

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003年3月27日 (27.03.2003)

PCT

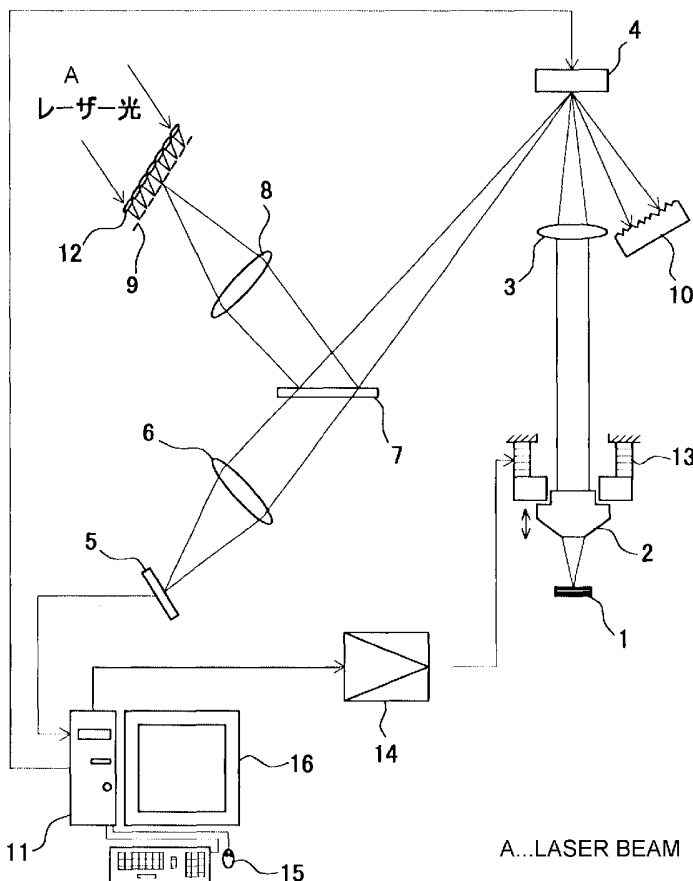
(10) 国際公開番号
WO 03/025656 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 26/10, 21/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/07598
- (22) 国際出願日: 2001年9月3日 (03.09.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 林創研 (KABUSHIKI KAISHA HAYASHI SOKEN) [JP/JP]; 〒300-2635 茨城県つくば市東光台3-3-1 シャトー中野103号 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 林 徹 (HAYASHI, Tohoru) [JP/JP]; 〒300-2635 茨城県つくば市東光台3-3-1 シャトー中野103号 株式会社 林創研内 Ibaraki (JP). 山田 亨 (YAMADA, Toru) [JP/JP]; 〒302-0005 茨城県取手市東2-8-45 ドミール東506号室 Ibaraki (JP). 石坂昭三 (ISHIZAKA, Shozo) [JP/JP]; 〒930-1291 富山県新川郡大山町東黒牧65-1 富山国際大学 地域研究交流センター内 Toyama (JP).
- (74) 代理人: 弁理士 中野佳直 (NAKANO, Yoshinao); 〒300-1236 茨城県牛久市田宮町466番47号 Ibaraki (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, JP, US.

[続葉有]

(54) Title: DIGITAL CONTROL SCANNING METHOD AND APPARATUS

(54) 発明の名称: デジタル制御走査方法および装置



(57) Abstract: By using a micro light beam deflecting device (DMD) (4) which has a plurality of two-dimensionally arranged micro mirrors inclanable with digital signals, the inclination of each micro mirror on the DMD (4) is scanned, the real image of a light source (a point light source, surface a light source) is formed on the micro mirrors, the real image is formed by an objective lens (2) to illuminate a point or a micro area in the space of a sample (1). The real image of a fluorescent light or a scattered light from the point or micro area is formed by the scanning by the objective lens (2) on the inclined micro mirrors and picked up by a charge coupled device (CCD) (5).

[続葉有]



WO 03/025656 A1



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

二次元に配置された複数のマイクロミラーを有し、デジタル信号で個々のマイクロミラーが傾動する微小光偏向素子 (DMD) (4) を用い、DMD (4) 上でマイクロミラーごとの傾動を走査することにより、光源 (点光源、平面光源) の実像を傾動したマイクロミラーに結像させ、この実像を対物レンズ (2) で結像して試料 (1) 空間中の点または微小域を照明し、この点または微小域より射出される蛍光または散乱光の実像を対物レンズ (2) で、走査により傾動したマイクロミラーに結像させ、これを電荷結合素子 (CCD) (5) で撮像する。

1

明細書

デジタル制御走査方法および装置

デジタル制御走査方法および装置

5 技術分野

本発明は、走査型光学顕微鏡などの試料観察装置、並びに試料観察領域における三次元空間の任意の点または微小域に光刺激や光加工を施す装置、或いは表面形状や表面形状の3次元座標データを基に試料表面の2点間の長さを測定する装置など広範囲に適用可能で、汎用性に優れたデジタル

10 ル制御走査方法および装置に関する。

背景技術

共焦点光学系を採用した走査型の顕微鏡が広く利用されている。光音響素子を利用して光を偏向させる様式、ガルバノミラーによって光を偏向させる様式、ニポウデスクと呼ばれるピンホール板を回転させることにより光を走査する様式など、各種の走査型共焦点顕微鏡が実用化されている。

15 微小光偏向素子（DMD）を走査手段とする走査型顕微鏡が、「Optics Letters」22巻、1997年、751～753に発表されている。この種の走査型顕微鏡は、例えば米国特許第5,587,832に記載されている。

20 特開平11-194275には微小光偏向素子を走査手段とし、開口補正技術を付加した走査型顕微鏡が提案されている。

しかし、上記の米国特許第5,587,832に記載されている微小光偏向素子を走査手段とする走査型顕微鏡は、照明系がレーザーの平行光線による投影照明になっているので、試料の照明域は広く散光照明されており、その
25 広い照明域内にある一点を撮像しているにすぎない。すなわち、対物レン

2

ズに対して光源と検出器が共役関係になく観察点だけに照明光が集光していないので共焦点顕微鏡としての性能が充分発揮されていない。

また、特開平11-194275に記載の走査型顕微鏡も同様に対物レンズに対して光源と検出点が共役関係になく共焦点顕微鏡としての高い空間分解能は得られない。

反射型の走査装置として微小光偏向素子を利用すると照明光を傾斜して微小光偏向素子に導入するので、不均一な照明になり観察像には照明むらを生ずる。

更に、分解能を上げる目的で光源として集光性の高いコヒーレント光であるレーザー光を照明手段として採用すると、光強度がビームの中心を極大としてガウス分布になるので、照明むらは増大し複雑化するなどの問題がある。

本発明は、上記従来の問題に鑑みてなされたもので、照明むらを補正し、空間分解能の高いレーザー共焦点顕微鏡などの観察装置を実現できるデジタル制御走査方法および装置を提供することを目的とする。

また、本発明の他の目的は、上記デジタル制御走査技術を利用し試料観察領域における3次元の任意の点に光刺激・光加工を施す装置を提供することにある。

更に、本発明の他の目的は、上記デジタル制御走査技術を利用し表面形状や表面形状の3次元座標データを基に表面上の物体の測長装置を提供することにある。

発明の開示

本発明に係るデジタル制御走査方法は、微小光偏向素子(DMD)の複数のマイクロミラーに光源の実像を結像させ、マイクロミラーごとの傾動

を走査し、該傾動したマイクロミラーを第二光源として対物レンズで試料中に結像照明し、該試料の結像領域より射出される蛍光または散乱光を対物レンズで、傾動を走査されたマイクロミラーに結像させ、これを撮像することを特徴とする。

- 5 本発明に係るデジタル制御走査装置は、撮像光学手段、照明光学手段、試料結像手段、コンピュータから成っている。

図1において、撮像光学手段は、試料より射出される蛍光または散乱光を対物レンズでDMD4のマイクロミラーに結像させ、これを撮像光学系の撮像用結像レンズ6を通して撮像する撮像装置5で構成されている。

- 10 撮像装置5は、例えば電荷結合素子(CCD)により構成される。

照明光学手段は、撮像光学系と光軸が重なるよう同軸化され、ダイクロイックミラー7を利用して導入された、レーザー光源からのレーザー光を利用しDMD4のマイクロミラーに点光源の実像を結像するマイクロレンズ二次元アレイ12とピンホール二次元アレイ板9と光源結像レンズ

15 8からなり、1個のマイクロミラーに1個の点光源が結像されるよう構成されている。平面光源の場合は、マイクロミラーが傾動することによって選択抽出された平面光源像の微小部分が対物レンズで縮小結像される。試料空間上で前記結像部分だけが照明され、この結像部分から射出される蛍光だけが撮像されることになる。

- 20 試料結像手段は、DMD4のマイクロミラーに試料1の実像を結像する無限遠補正光学系の対物レンズ2と無限遠補正光学系の結像レンズ3と対物レンズ2を上下して位置を決める対物レンズのZ位置指定機構14から構成されている。光吸収体10は、例えば黒体を利用してDMD4の傾動しないマイクロミラーからの照明に利用しない光を吸収する。コンピュータ11は、DMD4を撮像装置5と同期をとりながら、走査機能、空
- 25

4

間変調機能、強度調節機能を実現する為の制御プログラムとその設定に必要なユーザーインターフェースのプログラムを内蔵し、ポインティングデバイス 15 と表示装置 16 が付属している。

撮像光学手段により DMD 4 のマイクロミラーの実像を撮像し、この像
5 データがコンピュータ 11 に電送される。コンピュータ 11 は、像データを画像処理して表示する。照明光学系によってピンホール二次元アレイ板 9 の表面に形成された点光源の実像を DMD 4 のマイクロミラーに結像させ、この実像が第二光源を形成し、以下に述べるマイクロミラーが所定の角度、例えば +10 度傾動した時に試料を結像照明する。

10 試料結像系は、試料照明の光路と重なり、DMD 4 のマイクロミラーに形成された点光源の実像を試料 1 の焦点面に結像させることによって試料 1 を照明する。これと同時に DMD 4 のマイクロミラーに試料 1 の焦点面の実像が結像する。

DMD 4 はデジタル光スイッチ機能を有し、このスイッチ機能をコンピ
15 ュータ 11 に内蔵されたプログラムで制御する。以下に詳述する。個々のマイクロミラーにデジタル信号の(1)が入力されたときはマイクロミラーが所定の角度傾動し、同軸化された照明光学系と撮像光学系の光路が試料結像系の光路に連結される。個々のマイクロミラーにデジタル信号の
20 (0)が入力されたときはマイクロミラーが前記傾動とは逆方向に所定の角度傾動し、同軸化された照明光学系と撮像光学系の光路が試料結像系の光路から遮断され、照明光学系の光路が光吸収体 10 に導かれる光路に切り替わる。すなわち、光は吸収され試料 1 は照明されない。マイクロミラーの傾動角度は、例えば ±10° や ±12° が用いられが、これは DMD の仕様によって予め定められている。

25 上記の光路切り替え機能を有する光学系において、1 個のマイクロミラ

5

一だけにデジタル信号の（1）を入力し、他のマイクロミラーには全てデジタル信号の（0）を入力すると、試料空間の1個のマイクロミラーに対応した一点だけが照明、結像、撮像される。この1個のマイクロミラーの位置をDMDの一面で順次移動（以下DMD上のマイクロミラーの走査と

5 いう）すると試料空間の焦点面が走査され、走査像が得られる。個々のマイクロミラーの位置を移動させるデジタル走査制御において、DMD上で走査されるマイクロミラーの条件設定は、ハードウェアの変更なしにソフトウェア上で行うことができる。

走査するマイクロミラーの数は1個だけとはかぎらない。形や大きさを

10 指定すれば、それに対応する傾動するマイクロミラー群が選択されるプログラムを装備することにより、高分解能を要求しない粗い走査での観察が可能である。例えば、隣接する縦横それぞれ二個の隣接する4個のマイクロミラーを、走査するマイクロミラー群として指定し走査観察できる。

同様に、X，Yのいずれか一方向にしか分解能を要しない用途には、一

15 列の直線状に走査するマイクロミラーを指定しスリットスキャンが実施可能である。加えて、一個または独立した一群のマイクロミラーを複数同時に併進させ、高速に一画面を走査可能である。特に、併進走査は、焦点ずれ光を除去する空間光変調機能を保持する程度に十分離れていれば、多数のマイクロミラーを同時に傾動させることができるので、短時間に一画

20 面全体を走査することができる。本実施例では2000個のマイクロミラーの併進走査で高速走査を実証した。

対物レンズ2のZ位置指定機構13は、駆動手段としてピエゾ素子又はボイスコイルモータで構成され、コンピュータ11からZ位置信号を出力し、D/Aコンバータ14でアナログ信号に変換し、ピエゾ素子に印加す

25 る。ピエゾ素子のZ軸方向の伸縮により対物レンズ2の焦点面を微量づつ

6

変更移動できる。試料 1 の Z 方向（試料 1 の厚み方向）に移動した別の焦点面で二次元走査を行い、これを繰り返して多数のオプチカルセクショニング像が得られる。この多数のオプチカルセクショニング像を画像処理し、3次元再構成像を得る

- 5 光源として、観察用と刺激または加工用を装備することにより、観察した試料空間の任意の点に刺激用または加工用の強光度光を照準する装置を構成することができる。

コンピュータ 11 に付属するマウスなどのポインティングデバイス 15 で表示装置 16 上に示された任意の一点を指示すると、その位置に対応した Z 座標の情報が対物レンズ 2 の Z 位置指定機構 13 に送られ、対物レンズ 2 が指定位置に移動すると共に、DMD 4 の X, Y の二次元情報に対応するマイクロミラーにデジタル信号の (1) が出力されて、マイクロミラーが傾動することによって指定された試料空間の任意の位置が決定され、この一点が刺激や加工される。

15

図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明に係るデジタル制御走査装置の第 1 の実施形態の模式図である。

20 第 2 図は、本発明に係るデジタル制御走査装置の第 2 の実施形態の模式図である。

第 3 図は、本発明に係るデジタル制御走査装置の第 3 の実施形態の模式図である。

第 4 図は、光源の構成図である。

25 第 5 図は、デジタル制御走査装置の制御とユーザーインターフェースを示す流れ図である。

7

第6図は、走査・表示の流れ図である。

第7図は、照明むら補正の流れ図である。

第8図は、3D測定・表示の流れ図である。

第9図は、観察モード、刺激・加工モードの流れ図である。

5 第10図は、加工モードの流れ図である。

第11図は、ファイバー束で構成される面光源を示す図である。

第12図は、ウレクサイトで構成される面光源を示す図である。

第13図は、面発光体で構成される面光源を示す図である。

第14図は、光散乱板で構成される面光源を示す図である。

10

発明を実施するための最良の形態

本発明の実施例を添付の図面に従ってより詳細に説明する。第1図は本発明に係るデジタル制御走査装置を適用した第1の実施形態を示すもので、共焦点光学系を採用した走査型蛍光顕微鏡の模式図である。

15 第1図において、本実施例では、試料1の対物レンズ2からなる試料結像系による実像位置に設置された640×480個のマイクロミラーが集積されたDMD4、このDMD4のミラー面に多数の点光源の実像を結像する照明光学系、DMD4のミラー面の実像を斜め方向から結像させる撮像光学系、試料照明に利用しない光を吸収する光吸収体10、DMD4と
20 CCD5とを同期制御するコンピュータ11からなっている。

照明光学系は、アルゴンイオンレーザー(波長488nm)(図示省略)、DMD4、DMD4と同配列ピッチのピンホール二次元アレイ板9、DMD4と同配列ピッチのマイクロレンズ二次元アレイ12、光源結像レンズ8、ダイクロイックミラー7より構成されており、DMD4のマイクロミ
25 ラーの偏向軸に直交しミラー面から70度の角度をなす方向から照明す

る。より分解能を上げるためには波長が短くコヒレンシの高いレーザーの利用が望ましい。

ピンホール二次元アレイ板 9 と光源結像レンズ 8 と DMD 4 とは、シャインプルーフの条件を満足する。この条件からピンホール二次元アレイ板
5 9 は光軸に対して傾くので、それぞれのマイクロレンズの焦点が対応するピンホールに合致するよう位置調整される。

ダイクロイックミラー 7 は、照明光学系からの照明光を反射し蛍光を透過させる性質を有する。このダイクロイックミラー 7 を撮像レンズ 6 と DMD 4 の間に配置することにより、ダイクロイックミラー 7 を透過した蛍
10 光を撮像レンズ 6 で CCD 5 に結像させる。DMD 4 と CCD 5 の撮像面と撮像レンズ 6 とはシャインプルーフの条件を満足する。CCD 5 は、DMD 4 と同期して露光され、読み出される。

DMD 4 のマイクロミラーの動作について説明する。デジタル信号の (1) が入力されたとき、マイクロミラーは、信号がないときの位置から
15 一方側に 10 度傾き、照明光学系の光路と試料結像系の光路とが連結し、試料中の一点が照明される。同時に試料結像系の光路と撮像光学系の光路とが連結し、照明された試料中の一点から射出された蛍光が CCD 5 に結像される。大きさが $16\ \mu \times 16\ \mu$ のマイクロミラーがピンホールと同様の空間光変調機能を発揮して、迷光および焦点のずれた光を減少させ分解
20 能を上げる。

デジタル信号の (0) が入力されたとき、マイクロミラーは上記とは逆向きの他方側に 10 度傾き、照明系の光軸は光吸収体 10 への光路に切り替わり、照明光は光吸収体 10 に吸収される。

本実施例によれば、DMD 4 上でデジタルの (1) 信号を出力するマイクロミラーを順次切り替えて行くと傾動するマイクロミラーが走査され、
25

9

試料中の照明撮像する点が走査される。DMD 4 上で一面の走査が完了すると、CCD 5 に全体のオプティカルセクションング像が得られる。

5 対物レンズの Z 位置指定機構 1 3 により対物レンズ 2 をわずかに移動し焦点面をずらして測定することにより多数のオプティカルセクションング像が得られる。

次に照明の強度ムラの補正について説明する。レーザー光の強度分布は、ビームの中心部分の強度が高く、周辺部分の強度が低いガウス分布をしている。このビームを照明光としてそのまま用いると、均一な像は得られない。この照明光や光学素子とその配置に起因する装置固有の照明むら補正
10 には次の方式がある。第 1 の方式は傾動するマイクロミラーの傾動時間（以下サンプリング時間という）をそのマイクロミラーの位置の照明強度に反比例するよう制御する。すなわち、サンプリング時間制御は、照明光の弱い位置でサンプリング時間を延長して観察し、照明むらを補正する。第 2 の方式は、サンプリング時間は全てのマイクロミラーで一定に保った
15 状態で、マイクロミラーに PWM（パルス幅変調）を施し、サンプリング時間内で細かくスイッチングを繰り返し、サンプリング時間内の積分強度を一定値にし、照明むらを補正する。

第 1 の方式について詳述する。マイクロミラーを傾動させる時間を一定に保ったまま、一様な蛍光板を調整用の試料として観察する。次いで個々の
20 のマイクロミラーに対応する蛍光強度を得られた蛍光像の対応する画素から求め、サンプリング時間と蛍光強度が比例関係にあることを利用して、蛍光強度が全て一定値になるように補正したサンプリング時間の数値表を作成する。走査時には、作成した数値表を参照して個々のマイクロミラーを傾動させるサンプリング時間を制御し、照明むらの補正を行う。

25 次に第 2 の方法について詳述する。コンピュータ 1 1 には、DMD 4 に

10

10ビット（1024階調）のPWMを用いて個々のマイクロミラーを制御するプログラムが搭載されている。先ず、一様な蛍光板を調整用の試料として観察する。次いで個々のマイクロミラーに対応する蛍光強度を、得られた蛍光象の対応する画素から求め、蛍光強度がすべて一定値になるようにPWM制御データの数値表を作成する。以後走査時には作成した数値表が参照され、個々のマイクロミラーが一定時間のサンプリング時間内で細分化されて傾動される。DMDのPWMによる制御は、DMDを一つの表示装置とみなして実行される。すなわち、CRTや液晶表示器と同様に、これらの表示装置を接続する増設ビデオカードのVRAM（ビデオRAM）に値を書き込むと、DMDの対応するマイクロミラーが傾動し、その書き込んだ値を用いると1024階調の強度の制御が可能になる。

本発明の装置はハードウェアの変更なしに走査条件を設定できる。マイクロミラー群を走査する際にはその群の形、大きさ、数、或いはマイクロミラー群を、複数併進して走査する際にはその数と配置、或いは走査する位置によって走査速度を可変する際にはその設定、或いは走査する試料領域を限定する際の領域指定などの設定変更もコンピュータの操作画面上から柔軟に実施できる。

第2図は本発明に係るデジタル制御走査装置の第2の実施形態を示す。

本実施形態の光学系は、既存の顕微鏡を基に改作が容易となるよう考慮して本発明を実施したものである。以下に点光源を利用した例について説明するが、平面光源の利用も可能である。本実施形態は、ピンホール二次元アレイ板9とマイクロレンズアレイ12をDMD4と結象レンズ3の間に配置し、平行光の状態でDMD4で走査し、その後点光源化するのである。光学系は、DMD4を平行光で照明し、DMD4のマイクロミラーが走査並びに強度調節された結果生じる微細な平行ビームを、顕微鏡

11

の実像位置に設置されたピンホールアレイ 9 の各々のピンホールに集光するように設置されたマイクロレンズアレイ 12 に入射するよう構成されている。

第 3 図は本発明に係るデジタル制御走査装置の第 3 の実施形態を示す。

- 5 本実施形態の光学系は、既存の顕微鏡を基に改作が容易となるよう考慮して本発明を実施したものである。以下に点光源を利用した例について説明するが、平面光源の利用も可能である。既存顕微鏡の落射照明装置を改作して光源と撮像系を組み付ける。また、試料 1 の実像位置に偏向したマイクロミラーが光軸と直交するように、DMD 4 を所定の角度、例えば 10 度傾けて設置する。マイクロレンズアレイ 12 とピンホールアレイ 9 で生じた点光源がハーフミラー 17 を介して DMD 4 に結像され、これを CCD 5 で撮像する。この光学系では、次の 3 つの関係がシャインプルーフの条件を満足する。第 1 は DMD 4 と対物レンズ 2 とステージ 18 上に置かれた試料焦点面の関係である。第 2 は DMD 4 と光源結像レンズ 8 とピンホールアレイ 9 の関係である。第 3 は DMD 4 と撮像レンズ 6 と CCD 5 の関係である。

- 20 第 4 図は観察用光源と刺激・加工用光源の構成例を示す。光源はレーザー光源のみ、或いはレーザー光源と紫外線光源を組み合わせた構成になっている。レーザー光源のみの場合は、レーザー出力を観察用と刺激・加工用とに二段階に可変する機構を備え、これらのレーザー出力を切り替えて使用する。レーザー光源と紫外線光源の組み合わせの場合は、観察時には光路切替え要素 19 を光路から外してレーザーを用い、一方刺激・加工時には光路切替え要素 19 を光路に挿入し、紫外線を光路に導入する。

- 25 第 5 図は本装置の制御とユーザーインターフェースを示す流れ図である。装置を起動すると、まず、DMD 4、CCD 5、対物レンズ 2 の Z 位

置指定機構を構成するピエゾ素子を制御するD/Aコンバータを初期化し、メニュー画面を表示する。このメニュー画面には、次の項目が表示され、選択により各々の機能が実行される。

[走査・表示]

- 5 第6図は、走査・表示の流れ図を示す。CCD5の露光を開始し、DMD4上でマイクロミラーを走査する。走査終了後、CCD5の露光を終了し、画像を読み出し表示する。照明むらの補正法として、サンプリング時間調節法、又はPWMによる強度調整法が選択可能に構成されている。

[照明むら補正]

- 10 第7図は、照明むら補正の流れ図を示す。均一な蛍光板である標準蛍光試料を調整用のジグとして装着し、測定する。その結果からDMD4上のマイクロミラーの位置(x, y)による蛍光強度I(x, y)を求める。この蛍光強度I(x, y)の逆数を、全てのマイクロミラーについて算出し、補正テーブルを作成する。補正テーブルは、上記の走査・表示のサブルーチンにおいて、照明むらの補正時に参照される。

[走査ユニット、併進ユニット数の設定]

- 15 1個のマイクロミラーを単独に走査する方法、或いは複数のマイクロミラーをグループ化し、このグループ単位を走査ユニットとして設定し、このユニットを順次移動させて走査する方法である。ユニットは、例えば20 × 2の4個のマイクロミラーを設定する。また、ユニットを格子状に複数配置し、この複数のユニットを同時に移動させて走査(併進)する場合には併進させるユニット数を設定する。

[走査スピード設定]

マイクロミラーのサンプリング時間を設定する。

- 25 [3D測定・表示]

第8図は、3D測定・表示の流れ図を示す。入力された枚数と、間隔値で複数のオプティカルセクション像を取得する。この際、1枚ごとに対物レンズのZ位置指定機構により間隔値で指定された距離だけ焦点面を移動させる。この操作によって指定枚数の像データを取得し、この像データ

5 データを基に3次元再構成像を表示する。

 [対物レンズのZ位置指定]

 対物レンズ2のZ位置指定機構の駆動手段、例えばピエゾ素子にZ位置制御信号を与えて動作させ、対物レンズ2の焦点面をZ位置に移動させる。

 [刺激・加工モード]

10 第9図は、観察モードと刺激または加工モードの流れ図を示す。第5図の観察モードを実行した後、刺激・加工モードを実行する。刺激モードと加工モードは、同じ処理によって実現できるので、ここでは加工モードについてのみ説明する。刺激モードについては、第10図の「加工点」を「刺激点」に変えることで実現できる。

15 第10図において、観察モードにおける3D測定・表示を実行し、表示された3D再構成像上からポインティングデバイス15を用いて、刺激や加工を行う点(x, y, z)を指定する。この点のZ位置に対物レンズ2の焦点面を移動させると共に、X, Y位置に対応するマイクロミラーにデジタル信号の(1)を与えて傾動させ、目的とする刺激および/または加工点を照準する。次いで刺激・加工用光源から照明光光度を増大した強光度光や別に装備した紫外線などを照射して刺激・加工点に集光させる。

 次に光源の実施態様を説明する。光源として面光源が利用できる。回折限界まで絞り込んだコヒレント光の照明では無くなるので、空間分解能は実施例より劣るが、安価に製作できる。マイクロミラーで切り出された平面光源像の微小部分(16 μ ×16 μ)が対物レンズ2で縮小結像されて

25

14

試料を励起し、この結像領域から射出された蛍光だけが撮像される。

第11図～第14図は各種の面光源であり、設置された面光源の光源面と光源結像レンズ8とDMD4とはシャインプルーフの条件を満足する。

5 第11図に示す面光源は、光ファイバ束20で構成され、一方端面から光が入射され、他方の端面を平面光源として利用する。他方の端面はシャインプレーフの条件を満足するように斜めにカットされている。

10 第12図に示す面光源は、ウレクサイト21を繊維の方向を光軸に一致するように設置し、射出端がシャインプルーフの条件を満足するように光軸に対して斜めにカットされている。ウレクサイト21は、天然鉱物であり、数ミクロン径の透明無機繊維が集積したもので、ファイバプレートとして利用している。

第13図に示す面光源は、EL（エレクトロルミネッセンス）などの面発光体22で構成されている。

第14図に示す面光源は、光散乱板23で構成されている。

15 その他に面光源としては、多数の半導体レーザーやLEDを平面上に配列した集積化並列光デバイスなどを用いることができる。

上記無限遠補正光学系の対物レンズ2を用いたので、中間変倍光学装置を設置すれば変倍可能な走査型蛍光顕微鏡となる。

20 他の用途への応用例について説明する。上記実施形態において、蛍光と励起光を分離するためのダイクロイックミラーに替えてハーフミラーを用いると、試料の反射光や散乱光が観察できるので、半導体集積回路基板の観察に多用される走査型金属顕微鏡に応用できる。金属顕微鏡は、像観察だけでなく、半導体集積回路基板上の配線の線幅や穴の径など二次元の測長が可能である。また、三次元測長が必要な場合は、多数のオプティカ
25 ルセクションング像をとり、三次元再構成像上で可能である。

本発明のデジタル制御走査技術を半導体などの不透明試料の測定に応用すると、照明光の焦点位置からの散乱光を検出し、DMDの空間光変調機能を利用して、焦点からずれた位置からの散乱光を除外しているため、照明光の焦点と試料と試料表面が一致した時に検出される散乱光強度が最大になる。この散乱光強度のピーク検出を行う為、制御手段を構成するコンピュータ14には対物レンズ2を上下に移動させ、散乱光の強度が最大となる位置を探すピーク検出手段（ソフトウェア）、または、対物レンズ2を振動させ、それに伴う散乱光強度の変化から対物レンズ2を常に散乱光強度の最大位置に追従するよう制御するピーク追従手段（ソフトウェア）を付加する。走査されるマイクロミラーにより試料表面の点のX座標、Y座標が決まり、上記のピーク検出またはピーク追従制御からZ座標が決定できる。マイクロミラーをDMD4上で全面を走査することで試料表面の形状が測定できるので、三次元表面形状測定装置が実現できる。試料表面の形状測定は、観察視野の全体或いは一部を指定することもできる。全体を測定する場合はDMD4の全域でマイクロミラーが走査される。視野の一部を測定する場合には、ユーザインターフェースの画面上において、測定域を指定することでDMD4の部分域に限定してマイクロミラーの走査が実施される。

また、コンピュータに試料表面の全体の三次元座標データを取り込み、表示される画像上で指定した、2点間の距離、線幅、段差、穴の径、深さなどを求める測長手段（ソフトウェア）を付加することで、測長装置が実現できる。なお、上述のピーク検出ソフトウェアやピーク追従ソフトウェアは電子回路を利用したハードウェアでも実現できる。

また、分光器と光電検出器を増設設置することで、顕微蛍光スペクトル測定装置に応用できる。この装置では試料中の任意の一点または指定され

た複数の点から射出される蛍光のスペクトルを得ることができる。

- その他の応用としては、観察した後に同一装置により加工などの操作を行うことができ、利便性の高い装置を提供できる。具体的な例としては、細胞内の狙った器官を光刺激する細胞光刺激装置、細胞内の狙った部分を
- 5 光照射で変性させる顕微細胞手術装置、高強度光源で狙った部分を焼き切る集積回路のトリミング装置、顕微光造形装置などが適用可能である。

産業上の利用可能性

- 本発明はDMDに走査機能、空間光変調機能、光強度調整機能をもたせ、
- 10 高分解能な走査型顕微鏡を実現すると共に、刺激装置、加工装置、三次元表面形状測定装置、測長装置などへの応用を可能にした。

- 点光源の実像をDMD上でマイクロミラーに結像させる場合は、コヒーレント光による共焦点光学系を形成し、高分解能、高コントラストで高速走査が可能である。平面光源の実像をDMD上でマイクロミラーに結像する
- 15 場合は、点光源を利用した場合より分解能が悪くなるが、マイクロミラーで切り出された平面光源像の微小部分（ $16\mu\times 16\mu$ ）が対物レンズで縮小結像されて試料を励起し、この結像領域から射出された蛍光だけが撮像される。この作用メカニズムにより、迷光などのノイズが少ない調整の容易な安価な走査装置を提供できる。

- 20 DMDは、ユーザーインターフェースを介してデジタル制御されるので、走査装置自体が条件設定、設定変更が柔軟に実現できる。画素ごとに走査速度を変更したり、照明光の強度を調整することができる。また、DMDは、コンピュータによるデジタル制御しているので、走査条件の設定変更は利用者が利用条件に合わせてハードウェアの変更無しにキーボー
- 25 ドやマウスを利用してプログラム上から実施できる。

請求の範囲

1. 微小光偏向素子（DMD）の複数のマイクロミラーに光源の実像を結像させ、前記マイクロミラーごとの傾動を走査し、該傾動したマイクロミラーを第二光源として対物レンズで試料中に結像照明し、該試料の結像領域より射出される蛍光または散乱光を対物レンズで、前記傾動を走査されたマイクロミラーに結像させ、これを撮像することを特徴とするデジタル制御走査方法。
- 5
2. 請求項 1 において、光源がコヒレント光を射出する点光源であることを特徴とするデジタル制御走査方法。
- 10
3. 請求項 1 において、光源が平面光源であることを特徴とするデジタル制御走査方法。
4. 請求項 1～3 のいずれかの記載において、DMD 上でマイクロミラーを走査する際にマイクロミラーごとにパルス幅変調による光強度変調を施し、照明むらの補正を行うことを特徴とするデジタル制御走査方法。
- 15
5. 請求項 1～3 のいずれかの記載において、DMD 上でマイクロミラーを走査する際にマイクロミラーごとにサンプリング時間を伸縮させて、照明むらの補正を行うことを特徴とするデジタル制御走査方法。
6. 二次元に配置された複数のマイクロミラーを有し、デジタル信号で個々のマイクロミラーが傾動する微小光偏向素子（DMD）と、
- 20
- 点光源または平面光源の実像を前記マイクロミラーに結像させ、前記マイクロミラーごとの傾動を走査し、該走査により傾動したマイクロミラーを第二光源として対物レンズで試料中の点または微小域を結像照明する照明光学手段と、
- 25
- 前記照明光学手段で照明した試料中の点又は微小域より射出される蛍

光または散乱光による試料の実像を、前記対物レンズで前記走査により傾動したマイクロミラーに結像させる試料結像手段と、

前記マイクロミラーに結像させた試料中の点または微小域の実像を撮像する撮像光学手段と、

5 前記DMDを撮像光学手段と同期をとりながら、走査、空間変調、強度調節を制御する制御手段と、

を備えていることを特徴とするデジタル制御走査装置。

7. 請求項6において、平面光源が一方の端面から入射した光を他方の端面から出射するファイバー束であることを特徴とするデジタル制御走査

10 装置。

8. 請求項7において、ファイバー束は光を出射する他方の端面が斜めにカットされていることを特徴とするデジタル制御走査装置。

9. 請求項6において、平面光源が一方の端面から入射した光を他方の端面から出射するウレクサイトであることを特徴とするデジタル制御走査

15 装置。

10. 請求項9において、ウレクサイトは光を出射する他方の端面が斜めにカットされていることを特徴とするデジタル制御走査装置。

11. 請求項6において、平面光源がエレクトロルミネッセンスを用いた面発光体であることを特徴とするデジタル制御走査装置。

20 12. 請求項6において、平面光源が光を照射した光散乱板であることを特徴とするデジタル制御走査装置。

13. 請求項6において、平面光源が二次元アレイ状の並列光源である面発光レーザーであることを特徴とするデジタル制御走査装置。

25 14. 請求項6において、平面光源が二次元アレイ状の並列光源である面発光LEDであることを特徴とするデジタル制御走査装置。

15. 請求項6において、制御手段がDMD上でマイクロミラーを走査する際にマイクロミラーごとにパルス幅変調による光強度の調節を行い、照明むらの補正を行うことを特徴とするデジタル制御走査装置。
16. 請求項6において、制御手段がDMD上でマイクロミラーを走査する際にマイクロミラーごとにサンプリング時間を伸縮させて、照明むらの補正を行うことを特徴とするデジタル制御走査装置。
17. 請求項6において、照明光学手段が撮像光学手段の光学系と光軸が重なるように設置されたダイクロイックミラーと、該ダイクロイックミラーを利用して導入された、レーザー光源からのレーザー光を利用しマイクロミラーに点光源の実像を結像するマイクロレンズの二次元アレイとピンホールの二次元アレイ板と、光源結像レンズとを有することを特徴とするデジタル制御走査装置。
18. 請求項6において、ピンホールの二次元アレイ板を顕微鏡の実像位置に設置し、各々のピンホールに焦点を結ぶマイクロレンズアレイと該マイクロレンズアレイに走査光を入射させるようDMDを設置したことを特徴とするデジタル制御走査装置。
19. 請求項6において、対物レンズの試料共役位置に、DMDの傾動したマイクロミラーがの光軸と直交する様に、DMDを所定の角度傾けて設置し、DMDと対物レンズの中間に設置したーフミラーを介して点光源または平面光源の実像をDMDに結像し、DMD上の実像を対物レンズで試料中に結像照明したことを特徴とするデジタル制御走査装置。
20. 請求項6において、試料結像手段はマイクロミラーに試料の実像を結像する無限遠補正光学系の対物レンズと、無限遠補正光学系の結像レンズと、前記対物レンズのZ軸方向の位置決めを行うZ位置指定機構とからなることを特徴とするデジタル制御走査装置。

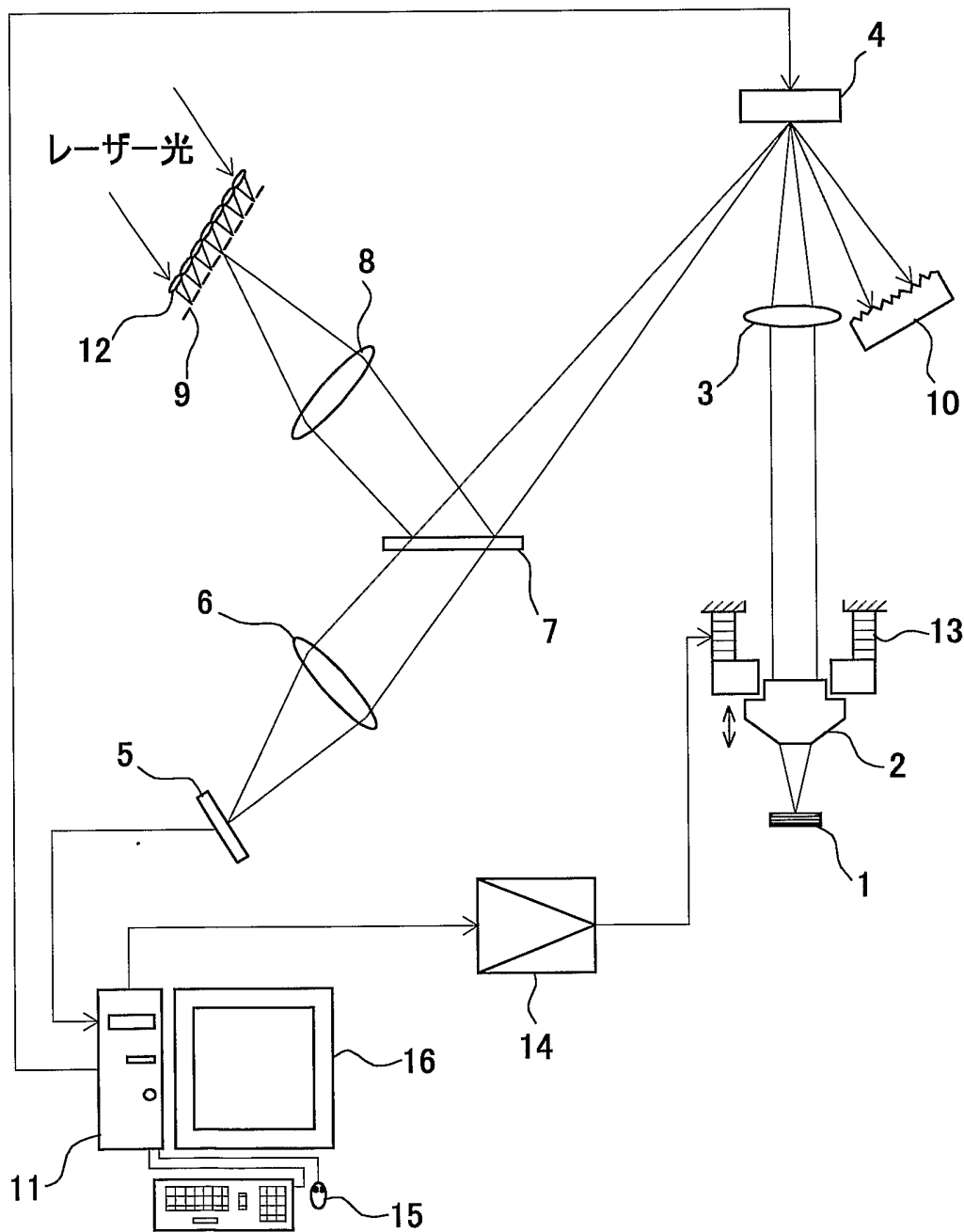
20

21. 請求項6において、制御手段は試料から射出される散乱光強度のピーク検出を行い、該ピーク検出を基に表面のZ位置を求めることを特徴とするデジタル制御走査装置。
22. 請求項6～21のいずれかに記載のデジタル制御走査装置と、該デジタル制御走査装置の照明光学手段が照明する試料空間中の点に光刺激を施す光刺激用光源とを備えていることを特徴とする光刺激装置。
- 5
23. 請求項22において、照明光学手段は試料照明用光源と光刺激用光源とを同一光源で構成され、それらを切替え可能になっていることを特徴とする光刺激装置。
- 10
24. 請求項22において、照明光学手段は試料照明用光源と光刺激用光源とを別光源で構成され、光刺激用光源を試料照明光学系に導入する手段を備えていることを特徴とする光刺激装置。
25. 請求項6～21のいずれかに記載のデジタル制御走査装置と、該デジタル制御走査装置の照明光学手段が照明する試料空間中の点に光加工を施す光加工用光源とを備えていることを特徴とする光加工装置。
- 15
26. 請求項25において、照明光学手段は試料照明用光源と光加工用光源とを同一光源で構成され、それらを切替え可能になっていることを特徴とする光加工装置。
27. 請求項25において、照明光学手段は試料照明用光源と光加工用光源とを別光源で構成され、光加工用光源を試料照明光学系に導入する手段を備えていることを特徴とする光加工装置。
- 20
28. 請求項20に記載のデジタル制御走査装置と、該デジタル制御走査装置の制御手段が試料表面から射出される散乱光強度のピーク検出を行い、該ピーク検出で得られた試料表面のZ位置を基に試料表面形状を求めることを特徴とする表面形状測定装置。
- 25

29. 請求項20に記載のデジタル制御走査装置と、該デジタル制御走査装置の制御手段が試料から射出される散乱光強度のピーク検出を行い、該ピーク検出で得られた試料表面の全体の三次元座標データを取り込み、表示される画像上で指定した2点間の長さを求めることを特徴とする測長装置。

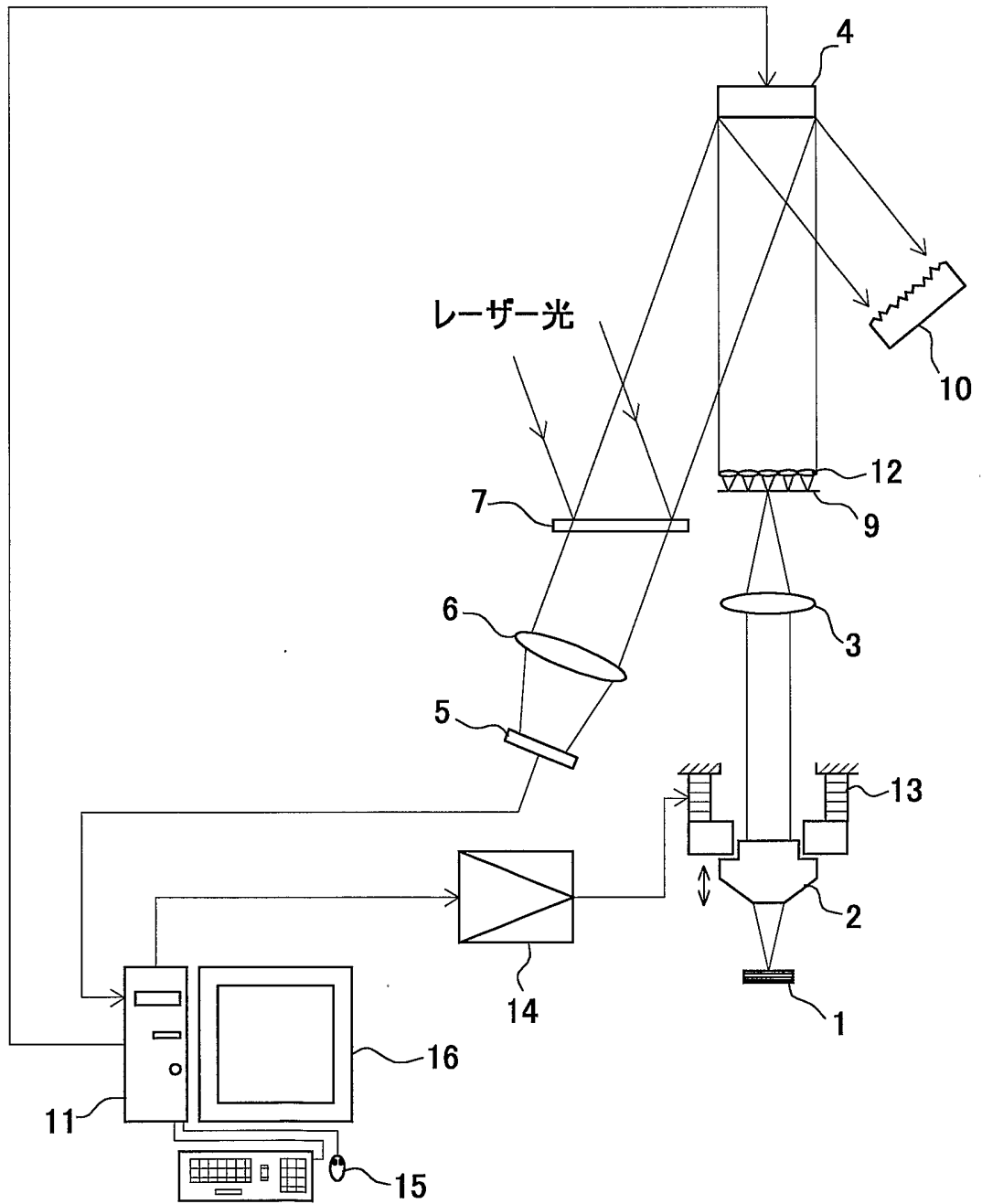
1/11

Fig.1



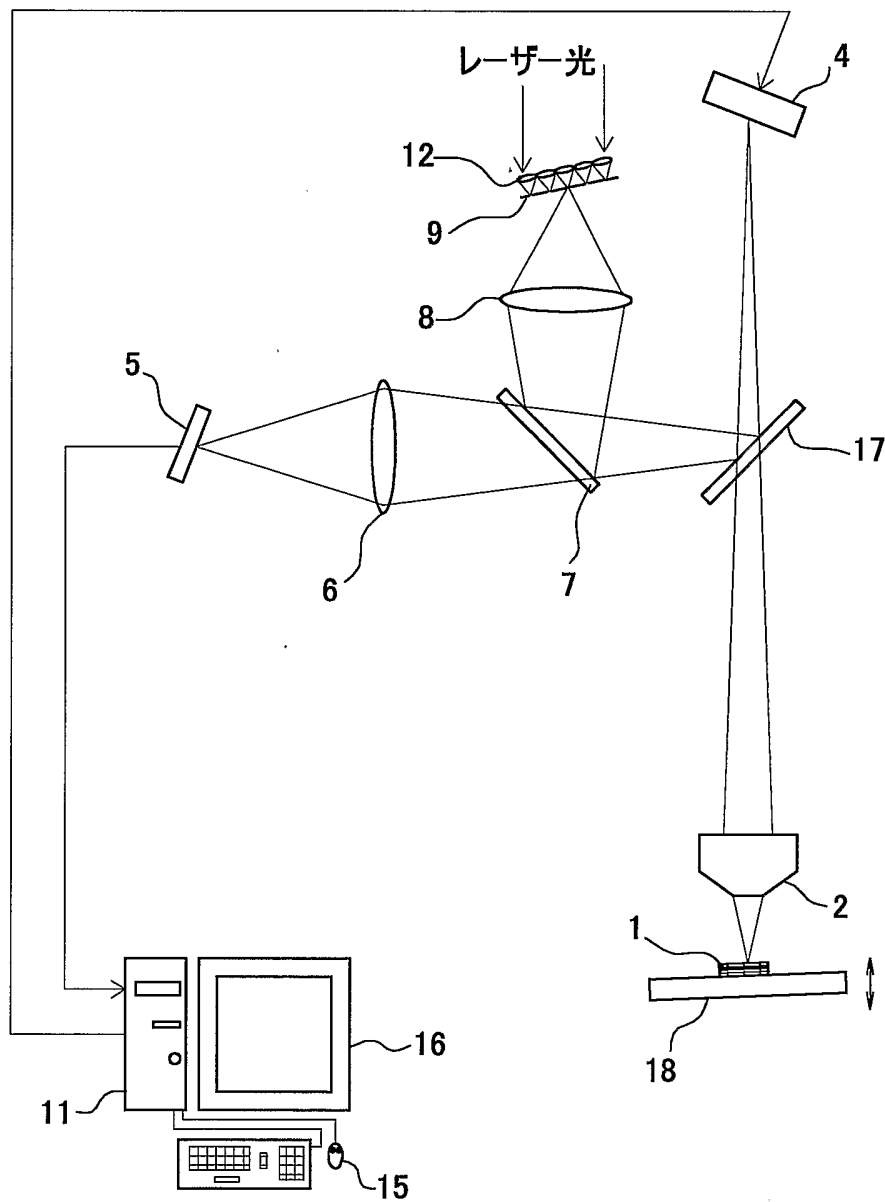
2/11

Fig.2



3/11

Fig.3



4/11

Fig.4

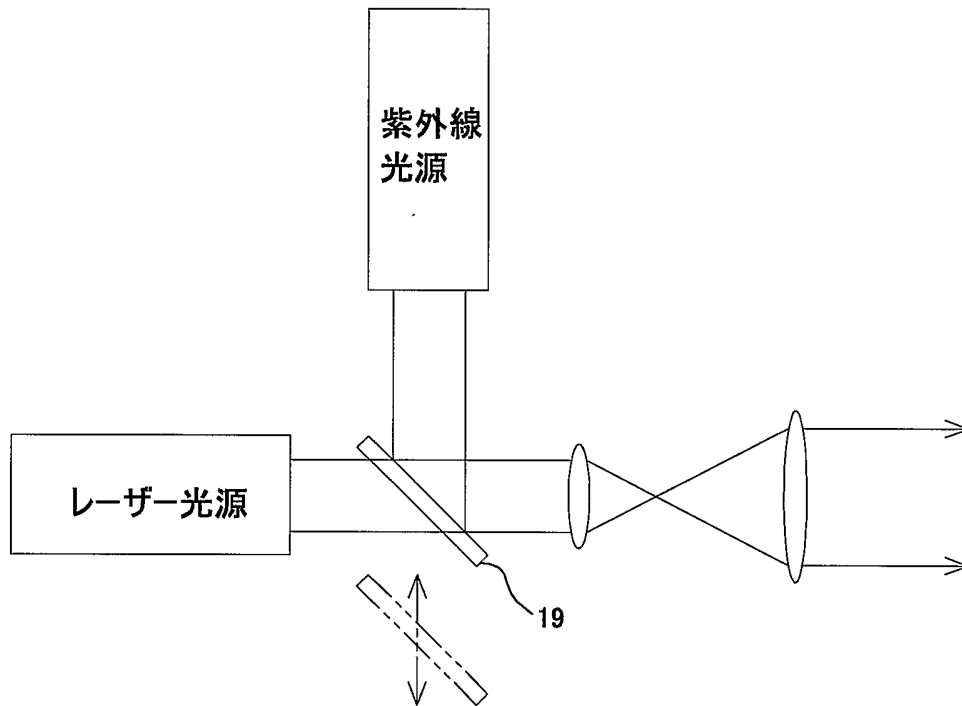


Fig.5

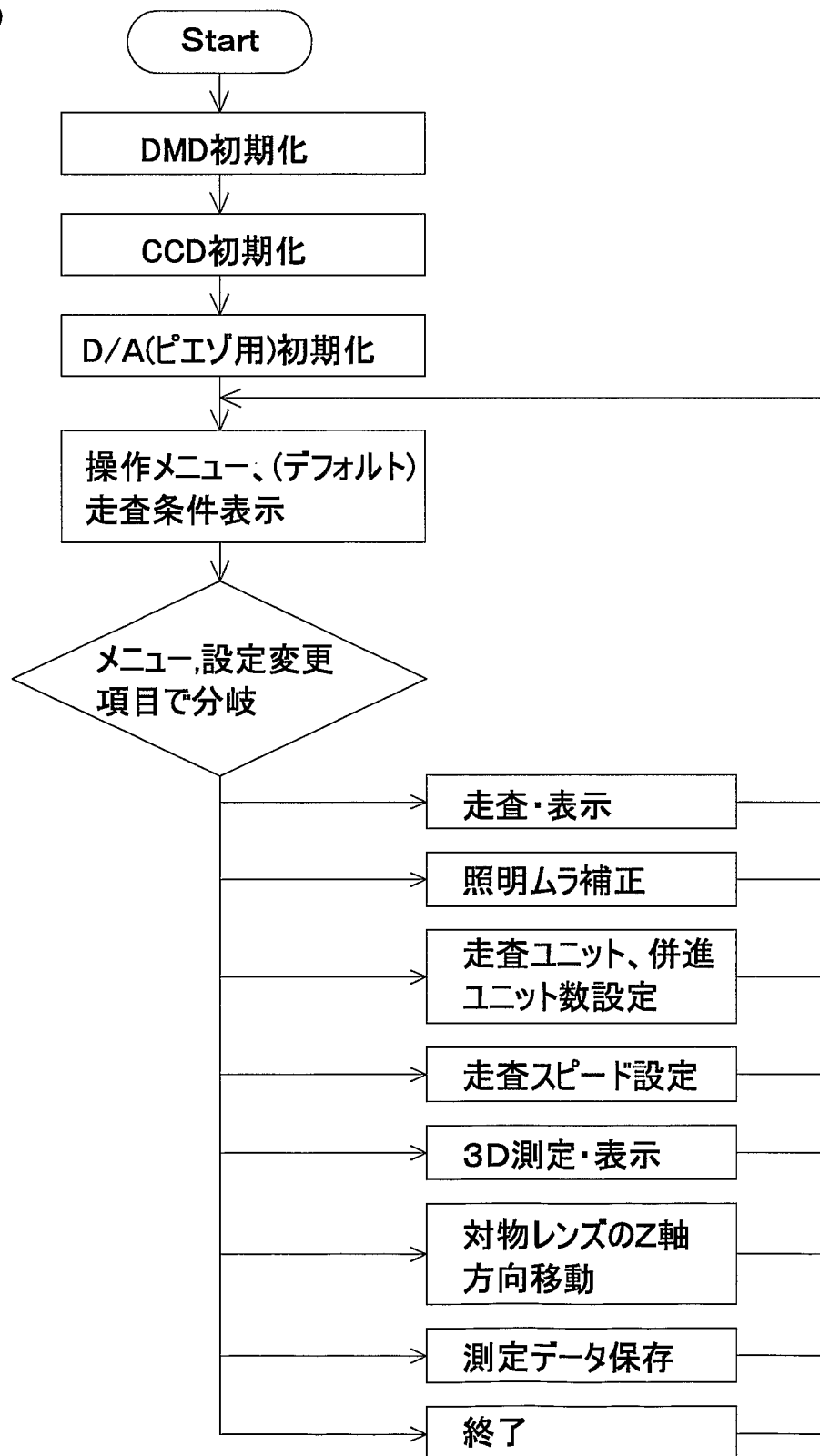
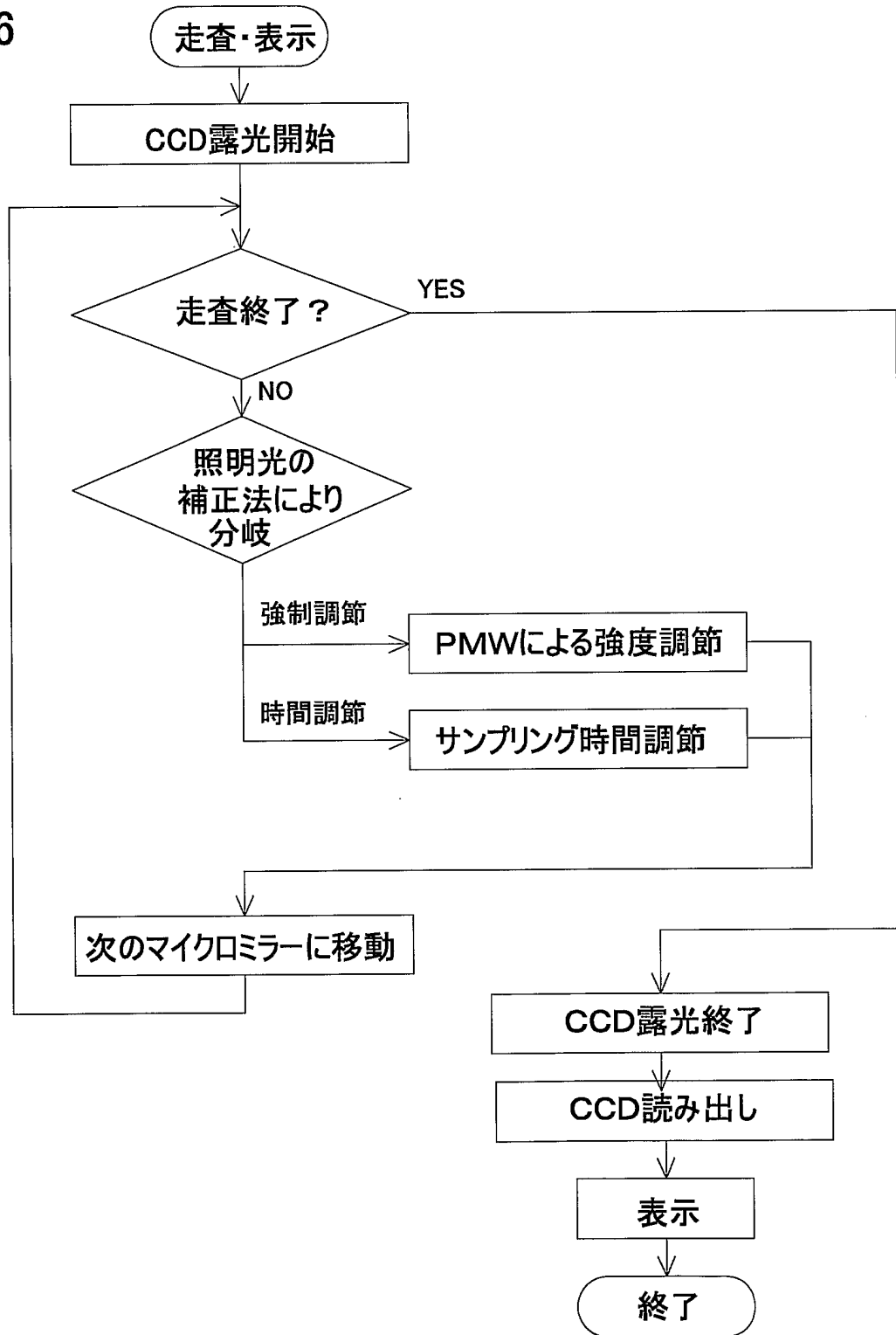


Fig.6



7/11

Fig.7

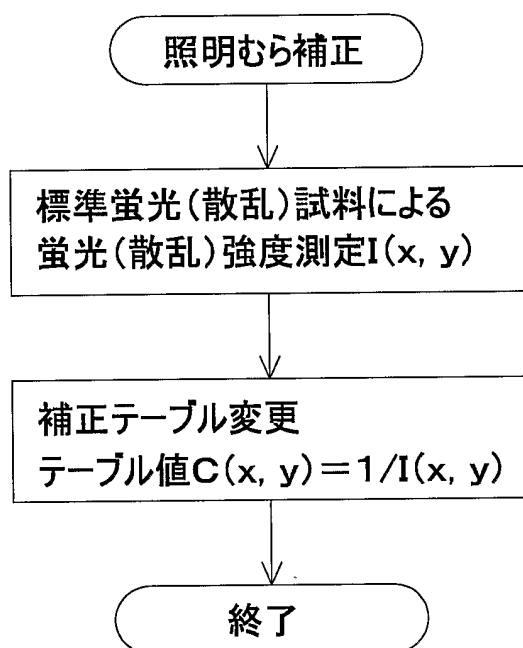
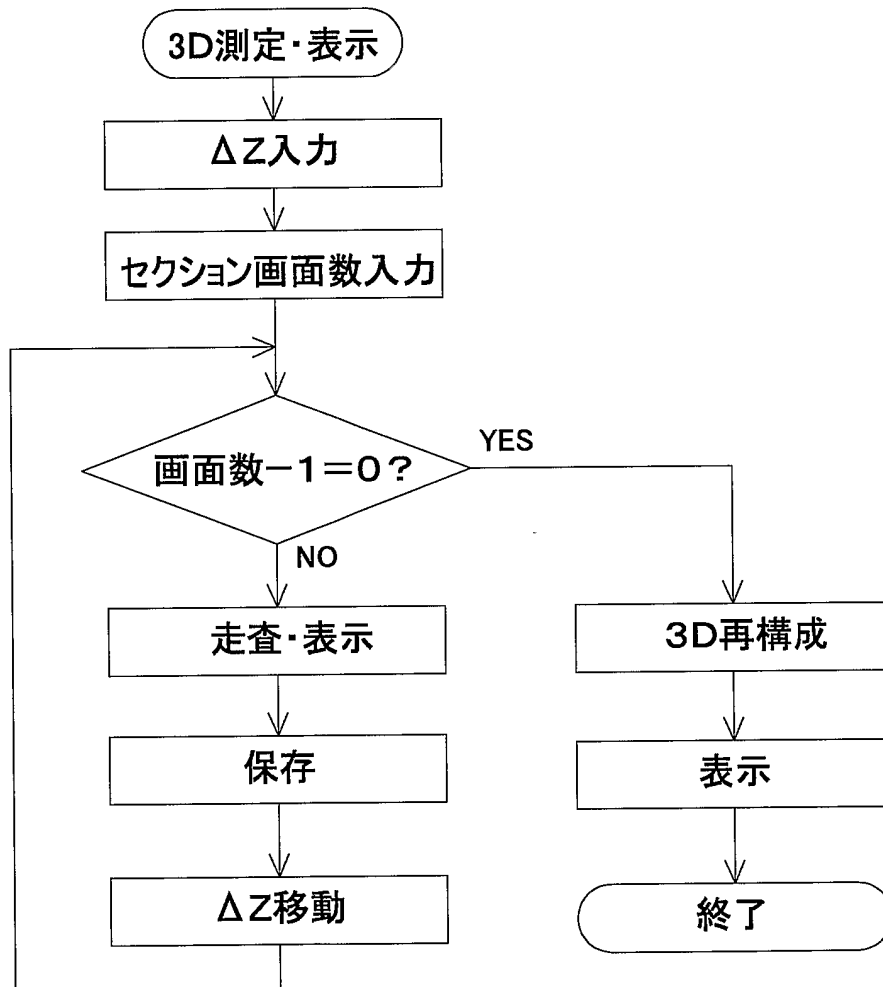


Fig.8



9/11

Fig.9

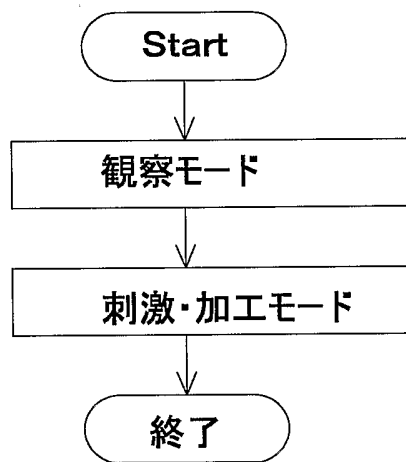


Fig.10

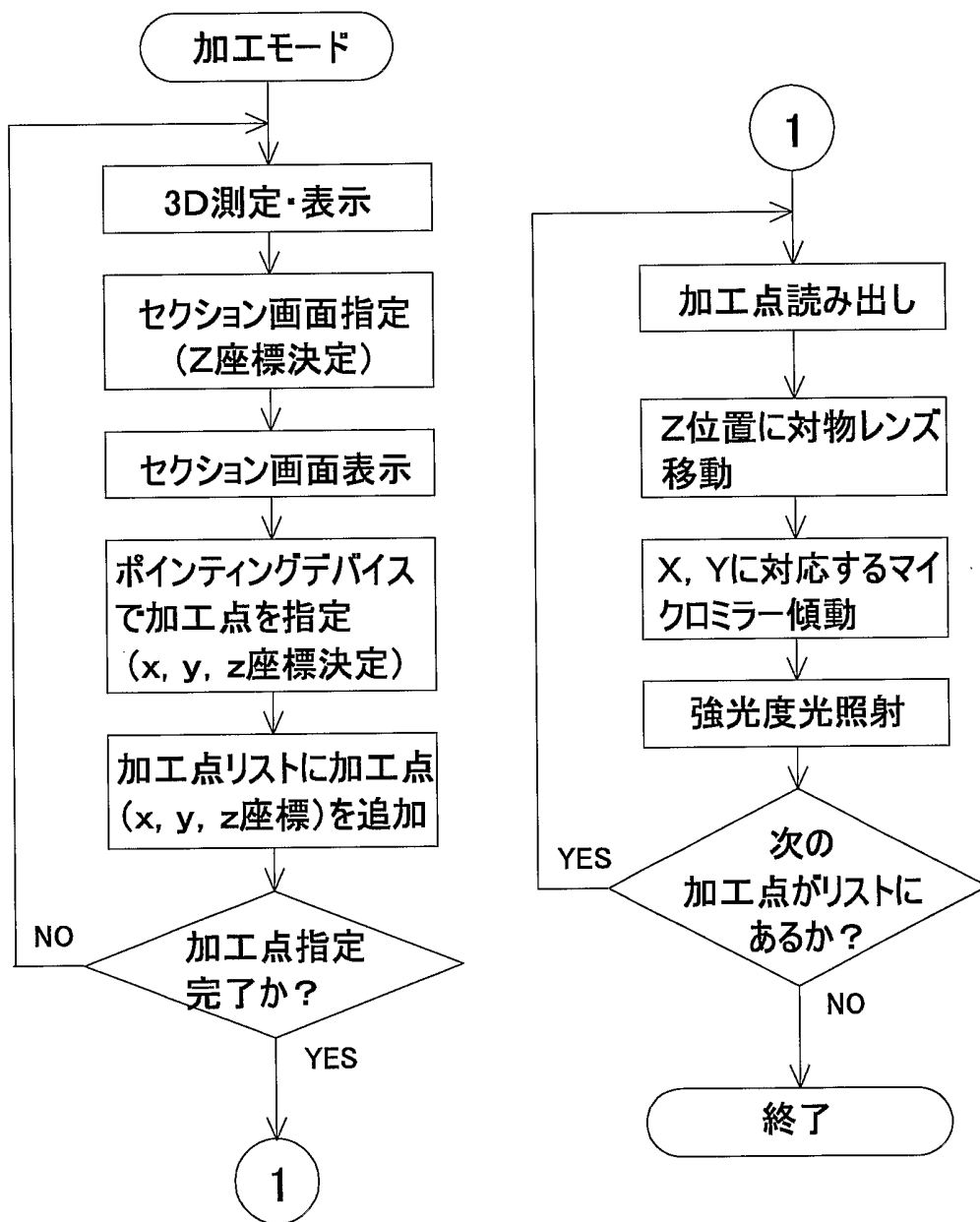


Fig.11

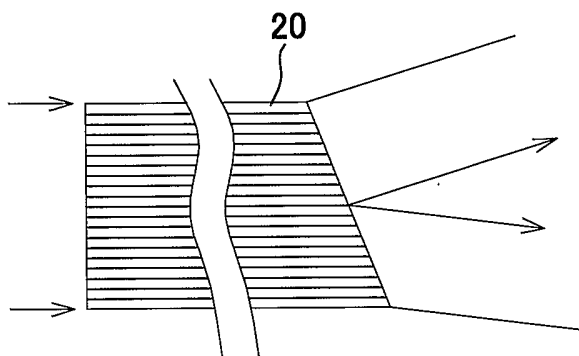


Fig.12

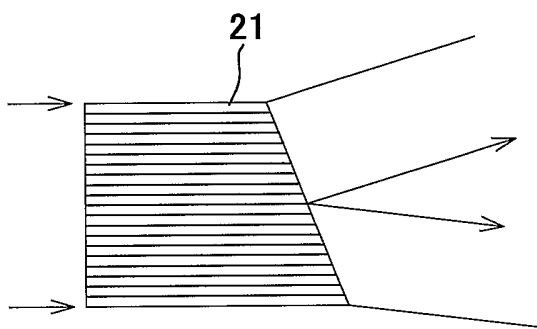


Fig.13

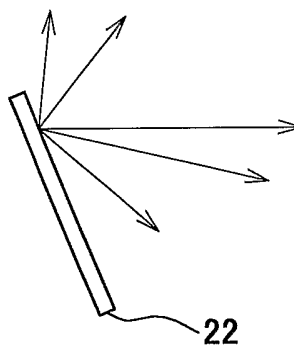
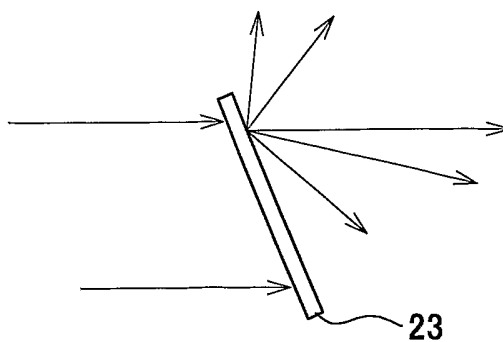


Fig.14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/07598

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl⁷ G02B26/10, G02B21/00</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>																																						
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl⁷ G02B26/10, G02B21/00</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1926-1994 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1994</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>																																						
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>US 6144489 A (Tony Wilson, et al.), 07 November, 2000 (07.11.00), & EP 882247 A & JP 2000-504858 A</td> <td>1-29</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 916981 A (Jovin, et al.), 19 May, 1999 (19.05.99), & US 6128077 A & JP 11-249023 A</td> <td>1-29</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5587832 A (Krause), 24 December, 1996 (24.12.96) (Family: none)</td> <td>1-29</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5923466 A (Krause, et al.), 13 July, 1999 (13.07.99), & WO 98/28655 A2</td> <td>1-29</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 911667 A (Jovin, et al.), 28 April, 1999 (28.04.99), & JP 11-194275 A</td> <td>1-29</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p> <table border="1"> <tr> <td>* Special categories of cited documents:</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier document but published on or after the international filing date</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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)</td> <td>"&" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Date of the actual completion of the international search 20 November, 2001 (20.11.01)</td> <td>Date of mailing of the international search report 04 December, 2001 (04.12.01)</td> </tr> <tr> <td>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</td> <td>Authorized officer</td> </tr> <tr> <td>Facsimile No.</td> <td>Telephone No.</td> </tr> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 6144489 A (Tony Wilson, et al.), 07 November, 2000 (07.11.00), & EP 882247 A & JP 2000-504858 A	1-29	A	EP 916981 A (Jovin, et al.), 19 May, 1999 (19.05.99), & US 6128077 A & JP 11-249023 A	1-29	A	US 5587832 A (Krause), 24 December, 1996 (24.12.96) (Family: none)	1-29	A	US 5923466 A (Krause, et al.), 13 July, 1999 (13.07.99), & WO 98/28655 A2	1-29	A	EP 911667 A (Jovin, et al.), 28 April, 1999 (28.04.99), & JP 11-194275 A	1-29	* Special categories of cited documents:	"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	"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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	"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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	"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)	"&" document member of the same patent family	"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		Date of the actual completion of the international search 20 November, 2001 (20.11.01)	Date of mailing of the international search report 04 December, 2001 (04.12.01)	Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	Facsimile No.	Telephone No.
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																																				
A	US 6144489 A (Tony Wilson, et al.), 07 November, 2000 (07.11.00), & EP 882247 A & JP 2000-504858 A	1-29																																				
A	EP 916981 A (Jovin, et al.), 19 May, 1999 (19.05.99), & US 6128077 A & JP 11-249023 A	1-29																																				
A	US 5587832 A (Krause), 24 December, 1996 (24.12.96) (Family: none)	1-29																																				
A	US 5923466 A (Krause, et al.), 13 July, 1999 (13.07.99), & WO 98/28655 A2	1-29																																				
A	EP 911667 A (Jovin, et al.), 28 April, 1999 (28.04.99), & JP 11-194275 A	1-29																																				
* Special categories of cited documents:	"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																																					
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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																																					
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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																																					
"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)	"&" document member of the same patent family																																					
"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																																						
Date of the actual completion of the international search 20 November, 2001 (20.11.01)	Date of mailing of the international search report 04 December, 2001 (04.12.01)																																					
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer																																					
Facsimile No.	Telephone No.																																					

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ G 0 2 B 2 6 / 1 0, G 0 2 B 2 1 / 0 0

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. Cl⁷ G 0 2 B 2 6 / 1 0, G 0 2 B 2 1 / 0 0

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 1 9 2 6 - 1 9 9 4
日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 1 9 9 4

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 請求の範囲の番号
A	US 6144489 A (Tony Wilson et al.) 7.11月.2000 (07.11.00) & EP 882247 A & JP 2000-504858 A	1-29
A	EP 916981 A (Jovin et al.) 19.05月.1999(19.05.99) & US 6128077 A & JP 11-249023 A	1-29
A	US 5587832 A (Krause) 24.12月.1996 (24.12.96) (ファミリーなし)	1-29
A	US 5923466 A (Krause et al.) 13.7月.1999 (13.07.99) & WO 98/28655 A2	1-29
A	EP 911667 A (Jovin et al.) 28.4月.1999(28.04.99) & JP 11-194275 A	1-29

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 20.11.01	国際調査報告の発送日 04.12.01
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) 田部 元史 電話番号 03-3581-1101 内線 3294