

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-199063  
(P2004-199063A)

(43) 公開日 平成16年7月15日(2004.7.15)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード(参考)
GO2B 21/06	GO2B 21/06	2H052
GO2B 21/36	GO2B 21/36	

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L 外国語出願 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2003-416244 (P2003-416244)	(71) 出願人	598001250 オリンパス アメリカ インク. アメリカ合衆国 ニューヨーク州 117 47-3157 メルビル コーポレート センター ドライブ 2
(22) 出願日	平成15年12月15日(2003.12.15)	(74) 代理人	100058479 弁理士 鈴江 武彦
(31) 優先権主張番号	60/433,825	(74) 代理人	100091351 弁理士 河野 哲
(32) 優先日	平成14年12月16日(2002.12.16)	(74) 代理人	100088683 弁理士 中村 誠
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100108855 弁理士 蔵田 昌俊
(31) 優先権主張番号	10/682,236	(74) 代理人	100075672 弁理士 峰 隆司
(32) 優先日	平成15年10月9日(2003.10.9)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

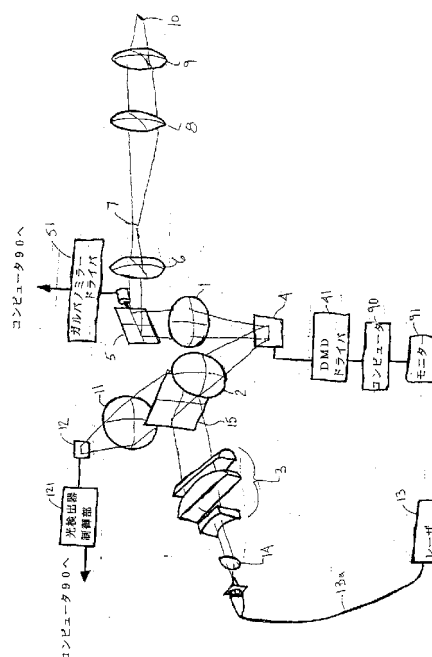
(54) 【発明の名称】 共焦点顕微鏡

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 高速走査で動作可能な共焦点顕微鏡を得る。

【解決手段】 照明光源と、光源から放射された光ビームの断面形状アスペクトレシオを変更するためのレンズ部材と、異なる断面形状アスペクトレシオの光ビームを収束して直線光を作るための少なくとも1つのレンズと、収束された直線光に明暗を与えるための第1の光変調部材と、明暗が与えられた光を平行光として形成するための少なくとも1つのレンズと、照明の角度を変更するための少なくとも1つの走査部材と、明暗が与えられた光を集束するための少なくとも1つのレンズと、明暗が与えられた光を試料体に投影するための対物レンズと、試料体からの反射光または試料体によって発生された光を光検出素子上に結像するための少なくとも1つのレンズと、を備えている。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

照明光源と、  
光源から放射された光ビームの断面形状アスペクトレシオを変更するためのレンズ部材と、  
異なる断面形状アスペクトレシオの光ビームを収束して直線光を作るための少なくとも 1 つのレンズと、  
収束された直線光に明暗を与えるための第 1 の光変調部材と、  
明暗が与えられた光を平行光として形成するための少なくとも 1 つのレンズと、  
照明の角度を変更するための少なくとも 1 つの走査部材と、  
明暗が与えられた光を集束するための少なくとも 1 つのレンズと、  
明暗が与えられた光を試料体に投影するための対物レンズと、  
試料体からの反射光または試料体によって発生された光を光検出素子に結像するための少なくとも 1 つのレンズと、  
を具備する走査光学顕微鏡。

10

## 【請求項 2】

前記光検出素子は、ラインセンサ、撮像装置および光検出器のうちの 1 つである、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

## 【請求項 3】

前記照明光源は、レーザビームおよび白色光源を含む、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

20

## 【請求項 4】

前記白色光源は、高圧水銀ランプ、キセノンランプ、ハロゲンランプ、メタルハライドランプからなる群から選択される、請求項 3 に記載の走査光学顕微鏡。

## 【請求項 5】

前記試料体からの光に共焦点効果を与えることできる第 2 の光変調部材をさらに備え、光変調素子を透過した光ビーム径およびビーム数の一方を変化させることによって、共焦点効果に最適化および低減化の一方を行うことができる、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

## 【請求項 6】

前記少なくとも 1 つの走査部材の開始および停止動作、ならびに走査速度の調整と、光変調部材の照明パターンと、試料体上の照明光のオン/オフ照射とを制御するためのコンピュータをさらに具備する、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

30

## 【請求項 7】

光源からの光の複数のビームへの分割と、この複数のビームの干渉と、干渉縞の形成に必要なレンズおよび光学部材の一方により、干渉縞が形成される回折格子と、  
複数の反射ミラーを有し、各ミラーをオンおよびオフに切換えることができるデジタルミラーデバイスであって、各ミラーは、オフ状態のときに入射光を反射せず、オン状態のときに入射光を反射するデジタルミラーデバイスと、  
をさらに具備する、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

40

## 【請求項 8】

2 つ以上の MEMS (微小電子機械システム) ミラーからなる一次元ミラーアレイをさらに具備する、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

## 【請求項 9】

可変透過率を有する液晶プレート、および  
SLM (空間光変調器)  
の一方をさらに具備する、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

## 【請求項 10】

前記少なくとも 1 つの走査部材は、ガルバノメータミラーであり、明暗パターンが変更可能な光変調部材を制御することによって一点照明光の位置が時間的に移動可能である、

50

請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 1 1】

前記光変調部材は、明暗パターンが変更可能な種々の可変明暗パターンを与えるための手段を有し、複数の点によって共焦点像が生成され、試料体を同時に照明することができる、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 1 2】

前記光変調部材は、明暗を変更可能であり、視野の 1 区分が同時に照明され、試料体は、直線光で走査される、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 1 3】

光源から放射された光ビームの断面形状アスペクトレシオを変更するのに必要な前記レンズ部材は、1 つ以上の円柱レンズおよび 1 つ以上の f レンズの一方を含むことを特徴とする、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。 10

【請求項 1 4】

前記走査部材は、ガルバノメータミラー、ポリゴンミラーおよび音響光学変調器の 1 つを含む、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 1 5】

異なる明暗パターンの直線照明光によって前記試料体は、数回走査され、複数の走査データから 1 つの画像が生成される、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 1 6】

前記照明光源は、レーザを備え、レーザからのレーザビームがファイバを介してレンズ部材に導入される、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。 20

【請求項 1 7】

前記照明光源は、超短パルスレーザであり、二光子励起および三光子励起の一方のような多光子励起によって試料体からの蛍光が観察される、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 1 8】

前記超短パルスレーザは、チタンサファイアレーザを含む、請求項 1 7 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 1 9】

回折格子、音響光学変調器およびプリズムを用いる分光素子の 1 つを、試料体からの光を受ける光検出器と光強度変調部材の間に挿入することによって構成される分光回折デバイスをさらに含み、光検出器は、二次元光検出器である、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。 30

【請求項 2 0】

二次高調波発生、三次高調波発生、ラマン光およびコヒーレント反ストークスラマン散乱の 1 つによって、前記試料体から発生された非直線光を受けすることができる、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 2 1】

前記光検出素子は、二次元撮像デバイスである、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 2 2】

二次元撮像デバイスは、高感度冷却 CCD カメラ、背面照明 CCD カメラ、カスケードカメラ、およびイメージ増倍管付き CCD カメラからなる群から選択される、請求項 2 1 に記載の走査光学顕微鏡。 40

【請求項 2 3】

前記光検出素子は、ラインセンサである、請求項 1 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 2 4】

前記ラインセンサは、フォトダイオードアレイ、PMT アレイ、ライン CCD アレイからなる群から選択される、請求項 2 3 に記載の走査光学顕微鏡。

【請求項 2 5】

複数の異なる波長を光検出素子上に集束させるための手段をさらに具備する、請求項 1 50

に記載の走査光学顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して顕微鏡に関し、より詳細には、光学顕微鏡、共焦点顕微鏡、蛍光顕微鏡、および分光顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、高速で走査および画像化できる走査顕微鏡および共焦点顕微鏡への需要が高まっている。これまでに、タンデム走査のプロセスが改良され、例えば、レンズアレイが用いられたディスク走査顕微鏡を含む顕微鏡が開示されている（米国特許第5,717,519号）が、この方法を用いると、ピンホール径の変更が困難であり、対物レンズ内の最適な共焦点ピンホール径の設定が非常に困難である。加えて、この方法では、複数のピンホールおよびレンズアレイの調整およびセンタリングが技術的に困難である。さらに、広範な散乱のある試料体に対して、試料体の一点走査により画像のコントラストを改善することができるが、多点走査から一点走査への切換えプロセスが非常に困難である。

10

【0003】

また、小範囲内の複数の焦点からなるアレイの走査により画像を生成する方法、および複数の直線レーザビームが小範囲にわたって走査される画像を生成する方法が開示されている（米国特許第6,028,306号）が、これらの方法を用いると、複数のピンホールおよびレンズアレイの調整およびセンタリングが技術的に困難である。さらに、多数のピンホールが視野の全面に存在しているため、厚く、広範な散乱のある試料体の観察では、画像のコントラストが試料体の散乱により低減されることがある。加えて、広範な散乱のある試料体に対して、試料体の一点走査により画像のコントラストを上げることができるが、多点走査から一点走査への切換えプロセスが非常に困難である。

20

【0004】

さらに、生物顕微鏡ハンドブック第2版、第25章、406頁、図3(b)に記載の線走査共焦点顕微鏡が開示されており、この方法を用いると、線走査が採用されているので、共焦点効果が画像の一方の側でX方向またはY方向にのみ増大されるが、共焦点効果が反対側では低減されるので、一点または多点共焦点顕微鏡よりも解像度が低くなる。また、走査励起波長が波長ごとに変更される線順次走査の実現は、非常に困難である。加えて、リレー系の採用なくしては倍率が容易に変更できず、さらに、試料体に最適な走査速度の設定が困難である。

30

【0005】

また、MMM（多焦点多光子顕微鏡、Stefan W. Hell、米国特許第6,262,423号）が用いられた二光子顕微鏡が開示されているが、この構成の顕微鏡は共焦点アパーチャを備えていない。さらに、共焦点アパーチャが顕微鏡内に挿入される構成を採用するのは困難であり、共焦点を作ることによってこの方法を改良するのは非常に困難である。

【0006】

また、AOTF（音響光学的可同調フィルタ）が用いられたビデオレート走査顕微鏡が開示されている（米国特許第4,893,008号）が、この顕微鏡を用いると、AOTFを放出するレーザビーム自体へのAOTFの影響によって収差が発生する。結果として、点走査型レーザ走査光学顕微鏡よりも低い解像度になることがある。

40

【0007】

また、生物顕微鏡ハンドブック第2版、第9章、139~154頁に開示されたようなガルバノメータミラーを用いた点走査型レーザ走査光学顕微鏡では、試料体を複数の点で走査することができず、且つガルバノメータミラーを高速で振動させることができないため、走査速度が非常に遅くなる。

【0008】

50

また、共振検流計を用いた走査顕微鏡が以前に開示されているが、共振検流計を用いると走査速度が自由に制御できない。このことは、走査が遅い場合、ならびに一点光の測光を行うために測光位置が固定されている場合であっても、特有の問題となる。

【0009】

また、米国特許第6,069,734号に開示されたようなこれまでに考案された一点走査共焦点顕微鏡は、大きい瞳径の対物レンズに対応できない。この種のレンズに対応するには、大径のミラーを備えるガルバノメータミラーの採用が必須であるが、大径のガルバノメータミラーを高速で走査するのは非常に困難なため、高速走査の実現はこの程度までは難しいことが分かっている。

【0010】

本発明では微小ミラーが用いられているが、厳密に言えば、2次元画像ではなく点光、ドット光、または直線光である、光検出器上に投影された共焦点画像は、2次元画像を構成しない。そのために、本発明は、米国特許第5,597,832号、第5,923,466号、および第6,038,067号に開示されたようなDMDを用いた観察方法とは根本的に異なっている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

したがって、下記の条件の1つまたは複数を満たす共焦点顕微鏡を提供することが本発明の目的である。

【0012】

(1) 高速走査で動作可能なこと。

【0013】

(2) 画像のXおよびY方向の両方に共焦点効果を生み出すことにより高い画像解像度を生成可能なこと。

【0014】

(3) 共焦点アパーチャの径が容易に変更可能なこと。

【0015】

(4) 一点走査、多点走査および線走査間の切換えが可能なこと。

【0016】

(5) 反射光観察および蛍光観察が可能なこと。

【0017】

(6) 蛍光観察が、二光子および三光子励起などの多光子励起によって達成可能なこと。

【0018】

(7) 標準的な対物レンズと共に使用可能であり、対物レンズの瞳径が大きいこと。

【0019】

(8) 試料から反射光、透過光、蛍光、非直線光、ラマン分光データが得られること。

【0020】

(9) SHG(第二高調波発生)、THG(第三高調波発生)、CARS(コヒーレント反ストークスラマン散光)、およびラマンなどの光によって画像を生成可能なこと。

【0021】

従来技術の共焦点顕微鏡を用いると、(1)「高速走査」および(2)「画像のXおよびY方向の両方に共焦点効果を生み出すこと」の2点を共存させるだけでも非常に達成困難であった。さらに、上述の9つの条件を同時に満たすことが極端に難しかった。これまでは、ガルバノメータミラーを用いた一点照明法共焦点顕微鏡を用いて高速で走査される画像を生成したい場合には、PMT(光電子倍增管)の電圧が著しく増加されない限り画像を生成することができないため、形成された画像はノイズが多かった。さらに、線走査共焦点顕微鏡が用いられれば、高速で一点照明法共焦点顕微鏡を用いて得られるよりも高効率な高効率照明の画像は生成されるが、一点照明法共焦点顕微鏡と同様に、共焦点効果

10

20

30

40

50

を画像の X または Y 方向のいずれか一方にしか生成することができない。

【課題を解決するための手段】

【0022】

そこで、照明光源と、光源から放射された光ビームの断面形状アスペクトレシオを変更するのに必要なレンズ部材と、異なる断面形状アスペクトレシオの光ビームを収束して直線光を作るための少なくとも1つのレンズと、収束された直線光に明暗を与えることができる光変調部材と、明暗が与えられた光を平行光として形成することができる少なくとも1つのレンズと、照明の角度を変更するための少なくとも1つの走査部材と、一つの動作で明暗が与えられた光を結像するための少なくとも1つのレンズと、明暗が与えられた光を試料体に誘導するのに用いられる対物レンズと、試料体からの反射光または試料体から発生された光をラインセンサ、撮像装置、または光検出器上に結像するために必要な少なくとも1つのレンズと、から構成されることを特徴とする走査光学顕微鏡を採用することにより、ラインセンサ、撮像装置、または光検出器と協働して、像の X および Y 方向の両方に高速走査速度および共焦点効果を生じさせることができる。

10

【0023】

この走査光学顕微鏡は、さらにレーザビームまたは高圧水銀ランプ、キセノンランプ、ハロゲンランプ、メタルハライドランプなどの白色光源を照明光源として用いることを特徴としている。照明光源は、光源と、例として、ダイクロイックミラー、AOD、ホログラフィックノッチフィルタ、ガラス板またはハーフミラーなどの照明光および光源（ビームスプリッタ）に接続されているファイバの出射端からの観察光を分離する素子との間の光学系を変更することによって種々の光源に対応することができるよう設計されている。

20

【0024】

さらに、コンピュータを用いて、走査部材の開始および停止動作、ならびにその走査速度の調整を行うことができ、光変調部材の照明パターンを変更することができる。結果として、試料体を種々のパターンで走査することができる。例として、試料体を一点走査することができ、試料体を多点走査することができ、試料体をラインで走査することができ、光を試料体の1区分上のみ入射させることができる。

【0025】

さらに、撮像デバイスとして、高感度冷却CCDカメラ、背面照明CCDカメラ、カスケードカメラ、またはイメージ増倍管付きCCDカメラ等が用いられる場合には、非常に弱い光を捉えることができる。

30

【0026】

さらに、ガルバノメータミラーを用いて照明光を走査し、明暗パターンが変更可能な光変調部材の解像限界を達成する大きさのミラーまたは膜を時間的に用いて、タイミングをとって一点照明光を移動させることにより試料体を照明することによって、像の X および Y 方向の両方に共焦点アパーチャ効果を生じさせることができる。

【0027】

さらに、試料体の高速での走査が所望される場合には、明暗パターンが変更可能な光変調部材の各点ごとに交互の明暗パターンを与えることによって、さらに、この明暗パターンの移動によって、複数の点を同時に照明することができるので、画像の X および Y 方向の両方に共焦点アパーチャ効果を生じさせることができ、さらに、画像を高速で取得することができる。

40

【0028】

さらに、高速での走査が所望され、線走査照明が実施される場合には、明暗パターンが変更可能な光変調部材を直線的に照明することができるような方法で、線走査共焦点顕微鏡を実現することができる。

【0029】

さらに、共焦点効果または明るい照明の付与を低減することが所望される場合には、明暗パターンが変更可能な光変調部材の単一点の解像限界よりも十分に大きい表面積のミラ

50

—または膜を用いることにより、あるいは、複数の隣接するミラーまたは膜を同時に透過するかまたはその反射により、共焦点アパーチャが開の時に得られるのと同様の効果を生じさせることができる。

【0030】

さらに、共焦点顕微鏡を用いる場合であっても、反射顕微鏡または蛍光顕微鏡用と同様の深さの像の観察が所望されることがある。本発明では、明暗パターンが変更可能な光変調部材として二次元素子が用いられ、レーザ光を試料体表面全体に導くことができ、さらに、スキャナで走査して視野全体にわたって照明光を照明することによって、試料体の像を変更せずに撮像デバイス上に投影できるので、標準的な試料体の反射光および蛍光を観察することができる。

10

【0031】

さらに、これまで観察を可能にしてきた一光子励起蛍光観察に加えて、二光子励起または三光子励起のような多光子励起に基づいて、チタンサファイアレーザのようなフェムト秒レーザ等を用いる蛍光像観察への需要が生じてきた。二光子励起または三光子励起を用いる本発明では、蛍光像の観察は照明光を生成するためにチタンサファイアレーザのような超短パルス光源を用いることによって可能である。

【0032】

また、試料体からの蛍光または反射光の分光回折が所望されるときがあるが、これは、これまで使用された手法を用いるのでは困難である。本発明を用いて、回折格子または音響光学変調器(AOM)を撮像デバイスと光変調部材の間に挿入し、撮像デバイスとして

20

【0033】

加えて、超短パルス光源が用いられる場合には、試料体から発生された非直線光の受容、例として、二次高調波発生、三次高調波発生、ラマン光、およびCARS(コヒーレント反ストークスラマン散乱)が可能である。この場合には、本発明の照明光と受容された光とを分割する部品の光学特性と、光検出器の前に設けられた帯域フィルタまたは分光素子の最適化が必須である。照明光と受容された光とを分割する部品は、例えば、照明光を反射するためのダイクロイックミラー、または照明光が導かれるホログラフィックノッチ

30

【0034】

加えて、光変調部材とガルバノメータミラーの位相周期のオンおよびオフが適正に使用される場合には、光を試料体表面の所定の位置にのみ照射することができる。また、複数の波長を発生するレーザが光源として用いられる場合には、照明される波長を切換えること

40

50

## 【0035】

要約すれば、本発明の顕微鏡では、光源からの光が直線的に集束されてDM Dまたは液晶などの光変調素子上に入射される。次に、光変調素子により直線光がその光線の方向に沿って所定の明暗を有する光に変調されるのに伴い、光が試料体に照射される。試料体から発生された光（反射光および蛍光等）は、この光変調部材へと戻され、その後、照明光路から分離され、光検出器によって検出される。用いられる光検出素子の例には、一次元ラインセンサおよび二次元CDカメラが含まれる。

## 【0036】

明暗パターンを含む直線光の「明」部は、連続的に移動されながら、光検出素子によって順次検出され、各明暗パターンに対応する検出画像が集積される。これに伴い、単一区  
10 分の検出画像が次の工程で合成される。二次元画像を形成するために、ガルバノメータミラー等を用いて直線光が走査される。

## 【0037】

こうして走査光学顕微鏡が提供される。走査光学顕微鏡は、照明光源と、光源から放射された光ビームの断面形状アスペクトレシオを変更するためのレンズ部材と、異なる断面形状アスペクトレシオの光ビームを収束して直線光を作るための少なくとも1つのレンズと、収束された直線光に明暗を与えるための第1の光変調部材と、明暗が与えられた光を平行光として形成するための少なくとも1つのレンズと、照明の角度を変更するための少なくとも1つの走査部材と、明暗が与えられた光を集束するための少なくとも1つのレン  
20 ズと、明暗が与えられた光を試料体に投影するための対物レンズと、試料体からの反射光または試料体によって生成された光を光検出素子上に結像するための少なくとも1つのレンズと、を備えている。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0038】

本発明の装置および方法のこれらおよび他の特徴、態様、利点は下記の説明、添付の特許請求の範囲、および付属の図面に関連してより良く理解されよう。

## 【0039】

さて、図1および2を参照して、本発明の光学系の第1の実施形態の説明がなされる。図1は、第1の実施形態の光学系の斜視図を表し、図2はこの光学系の上からの図を表す。本発明のデバイスの構成における照明は、レーザ13の使用により実施される。連続波  
30 レーザが用いられる場合には、シングルモードファイバ13aを経て光をデバイス内に導入することができる。

## 【0040】

導入された光は、コリメータレンズ14によって平行光ビームとして形成される。一例として、フェムト秒の超短パルス光を実施するためのレーザが用いられる場合、中空光ファイバ13aの使用によって光を導入することができる。中空光ファイバ13aの使用が望ましくない場合には、レーザ光はデバイスに直接導入されてもよい。

## 【0041】

導入されたレーザは、ビーム部材の断面形状アスペクトレシオを変更するのに必要なレンズを構成し、少なくとも1つの円柱レンズまたは少なくとも1つのf レンズから構  
40 成される、レンズ3を通過し、ビームの断面形状アスペクトレシオが異なるレーザ光に変換される。レンズ3は、少なくとも1つの円柱レンズから成る。円柱レンズは、平行レーザビームをビームの断面形状アスペクトレシオに変換する。円柱レンズまたはf レンズ等は、広範囲の波長に対応できるように、色収差が補正されることが望ましい。ビームの断面形状アスペクトレシオが異なるレーザ光は、ある程度の幅を持った直線無限ビームであるため、拡大されたレーザ照明よりも明るく物体面上を照明することができる。

## 【0042】

ビームの断面形状アスペクトレシオが異なるレーザ光は、ビームスプリッタ15から反  
50 射される。ビームスプリッタ15は、ダイクロイックミラー、または反射率が50~2%程度のーフミラー、または少量の照明光を反射するガラス板を含むことができる。次に

、光は、ビームの断面形状アスペクトレシオが異なるレーザ光を収束するための少なくとも1つのレンズから構成されるレーザ収束レンズを構成する、レンズ2に入射する。レンズ2から射出された光は、収束され、直線光として形成される。また、レンズ2は、複数の異なる波長の光を同じ位置に直線的に収束することができるように、色収差が補正されていることが必要である。

#### 【0043】

収束された直線レーザ光は、透過または反射されて、明るい強度の部分および暗い強度の部分を含むように変調を実施するための、光変調部材4に入射する。複数の小型反射ミラー（詳細については後述する）を含む光変調部材4は、小型反射ミラーのオンおよびオフを切り換えることを特徴とするDMD（デジタルミラーデバイス）、またはSLM（空間光変調器）、または透過率を変えることができる液晶プレートを用いてもよい。DMDが、第1の実施形態で用いられている。小型反射ミラーのそれぞれがDMDによりオンされると、光がミラーに入射し、顕微鏡の光路（レンズ1側）に向かって反射され、オフされると、光が顕微鏡の光路からそれる方向に反射される。したがって、小型ミラーのオンおよびオフ制御によって、DMDに入射する光は収束直線レーザ光から明暗パターンが与えられた直線レーザ光へと変調されるか、または反射される。液晶プレートが用いられる場合、液晶プレートを透過する際に起こる透過率の変化により、液晶プレートに入射した光を明暗パターンが与えられた直線レーザ光へと変調することができる。

#### 【0044】

明暗パターンが与えられた直線レーザ光は、光を幅のある平行光に変換するためのレンズを構成するレンズ1に入射し、幅のある平行光として形成されるドット光がガルバノメータミラー5に入射する。ガルバノメータミラー5は、ミラーを振動させることにより、幅のある平行光の角度をある時間にわたって変更する役割を持つ。瞳レンズ6を通過した後、幅のある平行光は、瞳レンズと結像レンズ8の間の位置7に集束される。瞳レンズ6が広範囲の波長に対応できるように、色収差が補正されることが望ましい。

#### 【0045】

明暗パターンが与えられ、瞳レンズを透過して瞳レンズと結像レンズ8の間の位置7で再結像された直線レーザ光は、結像レンズ8を透過して対物レンズ9により試料体表面10上に結像される。

#### 【0046】

試料体表面上に集束された光は、反射されるかまたは蛍光発生材料により蛍光に変換され、対物レンズ9を透過し、さらに結像レンズ8を透過した後、一次結像面位置7で結像され、瞳レンズ6を透過してガルバノメータミラー5によって反射され、レンズ1上に入射し、二次結像面を構成する光変調部材4上に結像され、光変調部材4によって反射または透過される。光変調部材4は、共焦点アパーチャの役割を果たす。光変調部材4によって反射または透過された光は、レンズ2によって平行光として形成され、ダイクロイックミラー、ハーフミラー、またはガラス板から構成されたビームスプリッタ15を透過し、レンズ11を透過して、光検出器12上に結像される。

#### 【0047】

単波長レーザを用いることができるレーザ光源13は、複数の波長のレーザを用いてもよい。複数の波長のレーザには、ターゲット波長だけが選択されるように、複数の波長を放射するアルゴンレーザまたはクリプトン/アルゴンレーザのいずれか、または複数のレーザが合成されるレーザビームコンバイナを用いることができる。

#### 【0048】

光検出器12、光変調部材4、およびガルバノメータミラー5が、それぞれ光検出器制御部121、DMDドライバ41およびガルバノミラードライバ51によってコンピュータ90に接続されているという事実のおかげで、相互にリンクならびに駆動されることができ、画像が形成される。さらに、モニター91がコンピュータ90に接続され、コンピュータ90によって形成された画像をこのモニター91上に表示することができる。

#### 【0049】

10

20

30

40

50

第1の実施形態の共焦点顕微鏡が用いられ、試料体の一点照明が行われる場合、実施されるプロセスのフローは図3(a)~(i)に示されている。実際には、1024×768画素または1280×1024画素の複数のミラーから構成されるDMDが用いられるが、図3(a)~(i)では、9×8画素ミラーアレイから構成される仮想DMDを用いてその原理の説明がなされている。照明光は、レンズ2によって光変調部材4を構成するDMDに照射される。照明光は、参照符号51で示される直線光線を構成している。図3(a)に示すように、アレイ内のミラー56が、オンにされて、最初に照明光を反射し、次に、レンズ1を通して、光がガルバノメータミラー5によって反射され、試料体10へと導かれる。この時、1つのミラー56以外の他のミラー全てがオフ状態にあるため、オフの部分で反射された光は試料に導かれない。次に、図3(b)に示したように、このミラー56がオフに切換えられ、また、他の1つのミラー57がオンに切換えられると、照明光がこのミラー57によって反射され、次に、レンズ1を通して、光がガルバノメータミラー5によって反射され、試料体10へと導かれる。オン位置の切換えおよびミラー56からミラー64への順次照明は、図3(a)~(i)に示したように、照明光がDMDのX方向に走査されるように行われる。また、X軸上の1ライン区分の照明が完了すると、次にガルバノメータミラーがY方向に1ラインシフトし、そこでさらにDMDのミラー56から64への順次照明が行われ、続いてガルバノメータミラーが再度Y方向にもう1ラインシフトする。一点走査共焦点照明は、この動作を順次実施し、Y方向の最終ラインまで照明することによって行うことができる。

10

**【0050】**

20

一連の協働動作はコンピュータ90の制御により実施される。コンピュータ90は、図3(a)~(i)に示された線形光の照明パターンを決定するためのパターン制御部の機能を有する。また、コンピュータ90は、画像形成部としての機能を含み、それによって、獲得した各照明パターンに対応する線画像データをコンピュータの内部当該メモリに集積し、合成することにより、1つの画像を形成する。

**【0051】**

コンピュータ90は、線形光の明暗パターンを決定するために、パターン制御部から試料体に照射された光の明暗パターンを獲得し、照明パターンにしたがって獲得した線形データを配置し直すことによって、試料体の二次元画像を作り出す。より詳細には、一例として、明暗パターンの「明」部に相当するラインデータのみをその位置の輝度データとして採用し、光が異なる明暗パターンで順次照射された時の線画像データが同様に処理され、配置し直される。共焦点照明が単一部分画像の全ての画素位置で実施されるならば、この方法により獲得した線画像データの再配置によって1つの共焦点画像が形成される。あるいは、個々のラインについて獲得した線画像データが加算されれば、この再配置無しでも二次元共焦点画像を形成することができる。

30

**【0052】**

また、解像度を低減させる共焦点アパーチャの大径化の代わりに、輝度を明るくすることを含む観察が所望される場合には、図4(a)に示すように、複数の調整ミラーがオンに切換えられる。一例として、ミラー81, 82, 83, および84が同時にオンに切換えられる場合に、共焦点アパーチャが開のときに得られるのと同じ効果が生じる。照明光が80で示された広い範囲に照射されるように、レンズ3の焦点距離が最適化されると、照明範囲および受光範囲の両方を光変調部材で同時に制御することができる。さらに、レンズ3の焦点距離が規制され、生成可能な照明範囲が図3(a)~(i)の51で示されたような照明光の阻止によって生成される照明を構成する構成であっても、観察された画像に及ぼす効果が、図4(a)に示すようにミラー81, 82, 83, および84が同時にオンに切換えられる場合に共焦点アパーチャが拡大されたようなものであるため、画像が明るくされる。走査するためには、図4(b)に示すように、ミラー81, 82, 83, および84がオフに切換えられ、隣接する群を構成するミラー85, 86, 87, および88がオンに切換えられる。X方向の走査は、図3(a)~(c)に関連して説明されたのと同様に構成され、複数の隣接するミラーをこのように順次オンに切換えることに

40

50

よって実施される。このように走査を実施することによって、共焦点アパーチャが拡大されたときに達成されるのと同じの効果を生じさせることができ、明るい画像を生成することができる。

#### 【0053】

以下に、直線照明光に明暗を与えることによって、複数の点で試料体を照明する方法を説明する。この場合も第1の実施形態を参照して説明する。照明光が、レンズ2によって光変調部材4を構成するDMDに照射される。さらに、DMDの一部が図5(a)並びに(b)に示されている。照明光は、図5(a)並びに(b)の参照符号90で示されるような直線光線を構成している。直線照明光は、図5(a)に示されるように複数のミラーが交互にオンおよびオフに切り換えられる部分に照射される。照明光は、複数のミラーによって直線光からドット光に変換される。次に、ドット光は、試料体表面に投影される。さらに、照明光は、Y軸に対応するガルバノメータミラー5の走査によって試料体10の観察範囲全体にわたって照射される。試料体10によって反射または蛍光に変換された光はガルバノメータミラー5によって再度反射され、レンズ1を透過し、DMD光変調部材4上に結像される。DMD上のオン状態の複数のミラーは、共焦点アパーチャの役割を果たす。オン状態の複数のミラーを透過した光は、光検出器12上に結像される。この画像が、第1の画像データセットとしてコンピュータ90のメモリに送られる。次に、直線照明光が、図5(a)に示されるようなオンおよびオフのパターンの反転パターンとされた複数のミラーセット上に照射される。このDMDの状態が図5(b)に示されている。照明光が、オフおよびオンが交互に設定された複数のミラー上に照射されると、照明光は、複数のミラーによって直線光からドット形に変換される。ドット光は試料体表面に投影される。DMDミラーが図5(a)に示すように設定されると、ドット照明光は、照明が反転されたドット光線として試料体上に照射される。さらに、光が、Y軸に対応するガルバノメータミラー5の走査によって試料体10の観察範囲全体にわたって照射される。試料体10によって反射または蛍光に変換された光はガルバノメータミラー5によって再度反射され、レンズ1を透過し、DMD光変調部材4上に結像される。DMD上のオン状態の複数のミラーは、共焦点アパーチャの役割を果たす。オン状態の複数のミラーを透過した光は、光検出器12上に結像される。この結像された画像が、第2の画像データセットとしてコンピュータ90のメモリに送られる。第1および第2の画像データセットは、コンピュータ90によって合成されて最終的な画像を生成する。

10

20

30

#### 【0054】

さらに、一点走査よりも高速で取得される画像が所望される場合には、試料体内に散乱が存在し、この散乱による画像の劣化を低減することが所望されるため、多点走査でDMDのオンとオンの間隔を大きくすることができる。この場合のDMDの設定は、図6(a)~(b)および図7に示されている。この場合には、一例として、複数のオフのミラーがオンのミラー同士の間にあるように、すなわちオン、オフ、オフ、オンとなるように、DMDの切り換えが設定される。1つのオンのミラーと次のオンのミラーとの間に設定されるオフのミラーの数は、試料体の厚みと散乱量によって決まる。散乱量が大きい試料体に対しては、1つのオンのミラーと次のオンのミラーとの間に多数のオフのミラーが設けられることが望ましい。まず、図6(a)に示すように、オン、オフ、オフのミラーの反復パターンが設定され、試料体10がガルバノメータミラー5によって走査され、第1の画像データセットが光検出器12から生成される。次に、図6(b)に示すように、オフ、オン、オフのミラーの反復パターンが設定され、試料体10がガルバノメータミラー5によって走査され、第2の画像データセットが光検出器12から生成される。さらに、図7に示すように、オン、オフ、オフのミラーの反復パターンが設定され、試料体10がガルバノメータミラー5によって走査され、第3の画像データセットが光検出器12から生成される。コンピュータ90を用いて、第1、第2、および第3の画像データセットが合成されて最終的な画像データが生成される。

40

#### 【0055】

また、一点走査よりも高速で撮影される画像が所望される場合には、試料体内に散乱が

50

存在し、この散乱による画像の劣化を低減し、同時に画像を明るくすることが所望されるため、多点走査でDMD4の1つのオンのミラーと次のオンのミラーとの間に複数のオフのミラーを設けることができ、オンのミラー自体に関する限りは、複数の連続するオンのミラーを設定することができる。この例が、図8に示されている。この図のミラーの設定は、オン、オン、オフ、オフ、オフ、オフである。この設定を採用することにより、画像の輝度およびコントラストを大きくすることができ、画像を比較的高速で生成することができる。

#### 【0056】

さらに、図9並びに図10を参照して、第1の実施形態のデバイスを用いてスペクトル画像の画像を取得することについて以下に説明する。図9並びに図10には、図1と同一構成の共焦点顕微鏡の撮像デバイス12に加えて、二次元検出器、一例として、CCDカメラが用いられ、分光素子16、一例として、回折または音響光学変調器(AOM)が光検出器12と光変調部材4の間に設けられている。

10

#### 【0057】

分光素子16は、分光素子16に入射する直線(ドット光線)光のスペクトル回折が光線の方向とは直交する方向に生じるように配置される。

#### 【0058】

回折格子が分光素子16として用いられる場合には、光路内に素子を設けたりそこから取り去ったりする動作によって、分光共焦点顕微鏡から標準的な共焦点顕微鏡への切換えが可能となる。さらに、音響光学変調器が用いられる場合には、音響光学素子がオンに切換えられていれば分光共焦点顕微鏡としての使用が可能だが、素子がオフに切換えられていれば標準的な共焦点顕微鏡への切換えが可能である。図11は、試料体が明暗のある照明光によって照明されている場合のスペクトルの例を表している。光検出器12(CCDカメラ)で撮影された画像のX軸方向は、X方向の画素位置に対応し、そのY軸方向は波長に対応する。画像中の画素の輝度は、X方向の画素位置での各波長の光の強さを表している。

20

#### 【0059】

この光学系では、レーザのような点光源だけでなく、例えば、水銀またはキセノンランプまたはハロゲンランプなどのいわゆる白色光源を用いることができる。この場合には、試料に照射可能な波長について制限はない。本発明は、種々の波長で励起が可能であるため、蛍光顕微鏡として採用される場合に特に効果的である。

30

#### 【0060】

さて、図12を参照すると、複数の光検出器が用いられたデバイスが示されており、試料体からの光はダイクロイックミラー18a~18cによって各波長に分離され、各波長の光が同時に撮影される。

#### 【0061】

ところで、図13を参照すると、回折光学素子20、一例として、ホログラフィックノッチフィルタまたは音響光学変調器が用いられた構成が示されており、励起光の光路だけが屈折されて照明光を横方向から入射させる。このような構成が採用されると、励起光の波長以外の波長全てを光検出器12に導くことができ、これによって、ダイクロイックミラー(図12の18a~18c)で得られるよりも高い効率での照明が可能となり、散乱ストークスシフトを有する試料体を観察することができる。

40

#### 【0062】

図14は、DMDが用いられず液晶膜4aから構成された例を示す。この液晶膜4aは、液晶ドライバ41aによってDMDと同様に駆動され、解像限界程度のユニットサイズに基づいて、入射する光の透過(オン)または不透過(オフ)を含む切換え制御を実施する。これによって、液晶膜は、直線光の光強度を変調する機能を果たす。第1の実施形態のシステムと同様に、ガルバノメータミラーおよび光検出器がコンピュータ90によりリンクされ制御されている。

#### 【0063】

50

図15は、照明光に回折格子を設けたこと、照明光の単一屈折、ならびに回折光の+1回折ビームまたは-1回折ビームの遮断により縞が形成され、試料体に投影される例を示している。+1回折ビームまたは-1回折ビームが遮られると、縞が移動するので、図16(a)~(c)、図23(a)並びに(b)および図24を参照してその原理の説明がなされる。この照明方法が用いられる場合、DMD等の光変調部材の使用によって共焦点効果を画像のX方向に生じさせることができ、米国特許6,376,818号に記載のように、これらの縞の投影によって共焦点効果を画像のY方向に生じさせることができる。図16(a)~(c)は、図15の回折格子28、レンズ22、26、および液晶シャッタ24を詳細に示している。

#### 【0064】

図15に示した実施形態は、構造的照明を用いており、共焦点画像を得る素子を示している。図16(a)~(c)に示したように、レーザ光が回折格子28に入射し、2つ以上の回折光が生成されレンズ22に入射する。レンズ22は各回折光を直線スポットに集光する。図16(a)は、レンズ26で平面1001上に集束された集光ビームを示している。縞模様のパターンを平面1001上に生じさせるには、図16(b)に示したように、位相板24の黒印の部分24aでの位相を位相板24の残りの部分から1/4波長だけシフトさせる。次に、図16(c)に示したように、位相板24の黒印の部分24bでの位相を位相板24の残りの部分から1/4波長だけシフトさせる。図16(b)の場合については、平面1001上に投影されたパターンが図23(a)に示されている。図16(c)の場合については、平面1001上に投影されたパターンが図23(c)に示されている。図23(b)および23(c)に示した2つのパターンを合成することによって単一ライン画像が得られる。図23(a)および(b)の各画像の明るい領域は、図24に示したように1つの線画像に合成される。

#### 【0065】

また、この光学系を用いて明るい画像を検出するために、系は大きい瞳径の対物レンズに対応できることが必須である。これまでに用いられた顕微鏡で試料体を撮像するために光線を射出するときの対物レンズ裏面のNAは0.03程度であり、広範囲にわたって明るい画像を観察することができるが、系は0.04~0.1の間またはそれ以上のNA値、一例では0.175の値に対応できることが必須である。このような大径の瞳を含む光学系では、大径のガルバノメータミラーの採用が必須である。このような大径のガルバノメータミラーを高速で駆動することは困難である。ガルバノメータミラーを用いて走査が実施される従来技術の共焦点顕微鏡を用いて、解像度512x512の画像を撮影するためには、少なくともX走査ガルバノメータミラーを512回振動させなければならないが、X走査ガルバノメータミラーはこの構成の共焦点顕微鏡では不要であり、Y走査ガルバノメータミラーを1度だけ振動させる必要があるため、比較的大きいガルバノメータミラーが使用される場合でも、画像の写真を高速で撮ることができる。

#### 【0066】

図17は、高圧水銀ランプ、キセノンランプ、ハロゲンランプまたはメタルハライドランプ等の白色光源13bを照明光源として用いるための光学系を示している。このような光学系では、レンズ3が白色光源13b用に最適化されている。光源13bは高圧水銀ランプであることが好ましいが、キセノンランプ、ハロゲンランプまたはメタルハライドランプも利用することができる。

#### 【0067】

図18を参照して以下に説明する。光変調部材のオンおよびオフ、ならびにガルバノメータミラーの位相は適正に利用され、光を試料表面上の特定の位置にのみ照射することができる。このために用いられる手段を以下に説明する。図18は、試料体上のセル111に対応する画素と、写真の撮影が可能な範囲112とを示している。ここで、これらのセルの一部110上に光が照射される蛍光画像を観察する方法を説明する。

#### 【0068】

1. 照明光が所望の照明波長に設定される。

## 【 0 0 6 9 】

2. 光変調部材 4 を構成し、Y 1 ラインの X 1 ~ X 1 1 に対応する D M D 素子の全てのミラーが、オフに切換えられる。

## 【 0 0 7 0 】

3. そのために Y 軸で照明位置の変更を行うことができるガルバノメータミラー 5 が、Y 1 を照射可能な位置から Y 3 を照射可能な位置へと移動される。

## 【 0 0 7 1 】

4. ライン Y 3 のみの照明位置 X 5、X 6 に対応する D M D ミラーのオンによって光が照射される。

## 【 0 0 7 2 】

5. ガルバノメータミラー 5 が移動され、ライン Y 4 の X 5、X 6 位置が照射され、次にライン Y 5 の X 5、X 6 位置が照射される。

## 【 0 0 7 3 】

6. ライン Y 5 の X 5、X 6 位置に対応する D M D 4 がオフに切換えられ、次に、ガルバノメータミラーが Y 6 を経て位置 Y 1 0 に移動される。

## 【 0 0 7 4 】

7. 走査を数回実施することが所望される場合には、2 ~ 6 の動作を繰り返すことができる。

## 【 0 0 7 5 】

8. 蛍光画像の取得が初期化される。

## 【 0 0 7 6 】

図 1 9 を参照して以下に説明する。図 1 9 は、ミラーが光変調部材 4 内に一列に配列された一次元デジタルミラーデバイスアレイを用いた例を示している。本実施形態で採用された構成は、光路がガルバノメータミラー 5 から上方に向かって曲げられるものである。図 1、図 9、図 1 3、図 1 4、図 1 5 および図 1 7 の実施形態の構成では図示されていないが、光路がガルバノメータミラーから上方に向かって曲がる構成はこれらの実施形態でも可能である。図 1 9 の光検出器 1 2 として、ラインセンサが用いられる。全実施形態の共焦点観察で、線、ドット、またはドット光線が光検出器 1 2 に投影される。

## 【 0 0 7 7 】

次に図 2 0 を参照すると、ダイクロイックミラー 1 5 1 によって試料体 1 0 から導かれた光を分割し、分割された光に異なる波長のそれぞれの光が透過される帯域フィルタ 1 5 2、1 5 5 を通過させ、さらに、ミラー 1 5 3、1 5 4、および 1 5 6 によって反射し、結像レンズ 1 5 8、1 5 9 によってそれぞれ結像させることにより、2 つの異なる波長の光を 1 つの光検出器 1 5 7 上に投影することができる。このような構成を採用することにより、2 つの画像を 1 つの二次元光検出器 1 5 7 を用いて生成することができる。本実施形態の構成は、2 つの異なる波長を投影させるものだが、実用的には、構成を 3 つ以上の波長の光が投影される場合にも採用することができる。

## 【 0 0 7 8 】

図 2 1 は、ミラー 1 5 6、1 5 4 からの 2 つの線形光 1 6 0、1 6 1 が横方向に並列され、光検出器 1 5 7 に受容される例を示している。図 2 2 は、ミラー 1 5 6、1 5 4 からの 2 つの線形光 1 6 2、1 6 3 が垂直方向（図の上 / 下方向）に並列され、光検出器 1 5 7 に受容される例を示している。図 2 2 に示すように、光が光検出器 1 5 7 の上 / 下方向に 2 つの線で受容されるとき、画像の解像度を減少させることなく 2 つの波長の光を受けることができる。

## 【 0 0 7 9 】

本発明を用いて、共焦点でない非共焦点画像を生成することができる。光変調部材として明暗パターンが変更可能な二次元素子を用いることによって、レーザ光全体を試料体表面に導き、さらにガルバノメータミラーを走査して照明光を全視野にわたって照射し、光検出器を用いて試料体からの光を画像として生成することができる。一例として、図 1 の実施形態が用いられると、レーザ 1 3 が照射され、全光変調部材 4 がオンに切換えられて

10

20

30

40

50

ガルバノメータミラー 5 を走査することによって試料体を照射し、反射光、蛍光、および試料体から発生された光がガルバノメータミラー 5 によって再度反射され、光変調部材 4 を通って撮像デバイス 12 に導かれる。結果として、標準的な試料体の反射光または蛍光を観察することができる。

【0080】

本発明の好適な実施形態であると考えられるものについて示され、説明されてきたが、本発明の精神から逸脱することなく、形状または細部に種々の変形および変更が容易になされうることはいふまでもないことが理解されよう。本発明は、説明され、示されたものの形状に限定されないが、添付の請求項の範囲内に収まる変形の全てを網羅するように構成されるよう意図されている。

10

【図面の簡単な説明】

【0081】

【図1】本デバイスの光学系の斜視図である。

【図2】このデバイスの光学系の上からの図である。

【図3】(a)ないし(i)は、試料体の一点照明が行われる、図1および2の共焦点顕微鏡のために実施された光変調部材用のミラーのオン/オフパターンを示す図である。

【図4】(a)および4(b)は、複数の隣接ミラーがオンおよびオフに切換えられる、図3(a)~(i)のミラーのオン/オフパターンの変形を示す図である。

【図5】(a)および5(b)は、複数のミラーが交互にオンおよびオフに切換えられる部分に直線照明光が照射される、光変調部材用のミラーのオン/オフパターンを示す図である。

20

【図6】(a)および6(b)は、光変調部材のミラーのオン/オフパターンの他のシーケンスを示す図である。

【図7】光変調部材のミラーのオン/オフパターンの他のシーケンスを示す図である。

【図8】光変調部材のミラーのオン/オフパターンの他のシーケンスを示す図である。

【図9】図1の光学系の変形を示す図である。

【図10】図2の光学系の変形を示す図である。

【図11】試料体が明暗のある照明光により照明されている場合のスペクトルの例を示す図である。

【図12】複数の光検出器が用いられ、これらの各波長の光が同時に撮影されるように、試料体からの光がダイクロイックミラーによって各波長に分離されるデバイスを示す図である。

30

【図13】励起光の光路だけが屈折されて照明光を横方向から入射させるように、回折光学素子を用いた構成を示す図である。

【図14】光変調部材の代わりに液晶膜で構成された光学系を示す図である。

【図15】照明光に回折格子を設けたことにより縞が形成され、試料体に投影される光学系を示す図である。

【図16】(a)~16(c)は、図15の系の回折格子、レンズ、および液晶シャッタを示す図である。

【図17】高圧水銀ランプ、キセノンランプ、ハロゲンランプ、またはメタルハライドランプ等の白色光源を照明光源として用いた光学系を示す図である。

40

【図18】試料体のセルに対応する画素および撮影が可能な範囲を示す図である。

【図19】ミラーが光変調部材4内に一列に配列され、光路がガルバノメータミラーから上方に向かって曲がる、一次元デジタルミラーデバイスアレイを有する光学系を示す図である。

【図20】試料体からの光が分割され二次元光検出器への2つの光路に向けられる、光学系を示す図である。

【図21】2つの線形光が横方向に並列され光検出器に受容される、図20の光検出器を示す図である。

【図22】2つの線形光が垂直方向に並列され光検出器に受容される、図20の光検出器

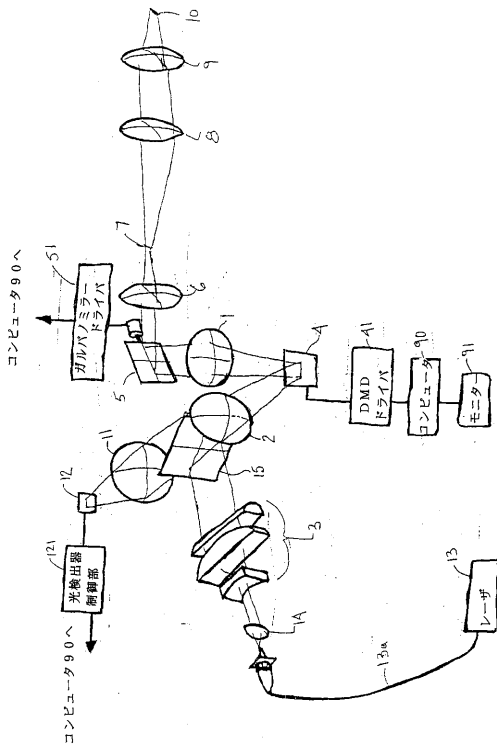
50

を示す図である。

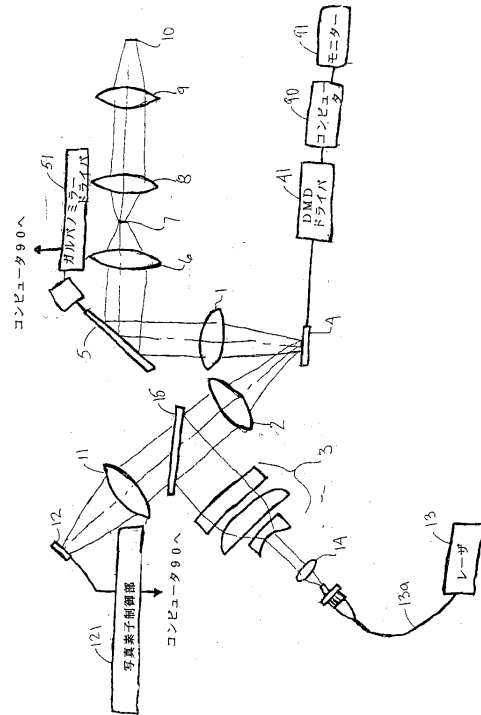
【図23】(a)および23(b)は、図16(b)および16(c)の光学素子によって生成された投影パターンをそれぞれ示す図である。

【図24】図16(b)および(c)の各パターンの明るい領域の組み合わせを示す図である。

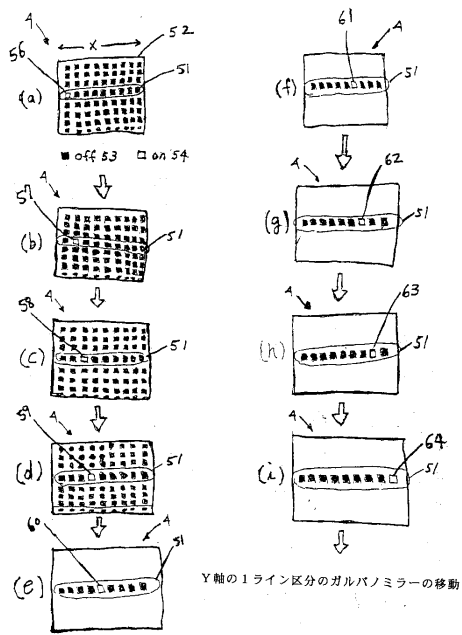
【図1】



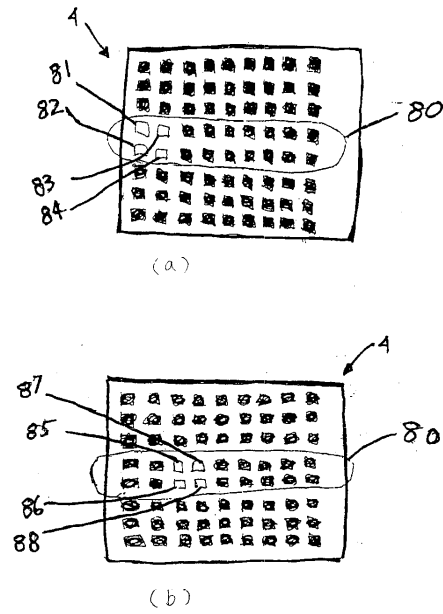
【図2】



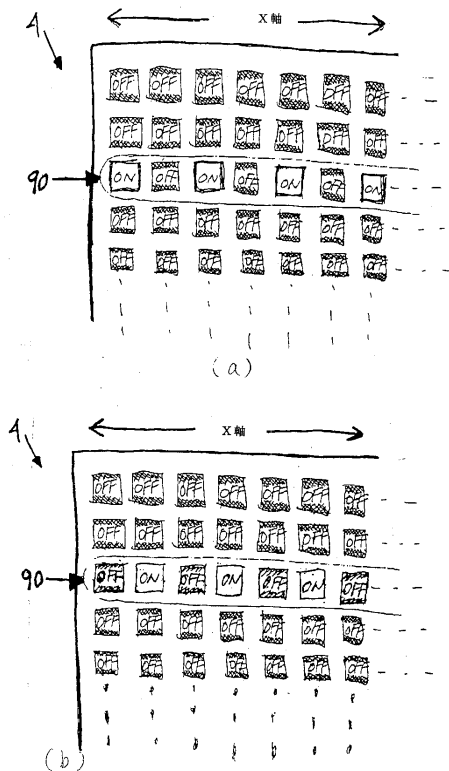
【 図 3 】



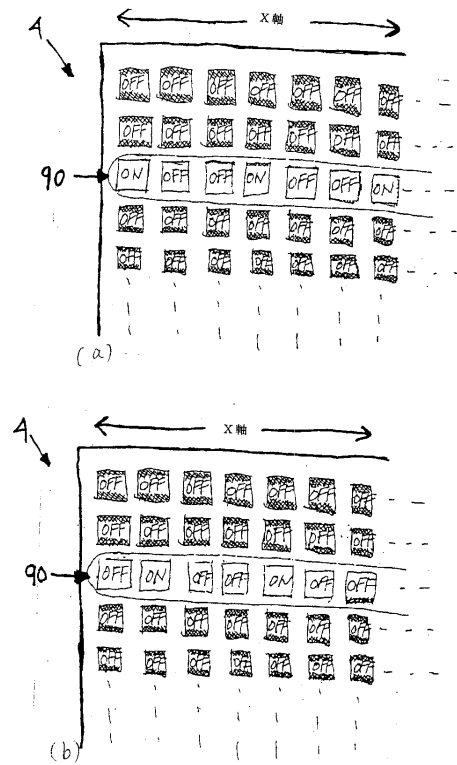
【 図 4 】



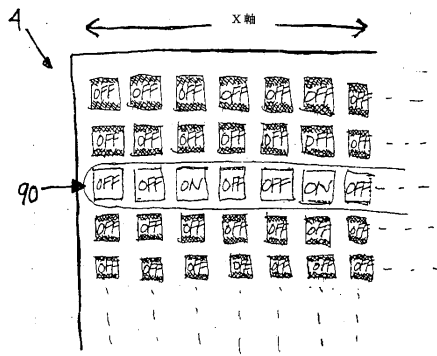
【 図 5 】



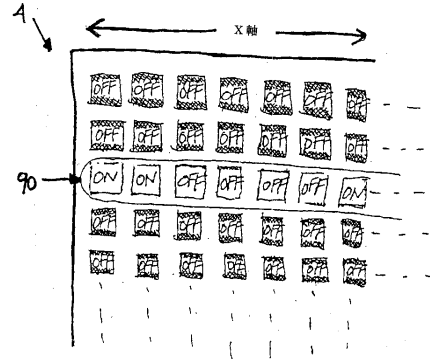
【 図 6 】



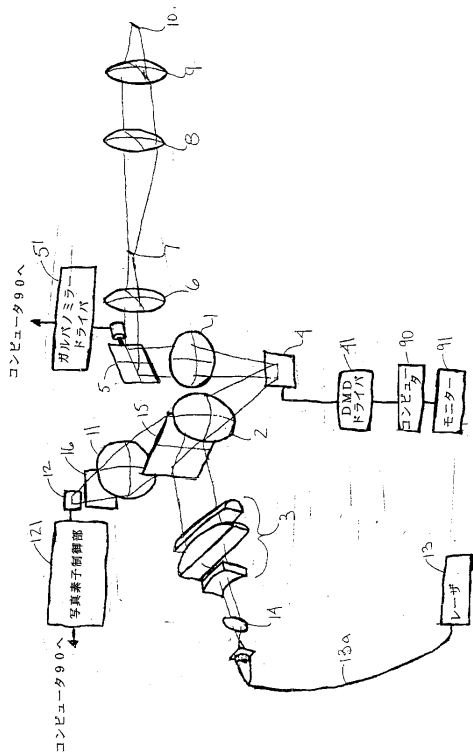
【図7】



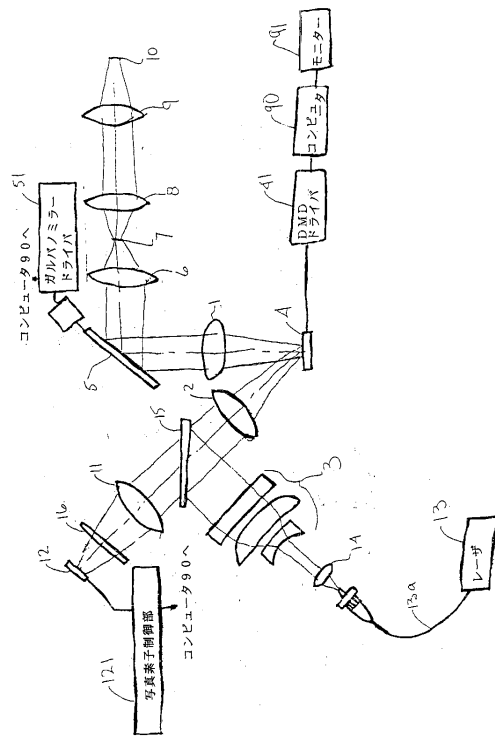
【図8】



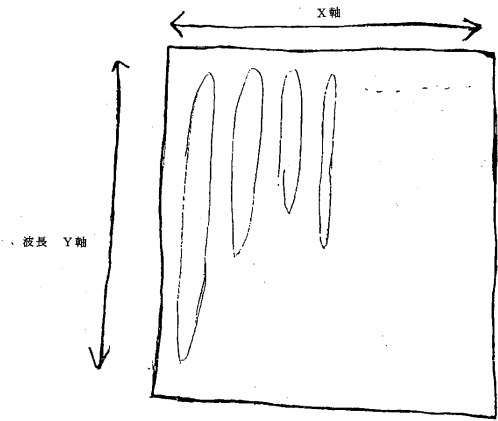
【図9】



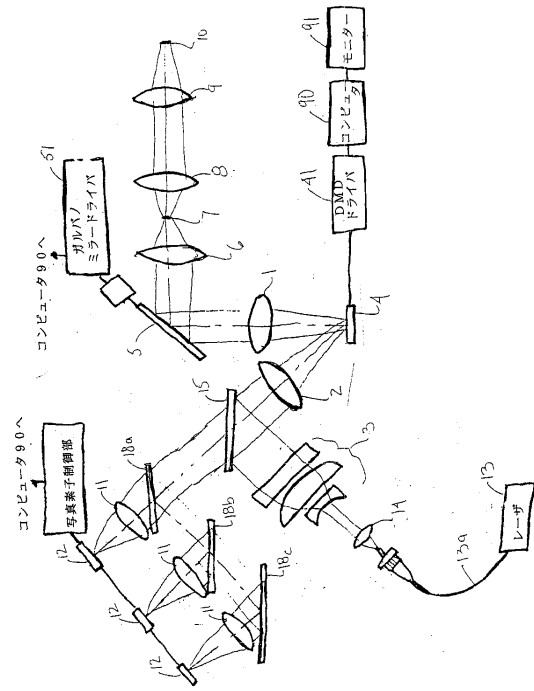
【図10】



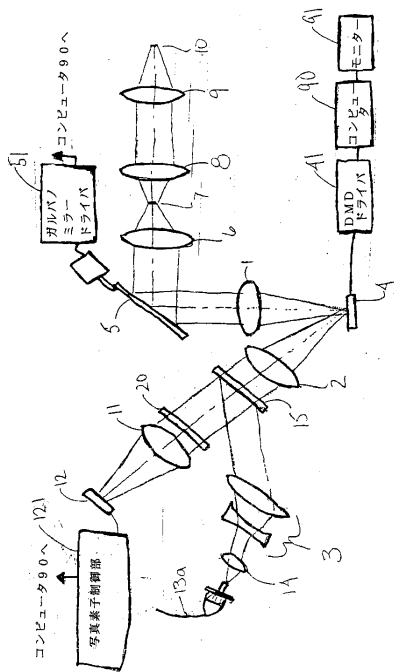
【図 1 1】



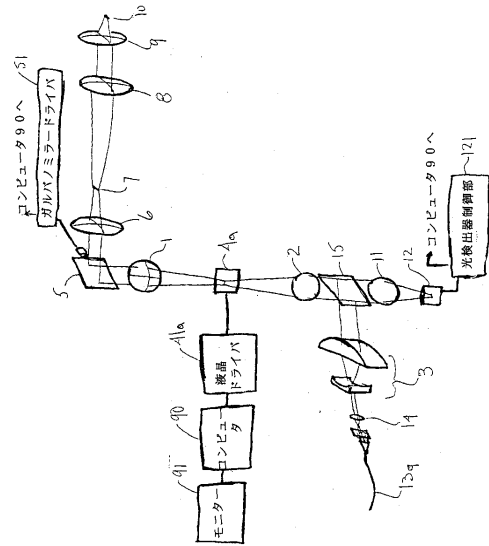
【図 1 2】



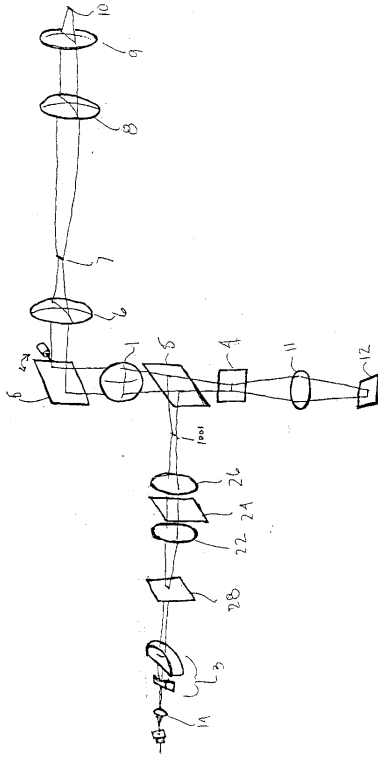
【図 1 3】



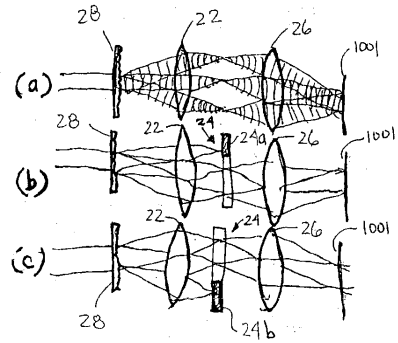
【図 1 4】



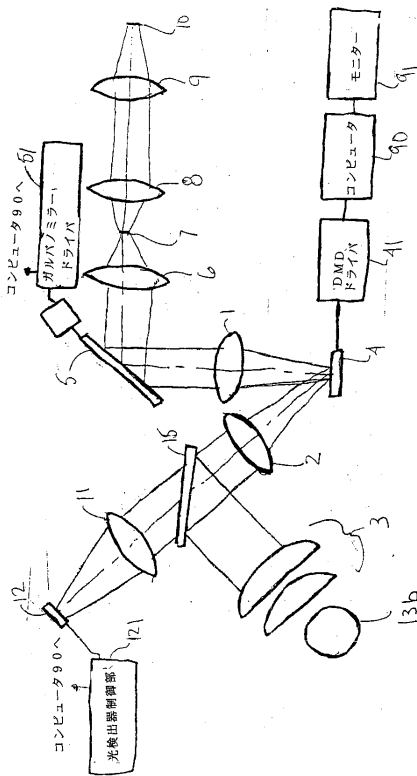
【 図 15 】



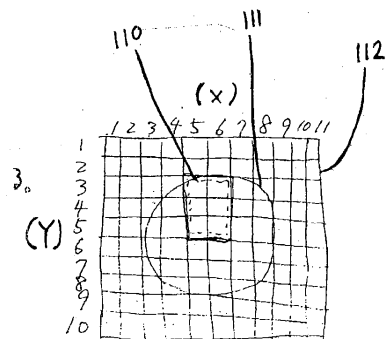
【 図 16 】



【 図 17 】

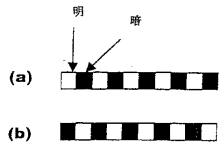


【 図 18 】

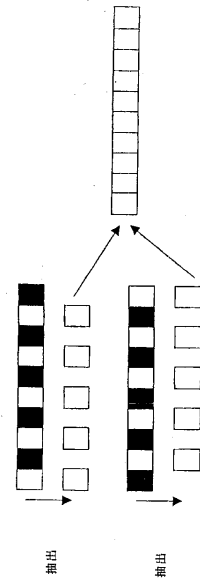




【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



## フロントページの続き

(74)代理人 100109830

弁理士 福原 淑弘

(74)代理人 100084618

弁理士 村松 貞男

(74)代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(72)発明者 河野 芳弘

アメリカ合衆国、ニューヨーク州 11801、ヒックスビル、ウォルナット・レーン 23

(72)発明者 小池 潔

アメリカ合衆国、ニューヨーク州 11801、ヒックスビル、フィフス・アベニュー 114

Fターム(参考) 2H052 AA07 AA08 AA09 AC04 AC15 AC26 AC27 AC32 AF07 AF14

AF21

【外国語明細書】

2004199063000001.pdf