA成分L1となり、照明光Lのうち通過領域A2を通る光は高NA成分L2となる。低NA成分L1および高NA成分L2は、それぞれ、コンデンサレンズ26を介して試料Sに照射される。

【0037】

偏斜モードでは、上述したように、第1の偏光板31の透過軸と第2の偏光板32の透過軸とは互いに垂直とならない回転位置にあるため、図3 (A) に示すように、低NA成分L1および高NA成分が試料Sに入射する。暗視野モードでは、上述したように、第1の偏光板31の透過軸と第2の偏光板32の透過軸とは互いに垂直または垂直に近い回転位置にあるため、図3 (B) に示すように、低NA成分L1が試料に入射しないように構成されている。ユーザは、第1の偏光板31または第2の偏光板32を回転して、第1の偏光板31の透過軸と第2の偏光板32の透過軸との相対位置関係を調整することにより、低NA成分L1の光量を調整することが可能となる。つまり、ユーザは、偏斜モードと、暗視野モードとを切り替えることもできるし、偏斜モードにおける低NA成分L1の光量も調整することができる。したがって、ユーザは、低NA成分L1の光量を微調整しながら試料Sを観察することができる。

【0038】

上述のような本実施形態に係る顕微鏡MSは、式(1)の条件を満たす絞り部24において、第1の偏光板31と第2の偏光板32の相対的な回転位置を変化させるので、試料Sに照射される照明光Lの強度分布の角度依存性を簡易に変化させることができる。第1の偏光板31と第2の偏光板32を相対的に回転させる場合、例えば、絞り部材33を光軸AXの交差方向にスライドさせなくとも、低NA成分L1の光量を調整することができ

10

20

30

40

50

る。そのため、例えば、絞り部材 3 3 をスライドさせる際の開口部 3 4 の位置決めなどを省くことができ、低 N A 成分 L 1 の光量を簡易に調整することができる。

【0039】

また、第 1 の偏光板 3 1 に対する照明光 L の入射側に第 2 の偏光板 3 2 が配置されている場合、第 1 の偏光板 3 1 により低 N A 成分 L 1 の光量を調整することができる。ここで、第 1 の偏光板 3 1 は絞り部材 3 3 の開口部 3 4 の近傍に配置されていると、試料 S に入射する際の照明光 L の強度分布の角度依存性を精度よく調整することができる。

【0040】

次に、絞り部 2 4 の変形例について説明する。図 4 (A) ~ (D) はそれぞれ、変形例に係る絞り部 2 4 を示す図である。

10

【0041】

図 4 (A) に示す第 1 変形例の絞り部 2 4 は、絞り部材 3 3 の開口部 3 4 の平面形状が扇状（輪帯の一部）である。開口部 3 4 のエッジは、例えば、光軸 A X を中心とし径が異なる 2 つの円の一部（円弧 3 5 a および円弧 3 5 b）と、光軸 A X に対する放射方向（径方向）に延びて円弧 3 5 a および円弧 3 5 b を結ぶ直線 3 6 とを含む。また、第 1 変形例において、第 1 の偏光板 3 1 は、開口部 3 4 を覆う部分の平面形状が扇状である。第 1 の偏光板 3 1 は、例えば、光軸 A X を中心とする円盤状であるが、光軸 A X の方向から見た状態で開口部 3 4 の外側に配置される部分の形状については任意に変更してもよい。

【0042】

なお、絞り部 2 4 は、開口部 3 4 の平面形状が扇状であって、第 1 の偏光板 3 1 のうち開口部 3 4 を覆う部分の平面形状が矩形あるいはその他の形状であってもよい。また、絞り部 2 4 は、開口部 3 4 の平面形状が矩形状（スリット状）であって、第 1 の偏光板 3 1 のうち開口部 3 4 を覆う部分の平面形状が扇状あるいはその他の形状であってもよい。

20

【0043】

図 4 (B) に示す第 2 変形例の絞り部 2 4 において、第 1 の偏光板 3 1 は、絞り部材 3 3 の開口部 3 4 の内側に配置されている。なお、第 1 の偏光板 3 1 の厚みは、絞り部材 3 3 の厚みと同じであってもよいし、絞り部材 3 3 の厚み未満であってもよく、絞り部材 3 3 の厚みを超えていてもよい。第 1 の絞り部材 3 3 は、その全体が開口部 3 4 の内側に配置されていてもよいし、その一部が開口部 3 4 の外側に配置されていてもよい。

【0044】

30

図 4 (C) に示す第 3 変形例の絞り部 2 4 において、第 1 の偏光板 3 1 は、絞り部材 3 3 に対して第 2 の偏光板 3 2 と反対側に配置されている。また、図 4 (D) に示す第 4 変形例において、第 2 の偏光板 3 2 は、絞り部材 3 3 に対して、照明光 L の出射側に配置されている。この場合、低 N A 成分 L 1 は、第 2 の偏光板 3 2 によって遮られる。

【0045】

[第 2 実施形態]

第 2 実施形態について説明する。本実施形態において、上述の実施形態と同様の構成については、同じ符号を付してその説明を省略あるいは簡略化する。図 5 (A) は、第 2 実施形態に係る絞り部 2 4 を示す斜視図であり、図 5 (B) は絞り部 2 4 を示す平面図である。

40

【0046】

絞り部 2 4 は、開口部 3 4 の一部を覆う減光フィルタ（N D フィルタ 4 1）を備える。N D フィルタ 4 1 は、第 1 の偏光板 3 1 の上面に取り付けられ、第 1 の偏光板 3 1 を介して絞り部材 3 3 とユニット化されている。N D フィルタ 4 1 は、例えば、平面形状が矩形状の板状の部材であり、その一辺が開口部 3 4 のエッジの一辺と平行となるように配置される。

【0047】

図 5 (B) に示すように、N D フィルタ 4 1 は、光軸 A X の方向から見た場合に、例えば、調光領域 A 1 の少なくとも一部を覆うとともに、通過領域 A 2 を覆わないように配置される。例えば、N D フィルタ 4 1 のうち開口部 3 4 における外側のエッジと光軸 A X と

50

の最短距離を h_6 としたときに、最短距離 h_6 は、 $h_1 < h_6 \leq h_2$ を満たすように設定される。図5（B）のようにNDフィルタ41の平面形状が矩形状である場合、光軸AXからNDフィルタ41までの最長距離 h_3 は、NDフィルタ41の4つの頂点のうち光軸AXから最も遠い頂点から、光軸AXまでの距離である。最短距離 h_6 は、最長距離 h_3 に対応する辺の対辺から光軸AXの距離であり、最短距離 h_6 は、 $h_6 < h_3$ の関係を満たす。以下、調光領域A1のうちNDフィルタ41と重なる領域を減光領域A3という。減光領域A3は、調光領域A1のうち相対的に光軸AXに近い位置に設定される。

【0048】

図6は、偏斜モードにおける光路を示す図である。なお、図6において、絞り部24よりも光源部10側の光学系および対物レンズ18よりも像面Vp側の光学系については図示を省略した。また、暗視野モードについては、NDフィルタ41を通った照明光Lが第1の偏光板31によって遮光されるため、図3（B）に示した暗視野モードと同様である。

10

【0049】

偏斜モードにおいて、絞り部24に入射した照明光Lのうち低NA成分L1および高NA成分L2は、それぞれ、コンデンサレンズ26を介して試料Sに照射される。ここで、低NA成分L1が減光領域A3を通る際に光量が減少しているため、試料Sにおいて構造の背景の明るさが増すことを抑制することができる。

【0050】

ところで、試料Sに入射する際の照明光Lが高NA側に偏ると、例えば、試料Sの構造などによってムラが生じやすくなることがある。このようなムラを減らすには、例えば、絞り部24から出射する照明光Lにおいて低NA側の成分を増加させるとよい。低NA側の成分を増加させるには、例えば、光軸AXから開口部34のエッジまでの最短距離 h_1 を減少させればよい。一方、低NA側の成分が増加すると、試料Sにおける構造の背景が明るくなり、構造の像のコントラストが低下することがある。

20

【0051】

そこで、本実施形態においては、絞り部24を通る照明光Lのうち低NA側の成分の一部をNDフィルタ41によって除くことにした。例えば、NDフィルタ41を用いない場合と比較して最短距離 h_1 を減少させ、低NA側の成分の光量をNDフィルタ41により減らすことにより、試料Sに入射する際の照明光Lを低NA側に広げつつ、低NA成分L1の光量の増加を抑えることができる。これにより、試料Sにおける構造の像のコントラストを確保しつつ、像のムラを減らすことができる。

30

【0052】

本願発明者は、研究開発を行った結果、減光領域A3の設定に応じて結像性能が変化することを見出した。本願発明者は、 $\alpha = (h_6 - h_1) / (h_2 - h_1)$ によりパラメータ α を定義した場合、 α が小さくなるほどシェーディング影響が大きくなる傾向があり、 α が大きくなるほど試料Sのエッジが強調された像が得られる傾向があることを見出した。本願発明者は、 h_1 、 h_6 を変化させつつ、結像性能を評価した。なお、ここでいうシェーディングとは、視野の照明の明るさが不均一になる現象であり、特に本実施形態では、一次元に变化する現象である。

40

【0053】

図7は、 h_1 、 h_6 を変化させた際の α の値および結像性能の評価結果を示す表である。この評価において、 h_2 は $0.65 \times f$ [mm]の固定値とし、 h_1 、 h_6 を $0.05 \times f$ [mm]の刻みで変化させた。図7において、 h_1 および h_6 の単位はmmである。各セルにおいて、上段は α の値であり、下段は結像性能の評価結果を○または×で表したものである。図7に示すように、 α が0.22以上である場合、シェーディングの影響が所定のレベル以下に抑えられ、結像結果が良好（○）であった。また、 α が0.75以下の場合、試料Sのエッジの強調が過剰になることが抑えられ、結像結果が良好（○）であった。このような観点で、 h_1 、 h_6 は、 $0.22 \leq (h_6 - h_1) / (h_2 - h_1) \leq 0.75$ を満たすように、設定されているとよい。

50

【0054】

また、本願発明者は、NDフィルタ41の透過率 T [%] に応じて結像性能が変化することも見出した。本願発明者は、透過率 T を変化させて数値シミュレーションを行い、結像性能を評価した。

【0055】

図8 (A) ~ (C) は、計算条件を示す説明図である。図8 (A) に示すように、開口部34の形状は扇形、開口部34における第1の偏光板31の形状、および開口部34におけるNDフィルタ41の形状は、光軸AXを中心とする同心円の一部（扇形）である。開口部34のうち光軸AXに近い側の円弧の半径を h_1 とし、第1の偏光板31のうち光軸AXから遠い側の円弧の半径を h_2 とし、NDフィルタ41のうち光軸AXから遠い側の円弧の半径を h_6 とした。図8 (A) に示す h_1 、 h_2 、 h_6 はそれぞれ、図2~図6に記載した h_1 、 h_2 、 h_6 に対応する。また、扇形の開き角 θ は 60° とした。

10

【0056】

図8 (B) に示すように、数値シミュレーション用の試料 S_x は、1次元の周期パターンとした。試料 S_x は、方向 D_s に単位構造が周期的に並んでおり、方向 D_s における試料 S_x のエッジの間隔を p で表す。 p は約 $2\mu\text{m}$ の振幅物体であり、照明光の波長は 550nm である。試料 S の透過率は、図8 (C) に示すように、方向 D_s における位置が0（符号 S_0 で表す）において 100 [%] である。位置 S_0 は、図8 (B) に示した試料 S_x において、エッジ間の中心位置である。図8 (C) において、透過率が 100% である範囲の端の位置を符号 S_2 で表し、位置 S_0 と位置 S_2 との中間位置を符号 S_1 で表した。

20

【0057】

図8 (D) は、透過率 T を小さくした場合の像強度分布を示す図であり、図8 (E) は、透過率 T を大きくした場合の像強度分布を示す図である。図8 (D) および (E) において、符号 I_0 、 I_1 、 I_2 は、それぞれ、図8 (C) に示した位置 S_0 、 S_1 、 S_2 に対応する光強度（任意単位、a. u.）である。

【0058】

図8 (D) に示すように、 T が減少するにつれて光強度 I_0 が減少し、2つのピークがあるように見えてしまう。図8 (E) に示すように、 T が増加するにつれて光強度 I_0 が増加し、3つのピークが見えてしまう。本願発明者は、上記現象を新たに見出し、 T の適切な範囲を見出した。すなわち、透過率 T [%] は、 $30\% \leq T \leq 70\%$ の範囲に設定されているとよい。

30

【0059】

次に、変形例について説明する。図9 (A) ~ (D) はそれぞれ、変形例に係る絞り部24を示す図である。

【0060】

図9 (A) に示す第5変形例の絞り部24において、NDフィルタ41は、開口部34を覆う部分の平面形状が扇状である。NDフィルタ41は、例えば、光軸AXを中心とする円盤状であるが、光軸AXの方向から見た状態で開口部34の外側に配置される部分の形状については任意に変更してもよい。

40

【0061】

なお、絞り部24は、開口部34の平面形状が扇状であって、NDフィルタ41のうち開口部34を覆う部分の平面形状が矩形あるいはその他の形状であってもよい。また、絞り部24は、開口部34の平面形状が矩形状（スリット状）であって、NDフィルタ41のうち開口部34を覆う部分の平面形状が扇状あるいはその他の形状であってもよい。

【0062】

図9 (B) に示す第6変形例の絞り部24において、第1の偏光板31は、絞り部材33の開口部34の内側に配置されており、NDフィルタ41は、第1の偏光板31上と絞り部材33上とにわたって、絞り部材33に対する照明光 L の入射側に設けられている。

50

【0063】

なお、NDフィルタ41の厚みは、絞り部材33の厚みと同じであってもよいし、絞り部材33の厚み未満であってもよく、絞り部材33の厚みを超えていてもよい。NDフィルタ41は、第1の偏光板31と接していてもよいし、第1の偏光板31と接していなくてもよい。NDフィルタ41は、その全体が開口部34の内側に配置されていてもよいし、その一部が開口部34の外側に配置されていてもよい。

【0064】

図9(C)に示す第7変形例の絞り部24において、NDフィルタ41は、絞り部材33の開口部34の内側に配置されており、第1の偏光板31は、NDフィルタ41上と絞り部材33上とにわたって設けられている。第1の偏光板31は、NDフィルタ41に対する照明光Lの入射側に設けられている。

10

【0065】

図9(D)に示す第8変形例の絞り部24において、第1の偏光板31は、絞り部材33における照明光Lの入射側に面に配置されており、NDフィルタ41は、絞り部材33における照明光Lの出射側の面に配置されている。

【0066】

図9(E)に示す第9変形例の絞り部24において、NDフィルタ41は、絞り部材33における照明光Lの入射側に面に配置されており、第1の偏光板31は、絞り部材33における照明光Lの出射側の面に配置されている。

【0067】

20

上述の変形例のように、NDフィルタ41は、第1の偏光板31に対する照明光Lの入射側に配置されていてもよいし、第1の偏光板31からの照明光Lの出射側に配置されていてもよい。また、NDフィルタ41は、絞り部材33とユニット化されていなくてもよく、絞り部材33および第1の偏光板31と別の部材に支持されていてもよい。また、絞り部24がNDフィルタ41を備える場合に、例えば図3(D)に示したように、第2の偏光板32は、第1の偏光板31からの照明光Lの出射側に配置されていてもよい。

【0068】

なお、本発明の技術範囲は、上述の実施形態などで説明した態様に限定されるものではない。上述の実施形態などで説明した要件の1つ以上は、省略されることがある。また、上述の実施形態などで説明した要件は、適宜組み合わせることができる。また、法令で許容される限りにおいて、上述の実施形態などで引用した全ての文献の開示を援用して本文の記載の一部とする。

30

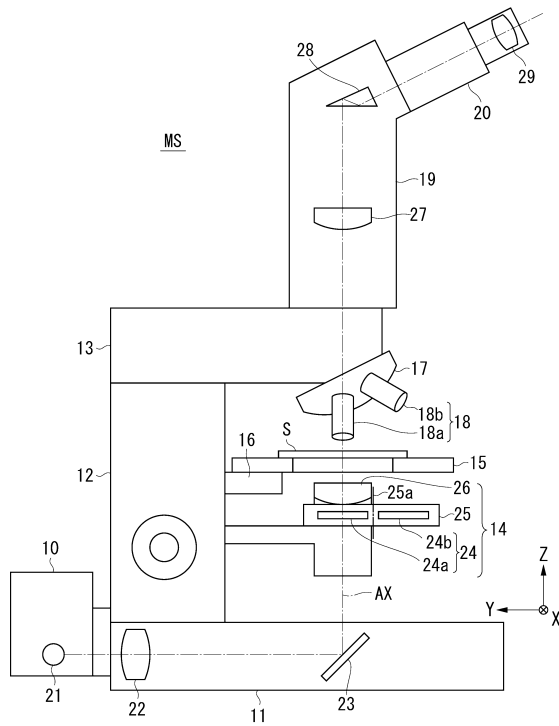
【符号の説明】

【0069】

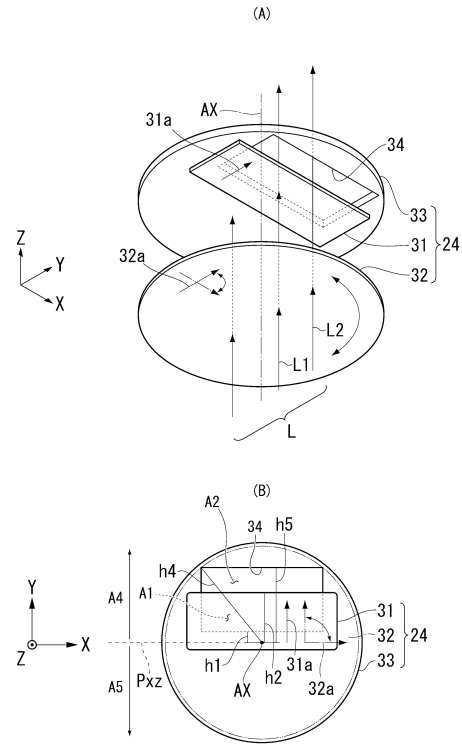
18・・・対物レンズ、24・・・絞り部、26・・・コンデンサレンズ、
31・・・第1の偏光板、31a・・・吸収軸、32・・・第2の偏光板、
32a・・・吸収軸、33・・・絞り部材、34・・・開口部、AX・・・光軸、
h1・・・最短距離、h2・・・最短距離、h6・・・最短距離、L・・・照明光、
MS・・・顕微鏡、S・・・試料

40

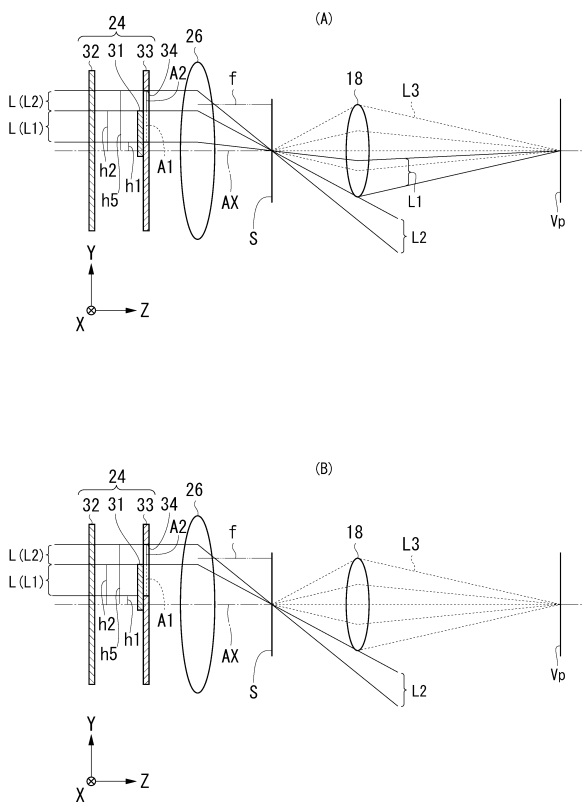
【図 1】



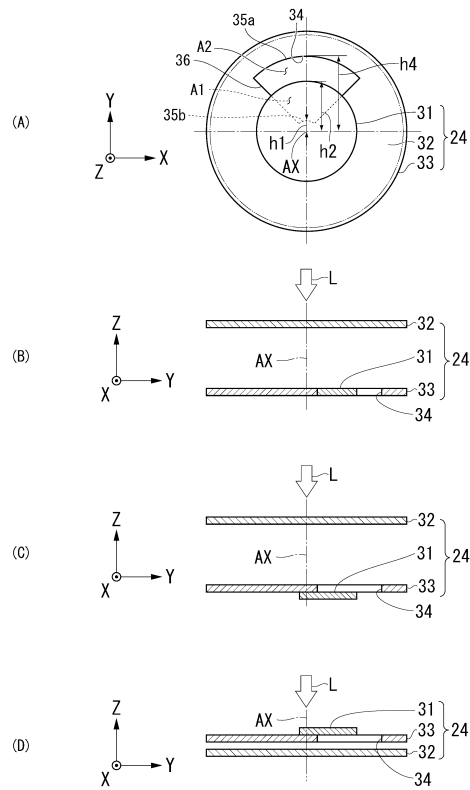
【図 2】



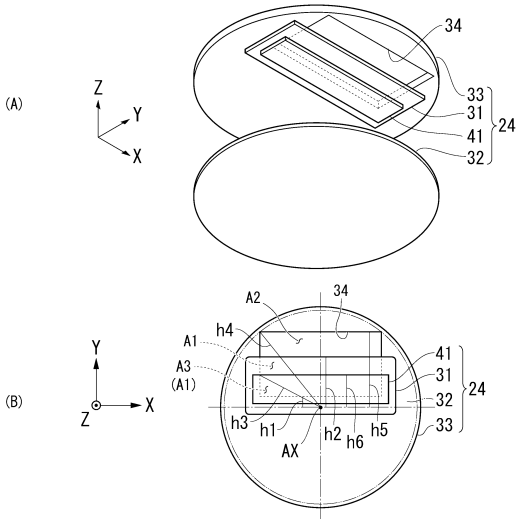
【図 3】



【図 4】



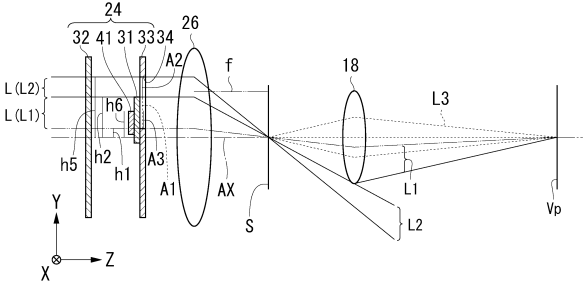
【図 5】



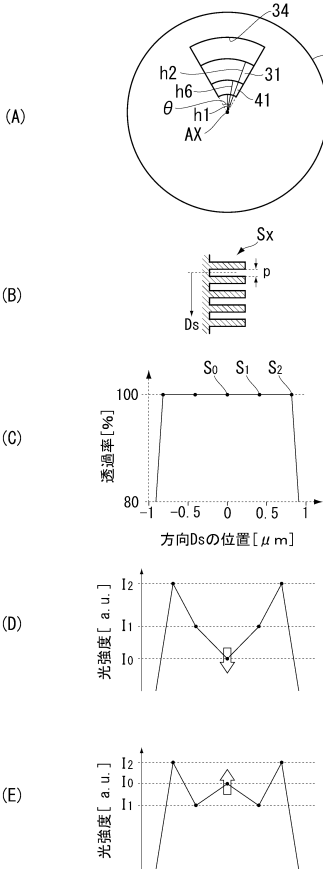
【図 7】

		h1/f													
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60		
h6/f	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	0.10	0.08 x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	0.15	0.17 x	0.09 x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	0.20	0.25 ○	0.18 x	0.10 x	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	0.25	0.33 ○	0.27 ○	0.20 x	0.11 x	-	-	-	-	-	-	-	-		
	0.30	0.42 ○	0.36 ○	0.30 ○	0.22 ○	0.13 x	-	-	-	-	-	-	-		
	0.35	0.50 ○	0.45 ○	0.40 ○	0.33 ○	0.25 ○	0.14 x	-	-	-	-	-	-		
	0.40	0.58 ○	0.55 ○	0.50 ○	0.44 ○	0.38 ○	0.29 x	0.17 x	-	-	-	-	-		
	0.45	0.67 ○	0.64 ○	0.60 ○	0.56 ○	0.50 ○	0.43 ○	0.33 ○	0.20 x	-	-	-	-		
	0.50	0.75 ○	0.73 ○	0.70 ○	0.67 ○	0.63 ○	0.57 ○	0.50 ○	0.40 ○	0.25 ○	-	-	-		
	0.55	0.83 x	0.82 x	0.80 x	0.78 x	0.75 x	0.71 x	0.67 x	0.60 ○	0.50 ○	0.33 ○	-	-		
	0.60	0.92 x	0.91 x	0.90 x	0.89 x	0.88 x	0.86 x	0.83 x	0.80 x	0.75 ○	0.67 ○	0.50 ○	-		

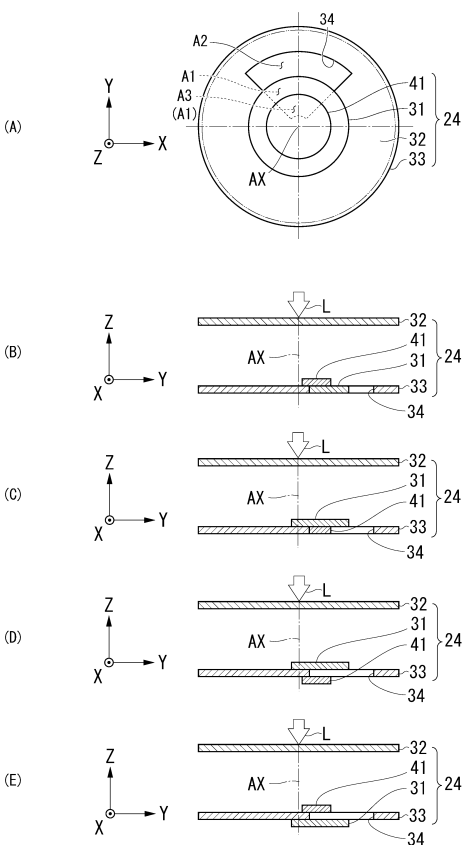
【図 6】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭57-178211 (JP, A)
国際公開第2012/150689 (WO, A1)
特開2006-313213 (JP, A)
特開平05-093869 (JP, A)
特表2013-507612 (JP, A)
特開2012-168303 (JP, A)
特開平11-133308 (JP, A)
特開昭51-029149 (JP, A)
特開2003-050353 (JP, A)
特開2009-163069 (JP, A)
実開平04-119415 (JP, U)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 21/06