

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5525136号
(P5525136)

(45) 発行日 平成26年6月18日(2014.6.18)

(24) 登録日 平成26年4月18日(2014.4.18)

(51) Int.Cl.
G02B 21/06 (2006.01)

F I
G02B 21/06

請求項の数 9 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-46088 (P2008-46088) (22) 出願日 平成20年2月27日 (2008.2.27) (65) 公開番号 特開2008-250303 (P2008-250303A) (43) 公開日 平成20年10月16日 (2008.10.16) 審査請求日 平成23年2月2日 (2011.2.2) (31) 優先権主張番号 102007015063.8 (32) 優先日 平成19年3月29日 (2007.3.29) (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)</p>	<p>(73) 特許権者 506151659 カール ツァイス マイクロスコピー ゲーエムベーハー CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH ドイツ連邦共和国 07745 イェナ カール-ツァイス-プロメナーデ 10 (74) 代理人 100068755 弁理士 恩田 博宣 (74) 代理人 100105957 弁理士 恩田 誠 (74) 代理人 100142907 弁理士 本田 淳</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シート光を発生するための光学装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

選択的平面照明顕微鏡 (S P I M) において、3次元標本 (1) を照明するためのシート光 (3) を発生するための光学装置であって、

1つの光束 (5) を放射するための1つの光源と、

該光束 (5) を、該光束 (5) と垂直な座標の X 方向に延びる厚さ (d) と、Y 方向に延びる幅 (b) とを有する断面と、前記光束 (5) に沿った座標の Z 方向に延びる、少なくとも標本の全体寸法に亘る長さ (L) とを有する1つのシート光 (3) の形状に変換するための複数の光学素子と

を有する光学装置において、

光束成分が異なる向きで標本に当たるように、該シート光内の光束成分の向きを Y 方向において変更する手段

を備えることを特徴とする光学装置。

【請求項 2】

前記光源が、コヒーレント光の1つの光束 (5) を放射し、この光束 (5) の経路中に、

1つのコリメータ (6) と、

パウエル・レンズの形態をとる1つの非球面光学素子 (7) と、

1つの視野絞り面 (9) を実現するための1つのレンズまたはレンズ群 (8) と、

1つの開口絞り面 (11) を実現するための1つのレンズまたはレンズ群 (10) と

が設けられることを特徴とする、請求項 1 に記載の光学装置。

【請求項 3】

シート光内の光束成分の向きを変更するために、1つのウォブル板(22)が存在する、請求項2に記載の光学装置。

【請求項 4】

シート光内の光束成分の向きを変更するために、1つのスイング・ミラー(23)、または1つのポリゴン・スキャナが設けられる、請求項2に記載の光学装置。

【請求項 5】

前記光源が、空間的に部分的にコヒーレントな光の1つの光束(5)を放射し、この光束(5)の経路中に、2つの1次元円柱レンズ・アレイ(24、25)及び1つのコリメーション光学系(37)を含む1つの円筒形のハニカム・コンデンサが配置され、横コヒーレンス長が、前記各円柱レンズ・アレイ(24、25)の周期よりも短くなっている、請求項1に記載の光学装置。

10

【請求項 6】

前記空間的に部分的にコヒーレントな光を発生するために、1つの広帯域レーザ(26)の形態をとる、時間的に部分的にコヒーレントな1つの光源が設けられ、該広帯域レーザ(26)に、1つのグリッド(27)、プリズム、または階段状ミラーの形態をとる1つの分光素子が後置される、請求項5に記載の光学装置。

【請求項 7】

前記光源が、複数の個別レーザ光源(28)から成る1つのアレイによって構成され、該アレイに、1つの円柱レンズ(29)または1つのグリーン・レンズが後置される、請求項1に記載の光学装置。

20

【請求項 8】

前記複数の光学素子は、光束(5)のシート光の形状への変換に加えて、同時に断面の1つの向きへの均質化作用と、該断面と直交する面への合焦作用とを併せもつ1つのグリーン・レンズの形態をとる1つの微小光学素子(30)が設けられている、請求項1に記載の光学装置。

【請求項 9】

前記光源が、コヒーレント光の1つの光束(5)を放射し、該光束(5)の経路中に、楕円形の断面を有する1つの光束を発生するための、1つのテレスコープ式円柱レンズ(31)の形態をとる1つのアナモルフィック光学系と、その後続く、この光束の走査運動を発生するための、1つのスイング・ミラー(32)の形態をとる1つの偏向機構、走査後の光束を通過させて前記標本に向ける1つの集束レンズまたはレンズ群(12)が設けられる、請求項1に記載の光学装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特に選択的平面照明顕微鏡(SPIM)において、3次元標本の様々な断層面の個別照明に適した、1つの光束を放射するための1つの光源と、この光束をシート状の光に変換するための複数の光学素子とを有する、光学装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

3次元標本が、深度が異なる個々の断層面内でスポット毎に走査され、その際に得られた画像情報が、続いてこの標本の3次元画像に合成される、共焦点レーザ走査型顕微鏡(LSM)とは異なり、SPIM技術は、広視野顕微鏡検査法を基礎とし、標本の個々の断層面をスライスする光学的断面に基づいた標本の画像描写を可能とする技術である。

【0003】

SPIM技術の長所は、とりわけ、画像情報の検出が高速で行われる点、生体標本の退色の怖れが僅かである点、ならびに、焦点の標本への侵入深さが拡大される点にある。

原理的にSPIM技術においては、標本自体に含まれる蛍光、またはコントラスト調整

50

のために標本内に挿入された蛍光が、レーザ光によって励起され、その際にレーザ放射が、いわゆる「シート光」に形成される。このシート光により、標本の深部に位置する選択された断層面が1つずつ照明され、撮像光学系によって、光学的断面の形態をとるこの標本断層面の画像が得られる。

【0004】

このシート光の幾何形状を明確にするために、本発明との関連においては、シート光が、レーザ光の照射方向に対して垂直な座標のX、Y方向に広がる断面と、照射方向に沿った座標のZ方向に延びる長さを有すると仮定する。

【0005】

ここでは、照明される標本断層面の撮像または観察に使用される対物レンズの光軸が、座標のZ方向に対して垂直な向きに合わせられる。

10

S P I M技術との関連で、シート光を発生するための光学装置が記載されている（例えば、特許文献1および2参照）。

【0006】

これらの構成によって生じるのは、X座標軸の向きの長さに相当する厚さを変更することができない、不変式のシート光だけである。特に標本の同じ断層面を、光学的撮像特性が異なる様々な対物レンズを用いて、時間的に連続して撮像する場合は、この事情が短所となっている。

【0007】

そのような場合には、標本の興味がある断層面だけが実際に照明され、この断層面以外の標本物質の望ましくない退色が回避されるようにするために、その時々で使用される対物レンズにシート光の幾何形状を適合させる、特にその厚さを適合させることが可能であることが望ましい。そうすることによって、シート光の被写界深度も、その時々を観察される被写界に適合させることができる。

20

【0008】

それ以外にも、上述の構成の場合は、それを用いて発生されるシート光が、その断面においてガウス曲線の強度分布を有しており、このため調査対象である標本断層面の均一な照明が不可能である点が短所となっている。

【0009】

また、1つの線状の光照射野と、観察対象である標本との間の相対運動に基づき、シート光様の照明面を発生させる方法が記載されている（例えば、特許文献3参照）。このシート光様の照明面は、光照射野を相対運動に基づいて時間的に連続して何重にも互いに相接して並べることによって生じる。その場合、標本の調査対象である断層面の内部に、照明方向に沿って位置する、標本物質の照明光を透過しない部分に起因して影が形成される点が、短所となっている。

30

【0010】

さらに、1つの線形ファイバ・アレイとこれに後置される円柱レンズを用いた、線状の照明パターンの発生方法が記載されているが、いずれにせよ、その場合も、シート光の幾何形状を変更するのは不可能である（例えば、特許文献4参照）。

【0011】

また、1つのパウエル・レンズを用いたシート光の形成方法が記載されている（例えば、特許文献5参照）。このパウエル・レンズは、1つの座標軸の向きに沿った1つの非球面レンズ面と、これと直交する座標軸の向きに沿った1つの平レンズ面とを有しており、それにより、1つの光束から、ほぼ均質化された1つの線状の光照射野が形成され、シート光として利用できるようになっている。いずれにせよ、このシート光の幾何形状も同様に、その厚さおよび長さを変更するのは不可能であるため、光学特性が互いに異なる様々な対物レンズを使用する際に、調査対象である標本断層面の最適照明は、この場合も不可能である。

40

【0012】

上述の構成はいずれも、標本の調査対象である断層面の内部に、照明の方向に位置する

50

、標本物質の照明光を透過しない部分に起因して、望ましくない影が形成される点が短所となっている。

【特許文献1】独国特許出願公開第10257423号明細書

【特許文献2】独国特許出願公開第102005027077号明細書

【特許文献3】国際公開第2004/0530558号パンフレット

【特許文献4】欧州特許第0248204号明細書

【特許文献5】米国特許第4826299号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

以上のような現況技術を出発点として、本発明の目的は、標本の個々の断層面を、これまでに知られている装置よりも効率よく観察できるようにする、シート光を発生するための光学装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明によれば、冒頭で記した種類のシート光を発生するための光学装置においては、光束成分が異なる向きで標本に当たるように、該シート光内の光束成分の向きをY方向において変更する手段が設けられる。

【0015】

それにより、種類が異なる複数の対物レンズを用いて同じ標本断層面を観察する際に、それぞれの照明条件にシート光の幾何形状を適合させることが可能になるとともに、必要な場合には、観察される標本断層面の内部に照明に起因して形成される影の低減も達成されるようになる。

【0016】

本発明による第1の実施形態の装置においては、1つのコヒーレント光束を放射する1つの光源が存在し、この光束の経路内に、

- 1つのコリメータ、
- 1つの非球面光学素子、
- 1つの視野絞り面を実現するための1つのレンズまたはレンズ群、
- 1つの開口絞り面を実現するための1つのレンズまたはレンズ群

が設けられている。

【0017】

その際、まずコリメータによって平行な光束が発生され、次いで、この平行な光束が非球面光学素子によってシート光の形状に変換される。非球面光学素子としては、例えばパウエル・レンズが考慮される。

【0023】

シート光内の光束成分の向きを変更するために、既にシート光に形成されているビーム経路の1つの瞳面に、1つのいわゆるウォブル板が配置され、あるいは、視野絞り面と共役な1つの面に、1つのスイング・ミラー、または1つのポリゴン・スキャナが配置される。

【0024】

ウォブル板またはポリゴン・スキャナによって発生される偏向運動に基づいて、シート光のそれぞれの放射成分が、時間的に相前後して向きを変えながら標本物質に当たるように、それぞれの放射成分の向きに影響が及ぼされ、その結果、非透過性の標本物質による、照明される標本断層面の内部のシャドウイングが回避されるか、または少なくとも十二分に低減されるようになる。

【0025】

本発明による第2の実施形態の装置においては、空間的に部分的にコヒーレントな光束を放射する1つの光源が存在し、この光束の経路内に、1つまたは2つの円柱レンズ・アレイ、ならびに、1つの固定式または可変式のコリメーション光学系が配置されており、

10

20

30

40

50

その際に、横コヒーレンス長が、円柱レンズ・アレイの周期よりも短くなっている。

【0026】

それにより、この光束がシート光の形状に変換されるとともに、個々の放射成分の向きに、これらが互いに平行に標本物質に当たることがないように、影響が及ぼされるようになり、それにより、非透過性の標本物質による、照明される標本断層面の内部のシャドウイングが回避されるか、または少なくとも十二分に低減されるようになる。

【0027】

その場合、これらの円柱レンズ・アレイが、1つの平面内、例えばY-Z面内でハニカム・コンデンサの機能を果たし、その際に、第1のアレイによって発生された個々の放射成分ないしは部分開口が、第2のアレイおよびコリメーション光学系を用いて、または用いずに、視野絞り面内で空間的に重なり合うようになっている。第2アレイが存在する場合は、存在しない場合よりも、視野絞り面内の強度分布がより均質になる。可変式コリメーション光学系により、シート光の幾何形状を適合させることができ。

【0028】

空間的に部分的にコヒーレントな光は、例えば、広帯域レーザなど、時間的に部分的にコヒーレントな1つの光源を用いて発生され、そのビーム経路には、空間コヒーレンスを低減する目的で1つの分光素子が配置されている。分光素子としては、グリッド、プリズム、あるいはまた階段状ミラーも考慮される。

【0029】

本発明による第3の実施形態の装置においては、光源が、複数の個別レーザ光源から成る1つのアレイによって構成されている。その後方には、アレイ全体にわたって延びる1つの円柱レンズまたは1つのグリーン・レンズ、ならびに1つのコリメーション光学系が配置されている。その際、所望のシート光の全体が、どのレーザ光源によっても、完全に照明されるようになっている。Y-Z面内のシート光の幅は、それぞれのレーザ光源の放射開口と、コリメーション光学系の焦点距離とによって決まる。X-Z面内のシート光の厚さは、それぞれのレーザ光源の放射開口と、円柱光学系ならびにコリメーション光学系の焦点距離とによって決まる。これらのレーザ光源の空間的配置により、標本断層面が、それぞれのレーザ光源によって異なる角度で照明され、その結果、上記で述べたように、標本断層面の内部のシャドウイングが回避されるか、または少なくとも十二分に低減されるようになる。

【0030】

グリーン・レンズの場合は、従来型の集束レンズとは異なり、レンズ材料の内部で屈折率が連続的に変化することにより、焦点距離に影響が及ぼされるようになっている。

本発明による第4の実施形態の装置においては、1つのコヒーレント光源から発し、1つの光ファイバから出射される光束中に、この光束をシート光の形状に変換するための1つの微小光学素子が組み込まれている。

【0031】

この微小光学素子は、光束のシート光の形状への変換に加えて、同時に断面の1つの向きへの均質化作用と、断面と直交する向きへの合焦作用とを併せもつ1つのグリーン・レンズの形態に構成された微小光学系でよい。

【0032】

本発明による第5の実施形態の装置にも、1つのコヒーレント光束を放射する1つの光源が設けられ、その経路中に、

- 楕円形の断面を有する1つの光束を発生するための、例えばテレスコープ式円柱レンズの形態をとる、1つのアナモルフィック光学系、
- この光束の走査運動を発生するための、例えばスイング・ミラー、ポリゴン・スキャナ、またはデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)の形態をとる、1つの偏向機構、
- 走査された光束を通過させて標本に向ける、1つの集束レンズまたはレンズ群が設けられている。

10

20

30

40

50

【0033】

DMDは、それ自体としては公知であるように、極めて急速に個別に傾斜させることができる約50万個の微視的な超小型ミラーによって構成される。

この構成により、標本の内部に集束される、楕円形の断面を有する光束を、走査運動に基づいて、時間順に何重にも互いに相接して並べることにより、シート光様の照明面が発生されるようになる。互いに相接して並べられる、集束された個々の光束により、シート光の幾何形状がもたらされる。

【0034】

照明される標本断層面の内部の非透過性の標本物質によるシャドウイングの回避または低減は、本発明による実施形態の装置においては、既にも上記で述べたように、個々の放射成分の向きに影響を及ぼす、テレスコープ式円柱レンズによって達成される。

10

【0035】

以下では、本発明を幾つかの例示的实施形態に基づいて詳しく説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

選択的平面照明顕微鏡(SPIM)の原理を手短かに説明するために用いる、「従来技術」と掲記される図10において、標本1、例えば生体物質は、1つの透明ゲル2によって取り囲まれている。この標本は、図10の平面内にも、また、図10の平面に対して垂直な向きにも延びている、3次元標本1である。ゲル2は、図10の平面に対して垂直に延びる回転軸を有する円筒形に成形されているものと仮定する。

20

【0037】

上記で既に述べたように、SPIM技術においては、個々の標本断層面をスライスする複数の光学的断面に基づいて、標本の様々な3次元画像が得られるようになっている。観察対象である標本1の断層面が、図10の平面内で厚さdを有すると仮定する。

【0038】

この断層面を観察できるようにするためには、例えば長さlと、この長さlの全体にわたって可能な限り同じである、図10の平面内の厚さdとを有し、図10の平面に対して垂直に、少なくとも標本1のこの向きの寸法全体にわたって延びる1つのシート光3が必要である。

【0039】

本明細書の発明の詳細な説明に関連して、シート光3の長さlが座標のZ方向に、その厚さdが座標のX方向に、さらに、その幅bが図10の平面に対して垂直に、座標のY方向に延びるものと想定する。その場合、座標のZ方向が同時に、照明ビーム経路の向きと一致している。

30

【0040】

図1には、本発明による第1の実施形態の装置が示されている。その場合、(図示されない)1つの光源からコヒーレント光が放射され、1つの光ファイバ4から光束5として出射され、1つのコリメータ6を通り抜けて、1つの非球面素子7に向けられる。

【0041】

光束5は、非球面素子7を通過する際に、図1aに示されるY-Z面内で拡散され、一方、光束5は、図1bに示されるX-Z面内では、実質的に不変のまま、非球面素子7を通過する。

40

【0042】

この形状変化により、シート光3の、座標のX方向の厚さdと、座標のY方向の幅bとがもたらされる。

図1aおよび図1bにさらに示されるように、シート光3として形成された照明ビーム経路は、まず、1つの視野絞り面9を実現するように構成された1つのレンズ群8、例えば1つの色消しレンズを通過し、その後、1つの開口絞り面11を実現するためにもう1つのレンズ群10を通過し、最後に、集束光学系として構成された第3のレンズ群12を通過し、シート光3はそれを通過して標本1の内部に向けられる。

50

【0043】

ここで、視野絞り面9内に1つの視野絞り13が置かれている場合は、この視野絞り13の絞り開口により、シート光3の幾何形状は、その幅bに関して定義されることになる。開口絞り面11内に置かれた1つの開口絞り14が、その絞り開口により、シート光3の厚さdおよび長さ1を決定する。

【0044】

このように、一定の絞り開口を有する1つの視野絞り13と、一定の絞り開口を有する1つの開口絞り14とを用いて、シート光3の断面および長さ1を、標本1の選択された断層面を観察するために利用される1つの対物レンズに適合させることができる。

【0045】

標本1の同じ断層面を観察するために、同じ断層面を例えば別の倍率で観察できるように、この対物レンズを別の対物レンズと交換する場合、本発明によれば、

- 現在使用中の視野絞り13を、この第2の対物レンズに合わせて調整された絞り開口を有する別の視野絞り13と交換すること、または、
- 現在使用中の開口絞り14を、この交換後の対物レンズに合わせて調整された絞り開口を有する別の開口絞り14と交換すること、または、
- 同時に両方の絞り13、14を交換することにより、交換後の対物レンズに、シート光の断面および長さ1を適合させ、それにより標本1の選択された断層面の効率的な観察を可能にすること

が企図されている。

【0046】

その場合、既述のように、非球面光学素子7を用いてシート光がアナモルフィックに生成される場合は、被写界深度範囲が、集束された光束の開口数の2乗の逆数に関係するため、シート光3の厚さdおよび長さ1を互いに独立に調整することは不可能となる。

【0047】

これらの絞り13、14は、手動で交換することも、自動的に交換することも考えられるが、後者の場合は、例えばそれぞれが駆動装置に連結されている交換用の回転円板に、複数の絞り13、14が配置され、これらの駆動装置が1つの動作制御ユニットに連結され、そこから、交換後の対物レンズの特性に応じて発生される調整命令が出力される。

【0048】

図2には、本発明による第1実施形態の装置の変形形態が示されており、ここではシート光3の幾何形状に影響を及ぼすために、視野絞りおよび開口絞りの代わりに1つのズーム光学系が設けられ、これは、ここでは1例として、複数のレンズ群15、16および17によって構成される。

【0049】

わかりやすくするために、図2においては、同じ光学アセンブリに対して、図1で使用した符号と同じ符号が使用されている。ここでも、図1と同様に、Y-Z面が図2aに、X-Z面が図2bに示されている。

【0050】

光束5をシート光2の形状に変化させるために、図2に示される変形形態においても、図1と同様に、1つの非球面素子7が設けられ、これには、1つの視野絞り面を実現するために、1つのレンズ群8、好ましくは1つの色消しレンズが後置されており、その際、この視野絞り面のところで、断面のビーム強度が均質化された1つのシート光3が生じる。この視野絞り面は、例えば1つのレンズ18の直前に位置している。シート光3は、1つのレンズ19、およびズーム光学系のそれぞれのレンズ群15、16および17を用いて、被写体面に投射され、それにより標本1の内部に投射される。

【0051】

ズーム光学系により、例えばレンズ群15および17を軸方向に変位させることにより、ズームの焦点距離を変更することによって、シート光3の幾何形状に影響を受ける。それぞれのレンズ18~21が、ズーム光学系の内部に正しい瞳の位置をもたらすとともに

10

20

30

40

50

、Y-Z断面において、視野絞り面内における十二分にコリメートされたビームの走行を
保証する。この変形実施形態においては、レンズ20および21が、円柱レンズとして構
成されている。

【0052】

図3には、これまで図1および図2に関して説明した、本発明による第1実施形態の装
置の、修正を加えた別の変形形態が示されている。ここでも、同じ構成部品に対して同じ
符号が使用されている。

【0053】

ここには、Y-Z面の断面だけが示されているが、X-Z面については、図1および図
2に類似した断面が得られるので、ここでは図示を省略した。

図1および図2に示される変形形態に対する相違点および補足点として、図3に示され
る変形形態においては、標本1の内部の影の形成を低減するための1つの機構が設けられ
ている。影の形成が低減されることにより、観察される標本断層面の内部で、照明放射の
向きで、照明光を透過しない標本粒子の後方に位置する標本物質が、これらの標本粒子の
影で暗くなることが回避されることになる。

【0054】

これに関連して、図3から明らかなように、シート光3は、視野絞り13およびレンズ
群10を通過した後、シート光3に形成された照明ビーム経路の1つの瞳面内に位置す
る、1つのウォブル板22に当たる。このウォブル板の振動運動に基づいて、シート光3
のそれぞれの放射成分が、時間的に相前後して向きを変えながら、または異なる角度で、
標本物質に当たるように、各放射成分の向きに影響を及ぼし、それによって、非透過性の
標本物質の背後が照明されて、照明される標本断層面の内部の、これらの標本物質による
シャドウイングが回避され、少なくとも部分的に低減されるようになる。

【0055】

これまで図1から図3に基づき説明した本発明による第1実施形態に関係する、影を低
減するためのもう1つの変形形態が、図4に示されている。ここでは、視野絞り面9と共
役な1つの面に、1つのスイング・ミラー23が配置されている。このスイング・ミラー
23も、図3のウォブル板と同様に、その振動運動に基づいて、シート光3の各放射成分
の向きに、これらがいずれも異なる向きで標本物質に当たるように、影響を及ぼす。

【0056】

図5に示されている、本発明による第2の実施形態の装置は、前提として、空間的に部
分的にコヒーレントな1つの光束を放射する1つの光源を必要とする。この(図示されて
いない)光源から発する光の経路中に、2つの円柱レンズ・アレイ24および25が配置
されており、これらが、1つのコリメーション光学系37とともに、Y-Z面において作
用する1つのハニカム・コンデンサを形成し、それによって、このY-Z面におけるビー
ム強度の均質化が達成される。X-Z面においては、コリメーション光学系37だけが作
用し、これは、標本断層面にシート光の厚さdを発生させる。ここでも同様に、図5aに
はY-Z面が、図5bにはX-Z面が示されている。

【0057】

図5に示される本発明による装置が前提としている、空間的に部分的にコヒーレントな
光は、例えば図6に示されるように発生されるとよい。

この場合は、1つの広帯域レーザ26が設けられており、そこから時間的に部分的にコ
ヒーレントなビームが放射され、1つのグリッド27に向けられる。このグリッド27は
、分光素子として作用し、それにより、グリッド27によって反射された光の空間コヒー
レンスが低減される。この光は、その後で、図5に示されるように、円柱レンズ・アレイ
24および25に当たる。あるいは、グリッド27の代わりに、プリズムまたは階段状ミ
ラーの形態をとる、複数の分光素子を使用することもできる。

【0058】

図7には、シート光3を発生するための、本発明による第3の実施形態の装置が示され
ている。ここでは光源が、複数の個別レーザ光源28から成る1つのアレイによって構成

10

20

30

40

50

されている。その場合、どの光源によっても、円柱レンズ 29 およびレンズ群 12 を用いて、1つの完全なシート光 3 が生成される。これらのレーザ光源 28 の空間配置により、個々の放射成分の向きに影響が及ぼされ、それによって、照明される標本断層面の内部の、非透過性標本物質によるシャドウイングが回避され、または少なくとも十二分に低減される。

【0059】

円柱レンズ 29 の代わりに、1つのグリーン・レンズを使用することも考えられる。

図 8 には、本発明による第 4 の実施形態の装置が示されている。ここでは、1つのコヒーレント光源から発する、1つの（図示されていない）光ファイバから出射される1つの光束 5 が、光束 5 をシート光 3 の形状に変換する1つの微小光学素子 30 に向けられる。この微小光学素子 30 は、例えば、光学作用を引き起こす自由形状の複数の面を設けた微小光学系でよく、あるいは、グリーン・レンズの形態に構成されたものでもよい。

10

【0060】

そのような微小光学素子 30 により、光束 5 のシート光 3 の形状への変換に加えて、同時に、（図 8 a に示される）Y - Z 面における均質化効果、および（図 8 b に示される）これと直交する X - Z 面における合焦効果も達成される。

【0061】

図 9 には、本発明によるもう1つの第 5 の実施形態の装置が示されている。この実施形態を実現するためには、前提として、この場合もコヒーレント光の1つの光束 5 を放射する1つの光源が必要である。この光束 5 は、例えば1つの円筒型望遠鏡 31 の形態をとる、1つのアナモルフィック光学系に向けられ、これが、X 軸および Y 軸方向にそれぞれ独立した、光束 5 の断面変更を引き起こすことによって、光束に楕円形の断面がもたらされる。その後の経路には、ここでは1例として1つのスイング・ミラー 33 の形態をとる1つの偏向機構が配置されている。このスイング・ミラー 33 の代わりに、走査運動を発生するために、1つのポリゴン・スキャナ、または1つの DMD を使用することも考えられる。

20

【0062】

スイング・ミラー 33 によって走査しながら偏向された光束は、レンズ群 12 を通り抜けて標本 1 の内部に向けられる。

スイング・ミラー 33 の走査運動の結果、標本の内部に集束される楕円形光束は、時間順に位置 34、35 および 36 に位置することになり、その際に、標本 1 の内部の照明されるそれぞれの領域が、互いに相接して並ぶことにより、所望のシート光 3 が生じる。

30

【0063】

この実施形態においては、観察される標本断層面の内部のシャドウイングが、集束時に生じるビーム角に基づいて回避または低減される。このビーム角は、アナモルフィック光学系 31 の特性を通じて、調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図 1】シート光の幾何形状に影響を及ぼすための複数の絞りを備える、本発明による第 1 の実施形態の装置の原理図。

40

【図 2】シート光の幾何形状に影響を及ぼすための1つのズーム光学系を備える、本発明による第 1 の実施形態の装置の原理図。

【図 3】影を低減するための1つのウォブル板を備える、本発明による第 1 の実施形態の装置の原理図。

【図 4】影を低減するための1つのスイング・ミラーを備える、本発明による第 1 の実施形態の装置の原理図。

【図 5】シート光を形成し、かつ影を低減するための、複数の円柱レンズ・アレイを備える、本発明による第 2 の実施形態の装置の原理図。

【図 6】図 5 に示される装置形態を実現するための、空間的に部分的にコヒーレントな光を発生する例を示す図。

50

【図7】シート光を形成するための、複数の個別レーザー光源から成る1つのアレイを備える、本発明による第3の実施形態の装置の原理図。

【図8】シート光が1つの微小光学素子によって形成される、本発明による第4の実施形態の装置の原理図。

【図9】シート光が1つの光束の1次元走査によって形成される、本発明による第5の実施形態の装置の原理図。

【図10】選択的平面照明顕微鏡(SPIM)の原理を説明するための図。

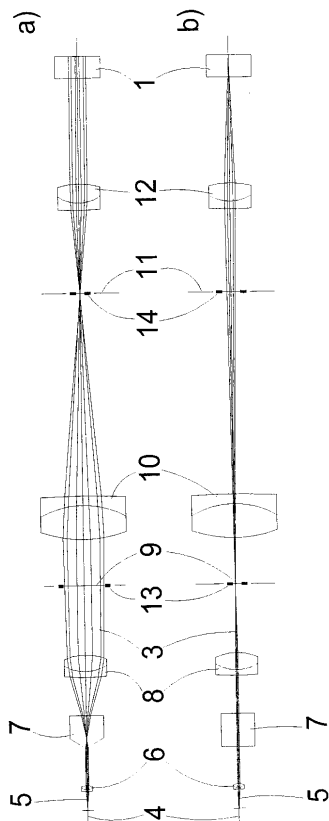
【符号の説明】

【0065】

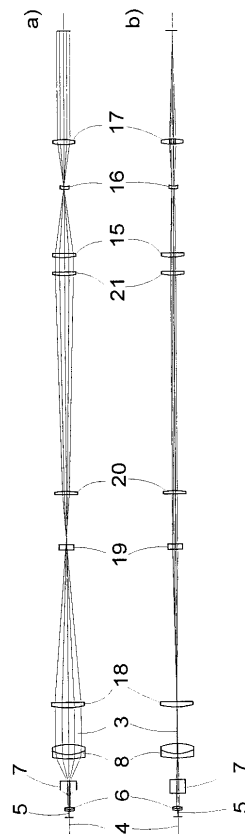
1...標本、2...ゲル、3...シート光、4...光ファイバ、5...光束、6...コリメータ、7...非球面光学素子、8...レンズ群、9...視野絞り面、10...レンズ群、11...開口絞り面、12...レンズ群、13...視野絞り、14...開口絞り、15、16、17...レンズ群、18、19、20、21...レンズ、22...ウォブル板、23...スイング・ミラー、24...円柱レンズ・アレイ、25...円柱レンズ・アレイ、26...広帯域レーザ、27...グリッド、28...レーザ光源、29...円柱レンズ、30...微小光学素子、31...望遠鏡式円柱レンズ、32...楕円形断面を有する光束、33...スイング・ミラー、34、35、36...位置、37...コリメーション光学系。

10

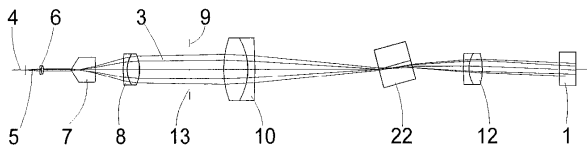
【図1】



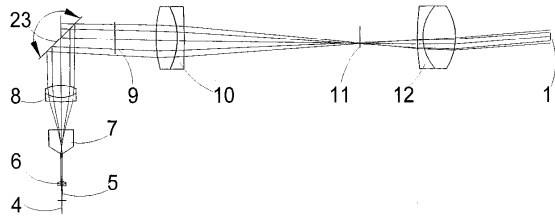
【図2】



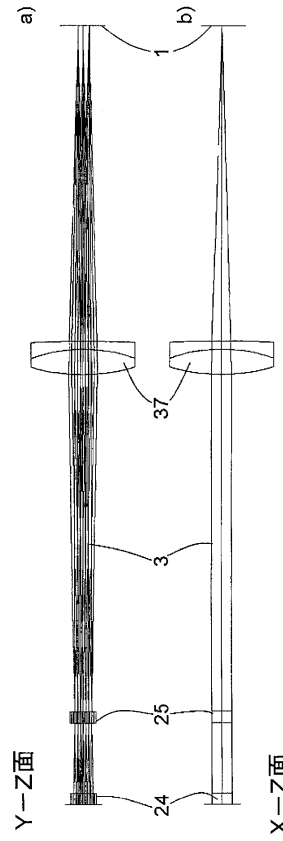
【 図 3 】



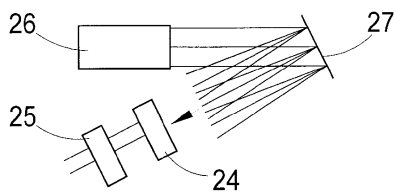
【 図 4 】



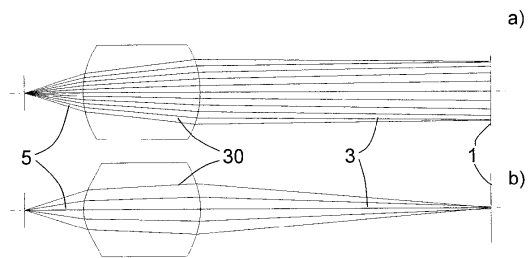
【 図 5 】



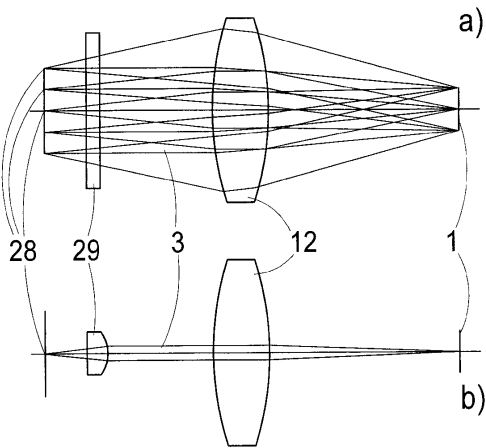
【 図 6 】



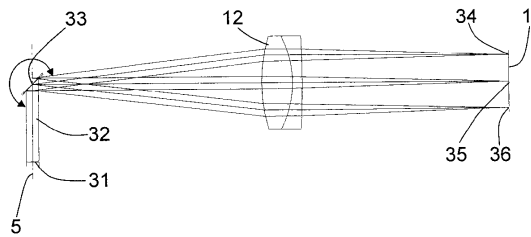
【 図 8 】



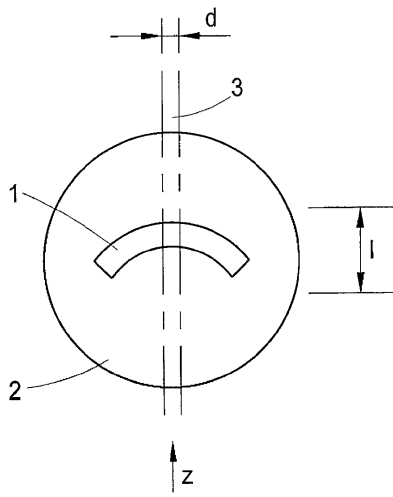
【 図 7 】



【 図 9 】



【図10】



従来技術

フロントページの続き

- (72)発明者 ヘルムート リッペルト
ドイツ連邦共和国 07743 イェナ ソフィエンシュトラッセ 24
- (72)発明者 マティアス ヴァルト
ドイツ連邦共和国 07751 イェナ ヒンター デム シュピールベルグ 1
- (72)発明者 ベンノ ラット
ドイツ連邦共和国 07743 イェナ アルヴィット-ハルナック-シュトラッセ 26

審査官 森内 正明

- (56)参考文献 特開2006-30992(JP,A)
特開2006-30991(JP,A)
特開2005-62421(JP,A)
国際公開第2006/008637(WO,A1)
K. Greger et al., Basic building units and properties of a fluorescence single plane illumination microscope, Review of Scientific Instruments, 2007年 2月28日, Vol. 78, p. 023705-1 - 023705-5

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 21/00 - 21/36