

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6690214号
(P6690214)

(45) 発行日 令和2年4月28日 (2020.4.28)

(24) 登録日 令和2年4月13日 (2020.4.13)

(51) Int.Cl.

F I

G03F 7/24 (2006.01)

G03F 7/24 Z

G02B 26/12 (2006.01)

G02B 26/12

G02F 1/03 (2006.01)

G02F 1/03

G02F 1/37 (2006.01)

G02F 1/37

G03F 7/20 (2006.01)

G03F 7/20 505

請求項の数 8 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2015-240116 (P2015-240116)
 (22) 出願日 平成27年12月9日 (2015.12.9)
 (65) 公開番号 特開2017-107036 (P2017-107036A)
 (43) 公開日 平成29年6月15日 (2017.6.15)
 審査請求日 平成30年10月25日 (2018.10.25)

(73) 特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都港区港南二丁目15番3号
 (74) 代理人 100077665
 弁理士 千葉 剛宏
 (74) 代理人 100116676
 弁理士 宮寺 利幸
 (74) 代理人 100191134
 弁理士 千馬 隆之
 (74) 代理人 100149261
 弁理士 大内 秀治
 (74) 代理人 100136548
 弁理士 仲宗根 康晴
 (74) 代理人 100136641
 弁理士 坂井 志郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン描画装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

回転ポリゴンミラーで偏向される描画用のビームのスポットを、基板上の主走査方向に沿った所定の走査範囲にわたって1次元に走査する走査ユニットが、前記主走査方向に複数配置され、前記主走査方向と交差する副走査方向への前記基板と前記複数の走査ユニットとの相対移動によって、前記複数の走査ユニットの各々によって描画されるパターンを前記主走査方向につなげて前記基板上に描画するパターン描画装置であって、

前記描画用のビームとして、前記走査範囲の長さを前記スポットのサイズの1/2で除した数を、さらに前記走査範囲にわたる前記スポットの走査時間で除して決まる周波数以上の周波数 F_a でパルス発光させて、前記パターンを規定する画素単位が前記パルス発光の少なくとも2つによる前記スポットで描画されるように設定したパルスビームを出力する光源装置と、

前記複数の走査ユニットの各々に向けて前記光源装置から出力される前記パルスビームを分配すると共に、該分配されたパルスビームの各々を描画すべきパターンの描画データに応じて強度変調する描画用光学素子を介して前記走査ユニットの各々に供給するビーム分配部と、

前記画素単位で描画される前記スポットの前記パルス発光の周期または前記パルス発光の数が、前記走査範囲内で前記スポットが走査される間の特定時点で変更されるように前記光源装置を制御することによって、前記パターンの前記主走査方向の描画倍率を補正する倍率補正部と、

前記複数の走査範囲を前記主走査方向につなげた全体の描画幅内で、前記主走査方向にほぼ均等な間隔で離散的に位置する複数の特定画素を設定したとき、前記倍率補正部による前記特定時点が前記複数の特定画素の各々に揃うように、前記複数の走査ユニットの各々の前記回転ポリゴンミラーの回転速度を一致させた状態で回転角度位相を調整するように制御する制御装置と、

を備える、パターン描画装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のパターン描画装置であって、

前記複数の走査ユニットの各々は、前記回転ポリゴンミラーによる前記スポットの走査位置が前記走査範囲の描画開始位置と一定の関係になった時点を表す原点信号を出力する原点検出部を有し、

前記制御装置は、前記複数の走査ユニットの各々の前記原点検出部からの原点信号が、時間軸上で所定の時間関係に維持されるように、前記複数の走査ユニットの各々の前記回転ポリゴンミラーの回転角度位相を制御する、パターン描画装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のパターン描画装置であって、

前記制御装置は、前記複数の走査ユニットの各々の前記回転ポリゴンミラーの回転速度と回転角度位相とを、前記原点検出部からの前記原点信号に基づいて制御するポリゴンミラー駆動部を備える、パターン描画装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のパターン描画装置であって、

前記描画用光学素子は、前記描画データに対応した高周波の駆動信号に応答して、入射した前記パルスビームの 1 次回折ビームを前記走査ユニットに向けて発生する音響光学変調素子であり、

前記ビーム分配部は、前記光源装置からの前記パルスビームを、前記複数の走査ユニットの各々に対応して設けられた前記音響光学変調素子の各々に向けて振幅分割で分配するビームスプリッタを含む、パターン描画装置。

【請求項 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のパターン描画装置であって、

前記光源装置は、前記周波数 F_a として $100\text{ MHz} \sim$ 数百 MHz の範囲で、紫外波長域のパルスビームを、1 パルス光の発光時間が数ピコ秒～十数ピコ秒で発振可能な高調波レーザ光源である、パターン描画装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のパターン描画装置であって、

前記高調波レーザ光源は、赤外波長域の種光を前記周波数 F_a でパルス発光する半導体レーザ素子と、前記種光を増幅するファイバー増幅器と、増幅された前記赤外波長域の前記種光を前記紫外波長域のパルスビームに変換する波長変換素子とを含むファイバーアンブレーザ光源である、パターン描画装置。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のパターン描画装置であって、

前記光源装置は、前記パルスビームを前記周波数 F_a でパルス発光させる為の周波数 F_a のクロック信号を生成するクロック信号発生部を含み、

前記倍率補正部は、前記クロック信号の時間軸上で前記特定時点以外の時間における前記クロック信号のクロックパルス間の周期は、前記周波数 F_a の逆数の基準値に設定し、前記特定時点における前記クロック信号のクロックパルスの間の周期は、前記基準値よりも小さい値だけ前記基準値から増加又は減少した値に設定することにより、前記特定時点以外の時間のときに前記基板上に投射される前記スポットの前記主走査方向の重なりは前記スポットのサイズの約 $1/2$ とし、前記特定時点のときに前記基板上に投射される前記スポットの前記主走査方向の重なりは前記スポットのサイズの $1/2$ から増加又は減少させる、パターン描画装置。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

請求項 7 に記載のパターン描画装置であって、

前記特定時点のときに、前記主走査方向に前記スポットのサイズの $1/2$ から増加又は減少して重なる前記スポットで描画されるパターンの位置の変化量を S_{cp} 、前記複数の走査ユニットの数を N_m 、前記基板上に形成された下地パターン上に新たなパターンを重ねて描画する際の重ね合わせ精度の絶対値を A_o 、経験則による $3 \sim 7$ の係数を K としたとき、 $S_{cp} (A_o / N_m / K)$ を満たすように設定される、パターン描画装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被照射体上に照射されるスポット光を走査してパターンを描画するパターン描画装置に関する。

【背景技術】

【0002】

回転ポリゴンミラーで 1 次元に走査されるレーザビームのスポット光を印刷用紙（被照射体）上で主走査方向に走査しつつ印刷用紙を副走査方向に移動させて、印刷用紙に画像を記録する装置が、例えば下記の特許文献 1 に開示されている。特許文献 1 の画像記録装置では、印刷に伴う色ずれを補正するため、印刷用紙上の位置決めマークの位置を読み取って、記録すべき画像の副走査方向の上端部での主走査方向の倍率と、記録すべき画像の副走査方向の下端部での主走査方向の倍率を求め、ポリゴンミラーによってレーザ光を走査して画像を記録する際に、求められた主走査方向の倍率に基づいて、画像記録中に暫時または段階的に画像を変倍している。特許文献 1 では、主走査方向の変倍（倍率補正）のために、ポリゴンミラーの回転速度を変えたり、レーザビームを発生する半導体レーザを画像データに基づいてオン/オフする際のドットクロック信号の周期（周波数）を走査ラインに応じて変えたりしている。しかしながら、特許文献 1 では、副走査方向の走査ラインの単位でドットクロック信号の周期を変えているので、主走査方向の画像記録の分解能（描画分解能）を高めるために、画像をより小さいサイズに細分化した場合、倍率の補正量（例えば、%、ppm）が小さくなると、ドットクロック信号の周期の補正量（時間）もそれに比例して小さくなり、倍率補正の精度が低下するおそれがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2002 - 067268 号公報

【発明の概要】

【0004】

本発明の一態様は、回転ポリゴンミラーで偏向される描画用のビームのスポットを、基板上の主走査方向に沿った所定の走査範囲にわたって 1 次元に走査する走査ユニットが、前記主走査方向に複数配置され、前記主走査方向と交差する副走査方向への前記基板と前記複数の走査ユニットとの相対移動によって、前記複数の走査ユニットの各々によって描画されるパターンを前記主走査方向につなげて前記基板上に描画するパターン描画装置であって、前記描画用のビームとして、前記走査範囲の長さを前記スポットのサイズの $1/2$ で除した数を、さらに前記走査範囲にわたる前記スポットの走査時間で除して決まる周波数以上の周波数 F_a でパルス発光させて、前記パターンを規定する画素単位が前記パルス発光の少なくとも 2 つによる前記スポットで描画されるように設定したパルスビームを出力する光源装置と、前記複数の走査ユニットの各々に向けて前記光源装置から出力される前記パルスビームを分配すると共に、該分配されたパルスビームの各々を描画すべきパターンの描画データに応じて強度変調する描画用光学素子を介して前記走査ユニットの各々に供給するビーム分配部と、前記画素単位で描画される前記スポットの前記パルス発光の周期または前記パルス発光の数が、前記走査範囲内で前記スポットが走査される間の特定時点で変更されるように前記光源装置を制御することによって、前記パターンの前記主

10

20

30

40

50

走査方向の描画倍率を補正する倍率補正部と、前記複数の走査範囲を前記主走査方向につなげた全体の描画幅内で、前記主走査方向にほぼ均等な間隔で離散的に位置する複数の特定画素を設定したとき、前記倍率補正部による前記特定時点が前記複数の特定画素の各々に揃うように、前記複数の走査ユニットの各々の前記回転ポリゴンミラーの回転速度を一致させた状態で回転角度位相を調整するように制御する制御装置と、を備える。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】第1の実施の形態によるパターン描画装置の全体構成を示す図である。

【図2】図1に示すパターン描画装置の回転ドラムに基板が巻き付けられた状態を示す詳細図である。

10

【図3】基板上で走査されるスポット光の描画ライン、および基板上に形成されたアライメントマークを示す図である。

【図4】図1に示す走査ユニットの光学的な構成を示す図である。

【図5】図1に示すビーム分配部の構成を示す図である。

【図6】図1に示す制御装置の概略構成を示すブロック図である。

【図7】図1に示す光源装置の具体的な構成を示す図である。

【図8】図7に示す光源装置の内部に設けられる信号発生部の構成を示す図である。

【図9】図8に示す信号発生部で生成されるクロック信号の遷移を説明するタイムチャートである。

【図10】図6の制御装置におけるパターン描画時の各部の信号状態とビームの発振状態とを示すタイムチャートである。

20

【図11】図11Aは、局所倍率補正が行われていない場合の描画パターンを説明する図、図11Bは、局所倍率補正（縮小）が行われた場合の描画パターンを説明する図である。

【図12】露光領域に設定される描画倍率の補正点と描画ラインとの関係の一例を説明する図である。

【図13】図13Aは、図12に示す各描画ラインの描画開始点を時間軸上で一致させた場合における、描画ライン上に設定される描画倍率の補正点の配置を示す図であり、図13Bは、図12に示す各描画ラインの描画開始点を時間軸上でシフトさせて、描画ライン上に設定される補正点を時間軸上で一致させた状態を示す図である。

30

【図14】連続した2回のスポット走査中に描画ライン上に設定される描画倍率の補正点の配置例を説明する図である。

【図15】露光領域に設定される描画倍率の補正点と描画ラインとの関係の変形例を説明する図である。

【図16】図16Aは、図15に示す各描画ラインの描画開始点を時間軸上で一致させた場合における、描画ライン上に設定される描画倍率の補正点の配置を示す図であり、図16Bは、図15に示す各描画ラインの描画開始点を時間軸上でシフトさせて、描画ライン上に設定される補正点を時間軸上で一致させた状態を示す図である。

【図17】第2の実施の形態によるパターン描画装置の概略構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0007】

本発明の態様に係るパターン描画装置、およびパターン描画方法について、好適な実施の形態を掲げ、添付の図面を参照しながら以下、詳細に説明する。なお、本発明の態様は、これらの実施の形態に限定されるものではなく、多様な変更または改良を加えたものも含まれる。つまり、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれ、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。また、本発明の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換または変更を行うことができる。

【0008】

[第1の実施の形態]

50

図1は、第1の実施の形態の基板（被照射体）Pに露光処理を施すパターン描画装置（露光装置）EXを含むデバイス製造システム10の概略構成を示す図である。なお、以下の説明においては、特に断わりのない限り、重力方向をZ方向とするXYZ直交座標系を設定し、図に示す矢印にしたがって、X方向、Y方向、およびZ方向を説明する。

【0009】

デバイス製造システム10は、基板Pに所定の処理（露光処理等）を施して、電子デバイスを製造するシステム（基板処理装置）である。デバイス製造システム10は、例えば、電子デバイスとしてのフレキシブル・ディスプレイ、フィルム状のタッチパネル、液晶表示パネル用のフィルム状のカラーフィルタ、フレキシブル配線、または、フレキシブル・センサ等を製造する製造ラインが構築された製造システムである。以下、電子デバイスとしてフレキシブル・ディスプレイを前提として説明する。フレキシブル・ディスプレイとしては、例えば、有機ELディスプレイ、液晶ディスプレイ等がある。デバイス製造システム10は、可撓性のシート状の基板（シート基板）Pをロール状に巻いた供給ロールから基板Pが送出され、送出された基板Pに対して各種処理を連続的に施した後、各種処理後の基板Pを回収ロールで巻き取る、いわゆる、ロール・ツー・ロール（Roll to Roll）方式の構造を有する。基板Pは、基板Pの移動方向（搬送方向）が長手方向（長尺）となり、幅方向が短手方向（短尺）となる帯状の形状を有する。本第1の実施の形態においては、フィルム状の基板Pが、前工程の処理装置（第1の処理装置）PR1、露光装置EX、後工程の処理装置（第2の処理装置）PR2を経て、連続的に処理される例を示している。

【0010】

なお、本第1の実施の形態では、装置が設置される工場の床面Eと平行な水平面であって基板Pの搬送方向をX方向とし、水平面内においてX方向と直交する方向、つまり、基板Pの幅方向（短尺方向）をY方向とし、Z方向は、X方向とY方向とに直交する方向（上方向）であり、重力が働く方向と平行である。

【0011】

基板Pは、例えば、樹脂フィルム、若しくは、ステンレス鋼等の金属または合金からなる箔（フォイル）等が用いられる。樹脂フィルムの材質としては、例えば、ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂、ポリエステル樹脂、エチレンビニル共重合体樹脂、ポリ塩化ビニル樹脂、セルロース樹脂、ポリアミド樹脂、ポリイミド樹脂、ポリカーボネート樹脂、ポリスチレン樹脂、および酢酸ビニル樹脂のうち、少なくとも1つ以上を含んだものを用いてもよい。また、基板Pの厚みや剛性（ヤング率）は、デバイス製造システム10の搬送路を通る際に、基板Pに座屈による折れ目や非可逆的なシワが生じないような範囲であればよい。基板Pの母材として、厚みが $25\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$ 程度のPET（ポリエチレンテレフタレート）やPEN（ポリエチレンナフタレート）等のフィルムは、好適なシート基板の典型である。

【0012】

基板Pは、処理装置PR1や処理装置PR2で施される各処理において熱を受ける場合があるため、熱膨張係数が顕著に大きくない材質の基板Pを選定することが好ましい。例えば、無機フィラーを樹脂フィルムに混合することによって熱膨張係数を抑えることができる。無機フィラーは、例えば、酸化チタン、酸化亜鉛、アルミナ、または酸化ケイ素等でもよい。また、基板Pは、フロート法等で製造された厚さ $100\mu\text{m}$ 程度の極薄ガラスの単層体であってもよいし、この極薄ガラスに上記の樹脂フィルム、箔等を貼り合わせた積層体であってもよい。

【0013】

ところで、基板Pの可撓性（flexibility）とは、基板Pに自重程度の力を加えてもせん断したり破断したりすることはなく、その基板Pを撓めることが可能な性質をいう。また、自重程度の力によって屈曲する性質も可撓性に含まれる。また、基板Pの材質、大きさ、厚さ、基板P上に成膜される層構造、温度、または、湿度等の環境等に応じて、可撓性の程度は変わる。いずれにしろ、本第1の実施の形態によるデバイス製造システム10

内の搬送路に設けられる各種の搬送用ローラ、回転ドラム等の搬送方向転換用の部材に基板 P を正しく巻き付けた場合に、座屈して折り目がついたり、破損（破れや割れが発生）したりせずに、基板 P を滑らかに搬送できれば、可撓性の範囲といえる。

【 0 0 1 4 】

前工程用の処理装置 P R 1 は、基板 P を所定の速度で長尺方向に沿って搬送方向（+ X 方向）に搬送しつつ、基板 P に対して塗布処理と乾燥処理を行う塗布装置である。処理装置 P R 1 は、基板 P の表面に感光性機能液を選択的または一様に塗布した後に、感光性機能液に含まれる溶剤または水を除去して、感光性機能液を乾燥させる。これにより、基板 P の表面に感光性機能層（光感応層）となる膜が選択的または一様に形成される。なお、ドライフィルムを基板 P の表面に貼り付けることで、基板 P の表面に感光性機能層を形成してもよい。この場合は、処理装置 P R 1 に代えて、ドライフィルムを基板 P に貼り付ける貼付装置（処理装置）を設ければよい。

10

【 0 0 1 5 】

ここで、この感光性機能液（層）の典型的なものはフォトレジスト（液状またはドライフィルム状）であるが、現像処理が不要な材料として、紫外線の照射を受けた部分の親撥液性が改質される感光性シランカップリング剤（S A M）、或いは紫外線の照射を受けた部分にメッキ還元基が露呈する感光性還元剤等がある。感光性機能液（層）として感光性シランカップリング剤を用いる場合は、基板 P 上の紫外線で露光されたパターン部分が撥液性から親液性に改質される。そのため、親液性となった部分の上に導電性インク（銀や銅等の導電性ナノ粒子を含有するインク）または半導体材料を含有した液体等を選択塗布することで、薄膜トランジスタ（T F T）等を構成する電極、半導体、絶縁、或いは接続用の配線となるパターン層を形成することができる。感光性機能液（層）として、感光性還元剤を用いる場合は、基板 P 上の紫外線で露光されたパターン部分にメッキ還元基が露呈する。そのため、露光後、基板 P を直ちにパラジウムイオン等を含むメッキ液中に一定時間浸漬することで、パラジウムによるパターン層が形成（析出）される。このようなメッキ処理はアディティブ（additive）なプロセスであるが、その他、サブトラクティブ（subtractive）なプロセスとしてのエッチング処理を前提にしてもよい。その場合は、露光装置 E X へ送られる基板 P は、母材を P E T や P E N とし、その表面にアルミニウム（A l）や銅（C u）等の金属性薄膜を全面または選択的に蒸着し、さらにその上にフォトレジスト層を積層したものであってもよい。

20

30

【 0 0 1 6 】

露光装置 E X は、処理装置 P R 1 から搬送されてきた基板 P を処理装置 P R 2 に向けて所定の速度で長尺方向に沿って搬送方向（+ X 方向）に搬送しつつ、基板 P に対して露光処理（パターン描画）を行う処理装置である。露光装置 E X は、基板 P の表面（感光性機能層の表面、すなわち、感光面）に、電子デバイス用のパターン（例えば、電子デバイスを構成する T F T の電極や配線等のパターン）に応じた光パターンを照射する。これにより、感光性機能層に前記パターンに対応した潜像（改質部）が形成される。

【 0 0 1 7 】

本第 1 の実施の形態においては、露光装置 E X は、マスクを用いない直描方式の露光装置、いわゆるラスタースキャン方式の露光装置（パターン描画装置）である。後で詳細に説明するが、露光装置 E X は、基板 P を長尺方向（副走査方向）に搬送しながら、露光用のパルス状のビーム L B（パルスビーム）のスポット（以下、スポット光と呼ぶ）S P を、基板 P の被照射面（感光面）上で所定の走査方向（Y 方向）に 1 次元に走査（主走査）しつつ、スポット光 S P の強度をパターンデータ（描画データ）に応じて高速に変調（オン/オフ）する。これにより、基板 P の被照射面に電子デバイス、回路または配線等の所定のパターンに応じた光パターンが描画露光される。つまり、基板 P の副走査と、スポット光 S P の主走査とで、スポット光 S P が基板 P の被照射面上で相対的に 2 次元走査されて、基板 P に所定のパターンが描画露光される。また、基板 P は、長尺方向に沿って搬送されているので、露光装置 E X によってパターンが露光される露光領域 W は、基板 P の長尺方向に沿って所定の間隔をあけて複数設けられることになる（図 3 参照）。この露光領

40

50

域Wに電子デバイスが形成されるので、露光領域Wは、デバイス形成領域でもある。

【0018】

後工程の処理装置PR2は、露光装置EXから搬送されてきた基板Pを所定の速度で長尺方向に沿って搬送方向(+X方向)に搬送しつつ、基板Pに対して湿式処理と乾燥処理を行う湿式処理装置である。本第1の実施の形態では、処理装置PR2は、基板Pに対して湿式処理の一種である現像処理またはメッキ処理を行う。そのため、処理装置PR2は、基板Pを所定時間だけ現像液に浸漬させる現像部、または基板Pを所定時間だけ無電解メッキ液に浸漬させるメッキ部と、基板Pを純水等で洗浄する洗浄部と、基板Pを乾燥させる乾燥部とを備える。これにより、感光性機能層の表面に潜像に応じたパターン層が析出(形成)される。つまり、基板Pの感光性機能層上のスポット光SPの照射部分と非照射部分の違いに応じて、基板P上に所定の材料(例えば、レジスト、パラジウム)が選択的に形成され、これがパターン層となる。

10

【0019】

なお、感光性機能層として感光性シランカップリング剤を用いる場合は、湿式処理の一種である液体(例えば、導電性インク等を含む液体)の塗布処理、またはメッキ処理が処理装置PR2によって行われる。この場合であっても、感光性機能層の表面に潜像に応じたパターン層が形成される。つまり、基板Pの感光性機能層のスポット光SPの照射部分と被照射部分の違いに応じて、基板P上に所定の材料(例えば、導電性インクまたはパラジウム等)が選択的に形成され、これがパターン層となる。

【0020】

20

さて、図1に示す露光装置EXは、温調チャンバーECV内に格納されている。この温調チャンバーECVは、内部を所定の温度、所定の湿度に保つことで、内部において搬送される基板Pの温度による形状変化を抑制するとともに、基板Pの吸湿性や搬送に伴って発生する静電気の帯電等を考慮した湿度に設定される。温調チャンバーECVは、パッシブまたはアクティブな防振ユニットSU1、SU2を介して製造工場の床面Eに配置される。防振ユニットSU1、SU2は、床面Eからの振動を低減する。この床面Eは、工場の床面自体であってもよいし、水平面を出すために床面上に専用に設置される設置土台(ペDESTAL)上の面であってもよい。露光装置EXは、基板搬送機構12と、光源装置LSと、ビーム分配部(ビーム分配系)BDUと、露光ヘッド14と、制御装置16と、複数のアライメント顕微鏡AM1m、AM2m(なお、 $m=1, 2, 3, 4$)と、複数のエンコーダヘッドENja、ENjb(なお、 $j=1, 2, 3, 4$)とを少なくとも備えている。制御装置(制御部)16は、露光装置EXの各部を制御するものである。この制御装置16は、コンピュータとプログラムが記録された記録媒体等を含み、該コンピュータがプログラムを実行することで、本第1の実施の形態の制御装置16として機能する。

30

【0021】

基板搬送機構12は、デバイス製造システム10の基板搬送装置の一部を構成するものであり、処理装置PR1から搬送される基板Pを、露光装置(パターン描画装置)EX内で所定の速度で搬送した後、処理装置PR2に所定の速度で送り出す。この基板搬送機構12によって、露光装置EX内で搬送される基板Pの搬送路が規定される。基板搬送機構12は、基板Pの搬送方向の上流側(-X方向側)から順に、エッジポジションコントローラEPC、駆動ローラR1、テンション調整ローラRT1、回転ドラム(円筒ドラム)DR、テンション調整ローラRT2、駆動ローラR2、および、駆動ローラR3を有している。

40

【0022】

エッジポジションコントローラEPCは、処理装置PR1から搬送される基板Pの幅方向(Y方向であって基板Pの短尺方向)における位置が、目標位置に対して \pm 数十 μm ~数十 μm 程度の範囲(許容範囲)に収まるように、基板Pを幅方向に移動させて、基板Pの幅方向における位置を調整する。エッジポジションコントローラEPCは、基板Pの幅方向の端部(エッジ)の位置を検出する不図示のエッジセンサからの検出信号に基づいて、エッジポジションコントローラEPCのローラをY方向に微動させて、基板Pの幅方向

50

における位置を調整する。駆動ローラ（ニップローラ）R 1 は、エッジポジションコントローラ E P C から搬送される基板 P の表裏両面を保持しながら回転し、基板 P を回転ドラム D R へ向けて搬送する。なお、エッジポジションコントローラ E P C は、回転ドラム D R に巻き付く基板 P の長尺方向が、回転ドラム D R の中心軸 A X o に対して常に直交するように、基板 P の幅方向における位置と適宜調整するとともに、基板 P の進行方向における傾き誤差を補正するように、エッジポジションコントローラ E P C の前記ローラの回転軸と Y 軸との平行度を適宜調整してもよい。

【 0 0 2 3 】

回転ドラム D R は、Y 方向に延びるとともに重力が働く方向と交差した方向に延びた中心軸 A X o と、中心軸 A X o から一定半径の円筒状の外周面とを有する。回転ドラム D R は、この外周面（円周面）に倣って基板 P の一部を長尺方向に円筒面状に湾曲させて支持（保持）しつつ、中心軸 A X o を中心に回転して基板 P を + X 方向に搬送する。回転ドラム D R は、露光ヘッド 1 4 からのビーム L B（スポット光 S P）が投射される基板 P 上の領域（部分）をその外周面で支持する。回転ドラム D R は、電子デバイスが形成される面（感光層が形成された側の面）とは反対側の面（裏面）側から基板 P を支持（密着保持）する。回転ドラム D R の Y 方向の両側には、回転ドラム D R が中心軸 A X o の周りを回転するように環状のベアリングで支持されたシャフト S f t が設けられている。このシャフト S f t は、制御装置 1 6 によって制御される図示しない回転駆動源（例えば、モータや減速機構等）からの回転トルクが与えられることで中心軸 A X o 回りに一定の回転速度で回転する。なお、便宜的に、中心軸 A X o を含み、Y Z 平面と平行な平面を中心面 P o c と呼ぶ。

【 0 0 2 4 】

駆動ローラ（ニップローラ）R 2、R 3 は、基板 P の搬送方向（+ X 方向）に沿って所定の間隔を空けて配置されており、露光後の基板 P に所定の弛み（あそび）を与えている。駆動ローラ R 2、R 3 は、駆動ローラ R 1 と同様に、基板 P の表裏両面を保持しながら回転し、基板 P を処理装置 P R 2 へ向けて搬送する。テンション調整ローラ R T 1、R T 2 は、- Z 方向に付勢されており、回転ドラム D R に巻き付けられて支持されている基板 P に長尺方向に所定のテンションを与えている。これにより、回転ドラム D R にかかる基板 P に付与される長尺方向のテンションを所定の範囲内に安定化させている。制御装置 1 6 は、図示しない回転駆動源（例えば、モータや減速機構等）を制御することで、駆動ローラ R 1 ~ R 3 を回転させる。なお、駆動ローラ R 1 ~ R 3 の回転軸、および、テンション調整ローラ R T 1、R T 2 の回転軸は、回転ドラム D R の中心軸 A X o と平行している。

【 0 0 2 5 】

光源装置 L S は、パルス状のビーム（パルスビーム、パルス光、レーザ）L B を発生して射出する。このビーム L B は、370 nm 以下の波長帯域の特定波長（例えば、355 nm）にピーク波長を有する紫外線光であり、ビーム L B の発光周波数（発振周波数、所定周波数）を F a とする。光源装置 L S から射出されるビーム L B は、ビーム分配部 B D U を介して露光ヘッド 1 4 に入射する。光源装置 L S は、制御装置 1 6 の制御にしたがって、発光周波数 F a でビーム L B を発光して射出する。この光源装置 L S の構成は、後で詳細に説明するが、本第 1 の実施の形態では、赤外波長域のパルス光を発生する半導体レーザ素子、ファイバー増幅器、増幅された赤外波長域のパルス光を紫外波長域のパルス光に変換する波長変換素子（高調波発生素子）等で構成され、100 MHz ~ 数百 MHz の発振周波数 F a でのパルス発光が可能で、1 パルス光の発光時間が数ピコ秒 ~ 十数ピコ秒程度の高輝度な紫外線のパルス光が得られるファイバーアンプレーザ光源（高調波レーザ光源）を用いるものとする。

【 0 0 2 6 】

ビーム分配部 B D U は、露光ヘッド 1 4 を構成する複数の走査ユニット U n（なお、n = 1、2、・・・、6）の各々に光源装置 L S からのビーム L B を分配する複数のミラーやビームスプリッタと、各走査ユニット U n に入射するビームのそれぞれを描画データに

10

20

30

40

50

応じて強度変調する描画用光学素子（AOM）等を有するが、詳しくは図5を参照して後述する。

【0027】

露光ヘッド（描画ヘッド、描画装置）14は、同一構成の複数の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）を配列した、いわゆるマルチビーム型の露光ヘッドとなっている。露光ヘッド14は、回転ドラムDRの外周面（円周面）で支持されている基板Pの一部に、複数の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）によってパターンを描画する。露光ヘッド14は、基板Pに対して電子デバイス用のパターン露光を繰り返し行うことから、パターンが露光される露光領域（電子デバイス形成領域）Wは、図3のように、基板Pの長尺方向に沿って所定の間隔をあけて複数設けられている。複数の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）は、中心面Pocを挟んで基板Pの搬送方向に2列に千鳥配列で配置される。奇数番の走査ユニット U_1 、 U_3 、 U_5 は、中心面Pocに対して基板Pの搬送方向の上流側（-X方向側）で、且つ、Y方向に沿って所定の間隔だけ離して1列に配置されている。偶数番の走査ユニット U_2 、 U_4 、 U_6 は、中心面Pocに対して基板Pの搬送方向の下流側（+X方向側）で、Y方向に沿って所定の間隔だけ離して1列に配置されている。奇数番の走査ユニット U_1 、 U_3 、 U_5 と、偶数番の走査ユニット U_2 、 U_4 、 U_6 とは、XZ面内で見ると、中心面Pocに対して対称に設けられている。

10

【0028】

各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）は、ビーム分配部BDUから供給されるビーム LB_n （ $n=1 \sim 6$ ）を、基板Pの被照射面上でスポット光SPに収斂するように投射しつつ、そのスポット光SPを、回転するポリゴンミラーPM（図4参照）によって1次元に走査する。この各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）のポリゴンミラーPMによって、基板Pの被照射面上でスポット光SPがY方向に1次元走査される。このスポット光SPの走査によって、基板P上（基板Pの被照射面上）に、1ライン分のパターンが描画される直線的な描画ライン（走査線） SL_n （なお、 $n=1, 2, \dots, 6$ ）が規定される。

20

【0029】

走査ユニット U_1 は、スポット光SPを描画ライン SL_1 に沿って走査し、同様に、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ は、スポット光SPを描画ライン $SL_2 \sim SL_6$ に沿って走査する。複数の走査ユニット $U_1 \sim U_6$ の各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ は、図2、図3に示すように、奇数番と偶数番の描画ライン SL_n は基板Pの長尺方向である副走査方向に分離しているが、Y方向（基板Pの幅方向、或いは主走査方向）に関しては互いに分離することなく、継ぎ合わされるように設定されている。なお、ビーム分配部BDUから射出するビーム LB_n において、走査ユニット U_1 に入射するビームを LB_1 で表し、同様に、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ に入射するビーム LB_n を $LB_2 \sim LB_6$ で表す。走査ユニット U_n に入射するビーム LB_n は、所定の方向に偏光した直線偏光（P偏光またはS偏光）、或いは円偏光のビームであってもよい。

30

【0030】

図3に示すように、複数の走査ユニット $U_1 \sim U_6$ は全部で露光領域Wの幅方向の全てをカバーするように配置されている。これにより、各走査ユニット $U_1 \sim U_6$ は、基板Pの幅方向に分割された複数の領域（描画範囲）毎にパターンを描画することができる。例えば、1つの走査ユニット U_n によるY方向の走査長（描画ライン SL_n の長さ）を20～60mm程度とすると、奇数番の走査ユニット U_1 、 U_3 、 U_5 の3個と、偶数番の走査ユニット U_2 、 U_4 、 U_6 の3個との計6個の走査ユニット U_n をY方向に配置することによって、描画可能なY方向の幅を120～360mm程度まで広げている。各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ の長さ（描画範囲の長さ）は、原則として同一とする。つまり、描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ の各々に沿って走査されるビーム LB_n のスポット光SPの走査距離は、原則として同一とする。なお、露光領域Wの幅（基板Pの幅）をさらに広くしたい場合は、描画ライン SL_n 自体の長さを長くするか、Y方向に配置する走査ユニット U_n の数を増やすことで対応することができる。

40

【0031】

50

なお、実際の各描画ライン SL_n ($SL_1 \sim SL_6$) は、スポット光 SP が被照射面上を実際に走査可能な最大の長さ (最大走査長) よりも僅かに短く設定される。例えば、主走査方向 (Y 方向) の描画倍率が初期値 (倍率補正無し) の場合にパターン描画可能な描画ライン SL_n の走査長を 30 mm とすると、スポット光 SP の被照射面上での最大走査長は、描画ライン SL_n の描画開始点 (走査開始点) 側と描画終了点 (走査終了点) 側の各々に 0.5 mm 程度の余裕を持たせて、 31 mm 程度に設定されている。このように設定することによって、スポット光 SP の最大走査長 31 mm の範囲内で、 30 mm の描画ライン SL_n の位置を主走査方向に微調整したり、描画倍率を微調整したりすることが可能となる。スポット光 SP の最大走査長は 31 mm に限定されるものではなく、主に走査ユニット U_n 内のポリゴンミラー (回転ポリゴンミラー) PM の後に設けられる f レンズ FT (図 4 参照) の口径によって決まる。

10

【0032】

複数の描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ は、中心面 Poc を挟んで、回転ドラム DR の周方向に 2 列に千鳥配列で配置される。奇数番の描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 は、中心面 Poc に対して基板 P の搬送方向の上流側 ($-X$ 方向側) の基板 P の被照射面上に位置する。偶数番の描画ライン SL_2 、 SL_4 、 SL_6 は、中心面 Poc に対して基板 P の搬送方向の下流側 ($+X$ 方向側) の基板 P の被照射面上に位置する。描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ は、基板 P の幅方向、つまり、回転ドラム DR の中心軸 Axo と略並行となっている。

【0033】

描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 は、基板 P の幅方向 (主走査方向) に沿って所定の間隔をあけて直線上に 1 列に配置されている。描画ライン SL_2 、 SL_4 、 SL_6 も同様に、基板 P の幅方向 (主走査方向) に沿って所定の間隔をあけて直線上に 1 列に配置されている。このとき、描画ライン SL_2 は、基板 P の幅方向に関して、描画ライン SL_1 と描画ライン SL_3 との間に配置される。同様に、描画ライン SL_3 は、基板 P の幅方向に関して、描画ライン SL_2 と描画ライン SL_4 との間に配置されている。描画ライン SL_4 は、基板 P の幅方向に関して、描画ライン SL_3 と描画ライン SL_5 との間に配置され、描画ライン SL_5 は、基板 P の幅方向に関して、描画ライン SL_4 と描画ライン SL_6 との間に配置されている。

20

【0034】

奇数番の描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 の各々に沿って走査されるビーム LB_1 、 LB_3 、 LB_5 の各々によるスポット光 SP の主走査方向は、1 次元の方向となっており、同じ方向となっている。偶数番の描画ライン SL_2 、 SL_4 、 SL_6 の各々に沿って走査されるビーム LB_2 、 LB_4 、 LB_6 の各々によるスポット光 SP の主走査方向は、1 次元の方向となっており、同じ方向となっている。この描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 に沿って走査されるビーム LB_1 、 LB_3 、 LB_5 のスポット光 SP の主走査方向と、描画ライン SL_2 、 SL_4 、 SL_6 に沿って走査されるビーム LB_2 、 LB_4 、 LB_6 のスポット光 SP の主走査方向とは互いに逆方向であってもよい。本第 1 の実施の形態では、描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 に沿って走査されるビーム LB_1 、 LB_3 、 LB_5 のスポット光 SP の主走査方向は $-Y$ 方向である。また、描画ライン SL_2 、 SL_4 、 SL_6 に沿って走査されるビーム LB_2 、 LB_4 、 LB_6 のスポット光 SP の主走査方向は $+Y$ 方向である。これにより、描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 の描画開始点側の端部と、描画ライン SL_2 、 SL_4 、 SL_6 の描画開始点側の端部とは Y 方向に関して隣接または一部重複する。また、描画ライン SL_3 、 SL_5 の描画終了点側の端部と、描画ライン SL_2 、 SL_4 の描画終了点側の端部とは Y 方向に関して隣接または一部重複する。 Y 方向に隣り合う描画ライン SL_n の端部同士を一部重複させるように、各描画ライン SL_n を配置する場合は、例えば、各描画ライン SL_n の長さに対して、描画開始点、または描画終了点を含んで Y 方向に数%以下の範囲で重複させるとよい。なお、描画ライン SL_n を Y 方向に継ぎ合わせるとは、描画ライン SL_n の端部同士を Y 方向に関して隣接または一部重複させることを意味する。すなわち、互いに Y 方向に隣り合った 2 つの描画ライン SL_n の各々によって描画されるパターン同士が、 Y 方向に継ぎ合わされて露光される

30

40

50

ことを意味する。

【0035】

なお、描画ライン SL_n の副走査方向の幅（ X 方向の寸法）は、スポット光 SP の基板 P 上での実効的なサイズ（直径）に応じた太さである。例えば、スポット光 SP の実効的なサイズ（寸法）が $3\mu m$ の場合は、描画ライン SL_n の幅も $3\mu m$ となる。また、本第1の実施の形態の場合、光源装置 LS からのビーム LB がパルス光であるため、主走査の間に描画ライン SL_n 上に投射されるスポット光 SP は、ビーム LB の発振周波数 F_a （例えば、 $100MHz$ ）に応じて離散的になる。そのため、ビーム分配部 BDU からのビーム LB_n の1パルス光によって投射されるスポット光 SP と次の1パルス光によって投射されるスポット光 SP とを、主走査方向にオーバーラップさせる必要がある。そのオーバーラップの量は、スポット光 SP のサイズ、スポット光 SP の走査速度（主走査の速度） V_s 、および、ビーム LB の発振周波数 F_a によって設定される。スポット光 SP の実効的なサイズは、スポット光 SP の強度分布がガウス分布で近似される場合、スポット光 SP のピーク強度の $1/e^2$ （または $1/2$ ）で決まる。

【0036】

本第1の実施の形態では、実効的なサイズ（寸法）に対して、 $\times 1/2$ 程度スポット光 SP がオーバーラップするように、スポット光 SP の走査速度 V_s および発振周波数 F_a が設定される。したがって、スポット光 SP の主走査方向に沿った投射間隔は、 $1/2$ となる。そのため、副走査方向（描画ライン SL_n と直交した方向）に関しても、描画ライン SL_n に沿ったスポット光 SP の1回の走査と、次の走査との間で、基板 P がスポット光 SP の実効的なサイズの略 $1/2$ の距離だけ移動するように設定することが望ましい。また、基板 P 上の感光性機能層への露光量の設定は、ビーム LB （パルス光）のピーク値の調整で可能であるが、ビーム LB の強度を上げられない状況で露光量を増大させたい場合は、スポット光 SP の主走査方向の走査速度 V_s の低下、ビーム LB の発振周波数 F_a の増大、或いは基板 P の副走査方向の搬送速度 V_t の低下等のいずれかによって、スポット光 SP の主走査方向または副走査方向に関するオーバーラップ量を増加させればよい。スポット光 SP の主走査方向の走査速度 V_s は、ポリゴンミラー PM の回転数（回転速度 V_p ）に比例して速くなる。

【0037】

各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）は、少なくとも XZ 平面において、各ビーム LB_n が回転ドラム DR の中心軸 AX_o に向かって進むように、各ビーム LB_n を基板 P に向けて照射する。これにより、各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）から基板 P に向かって進むビーム LB_n の光路（ビーム中心軸）は、 XZ 平面において、基板 P の被照射面の法線と平行となる。また、各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）は、描画ライン SL_n （ $SL_1 \sim SL_6$ ）に照射するビーム LB_n が、 YZ 平面と平行な面内では基板 P の被照射面に対して垂直となるように、ビーム LB_n を基板 P に向けて照射する。すなわち、被照射面でのスポット光 SP の主走査方向に関して、基板 P に投射されるビーム LB_n （ $LB_1 \sim LB_6$ ）はテレセントリックな状態で走査される。ここで、各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）によって規定される所定の描画ライン SL_n （ $SL_1 \sim SL_6$ ）の各中点を通して基板 P の被照射面と垂直な線（または光軸とも呼ぶ）を、照射中心軸 Le_n （ $Le_1 \sim Le_6$ ）と呼ぶ。

【0038】

この各照射中心軸 Le_n （ $Le_1 \sim Le_6$ ）は、 XZ 平面において、描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ と中心軸 AX_o とを結ぶ線となっている。奇数番の走査ユニット U_1 、 U_3 、 U_5 の各々の照射中心軸 Le_1 、 Le_3 、 Le_5 は、 XZ 平面において同じ方向となっており、偶数番の走査ユニット U_2 、 U_4 、 U_6 の各々の照射中心軸 Le_2 、 Le_4 、 Le_6 は、 XZ 平面において同じ方向となっている。また、照射中心軸 Le_1 、 Le_3 、 Le_5 と照射中心軸 Le_2 、 Le_4 、 Le_6 とは、 XZ 平面において、中心面 Poc に対して角度が ± 1 となるように設定されている（図1参照）。

【0039】

10

20

30

40

50

図 1 に示した複数のアライメント顕微鏡 $AM1m$ ($AM11 \sim AM14$)、 $AM2m$ ($AM21 \sim AM24$) は、図 3 に示す基板 P に形成された複数のアライメントマーク MKm ($MK1 \sim MK4$) を検出するためのものであり、 Y 方向に沿って複数 (本第 1 の実施の形態では、4 つ) 設けられている。複数のアライメントマーク MKm ($MK1 \sim MK4$) は、基板 P の被照射面上の露光領域 W に描画される所定のパターンと、基板 P とを相対的に位置合わせする (アライメントする) ための基準マークである。複数のアライメント顕微鏡 $AM1m$ ($AM11 \sim AM14$)、 $AM2m$ ($AM21 \sim AM24$) は、回転ドラム DR の外周面 (円周面) で支持されている基板 P 上で、複数のアライメントマーク MKm ($MK1 \sim MK4$) を検出する。複数のアライメント顕微鏡 $AM1m$ ($AM11 \sim AM14$) は、露光ヘッド 14 からのビーム LBn ($LB1 \sim LB6$) のスポット光 SP による基板 P 上の被照射領域 (描画ライン $SL1 \sim SL6$ で囲まれた領域) よりも基板 P の搬送方向の上流側 ($-X$ 方向側) に設けられている。また、複数のアライメント顕微鏡 $AM2m$ ($AM21 \sim AM24$) は、露光ヘッド 14 からビーム LBn ($LB1 \sim LB6$) のスポット光 SP による基板 P 上の被照射領域 (描画ライン $SL1 \sim SL6$ で囲まれた領域) よりも基板 P の搬送方向の下流側 ($+X$ 方向側) に設けられている。

【0040】

アライメント顕微鏡 $AM1m$ ($AM11 \sim AM14$)、 $AM2m$ ($AM21 \sim AM24$) は、アライメント用の照明光を基板 P に投射する光源と、基板 P の表面のアライメントマーク MKm を含む局所領域 (観察領域) $Vw1m$ ($Vw11 \sim Vw14$)、 $Vw2m$ ($Vw21 \sim Vw24$) の拡大像を得る観察光学系 (対物レンズを含む) と、その拡大像を基板 P が搬送方向に移動している間に、基板 P の搬送速度 Vt に応じた高速シャッタで撮像する CCD 、 $CMOS$ 等の撮像素子とを有する。複数のアライメント顕微鏡 $AM1m$ ($AM11 \sim AM14$)、 $AM2m$ ($AM21 \sim AM24$) の各々が撮像した撮像信号 (画像データ) は制御装置 16 に送られる。制御装置 16 にはマーク位置検出部が設けられ、複数の撮像信号の画像解析を行うことで、基板 P 上のアライメントマーク MKm ($MK1 \sim MK4$) の位置 (マーク位置情報) を検出する。なお、アライメント用の照明光は、基板 P 上の感光性機能層に対してほとんど感度を持たない波長域の光、例えば、波長 $500 \sim 800 \text{ nm}$ 程度の光である。

【0041】

複数のアライメントマーク $MK1 \sim MK4$ は、各露光領域 W の周りに設けられている。アライメントマーク $MK1$ 、 $MK4$ は、露光領域 W の基板 P の幅方向の両側に、基板 P の長尺方向に沿って一定の間隔 Dh で複数形成されている。アライメントマーク $MK1$ は、基板 P の幅方向の $-Y$ 方向側に、アライメントマーク $MK4$ は、基板 P の幅方向の $+Y$ 方向側にそれぞれ形成されている。このようなアライメントマーク $MK1$ 、 $MK4$ は、基板 P が大きなテンションを受けたり、熱プロセスを受けたりして変形していない状態では、基板 P の長尺方向 (X 方向) に関して同一位置になるように配置される。さらに、アライメントマーク $MK2$ 、 $MK3$ は、アライメントマーク $MK1$ とアライメントマーク $MK4$ の間であって、露光領域 W の $+X$ 方向側と $-X$ 方向側との余白部に基板 P の幅方向 (短尺方向) に沿って形成されている。アライメントマーク $MK2$ 、 $MK3$ は、露光領域 W と露光領域 W との間に形成されている。アライメントマーク $MK2$ は、基板 P の幅方向の $-Y$ 方向側に、アライメントマーク $MK3$ は、基板 P の $+Y$ 方向側に形成されている。

【0042】

さらに、基板 P の $-Y$ 方向側の端部に配列されるアライメントマーク $MK1$ と余白部のアライメントマーク $MK2$ との Y 方向の間隔、余白部のアライメントマーク $MK2$ とアライメントマーク $MK3$ の Y 方向の間隔、および基板 P の $+Y$ 方向側の端部に配列されるアライメントマーク $MK4$ と余白部のアライメントマーク $MK3$ との Y 方向の間隔は、いずれも同じ距離に設定されている。これらのアライメントマーク MKm ($MK1 \sim MK4$) は、第 1 層のパターン層の形成の際に一緒に形成されてもよい。例えば、第 1 層のパターンを露光する際に、パターンが露光される露光領域 W の周りにアライメントマーク用のパターンも一緒に露光してもよい。なお、アライメントマーク MKm は、露光領域 W 内に形

成されてもよい。例えば、露光領域W内であって、露光領域Wの輪郭に沿って形成されてもよい。また、露光領域W内に形成される電子デバイスのパターン中の特定位置のパターン部分、或いは特定形状の部分をアライメントマークMKmとして利用してもよい。

【0043】

アライメント顕微鏡AM11、AM21は、図3に示すように、対物レンズによる観察領域（検出領域）Vw11、Vw21内に存在するアライメントマークMK1を撮像するように配置される。同様に、アライメント顕微鏡AM12～AM14、AM22～AM24は、対物レンズによる観察領域Vw12～Vw14、Vw22～Vw24内に存在するアライメントマークMK2～MK4を撮像するように配置される。したがって、複数のアライメント顕微鏡AM11～AM14、AM21～AM24は、複数のアライメントマークMK1～MK4の位置に対応して、基板Pの-Y方向側からAM11～AM14、AM21～AM24、の順で基板Pの幅方向に沿って設けられている。なお、図2においては、アライメント顕微鏡AM2m（AM21～AM24）の観察領域Vw2m（Vw21～Vw24）の図示を省略している。

10

【0044】

複数のアライメント顕微鏡AM1m（AM11～AM14）は、X方向に関して、露光位置（描画ラインSL1～SL6）と観察領域Vw1m（Vw11～Vw14）との長尺方向の距離が、露光領域WのX方向の長さよりも短くなるように設けられている。複数のアライメント顕微鏡AM2m（AM21～AM24）も同様に、X方向に関して、露光位置（描画ラインSL1～SL6）と観察領域Vw2m（Vw21～Vw24）との長尺方向の距離が、露光領域WのX方向の長さよりも短くなるように設けられている。なお、Y方向に設けられるアライメント顕微鏡AM1m、AM2mの数は、基板Pの幅方向に形成されるアライメントマークMKmの配置や数に応じて変更可能である。また、各観察領域Vw1m（Vw11～Vw14）、Vw2m（Vw21～Vw24）の基板Pの被照射面上の大きさは、アライメントマークMK1～MK4の大きさやアライメント精度（位置計測精度）に応じて設定されるが、100～500μm角程度の大きさである。

20

【0045】

図2に示すように、回転ドラムDRの両端部には、回転ドラムDRの外周面の周方向の全体に亘って環状に形成された目盛を有するスケール部SDa、SDbが設けられている。このスケール部SDa、SDbは、回転ドラムDRの外周面の周方向に一定のピッチ（例えば、20μm）で凹状または凸状の格子線（目盛）を刻設した回折格子であり、インクリメンタル型のスケールとして構成される。このスケール部SDa、SDbは、中心軸AXo回りに回転ドラムDRと一体に回転する。スケール部SDa、SDbを読み取るスケール読取ヘッドとしての複数のエンコーダヘッド（以下、単にエンコーダとも呼ぶ）ENja、ENjb（なお、j=1、2、3、4）は、このスケール部SDa、SDbと対向するように設けられている（図1、図2参照）。なお、図2においては、エンコーダEN4a、EN4bの図示を省略している。

30

【0046】

エンコーダENja、ENjbは、回転ドラムDRの回転角度位置を光学的に検出するものである。回転ドラムDRの-Y方向側の端部に設けられたスケール部SDaに対向して、4つのエンコーダENja（EN1a、EN2a、EN3a、EN4a）が設けられている。同様に、回転ドラムDRの+Y方向側の端部に設けられたスケール部SDbに対向して、4つのエンコーダENjb（EN1b、EN2b、EN3b、EN4b）が設けられている。

40

【0047】

エンコーダEN1a、EN1bは、中心面Pocに対して基板Pの搬送方向の上流側（-X方向側）に設けられており、設置方位線Lx1上に配置されている（図1、図2参照）。設置方位線Lx1は、XZ平面において、エンコーダEN1a、EN1bの計測用の光ビームのスケール部SDa、SDb上への投射位置（読取位置）と、中心軸AXoとを結ぶ線となっている。また、設置方位線Lx1は、XZ平面において、各アライメント顕

50

微鏡 $AM1m$ ($AM11 \sim AM14$) の観察領域 $Vw1m$ ($Vw11 \sim Vw14$) と中心軸 AXo とを結ぶ線となっている。つまり、複数のアライメント顕微鏡 $AM1m$ ($AM11 \sim AM14$) も設置方位線 $Lx1$ 上に配置されている。

【0048】

エンコーダ $EN2a$ 、 $EN2b$ は、中心面 Poc に対して基板 P の搬送方向の上流側 ($-X$ 方向側) に設けられており、且つ、エンコーダ $EN1a$ 、 $EN1b$ より基板 P の搬送方向の下流側 ($+X$ 方向側) に設けられている。エンコーダ $EN2a$ 、 $EN2b$ は、設置方位線 $Lx2$ 上に配置されている (図1、図2参照)。設置方位線 $Lx2$ は、 XZ 平面において、エンコーダ $EN2a$ 、 $EN2b$ の計測用の光ビームのスケール部 SDa 、 SDb 上への投射位置 (読取位置) と、中心軸 AXo とを結ぶ線となっている。この設置方位線 $Lx2$ は、 XZ 平面において、照射中心軸 $Le1$ 、 $Le3$ 、 $Le5$ と同角度位置となって重なっている。

10

【0049】

エンコーダ $EN3a$ 、 $EN3b$ は、中心面 Poc に対して基板 P の搬送方向の下流側 ($+X$ 方向側) に設けられており、設置方位線 $Lx3$ 上に配置されている (図1、図2参照)。設置方位線 $Lx3$ は、 XZ 平面において、エンコーダ $EN3a$ 、 $EN3b$ の計測用の光ビームのスケール部 SDa 、 SDb 上への投射位置 (読取位置) と、中心軸 AXo とを結ぶ線となっている。この設置方位線 $Lx3$ は、 XZ 平面において、照射中心軸 $Le2$ 、 $Le4$ 、 $Le6$ と同角度位置となって重なっている。したがって、設置方位線 $Lx2$ と設置方位線 $Lx3$ とは、 XZ 平面において、中心面 Poc に対して角度が ± 1 となるように設定されている (図1参照)。

20

【0050】

エンコーダ $EN4a$ 、 $EN4b$ は、エンコーダ $EN3a$ 、 $EN3b$ より基板 P の搬送方向の下流側 ($+X$ 方向側) に設けられており、設置方位線 $Lx4$ 上に配置されている (図1参照)。設置方位線 $Lx4$ は、 XZ 平面において、エンコーダ $EN4a$ 、 $EN4b$ の計測用の光ビームのスケール部 SDa 、 SDb 上への投射位置 (読取位置) と、中心軸 AXo とを結ぶ線となっている。また、設置方位線 $Lx4$ は、 XZ 平面において、各アライメント顕微鏡 $AM2m$ ($AM21 \sim AM24$) の観察領域 $Vw2m$ ($Vw21 \sim Vw24$) と中心軸 AXo とを結ぶ線となっている。つまり、複数のアライメント顕微鏡 $AM2m$ ($AM21 \sim AM24$) も設置方位線 $Lx4$ 上に配置されている。この設置方位線 $Lx1$ と設置方位線 $Lx4$ とは、 XZ 平面において、中心面 Poc に対して角度が ± 2 となるように設定されている。

30

【0051】

各エンコーダ $ENja$ ($EN1a \sim EN4a$)、 $ENjb$ ($EN1b \sim EN4b$) は、スケール部 SDa 、 SDb に向けて計測用の光ビームを投射し、その反射光束 (回折光) を光电検出した検出信号 (2相信号) を制御装置16に出力する。制御装置16内には、エンコーダ $ENja$ ($EN1a \sim EN4a$)、 $ENjb$ ($EN1b \sim EN4b$) ごとの検出信号 (2相信号) を内挿処理してスケール部 SDa 、 SDb の格子の移動量をデジタル計数することで、回転ドラム DR の回転角度位置および角度変化、或いは基板 P の移動量をサブミクロンの分解能で計測する複数のカウンタ回路が設けられている。回転ドラム DR の角度変化からは、基板 P の搬送速度 Vt も計測することができる。エンコーダ $ENja$ ($EN1a \sim EN4a$)、 $ENjb$ ($EN1b \sim EN4b$) の各々に対応したカウンタ回路のカウント値に基づいて、アライメントマーク MKm ($MK1 \sim MK4$) の位置、基板 P 上の露光領域 W と各描画ライン SLn の副走査方向の位置関係等が特定できる。その他、そのカウンタ回路のカウント値に基づいて、基板 P 上に描画すべきパターンの描画データ (例えばビットマップデータ) を記憶するメモリ部の副走査方向に関するアドレス位置 (アクセス番地) も指定される。

40

【0052】

次に、図4を参照して走査ユニット Un ($U1 \sim U6$) の光学的な構成について説明する。なお、各走査ユニット Un ($U1 \sim U6$) は、同一の構成を有することから、代表し

50

て走査ユニットU1についてのみ説明し、他の走査ユニットUnについてはその説明を省略する。また、図4においては、照射中心軸Len (Le1)と平行する方向をZt方向とし、Zt方向と直交する平面上にあって、基板Pが処理装置PR1から露光装置EXを経て処理装置PR2に向かう方向をXt方向とし、Zt方向と直交する平面上であって、Xt方向と直交する方向をYt方向とする。つまり、図4のXt、Yt、Ztの3次元座標は、図1のX、Y、Zの3次元座標を、Y軸を中心にZ軸方向が照射中心軸Len (Le1)と平行となるように回転させた3次元座標となる。

【0053】

図4に示すように、走査ユニットU1内には、ビームLB1の入射位置から被照射面(基板P)までのビームLB1の進行方向に沿って、反射ミラーM10、ビームエキスパンダーBE、反射ミラーM11、偏光ビームスプリッタBS1、反射ミラーM12、シフト光学部材(平行平板)SR、偏向調整光学部材(プリズム)DP、フィールドアパーチャFA、反射ミラーM13、 $\lambda/4$ 波長板QW、シリンドリカルレンズCYa、反射ミラーM14、ポリゴンミラーPM、f レンズFT、反射ミラーM15、シリンドリカルレンズCYbが設けられる。さらに、走査ユニットU1内には、走査ユニットU1の描画開始可能タイミングを検出する原点センサ(原点検出器)OP1と、被照射面(基板P)からの反射光を偏光ビームスプリッタBS1を介して検出するための光学レンズ系G10および光検出器DTとが設けられる。

【0054】

走査ユニットU1に入射するビームLB1は、-Zt方向に向けて進み、XtYt平面に対して45°傾いた反射ミラーM10に入射する。この走査ユニットU1に入射するビームLB1の軸線は、照射中心軸Le1と同軸になるように反射ミラーM10に入射する。反射ミラーM10は、入射したビームLB1を、Xt軸と平行に設定されるビームエキスパンダーBEの光軸AXaに沿って、反射ミラーM10から-Xt方向に離れた反射ミラーM11に向けて-Xt方向に反射する。したがって、光軸AXaはXtZt平面と平行な面内で照射中心軸Le1と直交する。ビームエキスパンダーBEは、集光レンズBe1と、集光レンズBe1によって収斂された後に発散するビームLB1を平行光にするコリメートレンズBe2とを有し、ビームLB1の径を拡大させる。

【0055】

反射ミラーM11は、YtZt平面に対して45°傾いて配置され、入射したビームLB1(光軸AXa)を偏光ビームスプリッタBS1に向けて-Yt方向に反射する。反射ミラーM11に対して-Yt方向に離れて設置されている偏光ビームスプリッタBS1の偏光分離面は、YtZt平面に対して45°傾いて配置され、P偏光のビームを反射し、P偏光と直交する方向に偏光した直線偏光(S偏光)のビームを透過するものである。走査ユニットU1に入射するビームLB1は、ここではP偏光のビームとするので、偏光ビームスプリッタBS1は、反射ミラーM11からのビームLB1を-Xt方向に反射して反射ミラーM12側に導く。

【0056】

反射ミラーM12は、XtYt平面に対して45°傾いて配置され、入射したビームLB1を、反射ミラーM12から-Zt方向に離れた反射ミラーM13に向けて-Zt方向に反射する。反射ミラーM12で反射されたビームLB1は、Zt軸と平行な光軸AXcに沿って、2枚の石英の平行平板Sr1、Sr2で構成されるシフト光学部材SR、2つの楔状のプリズムDp1、Dp2で構成される偏向調整光学部材DP、およびフィールドアパーチャ(視野絞り)FAを通過して、反射ミラーM13に入射する。シフト光学部材SRは、平行平板Sr1、Sr2の各々を傾けることで、ビームLB1の進行方向(光軸AXc)と直交する平面(XtYt平面)内において、ビームLB1の断面内の中心位置を2次元的に調整する。偏向調整光学部材DPは、プリズムDp1、Dp2の各々を光軸AXcの回りに回転させることによって、ビームLB1の軸線と光軸AXcとの平行出し、または、基板Pの被照射面に達するビームLB1の軸線と照射中心軸Le1との平行出しが可能となっている。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

反射ミラー M 1 3 は、 $X-t$ $Y-t$ 平面に対して 45° 傾いて配置され、入射したビーム L B 1 を反射ミラー M 1 4 に向けて $+X-t$ 方向に反射する。反射ミラー M 1 3 で反射したビーム L B 1 は、 $\lambda/4$ 波長板 Q W およびシリンドリカルレンズ C Y a を介して反射ミラー M 1 4 に入射する。反射ミラー M 1 4 は、入射したビーム L B 1 をポリゴンミラー（回転多面鏡、走査用偏向部材）P M に向けて反射する。ポリゴンミラー P M は、入射したビーム L B 1 を、 $X-t$ 軸と平行な光軸 A X f を有する f レンズ F T に向けて $+X-t$ 方向側に反射する。ポリゴンミラー P M は、ビーム L B 1 のスポット光 S P を基板 P の被照射面上で走査するために、入射したビーム L B 1 を $X-t$ $Y-t$ 平面と平行な面内で 1 次元に偏向（反射）する。具体的には、ポリゴンミラー P M は、 $Z-t$ 軸方向に延びる回転軸 A X p と、
 10 回転軸 A X p の周りに形成された複数の反射面 R P（本実施の形態では反射面 R P の数 N p を 8 とする）とを有する。回転軸 A X p を中心にこのポリゴンミラー P M を所定の回転方向に回転させることで反射面 R P に照射されるパルス状のビーム L B 1 の反射角を連続的に変化させることができる。これにより、1つの反射面 R P によってビーム L B 1 の反射方向が偏向され、基板 P の被照射面上に照射されるビーム L B 1 のスポット光 S P を主走査方向（基板 P の幅方向、 $Y-t$ 方向）に沿って走査することができる。

【 0 0 5 8 】

すなわち、ポリゴンミラー P M の 1 つの反射面 R P によって、ビーム L B 1 のスポット光 S P を主走査方向に沿って 1 回走査することができる。このため、ポリゴンミラー P M の 1 回転で、基板 P の被照射面上にスポット光 S P が走査される描画ライン S L 1 の数は
 20 、最大で反射面 R P の数と同じ 8 本となる。ポリゴンミラー P M は、制御装置 1 6 の制御の下、回転駆動源（例えば、モータや減速機構等）R M によって一定の速度で回転する。先に説明したように、描画ライン S L 1 の実効的な長さ（例えば、30 mm）は、このポリゴンミラー P M によってスポット光 S P を走査することができる最大走査長（例えば、31 mm）以下の長さに設定されており、初期設定（設計上）では、最大走査長の中央に描画ライン S L 1 の中心点（照射中心軸 L e 1 が通る点）が設定されている。

【 0 0 5 9 】

シリンドリカルレンズ C Y a は、ポリゴンミラー P M による主走査方向（回転方向）と直交する非走査方向（ $Z-t$ 方向）に関して、入射したビーム L B 1 をポリゴンミラー P M の反射面 R P 上に収斂する。つまり、シリンドリカルレンズ C Y a は、ビーム L B 1 を反
 30 射面 R P 上で $X-t$ $Y-t$ 平面と平行な方向に延びたスリット状（長楕円状）に収斂する。母線が $Y-t$ 方向と平行となっているシリンドリカルレンズ C Y a と、後述のシリンドリカルレンズ C Y b とによって、反射面 R P が $Z-t$ 方向に対して傾いている場合（ $X-t$ $Y-t$ 平面の法線に対する反射面 R P の傾き）があっても、その影響を抑制することができる。例えば、基板 P の被照射面上に照射されるビーム L B 1（描画ライン S L 1）の照射位置が、ポリゴンミラー P M の各反射面 R P 毎の僅かな傾き誤差によって $X-t$ 方向にずれることを抑制することができる。

【 0 0 6 0 】

$X-t$ 軸方向に延びる光軸 A X f を有する f レンズ F T は、ポリゴンミラー P M によって反射されたビーム L B 1 を、 $X-t$ $Y-t$ 平面において、光軸 A X f と平行となるように反
 40 射ミラー M 1 5 に投射するテレセントリック系のスキャンレンズである。ビーム L B 1 の f レンズ F T への入射角 θ は、ポリゴンミラー P M の回転角（ $\lambda/2$ ）に応じて変わる。f レンズ F T は、反射ミラー M 1 5 およびシリンドリカルレンズ C Y b を介して、その入射角 θ に比例した基板 P の被照射面上の像高位置にビーム L B 1 を投射する。焦点距離を f_o とし、像高位置を y とすると、f レンズ F T は、 $y = f_o \times \theta$ の関係（歪曲収差）を満たすように設計されている。したがって、この f レンズ F T によって、ビーム L B 1 を $Y-t$ 方向（ Y 方向）に正確に等速で走査することが可能になる。f レンズ F T への入射角 θ が 0 度のときに、f レンズ F T に入射したビーム L B 1 は、光軸 A X f 上に沿って進む。

【 0 0 6 1 】

10

20

30

40

50

反射ミラーM15は、f レンズFTからのビームLB1を、シリンダリカルレンズCYbを介して基板Pに向けて-Zt方向に反射する。f レンズFTおよび母線がYt方向と平行となっているシリンダリカルレンズCYbによって、基板Pに投射されるビームLB1が基板Pの被照射面上で直径数 μm 程度（例えば、 $3\mu\text{m}$ ）の微小なスポット光SPに収斂される。また、基板Pの被照射面上に投射されるスポット光SPは、ポリゴンミラーPMによって、Yt方向に延びる描画ラインSL1によって1次元走査される。なお、f レンズFTの光軸AXfと照射中心軸Le1とは、同一の平面上にあり、その平面はXtZt平面と平行である。したがって、光軸AXf上に進んだビームLB1は、反射ミラーM15によって-Zt方向に反射し、照射中心軸Le1と同軸になって基板Pに投射される。本第1の実施の形態において、少なくともf レンズFTは、ポリゴンミラーPMによって偏向されたビームLB1を基板Pの被照射面に投射する投射光学系として機能する。また、少なくとも反射部材（反射ミラーM11～M15）および偏光ビームスプリッタBS1は、反射ミラーM10から基板PまでのビームLB1の光路を折り曲げる光路偏向部材として機能する。この光路偏向部材によって、反射ミラーM10に入射するビームLB1の入射軸と照射中心軸Le1とを略同軸にすることができる。XtZt平面に関して、走査ユニットU1内を通るビームLB1は、クランク状に折り曲げられた光路を通った後、-Zt方向に進んで基板Pに投射される。

【0062】

このように、基板Pが副走査方向に搬送されている状態で、各走査ユニットUn（U1～U6）によって、ビームLBn（LB1～LB6）のスポット光SPを主走査方向（Y方向）に一次元に走査することで、スポット光SPを基板Pの被照射面に相対的に2次元走査することができる。

【0063】

なお、一例として、各描画ラインSL1～SL6の実効的な長さ（描画長）を30mmとし、実効的なサイズが $3\mu\text{m}$ のスポット光SPの1/2ずつ、つまり、 $1.5 (= 3 \times 1/2) \mu\text{m}$ ずつ、オーバーラップさせながらスポット光SPを描画ラインSLn（SL1～SL6）に沿って基板Pの被照射面上に照射する場合、パルス状のスポット光SPは、 $1.5\mu\text{m}$ の間隔で照射される。したがって、1回の走査で照射されるスポット光SPの数は、 $2000 (= 30 [\text{mm}] / 1.5 [\mu\text{m}])$ となる。また、基板Pの副走査方向の送り速度（搬送速度）Vtを 0.6048 mm/sec とし、副走査方向についてもスポット光SPの走査が $1.5\mu\text{m}$ の間隔で行われるものとする、描画ラインSLnに沿った1回の走査開始（描画開始）時点と次の走査開始時点との時間差Tp_xは、約 $620 \mu\text{sec} (= 0.375 [\mu\text{m}] / 0.6048 [\text{mm/sec}])$ となる。この時間差Tp_xは、8反射面RPのポリゴンミラーPMが1面分（45度＝360度/8）だけ回転する時間である。この場合、ポリゴンミラーPMの1回転の時間が、約 $4.96 \text{ msec} (= 8 \times 620 [\mu\text{sec}])$ となるように設定される必要がある、ポリゴンミラーPMの回転速度Vpは、毎秒約201.613回転（＝1/4.96 [msec]）、すなわち、約12096.8rpmに設定される。

【0064】

一方、ポリゴンミラーPMの1反射面RPで反射したビームLB1が有効にf レンズFTに入射する最大入射角度（スポット光SPの最大走査長に対応）は、f レンズFTの焦点距離と最大走査長によっておおそ決まってしまう。一例として、反射面RPが8つのポリゴンミラーPMの場合は、1反射面RP分の回転角度45度のうちで実走査に寄与する回転角度の比率（走査効率）は、 $\quad / 45$ 度で表される。本第1の実施の形態では、実走査に寄与する回転角度を10度よりも大きく15度よりも小さい範囲とするので、走査効率は $1/3 (= 15 \text{ 度} / 45 \text{ 度})$ となり、f レンズFTの最大入射角は30度（光軸AXfを中心として ± 15 度）となる。そのため、描画ラインSLnの最大走査長（例えば、31mm）分だけスポット光SPを走査するのに必要な時間Tsは、 $T_s = T_{p \times} \times \text{走査効率}$ 、となり、先の数値例の場合は、時間Tsは、約 $206.666 \dots \mu\text{sec} (= 620 [\mu\text{sec}] / 3)$ 、となる。本第1の実施の形態における描画ライ

10

20

30

40

50

ン SL_n ($SL_1 \sim SL_6$) の実効的な走査長を 30 mm とするので、この描画ライン SL_n に沿ったスポット光 SP の 1 走査の走査時間 T_{sp} は、約 $200\text{ }\mu\text{sec}$ ($= 206.666 \dots [\mu\text{sec}] \times 30 [\text{mm}] / 31 [\text{mm}]$)、となる。したがって、この走査時間 T_{sp} の間に、 20000 のスポット光 SP (パルス光) を照射する必要があるので、光源装置 L からのビーム LB の発光周波数 (発振周波数) F_a は、 $F_a = 20000\text{ 回} / 200\text{ }\mu\text{sec} = 100\text{ MHz}$ となる。

【0065】

図 4 に示した原点センサ OP_1 は、ポリゴンミラー PM の反射面 RP の回転位置が、反射面 RP によるスポット光 SP の走査が開始可能な所定位置にくると原点信号 SZ_1 を発生する。言い換えるならば、原点センサ OP_1 は、これからスポット光 SP の走査を行う反射面 RP の角度が所定の角度位置になったときに原点信号 SZ_1 を発生する。ポリゴンミラー PM は、8 つの反射面 RP を有するので、原点センサ OP_1 は、ポリゴンミラー PM が 1 回転する期間で、8 回原点信号 SZ_1 を出力することになる。この原点センサ OP_1 が発生した原点信号 SZ_1 は、制御装置 16 に送られる。原点センサ OP_1 が原点信号 SZ_1 を発生してから、遅延時間 T_{d1} 経過後にスポット光 SP の描画ライン SL_1 に沿った走査が開始される。つまり、この原点信号 SZ_1 は、走査ユニット U_1 によるスポット光 SP の描画開始タイミング (走査開始タイミング) を示す情報となっている。原点センサ OP_1 は、基板 P の感光性機能層に対して非感光性の波長域のレーザビーム Bga を反射面 RP に対して射出するビーム送光系 opa と、反射面 RP で反射したレーザビーム Bga の反射ビーム Bgb を受光して原点信号 SZ_1 を発生するビーム受光系 opb とを有する。

【0066】

なお、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ に設けられている原点センサ OP_n を $OP_2 \sim OP_6$ で表し、原点センサ $OP_2 \sim OP_6$ で発生する原点信号 SZ_n を $SZ_2 \sim SZ_6$ で表す。制御装置 16 は、これらの原点信号 SZ_n ($SZ_1 \sim SZ_6$) に基づいて、どの走査ユニット U_n がこれからスポット光 SP の走査を行うかを管理している。また、原点信号 $SZ_2 \sim SZ_6$ が発生してから、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ による描画ライン $SL_2 \sim SL_6$ に沿ったスポット光 SP の走査を開始するまでの遅延時間 T_{dn} を $T_{d2} \sim T_{d6}$ で表す場合がある。本実施の形態では、原点信号 $SZ_1 \sim SZ_6$ を使って、各走査ユニット $U_1 \sim U_6$ のポリゴンミラー PM の回転速度を所定値に一致させる同期制御と、各ポリゴンミラー PM の回転角度位置 (角度位相) を所定の関係に維持する同期制御とが行われる。

【0067】

図 4 に示す光検出器 DT は、例えば、回転ドラム DR の表面に形成された基準パターン、或いは基板 P の特定位置に形成された基準パターンがスポット光 SP によって走査されたときに発生する反射光の変化を光電変換する光電変換素子を有する。回転ドラム DR の基準パターン (或いは基板 P 上の基準パターン) が形成された領域に、走査ユニット U_1 からビーム LB_1 のスポット光 SP を照射すると、 f レンズ FT がテレセントリック系であることから、その反射光が、シリンドリカルレンズ CYb 、反射ミラー $M15$ 、 f レンズ FT 、ポリゴンミラー PM 、反射ミラー $M14$ 、シリンドリカルレンズ CYa 、 $/4$ 波長板 QW 、反射ミラー $M13$ 、フィールドアパーチャ FA 、偏向調整光学部材 DP 、シフト光学部材 SR 、および、反射ミラー $M12$ を通過して偏光ビームスプリッタ BS_1 に戻ってくる。 $/4$ 波長板 QW の作用によって、基板 P に照射されるビーム LB_1 は、 P 偏光から円偏光のビーム LB_1 に変換され、回転ドラム DR の表面 (或いは基板 P の表面) で反射されて、偏光ビームスプリッタ BS_1 まで戻ってくる反射光は、 $/4$ 波長板 QW によって円偏光から S 偏光に変換される。そのため、回転ドラム DR からの反射光は、偏光ビームスプリッタ BS_1 を透過し、光学レンズ系 $G10$ を介して光検出器 DT に達する。光検出器 DT からの検出信号に基づいて計測される描画ライン SL_n に対する基準パターンの位置情報によって、走査ユニット U_n をキャリブレーションすることができる。

【0068】

図5は、ビーム分配部BDU内の構成をXY面内で見た図である。ビーム分配部BDUは、複数の描画用光学素子AOM_n (AOM1 ~ AOM6) と、複数のビームスプリッタBS_a ~ BS_e と、複数の反射ミラーMR1 ~ MR5 と、複数の落射用の反射ミラーFM1 ~ FM6 とを有する。描画用光学素子AOM_n (AOM1 ~ AOM6) は、光源装置LSからのビームLBを6つに分配した光路の各々に配置され、高周波の駆動信号に応答して入射ビームを回折させた1次回折光を、ビームLB_n (LB1 ~ LB6) として射出する音響光学変調素子 (AOM: Acousto-Optic Modulator) である。描画用光学素子AOM_n (AOM1 ~ AOM6) の各々における1次回折光 (ビームLB1 ~ LB6) の回折方向はXZ面と平行な面内で-Z方向であり、各描画用光学素子AOM_n がオン状態 (1次回折光を発生する状態) のときに各描画用光学素子AOM_n から射出されるビームLB_n (LB1 ~ LB6) は、反射面がXY面に対して傾斜した落射用の反射ミラーFM1 ~ FM6の各々によって、対応する走査ユニットU1 ~ U6 (反射ミラーM10) に向けて-Z方向に反射される。

【0069】

光源装置LSからのビームLBはビームスプリッタBS_aで2分割され、ビームスプリッタBS_aを透過したビームは、反射ミラーMR1、MR2で反射された後、ビームスプリッタBS_bで2分割される。ビームスプリッタBS_bで反射したビームは、描画用光学素子AOM5に入射し、ビームスプリッタBS_bを透過したビームは、ビームスプリッタBS_cで2分割される。ビームスプリッタBS_cで反射したビームは、描画用光学素子AOM3に入射し、ビームスプリッタBS_cを透過したビームは、反射ミラーMR3で反射されて、描画用光学素子AOM1に入射する。同様に、ビームスプリッタBS_aで反射されたビームは、反射ミラーMR4で反射された後、ビームスプリッタBS_dで2分割される。ビームスプリッタBS_dで反射されたビームは、描画用光学素子AOM6に入射し、ビームスプリッタBS_dを透過したビームは、ビームスプリッタBS_eで2分割される。ビームスプリッタBS_eで反射されたビームは、描画用光学素子AOM4に入射し、ビームスプリッタBS_eを透過したビームは、反射ミラーMR5で反射されて、描画用光学素子AOM2に入射する。

【0070】

以上のように、6つの描画用光学素子AOM_n (AOM1 ~ AOM6) の各々に、光源装置LSからのビームLBが約1/6に振幅分割 (強度分割) された状態でともに入射する。描画用光学素子AOM_n (AOM1 ~ AOM6) の各々に、描画データの画素毎のビットデータに応じて高周波の駆動信号の印加をオン/オフすることによって、走査ユニットU_n (U1 ~ U6) の各々の描画ラインSL_nに沿って走査されるスポット光SPの強度が変調される。これによって、描画データ (ビットマップ) に対応したパターンが、各走査ユニットU_n (U1 ~ U6) で同時に基板P上に描画される。描画データ (パターンデータ) は、走査ユニットU_nによって描画されるパターンを、スポット光SPのサイズに応じて設定される寸法の画素によって分割し、複数の画素の各々を前記パターンに応じた論理情報 (画素データ) で表したものである。つまり、描画データは、スポット光SPの走査方向 (主走査方向、Y方向) に沿った方向を行方向とし、基板Pの搬送方向 (副走査方向、X方向) に沿った方向を列方向とするように2次元に分解された複数の画素の論理情報 (画素データ) で構成されているビットマップデータである。

【0071】

図6は、図1に示した制御装置16の主要な構成を示すブロック図であり、制御装置16は、描画動作全体を統括制御する描画コントロール部100と、走査ユニットU1 ~ U6の各々の原点センサOP_nのビーム受光系op_bからの原点信号SZ1 ~ SZ6を入力して、ポリゴンミラーPMの回転用の回転駆動源 (モータ等) RMを制御するポリゴンミラー駆動部102と、複数のアライメント顕微鏡AM1_m、AM2_mの各々で撮像されるアライメントマークMK1 ~ MK4の画像を解析して、マーク位置情報を生成するアライメント部 (アライメント系) 104と、複数のエンコーダヘッドEN1_a ~ EN4_a、EN1_b ~ EN4_bの各々からの検出信号 (2相信号) に基づいて、スケール部SD_a、S

10

20

30

40

50

D bの周方向の移動量や移動位置をデジタル計数するエンコーダカウンタ部106と、走査ユニットU1~U6の各々で描画すべきパターンの描画データをビットマップ形式で記憶する描画データ記憶部108と、描画データ記憶部108から読み出される描画ラインSL1~SL6ごとの描画データ列(ビットストリーム信号)に応じて、走査ユニットU1~U6の各々に対応した描画用光学素子AOM1~AOM6を変調するAOM駆動部110と、を備える。さらに、描画コントロール部100は、光源装置LSに対して描画倍率補正のための情報TMg、CMgを送るとともに、走査ユニットU1~U6の各々が基板Pをスポット光SPで走査するタイミングで光源装置LSがビームLBを射出するように制御する描画スイッチ信号SH T等を送る。

【0072】

本実施の形態では、光源装置LSのビームLBを発振周波数Fa(例えば100MHz)のパルス光とするが、そのために、光源装置LSは発振周波数Faのクロック信号LTCを生成する。クロック信号LTCの1クロックパルスは、ビームLBの1パルス発光に対応している。さらに光源装置LSは、スポット光SPが描画ラインSLnに沿って走査されている間の特定の画素位置で、クロック信号LTCの周期を部分的に微調整する局所倍率補正部を備えている。なお、クロック信号LTCは、ポリゴンミラー駆動部102によるポリゴンミラーPMの回転速度の管理にも使われる。また、光源装置LSは、描画データ記憶部108がスポット光SPの1回の走査中にAOM駆動部110に送出する描画データ列(画素列)を1画素のビットデータごとにシフトするための画素シフト信号(画素シフトパルス)BSCを生成する。なお、図6では省略したが、制御装置16には、回転ドラムDRを回転するための駆動モータや、他のニップローラやテンション調整ローラ等の駆動を制御して、基板Pに一定のテンションをかけた状態で、基板Pを指令速度で精密に移動させる基板搬送制御部が、描画コントロール部100の制御下に設けられる。

【0073】

次に、図7、図8、図9、図10を参照して、光源装置LSの構成、クロック信号LTCを使った局所倍率補正部(回路)の構成、およびスポット光SPによる画素単位の描画の様子等を説明する。図7は、光源装置(パルス光源装置、パルスレーザ装置)LSの具体的な構成を示す図である。ファイバーレーザ装置としての光源装置LSは、パルス光発生部20と、制御回路22とを備える。パルス光発生部20は、DFB半導体レーザ素子30、32、偏光ビームスプリッタ34、描画用光変調器としての電気光学素子(強度変調部)36、この電気光学素子36の駆動回路36a、偏光ビームスプリッタ38、吸収体40、励起光源42、コンバイナ44、ファイバー光増幅器46、波長変換光学素子48、50、および、複数のレンズ素子GLを有する。制御回路22は、クロック信号LTCおよび画素シフトパルスBSCを発生する信号発生部22aを有する。

【0074】

DFB半導体レーザ素子(第1固体レーザ素子)30は、クロック信号LTCに応答して、所定周波数である発振周波数Fa(例えば、100MHz)で鋭鋭若しくは尖鋭のパルス状の種光(パルスビーム、ビーム)S1を発生し、DFB半導体レーザ素子(第2固体レーザ素子)32は、クロック信号LTCに応答して、所定周波数である発振周波数Fa(例えば、100MHz)で緩慢(時間的にブロード)なパルス状の種光(パルスビーム、ビーム)S2を発生する。DFB半導体レーザ素子30が発生する種光S1と、DFB半導体レーザ素子32が発生する種光S2とは、発光タイミングが同期している。種光S1、S2は、ともに1パルス当たりのエネルギーは略同一であるが、偏光状態が互いに異なり、ピーク強度は種光S1の方が強い。この種光S1と種光S2とは、直線偏光の光であり、その偏光方向は互いに直交している。本第1の実施の形態では、DFB半導体レーザ素子30が発生する種光S1の偏光状態をS偏光とし、DFB半導体レーザ素子32が発生する種光S2の偏光状態をP偏光として説明する。この種光S1、S2は、赤外波長域の光である。

【0075】

制御回路22は、信号発生部22aから送られてきたクロック信号LTCのクロックパ

10

20

30

40

50

ルスに应答して種光 S 1、S 2 が発光するように D F B 半導体レーザ素子 3 0、3 2 を制御する。これにより、この D F B 半導体レーザ素子 3 0、3 2 は、クロック信号 L T C の各クロックパルス（発振周波数 F a ）に应答して、所定周波数（発振周波数）F a で同時に種光 S 1、S 2 を発光する。この制御回路 2 2 は、制御装置 1 6 中の描画コントロール部 1 0 0 によって制御される。このクロック信号 L T C のクロックパルスの周期（ $= 1 / F a$ ）を、基準周期 T a と呼ぶ。D F B 半導体レーザ素子 3 0、3 2 で発生した種光 S 1、S 2 は、偏光ビームスプリッタ 3 4 に導かれる。

【0076】

なお、この基準クロック信号となるクロック信号 L T C は、詳しくは後述するが、描画データ記憶部 1 0 8 のビットマップ状の描画データ（パターンデータ）を記憶するメモリ回路中の行方向のアドレスを指定するためのアドレスカウンタ（レジスタ）に供給される画素シフトパルス B S C のベースとなるものである。また、信号発生部 2 2 a には、基板 P の被照射面上における描画ライン S L n の全体倍率補正を行うための全体倍率補正情報 T M g と、描画ライン S L n の局所倍率補正を行うための局所倍率補正情報 C M g とが、制御装置 1 6 中の描画コントロール部 1 0 0 から送られてくる。これにより、基板 P の被照射面上における描画ライン S L n の長さ（走査長）を p p m オーダーから % オーダーに渡ってきめ細かく微調整することができる。この描画ライン S L n の伸縮（走査長の微調整）は、描画ライン S L n の最大走査長（例えば、3 1 m m）の範囲内で行うことができる。なお、本第 1 の実施の形態での全体倍率補正とは、描画データ上の 1 画素（1 ビット）に対応するスポット光 S P の数を一定にしたまま、主走査方向に沿って投射されるスポット光 S P の投射間隔（つまり、クロック信号 L T C の周期）を一律に微調整することで、描画ライン S L n 全体の走査方向の倍率を一様に補正するものである。また、本第 1 の実施の形態での局所倍率補正とは、1 描画ライン S L n 上に設定される離散的な幾つかの補正点（画素位置）でのみ、主走査方向に沿って投射されるスポット光 S P の投射間隔（つまり、クロック信号 L T C の周期）を一時的に増減することで、その補正点に対応した基板 P 上での画素のサイズを主走査方向に僅かに伸縮させるものである。

【0077】

偏光ビームスプリッタ 3 4 は、S 偏光の光を透過し、P 偏光の光を反射するものであり、D F B 半導体レーザ素子 3 0 が発生した種光 S 1 と、D F B 半導体レーザ素子 3 2 が発生した種光 S 2 とを、電気光学素子 3 6 に導く。すなわち、偏光ビームスプリッタ 3 4 は、D F B 半導体レーザ素子 3 0 が発生した S 偏光の種光 S 1 を透過することで種光 S 1 を電気光学素子 3 6 に導く。また、偏光ビームスプリッタ 3 4 は、D F B 半導体レーザ素子 3 2 が発生した P 偏光の種光 S 2 を反射することで種光 S 2 を電気光学素子 3 6 に導く。D F B 半導体レーザ素子 3 0、3 2、および、偏光ビームスプリッタ 3 4 は、種光 S 1、S 2 を生成するパルス光源部 3 5 を構成する。

【0078】

電気光学素子（強度変調部）3 6 は、種光 S 1、S 2 に対して透過性を有するものであり、例えば、電気光学変調器（E O M : Electro-Optic Modulator）が用いられる。D F B 半導体レーザ素子 3 0、D F B 半導体レーザ素子 3 2 の各々からの種光 S 1、S 2 は波長域が 8 0 0 n m 以上と長いため、電気光学素子 3 6 として、偏光状態の切り換え応答性が G H z 程度のものを使うことができる。電気光学素子 3 6 は、描画スイッチ信号 S H T のハイ / ロー状態に应答して、種光 S 1、S 2 の偏光状態を駆動回路 3 6 a によって切り換えるものである。描画スイッチ信号 S H T は、走査ユニット U 1 ~ U 6 のいずれかが描画を開始する直前、または描画開始時に対して一定時間だけ手前の時間にハイ状態となり、走査ユニット U 1 ~ U 6 のいずれもが描画をしていない状態になるとロー状態になる。この描画スイッチ信号 S H T は、図 6 中の原点信号 S Z 1 ~ S Z 6 の発生状態を、ポリゴンミラー駆動部 1 0 2 を介してモニターする描画コントロール部 1 0 0 から送出される。

【0079】

駆動回路 3 6 a に入力される描画スイッチ信号 S H T がロー（「0」）状態のとき、電気光学素子 3 6 は種光 S 1、S 2 の偏光状態を変えずにそのまま偏光ビームスプリッタ 3

10

20

30

40

50

8に導く。逆に、駆動回路36aに入力される描画スイッチ信号SHTがハイ(「1」)状態のときは、電気光学素子36は入射した種光S1、S2の偏光状態を変えて、つまり、偏光方向を90度変えて偏光ビームスプリッタ38に導く。このように駆動回路36aが電気光学素子36を駆動することによって、電気光学素子36は、描画スイッチ信号SHTがハイ(「1」)状態のときは、S偏光の種光S1をP偏光の種光S1に変換し、P偏光の種光S2をS偏光の種光S2に変換する。

【0080】

偏光ビームスプリッタ38は、P偏光の光を透過してレンズ素子GLを介してコンバイナ44に導き、S偏光の光を反射させて吸収体40に導くものである。この偏光ビームスプリッタ38を透過する光(種光)をビームLseで表す。このパルス状のビームLseの発振周波数はFaとなる。励起光源42は励起光を発生し、その励起光は光ファイバ42aを通してコンバイナ44に導かれる。コンバイナ44は、偏光ビームスプリッタ38から照射されたビームLseと励起光とを合成して、ファイバ光増幅器46に出力する。ファイバ光増幅器46は、励起光によって励起されるレーザ媒質がドーブされている。したがって、合成されたビームLseおよび励起光が伝送するファイバ光増幅器46内では、励起光によってレーザ媒質が励起されることにより、種光としてのビームLseが増幅される。ファイバ光増幅器46内にドーブされるレーザ媒質としては、エルビウム(Er)、イッテルビウム(Yb)、トリウム(Tm)等の希土類元素が用いられる。この増幅されたビームLseは、ファイバ光増幅器46の射出端46aから所定の発散角を伴って放射され、レンズ素子GLによって収斂またはコリメートされて波長変換光学素子48に入射する。

【0081】

波長変換光学素子(第1の波長変換光学素子)48は、第2高調波発生(Second Harmonic Generation: SHG)によって、入射したビームLse(波長 λ)を、波長が $\lambda/2$ の第2高調波に変換する。波長変換光学素子48として、疑似位相整合(Quasi Phase Matching: QPM)結晶であるPPLN(Periodically Poled LiNbO3)結晶が好適に用いられる。なお、PPLT(Periodically Poled LiTaO3)結晶等を用いることも可能である。

【0082】

波長変換光学素子(第2の波長変換光学素子)50は、波長変換光学素子48が変換した第2高調波(波長 $\lambda/2$)と、波長変換光学素子48によって変換されずに残留した種光(波長 λ)との和周波発生(Sum Frequency Generation: SFG)により、波長が $\lambda/3$ の第3高調波を発生する。この第3高調波が、370nm以下の波長帯域(例えば、355nm)にピーク波長を有する紫外線光(ビームLB)となる。

【0083】

駆動回路36aに印加する描画スイッチ信号SHTがロー(「0」)の場合、電気光学素子(強度変調部)36は、入射した種光S1、S2の偏光状態を変えずにそのまま偏光ビームスプリッタ38に導く。そのため、偏光ビームスプリッタ38を透過するビームLseは種光S2となる。この場合、ビームLseはパルスのピーク強度が低く、時間的にブロードな鈍った特性となる。ファイバ光増幅器46は、そのようなピーク強度が低い種光S2に対する増幅効率が低いため、光源装置LSから射出されるビームLBは、露光に必要なエネルギーまで増幅されない光となる。したがって、露光という観点からみれば、実質的に光源装置LSはビームLBを射出していないのと同じ結果となる。つまり、基板Pに照射されるスポット光SPの強度は極めて低いレベルとなる。ただし、パターンの露光が行われない期間(非描画期間)でも、種光S2由来の紫外域のビームLBが僅かな強度ではあるが、照射され続ける。そのため、描画ラインSL1~SL6が、長時間、基板P上の同じ位置にある状態が続く場合(例えば、搬送系のトラブルによって基板Pが停止している場合等)は、光源装置LSのビームLBの射出窓(図示略)に可動シャッタを設けて、射出窓を閉じるようにするとよい。

【0084】

一方、駆動回路36aに印加する描画スイッチ信号SHTがハイ(「1」)の場合、電気光学素子(強度変調部)36は、入射した種光S1、S2の偏光状態を変えて偏光ビームスプリッタ38に導く。そのため、偏光ビームスプリッタ38を透過するビームLseは、DFB半導体レーザ素子30からの種光S1に由来して生成されたものとなる。DFB半導体レーザ素子30からの種光S1はピーク強度が強いため、ファイバー光増幅器46によって効率的に増幅され、光源装置LSから出力されるP偏光のビームLBは、基板Pの露光に必要なエネルギーを持つ。つまり、基板Pに照射されるスポット光SPの強度は高レベルとなる。このように、光源装置LS内に、描画スイッチ信号SHTに応答する電気光学素子36を設けたので、ポリゴンミラーPMの回転中にスポット光SPの走査による描画動作を行っている期間中だけ、走査ユニットU1~U6にビームLB(LB1~LB6)を送出させることができる。

10

【0085】

なお、図7の構成において、DFB半導体レーザ素子32および偏光ビームスプリッタ34を省略して、DFB半導体レーザ素子30からの種光S1のみを電気光学素子36の偏光状態の切り換えで、ファイバー光増幅器46にバースト波状に導光することも考えられる。しかしながら、この構成を採用すると、種光S1のファイバー光増幅器46への入射周期性(周波数Fa)が描画すべきパターンや描画ラインSLnに沿ったスポット光SPの走査周期(ポリゴンミラーPMの各面でのビームLBnの反射周期)に応じて大きく乱される。すなわち、ファイバー光増幅器46にDFB半導体レーザ素子30からの種光S1が入射しない状態が続いた後に、ファイバー光増幅器46に種光S1が突然入射すると、入射直後の種光S1は通常のときよりも大きな増幅率で増幅され、ファイバー光増幅器46からは、規定以上の大きな強度を持つビームが発生するという問題がある。そこで、本実施の形態では、好ましい態様として、ファイバー光増幅器46に種光S1が入射しない期間は、DFB半導体レーザ素子32からの種光S2(ピーク強度を低くした時間的にブロードなパルス光)をファイバー光増幅器46に入射することで、このような問題を解決している。

20

【0086】

本実施の形態では、基板P上で1画素当りのスポット光SP(クロック信号LTCのクロックパルス)の数は全て同じにし、局所的に主走査方向におけるスポット光(パルス光)SPの投射間隔を変更させることで、描画ラインSLnの走査長を伸縮させる。そのため、図7の光源装置LSの信号発生部22aは、図8、図9に示すように、クロック信号LTCのクロックパルスを一定カウントするたびに、クロック信号LTCのパルス間の周期を基準値に対して微少に伸縮させる構成とした。

30

【0087】

ここで、図8、図9による信号発生部22aの構成を説明する前に、図10を参照して、各走査ユニットUn(U1~U6)の各々による標準的な描画動作を説明する。図10は、走査ユニットUnのうち、代表して走査ユニットU1による標準的なパターン描画の際の各部の信号状態とビームLBの発振状態とを表したタイムチャートである。図10において、2次元のマトリックスGmは、描画すべきパターンPPの描画データ(ビットマップ)を示し、基板P上での1グリッドが1画素に相当する。1画素のY方向の寸法PyとX方向の寸法Pxは、例えば3μmに設定される。また、図10において、矢印で示すL1-1、L1-2、L1-3、・・・L1-6は、基板PのX方向の移動(長尺方向の副走査)に伴って、描画ラインSL1によって順次描画される走査ラインを示し、各走査ラインL1-1、L1-2、L1-3、・・・L1-6のX方向の間隔は、例えば1画素単位の寸法Px(3μm)の1/2となるように、基板Pの搬送速度が設定される。また、斜線で示した画素の集合が、描画すべきパターンPPを表し、そのパターンPPに対応した画素の画素データ(ビット)は論理値「1」にセットされる。

40

【0088】

さらに、基板P上に投射されるスポット光SPのXY方向の寸法(スポットサイズ)は、1画素単位と同程度か、それよりも少し大きめとする。よって、スポット光SPのサ

50

イズは、実効的な直径（ガウス分布の $1/e^2$ の幅、またはピーク強度の半値全幅）として、 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ 程度に設定される。描画ライン SL_1 に沿ってスポット光 SP を連続的に投射する際は、例えばスポット光 SP の実効的な直径の $1/2$ でオーバーラップするように、ビーム LB （ LB_1 ）の発光周波数 F_a （クロック信号 LTC の周波数）とポリゴンミラー PM で走査されるスポット光 SP の走査速度 V_s とが設定されている。光源装置 LS 内の偏光ビームスプリッタ 38 から射出される種光ビーム Lse は、図10のように、クロック信号 LTC の各クロックパルスに応答して、パターン PP に対応した画素の位置では、種光 S_1 に由来して高レベルのパルス光となり、それ以外の画素（論理値「0」）の位置では、種光 S_2 に由来して低レベルのパルス光となる。ビーム LB_1 の主走査方向への走査中、スポット光 SP は実効的な直径の $1/2$ でオーバーラップするように設定され、1画素の Y 方向の寸法 P_y に対して、2つのスポット光 SP が対応するものとする。信号発生部 $22a$ は、クロック信号 LTC の $1/2$ の周波数（2倍の周期）に設定した画素シフト信号 BSC を出力する。

【0089】

描画データ中でスポット光 SP の1走査中（1列分）の画素の論理情報は、1本分の描画ライン SL_n （ $SL_1 \sim SL_6$ ）に対応するものである。したがって、1列分の画素の数は、基板 P の被照射面上での画素寸法 $P \times y$ と描画ライン SL_n の長さとはに応じて決まる。1列分の画素の論理情報に応じて、1本の描画ライン SL_n （ $SL_1 \sim SL_6$ ）に沿って基板 P に投射されるスポット光 SP の強度が変調される。この1列分の画素の論理情報をシリアルデータ DL_n と呼ぶ。したがって、描画データ記憶部 108 に記憶される描画データは、シリアルデータ DL_n が列方向（副走査方向に対応）に並んだビットマップデータとなる。走査ユニット U_1 で描画するパターン PP の描画データのシリアルデータ DL_n を DL_1 で表し、同様に、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ の各々で描画するパターン PP の描画データのシリアルデータ DL_n を $DL_2 \sim DL_6$ で表す。これらのシリアルデータ DL_n （ $DL_1 \sim DL_6$ ）は AOM 駆動部 110 に送出されるが、その送出のタイミングは、原点信号 $SZ_1 \sim SZ_6$ の発生タイミング、エンコーダカウンタ部 106 で計測される基板 P の移動位置（移動量）等をモニターする描画コントロール部 100 から指示される。したがって、図10に示すように、図6の AOM 駆動部 110 は、描画データ記憶部 108 から送られてくるシリアルデータ DL_1 の論理値「1」か「0」に応答して、描画用光学素子 AOM_1 のオン/オフ状態を高速に切り換える。これによって、図10に示すように、パターン PP に対応した画素がスポット光 SP によって描画される。

【0090】

以上のように、各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）の各々による標準的な描画動作では、クロック信号 LTC の2クロックパルス分（2つのスポット光 SP 分）が1画素に相当するように設定されている。したがって、走査ユニット U_n の描画ライン SL_n で描画されるパターン PP の Y 方向の幅を伸縮（拡大/縮小）させたい場合、簡単には、クロック信号 LTC の周波数（周期）を基準値から増減させればよい。クロック信号 LTC の周波数は、図6に示したように描画コントロール部 100 からの全体倍率補正情報 Tmg に応じて設定される。しかしながら、倍率補正量が ppm オーダーになると、クロック信号 LTC の周波数の増減量も極端に小さくなってしまい、良好な精度が得られない。そこで、本実施の形態では、図8のように、描画コントロール部 100 からの局所倍率補正情報 Cmg を入力する局所倍率補正部としての信号発生部（倍率補正部） $22a$ を設けた。

【0091】

信号発生部 $22a$ は、クロック信号発生部 200 と、補正点指定部 202 と、クロック切換部 204 とを有する。このクロック信号発生部 200 、補正点指定部 202 、および、クロック切換部 204 等は、 $FPGA$ （Field Programmable Gate Array）により集約して構成することができる。スポット光 SP のサイズ S の $1/2$ ずつスポット光 SP がオーバーラップするように光源装置 LS からのビーム LB （および $LB_1 \sim LB_6$ ）をパルス発光させるために、クロック信号発生部 200 は、 S/V_s で定まる周期よりも短い基準周期 T_e を有するとともに、基準周期 T_e の $1/N$ の補正時間ずつ位相差を与えた複

10

20

30

40

50

数 (N 個) のクロック信号 CK_p ($p = 0, 1, 2, \dots, N - 1$) を生成する。は、スポット光 SP の実効的なサイズであり、 V_s は、基板 P に対するスポット光 SP の主走査方向の相対的な速度である。なお、基準周期 T_e が、 L / V_s で定まる周期よりも長い場合は、主走査方向に沿って照射されるスポット光 SP が所定の間隔をあけて離散的に基板 P の被照射面上に照射されてしまう。逆に、基準周期 T_e が、 L / V_s で定まる周期よりも短い場合は、スポット光 SP が主走査方向に関して互いに重なり合うように基板 P の被照射面上に照射される。本実施の形態では、原則として、スポット光 SP がサイズの $1/2$ ずつオーバーラップするように、クロック信号 LTC の基準の発振周波数 F_a を 100 MHz とする。また、 30 mm の描画ライン SL_n に沿ったスポット光 SP の 1 走査の走査時間 T_{sp} を、約 $200\text{ }\mu\text{sec}$ とすると、スポット光 SP の走査速度 V_s は、 150 m/sec ($= 30\text{ [mm]} / 200\text{ [\mu sec]}$) となる。したがって、クロック信号 LTC の基準周期 T_e は、 $1/F_e = 1/100\text{ [MHz]} = 10\text{ nsec}$ となり、 $L/V_s = 3\text{ [\mu m]} / 150\text{ [m/sec]} = 20\text{ nsec}$ で決まる時間より小さい値、ここでは略 $1/2$ の値となる。また、 $N = 50$ とするので、クロック信号発生部 200 は、 0.2 nsec ($= 10\text{ [nsec]} / 50$) の位相差が与えられた 50 個のクロック信号 $CK_0 \sim CK_{49}$ を生成する。なお、本実施の形態では、クロック信号 LTC の 2 つのクロックパルス分 ($1/2$ だけオーバーラップする 2 つのスポット光 SP) が、 1 画素の Y 方向の寸法 P_y に相当するように設定され、描画ライン SL_n (走査範囲) の長さを 30 mm 、画素寸法 P_{xy} をスポット光 SP のサイズ と同じ $3\text{ }\mu\text{m}$ としたので、クロック信号 LTC の発振周波数 F_a は、スポット光 SP の走査速度 V_s を走査範囲の長さで除して決まる周波数の 2 倍に設定されていることになる。

【0092】

具体的には、クロック信号発生部 200 は、クロック発生部 (発振器) 60 と、複数 ($N - 1$ 個) の遅延回路 De ($De_{01} \sim De_{49}$) とを有する。クロック発生部 60 は、全体倍率補正情報 Tmg に応じた発振周波数 F_e ($= 1/T_e$) で発振するクロックパルスによるクロック信号 CK_0 を発生する。本実施の形態では、全体倍率補正情報 Tmg を 0 とした場合、クロック発生部 60 は、 100 MHz の発振周波数 F_e (基準周期 $T_e = 10\text{ nsec}$) でクロック信号 CK_0 を発生する。

【0093】

クロック発生部 60 からのクロック信号 (出力信号) CK_0 は、直列に接続された複数の遅延回路 De ($De_{01} \sim De_{49}$) の初段 (先頭) の遅延回路 De_{01} に入力されるとともに、クロック切換部 204 の 1 番目の入力端子に入力される。この遅延回路 De ($De_{01} \sim De_{49}$) は、入力信号であるクロック信号 CK_p を一定時間 ($T_e/N = 0.2\text{ nsec}$) だけ遅延させて出力する。したがって、初段の遅延回路 De_{01} は、クロック発生部 60 が発生したクロック信号 CK_0 と同一の基準周期 T_e (10 nsec) であり、且つ、クロック信号 CK_0 に対して 0.2 nsec の遅れを持ったクロック信号 (出力信号) CK_1 を出力する。同様に、 2 段目の遅延回路 De_{02} は、前段の遅延回路 De_{01} からのクロック信号 (出力信号) CK_1 と同一の基準周期 T_e (10 nsec) であり、且つ、クロック信号 CK_1 に対して 0.2 nsec の遅れを持ったクロック信号 (出力信号) CK_2 を出力する。 3 段目以降の遅延回路 $De_{03} \sim De_{49}$ も同様に、前段の遅延回路 $De_{02} \sim De_{48}$ からのクロック信号 (出力信号) $CK_2 \sim CK_{48}$ と同一の基準周期 T_e (10 nsec) であり、且つ、クロック信号 $CK_2 \sim CK_{48}$ に対して 0.2 nsec の遅れを持ったクロック信号 (出力信号) $CK_3 \sim CK_{49}$ を並列に出力する。

【0094】

クロック信号 $CK_0 \sim CK_{49}$ は、 0.2 nsec ずつ位相差が与えられた信号であることから、クロック信号 CK_0 は、クロック信号 CK_{49} と同一の基準周期 T_e (10 nsec) であり、且つ、クロック信号 CK_{49} に対してさらに 0.2 nsec の遅れを持ったクロック信号と、丁度 1 周期だけずれた信号となる。したがって、クロック信号 CK_0 は、実質的にクロック信号 CK_{49} の各クロックパルスに対して 0.2 nsec の遅れたクロッ

ク信号と見做することができる。遅延回路 $De01 \sim De49$ からのクロック信号 $CK_1 \sim CK_{49}$ は、クロック切換部 204 の 2 番目 \sim 50 番目の入力端子に入力される。

【0095】

各遅延回路 De ($De01 \sim De49$) は、例えば、一方の入力端子に入力信号 (クロック信号 CK_p) が入力され、他方の入力端子に論理値「1」の信号 (Hレベル) が印加される AND ゲート回路 (論理回路)、或いは、一方の入力端子に入力信号 (クロック信号 CK_p) が入力され、他方の入力端子に論理値「0」の信号 (Lレベル) が印加される OR ゲート回路によって構成される。この AND ゲート回路、または OR ゲート回路によって、入力信号 (クロック信号 CK_p) に対して 0.2 nsec だけ遅れを持った出力信号 (クロック信号 CK_{p+1}) が出力される。このように、各遅延回路 De ($De01 \sim De49$) は、複数のトランジスタで組まれるゲート回路 (論理回路) によって所望の遅延時間を得るようにしてもよいし、1 \sim 2 個のトランジスタを接続した簡単なものであってもよい。

【0096】

クロック切換部 204 は、入力された 50 個のクロック信号 CK_p ($CK_0 \sim CK_{49}$) のうち、いずれか 1 つのクロック信号 CK_p を選択し、選択したクロック信号 CK_p をクロック信号 (基準クロック信号) LTC として出力するマルチプレクサ (選択回路) である。したがって、クロック信号 LTC の発振周波数 $Fa (= 1/Ta)$ は、原則としてクロック信号 $CK_0 \sim CK_{49}$ の発振周波数 $Fe (= 1/Te)$ 、つまり、 100 MHz と同じになる。光源装置 LS の制御回路 22 は、クロック切換部 204 から出力されるクロック信号 LTC の各クロックパルスに应答して種光 $S1$ 、 $S2$ が発光するように、 DFB 半導体レーザ素子 30、32 を制御する。したがって、光源装置 LS から射出されるパルス状のビーム LB ($LB1 \sim LB6$) の発振周波数 Fa は、原則として 100 MHz となる。

【0097】

クロック切換部 204 は、スポット光 SP が描画ライン SLn 上に位置する特定の補正点 CPP を通過するタイミングで、クロック信号 LTC として出力するクロック信号 CK_p 、つまり、ビーム LB の発生に起因するクロック信号 CK_p を、位相差の異なる他のクロック信号 CK_p に切り換える。クロック切換部 204 は、スポット光 SP が補正点 CPP を通過するタイミングで、クロック信号 LTC として選択するクロック信号 CK_p を、クロック信号 LTC として、現在選択しているクロック信号 CK_p に対して 0.2 nsec だけ位相差を有するクロック信号 $CK_{p \pm 1}$ に切り換える。この切り換えるクロック信号 $CK_{p \pm 1}$ の位相差の方向、すなわち位相が 0.2 nsec だけ遅れる方向か位相が 0.2 nsec だけ進む方向かは、局所倍率補正情報 (補正情報) CMg の一部である 1 ビットの伸縮情報 (極性情報) POL に応じて決定される。描画コントロール部 100 は、例えば、アライメント部 104 で計測された複数のアライメントマーク $MK1 \sim MK4$ の配列状態に基づいて、基板 P (露光領域 W) の主走査方向 (Y 方向) の伸縮量を推定演算し、補正すべき描画倍率に対応するような局所倍率補正情報 (補正情報) CMg (極性情報 POL を含む) を信号発生部 22a に送出する。

【0098】

伸縮情報 POL がハイ「1」(伸長)の場合は、クロック切換部 204 は、現在クロック信号 LTC として出力しているクロック信号 CK_p に対して 0.2 nsec だけ位相が遅れたクロック信号 CK_{p+1} をクロック信号 LTC として選択して出力する。また、伸縮情報 POL がロー「0」(縮小)の場合は、クロック切換部 204 は、現在クロック信号 LTC として出力しているクロック信号 CK_p に対して 0.2 nsec だけ位相が進んでいるクロック信号 CK_{p-1} をクロック信号 LTC として選択して出力する。例えば、クロック切換部 204 が現在クロック信号 LTC としてクロック信号 CK_{11} を選択している状態で、伸縮情報 POL がハイ (H) の場合は、クロック信号 LTC として出力するクロック信号 CK_p をクロック信号 CK_{12} に切り換え、伸縮情報 POL がロー (L) の場合は、クロック信号 LTC として出力するクロック信号 CK_p をクロック信号 CK_{10} に切り換える。なお、スポット光 SP の 1 回の走査期間中は、同一の伸縮情報 POL が入力され続け

ているものとする。

【0099】

補正点指定部202は、各描画ライン SL_n ($SL_1 \sim SL_6$) 上の特定の点(画素位置)を補正点 CP_P として指定する。補正点指定部202は、局所倍率補正情報(補正情報) CM_g の一部である補正点 CP_P を指定するための補正位置情報(設定値) N_v に基づいて補正点 CP_P を指定する。この局所倍率補正情報 CM_g の補正位置情報 N_v は、描画ライン SL_n に沿って描画されるパターンの描画倍率(または描画ライン SL_n の主走査方向における倍率)に応じて、描画ライン SL_n 上の離散的な複数の位置の各々に補正点 CP_P を指定するための情報であり、補正点 CP_P と補正点 CP_P との距離間隔(等間隔)を示す情報である。これにより、補正点指定部202は、描画ライン SL_n ($SL_1 \sim SL_6$) 上に等間隔に離散的に配置される位置を補正点 CP_P として指定することができる。この補正点 CP_P は、厳密に言うと、描画ライン SL_n に沿って投射される隣り合う2つのスポット光 SP の投射位置(サイズ)の $1/2$ で重なり合う2つのスポット光 SP の各中心位置)の間に設定される。

10

【0100】

この補正点指定部202について具体的に説明すると、補正点指定部202は、分周カウンタ回路212とシフトパルス出力部214とを有する。分周カウンタ回路212は、減算カウンタであり、クロック切換部204から出力されるクロック信号 LTC のクロックパルスが入力される。クロック切換部204から出力されたクロック信号 LTC のクロックパルスは、ゲート回路 G_{Ta} を介して分周カウンタ回路212に入力される。ゲート回路 G_{Ta} は、図7で説明した描画スイッチ信号 SH_T と同期した描画許可信号 SQ_Y がハイ(H)の期間に開くゲートである。つまり、分周カウンタ回路212は、描画許可信号 SQ_Y (SH_T) がハイの期間中だけ、クロック信号 LTC のクロックパルスの数をカウントする。

20

【0101】

分周カウンタ回路212には、初期値として補正位置情報(設定値) N_v に対応したデジタル値がプリセットされ、クロック信号 LTC のクロックパルスが入力される度にカウント値をデクリメントする。分周カウンタ回路212は、カウント値が0になると1パルスの一致信号 I_{dc} をシフトパルス出力部214に出力する。すなわち、分周カウンタ回路212は、クロック信号 LTC のクロックパルスを補正位置情報 N_v 分だけカウントすると一致信号 I_{dc} を出力する。この一致信号 I_{dc} は、クロック信号 LTC の次のクロックパルスが発生する直前が補正点 CP_P に対応することを示す情報である。また、分周カウンタ回路212は、カウント値が0になった後、クロック信号 LTC の次のクロックパルスが入力されると、カウント値を補正位置情報 N_v にプリセットする。これにより、描画ライン SL_n に沿って等間隔に補正点 CP_P を複数指定することができる。

30

【0102】

シフトパルス出力部214は、一致信号 I_{dc} が入力されるとシフトパルス CS をクロック切換部204に出力する。このシフトパルス CS が発生すると、クロック切換部204は、クロック信号 LTC として出力するクロック信号 CK_p を切り換える。このシフトパルス CS は、補正点 CP_P を示す情報であり、分周カウンタ回路212のカウント値が0になった後、クロック信号 LTC の次のクロックパルスが入力される前に発生する。したがって、分周カウンタ回路212のカウント値を0にしたクロックパルスに応じて発生したビーム LB_n のスポット光 SP の基板 P 上における位置と、クロック信号 LTC の次のクロックパルスに応じて発生したビーム LB_n のスポット光 SP の基板 P 上における位置との間に補正点 CP_P が存在する。

40

【0103】

上述したように、本実施の形態では、1描画ライン SL_n 当り20000個のスポット光 SP (10000画素分)を投射し、描画ライン SL_n 上に補正点 CP_P を等間隔に離散的に10個配置する場合は、スポット光 SP (クロック信号 LTC のクロックパルス)の2000個ごとに補正点 CP_P が設定されることになる。したがって、補正位置情報 N

50

vの値は2000にセットされる。

【0104】

図9は、図8に示す信号発生部22aの各部の信号の状態を示すタイムチャートである。クロック信号発生部200が発生する50個のクロック信号 $CK_0 \sim CK_{49}$ は、いずれもクロック発生部60が出力するクロック信号 CK_0 と同じ基準周期 T_e ではあるが、その位相が 0.2 nsec ずつ遅れたものとなっている。したがって、例えば、クロック信号 CK_3 は、クロック信号 CK_0 に対して 0.6 nsec 位相が遅れたものとなり、クロック信号 CK_{49} は、クロック信号 CK_0 に対して 9.8 nsec 位相が遅れたものとなっている。

【0105】

分周カウンタ回路212が、クロック切換部204から出力されるクロック信号 LT_C のクロックパルスを補正位置情報(設定値) N_v 分だけカウントすると一致信号 Idc が出力され、これに応じて、シフトパルス出力部214がシフトパルス CS を出力する。シフトパルス出力部214は、通常は、ハイ(論理値が1)の信号を出力しているが、一致信号 Idc が出力されるとロー(論理値は0)に立ち下がり、クロック信号 CK_p の基準周期 T_e の半分(半周期)の時間が経過するとハイ(論理値は1)に立ち上がるシフトパルス CS を出力する。これにより、このシフトパルス CS は、分周カウンタ回路212がクロック信号 LT_C のクロックパルスを補正位置情報(設定値) N_v 分だけカウントしてから、次のクロックパルスが入力される前に立ち上がる。

【0106】

クロック切換部204は、シフトパルス CS の立ち上がりに対応して、クロック信号 LT_C として出力するクロック信号 CK_p を、シフトパルス CS が発生する直前まで出力していたクロック信号 CK_p から、伸縮情報 POL に応じた方向に 0.2 nsec 位相がずれたクロック信号 $CK_{p \pm 1}$ に切り換える。図9の例では、シフトパルス CS が発生する直前までクロック信号 LT_C として出力していたクロック信号 CK_p を CK_0 、伸縮情報 POL を「0」(縮小)としているので、シフトパルス CS の立ち上がりに対応して、クロック信号 CK_{49} に切り換わっている。このように、伸縮情報 POL が「0」の場合は、スポット光 SP が補正点 CPP を通過する度(シフトパルス CS が発生する度)に、クロック切換部204は、位相が 0.2 nsec ずつ進むようにクロック信号 LT_C として出力するクロック信号 CK_p を切り換える。したがって、クロック信号 LT_C として出力(選択)されるクロック信号 CK_p は、 CK_0 CK_{49} CK_{48} CK_{47} \dots 、の順番で切り換わる。このシフトパルス CS が発生する補正点 CPP の位置では、クロック信号 LT_C の周期が基準周期 T_e ($=10 \text{ nsec}$)に対して、 0.2 nsec 短い時間(9.8 nsec)となり、それ以降は、スポット光 SP が次の補正点 CPP を通過するまで(次のシフトパルス CS が発生するまで)、クロック信号 LT_C の周期は基準周期 T_e ($=10 \text{ nsec}$)となる。

【0107】

逆に、伸縮情報 POL が「1」の場合は、スポット光 SP が補正点 CPP を通過する度(シフトパルス CS が発生する度)に、クロック切換部204は、位相が 0.2 nsec ずつ遅れるようにクロック信号 LT_C として出力(選択)するクロック信号 CK_p を、 CK_0 CK_1 CK_2 CK_3 \dots 、の順番で切り換える。したがって、シフトパルス CS が発生する補正点 CPP の位置では、クロック信号 LT_C の周期が基準周期 T_e ($=10 \text{ nsec}$)に対して、 0.2 nsec 長い時間(10.2 nsec)となり、それ以降は、スポット光 SP が次の補正点 CPP を通過するまで(次のシフトパルス CS が発生するまで)、クロック信号 LT_C の周期は基準周期 T_e ($=10 \text{ nsec}$)となる。

【0108】

本実施の形態では、実効的なサイズが $3 \mu\text{m}$ のスポット光 SP が $1.5 \mu\text{m}$ ずつ重なるように主走査方向に沿って投射されるので、補正点 CPP におけるクロック信号 LT_C の周期の補正時間($\pm 0.2 \text{ nsec}$)は、 $0.03 \mu\text{m}$ ($=1.5 [\mu\text{m}] \times (\pm 0.2 [\text{nsec}] / 10 [\text{nsec}])$)に相当し、1画素当たり $\pm 0.03 \mu\text{m}$ 伸縮するこ

10

20

30

40

50

とになる。このように、光源装置LSから発生するビームLBのパルス間隔を微調整することによって、本実施の形態では、よりきめ細やかな倍率補正が可能となる。

【0109】

図11Aは、局所倍率補正が行われていない場合に描画されるパターンPPを説明する図であり、図11Bは、図9に示すタイムチャートにしたがって局所倍率補正（縮小）が行われた場合に描画されるパターンPPを説明する図である。なお、強度が高レベルのスポット光SPを実線で表し、強度が低レベルまたはゼロのスポット光SPを破線で表している。

【0110】

図11A、図11Bに示すように、クロック信号LTCの各クロックパルスに応答して発生したスポット光SPによってパターンPPが描画されるが、図11Aと図11Bとで、クロック信号LTCとパターンPPとを区別するため、便宜上、図11A（局所倍率補正が行われていない場合）のクロック信号LTC、パターンPPを、LTC1、PP1で表し、図11B（局所倍率補正が行われた場合）のクロック信号LTC、パターンPPを、LTC2、PP2で表している。

【0111】

局所倍率補正が行われていない場合は、図11Aに示すように、描画される各画素の寸法 $P \times y$ は、主走査方向において一定の長さ（ P_y ）となる。なお、画素の副走査方向（X方向）の長さを P_x で表し、主走査方向（Y方向）の長さを P_y で表している。図9に示すようなタイムチャートにしたがって局所倍率補正（縮小）が行われると、補正点CPPを含む画素での寸法 $P \times y$ は、画素の長さ P_y が $P_y (= 0.03 \mu m)$ だけ縮んだ状態となる。逆に、伸長の局所倍率補正が行われると、補正点CPPを含む画素の寸法 $P \times y$ は、画素の長さ P_y が $P_y (= 0.03 \mu m)$ だけ伸びた状態となる。

【0112】

以上のように、本実施の形態では、パルス光源部35からの種光S1、S2に応じて生成されるビームLB（Lse、LBn）によって作られるスポット光SPをパターンデータに応じて強度変調しつつ、基板P上の描画ラインSLnに沿ってスポット光SPを相対的に走査することにより、基板P上にパターンを描画するパターン描画装置が得られる。また、パターン描画装置は、クロック信号発生部200、制御回路（光源制御部）22、および、クロック切換部204を少なくとも備える。クロック信号発生部200は、 V_s で決まる周期よりも短い基準周期 T_e （例えば、 $V_s/2$ に相当する 10 nsec ）を有するとともに、基準周期 T_e の $1/N$ の補正時間（例えば、 0.2 nsec ）ずつ位相差を与えた複数（ $N = 50$ 個）のクロック信号 CK_p （ $CK_0 \sim CK_{49}$ ）を生成する。制御回路（光源制御部）22は、複数のクロック信号 CK_p のうちいずれか1つのクロック信号 CK_p （クロック信号LTC）の各クロックパルスに응答してビームLBが発生するように、光源装置LSのパルス光源部35を制御する。クロック切換部204は、スポット光SPが描画ラインSLn上に指定される特定の補正点CPPを通過するタイミングで、ビームLBの発生に起因するクロック信号 CK_p 、つまり、クロック信号LTCとして出力されるクロック信号 CK_p を、位相差の異なる他のクロック信号 CK_p に切り換える。したがって、描画ラインSLnによって描画されるパターンの主走査方向の描画倍率をきめ細やかに補正することができ、ミクロンオーダーでの精密な重ね合わせ露光を行うことができる。

【0113】

以上のように、図8の信号発生部22a（局所倍率補正部）では、描画ラインSLn上に設定すべき補正点CPPの数を自由に設定できるので、比較的に大きな倍率補正量である場合は、描画ラインSLn中に設定する補正点CPPを100個程度にすることもできる。この場合、描画ラインSLnに沿った1回のスポット光SPの走査で、20000回のパルス発光が行われるとすると、補正位置情報（設定値） N_v として設定される値は200になる。しかしながら、倍率補正量が小さい場合は、描画ラインSLn中に設定する補正点CPPの数が少なくなるため、別の問題が生じ得る。

10

20

30

40

50

【0114】

図12は、補正点C P Pが少なくなった場合の描画状態を説明する図であり、基板P上の露光領域Wの主走査方向(Y方向)の幅(露光幅、または描画幅とも呼ぶ)が、6つの描画ラインS L 1 ~ S L 6で描画可能な最大の幅と一致している状態を示す。補正点C P Pを、露光領域Wの露光長(Y方向)に渡って12ヶ所(C P P 1 ~ C P P 12)に設定する場合、各描画ラインS L n内での補正点C P Pに対応する主走査方向の位置を、描画ラインS L nごとに覚えておかないと、図12のように、12ヶ所の補正点C P P 1 ~ C P P 12を露光幅(Y方向)に渡って略均一な間隔で配置することができない。これは、走査ユニットU 1 ~ U 6の各々に供給されるビームL B 1 ~ L B 6が、大元の光源装置L SからのビームL Bを振幅分割していること、奇数番の走査ユニットU 1、U 3、U 5と偶数番の走査ユニットU 2、U 4、U 6とで、描画ラインS L n上でのスポット光S Pの走査方向が逆になっていること、さらには、6つの走査ユニットU 1 ~ U 6の各々で、ポリゴンミラーP Mの回転速度さえ同期していれば、描画ラインS L nのスポット光S Pによる走査開始タイミングはばらばら(ランダム)でもよかったこと、等の理由によって生じる。

10

【0115】

したがって、図12のように、少ない補正点C P P 1 ~ C P P 12を露光幅に渡って略同じ間隔で設定するためには、図12中の各描画ラインS L 1 ~ S L 6上で、黒丸で示した位置で、図8、図9で示したシフトパルスC Sが発生する状態にする必要がある。そこで、まず、6つの走査ユニットU 1 ~ U 6の各々のポリゴンミラーP Mの回転速度を同期させつつ、図6に示したポリゴンミラー駆動部102によって、原点信号S Z 1 ~ S Z 6(パルス信号)の各々が、例えば、±数n秒程度の誤差範囲で揃って発生するように、ポリゴンミラーP Mの回転角度の位相を同期させるように各回転駆動源(モータ等)R Mをサーボ制御したとする。

20

【0116】

図13Aは、図12中の各描画ラインS L 1 ~ S L 6上でシフトパルスC Sが発生すべき位置(黒丸)を保って、走査ユニットU 1 ~ U 6の各々のポリゴンミラーP Mの回転速度と回転角度位相とを同期させて、各描画ラインS L 1 ~ S L 6の描画開始点S wを時間軸上で一致させた場合を示す。図13Aでは、上から奇数番の描画ラインS L 1、S L 3、S L 5、偶数番の描画ラインS L 2、S L 4、S L 6の順に並べて示した。図13Aのように、各描画ラインS L 1 ~ S L 6の描画開始点を時間軸上で一致させた場合、黒丸で示したシフトパルスC Sの発生すべき位置は、時間軸上では全てずれてしまう。そこで、図13Bに示すように、シフトパルスC Sの発生タイミング(黒丸)が時間軸上で一致するように、各描画ラインS L 1 ~ S L 6の描画開始点S w 1 ~ S w 6の各々を互いに僅かに相対シフトさせる。

30

【0117】

すなわち、走査ユニットU 1 ~ U 6の各々の原点信号S Z 1 ~ S Z 6の発生タイミングが、図13B中の描画開始点S w 1 ~ S w 6のような時間関係になるように、ポリゴンミラーP Mの回転角度位相を調整すればよい。そのような指令は、描画コントロール部100からのポリゴンミラー駆動部102に与えられる。描画開始点S w 1 ~ S w 6の相互の時間関係は、各描画ラインS L 1 ~ S L 6の基板P上での配置、シフトパルスC Sが発生すべき各描画ラインS L 1 ~ S L 6上の位置、シフトパルスC Sの発生時間間隔(補正位置情報N vの値に対応)、スポット光S Pの走査速度V s等に基づいて、描画コントロール部100によって計算される。

40

【0118】

図13Bのように、シフトパルスC Sが発生すべきタイミング(黒丸)を時間軸上で一致させた描画ラインS L 1 ~ S L 6のうち、描画ラインS L 1が時間軸上で最も早い描画開始点S w 1を持つので、それを基準として、他の描画ラインS L 2 ~ S L 6の描画開始点S w 2 ~ S w 6の時間遅れを決定してもよい。しかしながら、各描画ラインS L 1 ~ S L 6中で、シフトパルスC Sが発生すべき位置(黒丸)は決められているので、シフトパ

50

ルスCSの発生時間間隔(補正位置情報Nvに対応)を基準とする。最初に発生したシフトパルスCSをCS0とし、引き続き一定の時間間隔で発生するシフトパルスCSをCS1、CS2、・・・、としたとき、最初のシフトパルスCS0の発生時点を基準に、そこから各描画ラインSL1~SL6の描画開始点Sw1~Sw6までの時間遅れを規定することで、図12に示したように、少ない補正点CPP1~CPP12を露光領域Wの露光長に渡って、略均等に分散させることができる。例えば、基準とした描画ラインSL1については、最初のシフトパルスCS0の発生時点から、遅延時間Ts1後に、描画開始点Sw1がくるように制御される。

【0119】

実際は、図13Bのような最初のシフトパルスCS0を発生させなくても、それと等価なことが可能である。具体的には、図14に示すように、描画ラインSLnに沿った1回の走査開始(描画開始)時点と次の走査開始時点との時間差Tp_xを利用する。図14において、左側に示した描画ラインSL1~SL6は、ポリゴンミラーPMの1つの反射面RPaによってスポット走査され、右側に示した描画ラインSL1~SL6は、ポリゴンミラーPMの次の反射面RPbによってスポット走査される。先に説明したように、1回の走査開始(描画開始)時点と次の走査開始時点との時間差Tp_xは、各走査ユニットUnのポリゴンミラーPMの回転速度を一致させているので、一定である。そこで、描画コントロール部100は、各描画ラインSL1~SL6の描画開始点Sw1~Sw6の相互の時間関係を、図13Bのように同期させた上で、例えば、反射面RPaによる1回目の走査時に走査ユニットU1から発生する原点信号SZ1の発生時から、一定時間Tp_x'だけ遅延した時間に、描画スイッチ信号SH_T(図8中の描画許可信号SQ_Y)をHレベルにする。一定時間Tp_x'は、図13Bに示した遅延時間Ts1を時間差Tp_xから差し引いた時間とすればよい。描画スイッチ信号SH_T(描画許可信号SQ_Y)をLレベルからHレベルにした時点から、分周カウンタ回路212によるクロック信号LTCのクロック数を補正位置情報Nvの値までカウントすることを繰り返すので、図13Bに示したような状態でシフトパルスCS1、CS2が発生する。なお、描画スイッチ信号SH_T(描画許可信号SQ_Y)をLレベルにするタイミングは、ポリゴンミラーPMの各反射面RP毎に、時間軸上で最も遅く走査が完了する描画ラインSLnでの描画が終わった後に設定され、図13B、図14では描画ラインSL2に該当する。

【0120】

ところで、上記の第1の実施の形態において、描画倍率の補正はクロック信号LTCの周期(1/Fa)を、シフトパルスCSが発生するタイミングで、2つのクロックパルスの間の1カ所を約±2%(1/50)だけ増減させるようにした。ここで、クロック信号LTCの周期の基準値(例えば、10ns)からの増減分で生じる基板P上での描画位置の変化量をScp、走査ユニットUnの数をNm、そして基板Pにファースト露光で形成された下地パターンの上に、セカンド露光として新たなパターンを重ねて露光する際の重ね合わせ精度の絶対値をAo(μm)、経験則に基づいて設定される係数をKとすると、以下の関係(数式(1))に設定するのが好ましい。

$$Scp = (Ao / Nm / K) \cdots (1)$$

【0121】

例えば、走査ユニットUnの数Nmが6、重ね合わせ精度Aoが1μm、係数Kが5の場合、変化量Scpは、約0.033μm以下が好ましい。先の図11Bで説明した数値例では、100MHzのクロック信号LTCの周期を2%だけ増減させることは、描画される1つの画素のY方向の寸法Pyが0.03μmだけ伸縮することに相当する。したがって、図11Bで説明した数値例(Nm=6)の場合は、上記の関係式を満たしているため、重ね合わせ精度として±1μm程度を確保することができる。なお、係数Kは、露光領域W内に描画されるパターンの最小線幅、露光領域Wの幅方向の長さ、使用する走査ユニットUnの数Nm等によって変更され得るが、概ね、3~7程度である。

【0122】

〔変形例〕

以上の実施の形態では、複数の走査ユニット U_n ($U_1 \sim U_6$)の各々を全く同じ構成としたため、描画ライン SL_n は奇数番と偶数番とでスポット光 SP の走査方向が逆になっていた。しかしながら、奇数番の走査ユニット U_1 、 U_3 、 U_5 のポリゴンミラー PM と、偶数番の走査ユニット U_2 、 U_4 、 U_6 のポリゴンミラー PM とで、回転方向を逆向き（時計回りと反時計回り）に設定すると、先の図12で示した露光領域 W の露光幅（描画幅）内に設定される補正点 CPP と描画ライン SL_n 中でシフトパルス CS が発生すべき時点（黒丸）との関係は、図15のようになる。図15では、各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ の各々に沿ってスポット光 SP がすべて $-Y$ 方向に1次元走査されるように設定される。このような場合であっても、先の図13Aと同様に、各走査ユニット U_n の描画開始時点 Sw （原点信号 SZ_n の発生時点）を時間軸上で一致させてみると、図16Aのように、黒丸で示したシフトパルス CS の発生すべき位置は、時間軸上では全てずれてしまう。なお、図16Aでは、上から描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ の順に並べて示した。

【0123】

そこで、図16Bに示すように、シフトパルス CS の発生タイミング（黒丸）が時間軸上で一致するように、各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ の描画開始点 $Sw_1 \sim Sw_6$ の各々を互いに僅かに相対シフトさせる。したがって、先の実施の形態と同様に、走査ユニット $U_1 \sim U_6$ の各々の原点信号 $SZ_1 \sim SZ_6$ の発生タイミングが、図16A中の描画開始点 $Sw_1 \sim Sw_6$ のような時間関係になるように、ポリゴンミラー PM の回転角度位相を調整する。描画開始点 $Sw_1 \sim Sw_6$ の相互の時間関係は、各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ の基板 P 上での配置、シフトパルス CS が発生すべき各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ 上の位置、シフトパルス CS の発生時間間隔（補正位置情報 Nv の値に対応）、スポット光 SP の走査速度 Vs 等に基づいて、描画コントロール部100によって計算される。

【0124】

先の図14による説明と同様に、描画コントロール部100は、各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ の描画開始点 $Sw_1 \sim Sw_6$ の相互の時間関係を、図16Bのように同期させた上で、例えば、ポリゴンミラー PM の反射面 RPa による1回目の走査時に走査ユニット U_1 から発生する原点信号 SZ_1 の発生時から、一定時間 Tpx' だけ遅延した時間に、描画スイッチ信号 SH_T （図8中の描画許可信号 SQ_Y ）を H レベルにする。一定時間 Tpx' は、図16Bに示した遅延時間 Ts_1 を時間差 Tpx から差し引いた時間とする。描画スイッチ信号 SH_T （描画許可信号 SQ_Y ）を L レベルから H レベルにした時点から、分周カウンタ回路212によるクロック信号 LTC のクロック数を補正位置情報 Nv の値までカウントすることを繰り返すので、図16Bに示したような状態でシフトパルス CS_1 、 CS_2 が発生する。なお、描画スイッチ信号 SH_T （描画許可信号 SQ_Y ）を L レベルにするタイミングは、ポリゴンミラー PM の各反射面 RP 毎に、時間軸上で最も遅く走査が完了する描画ラインでの描画が終わった後に設定され、図16Bでは描画ライン SL_6 に該当する。

【0125】

以上の第1の実施の形態と変形例によれば、露光領域 W 内へのパターン描画の際に、補正点 CPP の数が少なくなるような主走査方向の描画倍率の補正量が小さい場合（例えば数十ppm以下の場合）であっても、高精度な倍率補正制御が可能になる。さらに、各走査ユニット U_n 毎に補正点 CPP となる時間軸上のタイミングを揃える制御は、走査ユニット U_n の各々のポリゴンミラー PM 同士の回転角度位相を調整して、原点信号 SZ_n の各々の発生タイミングをスポット光 SP の基板 P 上での1回の走査時間未満の僅かな時間だけずらすだけなので、描画されるパターンの品質を劣化させることはない。

【0126】

[第2の実施の形態]

図17は、第2の実施の形態によるパターン描画装置（露光装置）の概略構成を示す図である。図17において、先の第1の実施の形態や変形例で説明した部材、機構と同じものには同じ符号を付し、その詳細な説明は省略する。図17のパターン描画装置は、光源装置 LS からのパルス状のビーム LB の光路に直列に配置される選択用光学素子 $AOMa$

10

20

30

40

50

、AOMbと、ビームスプリッタBSg、BSH等を含むビーム分配部（ビーム分配系）BDU'を備える。図17では、2つの選択用光学素子AOMa、AOMbと2つのビームスプリッタBSg、BSHのみを示すが、3組以上にしてもよい。選択用光学素子AOMa、AOMbは、描画用光学素子AOM1～AOM6と同様に、オフ状態では入射ビームをそのまま透過し、オン状態では入射ビームを回折させた1次回折ビームを射出する音響光学変調素子である。

【0127】

選択用光学素子AOMaがオン状態になると、選択用光学素子AOMaは光源装置LSからのビームLBを回折した1次回折ビームをビームLBaとして射出する。ビームLBaは、適当なミラーによって反射されてビームスプリッタBSgに入射し、そこで反射するビームLB1と透過するビームLB3とに振幅分割される。ビームLB1は、先の図5の構成と同様の描画用光学素子AOM1と落射用の反射ミラーFM1とを介して走査ユニットU1に供給される。ビームスプリッタBSgを透過したビームLB3も同様に、描画用光学素子AOM3と落射用の反射ミラーFM3とを介して走査ユニットU3に供給される。選択用光学素子AOMaがオン状態の場合、選択用光学素子AOMaを透過するビームLBの0次ビームの光量は極めて小さくなる。

10

【0128】

選択用光学素子AOMaがオフ状態で選択用光学素子AOMbがオン状態にスイッチされると、選択用光学素子AOMaをそのまま透過したビームLBは選択用光学素子AOMbに入射し、選択用光学素子AOMbはビームLBを回折した1次回折ビームをビームLBbとして射出する。ビームLBbは、適当なミラーによって反射されてビームスプリッタBSHに入射し、そこで反射するビームLB2と透過するビームLB4とに振幅分割される。ビームLB2は、先の図5の構成と同様の描画用光学素子AOM2と落射用の反射ミラーFM2とを介して走査ユニットU2に供給される。ビームスプリッタBSHを透過したビームLB4も同様に、描画用光学素子AOM4と落射用の反射ミラーFM4とを介して走査ユニットU4に供給される。

20

【0129】

本実施の形態では、選択用光学素子AOMa、AOMbによって、光源装置LSからのビームLBを時分割に選択して、奇数番の走査ユニットU1、U3と、偶数番の走査ユニットU2、U4とのいずれか一方の組に供給している。選択用光学素子AOMa、AOMbによるビームLBの時分割な選択によって、例えば、走査ユニットUnの各々のポリゴンミラーPMの回転速度を一致させて、回転角度の位相を所定の関係に維持するように制御した状態で、ポリゴンミラーPMの反射面RPの回転方向の1面置きに、奇数番側の描画ラインと偶数番側の描画ラインとで描画動作を交互に切り換えることができる。或いは、ポリゴンミラーPMの1つの反射面RPの回転角度範囲と実走査に寄与する回転角度との比率である走査効率が50%未満のときには、各ポリゴンミラーPMの回転速度を一致させて、回転角度の位相を所定の関係に維持するように制御した状態で、ポリゴンミラーPMの回転方向に連続した反射面ごとに、奇数番側の描画ラインと偶数番側の描画ラインとで描画動作を交互に切り換えることができる。

30

【0130】

本実施の形態のように、光源装置LSからのビームLBを、複数の走査ユニットUnのいずれかに時分割で選択して供給するようにすると、光源装置LSから複数の走査ユニットUnの各々に至るビーム光路中に配置されるビームスプリッタを減らすことができ、基板Pに投射されるスポット光SPの強度（光量）を高くすることができ、基板Pの副走査方向への移動速度を高速化でき、パターン描画処理のタクトを向上することが可能となる。

40

【0131】

〔変形例〕

第1の実施の形態と第2の実施の形態では、光源装置LSからのビームLBの発振周波数Faとスポット光SPの走査速度Vsとが、スポット光SPの基板P上でのサイズの

50

1 / 2 で主走査方向にオーバーラップするように設定し、画素単位がスポット光 S P の 2 つのスポットで描画されるように設定し、さらに、描画倍率の補正の際には、特定の画素に対応する補正点 C P P で、連続する 2 つのスポット光 S P の間隔がごく僅かに伸縮するように、クロック信号 L T C のクロックパルスの周期を伸縮させた。しかしながら、光源装置 L S からのビーム L B の発振周波数 F a を高め、画素単位を多数のスポット光 (パルス光) S P で描画するように制御し、描画倍率を補正するための補正点 C P P に位置する画素に対しては、スポット光 S P のパルス数を増減させるようにしてもよい。例えば、第 1 の実施の形態の光源装置 L S からのビーム L B を、100 MHz の 4 倍の 400 MHz で発振させ、描画倍率のための補正点以外に位置する画素 (通常画素) に対して、1 画素当たり 8 パルスのスポット光 S P で描画し、補正点に位置する画素 (補正画素) について、縮小の場合は 7 パルス、拡大の場合は 9 パルスのスポット光 S P で描画する。この場合、ビーム L B をパルス発振させるクロック信号 L T C は、周期を部分的に微調整することなく一定周期 (400 MHz の場合、周期は 2.5 ns) のままでよい。

【0132】

このように、1 画素当たりのスポット光 S P のパルス数を調整する描画倍率補正の場合、描画データ記憶部 108 に記憶された画像データ (画素データ列) のアクセスは、通常画素に関してはクロック信号 L T C のクロックパルスを 8 カウントしたらメモリアドレスをインクリメントし、補正画素に関してはクロック信号 L T C のクロックパルスを 7 カウントまたは 9 カウントしたらメモリアドレスをインクリメントするだけでよい。このように、1 画素当たりを標準で 8 パルスのスポット光 S P で描画し、設計上の画素寸法 P x y が 3 μm 角の場合、通常画素は 3 μm 角で描画され、補正画素は縮小時に約 2.63 μm (7/8 x 3 μm)、拡大時に約 3.38 μm (9/8 x 3 μm) で描画される。この変形例の場合は、クロック信号 L T C の 8 つのクロックパルス分が 1 画素の Y 方向の寸法 P y に相当するように設定されるが、描画ライン S L n (走査範囲) の長さを 30 mm、設計上の画素寸法 P x y をスポット光 S P のサイズと同じ 3 μm としたので、クロック信号 L T C の発振周波数 F a は、スポット光 S P の走査速度 V s を走査範囲の長さで除して決まる周波数の 8 倍に設定されていることになる。

【符号の説明】

【0133】

10 ... デバイス製造システム	12 ... 基板搬送機構	30
14 ... 露光ヘッド	16 ... 制御装置	
20 ... パルス光発生部	22 ... 制御回路	
22a ... 信号発生部	30、32 ... DFB 半導体レーザ素子	
36 ... 電気光学素子	42 ... 励起光源	
46 ... ファイバー光増幅器	48、50 ... 波長変換光学素子	
60 ... クロック発生部	100 ... 描画コントロール部	
102 ... ポリゴンミラー駆動部	104 ... アライメント部	
106 ... エンコーダカウンタ部	108 ... 描画データ記憶部	
110 ... AOM 駆動部	200 ... クロック信号発生部	
202 ... 補正点指定部	204 ... クロック切換部	40
212 ... 分周カウンタ回路	214 ... シフトパルス出力部	
Ax ... 中心軸	AOMa、AOMb ... 選択用光学素子	
AOMn (AOM1 ~ AOM6) ... 描画用光学素子		
BDU ... ビーム分配部	CPP、CPP1 ~ CPP12 ... 補正点	
CYa、CYb ... シリンドリカルレンズ	DR ... 回転ドラム	
EX ... 露光装置	FT ... f レンズ	
LB、LBn (LB1 ~ LB6)、Lse ... ビーム		
LS ... 光源装置	OPn (OP1 ~ OP6) ... 原点センサ	
PM ... ポリゴンミラー	SLn (SL1 ~ SL6) ... 描画ライン	
Un (U1 ~ U6) ... 走査ユニット		50

【図 1】

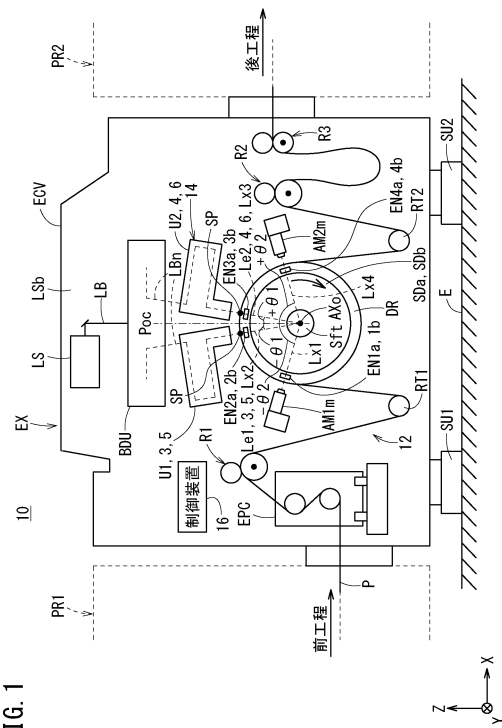
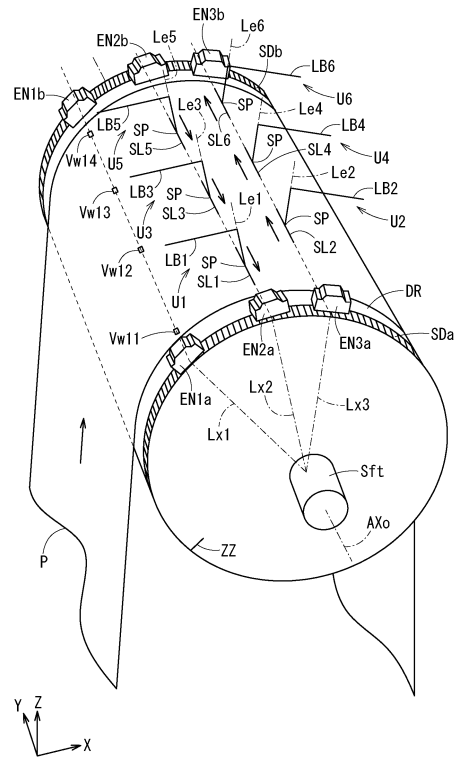


FIG. 1

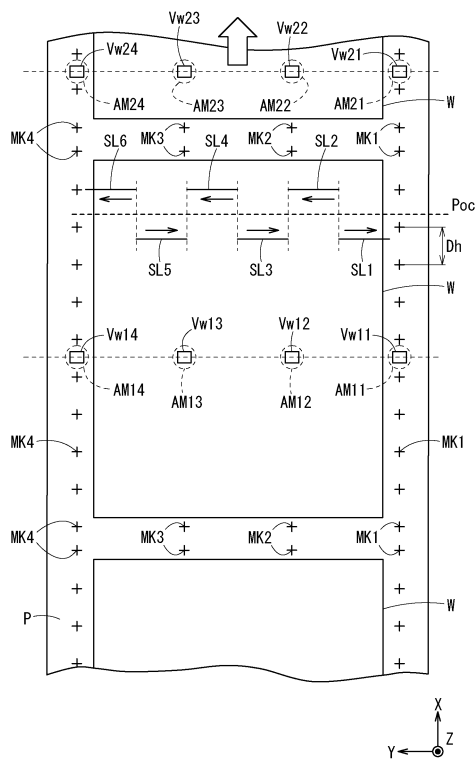
【図 2】

FIG. 2

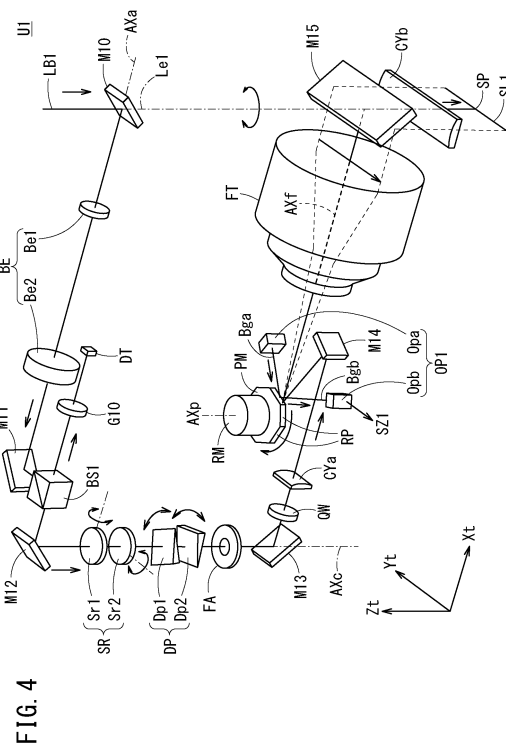


【図 3】

FIG. 3



【図 4】



【 図 5 】

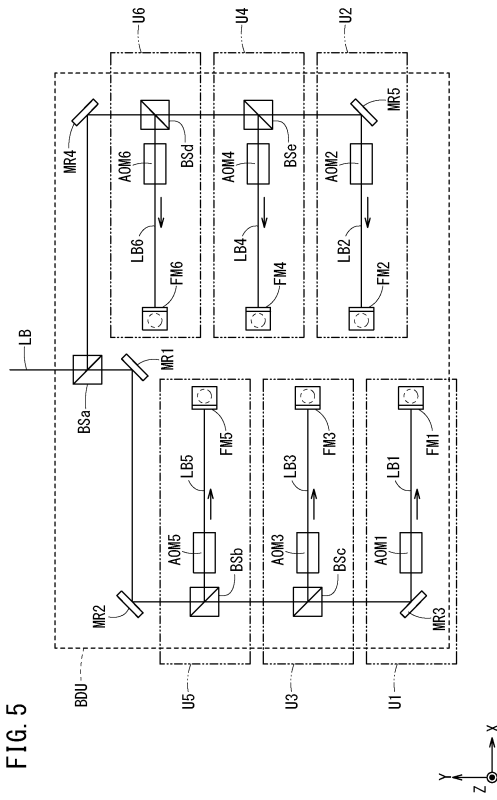


FIG. 5

【 図 7 】

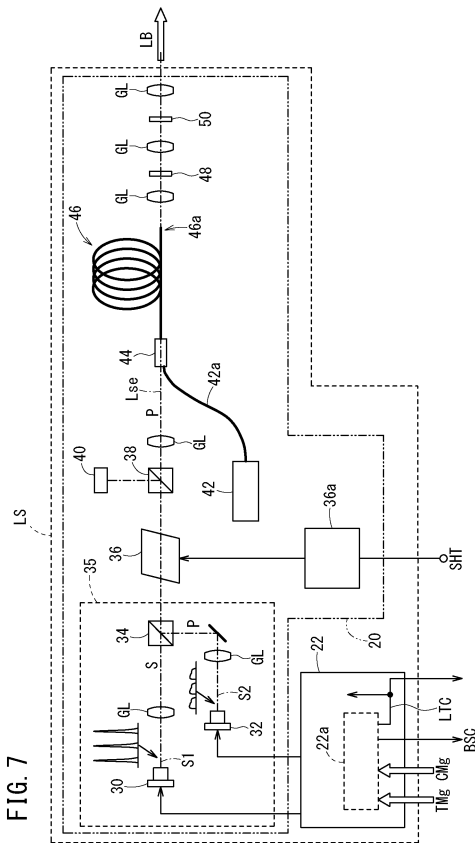


FIG. 7

【 図 6 】

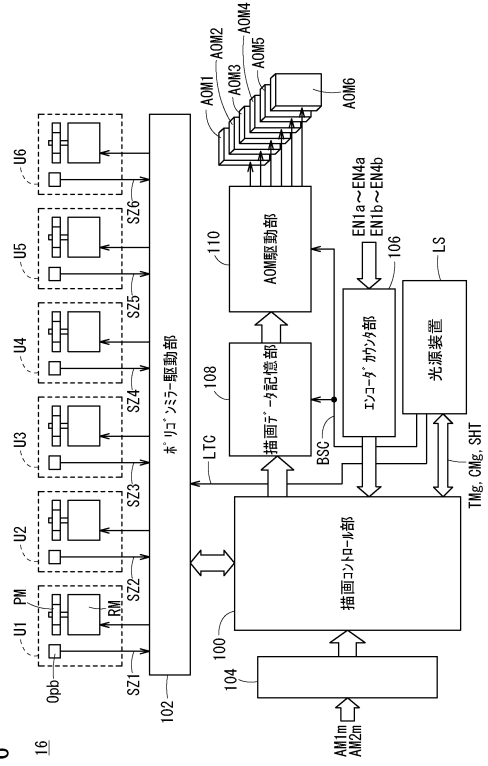


FIG. 6

【 図 8 】

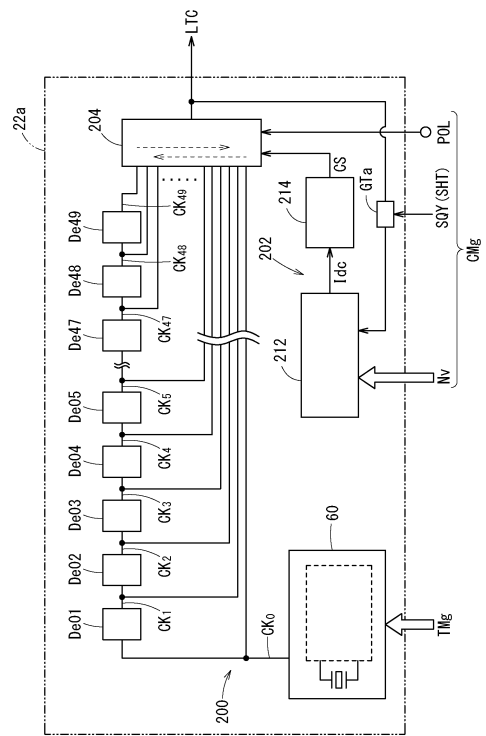


FIG. 8

【図 9】

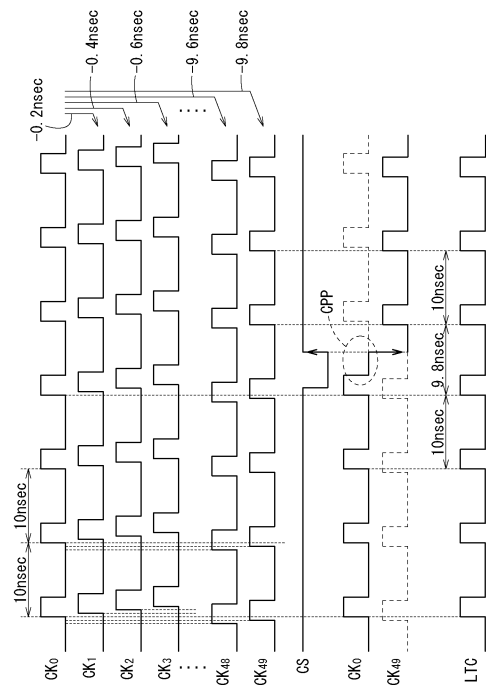
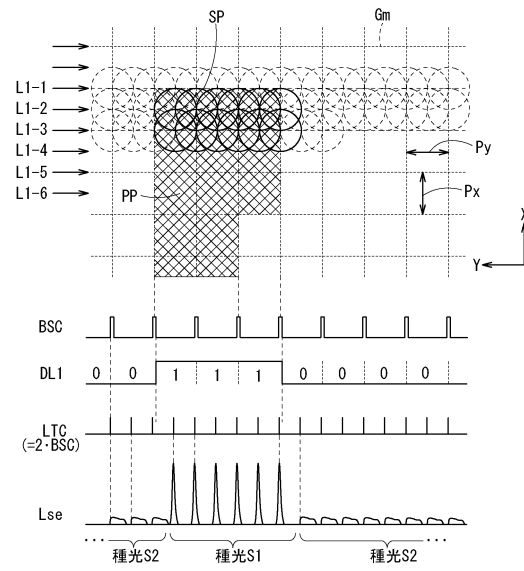


FIG. 9

【図 10】

FIG. 10



【図 11】

FIG. 11A

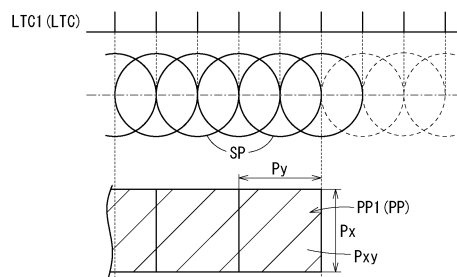
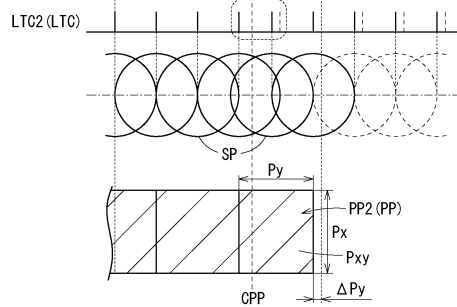
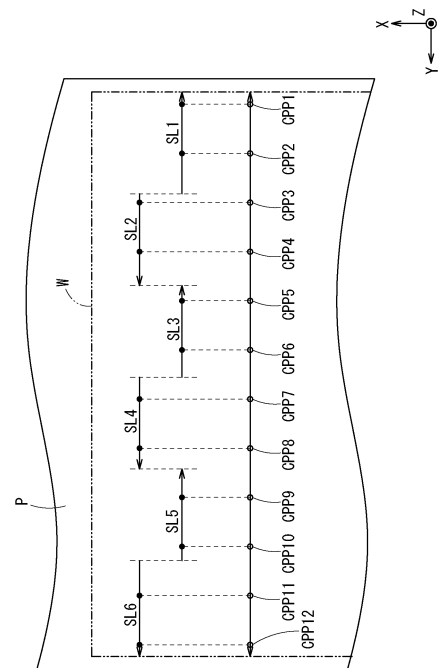


FIG. 11B



【図 12】

FIG. 12



【図 13】

FIG. 13B

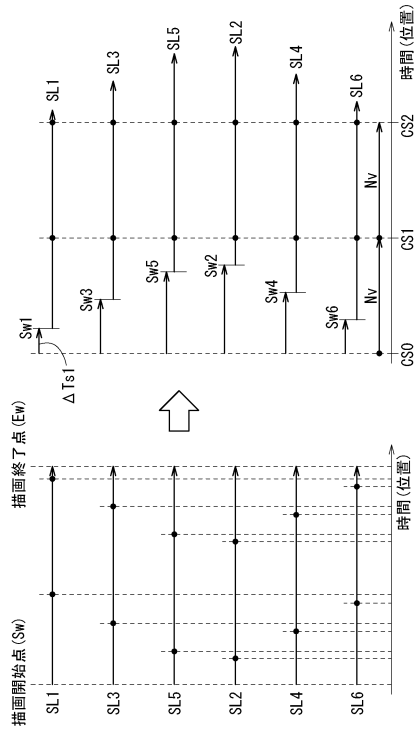
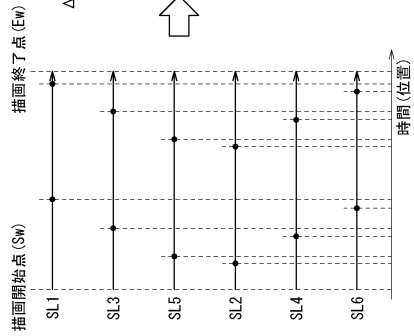
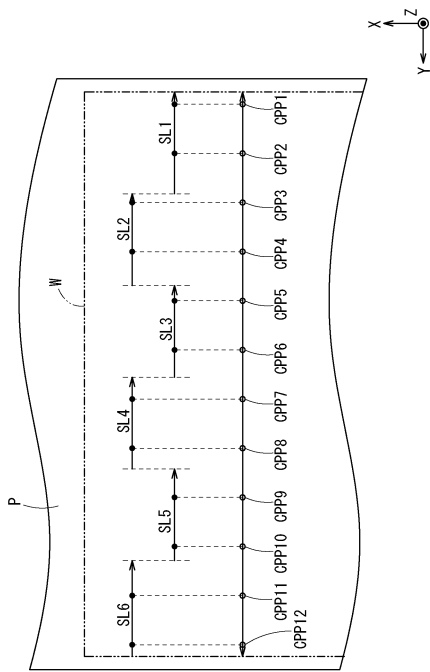


FIG. 13A



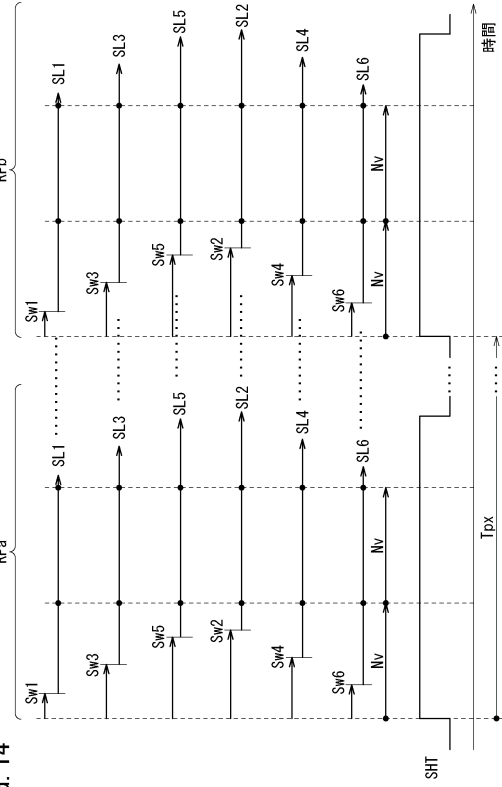
【図 15】

FIG. 15



【図 14】

FIG. 14



【図 16】

FIG. 16A

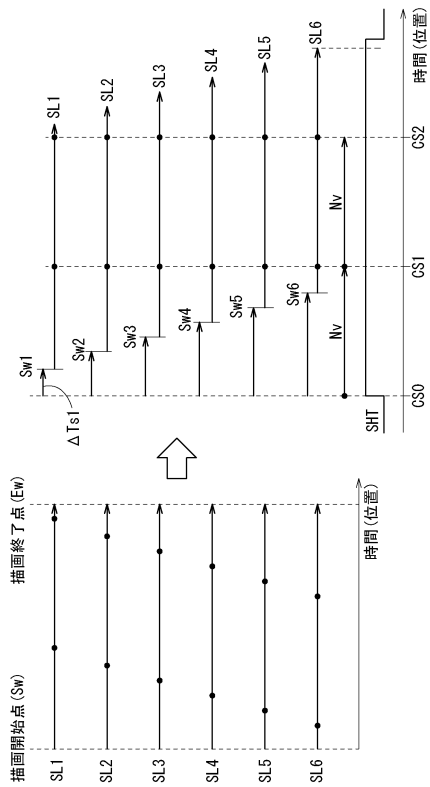
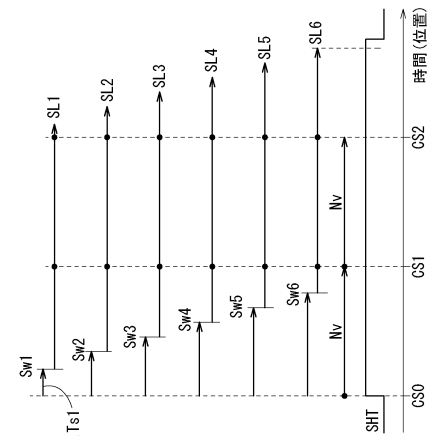
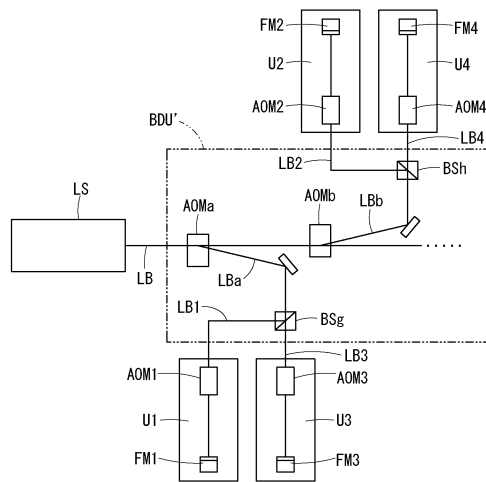


FIG. 16B



【図 17】

FIG. 17



フロントページの続き

(74)代理人 100180448

弁理士 関口 亨祐

(72)発明者 鬼頭 義昭

東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内

審査官 今井 彰

(56)参考文献 国際公開第2015/152218(WO,A1)

国際公開第2015/166910(WO,A1)

特開昭59-178072(JP,A)

特開2004-004510(JP,A)

特開2004-333888(JP,A)

特開2001-228415(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G03F 7/20-7/24、9/00-9/02

G02B 26/10-26/12

G02F 1/00-1/125、1/21-7/00