

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5376494号  
(P5376494)

(45) 発行日 平成25年12月25日(2013.12.25)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int.Cl.		F I		
<b>HO 1 L</b>	<b>21/027</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	21/30 5 2 9
<b>GO 3 F</b>	<b>7/20</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	21/30 5 1 5 D
			HO 1 L	21/30 5 1 6 D
			GO 3 F	7/20 5 0 5

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2008-261330 (P2008-261330)	(73) 特許権者	000207551
(22) 出願日	平成20年10月8日 (2008.10.8)		大日本スクリーン製造株式会社
(65) 公開番号	特開2010-93044 (P2010-93044A)		京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1
(43) 公開日	平成22年4月22日 (2010.4.22)	(73) 特許権者	000006747
審査請求日	平成23年10月6日 (2011.10.6)		株式会社リコー
			東京都大田区中馬込1丁目3番6号
		(73) 特許権者	504157024
			国立大学法人東北大学
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
		(74) 代理人	100135002
			弁理士 松岡 直之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 描画装置および描画方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

照射する光によってパターンを描画する描画装置であって、  
光を照射する光源と、  
前記光源からの光を変調する空間光変調ユニットと、  
前記空間光変調ユニットによって変調された光を導く光学系と、  
を備え、

前記空間光変調ユニットは、

反射面の配置角度が第1角度となる状態と前記反射面の配置角度が第2角度となる状態との間で状態の切り替えが可能であるとともに、前記状態の切り替えが行われたときに、前記反射面の配置角度が前記第1角度と前記第2角度との間で連続的に変位する複数のミラーと、

前記光源から照射される光を前記複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向に応じて、前記複数のミラーのそれぞれについて前記状態の切り替えを行うタイミングを個別に決定しつつ、前記複数のミラーの状態を個別に制御するミラー制御手段と、  
を備え、

前記光学系は、通過する光の位置によって光量に変化する光学素子を備え、

前記複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向は、前記複数のミラーのそれぞれに対応した画素を描画するために必要とされる光の光量に応じて決定される描画装置。

【請求項2】

請求項 1 に記載の描画装置であって、  
前記ミラー制御手段は、反射面の配置角度が前記第 1 角度と前記第 2 角度との間で変位中の状態において、前記反射面が前記光源からの光を反射するように、前記反射面を有するミラーの状態の切り替えタイミングを決定する描画装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の描画装置であって、  
前記光源は、所定の周期で光を照射する描画装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の描画装置であって、  
前記ミラー制御手段は、前記所定の周期に応じてタイミングを決定する描画装置。

10

【請求項 5】

請求項 3 または 4 に記載の描画装置であって、  
前記光源は、パルスレーザである描画装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の描画装置であって、  
前記パルスレーザは、エキシマレーザである描画装置。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の描画装置であって、  
前記光学素子は、アパーチャである描画装置。

【請求項 8】

光源から照射される光を光学系から照射することによってパターンを描画する描画方法であって、

20

(a) 反射面の配置角度が第 1 角度と第 2 角度との間で連続的に変位する複数のミラーのそれぞれが前記光源から照射される光を反射させるべき方向に応じて、前記反射面の配置角度が前記第 1 角度となる状態と前記反射面の配置角度が前記第 2 角度となる状態との間で前記複数のミラーの状態を切り替えるタイミングを、前記複数のミラーのそれぞれについて個別に決定する工程と、

(b) 前記(a)工程において、前記複数のミラーのそれぞれについて決定されたタイミングに応じて前記複数のミラーの状態を個別に制御する工程と、

(c) 前記(b)工程により制御された状態の前記複数のミラーに前記光源から照射される光を反射させることにより、前記光源から照射される光を変調して前記光学系に入射させる工程と、

30

(d) 前記光学系が備える光学素子により、前記光学系に入射した光の光量を、当該光が通過する位置に応じて変化させる工程と、  
を有し、

前記複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向は、前記複数のミラーのそれぞれに対応した画素を描画するために必要とされる光の光量に応じて決定される描画方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の描画方法であって、  
前記(c)工程における複数のミラーは、反射面の配置角度が前記第 1 角度と前記第 2 角度との間で変位中の状態のものを含む描画方法。

40

【請求項 10】

請求項 8 または 9 のいずれかに記載の描画方法であって、  
前記(c)工程において、前記光源は所定の周期で光を照射する描画方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の描画方法であって、  
前記(a)工程において、前記複数のミラーの状態を切り替えるタイミングは、前記所定の周期に応じて決定される描画方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

## 【 0 0 0 1 】

本発明は、複数の微小なミラーを用いて、光源からの光をマルチビーム化する技術において、マルチビーム化された各ビームの光量を制御する技術に関する。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

例えば、精密な微細パターンを描画する技術において、アレイ状に配置された複数の微小なミラーによって、光源からの光をマルチビーム化して描画する技術が知られている。例えば、このようなミラーデバイス（空間光変調素子）を用いた描画装置が特許文献 1 に記載されている。

## 【 0 0 0 3 】

光変調の制御に関しては、各ピクセル（ビーム）の光量を単純に ON / OFF するだけでなく、その光量を連続的に制御したいという要請がある。すなわち、各ビームの光量をデジタル的な ON / OFF のみの出力ではなく、アナログ的な（連続階調）出力として得たいという要請がある。

## 【 0 0 0 4 】

例えば、描画に用いられる光源によっては、当該光源から出射される光が光量に関して一様な分布になっていない場合がある。このように光源から出射される光の光量分布が一様でない場合には、各微小ミラーに入射する光の光量が各微小ミラーの位置に応じて不均一となる。これをそのまま描画に用いると、ピクセルごとに照射される光の光量が不均一となるため、露光ムラの原因となる。したがって、描画装置では、光量分布が不均一な光を照射する光源を用いた場合であっても、各ビームの光量が一樣になるようにキャリブレーションしたいという要請がある。

## 【 0 0 0 5 】

また、連続階調画像を描画する場合にはピクセルごとに任意の光量を与えることが求められる。また、微細パターンを露光する場合、線幅やエッジを精度よく滑らかに描くためには、ピクセルごとに光量を微妙に制御することが求められる。また、ビーム配列グリッドをビーム階調でさらに細かく増やすという手法（サブグリッド）が求められることもある。

## 【 0 0 0 6 】

本来ミラーデバイスは、光の進行方向を制御するものであって、光量を制御する機能は有していない。しかしながら、従来より、ミラーデバイスの各ビームの光量を個別に制御する手法がいくつか提案されている。

## 【 0 0 0 7 】

例えば、露光時間（光源が点灯している時間）内において、各ビームを ON とする時間（ON となる方向に向けて反射する時間）を制御することによって、積分光量を制御するパルス幅変調方式が提案されている。

## 【 0 0 0 8 】

また、各ミラーの配置角度を個別に制御可能とし、当該配置角度を任意の角度（所望の光量となる角度）に停止させた状態で光源からの光を入射させて反射させることによって光量を制御するミラー角度制御方式が提案されている。

## 【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 3 - 3 3 2 2 2 1 号 公 報

## 【 発明の開示 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 0 】

ところが、従来のパルス幅変調方式では、光源がエキシマレーザのようなパルスレーザである場合、ミラーの配置角度を変更する時間に比べてレーザ点灯時間（露光時間）が短いために、レーザ点灯時間内にミラーの配置角度を変更してレーザを ON ・ OFF することができないという問題があった。

## 【 0 0 1 1 】

10

20

30

40

50

また、ミラー角度制御方式では、全てのミラーを任意の角度に精度よく停止させることが求められるが、ミラーデバイスは微小かつ複雑な構造物であり、全てのミラーを任意の角度に精度よく停止させることが可能な構造の設計、製造が極めて困難であるという問題があった。

【0012】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、複数の微小なミラーを用いて、光源からの光をマルチビーム化する技術において、マルチビーム化された各ビームの光量を、連続的な任意の値に、高精度に制御することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記の課題を解決するため、請求項1の発明は、照射する光によってパターンを描画する描画装置であって、光を照射する光源と、前記光源からの光を変調する空間光変調ユニットと、前記空間光変調ユニットによって変調された光を導く光学系とを備え、前記空間光変調ユニットは、反射面の配置角度が第1角度となる状態と前記反射面の配置角度が第2角度となる状態との間で状態の切り替えが可能であるとともに、前記状態の切り替えが行われたときに、前記反射面の配置角度が前記第1角度と前記第2角度との間で連続的に変位する複数のミラーと、前記光源から照射される光を前記複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向に応じて、前記複数のミラーのそれぞれについて前記状態の切り替えを行うタイミングを個別に決定しつつ、前記複数のミラーの状態を個別に制御するミラー制御手段とを備え、前記光学系は、通過する光の位置によって光量が変化する光学素子を備え、前記複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向は、前記複数のミラーのそれぞれに対応した画素を描画するために必要とされる光の光量に応じて決定される。

【0015】

また、請求項2の発明は、請求項1の発明に係る描画装置であって、前記ミラー制御手段は、反射面の配置角度が前記第1角度と前記第2角度との間で変位中の状態において、前記反射面が前記光源からの光を反射するように、前記反射面を有するミラーの状態の切り替えタイミングを決定する。

【0016】

また、請求項3の発明は、請求項1または2のいずれかの発明に係る描画装置であって、前記光源は、所定の周期で光を照射する。

【0017】

また、請求項4の発明は、請求項3の発明に係る描画装置であって、前記ミラー制御手段は、前記所定の周期に応じてタイミングを決定する。

【0018】

また、請求項5の発明は、請求項3または4の発明に係る描画装置であって、前記光源は、パルスレーザである。

【0019】

また、請求項6の発明は、請求項5の発明に係る描画装置であって、前記パルスレーザは、エキシマレーザである。

【0021】

また、請求項7の発明は、請求項1ないし6のいずれかの発明に係る描画装置であって、前記光学素子は、アパーチャである。

【0025】

また、請求項8の発明は、光源から照射される光を光学系から照射することによってパターンを描画する描画方法であって、(a)反射面の配置角度が第1角度と第2角度との間で連続的に変位する複数のミラーのそれぞれが前記光源から照射される光を反射させるべき方向に応じて、前記反射面の配置角度が前記第1角度となる状態と前記反射面の配置角度が前記第2角度となる状態との間で前記複数のミラーの状態を切り替えるタイミングを、前記複数のミラーのそれぞれについて個別に決定する工程と、(b)前記(a)工程において、前記複数のミラーのそれぞれについて決定されたタイミングに応じて前記複数のミラー

10

20

30

40

50

の状態を個別に制御する工程と、(c)前記(b)工程により制御された状態の前記複数のミラーに前記光源から照射される光を反射させることにより、前記光源から照射される光を変調して前記光学系に入射させる工程と、(d)前記光学系が備える光学素子により、前記光学系に入射した光の光量を、当該光が通過する位置に応じて変化させる工程とを有し、前記複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向は、前記複数のミラーのそれぞれに対応した画素を描画するために必要とされる光の光量に応じて決定される。

【0027】

また、請求項9の発明は、請求項8の発明に係る描画方法であって、前記(c)工程における複数のミラーは、反射面の配置角度が前記第1角度と前記第2角度との間で変位中の状態のものを含む。

10

【0028】

また、請求項10の発明は、請求項8または9の発明に係る描画方法であって、前記(c)工程において、前記光源は所定の周期で光を照射する。

【0029】

また、請求項11の発明は、請求項10の発明に係る描画方法であって、前記(a)工程において、前記複数のミラーの状態を切り替えるタイミングは、前記所定の周期に応じて決定される。

【発明の効果】

【0030】

請求項1ないし11に記載の発明は、複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向に応じて、複数のミラーのそれぞれについて状態の切り替えを行うタイミングを個別に決定しつつ、複数のミラーの状態を個別に制御することにより、光源からの光を、簡易な構造で、任意の方向に反射させることができる。

20

【0031】

請求項1ないし11に記載の発明は、複数のミラーのそれぞれが反射させるべき方向は、複数のミラーのそれぞれに対応した画素を描画するために必要とされる光の光量に応じて決定されることにより、光量を任意の値に調節できる。

【0032】

請求項3および10に記載の発明は、光源が所定の周期で光を照射することにより、一定の描画時間および描画間隔で描画することができ、制御が容易になる。

30

【0033】

請求項5に記載の発明は、パルス幅変調方式を採用することが困難な構成であっても、光を反射するときの配置角度を、簡易な構造で、任意の値に調節できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、本発明の好適な実施の形態について、添付の図面を参照しつつ、詳細に説明する。

【0035】

< 1. 実施の形態 >

図1は、発明に係る描画装置1を示す図である。なお、以下の説明では、図1に示すようにX軸、Y軸およびZ軸を定義する。

40

【0036】

描画装置1は、可動ステージ10、描画ヘッド11および制御部12を備え、可動ステージ10に支持された基板9に微細なパターン(像)を描画する装置として構成されている。

【0037】

なお、パターンを描画する対象物は基板9に限定されるものではなく、紙や立体的な物体であってもよい。また、本発明における描画装置は、描画される像が視認できるものに限定されるものではなく、例えば、露光装置をも含む概念である。また、描画装置1の1回の描画動作によって描画される画像はn個の画素から形成されており(nは1以上の整

50

数)、以下の説明では、 $n$ 番目の画素に対応する構成について「 $n$ 」の添え字を付すものとする。

【0038】

可動ステージ10の上面は水平面に加工されており、基板9を水平姿勢で保持する機能を有している。可動ステージ10は、図示しない吸着口から吸引を行うことにより、載置された基板9の裏面を吸着して当該基板9を所定の位置に保持する。

【0039】

また、可動ステージ10は、制御部12からの制御信号に応じて、 $X$ 軸方向および $Y$ 軸方向に直線的に移動することが可能とされている。すなわち、詳細は省略するが、可動ステージ10は、基板9を $Y$ 軸方向に移動させる主走査駆動機構と、基板9を $X$ 軸方向に移動させる副走査駆動機構とを備えている。このような機構としては、例えば、リニアモータを採用することができる。

10

【0040】

これにより、描画装置1は、描画ヘッド11から照射される光を基板9の表面の任意の位置に照射することが可能とされている。このように、描画装置1から照射されるレーザー光は基板9の表面を像面として結像される。

【0041】

描画ヘッド11は、レーザー光を照射する光源としてのレーザー発振器13、レーザー発振器13から照射されたレーザー光を所定の方向に導く照明光学系14、照明光学系14によって導かれたレーザー光を変調する空間光変調ユニット2、および、変調されたレーザー光を基板9に結像させる結像光学系15を備えている。

20

【0042】

レーザー発振器13は、制御部12から周期 $T$ で伝達されるリセット信号に応じて、所定のパルス幅のレーザー光を断続的に点灯させる(パルスレーザーとなる)。すなわち、本実施の形態におけるレーザー発振器13は、周期 $T$ (所定の周期)でレーザー光を照射する。

【0043】

描画間隔が短い場合、その間に可動ステージ10の移動を完了しなければならないため、可動ステージ10を比較的高速で移動させる必要がある。一方、描画間隔が長くなると、可動ステージ10の移動を完了するための許容時間が長くなるので、可動ステージ10を低速で移動させることが可能となるものの、描画に要する時間が長くなり処理自体が遅延する。

30

【0044】

しかし、本実施の形態におけるレーザー発振器13は、先述のように、一定の描画時間(パルス幅)および一定の描画間隔(周期 $T$ )で描画するため、可動ステージ10の移動速度を一定に保つことが可能であり、駆動制御が容易になるとともに、速度変更によって可動ステージ10の移動が不安定になることを防止することができる。なお、本実施の形態における描画装置1では、パルスレーザーを照射するレーザー発振器13としてエキシマレーザーを採用する。また、パルス幅は、10[nsec]ないし数十[nsec]程度である。

【0045】

照明光学系14は、ミラー140、レンズ141およびミラー142、143を備えている。

40

【0046】

レーザー発振器13から照射され、照明光学系14に入射したレーザー光は、ミラー140およびレンズ141によりミラー142へと導かれる。また、ミラー142はレンズ141によって導かれたレーザー光をミラー143に向けて反射し、ミラー143は入射したレーザー光を空間光変調ユニット2(空間光変調デバイス20)に向けて反射する。すなわち、ミラー142およびミラー143によって、レーザー光は所定の角度(入射角)で空間光変調ユニット2に入射するように調整される。

【0047】

このように、照明光学系14は、レーザー発振器13から照射されたレーザー光の光路を適

50

宜調整して空間光変調ユニット2に導く機能を有している。なお、照明光学系14が備える構成は本実施の形態に示すものに限定されるものではなく、レーザ光の光路上に適宜、別のレンズやミラー等の光学素子が配置されてもよい。

【0048】

照明光学系14によって導かれたレーザ光が入射される空間光変調ユニット2は、空間光変調デバイス20と、ミラー制御部21とを備えている。

【0049】

空間光変調デバイス20は、シリコン基板の上に、微少なミラーが格子状に多数配列した構造を有している。以下、空間光変調デバイス20が備える微小ミラーを「マイクロミラー」と称し、他のミラー（例えばミラー142）と区別する。

10

【0050】

空間光変調デバイス20の各マイクロミラーは、描画装置1によって描画される画像の各画素に対応している。したがって、空間光変調デバイス20はn個のマイクロミラーを有している。

【0051】

本実施の形態における空間光変調ユニット2では、このような空間光変調デバイス20としてDMD(Digital Micromirror Device)を採用する。ただし、本発明はDMDに限定されるものではなく、例えば、マイクロミラー方式のSLM(Spatial Light Modulators)であってもよい。

【0052】

空間光変調デバイス20の各マイクロミラーは、ミラー制御部21から各マイクロミラーに対して伝達される開始信号に応じて、所定の角度だけ傾くことが可能なように設計されている。具体的には、空間光変調デバイス20における複数のマイクロミラーの反射面の配置角度（反射面とXZ平面との成す角）は、ミラー制御部21からの開始信号に応じて、 $\theta_{on}$ （第1角度）と $\theta_{off}$ （第2角度）との間で変位する。

20

【0053】

本実施の形態では、通常時において各マイクロミラーの反射面の配置角度は $\theta_{off}$ となっている。この状態で、開始信号が与えられたマイクロミラーは、反射面の配置角度を $\theta_{off}$ から $\theta_{on}$ へと変位させる動作を開始する。すなわち、開始信号とは、反射面の配置角度が $\theta_{off}$ となっている状態のマイクロミラーに対して、配置角度が $\theta_{on}$ となる状態へと状態の切り替えを行うタイミングを示す信号である。

30

【0054】

厳密に言えば、製造誤差などによって各マイクロミラーごとに配置角度は微妙に異なっている。したがって、例えば、(n-1)番目の画素に対応するマイクロミラーについての $\theta_{on}$ の値「 $\theta_{on, n-1}$ 」は、n番目の画素に対応するマイクロミラーの $\theta_{on}$ の値「 $\theta_{on, n}$ 」と異なっている場合もあり得る。本実施の形態においてマイクロミラーの反射面の配置角度における $\theta_{on}$ （あるいは $\theta_{off}$ ）とは、当該マイクロミラーにON信号（あるいはOFF信号）を与え続けたときに、最終的に変位が停止するときの反射面の配置角度として定義する。

【0055】

図2は、マイクロミラーに開始信号が与えられたときの経過時間tと配置角度との関係を例示する図である。

40

【0056】

図2に示す例では、開始信号が与えられることによって配置角度の変位が開始され、時間t1経過後において配置角度が「 $\theta_{on}$ 」となり、配置角度が「 $\theta_{on}$ 」の状態が時間(t2-t1)だけ経過するまで維持された後、配置角度が再び「 $\theta_{off}$ 」へと変位している。一般的なミラーデバイスにおいて、マイクロミラーの反射面の配置角度が「 $\theta_{off}$ 」から「 $\theta_{on}$ 」まで傾くのに要する時間t1は、数 $\mu\text{sec}$ から数十 $\mu\text{sec}$ 程度である。

【0057】

50

このように、空間光変調デバイス 20 の複数のマイクロミラーのそれぞれは、開始信号により、反射面の配置角度が「 $\theta_{off}$ 」から「 $\theta_{on}$ 」と連続的に変位する。なお、図 2 に示す例では、時間  $t_1$  が経過するまでの間、配置角度が等速で連続的に変位している。しかし、配置角度が、連続的、かつ、再現性があるように変位するのであれば、その変位速度は必ずしも「等速」に限定されるものではない。すなわち、 $n$  番目の画素に対応するマイクロミラーに開始信号が与えられてからの経過時間を「 $t_n$ 」、当該マイクロミラーの反射面の配置角度を「 $\theta_n$ 」、連続関数  $f_n$  を用いて次の式 1 と表すことができればよい。

【0058】

$$\theta_n = f_n(t_n) \cdots \text{式 1}$$

10

【0059】

そして、本実施の形態における関数  $f_n$  は、図 2 に示す関数となるが、一般的なミラーデバイスは式 1 を満足する。

【0060】

また、関数  $f_n$  が連続関数であることから、関数  $f_n$  には逆関数  $F_n$  が存在し、式 2 が成立する。

【0061】

$$t_n = F_n(\theta_n) \cdots \text{式 2}$$

【0062】

すなわち、 $n$  番目の画素に対応するマイクロミラーについて、所望する配置角度  $\theta_n$  が決まれば、式 2 によって、当該マイクロミラーに開始信号を与えるタイミングを決定することができる。なお、関数  $F_n$  も再現性のある関数であるため、実験等により予め求めて、特性データとして記憶しておくことができる。

20

【0063】

図 3 は、ミラー制御部 21 の構成を示すブロック図である。図 3 に示すように、ミラー制御部 21 は、開始信号生成部 210、メモリ 211 および演算部 212 を備えている。

【0064】

開始信号生成部 210 は、制御部 12 から周期  $T$  で伝達されるリセット信号を遅延させる複数の遅延回路から構成されている。

【0065】

30

開始信号生成部 210 における各遅延回路には、空間光変調デバイス 20 の各マイクロミラーがそれぞれ一対一に対応しており、対応する遅延回路とマイクロミラーとが独立した信号線で互いに接続されている。すなわち、各遅延回路も描画されるパターンの各画素に対応しており、開始信号生成部 210 は  $n$  個の遅延回路を備えている。

【0066】

開始信号生成部 210 の各遅延回路には、制御部 12 から先述のリセット信号が同時に入力される。そして、各遅延回路によってそれぞれ遅延されたりセット信号は、各遅延回路に対応するマイクロミラーにおける開始信号として、それぞれのマイクロミラーに個別に、先述の信号線によって伝達される。

【0067】

40

すなわち、本実施の形態における開始信号生成部 210 は、レーザ発振器 13 においてパルスレーザを点灯させるタイミングを決定するためのリセット信号を基準として、開始信号を生成する機能を有している。

【0068】

なお、各遅延回路における遅延時間は、後述する演算部 212 によって演算され、各遅延回路に伝達される。また、与えられた遅延時間だけ入力信号（本実施の形態ではリセット信号）を遅延させて出力する遅延回路は、既知の技術を用いてアナログ回路あるいはデジタル回路によって容易に実現できる。

【0069】

メモリ 211 は、それぞれが「0」または「1」の値を記憶することが可能な複数のメ

50



メモリセルを備えている。また、メモリ 2 1 1 が備える複数のメモリセルは、所定数（1以上の整数）のメモリセルからなる  $n$  個のメモリセル群に区分されている。

【0070】

メモリ 2 1 1 の各メモリセル群は、描画するパターンを構成する各画素にそれぞれ対応している。したがって、各メモリセル群には、対応する画素の画素値が制御部 1 2 から書き込まれる。例えば、各メモリセル群が 8 個のメモリセルによって構成されている場合、各メモリセル群は、対応する画素について 0 ないし 2 5 5 の範囲の画素値を画素データとして記憶することができる。なお、メモリセル群に記憶される画素値を「 $Q$ 」とし、例えば、 $n$  番目の画素の画素値を「 $Q_n$ 」とする。

【0071】

なお、描画するパターンを構成する各画素において中間階調（連続階調）を表現する必要がない場合には各メモリセル群が備えるメモリセルは 1 個で足りる。一方、中間階調を表現する必要がある場合には各メモリセル群は階調数に応じた複数個のメモリセルが必要となる。

【0072】

メモリ 2 1 1 の各メモリセル群に記憶された各画素データは、演算部 2 1 2 によって参照され、後述する演算に用いられる。

【0073】

演算部 2 1 2 は、メモリ 2 1 1 の各メモリセル群に記憶されている画素データに基づいて、開始信号生成部 2 1 0 の各遅延回路における遅延時間を求めて各遅延回路に伝達する機能を有する。

【0074】

結像光学系 1 5 は、アパーチャ 1 5 0、ミラー 1 5 1 および結像レンズ 1 5 2 を備えている。

【0075】

図 4 は、アパーチャ 1 5 0 の表面に形成される入射面 1 5 3 を例示する図である。図 4 に示す例では、 $(n - 1)$  番目の画素に対応する入射面 1 5 3 <sub>$n-1$</sub>  と、 $n$  番目の画素に対応する入射面 1 5 3 <sub>$n$</sub>  とを示す。

【0076】

アパーチャ 1 5 0 の空間光変調ユニット 2 に対向する側の表面には、それぞれが描画されるパターンの画素に対応する複数の入射面 1 5 3 が一面に形成される。言い換えれば、アパーチャ 1 5 0 の空間光変調ユニット 2 に対向する側の表面は、 $n$  個の入射面 1 5 3 に分割されている。

【0077】

各入射面 1 5 3 には、同じ画素に対応するマイクロミラーからの反射光（レーザ光）のみが入射するように配置されている。すなわち、 $n$  番目の画素に対応したマイクロミラーからの反射光のみが  $n$  番目の画素に対応した入射面 1 5 3 <sub>$n$</sub>  に入射されるとともに、 $n$  番目の画素に対応した入射面 1 5 3 <sub>$n$</sub>  には  $n$  番目の画素に対応したマイクロミラー以外のマイクロミラーからの反射光が入射することはない。

【0078】

また、各入射面 1 5 3 には、それぞれ受光領域 1 5 4 が形成されており、受光領域 1 5 4 に入射したレーザ光だけがアパーチャ 1 5 0 を透過し、描画ヘッド 1 1 から照射される。言い換えれば、入射面 1 5 3 に入射したレーザ光のうち、受光領域 1 5 4 以外の領域に入射したレーザ光はアパーチャ 1 5 0 によって遮蔽される。

【0079】

図 4 に示す領域 8 0 は、 $n$  番目の画素に対応するマイクロミラーの反射面の配置角度が「 $\theta_{0n,n}$ 」となった状態のときに、当該マイクロミラーによって反射されたレーザ光が入射する領域を示すものである。すなわち、配置角度が「 $\theta_{0n}$ 」となったとき、マイクロミラーによって反射されたレーザ光の全光束は対応する受光領域 1 5 4 に入射される（ただし製造誤差によるズレがない場合）。したがって、当該レーザ光の全光量が対応する

10

20

30

40

50

画素を描画するために照射されるレーザー光の光量となる。

【0080】

また、図4に示す領域81は、 $n$ 番目の画素に対応するマイクロミラーの反射面の配置角度が「 $\theta_{off,n}$ 」となった状態のときに、当該マイクロミラーによって反射されたレーザー光が入射する領域を示すものである。すなわち、配置角度が「 $\theta_{off}$ 」となったとき、マイクロミラーによって反射されたレーザー光の全光束は受光領域154に入射しない状態となる（ただし製造誤差によるズレがない場合）。したがって、対応する画素を描画するために照射されるレーザー光の光量は「0」となる。

【0081】

先述のように、本実施の形態におけるマイクロミラーの反射面の配置角度は、「 $\theta_{on}$ 」と「 $\theta_{off}$ 」との間を連続的に変位するので、例えば、 $n$ 番目の画素に対応するマイクロミラーによって反射されたレーザー光が入射する領域は、結局、図4に示す領域82となる。

【0082】

図4に示す領域83は、配置角度が「 $\theta_{on,n-1}$ 」と「 $\theta_{off,n-1}$ 」の間で変位しているときに、 $(n-1)$ 番目の画素に対応するマイクロミラーにレーザー光が照射され反射されたレーザー光が入射する領域を示す。このような場合には、反射されたレーザー光の一部だけが受光領域154に入射し、その他の部分は遮蔽される。すなわち、領域83と受光領域154との重なる領域84に入射したレーザー光のみがアパーチャ150を透過し、そのレーザー光の光量は、反射されたレーザー光の全光束が入射した場合に比べて、アパーチャ150に遮蔽された分だけ減少する。

【0083】

すなわち、アパーチャ150を透過するレーザー光の光量は、領域84の面積に依存し、当該面積は、配置角度に依存する。逆に言えば、 $n$ 番目の画素を描画するために照射すべきレーザー光の光量を「 $I_n$ 」とすると、当該光量 $I_n$ を得るための配置角度 $\theta_n$ は、連続関数 $S_n$ を用いて式3と表すことができる。

【0084】

$$I_n = S_n(\theta_n) \cdots \text{式3}$$

【0085】

なお、関数 $S_n$ は、再現性のある関数であるため、実験等により予め求めて特性データとして記憶しておくことができる。

【0086】

このように、アパーチャ150は、通過するレーザー光の位置によって光量が変化する光学素子として構成されている。

【0087】

アパーチャ150は、各受光領域154に入射した複数のレーザー光を互いに平行な向き（ $Y$ 軸方向に平行な向き）に調整するとともに、各レーザー光のスポット形状を同一の形状に調整する機能を有する。

【0088】

本実施の形態における受光領域154には、様々な配置角度で反射されたレーザー光が入射する。したがって、アパーチャ150は受光領域154に入射したレーザー光の光軸を $Y$ 軸方向となるように揃える機能を有しており、これによってアパーチャ150を通過した全てのレーザー光が $Y$ 軸方向に進行する状態となる。

【0089】

また、本実施の形態では、図4に示す領域84の例のように、受光領域154に入射するレーザー光のスポット形状がマイクロミラーの反射面形状とはならない場合がある。このままのスポット形状で、レーザー光を基板9に照射すると、ムラの原因となる。したがって、アパーチャ150は各レーザー光の光量を揃えムラをなくす。

【0090】

アパーチャ150を通過したレーザー光はミラー151に向けて出射される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 1 】

アパーチャ 1 5 0 からミラー 1 5 1 に向けて出射されたレーザ光は、ミラー 1 5 1 によって反射され、結像レンズ 1 5 2 を介して像面たる基板 9 の表面に照射される。これにより、当該レーザ光に対応する画素の位置に当該レーザ光が照射され、所望の画素が描画される。

## 【 0 0 9 2 】

ここで、演算部 2 1 2 が遅延時間を求めることができる原理を説明する。

## 【 0 0 9 3 】

本実施の形態における描画装置 1 では周期 T のリセット信号ごとにレーザ光が照射される。したがって、m 回目のレーザ光が照射されるタイミングは「m T」である。また、n 番目の画素に対応するマイクロミラーに m 回目の描画のための開始信号が与えられてからの経過時間を「 $t_{n,m}$ 」とすると、m 回目の描画のためのレーザ光は当該開始信号が与えられてから「 $t_{n,m}$ 」経過したときに照射されるので、m 回目の開始信号が与えられるタイミング  $t_{n,m}$  は、式 4 で表される。

## 【 0 0 9 4 】

$$t_{n,m} = m T - t_{n,m} \cdots \text{式 4}$$

## 【 0 0 9 5 】

また、(m - 1) 回目の描画から m 回目の開始信号が与えられるまでの時間 (n 番目の画素に対応する遅延回路の m 回目の描画に対する遅延時間) は、次の式 5 で表される。

## 【 0 0 9 6 】

$$d_{n,m} = t_{n,m} - (m - 1) T \cdots \text{式 5}$$

## 【 0 0 9 7 】

したがって、式 4 を式 5 に代入すると、式 6 が成立する。

## 【 0 0 9 8 】

$$d_{n,m} = T - t_{n,m} \cdots \text{式 6}$$

## 【 0 0 9 9 】

ここで、予め特性データに記憶されている関数  $S_n$ 、 $F_n$  を用いると、式 3 および式 2 から式 7 および式 8 が求まる。

## 【 0 1 0 0 】

$$t_{n,m} = S_n(t_{n,m}) \cdots \text{式 7}$$

## 【 0 1 0 1 】

$$t_{n,m} = F_n(t_{n,m}) \cdots \text{式 8}$$

## 【 0 1 0 2 】

m 回目の描画において、n 番目の画素を描画するために必要なレーザ光の光量  $Q_{n,m}$  は、n 番目の画素に対応したメモリセル群に m 回目の画素データとして記憶される画素値  $Q_{n,m}$  によって求まる。

## 【 0 1 0 3 】

したがって、各画素について、式 7、式 8、式 6 を演算することにより、演算部 2 1 2 は、各画素に対応した遅延回路における遅延時間を求めることができる。

## 【 0 1 0 4 】

以上が描画装置 1 の構成および機能の説明である。次に、描画装置 1 を用いてパターンを描画する描画方法について説明する。

## 【 0 1 0 5 】

図 5 は、本発明に係る描画方法を示す流れ図である。なお、図 5 に示すステップ S 1 1 の処理が開始されるまでに、可動ステージ 1 0 に基板 9 が載置され、可動ステージ 1 0 (基板 9) の描画ヘッド 1 1 に対する相対位置が決定されているものとする。

## 【 0 1 0 6 】

制御部 1 2 は、レーザ発振器 1 3 と空間光変調ユニット 2 のミラー制御部 2 1 (開始信号生成部 2 1 0) とにリセット信号の伝達を開始するとともに、ミラー制御部 2 1 のメモリ 2 1 1 に次回の描画に係る画素データを書き込む (ステップ S 1 1)。なお、最初に描

10

20

30

40

50

画を開始する場合には、1回目のリセット信号のみレーザ発振器13に入力しないように制御してもよい。

【0107】

次に、ミラー制御部21の演算部212が遅延時間を演算し、開始信号生成部210に伝達する。これにより、開始信号生成部210の各遅延回路によって制御部12から伝達されたリセット信号がそれぞれ遅延され、各マイクロミラーの切り替えタイミング（開始信号を与えるタイミング）が決定される（ステップS12）。

【0108】

ステップS12においてそれぞれの遅延回路において個別に決定されたタイミングに、各開始信号が、開始信号生成部210から空間光変調デバイスの各マイクロミラーに伝達される。これにより、空間光変調デバイス20の複数のマイクロミラーのそれぞれについて決定されたタイミングに応じて当該複数のマイクロミラーの状態が個別に制御される（ステップS13）。すなわち、各マイクロミラーは開始信号を与えられた瞬間から、配置角度を「 $\theta_{on}$ 」に変位させる動作を開始する。

10

【0109】

次のリセット信号がレーザ発振器13に与えられると、レーザ発振器13はレーザ光を所定のパルス幅で照射し（ステップS14）、レーザ発振器13から照射されたレーザ光が照明光学系14に導かれて、空間光変調ユニット2（空間光変調デバイス20）の各マイクロミラーに同時に照射される（ステップS14）。

【0110】

図6は、 $n$ 番目の画素に対応したマイクロミラーについてのタイミングを示す図である。

20

【0111】

ステップS14におけるレーザ光の照射は、レーザ光が照射される各マイクロミラーの配置角度を「 $\theta_{on}$ 」に変位させる動作の完了を待って実行されるわけではない。したがって、ステップS14が実行され、レーザ光が照射されたマイクロミラーの中には配置角度を「 $\theta_{on}$ 」に変位させる動作を完了していないものも存在する。すなわち、ステップS14においてレーザ光が照射される複数のマイクロミラーは、反射面の配置角度が「 $\theta_{on}$ 」と「 $\theta_{off}$ 」との間で変位中の状態のものを含む。

【0112】

図6に示す例では、3回の描画が実行されているが、当該マイクロミラーについては、いずれも反射面の配置角度が「 $\theta_{on}$ 」と「 $\theta_{off}$ 」との間で変位中の状態でレーザ光が照射されている。

30

【0113】

描画装置1では、図6に示すように、レーザ発振器13から照射されるレーザ光はパルスレーザであって、レーザ光の点灯時間（パルス幅）は、マイクロミラーの遷移時間に比べて充分短い。したがって、変位中のマイクロミラーにレーザ光を照射することにより、本実施の形態における空間光変調ユニット2は、各マイクロミラーを所望の配置角度の状態に停止させる構造を有しなくても、所望の配置角度（所望の反射角）でレーザ光を反射することができる。したがって、描画時の光量を画素ごとに連続的に変化させることができる。

40

【0114】

図6に示す例では、3回の描画において、いずれも異なる配置角度の状態のときにレーザ光が照射されている。したがって、3回の描画において、 $n$ 番目の画素を描画するためのレーザ光の反射方向はいずれも異なる。

【0115】

ステップS14において照射されたレーザ光は、空間光変調デバイス20の各マイクロミラーによって所望の方向に反射されることにより変調され（ステップS15）、結像光学系15（アパーチャ150）に入射する（ステップS16）。

【0116】

50

さらに、結像光学系 15 に入射したレーザ光は、基板 9 の表面に導かれ、当該基板 9 の表面の所定の位置にそれぞれ照射され、各画素が描画される（ステップ S 17）。

【0117】

1 回の描画が終了するたびに、描画装置 1 は、画像データに基づいて、全ての描画が終了したか否かを確認し（ステップ S 18）、未だ描画していない画素が残っている場合には、可動ステージ 10 を所定の位置に移動させた後、ステップ S 11 からの処理を繰り返す。一方、全ての画素の描画を終了した場合には、処理を終了する。

【0118】

以上のように、描画装置 1 は、従来のパルス幅変調方式を適用することができない構成（エキシマレーザのような短波長のパルスレーザを照射するレーザ発振器 13）を備えているにも関わらず、描画するレーザ光の光量を連続的に変更することができる。

10

【0119】

また、開始信号のタイミングを制御することにより、ミラー角度制御方式のように、機械的、物理的にマイクロミラーの配置角度を直接制御するよりも、簡易な構造で実現でき、安定性、精度および分解能に優れた描画を行うことができる。

【0120】

また、描画に用いられる光源から出射される光は、光量に関して一様な分布であるとは限らない。このように光の光量分布が一様でない場合には、DMD などの空間光変調デバイスの各マイクロミラーに入射する光の光量は、各マイクロミラーの位置に応じて不均一となる。

20

【0121】

そして、入射する光の光量が異なるマイクロミラーについては、例えば、反射面の配置角度を同じ値に制御したとしても、反射される光の光量は異なる値となってしまう、描画に寄与する光の光量は同じ値にならず、描画されたパターンの中のムラの原因となる。

【0122】

さらに、製造誤差によって各マイクロミラーごとに光の反射方向が微妙に異なっていると、結果として、同じ画素値の画素に対応するマイクロミラーからの光の光量が同一にならない。

【0123】

このように、従来の描画装置では、様々な要因によって画素間の誤差（描画時の光量誤差に起因する濃度誤差）が生じるという問題があった。

30

【0124】

しかし、描画装置 1 では、各画素について、特性データ（関数  $S_n$ ,  $F_n$ ）が実験等により予め求められ、かつ、描画に係るレーザ光の光量を連続的に変更できるので、特性データによって画素間の誤差を抑制することができ、均一な描画を実現できる。

【0125】

< 2 . 変形例 >

以上、本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく様々な変形が可能である。

【0126】

例えば、開始信号生成部 210 をミラー制御部 21 に設けると説明したが、空間光変調デバイス 20 に設けてもよい。

40

【0127】

また、所望の配置角度  $\theta$  を求める関数  $S_n$  を実験により求めると説明したが、開始信号が与えられてからの光量変化を測定することによって、いわば関数  $S_n$  と関数  $F_n$  との合成関数を求めて特性データとして記憶していてもよい。

【0128】

また、アパーチャ 150 に代えて、通過する光の位置によって光量が増減する光学素子、例えば、連続濃度可変フィルタなどを用いてもよい。

【図面の簡単な説明】

50

## 【 0 1 2 9 】

【図 1】発明に係る描画装置を示す図である。

【図 2】マイクロミラーに開始信号が与えられたときの経過時間と配置角度との関係を例示する図である。

【図 3】ミラー制御部の構成を示すブロック図である。

【図 4】アパーチャの表面に形成される入射面を例示する図である。

【図 5】本発明に係る描画方法を示す流れ図である。

【図 6】 $n$  番目の画素に対応したマイクロミラーについてのタイミングを示す図である。

## 【符号の説明】

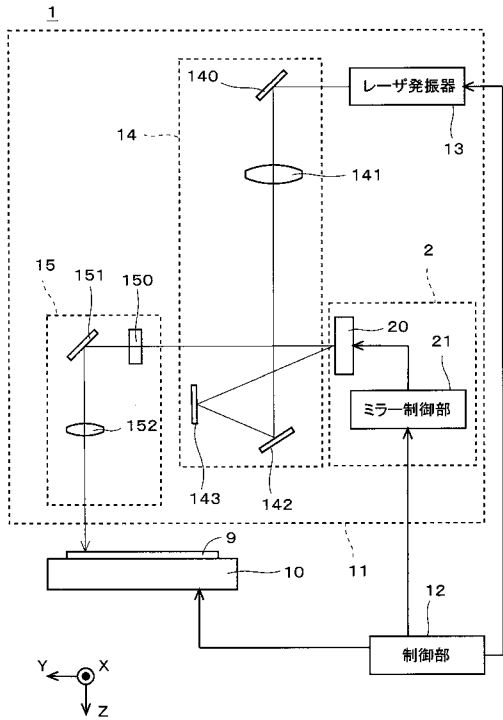
## 【 0 1 3 0 】

- 1 描画装置
- 1 0 可動ステージ
- 1 1 描画ヘッド
- 1 2 制御部
- 1 3 レーザ発振器
- 1 4 照明光学系
- 1 5 結像光学系
- 1 5 0 アパーチャ
- 2 空間光変調ユニット
- 2 0 空間光変調デバイス（複数のミラー）
- 2 1 ミラー制御部
- 2 1 0 開始信号生成部
- 2 1 1 メモリ
- 2 1 2 演算部
- 9 基板
- T 周期

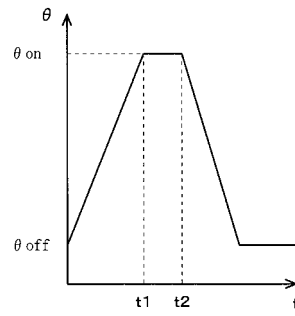
10

20

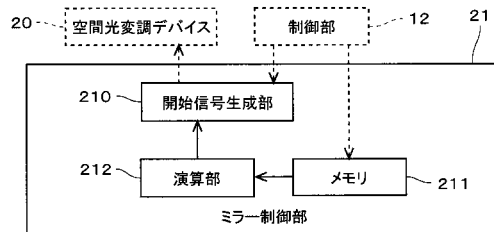
【図1】



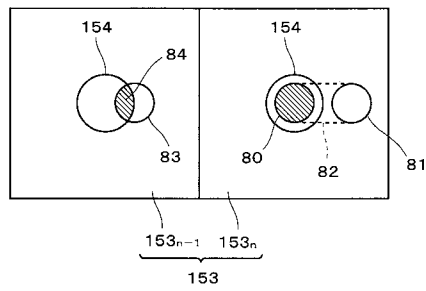
【図2】



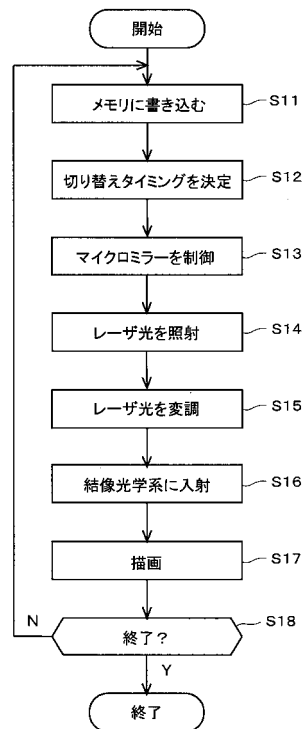
【図3】



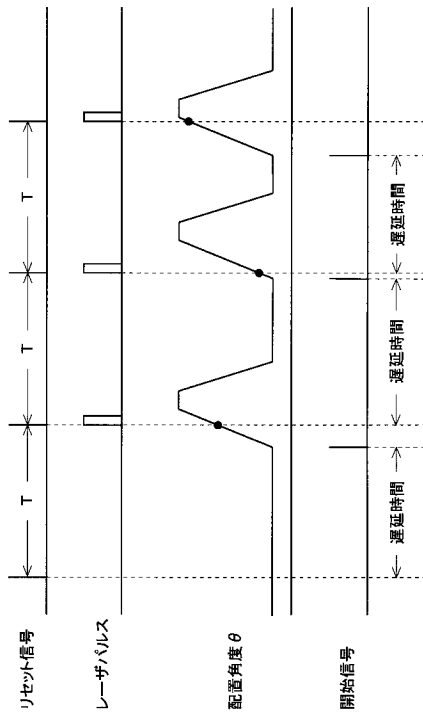
【図4】



【図5】



【図6】





## フロントページの続き

- (72)発明者 廣澤 誠  
京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内
- (72)発明者 岡崎 雅英  
京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内
- (72)発明者 岸本 克己  
京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内
- (72)発明者 大高 剛一  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 大見 忠弘  
宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 門田 和也  
宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 森本 達郎  
宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号 国立大学法人東北大学内

審査官 赤尾 隼人

- (56)参考文献 特表2011-519172(JP,A)  
特表2002-506233(JP,A)  
特表2002-506234(JP,A)  
特表2002-506235(JP,A)  
特開2006-245556(JP,A)  
特開2006-128194(JP,A)  
特開2005-022250(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027  
G03F 7/20