

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02012/026379

発行日 平成25年10月28日 (2013.10.28)

(43) 国際公開日 平成24年3月1日 (2012.3.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 21/02 (2006.01)	GO2B 21/02 A	2H052
GO2B 21/00 (2006.01)	GO2B 21/00	2H087
GO2B 5/18 (2006.01)	GO2B 5/18	2H249

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

出願番号 特願2012-530636 (P2012-530636)	(71) 出願人 000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
(21) 国際出願番号 PCT/JP2011/068647	(74) 代理人 100140800 弁理士 保坂 丈世
(22) 国際出願日 平成23年8月18日 (2011.8.18)	(72) 発明者 向井 香織 東京都千代田有楽町一丁目12番1号 株式会社ニコン内
(31) 優先権主張番号 特願2010-187828 (P2010-187828)	(72) 発明者 吉田 三環子 東京都千代田有楽町一丁目12番1号 株式会社ニコン内
(32) 優先日 平成22年8月25日 (2010.8.25)	Fターム(参考) 2H052 AB01 AB10 AB14 AB24 AC04 AC05 AC14 AC27 AD03 AD06 AD16
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 顕微鏡光学系及び顕微鏡システム

(57) 【要約】

回折光学素子の不要次数の光によるフレアの少ない顕微鏡光学系を提供する。

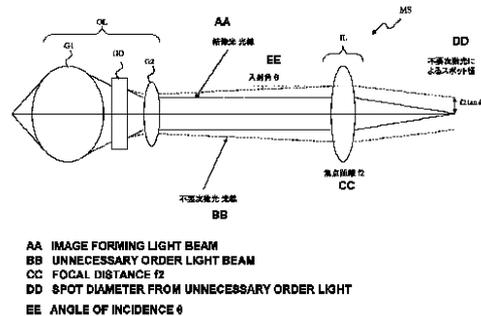
回折光学素子GDを有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズOLと、この対物レンズOLからの略平行光束を集光して物体の像を結像する第二対物レンズILと、を有する顕微鏡対物レンズMSは、結像に回折光学素子GDのm次光を使用する場合に、光軸上に位置する物体から出た最大NAの光が回折光学素子GDに入射して当該回折光学素子GDから射出するm±1次光の光が第二対物レンズILに入射する角度をθとし、この第二対物レンズILへの入射瞳の直径をD[m]としたとき、次式

【数12】

$$|\theta| > \tan^{-1}(0.06/D)$$

の条件を満足する。

【図1】



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回折光学素子を有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズと、前記対物レンズからの略平行光束を集光して前記物体の像を結像する第二対物レンズと、を有し、

結像に前記回折光学素子の m 次光を使用する場合に、光軸上に位置する前記物体から出た最大 NA の光が前記回折光学素子に入射して当該回折光学素子から射出する前記 m 次光とは異なる次数の光が前記第二対物レンズに入射する角度を θ とし、前記第二対物レンズへの入射瞳の直径を D [mm] としたとき、次式

【数 10】

$$|\theta| > \tan^{-1}(0.06/D)$$

の条件を満足することを特徴とする顕微鏡光学系。

【請求項 2】

回折光学素子を有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズと、前記対物レンズからの略平行光束を集光して前記物体の像を結像する第二対物レンズと、を有し、

光軸上に位置する前記物体から出た最大 NA の光が前記回折光学素子に入射して当該回折光学素子から射出する回折光のうち、結像に使用する次数の光の射出角度と不要次数の光の射出角度との差を $\delta\theta$ とし、前記結像に使用する次数の光の射出する高さを h 、射出する角度を θ_{doe} とし、前記第二対物レンズへの入射瞳の直径を D [mm] とし、前記対物レンズを構成するレンズのうち前記回折光学素子より像側にあるレンズからなるレンズ群の焦点距離を f_1 としたとき、次式

【数 11】

$$|\delta\theta| > \left| \frac{0.054 f_1}{h \theta_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right|$$

の条件を満足することを特徴とする顕微鏡光学系。

【請求項 3】

前記回折光学素子は、密着複層型の回折光学素子であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の顕微鏡光学系。

【請求項 4】

前記回折光学素子は、異なる屈折率を有する樹脂層同士の接合面に回折格子パターンが形成されており、前記樹脂層の各々は平面基板上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光学系。

【請求項 5】

前記対物レンズを構成するレンズのうち前記回折光学素子より像側にあるレンズからなるレンズ群は、負の屈折力を有することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の顕微鏡光学系。

【請求項 6】

物体を載置するステージと、前記物体を照明する照明光学系と、前記物体からの光を集光して当該物体の像を結像する請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の顕微鏡光学系と、を有することを特徴とする顕微鏡システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、顕微鏡光学系、及び、この顕微鏡光学系を用いた顕微鏡システムに関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

顕微鏡光学系に回折光学素子を用いると、従来技術と比較して色収差補正などに優位点があり、光学性能が高く、低コストな顕微鏡対物レンズが設計可能である。しかし、このような回折光学素子を顕微鏡光学系に用いると、結像に寄与する次数の光だけでなく、その他の次数の光（以下、「不要次数の光」と呼ぶ）が顕微鏡対物レンズを透過するため、フレアが発生してしまう。このような回折光学素子における不要次数の光によるフレアを目立たなくするためには、像面における不要次数の光のスポットを大きくすれば良いことが知られている（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】特開平 11 - 125709 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、顕微鏡光学系の対物レンズに回折光学素子を用いる場合には、この顕微鏡光学系の特徴を考慮した設計をしないと、回折光学素子の不要次数の光によるフレアを効果的に抑えることができないという課題があった。

【0005】

本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであって、回折光学素子の不要次数の光によるフレアの少ない顕微鏡光学系、及び、この顕微鏡光学系を用いた顕微鏡システム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】

【0006】

前記課題を解決するために、第 1 の本発明に係る顕微鏡光学系は、回折光学素子を有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズと、この対物レンズからの略平行光束を集光して物体の像を結像する第二対物レンズと、を有し、結像に回折光学素子の m 次光を使用する場合に、光軸上に位置する物体から出た最大 NA の光が回折光学素子に入射して当該回折光学素子から射出する m 次光とは異なる次数の光が第二対物レンズに入射する角度を θ とし、第二対物レンズへの入射瞳の直径を D [mm] としたとき、次式

【数 1】

$$|\theta| > \tan^{-1}(0.06/D)$$

の条件を満足することを特徴とする。

【0007】

また、第 2 の本発明に係る顕微鏡光学系は、回折光学素子を有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズと、この対物レンズからの略平行光束を集光して物体の像を結像する第二対物レンズと、を有し、光軸上に位置する物体から出た最大 NA の光が回折光学素子に入射して当該回折光学素子から射出する回折光のうち、結像に使用する次数の光の射出角度と不要次数の光の射出角度との差を $\delta\theta$ とし、結像に使用する次数の光の射出する高さを h、射出する角度を θ_{doe} とし、第二対物レンズへの入射瞳の直径を D [mm] とし、対物レンズを構成するレンズのうち回折光学素子より像側にあるレンズからなるレンズ群の焦点距離を f1 としたとき、次式

【数 2】

$$|\delta\theta| > \left| \frac{0.054 f1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right|$$

の条件を満足することを特徴とする。

【0008】

また、このような顕微鏡光学系において、回折光学素子は、密着複層型の回折光学素子であることが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

また、このような顕微鏡光学系において、回折光学素子は、異なる屈折率を有する樹脂層同士の接合面に回折格子パターンが形成されており、樹脂層の各々は平面基板上に配置されていることが好ましい。

【 0 0 1 0 】

このような顕微鏡光学系において、対物レンズを構成するレンズのうち回折光学素子より像側にあるレンズからなるレンズ群は、負の屈折力を有することが好ましい。

【 0 0 1 1 】

また、本発明に係る顕微鏡システムは、物体を載置するステージと、この物体を照明する照明光学系と、物体からの光を集光して当該物体の像を結像する上述の顕微鏡光学系のいずれかと、を有することを特徴とする。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

本発明を以上のように構成すれば、回折光学素子の不要次数の光によるフレアの少ない顕微鏡光学系及び顕微鏡システムを提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】 顕微鏡光学系の構成を説明するための説明図である。

【 図 2 】 対物レンズを構成する回折光学素子及び第 2 レンズ群と第二対物レンズとの関係を示す説明図である。

20

【 図 3 】 顕微鏡システムの構成を説明するための説明図である。

【 図 4 】 第 1 実施例に係る顕微鏡光学系の構成を示すレンズ構成図であって、(a) は全体を示し、(b) は対物レンズを示し、(c) は第二対物レンズ及びプリズムを示す。

【 図 5 】 第 1 実施例に係る顕微鏡光学系のスポットダイアグラムであって、(a) は 0 次光を示し、(b) は 2 次光を示す。

【 図 6 】 第 2 実施例に係る顕微鏡光学系の構成を示すレンズ構成図であって、(a) は全体を示し、(b) は対物レンズを示し、(c) は第二対物レンズ及びプリズムを示す。

【 図 7 】 第 2 実施例に係る顕微鏡光学系のスポットダイアグラムであって、(a) は 0 次光を示し、(b) は 2 次光を示す。

【 図 8 】 第 3 実施例に係る顕微鏡光学系の構成を示すレンズ構成図であって、(a) は全体を示し、(b) は対物レンズを示し、(c) は第二対物レンズ及びプリズムを示す。

30

【 図 9 】 第 3 実施例に係る顕微鏡光学系のスポットダイアグラムであって、(a) は 0 次光を示し、(b) は 2 次光を示す。

【 図 1 0 】 第 4 実施例に係る顕微鏡光学系の構成を示すレンズ構成図であって、(a) は全体を示し、(b) は対物レンズを示し、(c) は第二対物レンズ及びプリズムを示す。

【 図 1 1 】 第 4 実施例に係る顕微鏡光学系のスポットダイアグラムであって、(a) は 0 次光を示し、(b) は 2 次光を示す。

【 図 1 2 】 第 5 実施例に係る顕微鏡光学系の構成を示すレンズ構成図であって、(a) は全体を示し、(b) は対物レンズを示し、(c) は第二対物レンズ及びプリズムを示す。

【 図 1 3 】 第 5 実施例に係る顕微鏡光学系のスポットダイアグラムであって、(a) は 0 次光を示し、(b) は 2 次光を示す。

40

【 図 1 4 】 第 6 実施例に係る顕微鏡光学系の構成を示すレンズ構成図であって、(a) は全体を示し、(b) は対物レンズを示し、(c) は第二対物レンズ及びプリズムを示す。

【 図 1 5 】 第 6 実施例に係る顕微鏡光学系のスポットダイアグラムであって、(a) は 0 次光を示し、(b) は 2 次光を示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

顕微鏡光学系では、暗視野照明の使用でフレアが目立ちやすいという問題がある。一方、照明系まで含んだ光学系であるため、非常に明るい光源が視野内外にあり、フレア源になるということはない。しかしながら、この顕微鏡光学系に回折光学素子を使用した場合

50

、通常の多重反射によるフレア以外に回折光学素子の不要次数の光が問題となる。このような不要次数の光によるフレアは、その次数の回折効率でフレア光量が決まり、結像面でのスポットの大きさにより照度が決まる。したがって、回折光学素子を使用した顕微鏡光学系では、結像に寄与する使用次数の光の回折効率を高め、不要次数の光によるフレアのスポットを大きくする必要はある。

【0015】

一般に顕微鏡光学系では、無限遠系の対物レンズにより物体からの光束を略平行光束にし、第二対物レンズにより結像する。この第二対物レンズの結像位置にCCDカメラを配置すれば画像取得可能で、接眼レンズを配置すれば目視観察が可能であり、画像取得と目視観察の切り替えが可能となっている。このような顕微鏡光学系においては、暗い物体の観察には撮像時間を長く調整できるCCDカメラを利用する方が適しているが、反面、フレアが問題になりやすい。なお、顕微鏡光学系は拡大系であるため、物体高は小さく、この物体高が異なっても、対物レンズ中の光路の差は小さい。そのため、回折光学素子によるフレアを考える場合、軸上物体光だけを考えると問題はない。

10

【0016】

以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照して説明する。まず、図1に示す顕微鏡光学系MSに基づいて説明を行う。この顕微鏡光学系MSは、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズOLと、この略平行光束を集光して物体の像を結像する第二対物レンズILと、を有して構成される。また、対物レンズOLは、物体からの光を集光して収束光束にした後、この収束光束を略平行光束にするように構成されており、物体からの光が収束光束となっている位置に回折光学素子GDが配置されている。そのため、以降の説明では、回折光学素子GDよりも物体側にあるレンズで構成されるレンズ群を第1レンズ群G1と呼び、回折光学素子GDよりも像側にあるレンズで構成されるレンズ群を第2レンズ群G2と呼ぶ。

20

【0017】

回折光学素子GD(回折光学面)は、負の分散値(後述する実施例ではアッペ数 $= -3.453$)を有し、分散が大きく、また異常分散性(後述する実施例では部分分散比 $(n_g - n_F) / (n_F - n_C) = 0.2956$)が強いため、強力な色収差補正能力を有している。光学ガラスのアッペ数は、通常30~80程度であるが、上述のように回折光学素子のアッペ数は負の値を持っている。換言すると、回折光学素子GDの回折光学面は分散特性が通常のガラス(屈折光学素子)とは逆で光の波長が短くなるに伴い屈折力が小さくなり、長い波長の光ほど大きく曲がる性質を有している。そのため、通常の屈折光学素子と組み合わせることにより、大きな色消し効果が得られる。したがって回折光学素子GDを利用することで、通常の光学ガラスでは達し得ない良好な色収差の補正が可能になる。

30

【0018】

図1に示すように、回折光学素子GDで発生した不要次数の光の結像面でのスポットを大きくするためには、第二対物レンズILへの入射角を大きくすれば良いことが分かる。対物レンズOLと第二対物レンズILとの間は略平行系なので、軸上物体から出た光の場合、第二対物レンズILに対する入射角はほぼ 0° である。また、この顕微鏡光学系MSの像側開口数(NA)が大きいほど明るい像が結像されるためフレアは目立ちにくくなる。

40

【0019】

この図1に示す顕微鏡光学系MSにおいて、軸上物体から放射された光のうち、最大NAの光線により回折光学素子GDで発生した不要次数の光の第二対物レンズILに対する入射角を θ とし、第二対物レンズILの焦点距離を f_2 としたとき、その不要次数の光により像面に形成されるスポットの光軸からの高さは、 $f_2 \tan \theta$ で表される。発明者の試作結果として、像側NAが0.015の場合に、顕微鏡に通常求められる解像度を有した光学系で物体からの光を集光した場合、像面上での不要次数の光によるスポットを半径2.0mm程度まで大きくすれば、フレアが目立たないことが分かっている。そのため、

50

最大 NA の光線による不要次数の光の第二対物レンズ I L への入射角 θ が次式 (a) を満たせば良いことがわかる。

【 0 0 2 0 】

【 数 3 】

$$|\theta| > \tan^{-1}(2.0 \times 0.015 / (f2 \times NA)) \quad (a)$$

【 0 0 2 1 】

ここで、式 (a) 中の NA は像側の NA である。

【 0 0 2 2 】

また、この式 (a) を第二対物レンズ I L への入射瞳の直径 D [mm] ($D = 2 \times f2 \times NA$) で表すと、次式 (1) として表現される。すなわち、不要次数の光がこの条件式 (1) で示される入射角 θ で第二対物レンズ I L に入射すれば、NA = 0 . 0 1 5 の場合、そのスポットの半径は 2 . 0 mm 以上となり、フレアを目立たなくすることができる。なお、不要次数の光とは、回折光学素子 G D から射出する回折光のうち、この顕微鏡光学系 M S で物体の結像に用いる次数以外の次数の光である。そのため、結像に用いる回折光を m 次光とすると、不要次数の光は、m - 1 次光や、m + 1 次光として表すことができる。また、m 次光よりも次数の差が大きい m - 2 次光や m + 2 次光は、m - 1 次光や m + 1 次光よりも更に大きく光路が異なっているため、m - 1 次光や m + 1 次光よりも大きなスポット径となる。そのため、本発明では m 次光に最も近い回折光となる m - 1 次光及び m + 1 次光について説明し、それよりも m 次光との差が大きな回折光による像はより大きなスポットになることが自明なため、詳細な説明は省く。

【 0 0 2 3 】

【 数 4 】

$$|\theta| > \tan^{-1}(0.06/D) \quad (1)$$

【 0 0 2 4 】

図 2 に示すように、回折光学素子 G D より像側にあるレンズで構成されるレンズ群 (第 2 レンズ群 G 2) の焦点距離を f 1 とし、軸上物体から出た最大 NA の光線が回折光学素子 G D に入射してこの回折光学素子 G D から射出する回折光のうち、結像に使用される次数の光の射出角度を θ_{doe} とし、この最大 NA の光線が回折光学素子 G D を射出する高さ h_{doe} とすると、この回折光学素子 G D から射出される光束は $h_{doe} / \tan(\theta_{doe})$ だけ離れた点 (図 2 に示す A 点) に焦点があり、また、対物レンズ O L と第二対物レンズ I L との間は平行系であるので、A 点は第 2 レンズ群 G 2 の焦点位置となる。

【 0 0 2 5 】

顕微鏡光学系 M S では、回折光学素子 G D より像側のレンズ群 (第 2 レンズ群 G 2) は、負の屈折力を有することが多く、その場合、A 点は、焦点距離 f 1 を有するレンズ群 (第 2 レンズ群 G 2) にとって虚像位置となる。このとき、不要次数の光による光線 (図 2 に示すように、結像光線とは角度 $\delta\theta$ 異なるとする) の A 点における光線高 h' は、次式 (b) で表される。

【 0 0 2 6 】

【 数 5 】

$$h' = (\tan(\theta_{doe} \pm \delta\theta) - \tan(\theta_{doe})) \times \frac{h_{doe}}{\tan(\theta_{doe})}$$

$$\approx \frac{\pm \delta\theta h_{doe}}{\cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe})} \quad (b)$$

【 0 0 2 7 】

また、対物レンズ O L を構成するレンズ群のうち、回折光学素子 G D より像側に配置されたレンズにより構成されるレンズ群 (第 2 レンズ群 G 2) を射出する不要次数の光によ

る光線の射出角、すなわち、第二対物レンズ I L に対する入射角 は、次式 (c) のように表される。

【 0 0 2 8 】

【 数 6 】

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\pm \delta \theta}{\cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe})} \frac{h_{doe}}{f_1} \right) \quad (c)$$

【 0 0 2 9 】

以上より、式 (c) で表される を式 (1) に代入すると、次式 (2) のようになり、像側 NA が 0 . 0 1 5 の顕微鏡光学系 1 において、像面上での不要次数の光によるスポットを半径 2 mm 程度まで大きくするためには、この式 (2) を満足すれば良いことが分かる。

10

【 0 0 3 0 】

【 数 7 】

$$|\delta \theta| > \left| \frac{0.06 f_1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right| \quad (2)$$

【 0 0 3 1 】

しかしながら、第 2 レンズ群 G 2 による結像は全く収差補正されていない。そのため、近軸の関係式から導いた式 (b) や式 (c) による表記と実際の光線追跡結果の間にはずれが生じる。第二対物レンズ I L への入射角は一般的には式 (c) よりも大きくなる傾向があり、10% 程度補正した方が式 (1) と式 (2) との間の整合性が良くなる。よって、上記式 (2) を次の式 (2') に補正する方が望ましい。

20

【 0 0 3 2 】

【 数 8 】

$$|\delta \theta| > \left| \frac{0.054 f_1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right| \quad (2')$$

【 0 0 3 3 】

なお、物体側のある一点からの光束が、結像面で一点に集光された場合、そのときの結像面上における単位面積当たりの光量は、スポット面積に反比例するので、m 次光とは異なる回折次数の光による明るさは、結像面でのスポット面積に反比例する。すなわち、m 次光とは異なる回折次数の光による明るさは、結像面でのスポット径の二乗に反比例して暗くなる。ゆえに、回折光学素子 G D により発生したフレア光自体が結像面において、暗くなる。

30

【 0 0 3 4 】

回折光学素子 G D を、対物レンズ O L の物体に近い位置に配置すると、この対物レンズ O L を通過する光束が広がっている場所に配置されることになり、回折光学素子 G D への入射角が大きくなり易く、回折効率上不利である。また、対物レンズ O L の中間部の光束が略平行に近い場所に回折光学素子 G D を配置すると、光束が広いため高次の収差が発生し易く望ましくない。そのため、上述したように、回折光学素子 G D より像側のレンズ群 (第 2 レンズ群 G 2) の屈折力が負となるように対物レンズ O L を構成することにより、この第 2 レンズ群 G 2 の物体側の、対物レンズ O L を通過する光束が収束している位置に回折光学素子 G D を配置することが望ましい。

40

【 0 0 3 5 】

このような顕微鏡光学系 M S において、全体のフレアの光量は回折光学素子 G D の回折効率で決まるので、回折効率を高くすることは重要である。回折光学素子 G D の回折効率が落ちる要因としては、次の 3 点が挙げられる。すなわち、第 1 に、回折光学素子 G D の回折光学面を通過する光の波長がブレイズ波長と異なる場合、第 2 に、回折光学素子 G D の回折光学面への入射角がブレイズ条件とは異なる場合、第 3 に、回折光学素子 G D の回

50

折光学面の形状がブレード形状からずれている場合である。第3の要因は回折光学面の製造上の形状誤差の問題であるが、第1及び第2の要因は一定の波長域や視野を確保するためには必然的に生じる問題である。この場合、回折光学素子GDを密着複層型の回折光学素子とすることで、上記問題を解決することができる。

【0036】

密着複層型の回折光学素子は、次式(d)をおおよそ満たすような異なる2つの光学材料を用い、その2つの光学材料の接合面に回折格子パターンを設けて回折光学面を構成している。なお、2つの光学材料のうち、一方の光学材料の媒質のd線、F線及びC線に対する屈折率をそれぞれ n_{1d} 、 n_{1F} 、 n_{1C} とし、他方の光学材料の媒質のd線、F線及びC線に対する屈折率をそれぞれ n_{2d} 、 n_{2F} 、 n_{2C} とする。

【0037】

【数9】

$$\frac{\Delta n_d}{\Delta(n_F - n_C)} = \frac{\lambda_d}{\lambda_F - \lambda_C} \quad (d)$$

ここで、

$$\Delta n_d = n_{1d} - n_{2d}$$

$$\Delta(n_F - n_C) = (n_{1F} - n_{1C}) - (n_{2F} - n_{2C})$$

【0038】

この密着複層型の回折光学素子は、g線からC線を含む広波長域において回折効率を高くすることができる。したがって、本実施形態に係る顕微鏡光学系MSに用いられる対物レンズOLは広波長域において利用することが可能となる。なお、回折効率は、透過型の回折光学素子において一次回折光を利用する場合、入射強度 I_0 と一次回折光の強度 I_1 との割合(= $I_1 / I_0 \times 100$ [%])を示す。また、密着複層型の回折光学素子は、回折格子パターンが形成された2つの回折素子要素をこの回折格子パターン同士が対向するように近接配置してなるいわゆる分離複層型の回折光学素子に比べて製造工程を簡素化することができるため、量産効率がよく、また光線の入射角に対する回折効率が良いという長所を備えている。したがって、密着複層型の回折光学素子GDを利用した本実施の形態に係る対物レンズOLでは、製造が容易となり、また回折効率も良くなる。

【0039】

また、この密着複層型の回折光学素子GDの回折格子の回折格子パターンは、平面基板上に配置された回折素子要素の接合面に形成されている。このように平面基板上に回折素子要素を配置して回折格子パターンを形成することでも、球面等に形成する場合に比べて回折格子パターンの形成が非常に容易になり、正確な回折格子パターンが得られやすくなっている。

【0040】

上述のような本実施の形態に係る顕微鏡光学系MSは、図3に示すような顕微鏡システム1に用いられている。図3において、顕微鏡システム1は、試料Sを含むプレパラート2を観察するものであり、第1光源装置6と、第2光源装置7と、対物レンズ8(OL)と、第二対物レンズ9(IL)とからなる顕微鏡光学系MSと、この顕微鏡光学系MSで結像された像からの光束を使用者の眼球に導く接眼光学系11と、プレパラート2を支持しながら移動可能なステージ10と、を含む。このステージ10を対物レンズ8の光軸方向に移動することで合焦動作が行える。もちろん、別途焦点検出機構を設け、その焦点検出機構からの出力に基づいて、ステージ10の移動量を制御しても良い。また、この顕微鏡システム1は、ボディ15を備えており、第1光源装置6、第2光源装置7、対物レンズ8、第二対物レンズ9、及び、ステージ10のそれぞれは、このボディ15に支持されている。

【0041】

なお、この顕微鏡システム1は、第1光源装置6から射出された光を用いてプレパラ

10

20

30

40

50

ト 2 を照明する第 1 照明光学系（透過照明光学系）17 と、第 2 光源装置 7 から射出された光を用いてプレパラート 2 を照明する第 2 照明光学系（落射照明光学系）18 を備えている。ここで、第 2 光源装置 7 から射出された光は、対物レンズ 8 も第 2 照明光学系 18 の一部となっており、光路合成部材 16 により第 2 光源装置 7 からの光を対物レンズ 8 に導く。この光路合成部材 16 は、対物レンズ 8 の光軸及びその近傍が透明で、外周部分に反射膜が形成されたミラーを採用しても良いし、ハーフミラーを採用しても良い。前者の場合は、暗視野観察が可能となる。後者の場合は、落射照明で明視野観察が可能となる。

【0042】

また、対物レンズ 8 及び第二対物レンズ 9 により結像された像が形成される位置に、撮像手段を搭載していても良い。もちろん、図示しない光路分割手段により、対物レンズ 8 からの光束を分割し、別途第二対物レンズを設けて、この第二対物レンズにより像が形成される位置に撮像手段を搭載しても良い。また、この顕微鏡システム 1 は、正立顕微鏡でも倒立顕微鏡でも良い。さらに、第 1 光源装置 6 と第 2 光源装置 7 はいずれか一方でも良い。

10

【実施例】

【0043】

以下に、本実施の形態に係る顕微鏡光学系 MS の 6 つの実施例を示すが、各実施例において、回折光学素子 GD に形成された回折光学面の位相差は、通常の屈折率と後述する非球面式 (d) とを用いて行う超高屈折率法により計算した。超高屈折率法とは、非球面形状と回折光学面の格子ピッチとの間の一定の等価関係を利用するものであり、本実施例において、回折光学面を超高屈折率法のデータとして、すなわち、後述する非球面式 (d) 及びその係数により示している。なお、本実施例では収差特性の算出対象として、d 線、C 線、F 線及び g 線を選んでいる。本実施例において用いられたこれら d 線、C 線、F 線及び g 線の波長と、各スペクトル線に対して設定した超高屈折率法の計算に用いるための屈折率の値を次の表 1 に示す。

20

【0044】

(表 1)

	波長	屈折率 (超高屈折率法による)
d 線	587.562 nm	10001.0000
C 線	656.273 nm	11170.4255
F 線	486.133 nm	8274.7311
g 線	435.835 nm	7418.6853

30

【0045】

各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、高さ y における各非球面の頂点の接平面から各非球面までの光軸に沿った距離 (サグ量) を $S(y)$ とし、基準球面の曲率半径 (頂点曲率半径) を r とし、定数を α とし、 n 次の非球面係数を A_n としたとき、以下の式 (d) で表される。なお、以降の実施例において、「 $E - n$ 」は「 $\times 10^{-n}$ 」を示す。

【0046】

$$S(y) = (y^2 / r) / \{ 1 + (1 - \alpha \times y^2 / r^2)^{1/2} \} + A2 \times y^2 + A4 \times y^4 + A6 \times y^6 + A8 \times y^8 \quad (d)$$

40

【0047】

なお、各実施例において、回折光学面が形成されたレンズ面には、表中の面番号の右側に * 印を付しており、非球面式 (d) は、この回折光学面の性能の諸元を示している。

【0048】

[第 1 実施例]

まず、第 1 実施例として図 4 に示す顕微鏡光学系 MS 1 について説明する。この顕微鏡光学系 MS 1 は、物体側から順に、対物レンズ OL と、第二対物レンズ IL と、プリズム PR と、から構成される。また、対物レンズ OL は、物体側から順に、第 1 レンズ群 G 1 と、回折光学素子 GD と、第 2 レンズ群 G 2 と、から構成される。さらに、第 1 レンズ群

50

G 1 は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 と両凸レンズ L 4 とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズ L 5 と両凹レンズ L 6 と両凸レンズ L 7 とを接合した接合レンズから構成される。また、回折光学素子 G D は、物体側から順に、平板状の光学ガラス L 8、それぞれ異なる樹脂材料から形成された 2 個の光学部材 L 9、L 10、及び、平板状の光学ガラス L 11 がこの順で接合され、光学部材 L 9、L 10 の接合面に回折格子パターン（回折光学面）が形成されている。すなわち、この回折光学素子 G D は、密着複層型の回折光学素子である。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、両凹レンズ L 12 と両凸レンズ L 13 と両凹レンズ L 14 とを接合した接合レンズで構成される。また、第二対物レンズ I L は、物体側から順に、両凸レンズ L 15 と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 16 とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズ L 17 と両凹レンズ L 18 とを接合した接合レンズから構成される。なお、プリズム P R は両端が平面の光学ガラスで構成される。また、プリズム P R は光路長のみを考慮しており、実形状を表しているわけではない（以降の実施例においても同様である）。

10

20

30

40

50

【0049】

このように図 4 に示した第 1 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 1 の諸元を表 2 に示す。なお、この表 2 において、 f は対物レンズ O L の全系の焦点距離を示し、 f_1 は対物レンズ O L を構成する第 2 レンズ群 G 2 の焦点距離を示し、 f_2 は第二対物レンズ I L の全系の焦点距離を示し、 β は倍率を示し、 NA は対物レンズ O L と第二対物レンズ I L とを組み合わせた光学系の物体側と像側の開口数を示し、 d_0 は物体面から最初のレンズ（正メニスカスレンズ L 1）の物体側のレンズ面（第 1 面）の頂点までの光軸上の距離を示し、 D は第二対物レンズ I L への入射瞳の直径を示し、 h_{doe} は軸上物体から出た最大 NA の光線が回折光学素子 G D を射出する高さを示し、 θ_{doe} は軸上物体から出た最大 NA の光線が回折光学素子 G D を射出する角度を示す（結像に寄与する 1 次の回折光が射出する角度とする）。また、第 1 欄 m は物体側からの各光学面の番号を、第 2 欄 r は各光学面の曲率半径を、第 3 欄 d は各光学面から次の光学面までの光軸上の距離（面間隔）を、第 4 欄 n_d は d 線に対する屈折率を、そして、第 5 欄 d はアッペ数をそれぞれ示している。ここで、第 1 欄 m に示す各光学面の番号（右の * は回折光学面として形成されているレンズ面を示す）は、図 4 に示した面番号 1 ~ 29 に対応している。また、第 2 欄 r において、曲率半径 0.000 は平面を示している。また、回折光学面の場合は、第 2 欄 r にベースとなる非球面の基準となる球面の曲率半径を示し、超高屈折率法に用いるデータは非球面データとして諸元表内に示している。また、第 4 欄 n_d において、空気の屈折率 1.000 は省略してある。また、第 5 欄 d は、F 線に対する屈折率を n_F 、C 線に対する屈折率を n_C として、 $d = (n_d - 1) / (n_F - n_C)$ で表される。さらに、この表 2 には、上記条件式 (1) 及び (2) に対応する値、すなわち、条件対応値も示している。この諸元表の説明は以降の実施例においても同様である。

【0050】

なお、以下の全ての諸元において掲載される曲率半径 r 、面間隔 d 、対物レンズの焦点距離 f その他長さの単位は、特記の無い場合、一般に「mm」が使われるが、光学系は比例拡大又は比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、単位は「mm」に限定されることはなく、他の適当な単位を用いることもできる。

【0051】

(表 2)

$$f = 4$$

$$f_1 = -22.4$$

$$f_2 = 200$$

$$= 50x$$

$$NA(\text{物体側}) = 0.8$$

$$NA(\text{像側}) = 0.016$$

$$d_0 = 3.38$$

して1次の回折光を使用している。

【0053】

図5に、この第1実施例における、0次光及び2次光（不要次数の光）によるスポットダイアグラムを示す。なお、この図5に示すスポットダイアグラムにおいて、Bは物体高を示している（以降の実施例においても同様である）。この図5に示すように、不要次数の光である0次光及び2次光は、スポットの光軸からの高さが1.9mm以上あるため、第1実施例に係る顕微鏡光学系MS1は、像面においてこの0次光及び2次光によるフレアを目立たなくすることができる。

【0054】

[第2実施例]

次に、第2実施例として図6に示す顕微鏡光学系MS2について説明する。この顕微鏡光学系MS2も、物体側から順に、対物レンズOLと、第二対物レンズILと、プリズムPRと、から構成される。また、対物レンズOLは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、回折光学素子GDと、第2レンズ群G2と、から構成される。さらに、第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL1、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL2、両凸レンズL3と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL4とを接合した接合レンズ、両凸レンズL5と両凹レンズL6と両凸レンズL7とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズL8と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL9とを接合した接合レンズから構成される。また、回折光学素子GDは、物体側から順に、平板状の光学ガラスL10、それぞれ異なる樹脂材料から形成された2個の光学部材L11、L12、及び、平板状の光学ガラスL13がこの順で接合され、光学部材L11、L12の接合面に回折格子パターン（回折光学面）が形成されている。すなわち、この回折光学素子GDは、密着複層型の回折光学素子である。また、第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹レンズL12、及び、両凹レンズL13と両凸レンズL14とを接合した接合レンズから構成される。さらに、第二対物レンズILは、物体側から順に、両凸レンズL15と両凹レンズL16とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズL17と両凹レンズL18とを接合した接合レンズから構成される。なお、プリズムPRは両端が平面の光学ガラスで構成される。

【0055】

このように図6に示した第2実施例に係る顕微鏡光学系MS2の諸元を表3に示す。なお、表3に示す面番号は、図6に示した面番号1~33と一致している。

【0056】

(表3)

$$f = 1.33$$

$$f_1 = -4.83$$

$$f_2 = 200$$

$$= 150x$$

$$NA(\text{物体側}) = 0.9$$

$$NA(\text{像側}) = 0.006$$

$$d_0 = 2.95$$

$$D = 2.387$$

$$h_{doe} = 4.50$$

$$d_{oe} = 15.60[^\circ]$$

m	r	d	n _d	d
1	-5.290	3.50	1.804	39.6
2	-5.030	0.15		
3	-18.200	2.90	1.603	65.5
4	-9.566	0.15		
5	27.978	6.20	1.498	82.6

10

20

30

40

50

6	-12.264	1.30	1.569	56.0	
7	-19.297	0.20			
8	30.758	5.60	1.498	82.6	
9	-13.300	1.00	1.673	38.2	
10	12.192	6.70	1.498	82.6	
11	-14.331	0.15			
12	21.570	4.70	1.498	82.6	
13	-10.130	1.00	1.804	39.6	
14	-89.173	0.70			
15	0.000	2.50	1.517	64.1	10
16	0.000	0.06	1.528	34.7	
17	0.000	0.00	10001.000	-3.5	
18*	0.000	0.06	1.557	50.2	
19	0.000	3.00	1.517	64.1	
20	0.000	12.00			
21	-6.151	1.70	1.517	52.4	
22	6.151	3.00			
23	-4.178	1.00	1.734	51.5	
24	6.681	2.20	1.785	25.6	
25	-7.986	121.00			20
26	75.043	5.10	1.623	57.0	
27	-75.043	2.00	1.750	35.2	
28	1600.580	7.50			
29	50.256	5.10	1.668	42.0	
30	-84.541	1.80	1.613	44.4	
31	36.911	5.50			
32	0.000	30.00	1.569	56.0	
33	0.000	143.78			

回折光学面データ

第 1 8 面 = 1 A 2 = -7.3529E-08 A 4 = 1.2704E-09
A 6 = -3.6213E-11 A 8 = 1.4394E-13

条件対応値

(1) 左辺 | | (0 次) = 2.01[°] | | (2 次) = 1.75[°]
右辺 = 1.43[°]
(2) 左辺 | | (0 次 - 1 次) = 0.41[°]
| | (2 次 - 1 次) = 0.42[°]
右辺 = 0.39[°]
(2) 右辺 = 0.35[°]

【 0 0 5 7 】

このように、第 2 実施例では上記条件式 (1) 及び (2) を全て満たしていることが分かる。また、図 7 に、この第 2 実施例における、0 次光及び 2 次光 (不要次数の光) によるスポットダイアグラムを示す。この図 7 に示すように、不要次数の光である 0 次光及び 2 次光は、スポットの光軸からの高さが 5 . 0 mm 以上あるため、第 2 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 2 は、像面においてこの 0 次光及び 2 次光によるフレアを目立たなくすることができる。

【 0 0 5 8 】

[第 3 実施例]

次に、第 3 実施例として図 8 に示す顕微鏡光学系 M S 3 について説明する。この顕微鏡

30

20

40

50

光学系 M S 3 も、物体側から順に、対物レンズ O L と、第二対物レンズ I L と、プリズム P R と、から構成される。また、対物レンズ O L は、物体側から順に、第 1 レンズ群 G 1 と、回折光学素子 G D と、第 2 レンズ群 G 2 と、から構成される。さらに、第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、両凸レンズ L 1、両凸レンズ L 2 と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 3 とを接合した接合レンズ、及び、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 4 から構成される。また、回折光学素子 G D は、物体側から順に、平板状の光学ガラス L 5、それぞれ異なる樹脂材料から形成された 2 個の光学部材 L 6、L 7、及び、平板状の光学ガラス L 8 がこの順で接合され、光学部材 L 6、L 7 の接合面に回折格子パターン（回折光学面）が形成されている。すなわち、この回折光学素子 G D は、密着複層型の回折光学素子である。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 9 と両凹レンズ L 10 とを接合した接合レンズで構成される。さらに、第二対物レンズ I L は、物体側から順に、両凸レンズ L 11 と両凹レンズ L 12 とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズ L 13 と両凹レンズ L 14 とを接合した接合レンズから構成される。なお、プリズム P R は両端が平面の光学ガラスで構成される。

10

【 0 0 5 9 】

このように図 8 に示した第 3 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 3 の諸元を表 4 に示す。なお、表 4 に示す面番号は、図 8 に示した面番号 1 ~ 24 と一致している。

【 0 0 6 0 】

(表 4)

$$f = 20$$

$$f_1 = -14.2$$

$$f_2 = 200$$

$$= 10x$$

$$N A (\text{物体側}) = 0.2$$

$$N A (\text{像側}) = 0.02$$

$$d_0 = 38.00$$

$$D = 8$$

$$h d o e = 5.54$$

$$d o e = 17.15 [^\circ]$$

20

30

m	r	d	n d	d
1	48.798	3.00	1.697	55.5
2	-34.514	0.20		
3	37.001	3.40	1.603	65.5
4	-26.906	1.10	1.847	23.8
5	-212.805	0.20		
6	24.500	3.30	1.517	64.1
7	116.697	0.70		
8	0.000	2.00	1.517	64.1
9	0.000	0.06	1.528	34.7
10	0.000	0.00	10001.000	-3.5
11*	0.000	0.06	1.557	50.2
12	0.000	3.00	1.517	64.1
13	0.000	3.50		
14	-23.277	3.50	1.805	25.4
15	-11.689	1.50	1.620	60.3
16	12.655	136.60		
17	75.043	5.10	1.623	57.0
18	-75.043	2.00	1.750	35.2
19	1600.580	7.50		

40

50

20	50.256	5.10	1.668	42.0
21	-84.541	1.80	1.613	44.4
22	36.911	5.50		
23	0.000	30.00	1.569	56.0
24	0.000	143.81		

回折光学面データ

第 1 1 面	= 1	A 2 = -4.9388E-08	A 4 = 3.0081E-12
		A 6 = -3.3504E-19	A 8 = -1.6682E-15

10

条件対応値

- (1) 左辺 | | (0 次) = 0.56[°] | | (2 次) = 0.56[°]
 右辺 = 0.43[°]
- (2) 左辺 | | (0 次 - 1 次) = 0.36[°]
 | | (2 次 - 1 次) = 0.37[°]
 右辺 = 0.31[°]
- (2) 右辺 = 0.28[°]

【 0 0 6 1 】

このように、第 3 実施例では上記条件式 (1) 及び (2) を全て満たしていることが分かる。また、図 9 に、この第 3 実施例における、0 次光及び 2 次光 (不要次数の光) によるスポットダイアグラムを示す。この図 9 に示すように、不要次数の光である 0 次光及び 2 次光は、スポットの光軸からの高さが 1 . 5 mm 以上あるため、第 3 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 3 は、像面においてこの 0 次光及び 2 次光によるフレアを目立たなくすることができる。

20

【 0 0 6 2 】

[第 4 実施例]

次に、第 4 実施例として図 1 0 に示す顕微鏡光学系 M S 4 について説明する。この顕微鏡光学系 M S 4 も、物体側から順に、対物レンズ O L と、第二対物レンズ I L と、プリズム P R と、から構成される。また、対物レンズ O L は、物体側から順に、第 1 レンズ群 G 1 と、回折光学素子 G D と、第 2 レンズ群 G 2 と、から構成される。さらに、第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、両凸レンズ L 1、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 2 と両凸レンズ L 3 とを接合した接合レンズ、及び、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 4 と物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 5 とを接合した接合レンズから構成される。また、回折光学素子 G D は、物体側から順に、平板状の光学ガラス L 6、それぞれ異なる樹脂材料から形成された 2 個の光学部材 L 7、L 8、及び、平板状の光学ガラス L 9 がこの順で接合され、光学部材 L 7、L 8 の接合面に回折格子パターン (回折光学面) が形成されている。すなわち、この回折光学素子 G D は、密着複層型の回折光学素子である。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、両凸レンズ L 1 0 と両凹レンズ L 1 1 とを接合した接合レンズ、及び、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 2 と両凹レンズ L 1 3 とを接合した接合レンズから構成される。さらに、第二対物レンズ I L は、物体側から順に、両凸レンズ L 1 4 と両凹レンズ L 1 5 とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズ L 1 6 と両凹レンズ L 1 7 とを接合した接合レンズから構成される。なお、プリズム P R は両端が平面の光学ガラスで構成される。

30

40

【 0 0 6 3 】

このように図 1 0 に示した第 4 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 4 の諸元を表 5 に示す。なお、表 5 に示す面番号は、図 1 0 に示した面番号 1 ~ 2 8 と一致している。

【 0 0 6 4 】

(表 5)

f = 10

f 1 = -7.60

50

$f_2 = 200$
 $= 20x$
 $NA (\text{物体側}) = 0.3$
 $NA (\text{像側}) = 0.015$
 $d_0 = 30.60$
 $D = 6$
 $h_{doe} = 6.22$
 $d_{oe} = 23.83 [^\circ]$

m	r	d	n d	d	
1	234.314	3.50	1.589	61.2	10
2	-25.703	0.15			
3	28.645	1.00	1.785	25.7	
4	16.720	5.20	1.498	82.5	
5	-66.437	0.15			
6	15.752	1.00	1.835	42.7	
7	11.342	5.00	1.589	61.2	
8	121.523	0.95			
9	0.000	2.50	1.517	64.1	
10	0.000	0.06	1.557	50.2	20
11	0.000	0.00	10001.000	-3.5	
12*	0.000	0.06	1.528	34.7	
13	0.000	3.00	1.517	64.1	
14	0.000	0.50			
15	9.002	3.35	1.564	60.7	
16	-39.060	1.00	1.804	39.6	
17	5.900	2.90			
18	-13.735	1.90	1.785	25.7	
19	-5.202	1.00	1.640	60.1	
20	15.201	136.30			30
21	75.043	5.10	1.623	57.0	
22	-75.043	2.00	1.750	35.2	
23	1600.580	7.50			
24	50.256	5.10	1.668	42.0	
25	-84.541	1.80	1.613	44.4	
26	36.911	5.50			
27	0.000	30.00	1.569	56.0	
28	0.000	143.82			

回折光学面データ

第 1 2 面 = 1 $A_2 = -5.6000E-08$ $A_4 = 3.2897E-10$
 $A_6 = -4.1539E-12$ $A_8 = 2.0125E-14$

条件対応値

(1) 左辺 | | (0 次) = $0.91 [^\circ]$ | | (2 次) = $0.90 [^\circ]$
 右辺 = $0.57 [^\circ]$
 (2) 左辺 | | (0 次 - 1 次) = $0.39 [^\circ]$
 | | (2 次 - 1 次) = $0.39 [^\circ]$
 右辺 = $0.26 [^\circ]$
 (2) 右辺 = $0.23 [^\circ]$

【 0 0 6 5 】

このように、第 4 実施例では上記条件式 (1) 及び (2) を全て満たしていることが分かる。また、図 1 1 に、この第 4 実施例における、0 次光及び 2 次光 (不要次数の光) によるスポットダイアグラムを示す。この図 1 1 に示すように、不要次数の光である 0 次光及び 2 次光は、スポットの光軸からの高さが 2 . 0 mm 以上あるため、第 4 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 4 は、像面においてこの 0 次光及び 2 次光によるフレアを目立たなくすることができる。

【 0 0 6 6 】

[第 5 実施例]

次に、第 5 実施例として図 1 2 に示す顕微鏡光学系 M S 5 について説明する。この顕微鏡光学系 M S 5 も、物体側から順に、対物レンズ O L と、第二対物レンズ I L と、プリズム P R と、から構成される。また、対物レンズ O L は、物体側から順に、第 1 レンズ群 G 1 と、回折光学素子 G D と、第 2 レンズ群 G 2 と、から構成される。さらに、第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1、両凸レンズ L 2 と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 3 とを接合した接合レンズ、両凸レンズ L 4、及び、両凸レンズ L 5 と両凹レンズ L 6 と物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 7 とを接合した接合レンズから構成される。また、回折光学素子 G D は、物体側から順に、平板状の光学ガラス L 8、それぞれ異なる樹脂材料から形成された 2 個の光学部材 L 9、L 1 0、及び、平板状の光学ガラス L 1 1 がこの順で接合され、光学部材 L 9、L 1 0 の接合面に回折格子パターン (回折光学面) が形成されている。すなわち、この回折光学素子 G D は、密着複層型の回折光学素子である。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、両凸レンズ L 1 2 と両凹レンズ L 1 3 とを接合した接合レンズ、及び、両凹レンズ L 1 4 と両凸レンズ L 1 5 と両凹レンズ L 1 6 とを接合した接合レンズから構成される。さらに、第二対物レンズ I L は、物体側から順に、両凸レンズ L 1 7 と両凹レンズ L 1 8 とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズ L 1 9 と両凹レンズ L 2 0 とを接合した接合レンズから構成される。なお、プリズム P R は両端が平面の光学ガラスで構成される。

【 0 0 6 7 】

このように図 1 2 に示した第 5 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 5 の諸元を表 6 に示す。なお、表 6 に示す面番号は、図 1 2 に示した面番号 1 ~ 3 2 と一致している。

【 0 0 6 8 】

(表 6)

$$f = 4$$

$$f_1 = -5.09$$

$$f_2 = 200$$

$$= 50x$$

$$N A (物体側) = 0.4$$

$$N A (像側) = 0.008$$

$$d_0 = 22.51$$

$$D = 3.2$$

$$h_{d o e} = 4.56$$

$$d_{o e} = 19.10 [^\circ]$$

m	r	d	n d	d
1	-120.028	3.40	1.697	55.5
2	-20.743	0.15		
3	37.941	5.35	1.498	82.5
4	-21.400	1.00	1.720	34.7
5	-39.959	0.15		
6	24.558	3.70	1.603	65.5

10

20

30

40

50

G 1 と、回折光学素子 G D と、第 2 レンズ群 G 2 と、から構成される。さらに、第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1、物体側に平面を向けた平凸レンズ L 2、両凸レンズ L 3 と物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 4 とを接合した接合レンズ、両凸レンズ L 5 と両凹レンズ L 6 と両凸レンズ L 7 とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズ L 8 と両凹レンズ L 9 とを接合した接合レンズから構成される。また、回折光学素子 G D は、物体側から順に、平板状の光学ガラス L 1 0、それぞれ異なる樹脂材料から形成された 2 個の光学部材 L 1 1、L 1 2、及び、平板状の光学ガラス L 1 3 がこの順で接合され、光学部材 L 1 1、L 1 2 の接合面に回折格子パターン（回折光学面）が形成されている。すなわち、この回折光学素子 G D は、密着複層型の回折光学素子である。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 1 4 と両凸レンズ L 1 5 と両凹レンズ L 1 6 とを接合した接合レンズ、及び、両凹レンズ L 1 7 と両凸レンズ L 1 8 と両凹レンズ L 1 9 とを接合した接合レンズから構成される。さらに、第二対物レンズ I L は、物体側から順に、両凸レンズ L 2 0 と両凹レンズ L 2 1 とを接合した接合レンズ、及び、両凸レンズ L 2 2 と両凹レンズ L 2 3 とを接合した接合レンズから構成される。なお、プリズム P R は両端が平面の光学ガラスで構成される。

10

【 0 0 7 1 】

このように図 1 4 に示した第 6 実施例に係る顕微鏡光学系 M S 6 の諸元を表 7 に示す。なお、表 7 に示す面番号は、図 1 4 に示した面番号 1 ~ 3 6 と一致している。

20

【 0 0 7 2 】

(表 7)

f = 2

f 1 = -3.54

f 2 = 200

= 100x

N A (物体側) = 0.6

N A (像側) = 0.006

d 0 = 12.18

D = 2.4

h d o e = 4.90

30

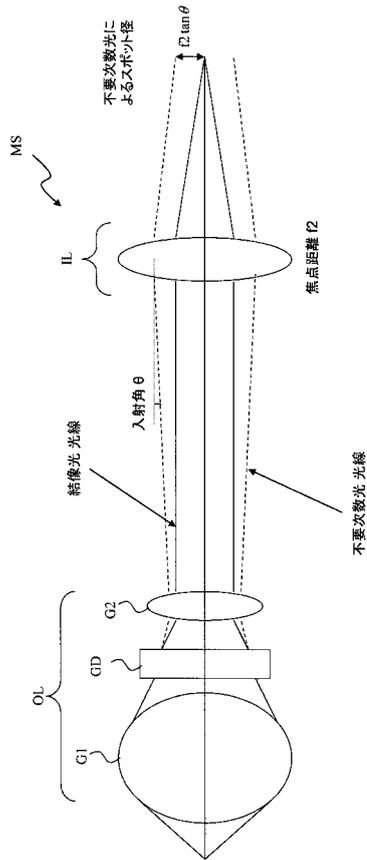
d o e = 20.34[°]

m	r	d	n d	d
1	-17.818	3.20	1.729	54.6
2	-11.600	0.10		
3	0.000	4.00	1.569	71.3
4	-20.743	0.10		
5	45.256	5.90	1.498	82.6
6	-19.170	1.20	1.613	44.3
7	-39.808	0.10		
8	29.510	4.60	1.498	82.6
9	-33.847	1.20	1.613	44.3
10	13.735	4.70	1.498	82.6
11	-80.931	0.20		
12	15.883	3.90	1.498	82.6
13	-38.548	1.00	1.723	38.0
14	38.548	1.20		
15	0.000	2.50	1.517	63.9
16	0.000	0.06	1.528	34.7
17	0.000	0.00	10001.000	-3.5

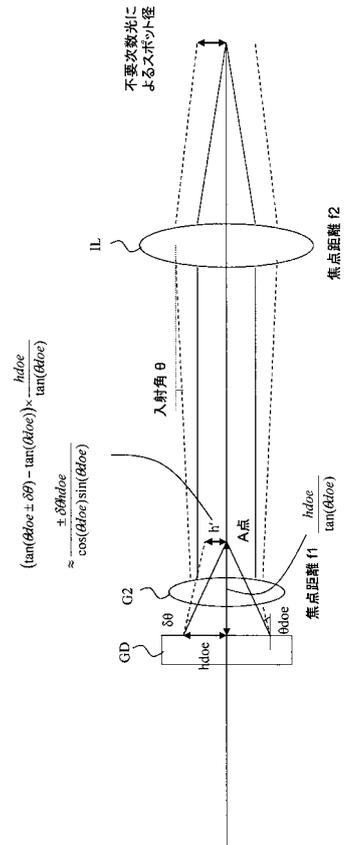
40

50

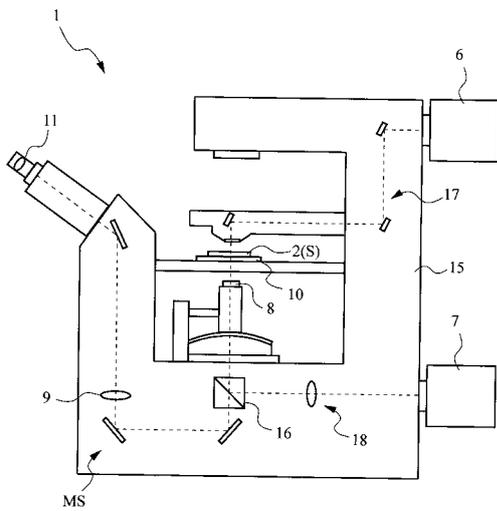
【 図 1 】



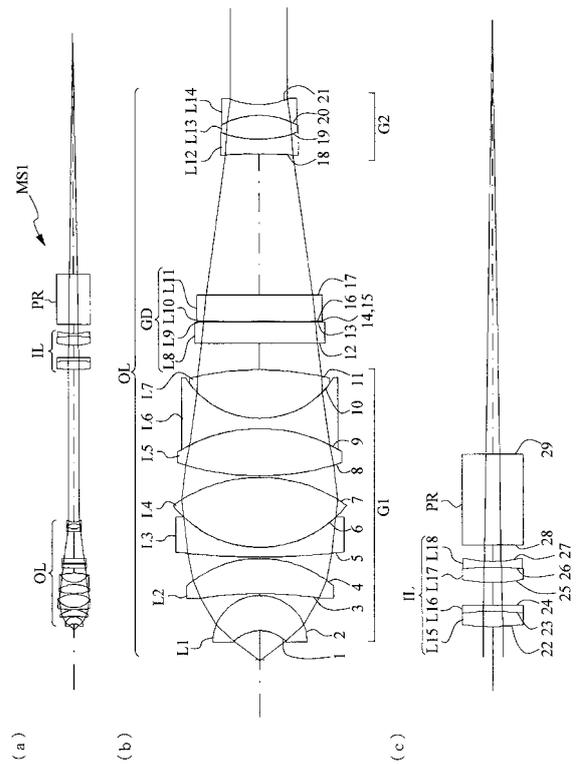
【 図 2 】



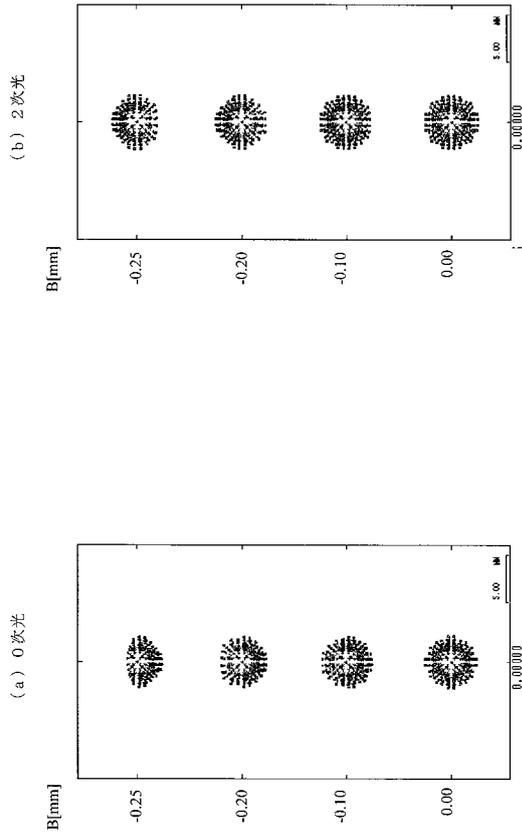
【 図 3 】



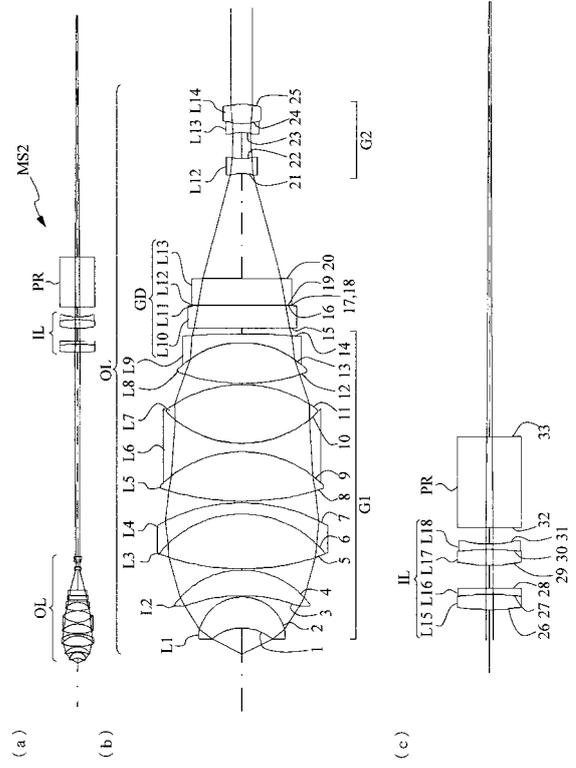
【 図 4 】



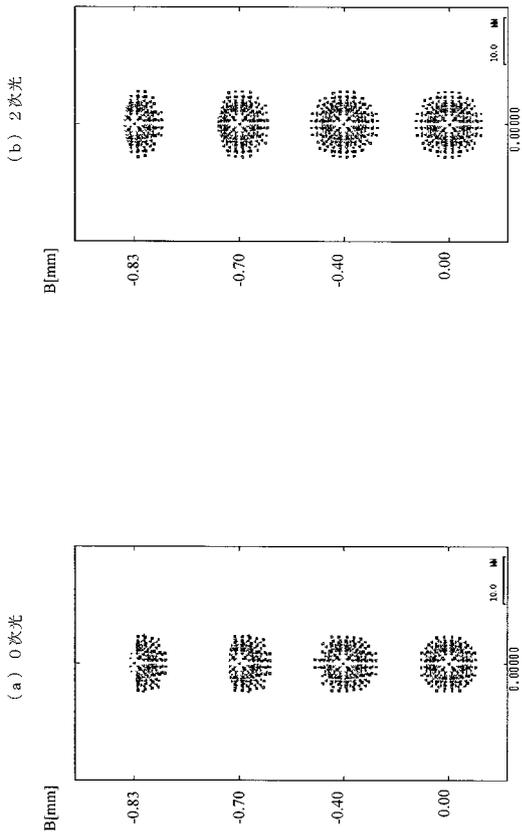
【 図 5 】



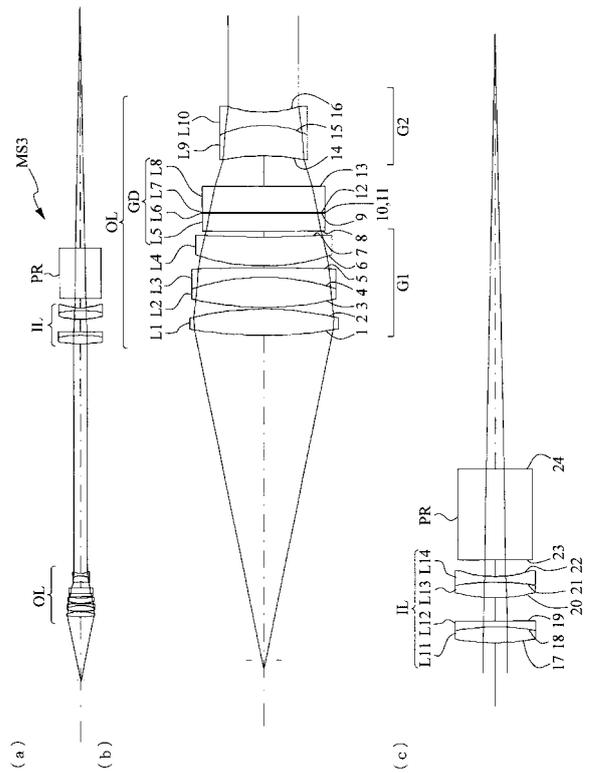
【 図 6 】



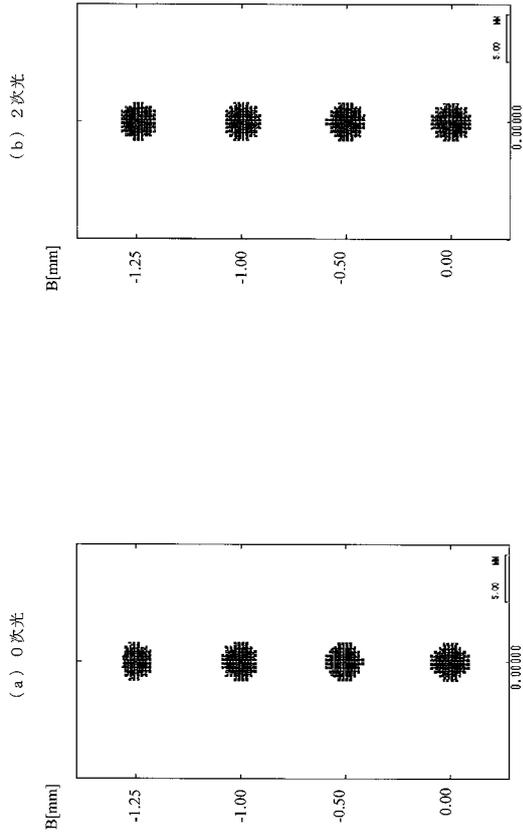
【 図 7 】



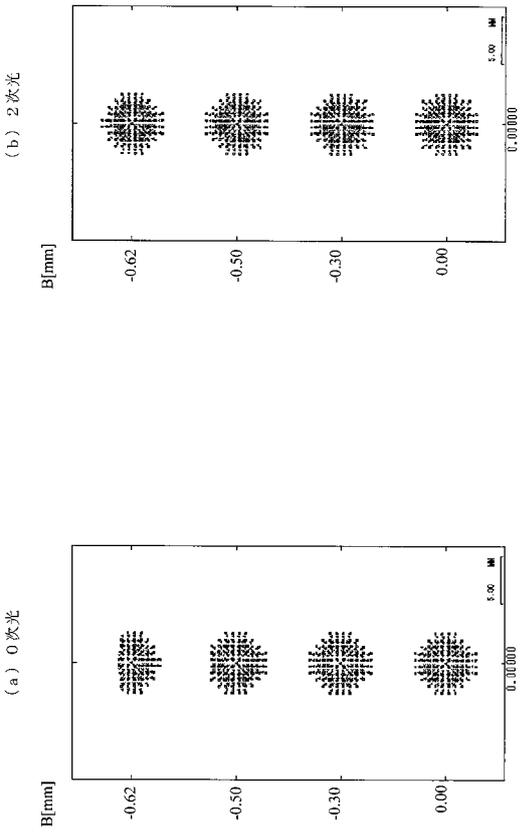
【 図 8 】



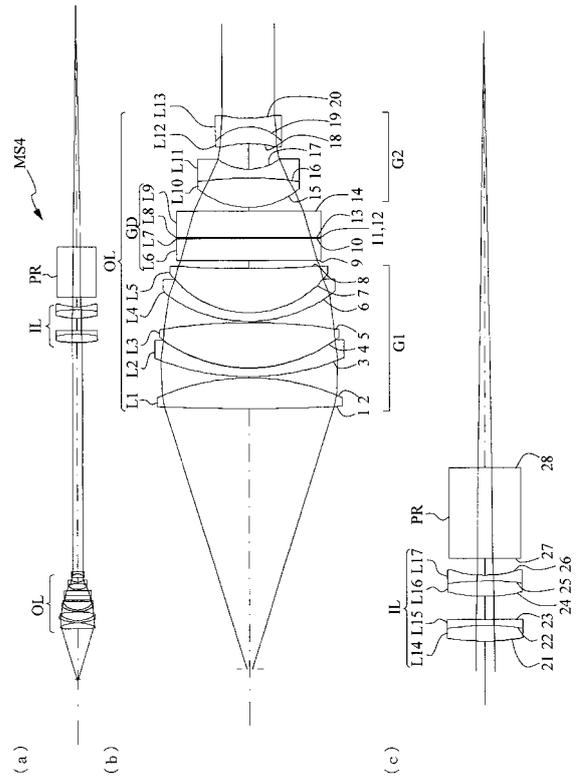
【 図 9 】



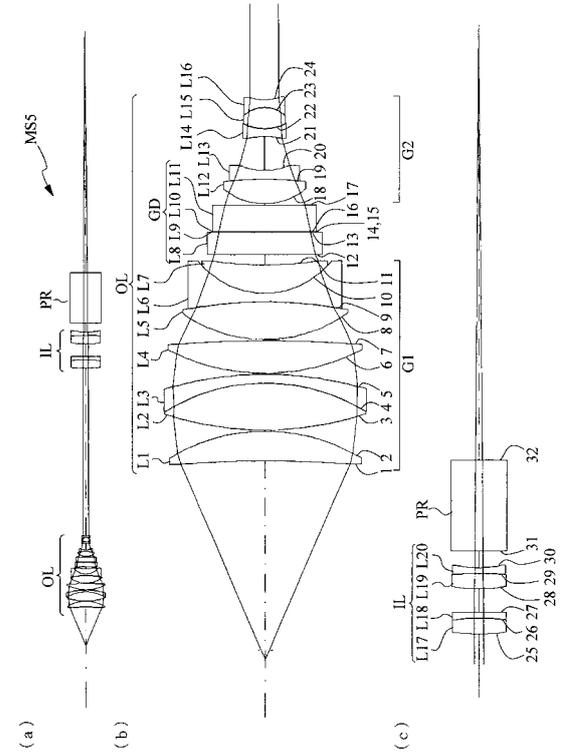
【 図 1 1 】



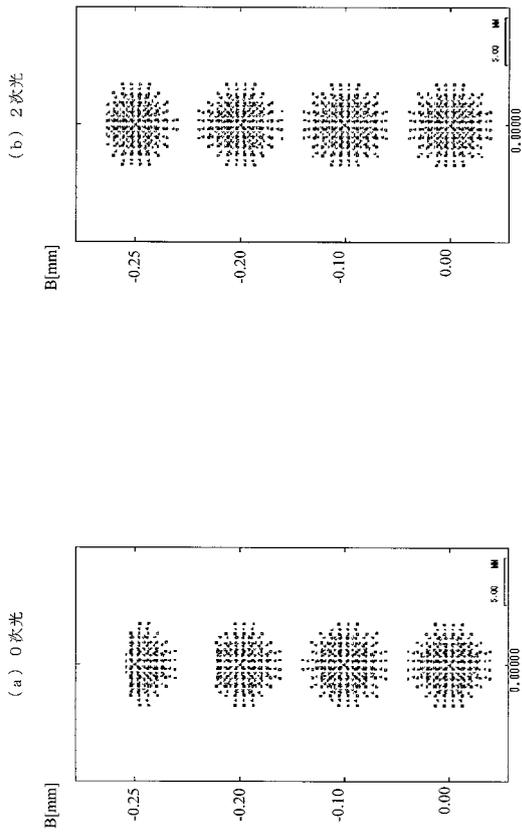
【 図 1 0 】



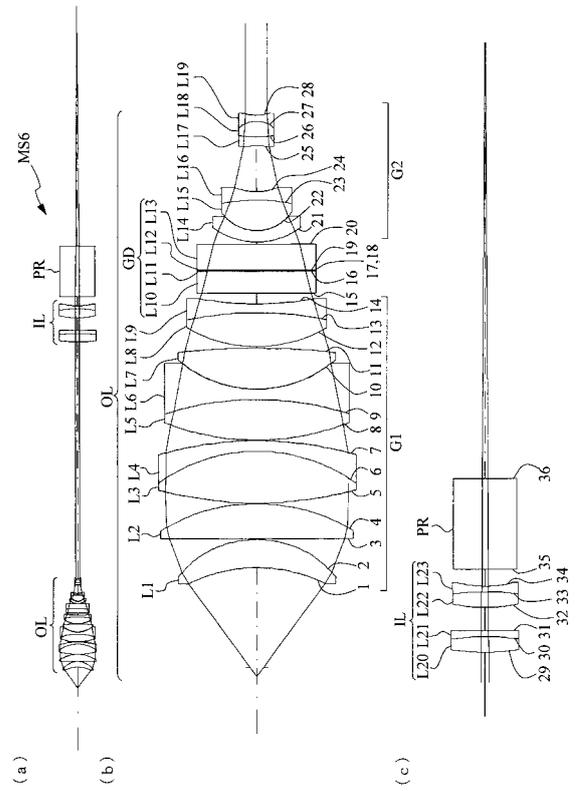
【 図 1 2 】



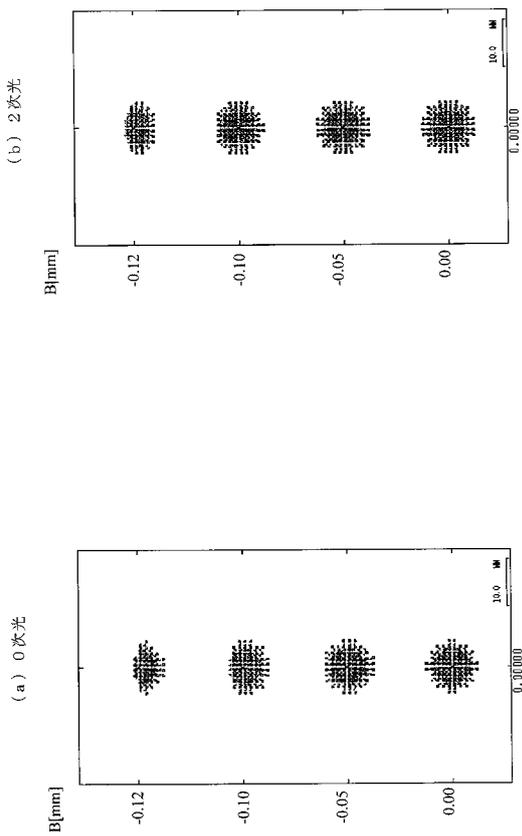
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【手続補正書】

【提出日】平成25年5月29日(2013.5.29)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

回折光学素子を有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズと、前記対物レンズからの略平行光束を集光して前記物体の像を結像する第二対物レンズと、を有し、

結像に前記回折光学素子のm次光を使用する場合に、光軸上に位置する前記物体から出た最大NAの光が前記回折光学素子に入射して当該回折光学素子から射出する前記m次光とは異なる次数の光が前記第二対物レンズに入射する角度を θ とし、前記第二対物レンズへの入射瞳の直径をD[m m]としたとき、次式

【数10】

$$|\theta| > \tan^{-1}(0.06/D)$$

の条件を満足することを特徴とする顕微鏡光学系。

【請求項2】

回折光学素子を有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズと、前記対物レンズからの略平行光束を集光して前記物体の像を結像する第二対物レンズと、を有し、

光軸上に位置する前記物体から出た最大NAの光が前記回折光学素子に入射して当該回折光学素子から射出する回折光のうち、結像に使用する次数の光の射出角度と不要次数の光の射出角度との差を $\delta\theta$ とし、前記結像に使用する次数の光の射出する高さを h_{doe} 、射出する角度を θ_{doe} とし、前記第二対物レンズへの入射瞳の直径をD[m m]とし、前記対物レンズを構成するレンズのうち前記回折光学素子より像側にあるレンズからなるレンズ群の焦点距離をf1としたとき、次式

【数11】

$$|\delta\theta| > \left| \frac{0.054 f1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right|$$

の条件を満足することを特徴とする顕微鏡光学系。

【請求項3】

前記回折光学素子は、密着複層型の回折光学素子であることを特徴とする請求項1または2に記載の顕微鏡光学系。

【請求項4】

前記回折光学素子は、異なる屈折率を有する樹脂層同士の接合面に回折格子パターンが形成されており、前記樹脂層の各々は平面基板上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光学系。

【請求項5】

前記対物レンズを構成するレンズのうち前記回折光学素子より像側にあるレンズからなるレンズ群は、負の屈折力を有することを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の顕微鏡光学系。

【請求項6】

物体を載置するステージと、

前記物体を照明する照明光学系と、

前記物体からの光を集光して当該物体の像を結像する請求項1～5のいずれか一項に記

載の顕微鏡光学系と、を有することを特徴とする顕微鏡システム。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

また、第2の本発明に係る顕微鏡光学系は、回折光学素子を有し、物体からの光を集光して略平行光束にする対物レンズと、この対物レンズからの略平行光束を集光して物体の像を結像する第二対物レンズと、を有し、光軸上に位置する物体から出た最大NAの光が回折光学素子に入射して当該回折光学素子から射出する回折光のうち、結像に使用する次数の光の射出角度と不要次数の光の射出角度との差を θ とし、結像に使用する次数の光の射出する高さを h_{doe} 、射出する角度を θ_{doe} とし、第二対物レンズへの入射瞳の直径を D [mm] とし、対物レンズを構成するレンズのうち回折光学素子より像側にあるレンズからなるレンズ群の焦点距離を f_1 としたとき、次式

【数2】

$$|\delta\theta| > \left| \frac{0.054 f_1}{h_{doe} D} \cos(\theta_{doe}) \sin(\theta_{doe}) \right|$$

の条件を満足することを特徴とする。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2011/068647
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02B21/02(2006.01)i, G02B21/06(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) G02B21/02, G02B21/06 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 1996-2011 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011 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 2009-251554 A (Nikon Corp.), 29 October 2009 (29.10.2009), entire text; all drawings & US 2011/0102899 A & EP 2264506 A1 & WO 2009/125778 A1 & CN 101999090 A	1-6
A	JP 11-95174 A (Nikon Corp.), 09 April 1999 (09.04.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 5-27179 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 05 February 1993 (05.02.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 04 November, 2011 (04.11.11)		Date of mailing of the international search report 15 November, 2011 (15.11.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer Telephone No.
Facsimile No.		

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2011/068647									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02B21/02(2006.01)i, G02B21/06(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. G02B21/02, G02B21/06											
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2011年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2011年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2011年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2011年	日本国実用新案登録公報	1996-2011年	日本国登録実用新案公報	1994-2011年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2011年										
日本国実用新案登録公報	1996-2011年										
日本国登録実用新案公報	1994-2011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 2009 - 251554 A (株式会社ニコン) 2009.10.29, 全文全図 & US 2011/0102899 A & EP 2264506 A1 & WO 2009/125778 A1 & CN 101999090 A	1-6									
A	JP 11 - 95174 A (株式会社ニコン) 1999.04.09, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6									
A	JP 5 - 27179 A (富士写真フイルム株式会社) 1993.02.05, 全文全図 (ファミリーなし)	1-6									
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> 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 04.11.2011		国際調査報告の発送日 15.11.2011									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 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) 井上 信	2V 3309								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3271									

 フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, 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

Fターム(参考) 2H087 KA09 LA01 NA14 NA18 PA07 PA08 PA09 PA10 PA16 PB12
 PB15 PB16 PB18 PB20 QA02 QA03 QA06 QA07 QA12 QA14
 QA21 QA22 QA25 QA26 QA34 QA39 QA41 QA42 QA46 RA41
 RA42 RA46 UA01
 2H249 AA03 AA14 AA50 AA53 AA55

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。