

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年11月9日(09.11.2017)



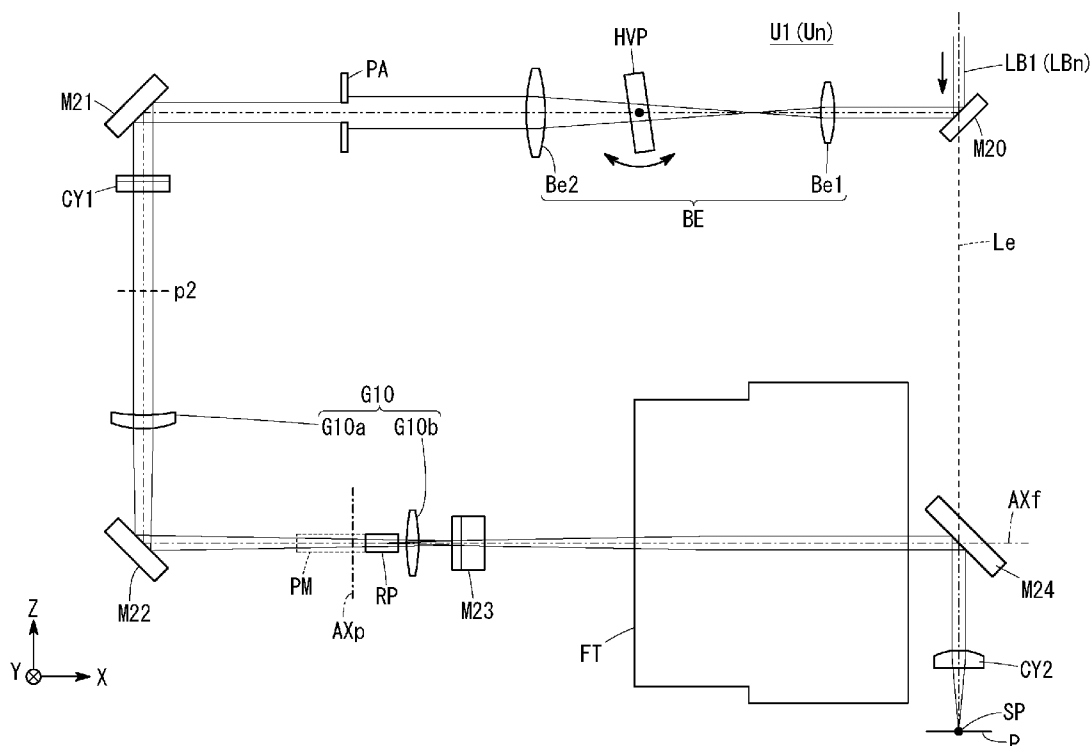
(10) 国際公開番号

WO 2017/191777 A1

- (51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01) G02B 26/12 (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/016274
- (22) 国際出願日: 2017年4月25日(25.04.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-093180 2016年5月6日(06.05.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 加藤正紀(KATO Masaki); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 中山修一(NAKAYAMA Shuichi); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 千葉剛宏, 外(CHIBA Yoshihiro et al.); 〒1510053 東京都渋谷区代々木2丁目1番1号 新宿マインズタワー 16階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN,

(54) Title: BEAM SCANNING DEVICE AND DRAWING DEVICE

(54) 発明の名称: ビーム走査装置および描画装置



(57) Abstract: A scanning unit (Un) that is a beam scanning device for scanning a beam (LBn) on a substrate (P) in one dimension is provided with: a first cylindrical lens (CY1) having power in one direction; a polygon mirror (PM) for deflecting the beam (LBn) that has passed through the first cylindrical lens (CY1), in order to perform one-dimensional scanning; an f θ lens system (FT) for projecting the beam (LBn) that was deflected in a telecentric state onto the substrate (P); and a second cylindrical lens (CY2) for making the beam (LBn) that has passed through the f θ lens system (FT)

KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,
RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

incident, the second cylindrical lens (CY2) having power in one direction, the first cylindrical lens (CY1) and the second cylindrical lens (CY2) having power in directions that are orthogonal to each other, and a lens system (G10) being furthermore provided between the first cylindrical lens (CY1) and the polygon mirror (PM).

(57) 要約：ビーム（L B n）を基板（P）上で1次元に走査するビーム走査装置である走査ユニット（U n）は、一方向にパワーを有する第1シリンドリカルレンズ（C Y 1）と、第1シリンドリカルレンズ（C Y 1）を透過したビーム（L B n）を1次元の走査のために偏向するポリゴンミラー（P M）と、テレセントリックな状態で偏向されたビーム（L B n）を基板（P）に投射するf θ レンズ系（F T）と、f θ レンズ系（F T）を透過したビーム（L B n）を入射し、一方向にパワーを有する第2シリンドリカルレンズ（C Y 2）とを備え、第1シリンドリカルレンズ（C Y 1）と第2シリンドリカルレンズ（C Y 2）とは互いに直交する方向にパワーを有し、第1シリンドリカルレンズ（C Y 1）とポリゴンミラー（P M）との間に設けられたレンズ系（G 1 0）をさらに備える。

明 細 書

発明の名称： ビーム走査装置および描画装置

技術分野

[0001] 本発明は、基板に所定のパターンを描画するためにビームを主走査方向に一次元に走査するビーム走査装置、および、このビーム走査装置を用いて所定のパターンを描画する描画装置に関する。

背景技術

[0002] $f\theta$ レンズ系とポリゴンミラー（回転多面鏡）を用いることで、感材上に投射されたビームを等速で走査できることが知られている。一般的なポリゴンミラーの各反射面は、ポリゴンミラーの回転面（回転方向を含む平面）と直交する方向と平行に形成されるが、実際の反射面は、ポリゴンミラーの回転面と直交する方向に対して僅かに傾斜するような誤差、いわゆる面倒れ（傾斜）誤差を伴っている。この誤差は、反射面毎に異なるため、 $f\theta$ レンズ系によって感材上に結像するスポット光の像位置（ビームの投射位置）が反射面毎にずれてしまう。

[0003] その投射位置のずれを防ぐために、下記特開平 8-297255 号公報では、ポリゴンミラーの手前と $f\theta$ レンズ系の後との 2ヶ所に、ポリゴンミラーの偏向方向（走査方向、ポリゴンミラーの回転方向）に対して直交した方向にのみ屈折力を持つシリンドリカルレンズを配置している。つまり、母線がビームの走査方向と平行となるような 2つのシリンドリカルレンズを配置している。これにより、ビームの走査方向（主走査方向）と直交した方向（副走査方向）に関しては、ポリゴンミラーの反射面上と感材の被照射面とを共役関係にすることができ、ポリゴンミラーの反射面毎に面倒れ誤差がばらついても、ビームの感材上での投射位置を副走査方向においては一定にすることができる。

[0004] しかしながら、特開平 8-297255 号公報のように、ポリゴンミラーの手前に配置する第 1 シリンドリカルレンズと、 $f\theta$ レンズ系（複数枚の球

面レンズで構成される)の後に配置する第2シリンドリカルレンズとの各々を単レンズで構成し、第1シリンドリカルレンズの母線と第2シリンドリカルレンズの母線とを平行にする場合、シリンドリカルレンズによって発生する収差(例えばビームの球面収差)を良好に低減するための光学設計(収差補正)が難しいと言った問題があった。

発明の概要

[0005] 本発明の第1の態様は、光源装置からのビームを被照射体に投射しつつ、前記ビームを前記被照射体上で1次元に走査するビーム走査装置であって、前記ビームを前記1次元の方向に対応した第1の方向に集光する第1光学部材と、前記第1光学部材を通った前記ビームを入射し、前記1次元の走査のために前記ビームを前記第1の方向に偏向するビーム偏向部材と、前記ビーム偏向部材によって偏向された前記ビームを入射し、前記被照射体に向けて投射する走査用光学系と、前記走査用光学系を通った前記ビームを入射し、前記第1の方向と直交する第2の方向に前記ビームを集光する第2光学部材と、前記第1光学部材と前記ビーム偏向部材との間に設けられ、前記第1光学部材を通った前記ビームを前記ビーム偏向部材の位置で前記第2の方向に集光するレンズ系と、を備える。

[0006] 本発明の第2の態様は、光源装置からのビームを被照射体上で主走査方向に走査しつつ、前記被照射体と前記ビームを副走査方向に相対移動させて、前記被照射体にパターンを描画する描画装置であって、前記ビームを前記主走査方向に走査するために、前記ビームを入射して前記主走査方向に1次元に偏向する可動偏向部材と、前記可動偏向部材で1次元に偏向される前記ビームを入射し、前記ビームを前記被照射体上に集光して投射する走査用光学系と、非等方的な屈折力を有し、前記可動偏向部材に向かう前記ビームを前記主走査方向に関して収斂する第1光学部材と、非等方的な屈折力を有し、前記走査用光学系から射出して前記被照射体に向かう前記ビームを前記副走査方向に関して収斂する第2光学部材と、前記第1光学部材と前記可動偏向部材との間に設けられ、前記主走査方向に関して収斂した前記ビームを入射

して、前記副走査方向に関して収斂するビームに変換して前記可動偏向部材に向けて射出する等方的な屈折力を有する第3光学部材と、を備える。

[0007] 本発明の第3の態様は、可動偏向部材で第1方向に偏向されるビームを、走査用光学系によって被照射体上に投射しつつ前記被照射体上で前記第1方向に沿って1次元走査して前記被照射体にパターンを描画する描画装置であって、前記可動偏向部材に投射される前記ビームを前記第1方向と直交した第2方向に関して収斂させるための非等方的な屈折力を有する第1レンズ部材を含む第1調整光学系と、前記走査用光学系から前記被照射体に向かう前記ビームを前記第2方向に関して収斂させるための非等方的な屈折力を有する第2レンズ部材を含む第2調整光学系と、を備え、前記ビームの波長を λ 、前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1方向に関する開口数を NA_y 、前記第2方向に関する開口数を NA_x 、前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1方向に関する球面収差を S_1 、前記第2方向に関する球面収差を S_2 としたとき、前記第1第1レンズ部材と前記第2レンズ部材は、 $S_1 < \lambda / NA_y^2$ 、且つ、 $S_2 < \lambda / NA_x^2$ 、となる条件と、 $|S_1 - S_2| < \lambda / NA_y^2$ 、且つ、 $|S_1 - S_2| < \lambda / NA_x^2$ 、となる条件とのいずれか一方を満たすように設定される。

[0008] 本発明の第4の態様は、被照射体上の主走査方向に沿ってパターン描画用のビームを1次元走査すると共に、前記主走査方向と交差した副走査方向に前記被照射体と前記ビームとを相対移動させて、前記被照射体にパターンを描画する描画装置であって、前記ビームを発生する為のビーム生成装置と、前記ビーム生成装置からの前記ビームを、ビーム径を拡大させた平行光束に変換するビームエキスパンダーと、前記ビームエキスパンダーで変換された前記ビームを入射して前記主走査方向に対応した方向に1次元偏向するビーム偏向部材と、前記1次元偏向された前記ビームを入射して前記被照射体上に前記ビームのスポットを集光する為の走査用光学系と、前記ビームエキスパンダーと前記ビーム偏向部材との間に設けられ、前記ビームエキスパンダーで変換された前記ビームを入射して、前記ビーム偏向部材上に投射される

前記ビームを前記副走査方向に対応した方向に収斂させるための非等方的な屈折力を有する第1光学素子を含む第1光学系と、前記走査用光学系から射出して前記被照射体に向かう前記ビームを前記副走査方向に収斂させるための非等方的な屈折力を有する第2光学素子を含む第2光学系と、前記ビームエキスパンダーの光路中に設けられ、前記ビームの光路を前記副走査方向に対応した方向にシフトさせるシフト用光学部材と、を備える。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態の基板に露光処理を施す露光装置を含むデバイス製造システムの概略構成を示す図である。

[図2]図1に示すビーム切換部および描画ヘッドの概略構成を示すとともに、描画ヘッドの各走査ユニットの走査ラインの基板上における配置関係を示す図である。

[図3]図2に示すビーム切換部の選択用光学素子および入射ミラー回りの具体的な構成を示す図である。

[図4]図2に示す走査ユニットの具体的な構成を示す図であり、ビームの走査方向（偏向方向）を含む平面（XY平面と平行な平面）と直交する平面（XZ平面）からみた図である。

[図5]図4に示す開口絞りから基板までのビームを、ビームの偏向方向（主走査方向）を含む平面と平行な平面からみた概略図である。

[図6]比較例1による光学設計例におけるレンズデータを示す図である。

[図7]比較例1におけるビームエキスパンダーから基板（像面）までのビームの状態を、ビームの偏向方向（スポット光の主走査方向）を含む平面と平行な面内でみた概略図である。

[図8]図7に示すビームエキスパンダーからポリゴンミラーの反射面までのビームの状態を、ビームの主走査方向と直交する平面からみた概略図である。

[図9]図7に示すポリゴンミラーの反射面から基板（像面）までのビームの状態を、ビームの主走査方向と直交する平面からみた概略図である。

[図10] $f\theta$ レンズ系から基板（像面）に投射されるビームの主走査方向に関

する球面収差の発生状態を誇張して説明する図である。

[図11] f θ レンズ系から基板（像面）に投射されるビームの副走査方向に関する球面収差の発生状態を誇張して説明する図である。

[図12] 比較例 1 の光学設計例によって発生するビームの主走査方向と副走査方向の球面収差特性をシミュレーションしたグラフである。

[図13] 比較例 1 における主走査方向の球面収差と副走査方向の球面収差との差分の球面収差特性を表したグラフである。

[図14] 実施例 1 による光学設計例におけるレンズデータを示す図である。

[図15] 実施例 1 におけるビームエキスパンダーから基板（像面）までのビームの状態を、ビームの偏向方向（スポット光の主走査方向）を含む平面と平行な面内でみた概略図である。

[図16] 図 1 5 に示すビームエキスパンダーからポリゴンミラーの反射面までのビームの状態を、ビームの主走査方向と直交する面内でみた概略図である。

[図17] 図 1 5 に示すポリゴンミラーの反射面から基板（像面）までのビームの状態を、ビームの主走査方向と直交する面内でみた概略図である。

[図18] 実施例 1 の光学設計例によって発生するビームの主走査方向と副走査方向の球面収差特性をシミュレーションしたグラフである。

[図19] 実施例 1 における主走査方向の球面収差と副走査方向の球面収差との差分の球面収差特性を表したグラフである。

[図20] 図 2 0 A は、平行平板が X Z 面内で傾斜していない状態を示す図であり、図 2 0 B は、平行平板が Y Z 面に対して角度 η だけ傾斜している状態を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 本発明の態様に係るビーム走査装置および描画装置について、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。

[0011] [第１の実施の形態]

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。

[0012] デバイス製造システム１０は、基板Pに所定の処理（露光処理など）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ー、フレキシブル配線、または、フレキシブル・センサなど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、液晶ディスプレイなどがある。デバイス製造システム１０は、フレキシブル（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図示しない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を図示しない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。そのため、各種処理後の基板Pは、複数のデバイスが基板Pの搬送方向に連なった状態となっており、多面取り用の基板となっている。前記供給ロールから送られた基板Pは、順次、プロセス装置PR１、露光装置EX、およびプロセス装置PR２で各種処理が施され、前記回収ロールで巻き取られる。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。

[0013] 本第1の実施の形態では、X方向は、Z方向と直交する水平面内において、基板Pが供給ロールから回収ロールに向かう方向である。Y方向は、Z方向と直交する水平面内においてX方向と直交する方向であり、基板Pの幅方向（短尺方向）である。なお、-Z方向を、重力が働く方向（重力方向）とし、基板Pの搬送方向を+X方向とする。

[0014] 基板Pは、例えば、樹脂フィルム、若しくは、ステンレス鋼などの金属または合金からなる箔（フォイル）などが用いられる。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）などのフィルムは、好適なシート基板の典型である。

[0015] 基板Pは、デバイス製造システム10内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、または酸化ケイ素などでもよい。また、基板Pは、フロート法などで製造された厚さ $100\mu\text{m}$ 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、箔などを貼り合わせた積層体であってもよい。

[0016] 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、湿度などの環境などに応じて、可撓性の程度は変わる。いずれにしる、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、回転ドラムなど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。

[0017] プロセス装置（処理装置）PR1は、供給ロールから送られてきた基板Pを露光装置EXに向けて所定の速度で長尺方向に沿った搬送方向（+X方向）に搬送しつつ、露光装置EXへ送られる基板Pに対して前工程の処理を行う。この前工程の処理により、露光装置EXへ送られる基板Pは、その表面に感光性機能層（光感応層）が形成された基板（感光基板）となっている。

[0018] この感光性機能層は、溶液として基板P上に塗布され、乾燥することによって層（膜）となる。感光性機能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（SAM）、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などがある。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、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（銀や銅など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などを選択塗布することで、薄膜トランジスタ（TFT）などを構成する電極、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など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、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) など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リソ層を積層したものとするのがよい。

[0019] 露光装置 (処理装置) E X は、プロセス装置 P R 1 から搬送されてきた基板 P をプロセス装置 P R 2 に向けて所定の速度で搬送方向 (+ X 方向) に搬送しつつ、基板 P に対して露光処理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 の電極や配線などのパターン) 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。

[0020] 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 (描画装置) である。露光装置 E X は、基板 P を + X 方向 (副走査の方向) 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) のスポット光 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、パターン情報) 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、回路または配線など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 (感光性機能層の表面) 上で相対的に 2 次元走査されて、基板 P の被照射面に所定のパターンが描画露光される。また、基板 P は、搬送方向 (+ X 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。この露光領域に電子デバイスが形成されるので、露光領域は、デバイス形成領域でもある。

[0021] プロセス装置（処理装置）P R 2は、露光装置E Xから送られてきた基板Pを回収ロールに向けて所定の速度で長尺方向に沿った搬送方向（+X方向）に搬送しつつ、露光装置E Xで露光処理された基板Pに対しての後工程の処理（例えばメッキ処理や現像・エッチング処理等）を行う。この後工程の処理により、基板P上にデバイスのパターン層が形成される。

[0022] 次に、露光装置E Xについて、図2～図5も参照して、さらに詳しく説明する。露光装置E Xは、図1のように温調チャンバーE C V内に格納されている。この温調チャンバーE C V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などを抑制する。温調チャンバーE C Vは、パッシブまたはアクティブな防振ユニットS U 1、S U 2を介して製造工場の設置面Eに配置される。防振ユニットS U 1、S U 2は、設置面Eからの振動を低減する。この設置面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E Xは、基板搬送機構1 2と、光源装置1 4と、ビーム切換部B D Uと、描画ヘッド1 6と、制御装置1 8とを少なくとも備えている。制御装置1 8は、露光装置E Xの各部を制御するものである。この制御装置1 8は、コンピュータとプログラムが記録された記録媒体などを含み、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1 8として機能する。

[0023] 基板搬送機構1 2は、デバイス製造システム1 0の基板搬送装置の一部を構成するものであり、プロセス装置P R 1から搬送される基板Pを、露光装置E X内で所定の速度で搬送した後、プロセス装置P R 2に所定の速度で送り出す。基板搬送機構1 2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E P C、駆動ローラR 1、テンション調整ローラR T 1、回転ドラム（円筒ドラム）D R、テンション調整ローラR T 2、駆動ローラR 2、および、駆動ローラR 3を有している。基板Pが、基板搬送機構1 2のエッジポジションコントローラE P C、駆動ローラ

R 1 ～ R 3、テンション調整ローラ R T 1、R T 2、および、回転ドラム（円筒ドラム）D R に掛け渡されることで、露光装置 E X 内で搬送される基板 P の搬送路が規定される。

[0024] エッジポジションコントローラ E P C は、プロセス装置 P R 1 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）における位置を調整する。つまり、エッジポジションコントローラ E P C は、所定のテンションがかけられた状態で搬送されている基板 P の幅方向の端部（エッジ）における位置が、目標位置に対して±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 E P C は、所定のテンションがかけられた状態で基板 P が掛け渡されるローラと、基板 P の幅方向の端部（エッジ）の位置を検出する図示しないエッジセンサ（端部検出部）とを有する。エッジポジションコントローラ E P C は、前記エッジセンサが検出した検出信号に基づいて、エッジポジションコントローラ E P C の前記ローラを Y 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。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。

[0025] 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（長尺方向）に搬送する。回転ドラム D R は

、描画ヘッド16からのビームLB（スポット光SP）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DRは、電子デバイスが形成される面（感光面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DRのY方向の両側には、回転ドラムDRが中心軸AXo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Sftが設けられている。回転ドラムDRは、制御装置18によって制御される図示しない回転駆動源（例えば、モータや減速機構など）からの回転トルクがシャフトSftに与えられることで中心軸AXo回りに一定の回転速度で回転する。なお、便宜的に、中心軸AXoを含み、YZ平面と平行な平面を中心面Pocと呼ぶ。

[0026] 駆動ローラ（ニップローラ）R2、R3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R2、R3は、駆動ローラR1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をプロセス装置PR2へ向けて搬送する。テンション調整ローラRT1、RT2は、-Z方向に付勢されており、回転ドラムDR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DR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18は、図示しない回転駆動源（例えば、モータや減速機構など）を制御することで、駆動ローラR1～R3を回転させる。なお、駆動ローラR1～R3の回転軸、および、テンション調整ローラRT1、RT2の回転軸は、回転ドラムDRの中心軸AXoと平行している。

[0027] 光源装置14は、パルス状のビーム（パルスビーム、パルス光、レーザ）LBを発生して射出する。このビームLBは、370nm以下の波長帯域にピーク波長を有する紫外線光であり、ビームLBの発光周波数（発振周波数、所定周波数）をFaとする。光源装置14が射出したビームLBは、ビーム切換部BDUを介して描画ヘッド16に入射する。光源装置14は、制御装置18の制御にしたがって、発光周波数FaでビームLBを発光して射出

する。この光源装置 14 は、赤外波長域のパルス光を発生する半導体レーザー素子、ファイバー増幅器、および、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）などで構成されるファイバーアンプレーザ光源としてもよい。このように光源装置 14 を構成することで、発振周波数 F_a が数百 MHz で、1 パルス光の発光時間が数ピコ秒程度の高輝度な紫外線のパルス光が得られる。なお、光源装置 14 の射出窓から射出されるビーム LB は、そのビーム径が 1 mm 程度、若しくはそれ以下の細い平行光束になっているものとする。

[0028] ビーム切換部 BDU は、詳しくは図 2 も参照して後述するが、描画ヘッド 16 を構成する複数の走査ユニット U_n （なお、 $n = 1, 2, \dots, 6$ ）のうちいずれか 1 つの走査ユニット U_n に、ビーム LB を時分割で入射させるように切り換える複数の光学的なスイッチング素子を有する。複数のスイッチング素子は、ビーム LB が入射する走査ユニット U_n を走査ユニット $U_1 \sim U_6$ の中で順番に切り換える。例えば、ビーム切換部 BDU は、ビーム LB が入射する走査ユニット U_n を、 $U_1 \rightarrow U_2 \rightarrow U_3 \rightarrow U_4 \rightarrow U_5 \rightarrow U_6$ 、の順番で切り換えることを繰り返す。なお、ビーム切換部 BDU を介して走査ユニット U_n に入射する光源装置 14 からのビーム LB を LB_n と表す場合がある。そして、走査ユニット U_1 に入射するビーム LB_n を LB_1 で表し、同様に、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ の各々に入射するビーム LB_n を $LB_2 \sim LB_6$ で表す場合がある。

[0029] 図 2 に示すように、走査ユニット $U_1 \sim U_6$ の各々には、入射してきたビーム $LB_1 \sim LB_6$ を主走査するためのポリゴンミラー PM が設けられる。本第 1 の実施の形態では、各走査ユニット U_n のポリゴンミラー PM の各々が、同一の回転速度で精密に回転しつつ、互いに一定の回転角度位相を保つように同期制御される。これによって、走査ユニット $U_1 \sim U_6$ の各々から基板 P に投射されるビーム $LB_1 \sim LB_6$ の各々の主走査のタイミング（スポット光 SP の主走査期間）を、互いに重複しないように設定することができる。そのため、ビーム切換部 BDU は、スポット光 SP の走査を行う走査

ユニット U_n のいずれか1つにビーム LB が入射するように、ビーム LB を走査ユニット U_n のいずれか1つに切り換えて供給すること、すなわち時分割にビーム LB を振り分けることができる。なお、スポット光 SP の主走査を行う走査ユニット U_n （ビーム LB_n が入射する走査ユニット U_n ）は、 $U_1 \rightarrow U_2 \rightarrow U_3 \rightarrow U_4 \rightarrow U_5 \rightarrow U_6 \rightarrow U_1 \cdots$ 、の順番で繰り返される。このように、光源装置14からのビーム LB を複数の走査ユニット U_n の各々に時分割で振り分ける構成については、国際公開第2015/166910号パンフレットに開示されている。

[0030] 図2に示すように、描画ヘッド16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描画ヘッドとなっている。描画ヘッド16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 の一部分に、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。各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）は、ビーム切換部 BDU からのビーム LB_n を基板 P 上（基板 P の被照射面上）に投射しつつ、基板 P 上でビーム LB_n を集光（収斂）する。これにより、基板 P 上に投射されるビーム LB_n （ $LB_1 \sim LB_6$ ）は、スポット光 SP となる。また、各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）のポリゴンミラー PM の回転によって、基板 P 上に投射されるビーム LB_n （ $LB_1 \sim LB_6$ ）のスポット光 SP を主走査方向（ Y 方向）に走査する。このスポット光 SP の走査によって、基板 P 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（走査ライン） SL_n （なお、 $n=1, 2, \cdots, 6$ ）が規定される。つまり、描画ライン SL_n は、ビーム LB_n のスポット光 SP の基板 P 上における走査軌跡を示すものである。

[0031] 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。図2に示すように、複数の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）の描画ライン SL_n （ $SL_1 \sim SL_6$ ）は、中心面 Poc （図1参照）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SL1、SL3、SL5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し、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。偶数番の描画ラインSL2、SL4、SL6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し、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。

[0032] そのため、複数の走査ユニットUn（U1～U6）も、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。つまり、奇数番の走査ユニットU1、U3、U5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U2、U4、U6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U1、U3、U5と、偶数番の走査ユニットU2、U4、U6とは、XZ平面からみて、中心面Pocに対して対称に設けられている。

[0033] X方向（基板Pの搬送方向）に関しては、奇数番の描画ラインSL1、SL3、SL5と偶数番の描画ラインSL2、SL4、SL6とが互いに離間しているが、Y方向（基板Pの幅方向、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。描画ラインSL1～SL6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。なお、描画ラインSLnをY方向に継ぎ合わせるとは、描画ラインSLn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。描画ラインSLnの端部同士を重複させる場合は、例えば、各描画ラインSLn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。

[0034] このように、複数の走査ユニットUn（U1～U6）は全部で露光領域の幅方向の全てをカバーするように、各走査ユニットUn（U1～U6）は、走査領域を分担している。これにより、各走査ユニットUn（U1～U6）

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_n （ $SL_1 \sim SL_6$ ）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。

[0035] 本第1の実施の形態の場合、光源装置14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、400MHz）に応じて離散的になる。そのため、ビームLB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 ϕ 、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（直径） ϕ 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 $1/2$ ）の強度となる幅寸法で決まる。本第1の実施の形態では、実効的なサイズ（寸法） ϕ に対して、 $\phi \times 1/2$ 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 （ポリゴンミラーPMの回転速度）および発振周波数 F_a が設定される。したがって、パルス状のスポット光SPの主走査方向に沿った投射間隔は、 $\phi/2$ 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 ϕ 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。さらに、Y方向に隣り合う描画ライン SL_n を主走査方向に継ぐ場合も、

$\phi/2$ だけオーバーラップさせることが望ましい。本第1の実施の形態では、スポット光SPのサイズ（寸法） ϕ を $3\mu\text{m}$ 程度とする。

[0036] 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。このとき、XZ平面に関して、奇数番の走査ユニット U_1 、 U_3 、 U_5 から基板Pに向かって投射されるビームLBの進行方向（描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 と中心軸 AX_o とを結ぶ方向）と中心面 P_{oc} との角度は $-\theta_1$ とすると、偶数番の走査ユニット U_2 、 U_4 、 U_6 から基板Pに向かって投射されるビームLBの進行方向（描画ライン SL_2 、 SL_4 、 SL_6 と中心軸 AX_o とを結ぶ方向）と中心面 P_{oc} との角度は $+\theta_1$ となっている。つまり、XZ平面に関して、奇数番の走査ユニット U_1 、 U_3 、 U_5 から基板Pに向かって投射されるビームLBの進行方向と、偶数番の走査ユニット U_2 、 U_4 、 U_6 から基板Pに向かって投射されるビームの進行方向とは、中心面 P_{oc} に対して対称となっている。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。

[0037] さらに、図2を用いてビーム切換部BDUおよび描画ヘッド16の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）の構成を簡単に説明する。ビーム切換部BDUは、複数のスイッチング素子としての選択用光学素子 AOM_n （ $AOM_1 \sim AOM_6$ ）と、複数の反射ミラー $M_1 \sim M_{12}$ と、複数の入射ミラー IM_n （ $IM_1 \sim IM_6$ ）と、吸収体TRとを有する。選択用光学素子 AOM_n （ $AOM_1 \sim AOM_6$ ）は、ビームLBに対して透過性を有するものであり、超

音波信号で駆動される音響光学変調素子（AOM : Acousto-Optic Modulator）である。この複数の選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）および複数の入射ミラーIM_n（IM1～IM6）は、複数の走査ユニットU_n（U1～U6）に対応して設けられている。例えば、選択用光学素子AOM1および入射ミラーIM1は、走査ユニットU1に対応して設けられ、同様に、選択用光学素子AOM2～AOM6および入射ミラーIM2～IM6は、走査ユニットU2～U6に対応して設けられている。

[0038] 光源装置14からビームLBは、反射ミラーM1～M12によってその光路がつづらおり状に曲げられて、吸収体TRまで導かれる。以下、選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）がいずれもオフ状態（超音波信号が印加されていない状態）の場合で、詳述する。なお、図2では図示を省略したが、反射ミラーM1から吸収体TRまでのビーム光路中には複数のレンズが設けられ、ビームLBを平行光束から収斂したり、収斂後に発散するビームLBを平行光束に戻したりする。その構成については図3を用いて後述する。

[0039] 図2において、光源装置14からのビームLBは、X軸と平行に-X方向に進んで反射ミラーM1に入射する。反射ミラーM1で-Y方向に反射したビームLBは、反射ミラーM2に入射する。反射ミラーM2で+X方向に反射したビームLBは、選択用光学素子AOM5をストレートに透過して反射ミラーM3に至る。反射ミラーM3で-Y方向に反射したビームLBは、反射ミラーM4に入射する。反射ミラーM4で-X方向に反射したビームLBは、選択用光学素子AOM6をストレートに透過して反射ミラーM5に至る。反射ミラーM5で-Y方向に反射したビームLBは、反射ミラーM6に入射する。反射ミラーM6で+X方向に反射したビームLBは、選択用光学素子AOM3をストレートに透過して反射ミラーM7に至る。反射ミラーM7で-Y方向に反射したビームLBは、反射ミラーM8に入射する。反射ミラーM8で-X方向に反射したビームLBは、選択用光学素子AOM4をストレートに透過して反射ミラーM9に至る。反射ミラーM9で-Y方向に反射

したビームLBは反射ミラーM10に入射する。反射ミラーM10で+X方向に反射したビームLBは、選択用光学素子AOM1をストレートに透過して反射ミラーM11に至る。反射ミラーM11で-Y方向に反射したビームLBは、反射ミラーM12に入射する。反射ミラーM12で-X方向に反射したビームLBは、選択用光学素子AOM2をストレートに透過して吸収体TRに導かれる。この吸収体TRは、ビームLBの外部への漏れを抑制するためにビームLBを吸収する光トラップである。

[0040] 各選択用光学素子AOM_nは、超音波信号（高周波信号）が印加されると、入射したビーム（0次光）LBを、高周波の周波数に応じた回折角で回折させた1次回折光を射出ビーム（ビームLB_n）として発生させるものである。したがって、選択用光学素子AOM1から1次回折光として射出されるビームがLB1となり、同様に選択用光学素子AOM2～AOM6から1次回折光として射出されるビームがLB2～LB6となる。このように、各選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）は、光源装置14からのビームLBの光路を偏向する機能を奏する。但し、実際の音響光学変調素子は、1次回折光の発生効率が0次光の80%程度であるため、各選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）の各々で偏向されたビームLB_n（LB1～LB6）は、元のビームLBの強度より低下している。また、選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）のいずれか1つがオン状態のとき、回折されずに直進する0次光が20%程度残存するが、それは最終的に吸収体TRによって吸収される。

[0041] 複数の選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）の各々は、偏向された1次回折光であるビームLB_n（LB1～LB6）を、入射するビームLBに対して-Z方向に偏向するように設置される。選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）の各々から偏向して射出するビームLB_n（LB1～LB6）は、選択用光学素子AOM_n（AOM1～AOM6）の各々から所定距離だけ離れた位置に設けられた入射ミラーIM_n（IM1～IM6）に投射される。各入射ミラーIM_n（IM1～IM6）は、入射したビー

ムLB_n (LB₁～LB₆)を-Z方向に反射することで、ビームLB_n (LB₁～LB₆)を対応する走査ユニットU_n (U₁～U₆)に導く。なお、入射ミラーIM_nの各々は、ビームLB_nの各々を-Z方向に落射させることから、落射用ミラーとも呼ばれる。

[0042] 各選択用光学素子AOM_n (AOM₁～AOM₆)の構成、機能、作用などは互いに同一のものをを用いてもよい。複数の選択用光学素子AOM_n (AOM₁～AOM₆)は、制御装置18からの駆動信号(高周波信号)のオン/オフにしたがって、入射したビームLBを回折させた回折光の発生をオン/オフする。例えば、選択用光学素子AOM₅は、制御装置18からの駆動信号(高周波信号)が印加されずにオフの状態のときは、入射した光源装置14からのビームLBを回折させずに透過する。したがって、選択用光学素子AOM₅を透過したビームLBは、反射ミラーM₃に入射する。一方、選択用光学素子AOM₅は、制御装置18からの駆動信号(高周波信号)が印加されてオンの状態のときは、入射したビームLBを回折させて入射ミラーIM₅に向かわせる。つまり、この駆動信号によって選択用光学素子AOM₆がスイッチングする。このようにして、各選択用光学素子AOM_nをスイッチングすることで、ビームLB_nをいずれか1つの走査ユニットU_nに導くことができ、且つ、ビームLB_nが入射する走査ユニットU_nを切り換えることができる。

[0043] 図1に示した制御装置18は、描画したいパターンに応じたパターンデータ(描画データ)に基づいて、光源装置14から射出されるパルス状のビームLBのオン/オフを1パルス単位で制御する。光源装置14をファイバアンプレザ光源とした場合に、光源装置14からのパルス状のビームLBをパターンデータに基づいてオン/オフ(変調)する構成に関しても、前述の国際公開第2015/166910号パンフレットに開示されている。ここで、パターンデータについて簡単に説明する。パターンデータ(描画データ、設計情報)は、走査ユニットU_n毎に設けられ、各走査ユニット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描画したい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、このパターンデータは、スポット光 S P の主走査方向（Y 方向）に沿った方向を行方向とし、基板 P の副走査方向（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で構成されているビットマップデータである。この画素の論理情報は、「0」または「1」の 1 ビットのデータである。「0」の論理情報は、基板 P に照射するスポット光 S P の強度を低レベル（非描画）にすることを意味し、「1」の論理情報は、基板 P 上に照射するスポット光 S P の強度を高レベル（描画）にすることを意味する。

[0044] パターンデータの 1 列分の画素の論理情報は、1 本分の描画ライン S L n（S L 1 ～ S L 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の寸法と描画ライン S L n の長さとはに応じて決まる。この 1 画素の寸法 P × y は、スポット光 S P のサイズ ϕ と同程度、或いは、それ以上に設定され、例えば、スポット光 S P の実効的なサイズ ϕ が 3 μ m の場合は、1 画素の寸法 P × y は、3 μ m 角程度以上に設定される。1 列分の画素の論理情報に応じて、1 本の描画ライン S L n（S L 1 ～ S L 6）に沿って基板 P に投射されるスポット光 S P の強度が変調される。光源装置 1 4 がファイバーアンプレーザ光源の場合、国際公開 2 0 1 5 / 1 6 6 9 1 0 号パンフレットに開示されているように、ファイバー増幅器に入射する赤外波長域のパルス状の種光（発光周波数 F a）は、制御装置 1 8 から送られてくるパターンデータの画素の論理情報「1」、「0」に応じて、ピーク強度が大きく俊鋭なパルス光と、ピーク強度が低く緩慢なパルス光とのいずれか一方に高速にスイッチングされる。

[0045] なお、選択用光学素子 A O M n は、選択用光学素子 A O M n に入射するビーム L B の径が小さくなると、回折効率および応答性が高くなる。そのため、選択用光学素子 A O M n に入射するビーム L B を平行光束とする場合は、選択用光学素子 A O M n に入射するビーム L B の径が平行光束の状態で縮小されるようなビーム整形光学系を設けてもよい。本第 1 の実施の形態では、

光源装置 1 4 から射出するビーム L B の直径を 1 mm 以下の平行光束としたので、そのままの状態を選択用光学素子 A O M n に通すことができる。

[0046] 以上の図 2、図 3 の構成において、光源装置 1 4 とビーム切換部 B D U とは走査ユニット U n の各々に描画用のビーム L B n を供給するビーム供給ユニット（ビーム生成装置）を構成する。より厳密に定義するなら、図 2 中の走査ユニット U 5 に対するビーム供給ユニットは、光源装置 1 4、ミラー M 1、M 2、選択用光学素子 A O M 5、及び入射ミラー I M 5 で構成され、走査ユニット U 6 に対するビーム供給ユニットは、光源装置 1 4、ミラー M 1 ~ M 4、選択用光学素子 A O M 5、A O M 6、及び入射ミラー I M 6 で構成され、走査ユニット U 3 に対するビーム供給ユニットは、光源装置 1 4、ミラー M 1 ~ M 6、選択用光学素子 A O M 5、A O M 6、A O M 3、及び入射ミラー I M 3 で構成され、走査ユニット U 4 に対するビーム供給ユニットは、光源装置 1 4、ミラー M 1 ~ M 8、選択用光学素子 A O M 5、A O M 6、A O M 3、A O M 4、及び入射ミラー I M 4 で構成され、走査ユニット U 1 に対するビーム供給ユニットは、光源装置 1 4、ミラー M 1 ~ M 1 0、選択用光学素子 A O M 5、A O M 6、A O M 3、A O M 4、A O M 1、及び入射ミラー I M 1 で構成され、そして、走査ユニット U 2 に対するビーム供給ユニットは、光源装置 1 4、ミラー M 1 ~ M 1 2、選択用光学素子 A O M 5、A O M 6、A O M 3、A O M 4、A O M 1、A O M 2、及び入射ミラー I M 2 で構成される。

[0047] 次に、走査ユニット（ビーム走査装置）U n の構成について説明する。各走査ユニット U n（U 1 ~ U 6）は、同一構成となっていることから、走査ユニット U 1 についてのみ簡単に説明する。走査ユニット U 1 は、反射ミラー M 2 0 ~ M 2 4、ポリゴンミラー P M、および、 $f\theta$ レンズ系 F T を少なくとも備えている。なお、図 2 では、図示していないが、ビーム L B 1 の進行方向からみて、ポリゴンミラー P M の手前には第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 が配置され、 $f\theta$ レンズ系 F T の後に第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 が設けられている。第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンド

リカルレンズCY2については後で図4を参照して詳しく説明する。

[0048] 入射ミラーIM1で-Z方向に反射されたビームLB1は、反射ミラーM20に入射し、反射ミラーM20で反射したビームLB1は、-X方向に進んで反射ミラーM21に入射する。反射ミラーM21で-Z方向に反射したビームLB1は、反射ミラーM22に入射し、反射ミラーM22で反射したビームLB1は、+X方向に進んで反射ミラーM23に入射する。反射ミラーM23は、入射したビームLB1をポリゴンミラーPMの反射面RPに向けて反射する。

[0049] ポリゴンミラーPMは、入射したビームLB1を、 $f\theta$ レンズ系FTに向けて+X方向側に反射する。ポリゴンミラーPMは、ビームLB1のスポット光SP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LB1をXY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（回転多面鏡、可動偏向部材）PMは、Z軸方向に延びる回転軸AXpと、回転軸AXpの周りに形成された複数の反射面RP（本第1の実施の形態では反射面RPの数Npを8とする）とを有する回転多面鏡である。回転軸AXpを中心にこのポリゴンミラーPMを所定の回転方向に回転させることで反射面RPに照射されるパルス状のビームLB1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RPによってビームLB1が偏向され、基板Pの被照射面上に照射されるビームLB1のスポット光SPを主走査方向（基板Pの幅方向、Y方向）に沿って走査することができる。つまり、1つの反射面RPによって、ビームLB1のスポット光SPを主走査方向に沿って走査することができる。このため、ポリゴンミラーPMの1回転で、基板Pの被照射面上にスポット光SPが走査される描画ラインSL1の数は、最大で反射面RPの数と同じ8本となる。ポリゴンミラーPMは、制御装置18の制御の下、図示しない回転駆動源（例えば、デジタルモータなど）によって指令された速度で正確に回転する。

[0050] $f\theta$ レンズ系（走査系レンズ、走査用光学系）FTは、ポリゴンミラーPMによって反射されたビームLB1を、反射ミラーM24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。 $f\theta$ レンズ系FTを透過したビームLB1は、反射ミラーM24を介してスポット光SPとなって基板P上に投射される。このとき、反射ミラーM24は、XZ平面に関して、ビームLB1が回転ドラムDRの中心軸AXoに向かって進むように、ビームLB1を基板Pに向けて反射する。ビームLB1の $f\theta$ レンズ系FTへの入射角 θ は、ポリゴンミラーPMの回転角($\theta/2$)に応じて変わる。 $f\theta$ レンズ系FTは、反射ミラーM24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LB1を投射する。焦点距離を f_o とし、像高位置を y_o とすると、 $f\theta$ レンズ系FTは、 $y_o = f_o \times \theta$ 、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 $f\theta$ レンズ系FTによって、ビームLB1をY方向に正確に等速で走査することが可能になる。なお、 $f\theta$ レンズ系FTに入射するビームLB1がポリゴンミラーPMによって1次元に偏向される面(XY面と平行)は、 $f\theta$ レンズ系FTの光軸AXfを含む面となる。

[0051] 図3は、選択用光学素子AOMnおよび入射ミラーIMn回りの具体的な構成を示す図である。なお、選択用光学素子AOMnおよび入射ミラーIMn回りの構成は互いに同一であることから、ここでは代表して選択用光学素子AOM1および入射ミラーIM1回りの構成についてのみ説明する。

[0052] 選択用光学素子AOM1には、図2に示したように、前段の選択用光学素子AOM4、反射ミラーM9、M10を通った後に、例えば直径1mm以下の微小な径(第1の径)の平行光束にされたビームLBが入射する。高周波信号(超音波信号)である駆動信号が入力されていない期間(駆動信号がオフ)では、選択用光学素子AOM1は、入射したビームLBを回折させずにそのまま透過する。透過したビームLBは、その光路上に光軸AXaに沿って設けられた集光レンズG1およびコリメートレンズG2aを透過して、後段の選択用光学素子AOM2に入射する。このとき選択用光学素子AOM1を通して集光レンズG1およびコリメートレンズG2aを通過するビームLBの中心軸は、光軸AXa上を通るものとする。集光レンズG1は、選択用

光学素子AOM1を透過したビームLB（平行光束）を、集光レンズG1とコリメートレンズG2aとの間に位置する面p1の位置でビームウェストとなるように集光する。コリメートレンズG2aは、集光レンズG1によって集光された後、発散したビームLBを平行光束にする。コリメートレンズG2aによって平行光束にされたビームLBの径は、第1の径となる。集光レンズG1の後側焦点とコリメートレンズG2aの前側焦点とは、所定の許容範囲内で一致しており、集光レンズG1の前側焦点は選択用光学素子AOM1内の回折点と所定の許容範囲内で一致している。この集光レンズG1とコリメートレンズG2aとはリレーレンズ系を構成する。

[0053] 一方、高周波信号である駆動信号が選択用光学素子AOM1に印加されている期間では、選択用光学素子AOM1は、入射したビームLBを回折させたビームLB1（回折光）を発生する。高周波信号の周波数に応じた回折角で-Z方向に偏向したビームLB1（平行光束）は、集光レンズG1を透過して、面p1上に設けられた入射ミラーIM6に入射する。集光レンズG1は、-Z方向に偏向したビームLB1の中心軸AXbがビームLBが通る光軸AXaと平行となるようにビームLB1を屈折させ、且つ、ビームLB1を入射ミラーIM1の反射面上またはその近傍でビームウェストとなるように集光（収斂）する。選択用光学素子AOM1を透過したビームLBの光路に対して-Z方向側に設けられた入射ミラーIM6によって、ビームLB1は-Z方向に反射され、コリメートレンズG2bを介して走査ユニットU1に入射する。コリメートレンズG2bは、集光レンズG1によって収斂／発散されたビームLB1を、コリメートレンズG2bの光軸と同軸の平行光束にする。コリメートレンズG2bによって平行光束されたビームLB1の径は、第1の径となる。集光レンズG1の後側焦点とコリメートレンズG2bの前側焦点とは、所定の許容範囲内で一致している。この集光レンズG1とコリメートレンズG2bとはリレーレンズ系を構成する。なお、図3の集光レンズG1、コリメートレンズG2a、G2bは、図2で示した他の選択用光学素子AOM2～AOM6の各々の後の光路中にも、図3と同様の条件で

配置される。

[0054] ところで、図2に示した走査ユニットU1では、 $f\theta$ レンズ系FTの光軸をXY面と平行に図示したので、走査ユニットU1から基板Pに投射されるビームLB1の中心軸（主光線）が回転ドラムDRの中心軸AXoに向かうように、先端の反射ミラーM24の反射平面は、XY面に対して45度以外の角度で傾けて配置される。しかしながら、 $f\theta$ レンズ系FTの光軸がXY面に対して傾くように走査ユニットU1～U6の各々の全体をXZ面内で傾けられる場合は、 $f\theta$ レンズ系FTの光軸が反射ミラーM24で90度に折り曲げられるような構成としてもよい。

[0055] 図4は、走査ユニットU1の具体的な構成を示す図であり、ビームLB1の走査方向（偏向方向）を含む平面（XY平面と平行な平面）と直交する平面（XZ平面）からみた図である。なお、図4では、 $f\theta$ レンズ系FTの光軸AXfがXY面と平行に配置され、先端の反射ミラーM24が光軸AXfを90度で折り曲げるように配置されるものとする。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の送光路に沿って、反射ミラーM20、ビームエキスパンダーBE、傾斜角可変の平行平板HVP、開口絞りPA、反射ミラーM21、第1シリンドリカルレンズCY1、球面レンズG10a、反射ミラーM22、球面レンズG10b、反射ミラーM23、ポリゴンミラーPM、 $f\theta$ レンズ系FT、反射ミラーM24、および、第2シリンドリカルレンズCY2が設けられる。

[0056] 図3で示した入射ミラーIM1によって-Z方向に反射された平行光束のビームLB1は、XY平面に対して45度傾いた反射ミラーM20に入射する。この反射ミラーM20は、入射したビームLB1を、反射ミラーM20から-X方向に離れた反射ミラーM21に向けて-X方向に反射する。反射ミラーM20で反射したビームLB1は、ビームエキスパンダーBEおよび開口絞りPAを透過して反射ミラーM21に入射する。ビームエキスパンダーBEは、透過するビームLB1の径を拡大させる。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を平行光束にするコリメートレンズBe2とを有する。このビームエキスパンダーBEによりビームLB6を開口絞りPAの開口部分に照射することが容易になる。なお、集光レンズBe1とコリメートレンズBe2の間には、ビームLBnに対する傾斜角度を不図示の駆動モータ等でXZ面と平行な面内で変更可能とした石英の平行平板HVPがシフト用光学部材として配置されている。この平行平板HVPの傾斜角を変えることで、基板P上で走査されるスポット光SPの走査軌跡である描画ラインSLnを副走査方向に微少量（例えば、スポット光SPの実効的な直径 ϕ の数倍～十数倍程度）だけシフトさせることができる。この機能については、後で詳述する。

[0057] 反射ミラーM21は、YZ平面に対して45度傾いて配置され、入射したビームLB1を、反射ミラーM21から-Z方向に離れた反射ミラーM22に向けて-Z方向に反射する。反射ミラーM21で-Z方向に反射されたビームLB1は、第1シリンドリカルレンズCY1（第1光学部材）および球面レンズG10aを透過した後、反射ミラーM22に至る。反射ミラーM22は、XY平面に対して45度傾いて配置され、入射したビームLB1を反射ミラーM23に向けて+X方向に反射する。反射ミラーM22で反射したビームLB1は、球面レンズG10bを介して反射ミラーM23に入射する。反射ミラーM23は、入射したビームLB1をポリゴンミラー（回転多面鏡、可動偏向部材）PMに向けて、XY面と平行な面内で折り曲げる。ポリゴンミラーPMの1つの反射面RPは、入射したビームLB1を、X軸方向に延びる光軸AXfを有する $f\theta$ レンズ系FTに向けて+X方向に反射する。この球面レンズG10aと球面レンズG10bとはレンズ系（第3光学部材）G10を構成する。球面レンズG10a、G10bは、等方的な屈折力を有する。

[0058] 単レンズで構成される平凸の第1シリンドリカルレンズCY1は、1方向に屈折力（パワー）を有するレンズであり、非等方的な屈折力を有する。図5は、開口絞りPAから基板PまでのビームLBの光路をXY面上に展開し

、ビームLBの偏向方向（主走査方向）を含む平面と平行な平面からみた概略図である。図5に示すように、第1シリンドリカルレンズCY1は、ポリゴンミラーPMによるビームLB1の偏向方向（ポリゴンミラーPMの回転軸AXpと垂直な面内での主走査方向、回転方向）に関しては、入射したビームLB1を、ポリゴンミラーPMの手前に位置する面p2において、ビームウェストとなるように1次元に集光（収斂）する。このポリゴンミラーPMの手前の集光位置（面p2の位置）を第1の位置とする。この第1の位置は、レンズ系G10（球面レンズG10a、10b）の手前の位置である。また、第1シリンドリカルレンズCY1は、ポリゴンミラーPMによるビームLB1の偏向方向（主走査方向）とは直交する方向（副走査方向）に関しては、入射したビームLB1を集光させずにそのまま平行光束として透過する（図4参照）。このように、第1シリンドリカルレンズCY1は、第1シリンドリカルレンズCY1を透過したビームLB1が、ポリゴンミラーPMの偏向方向とは直交する方向（副走査方向）に関しては非集光となるように、X方向と平行な方向（副走査方向）に延びた母線を有する。

[0059] レンズ系G10（球面レンズG10a、G10b）は、ポリゴンミラーPMによるビームLB1の偏向方向（主走査方向、回転方向）に関しては、第1シリンドリカルレンズCY1によって集光された後、発散したビームLB1をほぼ平行光束にする（図5参照）。また、レンズ系G10（球面レンズG10a、G10b）は、ポリゴンミラーPMのビームLB1の偏向方向とは直交する方向（副走査方向）に関しては、第1シリンドリカルレンズCY1を透過した平行光束のビームLB1を、ポリゴンミラーPMの反射面RP上で集光（収斂）する（図4参照）。これにより、ポリゴンミラーPMに投射されるビームLB1は、反射面RP上でXY平面と平行な面内で延びたスリット状（長楕円状）に収斂される。このように、第1シリンドリカルレンズCY1およびレンズ系G10と、後述する第2シリンドリカルレンズCY2とによって、反射面RPがZ方向に対して傾いている場合（XY平面の法線に対する反射面RP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LB1（描画ラインSSL1）の照射位置が、ポリゴンミラーPMの各反射面RP毎の僅かな傾き誤差（面倒れ）によってX方向にずれることを抑制すること、すなわち、各反射面RPの面倒れ補正を行うことができる。なお、反射面RPで反射されたビームLB1は、ポリゴンミラーPMによるビームLB1の偏向方向（主走査方向、回転方向）に関しては、ほぼ平行光束のまま $f\theta$ レンズ系FTに入射し、ポリゴンミラーPMのビームLB1の偏向方向と直交する方向（副走査方向）に関しては、所定の開口数（NA）で発散した状態で $f\theta$ レンズ系FTに入射する。

[0060] なお、第1シリンドリカルレンズCY1のポリゴンミラーPMの偏向方向（スポット光SPの主走査方向）に関する屈折力に応じた後側焦点と、レンズ系G10の前側焦点とは所定の許容範囲内で、面p2で一致するように設定されている。レンズ系G10の後側焦点と $f\theta$ レンズ系FTの前側焦点とは、所定の許容範囲内でポリゴンミラーPMの偏向位置（反射面RP上）で一致するように設定されている。

[0061] $f\theta$ レンズ系FTは、ポリゴンミラーPMによるビームLB1の偏向方向（主走査方向、回転方向）に関しては、図5のように、反射面RPで反射されたほぼ平行光束のビームLB1を基板P上で収斂（集光）させる。さらに $f\theta$ レンズ系FTは、図4のように、ポリゴンミラーPMのビームLB1の偏向方向とは直交する方向（副走査方向）に関しては、反射面RPで反射されて発散したビームLB1をほぼ平行光束にして、第2シリンドリカルレンズCY2に向けて投射する。

[0062] 単レンズで構成される平凸の第2シリンドリカルレンズ（第2光学部材）CY2は、Y方向（主走査方向）と平行な方向に母線を有し、1方向（副走査方向）にパワーを有する非等方的な屈折力を持つレンズである。第2シリンドリカルレンズCY2は、ポリゴンミラーPMによるビームLB1の偏向方向（主走査方向、回転方向）に関しては、入射したビームLB1をそのまま透過する。したがって、図5に示すように、第2シリンドリカルレンズC

Y 2 を透過したビーム L B 1 は、ポリゴンミラー P M によるビーム L B 1 の偏向方向（主走査方向、回転方向）に関しては、 $f \theta$ レンズ系 F T の屈折力によって基板 P 上でビームウェストとなるように集光される。一方、第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 は、ポリゴンミラー P M によるビーム L B 1 の偏向方向（主走査方向）とは直交する方向（副走査方向）に関しては、図 4 に示すように、入射したほぼ平行光束のビーム L B 1 を基板 P 上でビームウェストとなるように集光（収斂）する。したがって、基板 P に投射されるビーム L B 1 は、基板 P 上で略円形のスポット光 S P（例えば、直径が $3 \mu\text{m}$ ）となる。以上のように、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 と第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 とは、互いに直交する方向にパワー（屈折力）を有するように、母線が互いに直交するように配置される。これによって、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 は、レンズ系 G 1 0 の手前の面 p 2 でビーム L B n を主走査方向に関して 1 次元に収斂させた後、ポリゴンミラー P M の反射面 R P 上ではビーム L B n を副走査方向に関して 1 次元に収斂させるように機能し、第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 は、 $f \theta$ レンズ系 F T の後のビーム L B n を副走査方向に関して 1 次元に収斂させるように機能する。

[0063] このように、母線が互いに直交するように単レンズで構成される第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 を設置しているため、レンズ系 G 1 0 によって、ポリゴンミラー P M によるビーム L B n の偏向方向（主走査方向）と主走査方向と直交する副走査方向との両方向におけるビーム L B n の球面収差を良好に補正することができる。したがって、基板 P 上での結像性能の劣化を抑制することができる。また、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 を設けることによって、ポリゴンミラー P M の反射面 R P 毎の僅かな傾き誤差（面倒れ）による描画ライン S L n の X 方向（副走査方向）へのぶれの抑制、すなわち面倒れ補正も従来と同様に行われる。

[0064] なお、基板 P 上に投射されるビーム L B n のスポット光 S P の集光位置（ベストフォーカス位置）は、主走査方向（偏向方向）と、主走査方向と直交

する副走査方向とで、所定の許容範囲内で一致するように光学設計されているものとする。また、基板P上に投射されるビームLB_n（スポット光SP）の主走査方向における開口数NA_yと、主走査方向と直交する副走査方向における開口数NA_xとは、所定の許容範囲内で等しくなる（揃う）ように設計されているものとする。なお、本第1の実施の形態では、開口数NA_x≡開口数NA_y、とするので、基板Pに投射されるビームLB_nの開口数を単にNAで表すこともある。ビームLB_nの球面収差は、設計上のベストフォーカス面に向けてビームLB_nを収斂させたときに、ビームLB_nの中心軸（主光線）に対して傾き角（ベストフォーカス面への入射角度） β が異なる光線の各々が集光する位置のフォーカス方向の相対偏差として表される。ビームLB_nのベストフォーカス面と垂直な中心軸（主光線）に対して傾き角 β の光線は、 $\sin \beta$ で計算される開口数NA β として表される。ビームLB_nの最大の開口数NAは、ビームLB_nの波長 λ とスポット光SPの実効的な直径 ϕ 、 $f\theta$ レンズ系FTの焦点距離によって概ね決められる。

[0065] 次に、第1シリンドリカルレンズCY1、第2シリンドリカルレンズCY2、レンズ系G10、および、 $f\theta$ レンズ系FTの各々の焦点距離と、開口絞りPAの開口絞り径と、ビームエキスパンダーBEの拡大倍率の決定方法について説明する。なお、第1シリンドリカルレンズCY1の焦点距離を f_{c1} 、第2シリンドリカルレンズCY2の焦点距離を f_{c2} 、レンズ系G10の焦点距離を f_g 、 $f\theta$ レンズ系FTの焦点距離を f_θ で表す。また、開口絞りPAの開口絞り径を ϕ_a とする。

[0066] 焦点距離 f_{c1} 、 f_{c2} 、 f_g 、 f_θ は、下記に示す式（1）の関係を有する。この式（1）に基づき、第1シリンドリカルレンズCY1、第2シリンドリカルレンズCY2、レンズ系G10、および、 $f\theta$ レンズ系FTの各々の焦点距離を決定することで、基板Pに投射されるビームLB_nの開口数NA_xと開口数NA_yとを等しくすることができる。

$$f_g^2 / f_{c1} = f_\theta^2 / f_{c2} \quad \cdots \quad (1)$$

[0067] また、開口絞り径 ϕ_a と開口数NA（=NA_x≡NA_y）は、下記に示す式（

2) の関係を有する。

$$\phi a = 2 \times NA (f_{\theta} \times f_{c1} / f_g) = 2 \times NA \times (f_g \times f_{c2} / f_{\theta}) \cdots (2)$$

[0068] この式(2)に基づいて開口絞り径 ϕa を決定することで、所望の開口数を得ることができる。また、ビームエキスパンダーBEの拡大倍率については、大きくする程、開口絞りPAによってけられる光量が多くなるため、光量損失は大きくなる。一方で、ビームエキスパンダーBEの拡大倍率が小さい程、像面(基板P上)での実効的な開口数が小さくなるため、解像度(スポット光SPの径 ϕ の微細度)が低下する。そのため、光量と解像度とのバランスを考え、最適なビームエキスパンダーBEの拡大倍率を設定することが望ましい。

[0069] また、第1シリンドリカルレンズCY1、第2シリンドリカルレンズCY2、および f_{θ} レンズ系FT等の各光学諸元が概ね定まっている場合、ビームLBnの主走査方向(偏向方向)における球面収差 S_1 と、ビームLBnの主走査方向と直交する副走査方向における球面収差 S_2 とが、少なくとも下記に示す式(3)～(6)のいずれか1つの条件を満たすように、レンズ系G10(球面レンズG10a、10b)の光学諸元が設定される。また、 f_{θ} レンズ系FTの光学諸元のみが概ね定まっている場合は、式(3)～(6)のいずれか1つの条件を満たすように、レンズ系G10(球面レンズG10a、10b)の光学諸元、第1シリンドリカルレンズCY1と第2シリンドリカルレンズCY2の各光学諸元とが設定される。

$$|S_1 - S_2| < S_{c1} \times f_{\theta}^2 / f_g^2 - S_{c2} \cdots (3)$$

$$S_1 < S_{c1} \times f_{\theta}^2 / f_g^2, \text{ 且つ、 } S_2 < S_{c2} \cdots (4)$$

$$|S_1 - S_2| < \lambda / NA_y^2, \text{ 且つ、 } |S_1 - S_2| < \lambda / NA_x^2 \cdots (5)$$

$$S_1 < \lambda / NA_y^2, \text{ 且つ、 } S_2 < \lambda / NA_x^2 \cdots (6)$$

但し、 $|S_1 - S_2|$ は球面収差 S_1 と球面収差 S_2 との差の絶対値を表し、 S_{c1} は第1シリンドリカルレンズCY1単体にて生じる球面収差を表し、 S_{c2} は第

2 シリンドリカルレンズCY2 単体にて生じる球面収差を表し、 λ はビームLBnの波長を表すものとする。なお、球面収差 S_1 と球面収差 S_2 との差の絶対値 $|S_1 - S_2|$ は $|S_2 - S_1|$ であっても同じである。また、走査ユニットU1を例に挙げて説明したが、他の走査ユニットU2～U6に関しても同様に光学設計されることは言うまでもない。

[0070] ここで、従来の方式、つまり、第1シリンドリカルレンズCY1および第2シリンドリカルレンズCY2の各母線の延長方向をともに主走査方向（Y方向）と平行に設定した場合は、焦点距離 f_{c1} 、 f_{c2} 、 f_{θ} は、下記に示す式（7）の関係を有する。この場合は、母線の延長方向がY方向と平行な第1シリンドリカルレンズCY1のみによって、ポリゴンミラーPMの反射面RPに投射されるビームLBnは、反射面RP上でXY平面と平行な方向（主走査方向）に延びたスリット状（長楕円状）に収斂されるので、レンズ系G10は不要となる。

$$f_{c1} \times f_{c2} = f_{\theta}^2 \quad \dots (7)$$

[0071] また、開口絞りPAの円形開口の直径 ϕ_a と開口数NAは、下記に示す式（8）の関係を有する。

$$\phi_a = 2 \times NA \times f_{\theta} = 2 \times NA \times (f_{c1} \times f_{c2} / f_{\theta}) \quad \dots (8)$$

実施例

[0072] 本第1の実施の形態の面倒れ補正と、従来の方式による面倒れ補正とを比較する。両者をなるべく同一条件で比較する必要があるため、開口数NAおよび走査ユニットUnに入射するビームLBnの仕様は互いに同一とする。このビームLBnは、波長が、354.7nmの単色光であり、光軸中心（ビーム中心線）から0.25mmの位置で強度が $1/e^2$ となる非偏光のガウスビームとする。開口数NAは、主走査方向（偏向方向）を含む平面（YZ平面）内における開口数 NA_y と、主走査方向と直交する方向（副走査方向）を含む平面（XZ平面）内における開口数 NA_x とに分けて扱い、 $NA_y = NA_x = 0.06$ とする。また、 f_{θ} レンズ系FTおよび第2シリンドリカルレンズ

CY2についても、本第1の実施の形態と従来の方式とで同一のものを採用する。 f_{θ} レンズ系FTの焦点距離 f_{θ} は $f_{\theta} = 100\text{ mm}$ とし、単レンズで構成された平凸の第2シリンドリカルレンズCY2の焦点距離 f_{c2} を $f_{c2} = 14.5\text{ mm}$ とする。なお、第1シリンドリカルレンズCY1および第2シリンドリカルレンズCY2にて発生する球面収差の影響のみを評価できるよう、 f_{θ} レンズ系FTは、収差の発生しない理想の $f-\theta$ 特性を持つレンズとする。まず、比較例1で従来の方式による走査ユニットUnの面倒れ補正用の光学系の具体的な設計例について説明した後、実施例1で本第1の実施の形態の走査ユニットUnの面倒れ補正用の光学系の具体的な設計例について説明する。なお、本第1の実施の形態と従来の方式とにおいて、互いに構成が共通する部材、または、機能が共通する部材については同一の符号を付して説明する。また、簡単のために、反射ミラーM21、M22、M23の各々は設計例（レンズデータ）から省略してある。

[0073] （比較例1）

比較例1では、第1シリンドリカルレンズCY1および第2シリンドリカルレンズCY2の母線とともに主走査方向（Y方向）に設定し、レンズ系G10は設けられていない。比較例1におけるビームエキスパンダーBEから第2シリンドリカルレンズCY2までの光学設計例によるレンズデータを図6に示す。図7は、比較例1におけるビームエキスパンダーBEから基板（像面）PまでのビームLBnの状態を、ビームLBnの偏向方向（スポット光SPの走査方向）を含む平面と平行な面内で示す概略図である。図8は、図7に示すビームエキスパンダーBEからポリゴンミラーPMの反射面RPまでのビームLBnの状態を、ビームLBnの偏向方向（主走査方向）と直交する平面（副走査方向を含む面）からみた概略図である。図9は、図7に示すポリゴンミラーPMの反射面RPから基板（像面）PまでのビームLBnの状態を、ビームLBnの偏向方向（主走査方向）と直交する平面からみた概略図である。なお、図6においては、ポリゴンミラーPMの反射後は、面間隔と曲率半径の正負の符号を逆転して表してある。図7～図9は、比較

例 1 におけるビームエキスパンダー B E ～基板 P までの各光学部材（第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 など）を、図 6 の数値例に則った縮尺で配置した様子を示す図である。

[0074] 走査ユニット U n に入射した平行光束のビーム L B n（実効的なビーム径 ϕ は 0.5 mm とする）は、5 枚の球面レンズ L G 1 ～ L G 5 からなるビームエキスパンダー B E にて拡大された平行光束に変換された後、開口絞り P A にて所定の直径の円形断面の光束に整形される。開口絞り P A の開口絞り径 ϕa は、上記した式（8）に基づき、12 mm とする。また、強度が軸上の $1/e^2$ となる位置が開口絞り径 ϕa の半径である 6 mm となるように、ビームエキスパンダー B E の拡大倍率を 24 倍に設定する。このとき、開口絞り P A による光量損失の比率は約 13.5 % となる。

[0075] ビームエキスパンダー B E の後方に配置した単レンズで構成される平凸の第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 は、ポリゴンミラー P M によるビーム L B n の偏向方向（主走査方向）とは直交する方向に関して、入射したビーム L B n をポリゴンミラー P M の反射面 R P 上に集光する（図 8 参照）。第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 の焦点距離 f_{c1} は、上記した式（7）に基づき、 $f_{c1} = 693.1$ mm とする。ポリゴンミラー P M の反射面 R P は、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 の後側焦点に位置している。なお、ポリゴンミラー P M によるビーム L B n の偏向方向（主走査方向）に関しては、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 を透過したビーム L B n は平行光のままである（図 7 参照）。したがって、ポリゴンミラー P M に投射されるビーム L B n は、反射面 R P 上で偏向方向に延びたスリット状（長楕円状）に収斂される。

[0076] ポリゴンミラー P M の反射面 R P で反射したビーム L B n は、ポリゴンミラー P M の回転角度に応じた角度で、焦点距離 f_{θ} が 100 mm の f_{θ} レンズ系 F T に入射する。ポリゴンミラー P M の反射面 R P は f_{θ} レンズ系 F T の前側焦点の位置に来るように配置されている。そのため、 f_{θ} レンズ系 F T は、ポリゴンミラー P M によるビーム L B n の偏向方向（主走査方向）に関しては、ポリゴンミラー P M の反射面 R P で反射したビーム L B n を、テ

レセントリックな状態で基板Pの被照射面（像面）上で集光する（図7参照）。一方、 $f\theta$ レンズ系FTは、ポリゴンミラーPMによるビームLB_nの偏向方向（主走査方向）と直交する副走査方向に関しては、ポリゴンミラーPMの反射面RPで反射して発散したビームLB_nを平行光にする（図9参照）。

[0077] $f\theta$ レンズ系FTを透過したビームLB_nは、 $f\theta$ レンズ系FTの後方に配置された焦点距離 f_{c2} が14.5mmの第2シリンドリカルレンズCY2によって、ポリゴンミラーPMによるビームLB_nの副走査方向に関しても基板Pの被照射面（像面）上で集光される（図9参照）。この第2シリンドリカルレンズCY2の位置は、ポリゴンミラーPMによるビームLB_nの主走査方向に関する集光位置と、副走査方向に関する集光位置とがフォーカス方向に関して所定の許容範囲内で一致するように定められ、その集光位置が基板Pの被照射面（像面）になるように設定される。

[0078] このように、第1シリンドリカルレンズCY1、 $f\theta$ レンズ系FT、および第2シリンドリカルレンズCY2による光路を介して、ビームLB_nを基板P上でスポット光SPとして集光する場合、ビームLB_nの集光位置が主走査方向と副走査方向とで大きく異なるような収差が発生する。これは、ビームLB_nがスポット光として収斂する際に発生する球面収差によるものである。図10、図11は、基板Pに向かうビームLB_nの球面収差の状態を説明する図であり、図10はビームLB_nの主走査方向に関する球面収差の状態を表し、図11はビームLB_nの副走査方向に関する球面収差の状態を表す。

[0079] 図10に示すように、ビームLB_nは、主走査方向に関してはある太さの平行光束となって $f\theta$ レンズ系FTに入射し、主に $f\theta$ レンズ系FTによって主光線（ビーム中心線）L_{pr}上の所定のZ位置（フォーカス位置）に集光される。その際、第2シリンドリカルレンズCY2は単なる平行平板として作用する。 $f\theta$ レンズ系FTから射出するビームLB_nの主走査方向に関する最大の開口数NA_yは、集光点に向かう光線LL_aの主光線L_{pr}に対す

る傾き角（入射角） β_a より、 $NA_y = \sin \beta_a$ で決まる。ビーム LB_n には、光線 LL_a の入射角 β_a よりも入射角が小さい光線 LL_b （入射角を β_b ）、光線 LL_b の入射角 β_b よりも入射角が小さい光線 LL_c （入射角を β_c ）等が含まれる。ここで、入射角 β_a の光線 LL_a による集光点が Z 軸方向のフォーカス位置 Z_{ma} であるとする、入射角 β_b の光線 LL_b による集光点のフォーカス位置 Z_{mb} 、入射角 β_c の光線 LL_c による集光点のフォーカス位置 Z_{mc} は、いずれもフォーカス位置 Z_{ma} に対して Z 軸方向にずれている。そのようなずれが球面収差である。

[0080] また、図11に示すように、ビーム LB_n は、副走査方向に関しては、発散光束となって $f\theta$ レンズ系 FT に入射し、 $f\theta$ レンズ系 FT によって平行光束に変換された後、第2シリンドリカルレンズ CY_2 の屈折作用を受けて、主光線（ビーム中心線） Lpr 上の所定の Z 位置（フォーカス位置）に集光される。第2シリンドリカルレンズ CY_2 から射出するビーム LB_n の副走査方向に関する最大の開口数 NA_x は、主走査方向に関する最大の開口数 NA_y と揃うように設定される。したがって、副走査方向に関しても、 $NA_x = \sin \beta_a$ で決まる光線 LL_a （入射角 β_a ）が集光するフォーカス位置 Z_{sa} 、入射角 β_a よりも入射角が小さい光線 LL_b （入射角を β_b ）が集光するフォーカス位置 Z_{sb} 、入射角 β_b よりも入射角が小さい光線 LL_c （入射角を β_c ）が集光するフォーカス位置 Z_{sc} の各々は、球面収差によって Z 軸方向（フォーカス方向）にずれている。なお、図10、図11では、 $f\theta$ レンズ系 FT から基板 P までの光路で球面収差が生じるように説明したが、基板 P に達するビーム LB_n に生じる実際の球面収差は、図2の光源装置14から射出したビームが通る各種の光学部材（レンズ、AOM、反射ミラー）の影響を受けたものとなる。

[0081] 図12と図13は、図6に示した比較例1のレンズデータに基づいて、ビーム LB_n の最大の開口数 $NA (= NA_y \div NA_x)$ を0.06としてシミュレーションされたビーム LB_n の球面収差特性であり、横軸は設計上のベストフォーカス位置をゼロ点としたフォーカス位置（ μm ）を表し、縦軸はビー

μLB_n の最大の開口数 NA に対応する光線 LL_a の最大入射角 β_a ($\text{NA}_a = \sin \beta_a$)を1.0 (β_{max})に規格化した入射角 β を表す。したがって、図12、図13において、例えば入射角 β が0.5とは、最大入射角 β_a の半分の角度を意味する。さらに、図12中の実線で示す特性(A)は基板Pに投射されるビーム LB_n の主走査方向に関する球面収差特性であり、破線で示す特性(B)は基板Pに投射されるビーム LB_n の副走査方向に関する球面収差特性である。図13中に示す特性(C)は、図12中の特性(A)と特性(B)の差分〔(B) − (A)〕による球面収差特性を表したもので、スポット光SPとして基板P上に投射されるビーム LB_n の入射角度 β に応じてベストフォーカス位置がずれており、数十 μm の球面収差が発生している。

[0082] ここで、図12中の特性(A)はビームエキスパンダーBEと $f\theta$ レンズ系FTとによって発生する球面収差であり、図12中の特性(B)はビームエキスパンダーBE、第1シリンドリカルレンズCY1、 $f\theta$ レンズ系FT、および第2シリンドリカルレンズCY2の合成系によって発生する球面収差である。したがって、特性(A)と特性(B)の差分の特性(C)は、主に第1シリンドリカルレンズCY1および第2シリンドリカルレンズCY2によって発生する球面収差特性に対応する。

[0083] (実施例1)

実施例1では、上述したように、第1シリンドリカルレンズCY1の母線の延長方向を副走査方向(X方向)とし、第2シリンドリカルレンズCY2の母線の延長方向を主走査方向(Y方向)とし、第1シリンドリカルレンズCY1とポリゴンミラーPMとの間にレンズ系G10が設けられている。実施例1におけるビームエキスパンダーBEから第2シリンドリカルレンズCY2までの光学設計用のレンズデータを図14に示す。また、図15は、実施例1におけるビームエキスパンダーBEから基板(像面)Pまでのビーム LB_n の状態を、ビーム LB_n の偏向方向(スポット光SPの走査方向)を含む平面と平行な面内でみた概略図である。図16は、図15に示すビーム

エキスパンダーBEからポリゴンミラーPMの反射面RPまでのビームLB_nの状態を、ビームLB_nの偏向方向（主走査方向）と直交する面内（副走査方向を含む面内）でみた概略図である。図17は、図15に示すポリゴンミラーPMの反射面RPから基板（像面）PまでのビームLB_nを、ビームLB_nの偏向方向（主走査方向）と直交する面内（副走査方向を含む面内）でみた概略図である。なお、図14においては、ポリゴンミラーPMの反射後は、面間隔と曲率半径の正負の符号を逆転して表してある。図15～図17は、実施例1におけるビームエキスパンダーBE～基板Pまでの各光学部材（第1シリンドリカルレンズCY1および第2シリンドリカルレンズCY2など）を、図14の数値例に則った実際の縮尺で配置した様子を示す。

[0084] 実施例1では、第1シリンドリカルレンズCY1から像面（基板Pの被照射面）までの距離（光路長）が、比較例1に比べて300mm程度短くなるように、上記の式（1）に基づいて、レンズ系G10の焦点距離 f_g を $f_g = 201.2\text{ mm}$ 、第1シリンドリカルレンズCY1の焦点距離 f_{c1} を $f_{c1} = 58\text{ mm}$ にした。これにより、本実施例1では、比較例1の設計例に比べ、省スペースな光学系を実現することができる。さらに、走査ユニットUnの筐体についても小さくすることができるため、軽量化も図れる。

[0085] 走査ユニットUnに入射した平行光束のビームLB_n（実効的な直径0.5mm）は、4枚の球面レンズLGa～LGdからなるビームエキスパンダーBEで拡大された後、開口絞りPAにて所定の光束径に整形される。開口絞りPAの開口絞り直径 ϕ_a は、上記した式（2）に基づき、3.5mmとする。ビームエキスパンダーBEによって拡大された後の光束において、中心からの開口絞り直径 ϕ_a の半径である1.75mmの位置にて強度が軸上の $1/e^2$ となるように、ビームエキスパンダーBEの拡大倍率を7倍に設定する。このように、比較例1と比較してビームエキスパンダーBEの拡大倍率が小さくなるため、ビームエキスパンダーBEの設計が容易になり、ビームエキスパンダーBEで発生する球面収差も小さくすることができる。

[0086] ビームエキスパンダーBEの後方に配置した単レンズで構成される焦点距

離 f_{c1} が 58 mm の平凸の第 1 シリンドリカルレンズ CY 1 は、ポリゴンミラー PM によるビーム LB n の偏向方向（主走査方向）に関して、入射したビーム LB n を第 1 シリンドリカルレンズ CY 1 の後側焦点の面 p 2（第 1 の位置）に集光する（図 15 参照）。この面 p 2 の位置は、第 1 シリンドリカルレンズ CY 1 と、第 1 シリンドリカルレンズ CY 1 の後方側に配置されたレンズ系 G 10 との間に位置する。なお、ポリゴンミラー PM によるビーム LB n の偏向方向（主走査方向）と直交する副走査方向に関しては、第 1 シリンドリカルレンズ CY 1 を透過したビーム LB n は平行光のままである（図 16 参照）。

[0087] 2 枚の球面レンズ G 10 a、G 10 b で構成されるレンズ系 G 10（焦点距離 $f_g = 201.2$ mm）は、レンズ系 G 10 の前側焦点と第 1 シリンドリカルレンズ CY 1 との後側焦点の位置（面 p 2）とが所定の許容範囲内で一致するように配置されている。そのため、レンズ系 G 10 を透過したビーム LB n は、ビーム LB n の主走査方向に関しては平行光束の状態であり（図 15 参照）、ビーム LB n の主走査方向と直交する副走査方向に関してはポリゴンミラー PM の反射面 RP 上で集光される（図 16 参照）。ポリゴンミラー PM の反射面 RP は、レンズ系 G 10 の後側焦点の位置に来るように設定されている。したがって、ポリゴンミラー PM に投射されるビーム LB n は、反射面 RP 上で偏向方向（主走査方向）に延びたスリット状（長楕円状）に収斂される。

[0088] ポリゴンミラー PM の反射面 RP で反射したビーム LB n は、ポリゴンミラー PM の回転角度に応じた角度で、焦点距離 $f_\theta = 100$ mm の f_θ レンズ系 FT に入射する。 f_θ レンズ系 FT は、ポリゴンミラー PM の反射面 RP が f_θ レンズ系 FT の前側焦点の位置に来るように配置されている。そのため、 f_θ レンズ系 FT は、ポリゴンミラー PM によるビーム LB n の偏向方向（主走査方向）に関しては、ポリゴンミラー PM の反射面 RP で反射したビーム LB n を、テレセントリックな状態（ビーム LB n の主光線 L pr が f_θ レンズ系 FT の光軸 AX f と常に平行な状態）で基板 P の被照射面（

像面）上に集光する（図15参照）。一方、主走査方向と直交する副走査方向に関しては、 $f\theta$ レンズ系FTは、ポリゴンミラーPMの反射面RPで反射して発散光束となったビームLB_nを平行光束に変換する（図17参照）。

[0089] 最後に、 $f\theta$ レンズ系FTを透過したビームLB_nは、 $f\theta$ レンズ系FTの後方に配置された焦点距離 $f_{c2}=14.5\text{ mm}$ の第2シリンドリカルレンズCY2によって、ポリゴンミラーPMによるビームLB_nの偏向方向（主走査方向）と直交する副走査方向に関しても基板Pの被照射面（像面）上でスポット光SPとなるように集光される（図17参照）。この第2シリンドリカルレンズCY2の位置は、ポリゴンミラーPMによるビームLB_nの主走査方向に関する集光位置と、副走査方向に関する集光位置とがフォーカス方向に関して所定の許容範囲内で一致するように定められ、その集光位置が基板Pの被照射面（像面）になるように設定される。以上の図14～図17（および図4、図5）の構成において、ビームエキスパンダーBE、開口絞りPA、反射ミラーM21、第1シリンドリカルレンズCY1、反射ミラーM22、レンズ系G10、反射ミラーM23までの光学系は、ポリゴンミラーPM（可動偏向部材）に投射されるビームLB_nを主走査方向と直交した副走査方向に関して収斂させるための非等方的な屈折力を有する第1光学素子又は第1レンズ部材（第1シリンドリカルレンズCY1）を含む第1調整光学系として機能する。さらに、図14～図17（および図4、図5）の構成において、 $f\theta$ レンズ系FT（走査用光学系）の後の反射ミラーM24と第2シリンドリカルレンズCY2は、 $f\theta$ レンズ系FTから基板Pに向かうビームLB_nを副走査方向に関して収斂させるための非等方的な屈折力を有する第2光学素子又は第2レンズ部材（第2シリンドリカルレンズCY2）を含む第2調整光学系として機能する。

[0090] 図18と図19は、図14に示した実施例1のレンズデータに基づいて、ビームLB_nの最大の開口数NA_aを0.06としてシミュレーションされたビームLB_nの球面収差特性であり、横軸は設計上のベストフォーカス位

置をゼロ点としたフォーカス位置 (μm) を表し、縦軸は先の図 12、図 13 と同様に規格化した入射角 β を表す。図 18 中の実線で示す特性 (A) は基板 P に投射されるビーム L B n の主走査方向に関する球面収差特性であり、破線で示す特性 (B) は基板 P に投射されるビーム L B n の副走査方向に関する球面収差特性である。また、図 19 中に示す特性 (C) は、図 18 中の特性 (A) と特性 (B) の差分 $[(B) - (A)]$ による球面収差特性を表したものである。ここで、図 18 中の特性 (A) は、ビームエキスパンダー B E、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1、レンズ系 G 10、および $f\theta$ レンズ系 F T の合成系によって発生する球面収差であり、図 18 中の特性 (B) は、ビームエキスパンダー B E、レンズ系 G 10、 $f\theta$ レンズ系 F T、および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 の合成系によって発生する球面収差である。したがって、特性 (A) と特性 (B) の差分の特性 (C) は、主に第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 によって発生する球面収差特性に対応する。

[0091] シミュレーションの結果、先の図 12 に示した比較例 1 の球面収差の特性 (A)、(B) と比べて、実施例 1 の場合は収差量の絶対値が 1 ケタ程度小さくなっている。図 18 中の特性 (A) から分かるように、レンズ系 G 10 によって第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 で発生する球面収差が補正されるため、スポット光 S P として基板 P 上に投射されるビーム L B n の入射角度 β に応じたベストフォーカス位置のずれが殆ど生じていない。このずれ、すなわち球面収差は上述した式 (4)、(6) の条件を満たしている。同様に、図 18 中の特性 (B) から分かるように、レンズ系 G 10 によって第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 で発生する球面収差が補正されるため、スポット光 S P として基板 P 上に投射されるビーム L B n の入射角度 β に応じたベストフォーカス位置のずれが殆ど生じていない。このずれ、すなわち球面収差は上述した式 (4)、(6) の条件を満たしている。そして、図 19 の特性 (C) から分かるように、レンズ系 G 10 によって第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 で発生する球面収差が補正

されるため、スポット光 $S P$ として基板 P 上に投射されるビーム $L B n$ の入射角 β に応じたベストフォーカス位置の差分が殆ど生じていない。このベストフォーカス位置の差分、すなわち球面収差の差分は上述した式 (3)、(5) の条件を満たしている。このように、基板 P に投射されるビームの球面収差を小さくしておくことは、描画可能なパターンの最小線幅をさらに小さくすること（高解像化）に対応して、基板 P 上に投射されるスポット光 $S P$ の実効的な直径を小さくするためにビーム $L B n$ の最大の開口数 $N A a$ を 0.07 以上に大きくする場合に有効である。

[0092] 以上のように、本第 1 の実施の形態における走査ユニット $U n$ は、光源装置 14 からのビーム $L B n$ を基板 P に投射しつつ、ビーム $L B n$ を基板 P 上で 1 次元に走査するために、一方向にパワーを有する第 1 シリンドリカルレンズ $C Y 1$ と、第 1 シリンドリカルレンズ $C Y 1$ を透過したビーム $L B n$ を入射し、1 次元の走査のために偏向するポリゴンミラー $P M$ と、ポリゴンミラー $P M$ によって偏向されたビーム $L B n$ を入射し、テレセントリックな状態でビーム $L B n$ を基板 P に投射する $f \theta$ レンズ系 $F T$ と、 $f \theta$ レンズ系 $F T$ を透過したビーム $L B n$ を入射し、一方向にパワーを有する第 2 シリンドリカルレンズ $C Y 2$ とを備え、そして、第 1 シリンドリカルレンズ $C Y 1$ と第 2 シリンドリカルレンズ $C Y 2$ とを互いに直交する方向にパワー（屈折力）を有するように配置し、さらに第 1 シリンドリカルレンズ $C Y 1$ とポリゴンミラー $P M$ との間に、収差（球面収差）補正のためのレンズ系 $G 10$ を設けるようにした。

[0093] これにより、ポリゴンミラー $P M$ の各反射面による面倒れによって生じるビーム $L B n$ の投射位置のずれを補正することができるとともに、第 1 シリンドリカルレンズ $C Y 1$ および第 2 シリンドリカルレンズ $C Y 2$ によって生じる球面収差を簡単な構成で補正することができる。したがって、スポット光 $S P$ の結像性能の劣化を抑制して、基板 P 上に描画されるパターンの解像度（微細度）を高めることができる。また、第 1 シリンドリカルレンズ $C Y 1$ の焦点距離 f_{c1} と第 2 シリンドリカルレンズ $C Y 2$ の焦点距離 f_{c2} を、共に

$f\theta$ レンズ系 FT の焦点距離 $f\theta$ よりも小さくできるため、省スペースな光学系を実現することができ（図 7～図 9 と図 15～図 17 とを参照）、走査ユニット Un の筐体についても小さくすることができるため、軽量化も図れる。

[0094] 第 1 シリンドリカルレンズ $CY1$ は、ポリゴンミラー PM の偏向方向に関して、入射したビーム LBn をポリゴンミラー PM の手前で集光し、レンズ系 $G10$ は、前記偏向方向に関して、第 1 シリンドリカルレンズ $CY1$ によって集光されて発散した後のビーム LBn を平行光にし、前記偏向方向と直交する副走査方向に関して、入射したビーム LBn をポリゴンミラー PM の反射面 RP 上で集光する。これにより、ポリゴンミラー PM に投射されるビーム LBn を、反射面 RP 上で偏向方向に延びたスリット状（長楕円状）に収斂することができる。そして、 $f\theta$ レンズ系 FT は、前記偏向方向に関して、入射したビーム LBn を基板 P 上で集光し、前記偏向方向と直交する方向に関して、レンズ系 $G10$ によって反射面 RP 上で集光されて発散した後のビーム LB を平行光にし、第 2 シリンドリカルレンズ $CY2$ は、前記偏向方向と直交する方向に関して、入射したビーム LBn を基板 P 上で集光する。これにより、反射面 RP が Z 方向に対して傾いている場合（ XY 平面の法線に対する反射面 RP の傾き）があっても、反射面 RP と基板 P とは副走査方向に関しては共役関係（結像関係）になっているため、反射面 RP 毎にビーム LBn の投射位置が副走査方向にずれることを抑制することができる。

[0095] 〔変形例 1〕

本第 1 の実施の形態によれば、第 1 シリンドリカルレンズ $CY1$ および第 2 シリンドリカルレンズ $CY2$ の各々は、実施例 1（図 14）に示したように、ビーム入射側の面が副走査方向に関して一定の曲率半径を有する円筒面に形成され、ビーム射出側の面が平面に形成されレンズで構成される。しかしながら、第 1 シリンドリカルレンズ $CY1$ および第 2 シリンドリカルレンズ $CY2$ の各々の円筒面は、曲率半径が僅かに異なる複数の面を滑らかにつなげた湾曲面（母線と垂直な断面形状では非球面）としてもよい。また、第

1 シリンドリカルレンズCY1 および第2シリンドリカルレンズCY2の各々の平面側を、主走査方向、或いは副走査方向に所定の曲率半径（ ∞ 以外の有限値）を有する円筒面状に加工してもよい。また走査ユニットUnの各々に入射するビームLBn（光源装置14の射出ビーム）の波長 λ は、実施例1や比較例1で設定した紫外域の波長354.7nmに限られず、他の波長（可視域、赤外域の光）でもよい。また、レンズ系G10にて色消しを行えば、波長が異なる複数のビームを同軸（または平行）にポリゴンミラーPMに入射させて、波長が異なる複数のスポット光SPで基板Pの表面を走査することができる。或いは、レンズ系G10の色消しによって、ビームLBnを中心波長に対して一定の波長幅内に強度が分布する広波長帯光とすることもできる。また、ビームLBnは非偏光ではなく偏光成分を持ってもよいし、ビーム断面内の強度分布がガウス分布でなく均一な強度分布（ほぼ矩形または台形の分布）であってもよい。

[0096] [変形例2]

上記第1の実施の形態では、ポリゴンミラーPMを用いて、ビームLBnを偏向させたが、揺動可能なガルバノミラー（可動偏向部材、揺動反射鏡）を用いてビームLBnを偏向させてもよい。この場合も、ガルバノミラーで反射されたビームLBnはf θ レンズ系FTを介して基板P（被照射面）に投射されるので、ガルバノミラーの反射面の面倒れによる補正が必要な場合は、ガルバノミラーの手前に、第1シリンドリカルレンズCY1とレンズ系G10を同様に設け、f θ レンズ系FTの後に第2シリンドリカルレンズCY2を設ければよい。また、レンズ系G10は、2枚の球面レンズG10a、G10bで構成したが単一のレンズ、或いは3枚以上のレンズで構成してもよい。また、レンズ系G10を構成する球面レンズG10a、G10bは、非球面レンズで構成してもよい。さらに、第1光学部材CY1および第2光学部材CY2として、シリンドリカルレンズを用いたが、1方向の屈折力が、その方向と直交する方向の屈折力に対して相対的に大きくなるレンズであればよい。例えば、第1光学部材CY1および第2光学部材CY2として

、トーリックレンズまたはアナモフィックレンズを採用してもよい。

[0097] 〔変形例 3〕

本第 1 の実施の形態によれば、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 の各々は単レンズで構成される。これによって、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 および第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 の製作や組込み（調整）が簡単となり、コストを抑えることができる。しかしながら、ビーム L B n の球面収差の補正のために、特に第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 を複数枚のレンズで構成することも可能である。第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 を複数枚（例えば 2 枚）のレンズで構成する場合、複数枚のレンズ間の母線同士の回転方位を高精度に合致させるための調整作業が必要となる。なお、第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 を複数枚（例えば 2 枚）のレンズで構成する場合、第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 の母線が延びる方向を、比較例 1 のように主走査方向と平行にして、レンズ系 G 1 0 を省略しても、基板 P に投射されるビーム L B n の球面収差を良好に補正することが可能になる。但し、その場合、比較例 1 で示したように第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 の焦点距離 f_{c1} を f_{θ} レンズ系 F T の焦点距離 f_{θ} よりも長くする必要が生じるため、走査ユニット U n の光路の全長は長くなる。しかしながら、 f_{θ} レンズ系 F T の焦点距離 f_{θ} に対して第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 の焦点距離 f_{c2} を小さく設定することもあって、球面収差を小さく抑えることができる。

[0098] この変形例 3、或いは実施例 1（図 1 4～図 1 7）では、ビーム L B n のスポット光 S P を基板 P（被照射体）で 1 次元に走査するビーム走査装置（または描画装置）であって、ビーム L B n を偏向するためのポリゴンミラー P M（ビーム偏向部材）の反射面 R P 上に、副走査方向に関して収斂したビーム L B n を投射するための第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1（第 1 光学部材）と、ポリゴンミラー P M で偏向されたビーム L B n を入射して基板 P に向けて投射するとともに、基板 P 上で 1 次元に走査するための f_{θ} レンズ系 F T（走査用光学系）と、基板 P と f_{θ} レンズ系 F T の間に配置されて、 f

θ レンズ系 F T から射出されるビーム L B n を副走査方向に収斂する単レンズまたは複数枚のレンズによる第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2（第 2 光学部材）とが設けられ、 θ レンズ系 F T の焦点距離 f_{θ} と第 2 シリンドリカルレンズ C Y 2 の焦点距離 f_{c2} との関係を、 $f_{\theta} > f_{c2}$ とすることで、基板 P に所定の開口数を伴って投射されるビーム L B n の球面収差を低減したビーム走査装置（または描画装置）が得られる。

[0099] [第 2 の実施の形態]

先の図 4 でも簡単に説明したが、走査ユニット U n 内のビームエキスパンダー B E を構成するレンズ系 B e 1、B e 2 の間の光路中には、描画ライン S L n を副走査方向（X 方向）に微小シフトさせるために、ソフト用光学部材としての傾斜可能な平行平板 H V P が設けられている。図 20 A、図 20 B は、平行平板 H V P の傾斜によって描画ライン S L n がシフトする様子を説明するもので、図 20 A は、平行平板 H V P の互いに平行な入射面と射出面がビーム L B n の中心線（主光線）に対して 90 度になっている状態を示す図であり、すなわち平行平板 H V P が X Z 面内で傾斜していない状態を示す図である。図 20 B は、平行平板 H V P の互いに平行な入射面と射出面がビーム L B n の中心線（主光線）に対して 90 度から傾いている場合、すなわち平行平板 H V P が Y Z 面に対して角度 η だけ傾斜している状態を示す図である。

[0100] さらに、図 20 A、図 20 B では、平行平板 H V P が傾斜していない状態（角度 $\eta = 0$ 度）のとき、レンズ系 B e 1、B e 2 の光軸 A X e は開口絞り P A の円形開口の中心を通るように設定され、ビームエキスパンダー B E に入射するビーム L B n の中心線は光軸 A X e と同軸になるように調整されているものとする。また、レンズ系 B e 2 の後側焦点の位置は開口絞り P A の円形開口の位置に一致するように配置される。開口絞り P A の位置は、先の図 16 に示した第 1 シリンドリカルレンズ C Y 1 とレンズ系 G 10（球面レンズ G 10 a、10 b）によって、副走査方向に関しては、ポリゴンミラー P M の反射面 R P の位置（或いは θ レンズ系 F T の前側焦点の位置）から

みると、ほぼ瞳の位置になるように設定されている。一方で、主走査方向に関しては、開口絞り PA は、 $f\theta$ レンズ系 FT の前側焦点の位置である入射瞳の位置と光学的に共役になるように配置されている。そのため、平行平板 HVP を角度 η だけ傾けた場合、平行平板 HVP を透過してレンズ系 $Be2$ に入射するビーム LBn （ここでは発散光束）の中心線は、光軸 AXe に対して $-Z$ 方向に微小に平行移動し、レンズ系 $Be2$ から射出するビーム LBn は平行光束に変換されるとともに、ビーム LBn の中心線は光軸 AXe に対して僅かに傾く。

- [0101] レンズ系 $Be2$ の後側焦点の位置は開口絞り PA の円形開口の位置に一致するように配置されているので、レンズ系 $Be2$ から傾いて射出するビーム LBn （平行光束）は、開口絞り PA 上で Z 方向にずれることは無く、円形開口に投射され続ける。したがって、開口絞り PA の円形開口を通過したビーム LBn は、強度分布上の $1/e^2$ の裾野の強度を正確にカットされた状態で、光軸 AXe に対して XZ 面内で副走査方向に僅かに傾いた角度で、後段の第1シリンドリカルレンズ $CY1$ に向かう。開口絞り PA は、副走査方向に関してはポリゴンミラー PM の反射面 RP からみると瞳位置に対応しており、開口絞り PA の円形開口を通過したビーム LBn の副走査方向に関する傾き角に応じて、ポリゴンミラー PM の反射面 RP に入射するビーム LBn （副走査方向に関して収斂）の反射面上での位置が僅かにシフトする。したがって、ポリゴンミラー PM の反射面 RP で反射したビーム LBn も、図4に示した $f\theta$ レンズ系 FT の光軸 AXf を含む XY 面と平行な面に対して僅かに Z 方向にシフトした状態で $f\theta$ レンズ系 FT に入射する。その結果、先の図17で示した光路の場合は、第2シリンドリカルレンズ $CY2$ に入射するビーム LBn が副走査方向に僅かに傾き、基板 P 上に投射されるビーム LBn のスポット光 SP の位置が副走査方向に僅かにシフトすることになる。なお、図4、図20では、ビームエキスパンダー BE を構成するレンズ系 $Be1$ 、 $Be2$ の双方を正の屈折力を有する球面レンズ（凸レンズ）としたが、ビーム LBn の入射側のレンズ系 $Be1$ を負の屈折力を有する球面レンズ

(凹レンズ)としても良い。この場合、レンズ系B e 1から射出するビームL B nは収斂されることなく発散光束となってレンズ系B e 2に入射し、レンズ系B e 2によってビーム径が拡大された平行光束に変換される。

[0102] 先の比較例1のように、第1シリンドリカルレンズC Y 1の母線と第2シリンドリカルレンズC Y 2の母線とを互いに平行に配置し、第2シリンドリカルレンズC Y 2を単レンズで構成した場合、図12、図13で示したように、大きな球面収差が残存する。そのため、平行平板H V Pを比較例1のビームエキスパンダーB E (図7、図8)内に設けて傾けると、第2シリンドリカルレンズC Y 2に入射するビームL B nの位置や傾きが副走査方向に僅かに変化することに起因して、さらに大きな球面収差が発生することになる。これに対して、実施例1のように、第1シリンドリカルレンズC Y 1の母線と第2シリンドリカルレンズC Y 2の母線とを互いに直交する関係で配置するとともに、レンズ系G 10を設けた場合、或いは、変形例3で説明したように第2シリンドリカルレンズC Y 2を複数枚のレンズで構成した場合は、図18、図19で示したように球面収差量をスポット光S Pの実効的なサイズ(直径)φ以下に良好に補正することができる。そのため、平行平板H V Pを傾ける際に、第2シリンドリカルレンズC Y 2に入射するビームL B nの位置や傾きが副走査方向に僅かに変化することに起因して生じる球面収差量の増分も小さく抑えられる。

[0103] 図4(図20)に示した平行平板H V Pは、走査ユニットU nの各々に設けられているので、走査ユニットU n毎に、平行平板H V Pの傾き角度ηを連続的に変化させることで、基板P上に描画されるパターンの副走査方向の局所的な部分を微少な比率で伸縮させることができる。そのため、基板Pの長尺方向(副走査方向)に関して基板Pが部分的に伸縮している場合であっても、基板P上に既に形成された下地パターン(第1層パターン)に対して第2層用のパターンを重ね合せ露光(描画)する際の重ね合せ精度を良好に維持できる。基板Pの長尺方向(副走査方向)の局所的な伸縮は、例えば、基板Pの幅方向の両側に長尺方向に一定のピッチ(例えば10mm)で形成

されるアライメントマークをアライメント顕微鏡で拡大して撮像素子で順次撮像し、マーク位置の長尺方向の変化（マークのピッチ変化等）を画像解析することによって、走査ユニットU_nの各々がパターン描画する直前に予測できる。アライメントマークの配置やアライメント顕微鏡の配置等の一例は、例えば国際公開第2015/152218号パンフレットに開示されている。

請求の範囲

- [請求項1] 光源装置からのビームを被照射体に投射しつつ、前記ビームを前記被照射体上で1次元に走査するビーム走査装置であって、
- 前記ビームを前記1次元の方向に対応した第1の方向に集光する第1光学部材と、
- 前記第1光学部材を通った前記ビームを入射し、前記1次元の走査のために前記ビームを前記第1の方向に偏向するビーム偏向部材と、
- 前記ビーム偏向部材によって偏向された前記ビームを入射し、前記被照射体に向けて投射する走査用光学系と、
- 前記走査用光学系を通った前記ビームを入射し、前記第1の方向と直交する第2の方向に前記ビームを集光する第2光学部材と、
- 前記第1光学部材と前記ビーム偏向部材との間に設けられ、前記第1光学部材を通った前記ビームを前記ビーム偏向部材の位置で前記第2の方向に集光するレンズ系と、
- を備える、ビーム走査装置。
- [請求項2] 請求項1に記載のビーム走査装置であって、
- 前記第1の方向は前記ビーム偏向部材によって前記ビームを前記1次元に走査する主走査方向であり、前記第2の方向は前記主走査方向と直交する副走査方向である、ビーム走査装置。
- [請求項3] 請求項2に記載のビーム走査装置であって、
- 前記ビーム偏向部材は、複数の反射面が連続して回転することによって、前記ビームを前記主走査方向に繰り返し偏向する回転多面鏡である、ビーム走査装置。
- [請求項4] 請求項3に記載のビーム走査装置であって、
- 前記第1光学部材は、前記ビームを前記レンズ系に入射する手前の位置で前記主走査方向に関して集光し、
- 前記第2光学部材は、前記ビームを前記被照射体の位置で前記副走査方向に関して集光する、ビーム走査装置。

- [請求項5] 請求項4に記載のビーム走査装置であって、
前記レンズ系は、前記第1光学部材によって前記主走査方向に集光された後に発散する前記ビームを入射して前記主走査方向に関してはほぼ平行光にするとともに、前記副走査方向に関しては前記回転多面鏡の反射面上で集光する収斂光にする、ビーム走査装置。
- [請求項6] 請求項1～5のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、
前記第1光学部材、前記レンズ系、前記ビーム偏向部材、および前記走査用光学系の各々は、
前記第1光学部材の後側焦点の位置と前記レンズ系の前側焦点の位置とが所定の許容範囲内で一致し、
前記レンズ系の後側焦点の位置と前記走査用光学系の前側焦点の位置とが所定の許容範囲内で前記ビーム偏向部材に位置するように配置される、ビーム走査装置。
- [請求項7] 請求項1～6のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、
前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1の方向における開口数と前記第2の方向における開口数とが所定の許容範囲内で等しく設定される、ビーム走査装置。
- [請求項8] 請求項7に記載のビーム走査装置であって、
前記第1光学部材の焦点距離を f_{c1} 、前記第2光学部材の焦点距離を f_{c2} 、前記レンズ系の焦点距離を f_g 、および、前記走査用光学系の焦点距離を f_θ としたとき、
$$f_g^2 / f_{c1} = f_\theta^2 / f_{c2}$$

の関係を有する、ビーム走査装置。
- [請求項9] 請求項7または8に記載のビーム走査装置であって、
前記第1光学部材に入射する前記ビームを、所定の直径を有する円形断面の光束に整形する開口絞りをさらに備える、ビーム走査装置。
- [請求項10] 請求項9に記載のビーム走査装置であって、
前記被照射体に投射される前記ビームの開口数 NA と前記開口絞り

の直径 ϕa は、

$$\phi a = 2 \times NA (f_{\theta} \times f_{c1} / f_g) = 2 \times NA \times (f_g \times f_{c2} / f_{\theta})$$

の関係を有する、ビーム走査装置。

(但し、 f_{c1} ：前記第1光学部材の焦点距離、 f_{c2} ：前記第2光学部材の焦点距離、 f_g ：前記レンズ系の焦点距離、 f_{θ} ：前記走査用光学系の焦点距離)

[請求項11] 請求項1～10のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、前記第1光学部材に入射する前記ビームは、ビームエキスパンダーによって拡大された光束である、ビーム走査装置。

[請求項12] 請求項1～11のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、前記第1光学部材および前記第2光学部材は単レンズであり、前記レンズ系は複数枚のレンズから構成される、ビーム走査装置。

[請求項13] 請求項1～12のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、前記走査用光学系は、前記ビームの主走査方向の偏向角度の変化と前記被照射体上での投射位置の変化とを比例関係にする f_{θ} レンズ系であり、

前記レンズ系は、少なくとも1つの球面レンズまたは非球面レンズで構成される、ビーム走査装置。

[請求項14] 請求項1～13のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、前記第1光学部材および前記第2光学部材は、母線の延長方向が互いに直交した関係に設置されるシリンドリカルレンズである、ビーム走査装置。

[請求項15] 請求項14に記載のビーム走査装置であって、前記第1光学部材単体にて生じる前記第1の方向に関する球面収差を S_{c1} とし、前記第2光学部材単体にて生じる前記第2の方向に関する球面収差を S_{c2} としたとき、前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1の方向における球面収差 S_1 と、前記第2の方向における

球面収差 S_2 との差分 $|S_1 - S_2|$ が、

$$|S_1 - S_2| < S_{c1} \times f \theta^2 / f_g^2 - S_{c2}$$

の関係式を満たすように設定されている、ビーム走査装置。

(但し、 f_g ：前記レンズ系の焦点距離、 $f \theta$ ：前記走査用光学系の焦点距離)

[請求項16] 請求項14または15に記載のビーム走査装置であって、
前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1の方向に関する球面収差 S_1 と、前記第2の方向に関する球面収差 S_2 とが、

$$S_1 < S_{c1} \times f \theta^2 / f_g^2、且つ、S_2 < S_{c2}$$

の関係式を満たすように設定されている、ビーム走査装置。

(但し、 f_g ：前記レンズ系の焦点距離、 $f \theta$ ：前記走査用光学系の焦点距離、 S_{c1} ：前記第1光学部材単体にて生じる前記第1の方向に関する球面収差、 S_{c2} ：前記第2光学部材単体にて生じる前記第2の方向に関する球面収差)

[請求項17] 請求項14～16のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、

前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1の方向に関する球面収差 S_1 と、前記第2の方向に関する球面収差 S_2 との差分 $|S_1 - S_2|$ が、

$$|S_1 - S_2| < \lambda / NA_y^2、且つ、|S_1 - S_2| < \lambda / NA_x^2$$

の関係式を満たすように設定されている、ビーム走査装置。

(但し、 λ ：前記ビームの波長、 NA_y ：前記ビームの前記第1の方向に関する開口数、 NA_x ：前記ビームの前記第2の方向に関する開口数)

[請求項18] 請求項14～17のいずれか1項に記載のビーム走査装置であって、

前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1の方向に関する球面収差 S_1 と、前記第2の方向に関する球面収差 S_2 とが、

$$S_1 < \lambda / NA_y^2, \text{ 且つ、 } S_2 < \lambda / NA_x^2$$

の関係式を満たすように設定されている、ビーム走査装置。

(但し、 λ ：前記ビームの波長、 NA_y ：前記ビームの前記第1の方向に関する開口数、 NA_x ：前記ビームの前記第2の方向に関する開口数)

[請求項19] 光源装置からのビームを被照射体上で主走査方向に走査しつつ、前記被照射体と前記ビームを副走査方向に相対移動させて、前記被照射体にパターンを描画する描画装置であって、

前記ビームを前記主走査方向に走査するために、前記ビームを入射して前記主走査方向に1次元に偏向する可動偏向部材と、

前記可動偏向部材で1次元に偏向される前記ビームを入射し、前記ビームを前記被照射体上に集光して投射する走査用光学系と、

非等方的な屈折力を有し、前記可動偏向部材に向かう前記ビームを前記主走査方向に関して収斂する第1光学部材と、

非等方的な屈折力を有し、前記走査用光学系から射出して前記被照射体に向かう前記ビームを前記副走査方向に関して収斂する第2光学部材と、

前記第1光学部材と前記可動偏向部材との間に設けられ、前記主走査方向に関して収斂した前記ビームを入射して、前記副走査方向に関して収斂するビームに変換して前記可動偏向部材に向けて射出する等方的な屈折力を有する第3光学部材と、

を備える、描画装置。

[請求項20] 請求項19に記載の描画装置であって、

前記第1光学部材は、前記可動偏向部材に向かう前記ビームを前記第1光学部材と前記可動偏向部材との間の第1の位置において前記主走査方向に関してはビームウェストとなるように集光させ、前記副走査方向に関しては非集光な状態とする、描画装置。

[請求項21] 請求項20に記載の描画装置であって、

前記第3光学部材は、前記第1光学部材からの前記ビームを前記可動偏向部材の偏向位置において前記副走査方向に関してはビームウェストとなるように集光させ、前記主走査方向に関しては非集光な状態とする、描画装置。

[請求項22]

請求項21に記載の描画装置であって、

前記第1光学部材の前記主走査方向に関する屈折力に応じた後側焦点の位置と前記第3光学部材の前側焦点の位置とを、所定の許容範囲内で前記第1の位置と一致させ、

前記第3光学部材の後側焦点の位置と前記走査用光学系の前側焦点の位置とを、所定の許容範囲内で前記可動偏向部材の偏向位置と一致させる、描画装置。

[請求項23]

請求項19～22のいずれか1項に記載の描画装置であって、

前記被照射体上に投射される前記ビームの前記主走査方向の開口数と前記副走査方向の開口数とを所定の許容範囲内で揃えた、描画装置。

[請求項24]

請求項23に記載の描画装置であって、

前記第1光学部材の前記主走査方向に関する屈折力に応じた焦点距離を f_{c1} 、前記第2光学部材の前記副走査方向に関する屈折力に応じた焦点距離を f_{c2} 、前記第3光学部材の焦点距離を f_g 、および、前記走査用光学系の焦点距離を f_θ としたとき、

$$f_g^2 / f_{c1} = f_\theta^2 / f_{c2}$$

の関係を所定の誤差範囲内で満たすように設定される、描画装置。

[請求項25]

請求項24に記載の描画装置であって、

前記第1光学部材に入射する前記ビームを、所定の直径の円形断面の光束に整形する開口絞りをさらに備える、描画装置。

[請求項26]

請求項25に記載の描画装置であって、

前記被照射体上に投射される前記ビームの開口数 NA と前記開口絞りで整形された前記ビームの直径 ϕ_a は、

$$\phi a = 2 \times NA (f \theta \times f_{c1} / f_g) = 2 \times NA \times (f_g \times f_{c2} / f \theta)$$

の関係在所定の誤差範囲内で満たすように設定される、描画装置。

[請求項27]

請求項19～26のいずれか1項に記載の描画装置であって、

前記第1光学部材および前記第2光学部材は非等方な屈折力を有する単レンズで構成され、前記第3光学部材は等方的な屈折力を有する複数枚のレンズで構成される、描画装置。

[請求項28]

請求項19～27のいずれか1項に記載の描画装置であって、

前記第1光学部材および前記第2光学部材は、前記ビームが進む光路と垂直な面内で互いに直交する方向に関する屈折力が異なるシリンドリカルレンズ、トーリックレンズ、およびアナモフィックレンズのいずれか1つを含み、

前記第3光学部材は、前記ビームが進む光路と垂直な面内で等方的な屈折力を有する球面レンズまたは非球面レンズを含む、描画装置。

[請求項29]

請求項19～28のいずれか1項に記載の描画装置であって、

前記可動偏向部材は、前記ビームを反射させる反射面を有し、該反射面の角度が前記主走査方向に関して変化する回転多面鏡、または揺動反射鏡であり、

前記走査用光学系は、前記可動偏向部材で偏向される前記ビームの偏向角と前記被照射体上に投射される前記ビームの像高位置とが比例関係になる $f \theta$ レンズ系である、描画装置。

[請求項30]

可動偏向部材で第1方向に偏向されるビームを、走査用光学系によって被照射体上に投射しつつ前記被照射体上で前記第1方向に沿って1次元走査して前記被照射体にパターンを描画する描画装置であって、

前記可動偏向部材に投射される前記ビームを前記第1方向と直交した第2方向に関して収斂させるための非等方的な屈折力を有する第1レンズ部材を含む第1調整光学系と、

前記走査用光学系から前記被照射体に向かう前記ビームを前記第2方向に関して収斂させるための非等方的な屈折力を有する第2レンズ部材を含む第2調整光学系と、

を備え、

前記ビームの波長を λ 、前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1方向に関する開口数を NA_y 、前記第2方向に関する開口数を NA_x 、前記被照射体に投射される前記ビームの前記第1方向に関する球面収差を S_1 、前記第2方向に関する球面収差を S_2 としたとき、前記第1レンズ部材と前記第2レンズ部材は、

$$S_1 < \lambda / NA_y^2, \text{ 且つ、 } S_2 < \lambda / NA_x^2, \text{ となる条件と、}$$

$|S_1 - S_2| < \lambda / NA_y^2$ 、且つ、 $|S_1 - S_2| < \lambda / NA_x^2$ 、となる条件とのいずれか一方を満たすように設定される、描画装置。

[請求項31]

請求項30に記載の描画装置であって、

前記第1調整光学系は、前記第1レンズ部材を通った前記ビームを入射して前記可動偏向部材に向けて投射する等方的な屈折力を有する第3レンズ部材を含み、

前記第1レンズ部材は、前記第1レンズ部材と前記第3レンズ部材との間で前記ビームを前記第1方向に関して収斂するように配置される、描画装置。

[請求項32]

請求項31に記載の描画装置であって、

前記ビームを発生する光源装置をさらに備え、

前記第1調整光学系は、前記光源装置から射出される前記ビームの直径を拡大するビームエキスパンダー系をさらに含む、描画装置。

[請求項33]

請求項32に記載の描画装置であって、

前記第1方向に関する前記球面収差 S_1 は、前記ビームエキスパンダー系、前記第1レンズ部材、前記第3レンズ部材、および前記走査用光学系によって発生し、

前記第2方向に関する前記球面収差 S_2 は、前記ビームエキスパン

ダー系、前記第3レンズ部材、前記走査用光学系、および前記第2レンズ部材によって発生する、描画装置。

[請求項34]

被照射体上の主走査方向に沿ってパターン描画用のビームを1次元走査すると共に、前記主走査方向と交差した副走査方向に前記被照射体と前記ビームとを相対移動させて、前記被照射体にパターンを描画する描画装置であって、

前記ビームを発生する為のビーム生成装置と、

前記ビーム生成装置からの前記ビームを、ビーム径を拡大させた平行光束に変換するビームエキスパンダーと、

前記ビームエキスパンダーで変換された前記ビームを入射して前記主走査方向に対応した方向に1次元偏向するビーム偏向部材と、

前記1次元偏向された前記ビームを入射して前記被照射体上に前記ビームのスポットを集光する為の走査用光学系と、

前記ビームエキスパンダーと前記ビーム偏向部材との間に設けられ、前記ビームエキスパンダーで変換された前記ビームを入射して、前記ビーム偏向部材上に投射される前記ビームを前記副走査方向に対応した方向に収斂させるための非等方的な屈折力を有する第1光学素子を含む第1光学系と、

前記走査用光学系から射出して前記被照射体に向かう前記ビームを前記副走査方向に収斂させるための非等方的な屈折力を有する第2光学素子を含む第2光学系と、

前記ビームエキスパンダーの光路中に設けられ、前記ビームの光路を前記副走査方向に対応した方向にシフトさせるシフト用光学部材と、

を備える、描画装置。

[請求項35]

請求項34に記載の描画装置であって、

前記ビームエキスパンダーは、前記ビーム生成装置からの前記ビームを入射する第1レンズ系と、該第1レンズ系を通った前記ビームを

平行光束に変換する第2レンズ系と含み、

前記シフト用光学部材は、前記第1レンズ系と前記第2レンズ系との間に傾斜角可変に配置される平行平板である、描画装置。

[請求項36]

請求項35に記載の描画装置であって、

前記ビームエキスパンダーの前記第2レンズ系の後側焦点の位置に配置され、前記ビームエキスパンダーで拡大された前記ビームの強度分布上の裾野の強度をカットする開口絞りを、更に備える、描画装置。

[請求項37]

請求項36に記載の描画装置であって、

前記ビーム偏向部材は、前記ビームエキスパンダーからの前記ビームを前記走査用光学系に向けて反射させると共に、前記主走査方向に対応した方向に角度が変化する反射面を有し、

前記ビーム偏向部材の前記反射面は、前記副走査方向に対応した方向については、前記走査用光学系と前記第2光学系とによって、前記被照射体と光学的に共役になるように配置され、前記主走査方向に対応した方向については、前記走査用光学系の前側焦点の位置に配置される、描画装置。

[請求項38]

請求項37に記載の描画装置であって、

前記開口絞りの位置は、前記ビーム偏向部材の前記反射面からみたとき、前記副走査方向に対応した方向については、前記第1光学系のほぼ瞳の位置に設定され、前記主走査方向に対応した方向については、前記第1光学系によって前記ビーム偏向部材の前記反射面の位置又は前記走査用光学系の前側焦点の位置と光学的に共役になるように設定される、描画装置。

[請求項39]

請求項38に記載の描画装置であって、

前記第1光学系の前記第1光学素子は、前記主走査方向に対応した方向にだけ屈折力を有し、前記開口絞りを通った前記ビームを入射する第1シリンドリカルレンズであり、

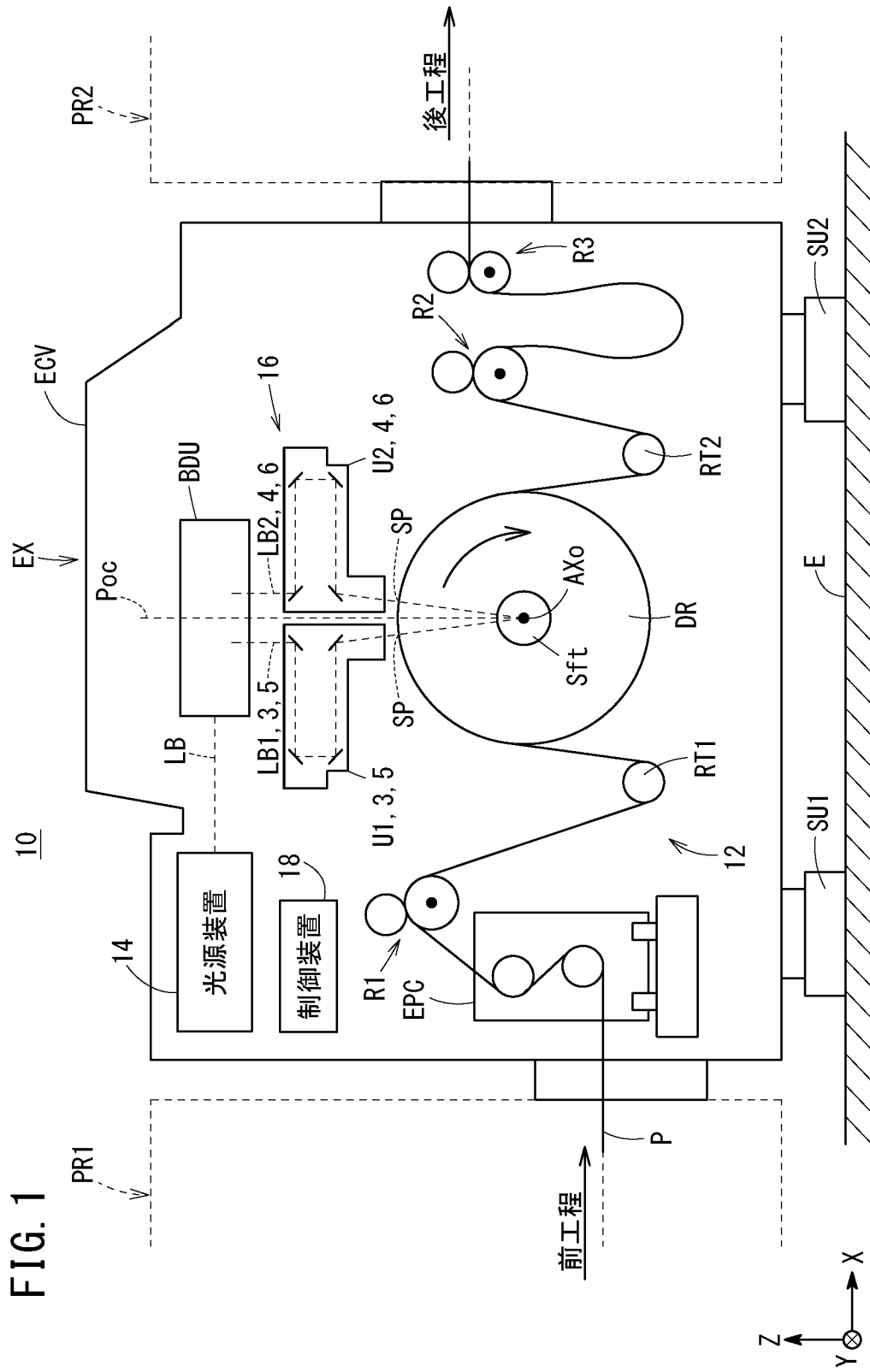
前記第 2 光学系の前記第 2 光学素子は、前記副走査方向に対応した方向にだけ屈折力を有する第 2 シリンドリカルレンズである、描画装置。

[請求項 40]

請求項 39 に記載の描画装置であって、

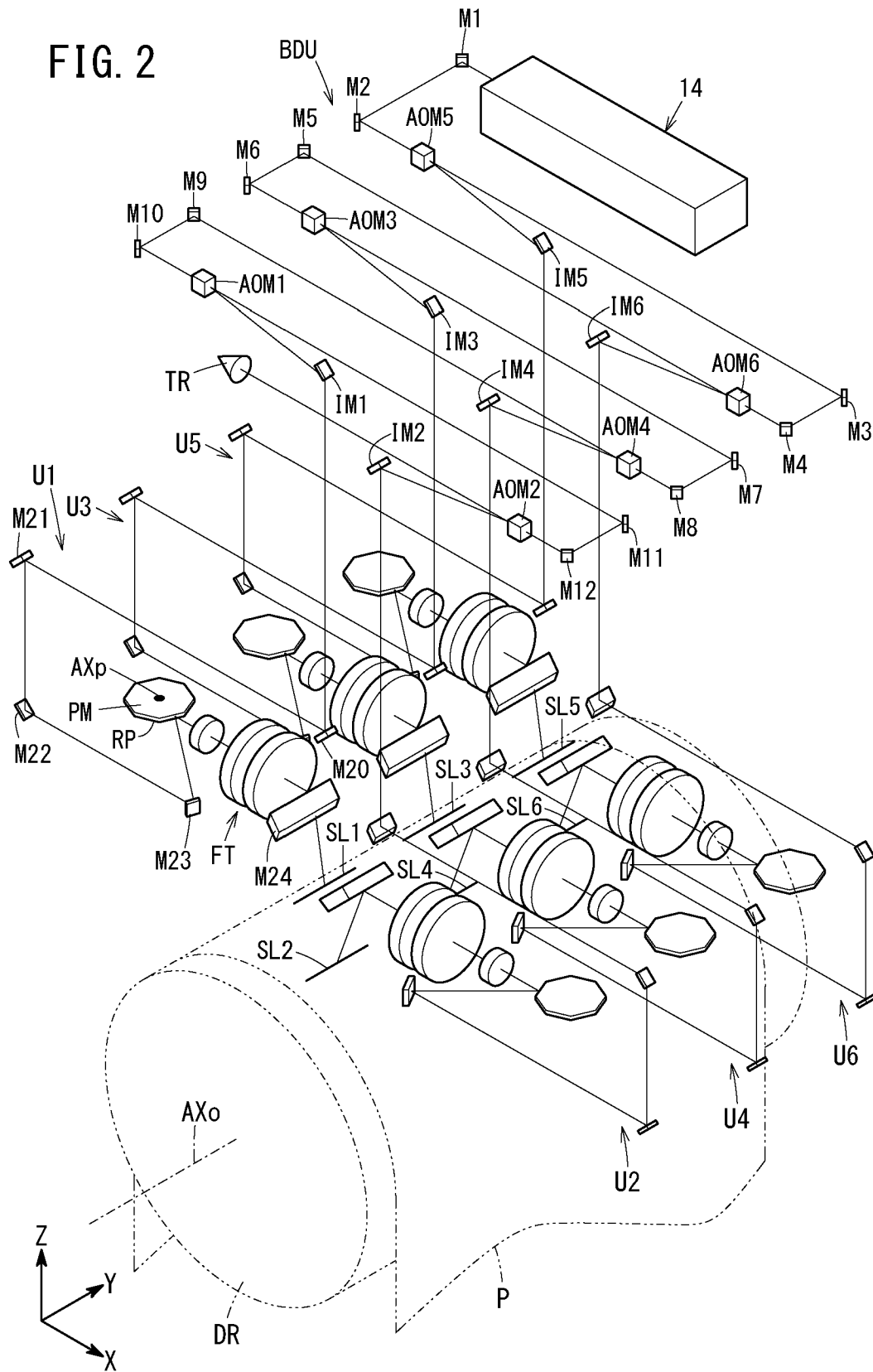
前記第 1 光学系は、前記第 1 シリンドリカルレンズを通った前記ビームを入射して、前記ビーム偏向部材の前記反射面に向けて射出する等方的な屈折力を有する球面又は非球面のレンズを含む、描画装置。

[図1]



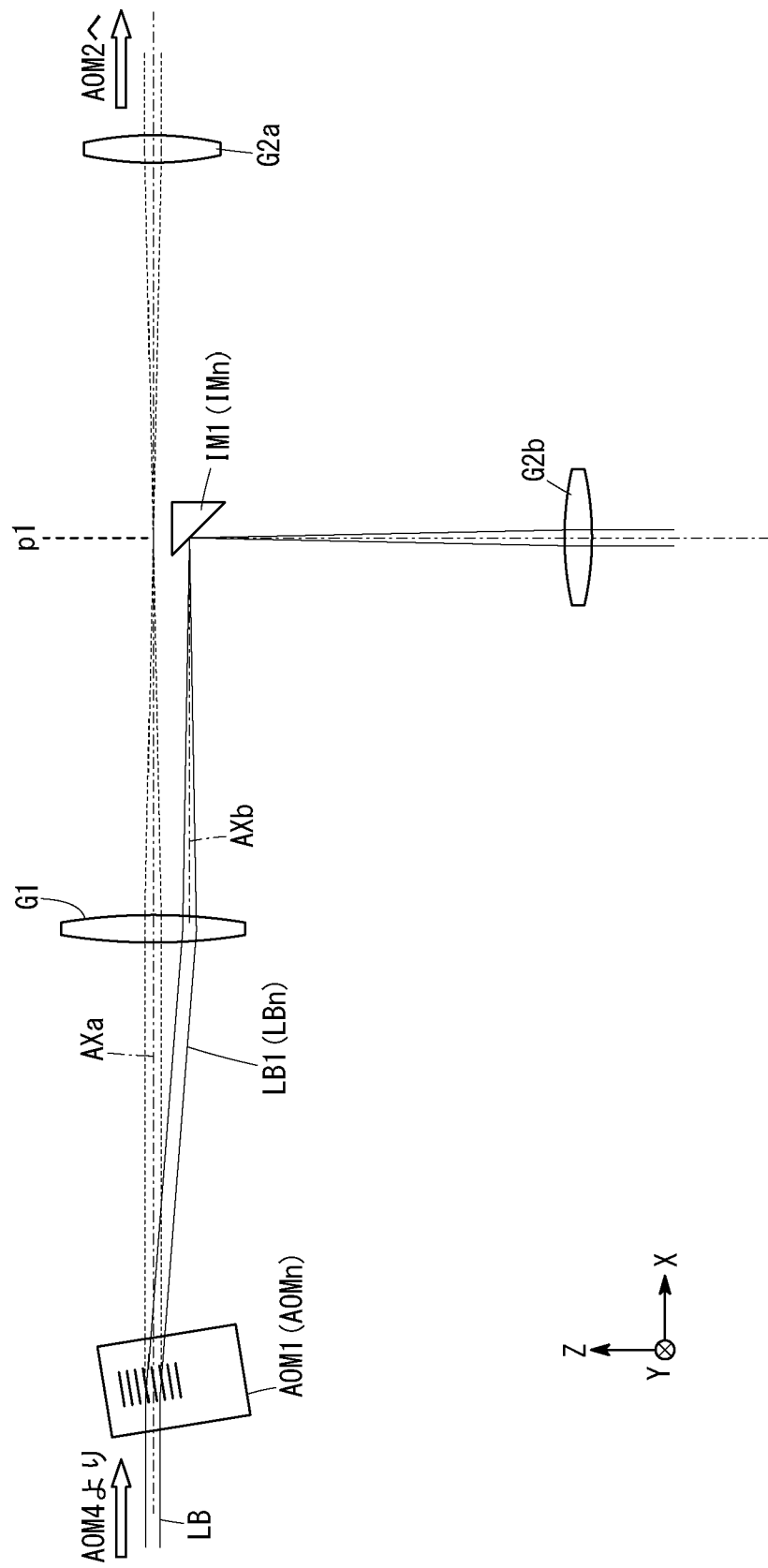
[図2]

FIG. 2

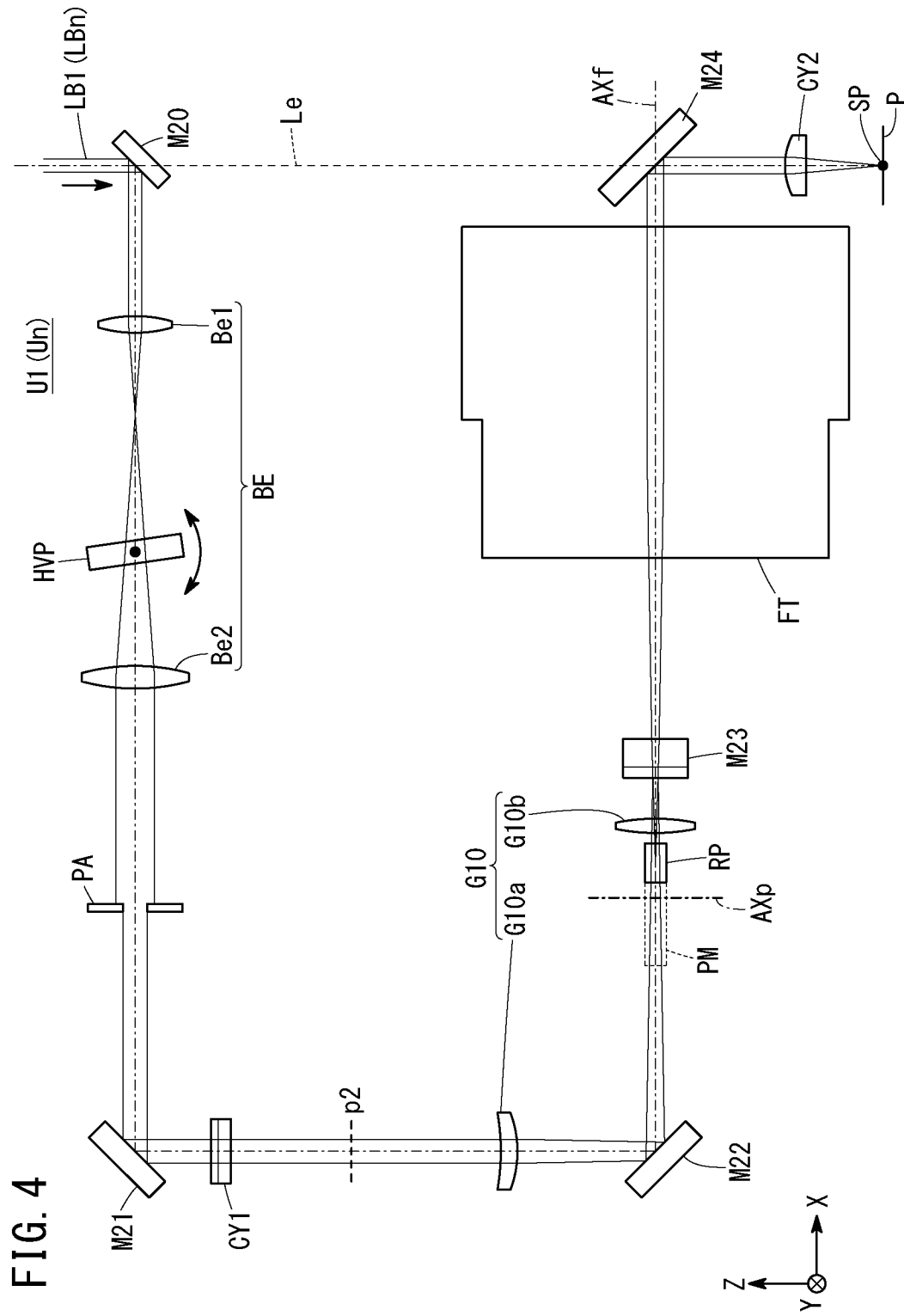


[図3]

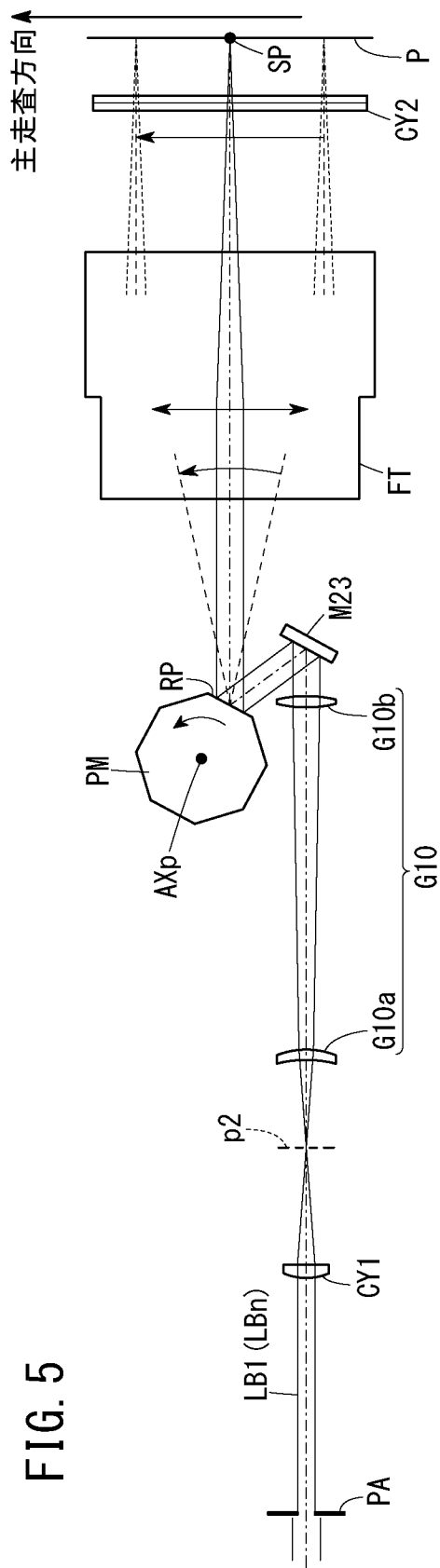
FIG. 3



[図4]



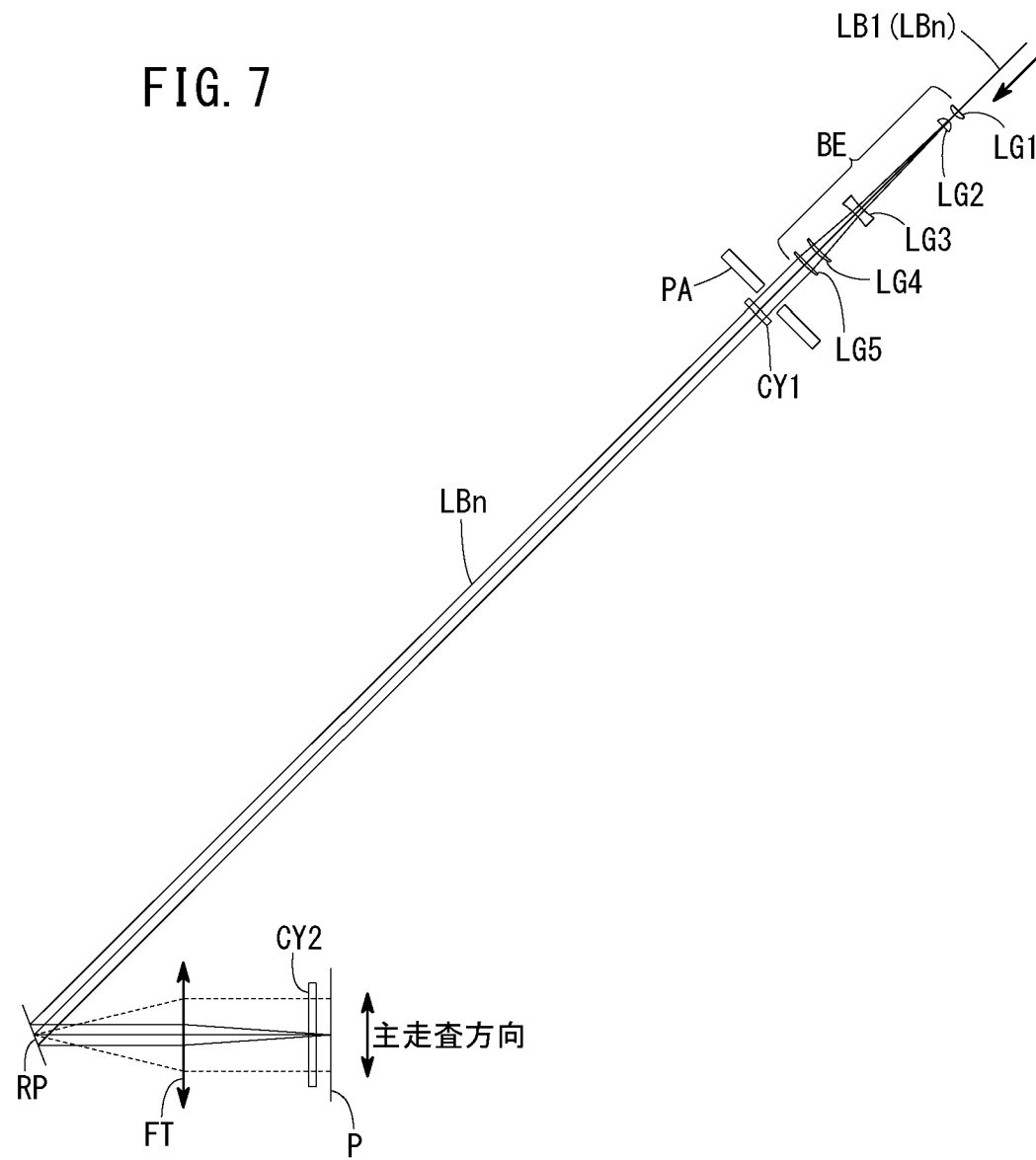
[図5]



[図6]

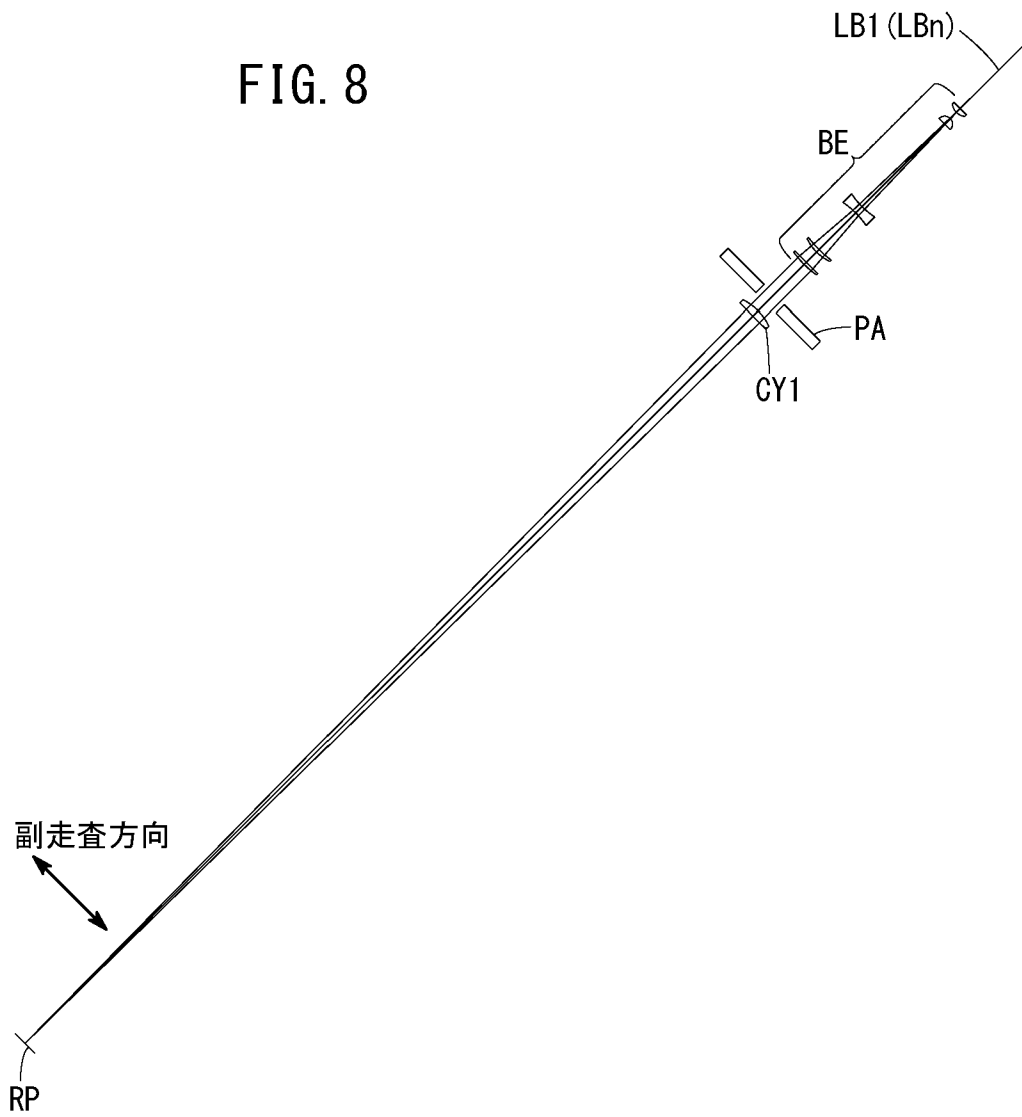
面番号		主走査方向 曲率半径(mm)	副走査方向 曲率半径(mm)	面間隔(mm)	屈折率
ビームエキスパンダ (×24)	0	∞	∞	∞	
	1	51.8285955	51.8285955	3.736889	1.476124
	2	-8.498180474	-8.498180474	5.626997	
	3	5.1188683	5.1188683	5.994817	1.476124
	4	-33.03925557	-33.03925557	77.39106	
	5	-48.26079747	-48.26079747	5.999471	1.476124
	6	42.89271413	42.89271413	34.88135	
	7	-80.03009642	-80.03009642	2.26939	1.476124
	8	-33.05495389	-33.05495389	9.657206	
	9	-529.3991109	-529.3991109	2.169516	1.476124
開口絞り(12mmφ) 第1シリンドリカルレンズ (f _{c1} =693.1mm) ポリゴンミラー fθレンズ系 (f _θ =100mm) 第2シリンドリカルレンズ (f _{c2} =14.5mm)	10	-72.86358553	-72.86358553	32.5	
	11	∞	∞	10	
	12	∞	330	4	1.476124
	13	∞	∞	688.7058	
	14	∞	∞	-101.621	
	15	理想f-θレンズ		0	
	16			-85.5312	
	17	∞	-6.9	-4	1.476124
	18	∞	∞	-11.7347	

[図7]



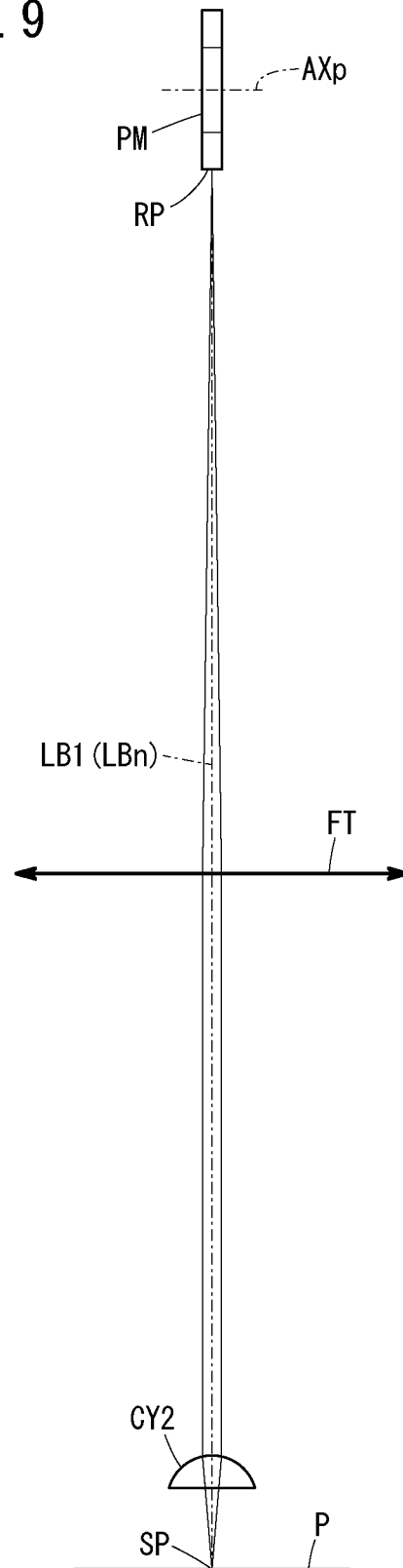
[図8]

FIG. 8



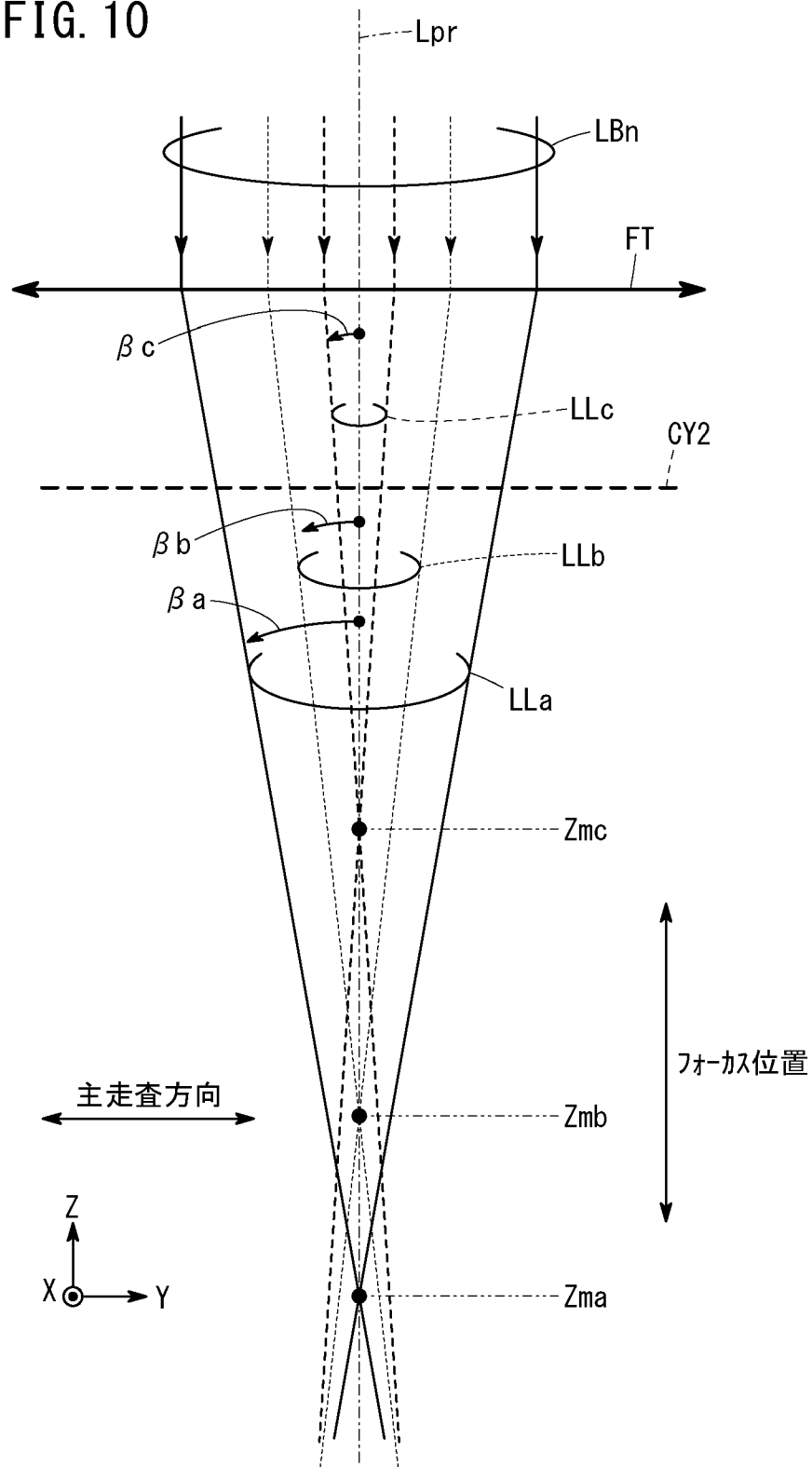
[図9]

FIG. 9



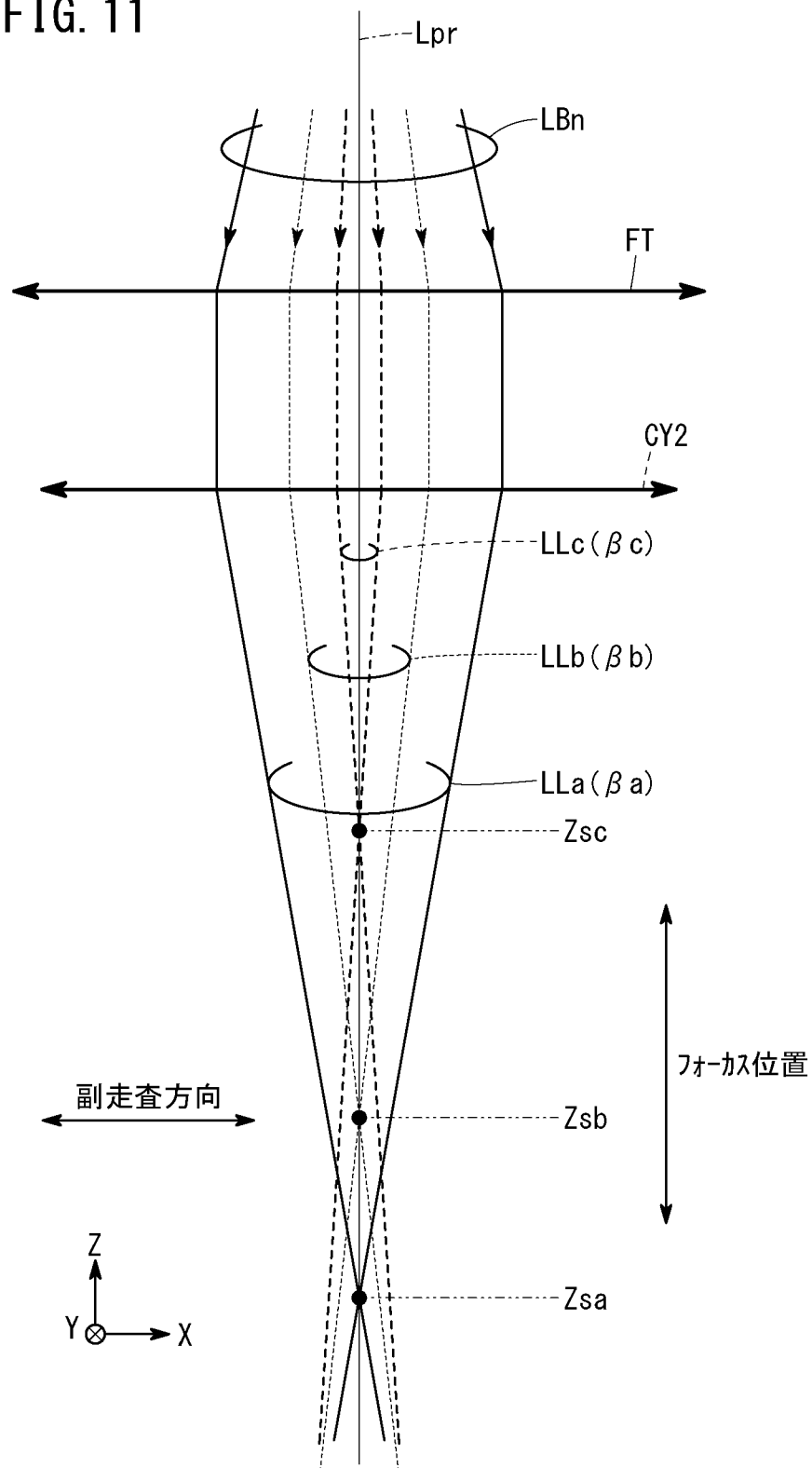
[図10]

FIG. 10



[図11]

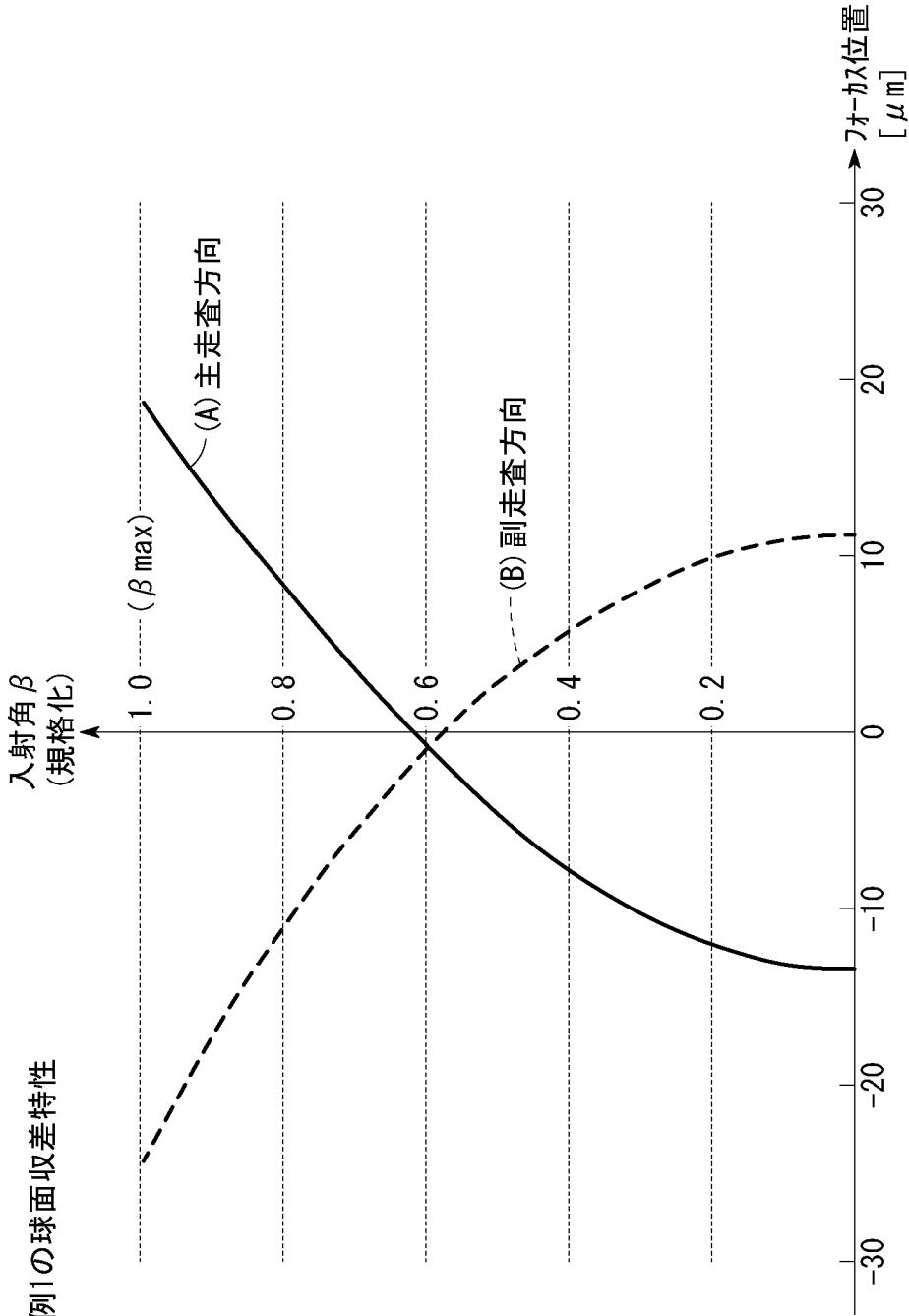
FIG. 11



[図12]

FIG. 12

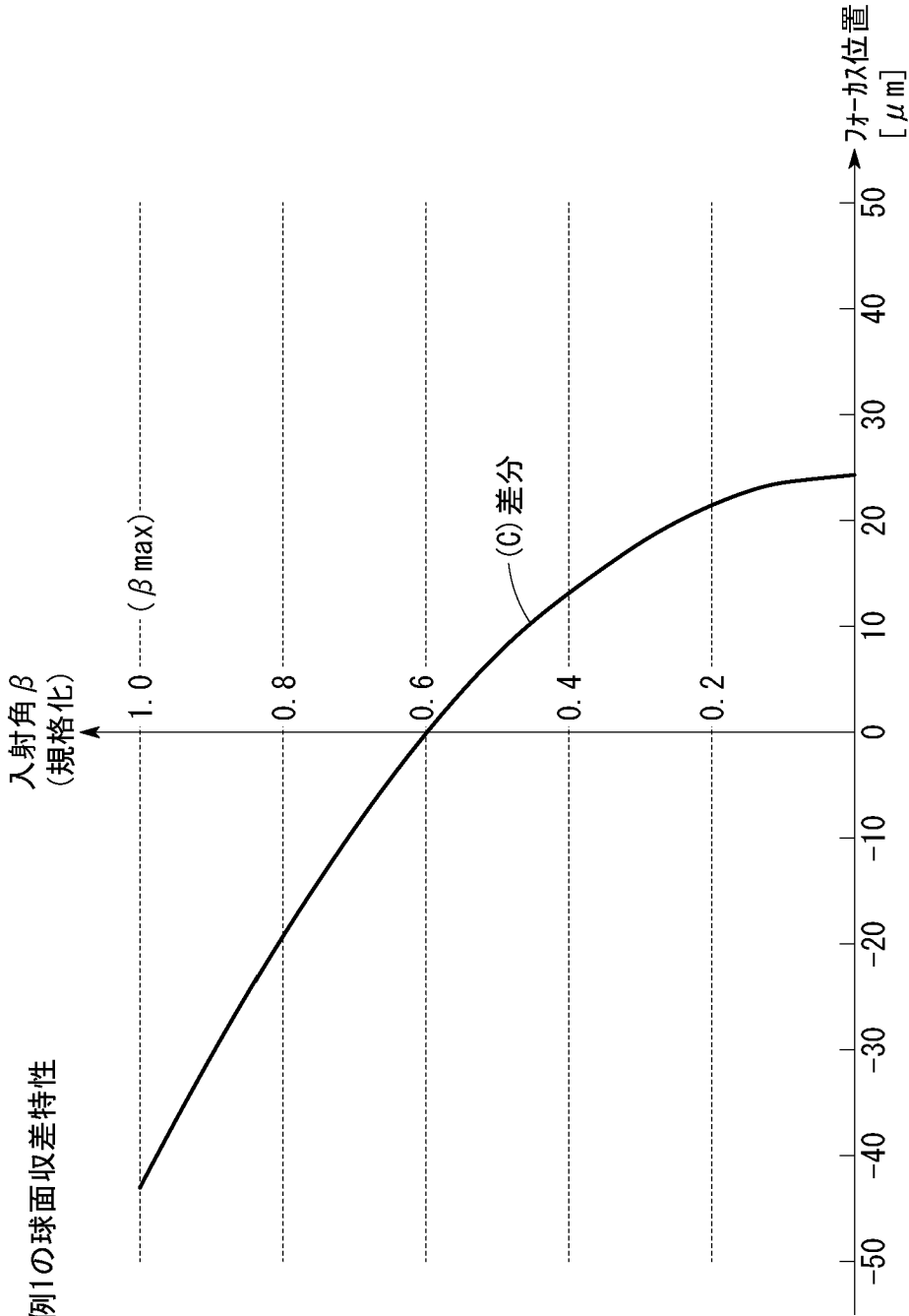
比較例1の球面収差特性



[図13]

FIG. 13

比較例1の球面収差特性



[図14]

FIG. 14

面番号	主走査方向 曲率半径(mm)	副走査方向 曲率半径(mm)	面間隔(mm)	屈折率
0	∞	∞	∞	
1	27.82621993	27.82621993	1.9540385	1.476124
2	-27.2083464	-27.2083464	1	
3	20.10576893	20.10576893	4	1.476124
4	-16.17631742	-16.17631742	84.263656	
5	-25.52009119	-25.52009119	4	1.476124
6	-12.617603	-12.617603	10	
7	-6.592861686	-6.592861686	4	1.476124
8	-8.794584964	-8.794584964	25	
9	∞	∞	114.32868	
10	27.6	∞	4	1.476124
11	∞	∞	133.11619	
12	-23.2735598	-23.2735598	6	
13	-20.81955903	-20.81955903	193.23973	
14	∞	∞	6	
15	-168.2166414	-168.2166414	43.319658	
16	∞	∞	-101.5803	
17	理想f- θ レンズ		0	
18			-85.57326	
19	∞	-6.9	-4	1.476124
20	∞	∞	-11.719225	

ビームエキスパンダ
($\times 7$)

開口絞り(3.5mm ϕ)

第1シリンドリカルレンズ
($f_{c1}=58\text{mm}$)

球面レンズ系
($f_g=201.2\text{mm}$)

ポリゴンミラー

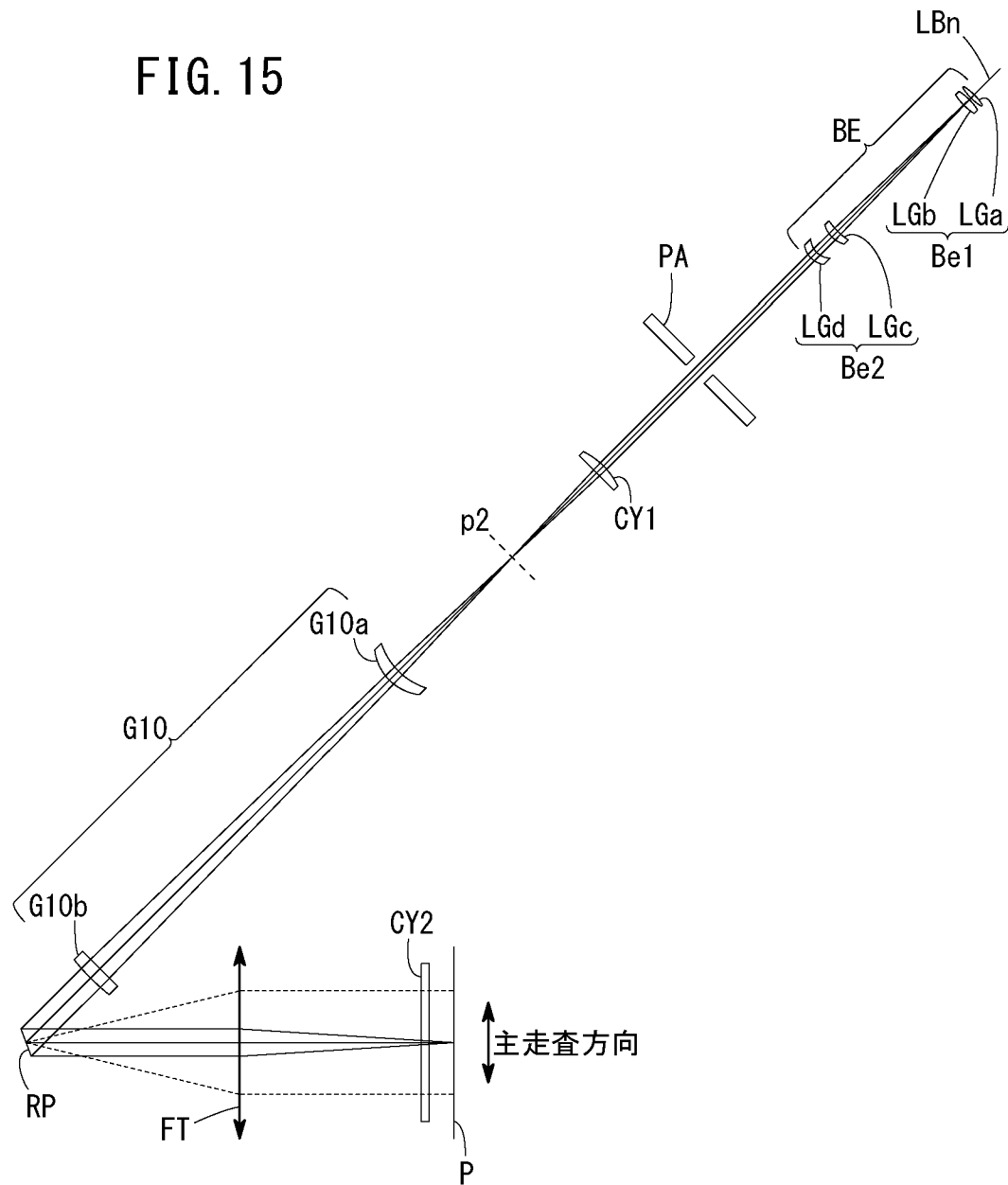
f θ レンズ系
($f_{\theta}=100\text{mm}$)

第2シリンドリカルレンズ
($f_{c2}=14.5\text{mm}$)

LGa LGb LGc LGd PA CY1 G10a G10b RP FT CY2

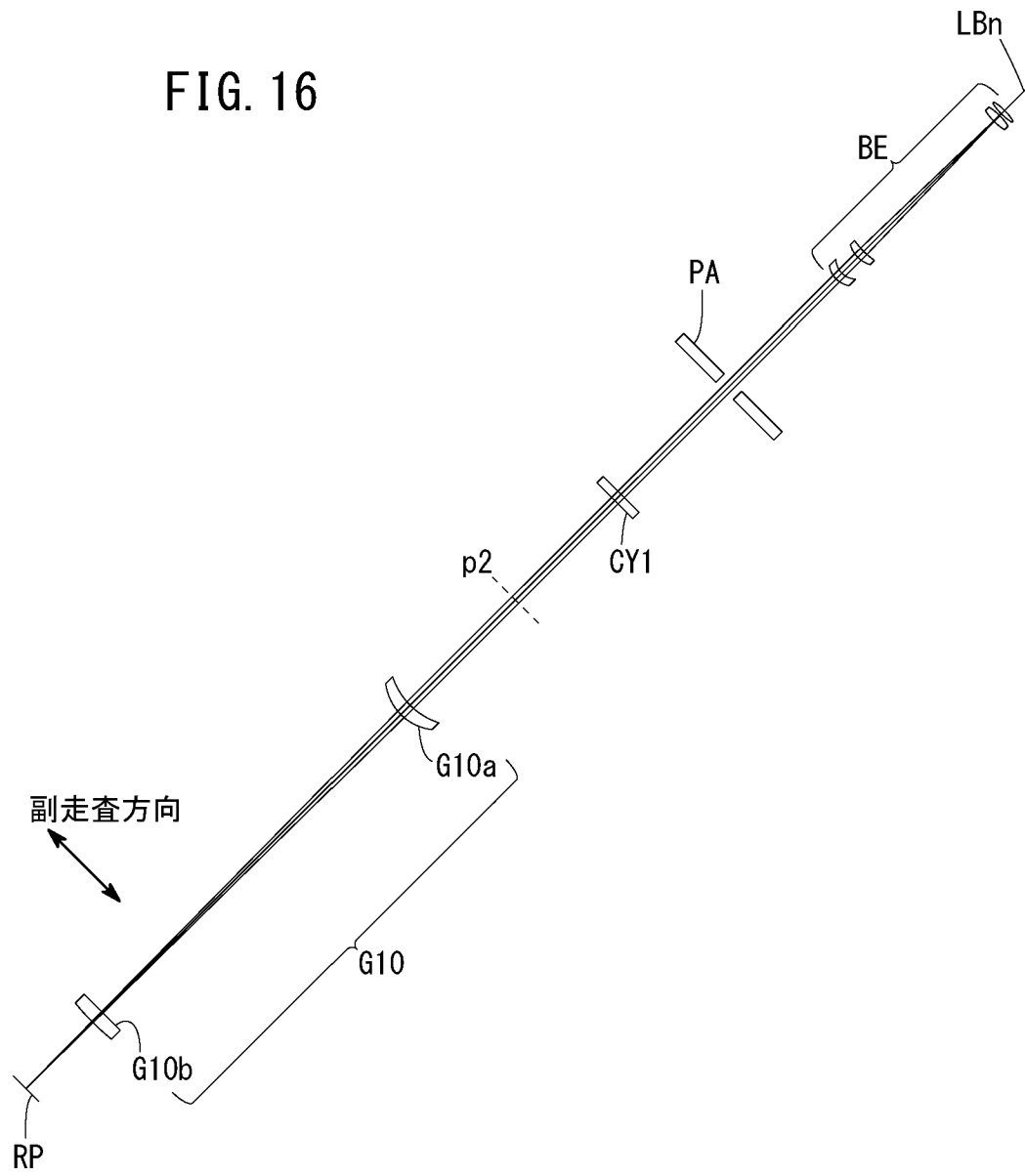
[図15]

FIG. 15



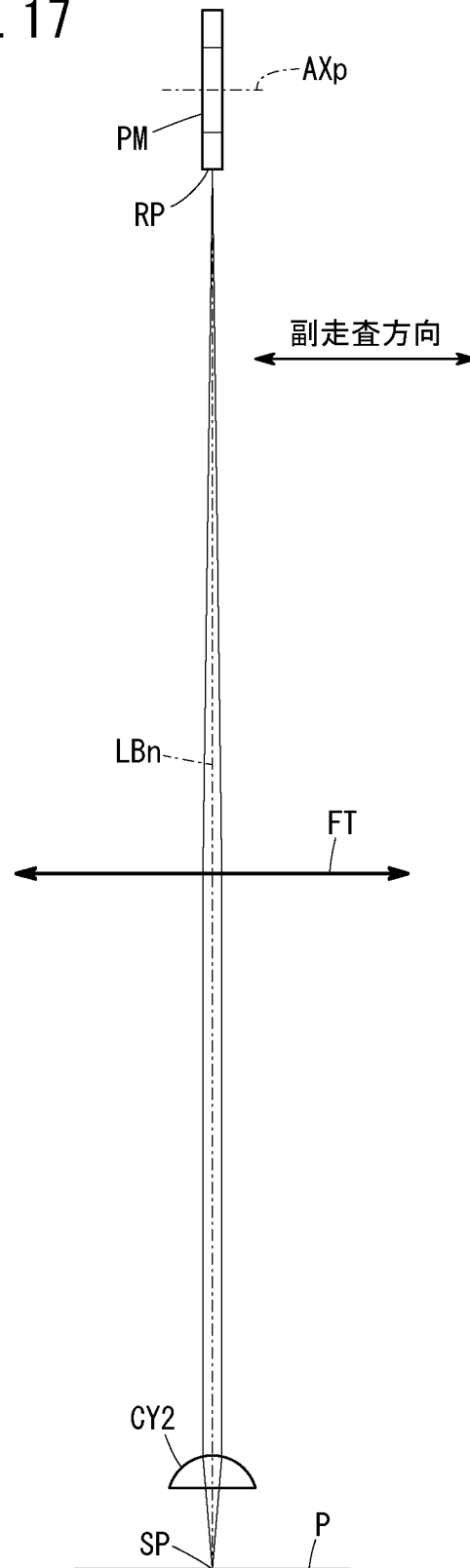
[図16]

FIG. 16



[図17]

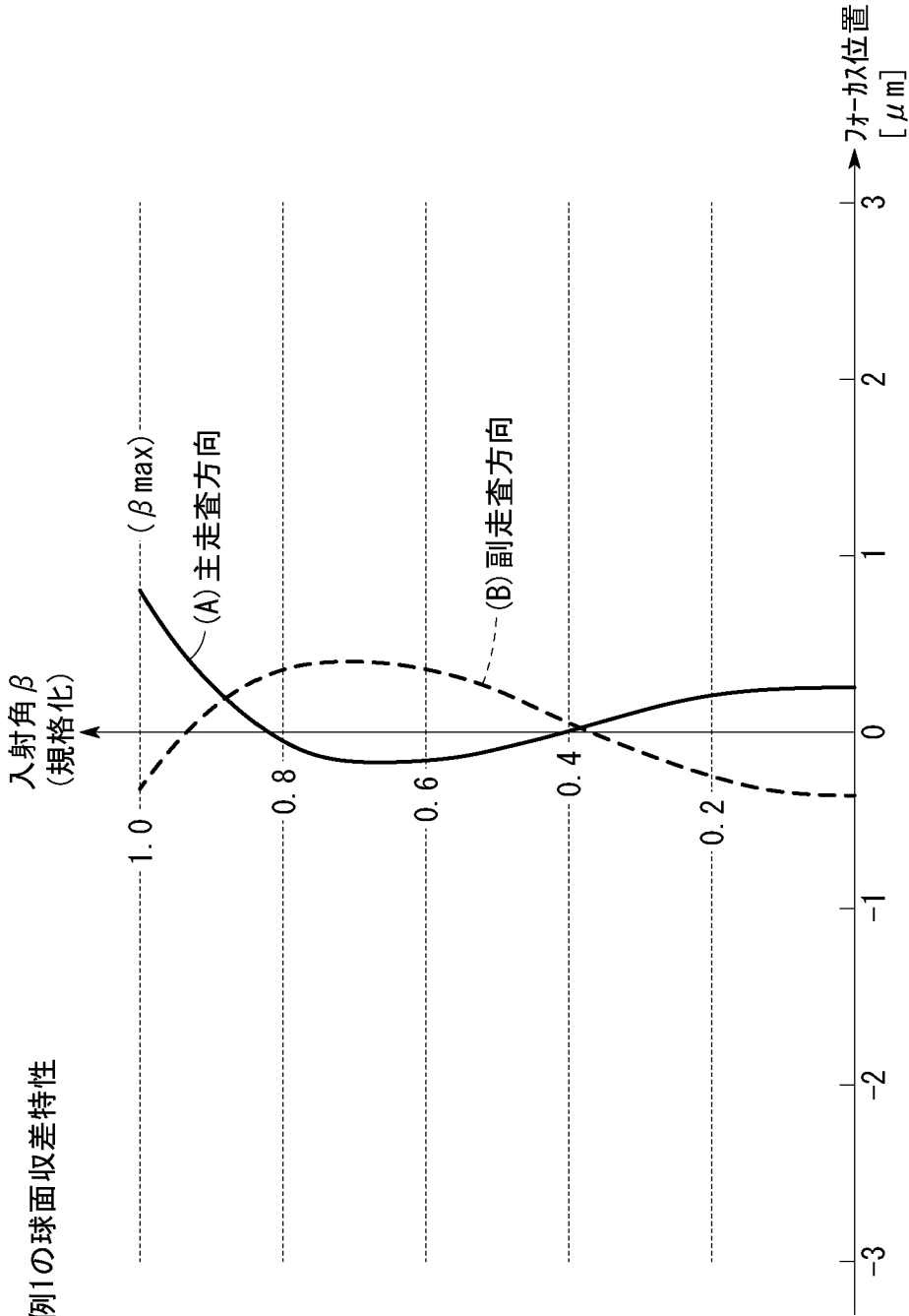
FIG. 17



[図18]

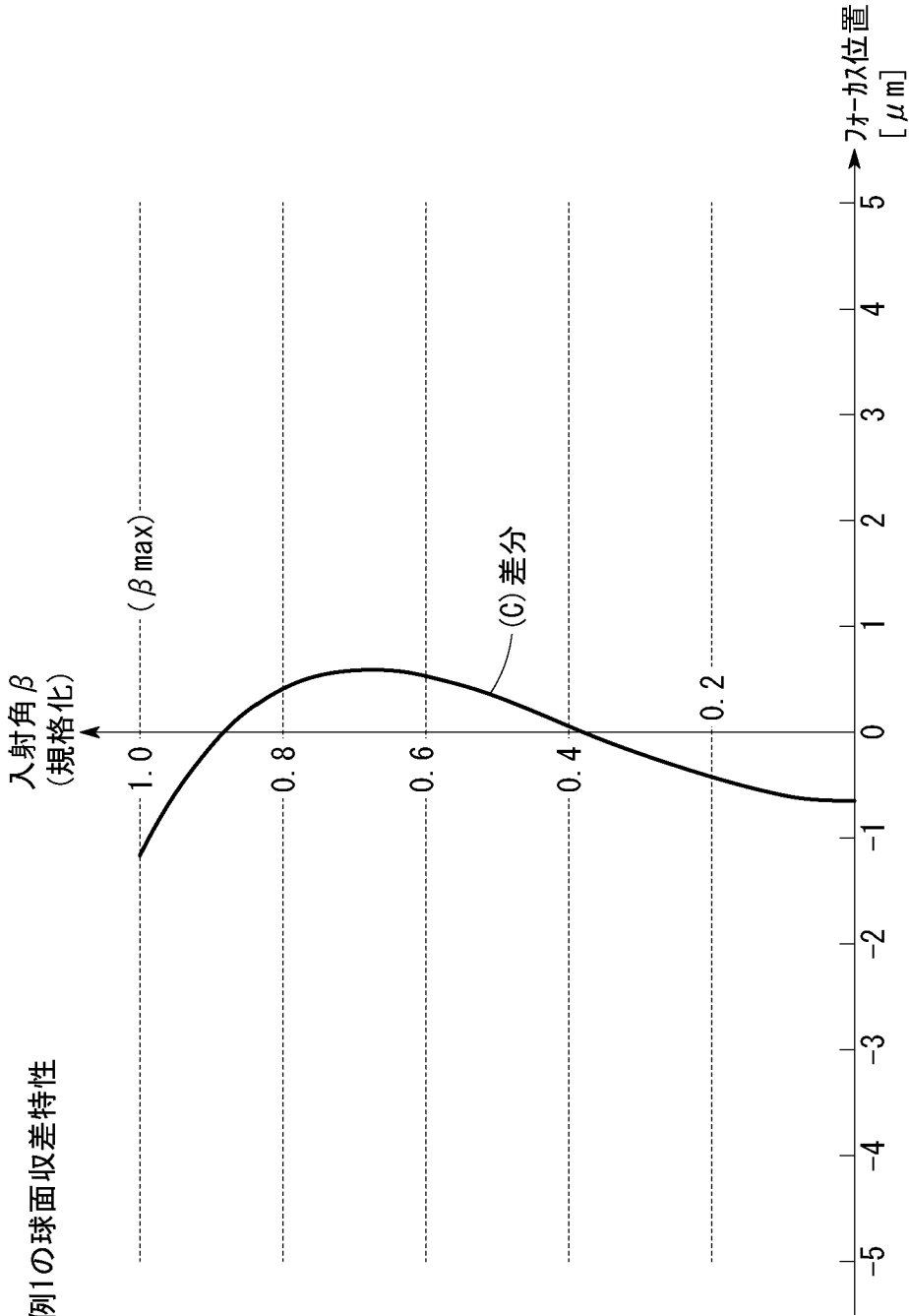
FIG. 18

実施例1の球面収差特性



[図19]

FIG. 19
実施例1の球面収差特性



[図20]

FIG. 20A

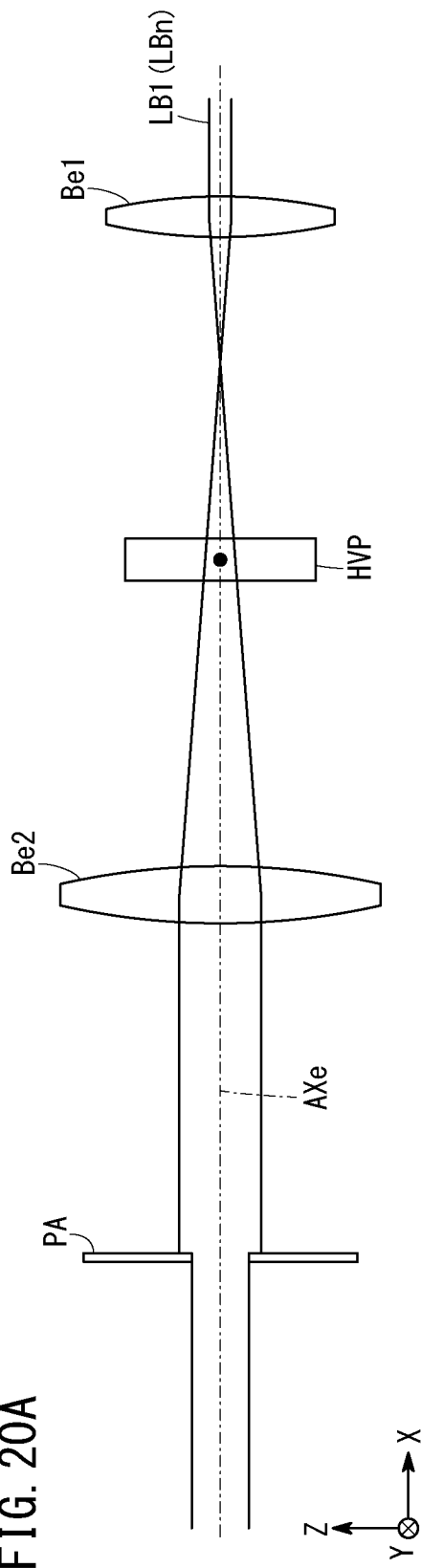
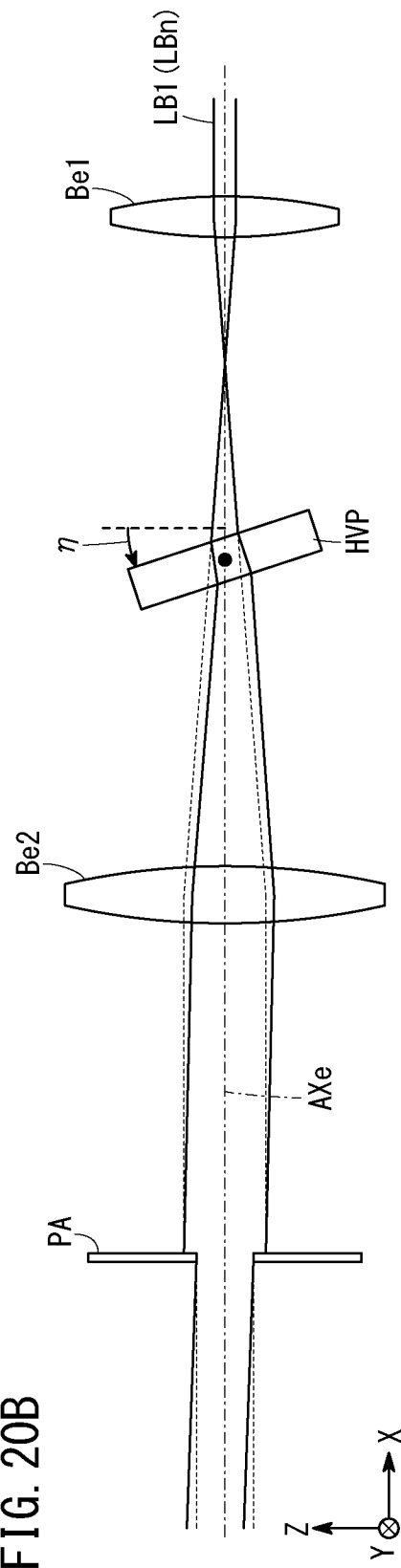


FIG. 20B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/016274

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F7/20(2006.01)i, G02B26/10(2006.01)i, G02B26/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F7/20, G02B26/10, G02B26/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2006-267719 A (Hitachi Via Mechanics, Ltd.), 05 October 2006 (05.10.2006), paragraphs [0015] to [0049]; fig. 1 to 6	1-6, 12-14, 19-22, 27-29
Y	& US 2006/0215139 A1 paragraphs [0026] to [0063]; fig. 1 to 6 & DE 102006006797 A & NL 1031119 A & KR 10-2006-0103099 A & CN 1837962 A & NL 1031119 C & TW 200634442 A	11
Y	JP 2007-299918 A (Nikon Corp.), 15 November 2007 (15.11.2007), paragraphs [0113] to [0115]; fig. 14 (Family: none)	11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 July 2017 (13.07.17)

Date of mailing of the international search report
01 August 2017 (01.08.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/016274

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-33960 A (Seiko Epson Corp.), 10 March 2016 (10.03.2016), paragraphs [0022] to [0026]; fig. 1 (Family: none)	1-40
A	WO 2015/152217 A1 (Nikon Corp.), 08 October 2015 (08.10.2015), paragraphs [0077] to [0090]; fig. 4, 7 to 8 & CN 106164779 A & KR 10-2017-0002374 A & TW 201539154 A	1-40
A	JP 2009-210726 A (Hitachi Via Mechanics, Ltd.), 17 September 2009 (17.09.2009), entire text; all drawings & CN 101526743 A & TW 200947139 A	1-40

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G03F7/20(2006.01)i, G02B26/10(2006.01)i, G02B26/12(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G03F7/20, G02B26/10, G02B26/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2006-267719 A（日立ビアメカニクス株式会社）2006.10.05, 段落[0015] - [0049], 図1 - 図6 & US 2006/0215139 A1, 段落[0026] - [0063], 図1 - 図6 & DE 102006006797 A & NL 1031119 A & KR 10-2006-0103099 A & CN 1837962 A & NL 1031119 C & TW 200634442 A	1-6, 12-14, 19-22, 27-29
Y		11
Y	JP 2007-299918 A（株式会社ニコン）2007.11.15, 段落[0113] - [0115], 図14（ファミリーなし）	11

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13.07.2017

国際調査報告の発送日

01.08.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

植木 隆和

2G

3706

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2016-33960 A (セイコーエプソン株式会社)2016.03.10, 段落[0 0 2 2] – [0 0 2 6], 図1 (ファミリーなし)	1-40
A	WO 2015/152217 A1 (株式会社ニコン)2015.10.08, 段落[0 0 7 7] – [0 0 9 0], 図4, 図7 – 図8 & CN 106164779 A & KR 10-2017-0002374 A & TW 201539154 A	1-40
A	JP 2009-210726 A (日立ビアメカニクス株式会社)2009.09.17, 全文, 全図 & CN 101526743 A & TW 200947139 A	1-40