

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5018076号  
(P5018076)

(45) 発行日 平成24年9月5日(2012.9.5)

(24) 登録日 平成24年6月22日(2012.6.22)

(51) Int.Cl. F 1  
B 2 9 C 67/00 (2006.01) B 2 9 C 67/00

請求項の数 17 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2006-346577 (P2006-346577)	(73) 特許権者	000002185 ソニー株式会社
(22) 出願日	平成18年12月22日(2006.12.22)		東京都港区港南1丁目7番1号
(65) 公開番号	特開2008-155480 (P2008-155480A)	(74) 代理人	100067736 弁理士 小池 晃
(43) 公開日	平成20年7月10日(2008.7.10)		
審査請求日	平成21年12月16日(2009.12.16)	(74) 代理人	100086335 弁理士 田村 榮一
		(74) 代理人	100096677 弁理士 伊賀 誠司
		(72) 発明者	木原 信宏 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	山本 眞伸 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光造形装置及び光造形方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光硬化性樹脂上に光を照射して硬化層を順次形成することにより所望の形状の造形物を形成する光造形装置において、

上記光硬化性樹脂上を描画するための光ビームを放射する第1の光源と、

上記第1の光源から放射された光ビームを上記光硬化性樹脂上に走査させる走査手段と、

上記光硬化性樹脂上の一定領域毎に照射される光を放射する第2の光源と、

上記第2の光源から放射された光を空間変調して上記光硬化性樹脂上の所定領域を一括露光させる空間光変調手段と、

上記走査手段により走査される光ビームと、上記空間光変調手段により空間変調される光とを合成して上記光硬化性樹脂上に導く光路合成手段とを備え、

上記走査手段により走査される光ビームと、上記空間光変調手段により空間変調される光とにより、上記造形物の各硬化層を形成する光造形装置。

【請求項2】

上記走査手段により走査される光ビームと、上記空間光変調手段により空間変調される光との両方を同時に照射し、又は少なくとも一方を照射することにより、上記造形物の各硬化層を形成する請求項1記載の光造形装置。

【請求項3】

上記走査手段は、入射した光ビームを偏向して、上記第1の光源から放射された光ビー

ムを上記光硬化性樹脂の表面に平行な面内の第 1 の方向に走査させる第 1 のガルバノミラーと、

上記第 1 のガルバノミラーからの光ビームを偏向して、上記第 1 の方向に略直交する上記面内の第 2 の方向に走査させる第 2 のガルバノミラーと、

上記第 2 のガルバノミラーからの光ビームを集光する対物レンズとを有する請求項 1 記載の光造形装置。

【請求項 4】

上記対物レンズは、焦点距離と入射角との積が像高となるような関係を有する  $f$  レンズであり、

上記対物レンズは、上記第 2 のガルバノミラーからの光ビームを集光するとともに、上記第 1 及び第 2 のガルバノミラーで偏向された光ビームを上記光硬化性樹脂上に等速度で走査させる請求項 3 記載の光造形装置。

【請求項 5】

上記対物レンズは、上記光路合成手段と、上記光硬化性樹脂との間に配置され、

上記走査手段は、上記第 1 のガルバノミラーと上記第 2 のガルバノミラーとの間に設けられる第 1 のリレーレンズと、

上記第 2 のガルバノミラーと上記光路合成手段との間に設けられる第 2 のリレーレンズとを有し、

上記第 2 のリレーレンズは、上記第 2 のガルバノミラーで偏向された光ビームが上記対物レンズの前焦点位置を通過させるように導き、

上記第 1 のリレーレンズは、上記第 1 のガルバノミラーで偏向された光ビームが上記第 2 のガルバノミラー及び上記第 2 のリレーレンズを介して上記対物レンズの前焦点位置を通過させるように導く請求項 3 記載の光造形装置。

【請求項 6】

上記空間光変調手段と上記光路合成手段との間に設けられ、上記空間光変調手段により空間変調された光を上記対物レンズとともに上記光硬化性樹脂上に結像させる集光レンズとを備える請求項 3 記載の光造形装置。

【請求項 7】

上記集光レンズは、上記空間光変調手段からの光が上記対物レンズを通過したときのディストーションを相殺する請求項 6 記載の光造形装置。

【請求項 8】

上記空間光変調手段は、透過型液晶素子である請求項 1 記載の光造形装置。

【請求項 9】

上記硬化層を載置するとともに少なくとも上記光硬化性樹脂の表面に対して直交する方向に移動される移動架台と、少なくとも上記第 1 の光源、上記走査手段、上記第 2 の光源及び上記空間光変調手段からなる光学系との何れか一方を、上記表面に平行な平面内で移動させることで上記移動架台と上記光学系との相対的な位置を変化させる移動手段とを備え、

上記光ビーム及び上記光を照射することにより所定の領域の硬化層を形成し、上記移動手段により順次上記移動架台と上記光学系との相対的な位置を変化させることにより上記所望の形状の造形物の各硬化層を形成する請求項 1 記載の光造形装置。

【請求項 10】

入力された 3 次元形状データに基づいて、各層毎の 2 次元形状データを生成するとともに、上記各層毎の 2 次元形状データに基づいて、上記各層を上記表面に平行な平面内で分割した複数の分割領域毎の分割領域形状データを生成する処理部を備え、

上記分割領域形状データに基づいて上記光ビーム及び上記光を照射することにより各分割領域の硬化層を形成し、上記移動手段により順次上記移動架台と上記光学系との相対的な位置を変化させることにより上記所望の形状の造形物の各硬化層を形成する請求項 9 記載の光造形装置。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

上記空間光変調手段により空間変調された光により、上記所望の形状の造形物を得るための各層毎の所望の形状より内側の部分の粗描画を行うことで上記光硬化性樹脂の硬化層の一括描画部分を形成し、

上記走査手段により走査された光ビームにより、上記各層毎の所望の形状の境界部と、上記粗描画された部分と上記境界部との間の隙間部分との微細描画を行うことで上記光硬化性樹脂の硬化層の微細部分を形成する請求項 1 記載の光造形装置。

【請求項 1 2】

上記走査手段は、入射した光ビームを偏向して、上記第 1 の光源から出射された光ビームを上記光硬化性樹脂の表面に平行な面内の第 1 の方向に走査させる第 1 のガルバノミラーと、

上記第 1 のガルバノミラーからの光ビームを偏向して、上記第 1 の方向に略直交する上記面内の第 2 の方向に走査させる第 2 のガルバノミラーと、

通過する光ビームを高速偏向する高速偏向素子とを有し、

上記走査手段は、上記第 1 のガルバノミラーと上記第 2 のガルバノミラーとにより上記境界部をベクタースキャンするとともに、上記高速偏向素子により上記隙間部分をラスタースキャンすることにより上記硬化層の微細部分を形成する請求項 1 1 記載の光造形装置。

【請求項 1 3】

上記走査手段は、上記光硬化性樹脂に照射されて反射された光ビームを検出する反射光検出手段を有し、少なくとも上記各硬化層毎又は上記所定の領域毎にフォーカス補正を行う請求項 1 又は請求項 9 記載の光造形装置。

【請求項 1 4】

上記走査手段は、上記光硬化性樹脂に照射されて反射された光ビームを検出する反射光検出手段を有し、上記光硬化性樹脂の硬化部と未硬化部とを検出する請求項 1 記載の光造形装置。

【請求項 1 5】

上記光硬化性樹脂は、液状の紫外線硬化樹脂である請求項 1 記載の光造形装置。

【請求項 1 6】

入力手段により入力された 3 次元形状データに基づいて、光硬化性樹脂上に光を照射して硬化層を順次形成することにより所望の形状の造形物を形成する光造形方法において、

入力手段により 3 次元形状データを入力するステップと、

入力された上記 3 次元形状データに基づいて、各層毎の 2 次元形状データを生成するステップと、

上記 2 次元形状データに基づいて、空間光変調手段により上記光硬化性樹脂上に一括露光させて硬化層の所定領域を形成するための第 1 のデータと、走査手段により上記光硬化性樹脂上に光ビームを走査することにより硬化層の残りの領域を形成するための第 2 のデータとを生成するステップと、

上記第 1 のデータに基づいて、上記空間光変調手段により光を空間変調して上記光硬化性樹脂上の所定の領域を一括露光するとともに、上記第 2 のデータに基づいて、上記走査手段により光ビームを上記光硬化性樹脂上に走査することにより硬化層を順次形成するステップとを有する光造形方法。

【請求項 1 7】

入力手段により入力された 3 次元形状データに基づいて、光硬化性樹脂上に光を照射して硬化層を順次形成することにより、上記光硬化性樹脂に浸漬され少なくとも光硬化性樹脂の表面に対して直交する方向に移動される移動架台上に所望の形状の造形物を形成する光造形方法において、

入力手段により 3 次元形状データを入力するステップと、

入力された上記 3 次元形状データに基づいて、各層毎の 2 次元形状データを生成するステップと、

上記各層毎の 2 次元形状データに基づいて、上記各層を上記表面に平行な平面内で分割

10

20

30

40

50

した複数の分割領域毎の分割領域形状データを生成するステップと、

上記分割領域形状データに基づいて、空間光変調手段により上記光硬化性樹脂上に一括露光させて硬化層の分割領域の所定領域を形成するための第1のデータと、走査手段により上記光硬化性樹脂上に光ビームを走査することにより硬化層の分割領域の残りの領域を形成するための第2のデータとを生成するステップと、

上記第1のデータに基づいて、上記空間光変調手段により光を空間変調して上記光硬化性樹脂上の所定の領域を一括露光し、上記第2のデータに基づいて、上記走査手段により光ビームを上記光硬化性樹脂上に走査することにより各分割領域を形成するとともに、順次上記空間光変調手段及び上記走査手段と、上記移動架台との上記表面に平行な平面内の位置関係を変化させることにより得られる硬化層を順次形成するステップとを有する光造形方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、紫外線硬化樹脂等の光硬化性樹脂に光を照射することにより硬化層を形成し、これを積層して所望の形状の樹脂造形物を形成する光造形装置及び光造形方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、CAD装置により入力された3次元形状データを用いて、機械加工等をするのではなく目標造形物である立体モデルを生成する、所謂ラピッドプロトタイピング(RP)と呼ばれる手法が多く製造現場で注目を集めている。

20

【0003】

従来より、このラピッドプロトタイピングの手法として、紫外線硬化樹脂を用いた光造形、熱可塑性樹脂を押し出しこれを積層する方法(FDM)、粉末の熔融接着積層方式(SLS)、紙を薄膜積層する方式(LOM)、粉末や効果触媒を吐出させ積層する方式(Ink-Jet方式)等が知られている。

【0004】

従来の3次元造形では、以下のような流れにより、所望の立体形状の造形物を形成する。具体的には、まず、コンピュータ等により、立体デザインシステムであるCAD装置によって、目標とする立体形状(3次元形状データ)を入力及び設計する。

30

【0005】

次に、入力されたCADデータをSTLフォーマット等の所定の3次元形状データに変換し、造形物の配置する向き及び積層方向(正立、倒立、横転等)を決定し、積層方向に厚さを0.1~0.2mm程度とした輪切り状にスライスして、各層毎の断面データを生成する。

【0006】

そして、その各層毎の断面データに基づいて、最下層から一層毎に液状光硬化性樹脂、粉末樹脂、金属粉やワックス等の材料の性状を変化させて積み上げていくことで3次元立体モデルを得ることができる。

40

【0007】

具体的に、例えば、液状光硬化性樹脂の場合について説明すると、まず、液面に対して垂直方向に移動される移動架台上に一層目となる所定の厚みの硬化層を形成し、次に、移動架台を下方に移動させた後にこの一層目の硬化層上に、所定の厚みの硬化層を形成し、さらに、積層を進めてn-1層目の硬化層の上に、n層目の硬化層を形成することで、3次元形状モデルを得ることができる。

【0008】

以上のような3次元造形方法及びこの3次元造形を実現する造形装置は、機械加工による立体物製法では切削加工が困難であった自由曲面や複雑な構造を有する立体形状を簡単に製作することが可能であり、機械加工に要する工具の摩耗、騒音、振動、切削屑等の

50

発生することなく、完全自動化されたプロセスにより所望の立体形状（モデル）を得ることができる。

【0009】

このような有用な3次元造形技術を、例えば、外形が数mm～数cm程度で且つ精度が数 $\mu$ m程度の高精細な樹脂成型物の製造等といった多種多様な分野に適用するためには、さらに高精細及び高速な造形が望まれる。

【0010】

しかしながら、従来の立体造形方法及び立体造形装置では、当初の使用目的から50 $\mu$ m程度の精度が一般的に限界であり、これを例えば数 $\mu$ m程度の精度まで高めようとしたときには、多大な造形時間を必要とするとともに、大きな領域の造形が困難となり、すなわち、比較的大きな造形物を高精細に造形することが非常に困難であった。

10

【0011】

例えば、従来の紫外線硬化樹脂等の光硬化性樹脂を用いた光造形装置には、所謂ビームスキャン方式のものと、一括露光方式のものとがあった。

【0012】

ビームスキャン方式の光造形装置は、光源から放射されたレーザービーム等の光ビームを走査するビームスキャン光学系を有し、上述のスライスされた断面形状データに基づいて、紫外線硬化樹脂を一層ずつスキャンしながら描画することにより各硬化層を形成し、それを積層することにより立体造形を行う。尚、ビームスキャン方式としては、図6(a)に示すように、断面形状を一方向に往復して直線状にスキャンするラスタースキャンを行うものと、ラスタースキャンの短所であるエッジ部（境界部）のスムーズさが困難であることを解消するための図6(b)に示すような曲線状にスキャンするベクタースキャンを行うものと、両者の長所を活かして図6(c)に示すようにエッジ部のみをベクタースキャンで描画するラスタースキャン・ベクター併用スキャンを行うものがある。

20

【0013】

以上のようなビームスキャン方式の光造形装置は、使用波長やレンズ系の構成を変更しスポット径を小さくすることにより高精細の造形を可能とする一方で、光源の強度に限界があり且つ基本的には1本の光ビームを走査して描画を行うので、比較的大きな領域に光ビームを照射し面積の広い硬化層を形成するには非常に多大な時間を必要とするのみならず、従来の形式では、光学系の構成から光ビームの走査範囲に限界があり大きな領域の硬化層を形成することには限界があった。

30

【0014】

また、一括露光方式の光造形装置は、液晶パネルやDMD等の空間光変調器（SLM（Spatial Light Modulator））を有したSLM投影光学系を有し、上述のスライスされた断面形状データにしたがって、空間光変調器に表示された各層のパターンを紫外線硬化樹脂に投影して各硬化層を形成し、それを積層することにより立体造形を行う。

【0015】

以上のような一括露光方式の光造形装置は、1本の光ビームをビームスキャンで描画するのではないので、光源として例えばアレイ状のものを使用することが可能となり、光源を強くすることができるので露光時間を短くするを可能とする一方で、空間光変調器の画素数等により精度が決定されるため精度に限界があり、各硬化層のエッジ部をきれいに形成することができず、すなわち、高精細の造形が困難であった。

40

【0016】

【特許文献1】特開平5-77323号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

本発明の目的は、高精度な光造形を高速に行うことができる光造形装置及び光造形方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

50

## 【0018】

この目的を達成するため、本発明に係る光造形装置は、光硬化性樹脂上に光を照射して硬化層を順次形成することにより所望の形状の造形物を形成する光造形装置において、上記光硬化性樹脂上を描画するための光ビームを放射する第1の光源と、上記第1の光源から放射された光ビームを上記光硬化性樹脂上に走査させる走査手段と、上記光硬化性樹脂上の一定領域毎に照射される光を放射する第2の光源と、上記第2の光源から放射された光を空間変調して上記光硬化性樹脂上の所定領域を一括露光させる空間光変調手段と、上記走査手段により走査される光ビームと、上記空間光変調手段により空間変調される光とを合成して上記光硬化性樹脂上に導く光路合成手段とを備え、上記走査手段により走査される光ビームと、上記空間光変調手段により空間変調される光とにより、上記造形物の各硬化層を形成する。

10

## 【0020】

また、この目的を達成するため、本発明に係る光造形方法は、入力手段により入力された3次元形状データに基づいて、光硬化性樹脂上に光を照射して硬化層を順次形成することにより所望の形状の造形物を形成する光造形方法において、入力手段により3次元形状データを入力するステップと、入力された上記3次元形状データに基づいて、各層毎の2次元形状データを生成するステップと、上記2次元形状データに基づいて、空間光変調手段により上記光硬化性樹脂上に一括露光させて硬化層の所定領域を形成するための第1のデータと、走査手段により上記光硬化性樹脂上に光ビームを走査することにより硬化層の残りの領域を形成するための第2のデータとを生成するステップと、上記第1のデータに基づいて、上記空間光変調手段により光を空間変調して上記光硬化性樹脂上の所定の領域を一括露光するとともに、上記第2のデータに基づいて、上記走査手段により光ビームを上記光硬化性樹脂上に走査することにより硬化層を順次形成するステップとを有する。

20

## 【0021】

さらに、この目的を達成するため、本発明に係る光造形方法は、入力手段により入力された3次元形状データに基づいて、光硬化性樹脂上に光を照射して硬化層を順次形成することにより、上記光硬化性樹脂に浸漬され少なくとも光硬化性樹脂の表面に対して直交する方向に移動される移動架台上に所望の形状の造形物を形成する光造形方法において、入力手段により3次元形状データを入力するステップと、入力された上記3次元形状データに基づいて、各層毎の2次元形状データを生成するステップと、上記各層毎の2次元形状データに基づいて、上記各層を上記表面に平行な平面内で分割した複数の分割領域毎の分割領域形状データを生成するステップと、上記分割領域形状データに基づいて、空間光変調手段により上記光硬化性樹脂上に一括露光させて硬化層の分割領域の所定領域を形成するための第1のデータと、走査手段により上記光硬化性樹脂上に光ビームを走査することにより硬化層の分割領域の残りの領域を形成するための第2のデータとを生成するステップと、上記第1のデータに基づいて、上記空間光変調手段により光を空間変調して上記光硬化性樹脂上の所定の領域を一括露光し、上記第2のデータに基づいて、上記走査手段により光ビームを上記光硬化性樹脂上に走査することにより各分割領域を形成するとともに、順次上記空間光変調手段及び上記走査手段と、上記移動架台との上記表面に平行な平面内での位置関係を変化させることにより得られる硬化層を順次形成するステップとを有する。

30

40

## 【発明の効果】

## 【0022】

本発明は、走査手段により走査される光ビームと、空間光変調手段により空間変調される光とにより、光硬化性樹脂を硬化して各硬化層を形成することにより、高精細な立体造形物を短時間で形成することを実現する。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0023】

以下、本発明を適用した光造形装置について、図面を参照して説明する。

## 【0024】

50

本発明を適用した光造形装置 1 は、図 1 に示すように、光硬化性樹脂上に光を照射して硬化層を順次形成して積層することにより所望の形状の造形物を形成する光造形装置である。尚、以下では、光硬化性樹脂として液状の紫外線硬化樹脂を用いるものとして説明するが、液状のものに限られるものではなく、例えば、フィルム状のものを用いてもよく、さらに、紫外線硬化樹脂に限られるものでもなく、すなわち、光が照射されることにより硬化層が形成されるものであればよい。

【 0 0 2 5 】

光造形装置 1 は、具体的に、光硬化性樹脂として液状の紫外線硬化樹脂 2 を収容する収容容器 3 と、この収容容器 3 内に浸漬され少なくともこの紫外線硬化樹脂 2 の表面である液面に対して直交する垂直方向 Z に移動可能とされる移動架台 4 と、この紫外線硬化樹脂 2 上に光を照射するための後述するビームスキャン光学系及び一括露光光学系を有する光学系 5 とを有する。光造形装置 1 は、光学系 5 により光を照射し移動架台 4 上に硬化層を形成する動作と、この移動架台 4 を垂直方向 Z に下方に移動する動作とを順次繰り返すことにより立体造形を行う。また、光造形装置 1 は、後述の移動手段 6 により移動架台 4 と光学系 5 との水平面内における相対的な位置を変化させることにより、移動架台 4 及び光学系 5 を固定した状態で硬化層を形成可能な領域より大面積の硬化層を形成することが可能であり、すなわち、大きな造形物を形成することが可能である。

【 0 0 2 6 】

この光造形装置 1 は、図 2 に示すように、ビームスキャン光学系 10 用として、紫外線硬化樹脂 2 上に光を描画するための光ビームを放射するビームスキャン用光源として第 1 の光源 11 と、第 1 の光源 11 から放射された光ビームを紫外線硬化樹脂 2 上に走査させる走査手段 12 とを備え、また、一括露光光学系 30 用として、紫外線硬化樹脂 2 上の一定領域毎に照射される光を放射する一括露光用光源として第 2 の光源 31 と、第 2 の光源から放射された光ビームを紫外線硬化樹脂 2 上の所定領域を一括露光させる空間光変調手段 ( S L M ( Spatial Light Modulator ) ) 32 とを備え、さらに、走査手段 12 により走査される光ビームと、空間光変調手段 32 により空間変調される光とを合成して紫外線硬化樹脂 2 上に導く光路合成手段としてビームスプリッタ 41 を備える。

【 0 0 2 7 】

また、光造形装置 1 は、上述した第 1 の光源 11 と走査手段 12 とともに、ビームスキャン光学系 10 を構成するために、第 1 の光源 11 から放射された光ビームの発散角を変換して略平行光とするコリメータレンズ 13 と、コリメータレンズ 13 から出射された略楕円形状の光ビームを整形して略円形状にするアナモルフィックレンズ 14 と、アナモルフィックレンズ 14 から出射された光ビームのビーム径を後述する対物レンズ 42 の開口、NA ( 開口数 ) 等に適した所望のビーム径に変換してビーム径のサイズ調整を行うビームエキスパンダ 15 とを備える。

【 0 0 2 8 】

ここで、ビームエキスパンダ 15 と、後述する第 1 のガルバノミラー 21 との間には、第 1 の光源 11 から放射された光ビームを透過させるとともに、紫外線硬化樹脂 2 で反射された戻り光を検出するために後述する反射光検出手段 18 に導くためのビームスプリッタ 16 と、紫外線硬化樹脂 2 に照射する光ビームの通過・遮蔽を制御し、すなわちビームスキャン光学系 10 による描画のオン・オフ制御をするためのシャッタ 17 とが設けられている。

【 0 0 2 9 】

ビームスキャン用光学系に用いられるビームスキャン用光源としての第 1 の光源 11 は、例えば、青～紫外域程度の比較的波長の短いレーザ光を放射する半導体レーザである。尚、ここでは、半導体レーザを用いるものとしたが、これに限られるものではなく、ガスレーザ等を用いてもよい。ここでは、第 1 の光源 11 として半導体レーザを用いたので、レーザ出射後に略平行な光ビームにするためのコリメータレンズ 13 と、楕円形とされた光ビームを円形の光ビームにするためのアナモルフィックレンズ 14 が設けられている。また、ここでは、シャッタ 17 を設けるように構成したが、第 1 の光源 11 として

10

20

30

40

50

半導体レーザを用いていることから、これを直接変調することにより光ビームのオン・オフ制御をするように構成してもよい。

【0030】

光造形装置1の走査手段12は、例えば、ビームエキスパンダ15からの入射した光ビームを偏向して紫外線硬化樹脂2の表面である液面に平行な面内の第1の方向としてX方向に走査させる第1のガルバノミラー21と、第1のガルバノミラー21からの光ビームを偏向してX方向に略直交し紫外線硬化樹脂2の液面に平行な面内の第2の方向としてY方向に走査させる第2のガルバノミラー22と、ビームスプリッタ41と紫外線硬化樹脂2との間に設けられ、第2のガルバノミラー22からの光ビームを集光するとともに、第1及び第2のガルバノミラー21, 22で偏向された光ビームを紫外線硬化樹脂2上に等速度で走査させる対物レンズ42とからなる。

10

【0031】

また、走査手段12は、第1のガルバノミラー21と第2のガルバノミラー22との間に設けられる第1のリレーレンズ23と、第2のガルバノミラー22とビームスプリッタ41との間に設けられる第2のリレーレンズ24とを有する。

【0032】

第1及び第2のガルバノミラー21, 22は、所定の方向に回転可能とされたミラー等の反射手段と、電気信号に応じて反射手段の回転方向の角度を調整する調整手段とを有し、光ビームを所定の方向に走査させるため、入射した光ビームを所定の角度で反射して、すなわち所望の方向に偏向することにより、移動架台4上の走査すべき面内(以下、「ワーク領域」ともいう。)に光ビームを走査させる。このように、第1及び第2のガルバノミラー21, 22は、光ビームを偏向するビーム偏向手段として機能する。尚、ここでは、第1のガルバノミラー21により光ビームをX方向に走査させ、第2のガルバノミラー22により光ビームをY方向に走査させるように構成したが、これに限られるものではなく、紫外線硬化樹脂2の液面に平行な面内、すなわち、移動架台4上の走査すべき面内において、略直交する任意の二軸の一方及び他方を走査できるように構成すればよい。また、走査手段12に設けられ光ビームを所定の二軸方向にそれぞれ偏向させるビーム偏向手段としては、上述のガルバノミラーに限られるものではなく、ポリゴンミラー等を用いるように構成してもよい。

20

【0033】

第1及び第2のガルバノミラー21, 22で偏向された光ビームを紫外線硬化樹脂2上に等速度で走査させる対物レンズ42は、一又は複数のレンズを有するレンズ群からなり、第1及び第2のガルバノミラー21, 22によりX方向及びY方向に走査され、ビームスプリッタ41で反射されて入射された光ビームを紫外線硬化樹脂2上に集光して結像させることで、第1及び第2のガルバノミラー21, 22で偏向された光ビームを紫外線硬化樹脂2上に均一な走査線速度で走査させる。また、この対物レンズ42は、後述の一括露光光学系30からの空間変調された光を紫外線硬化樹脂2上に結像させる。

30

【0034】

ここでは、この対物レンズ42として、図3に示すように、入射角 $\theta$ に比例した像高Yをもち、焦点距離fと入射角 $\theta$ との積が像高Yとなるような関係( $Y = f \times \theta$ )を有する所謂f レンズが用いられる。換言すると、f レンズは、走査される光ビームの走査速度が、レンズへの入射位置によらず、常に一定となるように設計されたレンズである。

40

【0035】

すなわち、対物レンズ42としてのf レンズは、例えば、第1及び第2のガルバノミラー21, 22の回転速度を等速度とした状態で、この第1及び第2のガルバノミラー21, 22で走査され対物レンズ42により結像されるワーク領域内における走査線速度を等速度とすることを可能とし、走査線速度がばらつくことによる設計形状と実際の硬化層の形状との違いが発生することを防止する。すなわち、例えば、XY方向に対して傾斜した所望の直線上を結像される光ビームを走査しようとした場合に、X方向の走査線速度成分と、Y方向の走査線速度成分との何れか一方又は両方がばらついたときには、走査され

50

る光ビームが所望の直線を描くことができなくなることを、上述の対物レンズ42及び第1及び第2のガルバノミラー21, 22は、解消することができる。このように、対物レンズ42は、第1及び第2のガルバノミラー21, 22とともに、ワーク領域上の走査線速度を等速度に走査させることを可能とし、微細描画による高精細な造形を実現する。

【0036】

尚、ここで用いられる対物レンズ42は、f レンズに限られるものではなく、通常の集光機能を有するレンズを用いるとともに第1及び第2のガルバノミラー21, 22を制御する駆動制御部側でその回転速度を電氣的に調整制御し、第1及び第2のガルバノミラー21, 22で偏向された光ビームを対物レンズで集光して均一な走査線速度で走査させるように構成してもよい。

10

【0037】

ここで、第1及び第2のガルバノミラー21, 22と対物レンズ42とにより、第1の光源11から放射された光ビームを走査する動作について図4を用いて説明する。尚、図4中においては、第1のガルバノミラー21と対物レンズ42との動作を示すために第2のガルバノミラー22、第1及び第2のリレーレンズ23, 24並びにビームスプリッタ41を省略して示す。また、第2のガルバノミラー22と対物レンズ42との動作についても同様であるので詳細は省略する。

【0038】

第1のガルバノミラー21には、コリメータレンズ13で平行光とされ、ビームエキスパンダ15で均一化された光ビームが入射され、その角度に応じてX方向に走査されて、対物レンズ42によりワーク領域上に集光される。

20

【0039】

このように、対物レンズ42は、第1のガルバノミラー21によりX方向に走査された光ビームが所定の状態で入射させることで、ワーク領域上をX方向に走査させるとともにワーク領域の紫外線硬化樹脂2上に垂直方向に入射させテレセントリックに結像させる。また、対物レンズ42は、同様に、第2のガルバノミラー22によりY方向に走査された光ビームが所定の状態で入射させることで、ワーク領域上をY方向に走査させるとともにワーク領域の紫外線硬化樹脂2上に垂直方向に入射させテレセントリックに結像させる。

【0040】

ところで、第1及び第2のガルバノミラー21, 22による走査方向のスキャン角度と、対物レンズ42の焦点距離には、一定の関係がある。上述のように、対物レンズ42をf レンズとした場合には、ワーク領域のX方向及びY方向の寸法がそれぞれ1cm、すなわちワーク領域を1cm×1cm程度とし、第1及び第2のガルバノミラー21, 22のスキャン角度を±10度程度とすると、焦点距離は約28.65mm程度となる。尚、第1及び第2のガルバノミラー21, 22のスキャン角度及び対物レンズ42の構成を変えることによりワーク領域の大きさを変更することも可能である。

30

【0041】

このように、ワーク領域の大きさは、第1及び第2のガルバノミラー21, 22の回転角度、対物レンズ42の径及び構成、その他の光学部品の構成及び配置等により決定される。また、ワーク領域の大きさは、後述の一括露光光学系30の空間光変調手段32等によっても決定される。また、ワーク領域とは、光学系5と移動架台4との液面と平行な平面内、すなわち水平な平面内での位置関係が変化しない状態における硬化層を形成可能な領域であって、且つ、垂直方向Zにおいては移動架台4又は移動架台4上に既に形成された硬化層上の領域である。換言すると、ワーク領域は、これから硬化層を形成しようとする領域を意味するものである。

40

【0042】

また、対物レンズ42は、前側焦点位置である物側焦点位置がビームスプリッタ41の反射透過面41aに一致され、後側焦点位置である像側焦点位置が移動架台4上のワーク領域の紫外線硬化樹脂2に一致されて配置されている。ここで、ワーク領域の紫外線硬化樹脂2とは、移動架台4上の光ビームを走査可能な面内で且つ紫外線硬化樹脂2の硬化層

50

を形成すべき高さの位置の紫外線硬化樹脂 2 をいい、多くの場合は表面、すなわち液面付近の位置を意味するものである。尚、ここでは、対物レンズの物側焦点位置を反射透過面 4 1 a に一致して配置されるように構成したが、厳密に一致させる必要はなく、ビームスプリッタ 4 1 自体が大きくなりすぎない程度に、反射透過面 4 1 a の近傍に物側焦点位置が位置するように配置されていればよい。すなわち、ビームスキャン光学系 1 0 及び一括露光光学系 3 0 からの光ビーム及び光が全て反射透過面 4 1 a を通過させる必要があることからビームスプリッタ 4 1 が大きくなりすぎない程度に、反射透過面 4 1 a の近傍に対物レンズ 4 2 の物側焦点位置が位置するようにすればよい。

【 0 0 4 3 】

第 1 及び第 2 のリレーレンズ 2 3 , 2 4 は、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1 , 2 2 による必要なスキャン角度にわたり、平行入射光ビームを平行に出射することができる。同時に、物体面としての第 1 又は第 2 のガルバノミラー 2 1 , 2 2 上で反射させる光ビームを、次のガルバノミラー 2 3 又は、ビームスプリッタ 4 1 の反射透過面 4 1 a 上に結像することができる。

10

【 0 0 4 4 】

すなわち、第 1 のリレーレンズ 2 3 は、一又は複数のレンズを有するレンズ群からなり、第 1 のガルバノミラー 2 1 で反射された光ビームを第 2 のガルバノミラー 2 2 上の反射面に結像し、第 2 のリレーレンズ 2 4 は、一又は複数のレンズを有するレンズ群からなり、第 2 のガルバノミラー 2 2 で反射された光ビームをビームスプリッタ 4 1 の反射透過面 4 1 a 上に結像する。

20

【 0 0 4 5 】

このような機能を有する第 1 及び第 2 のリレーレンズ 2 3 , 2 4 は、両側テレセントリック結像光学系となるように構成されている。尚、図 5 に両側テレセントリック結像光学系となるような光学系の代表例であって所謂「4 f 光学系」とも呼ばれる光学系について示す。図 5 に示すようなテレセントリック結像光学系は、例えば、最も前方側の位置に配置されたレンズの前焦点位置に第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1 , 2 2 に相当する物体面 P o が配置され、最も後方側の位置に配置されたレンズの後焦点位置に第 2 のガルバノミラー 2 2 又はビームスプリッタ 4 1 に相当する像面 P i が配置されることで、物体面 P o 上の任意の位置で集光された光ビームが発散して入射されたとき、像面 P i 側の対応する位置に収束されることとなる。そして、物体面 P o 上の任意の位置から平行光として入射した光ビームは、像面 P i 側の対応する位置に平行光として入射することとなる。このように、両側テレセントリック結像光学系は、物体面側から所定の位置、所定の方向で入射した平行光を、像面側の対応する位置に、対応する方向で平行光を出射させることとなる。

30

【 0 0 4 6 】

そして、第 2 のリレーレンズ 2 4 は、第 2 のガルバノミラー 2 2 で偏向された光ビームが、対物レンズ 4 2 の物側焦点位置を通過、すなわち、反射透過面 4 1 a の中心を通過するように導くとともに、対物レンズ 4 2 の所定の位置に入射するような所定の角度でこの物側焦点位置を通過するようにできる。すなわち、第 2 のリレーレンズ 2 4 は、第 2 のガルバノミラー 2 2 で偏向された光ビームの光軸が対物レンズ 4 2 の前側焦点を、ワーク領域内を走査される位置に応じた角度で通過して対物レンズ 4 2 に入射するように導くことができる。

40

【 0 0 4 7 】

第 1 のリレーレンズ 2 3 は、第 1 のガルバノミラー 2 1 で偏向され、第 2 のガルバノミラー 2 2 及び第 2 のリレーレンズ 2 4 を経由した後の光ビームが、対物レンズ 4 2 の物側焦点位置を通過、すなわち、反射透過面 4 1 a の中心を通過するように導くとともに、対物レンズ 4 2 の所定の位置に入射するような所定の角度でこの物側焦点位置を通過するようにできる。すなわち、第 1 のリレーレンズ 2 3 は、第 1 のガルバノミラー 2 1 で偏向された光ビームの光軸が対物レンズ 4 2 の前側焦点を、ワーク領域内を走査される位置に応じた角度で通過して対物レンズ 4 2 に入射するように導くことができる。

50

## 【 0 0 4 8 】

すなわち、第1及び第2のリレーレンズ23, 24は、異なる位置に配置された第1及び第2のガルバノミラー21, 22によりX方向及びY方向に偏向され走査される光ビームを一旦対物レンズ42の前側焦点位置を通過させることができる。

## 【 0 0 4 9 】

第1及び第2のリレーレンズ23, 24は、異なる位置に配置された第1及び第2のガルバノミラー21, 22によりX方向及びY方向に偏向され走査される光ビームの、X方向及びY方向の通過位置を調整して、f レンズ等の対物レンズ42の前側焦点位置を一旦通過するようにしたことから、すなわち、二次元で変調された光ビームをf レンズの物側焦点を走査される位置に応じた角度で通過させ、これをf レンズで投影するようにしたことから、走査される位置に拘わらず対物レンズ42により集光される光ビームを紫外線硬化樹脂2の液面に対して垂直にすることができ、光ビームが斜めに集光されることにより各硬化層に傾斜面が形成されてしまうことを防止して高精細な造形を可能とする。また、第1及び第2のリレーレンズ23, 24は、このように、変調された光ビームを紫外線硬化樹脂2の液面に対して垂直に入射させることができるので、反射された戻りの光ビームの光路を往路の光ビームの光路と一致させて、後述する反射光検出手段18に導くことを可能とする。

10

## 【 0 0 5 0 】

また、第1及び第2のリレーレンズ23, 24は、後述の一括露光光学系30との光路の合成が必要なことから、ビームスプリッタ41を配置し、このビームスプリッタ41より紫外線硬化樹脂2側に対物レンズ42を配置する必要、及びこのビームスプリッタ41より第1の光源11側に第1及び第2のガルバノミラー21, 22を配置する必要から、この第1及び第2のガルバノミラー21, 22及びビームスプリッタ41とがガルバノミラーの反射手段の回転により物理的に衝突してしまうことを防止することができる、すなわち、衝突してしまう範囲より距離を離間させることを可能とする。

20

## 【 0 0 5 1 】

尚、ここで、ビームスプリッタ41を配置するのは、ビームスキャン光学系10と後述の一括露光光学系30の照射光路を一致させるためであり、このようなビームスプリッタ41により光路合成することにより、ワーク領域に対して両光学系ともに垂直方向から光ビーム及び光を照射して、垂直方向から傾斜した斜め方向から照射されることにより各硬化層に傾斜面が形成されてしまうことを防止して、高精細な造形を実現するためである。

30

## 【 0 0 5 2 】

また、ビームスプリッタ41より紫外線硬化樹脂2側に対物レンズ42を配置する必要があるのは、対物レンズ42をビームスプリッタ41より手前に配置してしまうと、ビームスプリッタ41が大きくなってしまふからであり、また、ビームスプリッタ41より紫外線硬化樹脂2側に対物レンズ42を配置することにより、対物レンズ42から紫外線硬化樹脂2までの距離が大きくなることによる走査される光ビームの照射位置の誤差等の問題が発生するおそれを防止できるからである。

## 【 0 0 5 3 】

以上のような、第1の光源11と、第1及び第2のガルバノミラー21, 22、第1及び第2のリレーレンズ23, 24、対物レンズ42からなる走査手段12と、コリメータレンズ13と、アナモルフィックレンズ14と、ビームエキスパンダ15とは、ビームスキャン光学系10を構成し、この光造形装置1のビームスキャン光学系10は、第1の光源11から放射された光ビームを、コリメータレンズ13で略平行とし、アナモルフィックレンズ14でビーム整形し、ビームエキスパンダ15でビーム径を調整し、第1及び第2のリレーレンズ23, 24で対物レンズ42の前側焦点位置を通過するようにされた状態で第1及び第2のガルバノミラー21, 22によりX方向及びY方向に走査されるように偏向して、ビームスプリッタ41により対物レンズ42側に導かれて、対物レンズ42により紫外線硬化樹脂2上の所望の位置に走査されるとともに集光されて微細領域を照射するとともに描画して硬化層を形成する。

40

50

## 【 0 0 5 4 】

この際、従来一般的なビームスキャン方式の光造形装置ではX方向のガルバノミラーとY方向のガルバノミラーとを互いに近接して配置し、2次元スキャンを行うものが多いが、上述の光造形装置1は、後述の一括露光光学系30と合成する必要があるので、第1のリレーレンズ23でX方向に第1のガルバノミラー21で偏向された光ビームを第2のガルバノミラー22上に結像し、さらにY方向に第2のガルバノミラー22で偏向された光ビームを第2のリレーレンズ24で対物レンズ42の物側焦点上に結像する構成としている。

## 【 0 0 5 5 】

換言すると、対物レンズ42は、第1及び第2のガルバノミラー21、22とワーク位置との間に、後述する一括露光光学系30と合成するためのビームスプリッタ41を設ける必要があることから、ビームスプリッタ41とワーク位置との間に設けられており、第1及び第2のリレーレンズ23、24は、この第1及び第2のガルバノミラー21、22とワーク位置との距離が遠くなった場合にも第1及び第2のガルバノミラー21、22並びにワーク領域上の所定の位置に高精度に光ビームを結像させ、且つテレセントリックに結像させることができる。ここで、ワーク位置とは、ワーク領域すなわち、移動架台4上の紫外線硬化樹脂2が設けられた位置をいう。

10

## 【 0 0 5 6 】

以上のように、光造形装置1は、上述のような走査手段12等からなるビームスキャン光学系10により、紫外線硬化樹脂2上の所望の微細な描画を可能とし、これにより高精度に所望の形状の硬化層を得ることができ、よって、高精細な造形を実現する。

20

## 【 0 0 5 7 】

尚、このビームスキャン光学系10は、所望の断面形状データに応じて、図6(a)に示すように、断面形状を所定の一方方向に往復して直線状にスキャンするラスタースキャンと、図6(b)に示すように、境界部(エッジ部)等をスムーズに曲線状にスキャンするベクタースキャンとを適宜切り換えて、図6(c)に示すように併用してラスタースキャン・ベクター併用スキャンを行うことが可能である。

## 【 0 0 5 8 】

また、光造形装置1のビームスキャン光学系10は、上述のように紫外線硬化樹脂2上に走査され照射された光ビームが紫外線硬化樹脂2又は硬化層で反射された光ビーム(以下、「反射光」ともいう。)を検出するための反射光検出手段18を有している。反射光検出手段18は、紫外線硬化樹脂2で反射され、各光学部品を経由してビームスプリッタ16で反射された反射光を検出する。光造形装置1は、反射光検出手段18で検出することによりフォーカス補正を行うことができる。

30

## 【 0 0 5 9 】

反射光検出手段18によりフォーカス補正用の信号を検出する方法には、例えば、非点収差法を用いたようなものや、三角測量法によるもの等のいずれでもよい。尚、ここで、非点収差法を用いる場合には、シリンドリカルレンズ等の非点収差を付与する素子を設け、ここで発生された非点収差を検出することにより、フォーカス補正用の信号を検出するものであり、三角測量法を用いる場合には、戻り(復路)の光ビームが、往路の光ビームに対して僅かに角度を有するように形成し、この往路の光ビームから戻りの光ビームへの距離を検出することにより、フォーカス補正用の信号を検出するものである。

40

## 【 0 0 6 0 】

尚、この反射光検出手段18によるフォーカス検出及び補正は、常時行うように構成してもよく、また、少なくとも各硬化層を形成する毎、すなわち、移動架台4を垂直方向Zに移動させる毎に行うように構成してもよく、さらに、後述のステップ&リピート動作の際の所定の分割領域毎、すなわち、移動架台4を水平方向X、Y及びZ又は垂直方向Zに移動させる毎に行うように構成してもよい。

## 【 0 0 6 1 】

また、光造形装置1は、上述の反射光検出手段18により、光ビームを走査している位

50

置の紫外線硬化樹脂 2 が未硬化部又は硬化部のいずれかであるかを検出することができる。すなわち、この反射光検出手段 18 は、紫外線硬化樹脂 2 の硬化すると反射率が変化する性質を利用するものであり、反射光の強度をモニタリングする反射光モニターとして機能する。

【0062】

光造形装置 1 は、反射光モニターとしての反射光検出手段 18 に基づき、形成された硬化層の状態を把握し、より一層の高精度の硬化層の形成、及び高精細な立体造形を実現する。例えば、光造形装置 1 は、ビームスキャン光学系 10 により描画を行う際に光学的及び/又は電氣的にディストーションが発生した際にも、それを反射光検出手段 18 により検出し、このディストーションの電氣的な構成に利用することにより、高精度の硬化層の形成、及び高精細な立体造形を実現する。

10

【0063】

尚、ここでは、反射光用のビームスプリッタ 16 と反射光検出手段 18 とにより、フォーカス検出及び反射光モニターの二つの機能を同時に有する構成としたが、ビームスプリッタと検出手段とを各々二つずつ設けるように構成してもよい。

【0064】

また、光造形装置 1 は、上述した第 2 の光源 31 と空間光変調手段 32 とともに、一括露光光学系 30 を構成するために、所定の偏光光とするための偏光板 33 と、通過する光を均一化するためのビームインテグレータ 34 と、ビームインテグレータ 34 からの光を空間光変調手段 32 に導く反射手段 35 と、空間光変調手段 32 で空間光変調された光を対物レンズ 42 の前焦点に集光するための集光レンズ 36 とを備える。

20

【0065】

ここで、第 2 の光源 31 と、偏光板 33 との間には、紫外線硬化樹脂 2 に照射する光の通過・遮蔽を制御し、すなわち、一括露光光学系 30 による露光のオン・オフ制御をするためのシャッタ 37 が設けられている。

【0066】

一括露光光学系 30 に用いられる一括露光用光源としての第 2 の光源 31 は、例えば、高出力な青色 LED (Light Emitting Diode) のアレーである。尚、一括露光用光源は、ビームスキャン用光源とは、異なりコヒーレントなレーザ光源を用いる必要はない。この第 2 の光源 31 である LED アレーから放射された光は、ビームインテグレータ 34 で均一化される。

30

【0067】

ビームインテグレータ 34 としては、複数のレンズエレメントを配列してなるフライアイタイプや、四角柱等の柱状のロッドレンズの内部を全反射させる構成としてライトロッドタイプ等の一般的なものを用いることが可能である。このようなビームインテグレータ 34 を通過した光は、後述する透過型液晶素子 38 を均一に照射する。

【0068】

光造形装置 1 の空間光変調手段 32 として、例えば、重ね合わされた 2 枚の透明基板と、この透明基板間に封入された液晶からなる液晶層と、透明電極とを有する透過型液晶素子 38 が用いられる。この透過型液晶素子 38 は、各画素毎に駆動信号に基づいて投影しようとする画像に対応して液晶の分子の配列を変えて透過する偏光方向を変化させることで通過する光を空間変調し、所望の投影光を紫外線硬化樹脂 2 上に投影することができる。ここで、投影しようとする画像とは、一括露光をしようとする形状に対応した光となるような投影光をいう。尚、ここでは、空間光変調手段 32 として、透過型液晶素子を用いるものとして説明したが、これに限られるものではなく、入力信号に応じて傾き角度が変化する微小な反射ミラーを複数配列してなるデジタルミラーマイクロデバイス (DMD) や、反射型液晶素子 (LCOS) 等を用いて構成してもよい。デジタルミラーマイクロデバイス (DMD) を用いる場合には、各マイクロミラーが後述する 1 画素に対応する。

40

【0069】

ここでは、透過型液晶素子 38 の画素数として、縦横 1000 × 1000 からなる 10

50

0万画素のものを用い、集光レンズ36及び対物レンズ42を通過したワーク領域上での1画素毎に対応する大きさを約 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 程度とすることによって、この透過型液晶素子38を有する一括露光光学系30は、1画素毎に対応した一定領域毎( $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ )に $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ の領域内の一括して露光すべき所定領域を一括露光することが可能となる。このように、この空間光変調手段としての透過型液晶素子38により一括して露光可能な $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ の領域が上述したワーク領域となる。尚、画素数を増加させることで、上述した1画素に対応した一定領域を小さくして一括露光の精度を高めることも可能であり、また、集光レンズ36及び対物レンズ42の構成を変えることでワーク領域の大きさを変更することも可能である。さらに、空間光変調手段32は、形成すべき所望の形状データに応じて各層毎又は後述の各分割領域毎に、使用画素数を変化させたり、投影サイズを変化させるように構成してもよい。

10

## 【0070】

また、この光造形装置1では、空間光変調手段32として透過型液晶素子38を用い、この透過型液晶素子38に所定の偏光光で入射するために上述の偏光板33を用いるように構成したが、他の方法により所定の偏光光で入射するように構成してもよい。

## 【0071】

集光レンズ36は、空間光変調手段32と、ビームスプリッタ41との間に設けられ、対物レンズ42とともに、空間光変調手段32で変調された光を紫外線硬化樹脂2上に結像するための投影光学系として機能する。また、集光レンズ36は、空間光変調手段32により空間変調された光が対物レンズ42を通過する際のディストーションを補正するレンズ群により構成され、上述の投影光学系として機能するのみならず、ディストーションを最大限低減させることができる。換言すると、集光レンズ36は、後述のようにビームスキャン光学系10と一括露光光学系30とを合成する必要があることから、一括露光光学系30による光がビームスキャン光学系10のf レンズ等の対物レンズ42を通過してしまうことにより発生してしまうディストーションを防止することができる。

20

## 【0072】

以上のような、第2の光源31と、透過型液晶素子等の空間光変調手段32と、偏光板33と、ビームインテグレート34と、反射手段35と、集光レンズ36と、対物レンズ42とは、一括露光光学系30を構成し、この光造形装置1の一括露光光学系30は、第2の光源31から放射された光ビームを、偏光板33で所定の偏光光とし、ビームインテグレート34で均一化し、空間光変調手段32である透過型液晶素子38で所定の露光を行うような投影光となるように空間変調し、集光レンズ36により対物レンズ42の前焦点位置に集光されて、対物レンズ42により紫外線硬化樹脂2上に所望の露光を行うように照射される。

30

## 【0073】

この際、一括露光光学系30において、空間光変調手段32で空間変調された光は、集光レンズ36でビームスプリッタ41上に、すなわち、対物レンズ42の前焦点位置で集光され、上述したビームスキャン光学系10を経由した走査される光ビームと合成され、対物レンズ42により紫外線硬化樹脂2上に結像されて所定領域に照射される。このとき、集光レンズ36により、ディストーションは最大限に低減されている。

40

## 【0074】

また、空間光変調手段32は、第2の光源31としてLEDのアレーを用いることができることから放射される光の光強度を大きくすることができるので、この空間光変調手段32で空間変調され、集光レンズ36、対物レンズ42により結像される範囲を、光強度に応じた所定の時間で硬化層を形成することができ、高速造形を可能とする。

## 【0075】

以上のように、光造形装置1は、上述のような空間光変調手段32等からなる一括露光光学系30により、所望の造形物を得るための各層毎の所望の形状に含まれる領域の紫外線硬化樹脂2上への1画素に対応した一定領域毎からなる所定範囲への大まかな描画すなわち粗描画を行うことを可能とし、これにより一定の範囲の硬化層の形成を一括、すなわ

50

ち短時間で行うことができ、よって、このような一括描画により高速度な造形を実現する。

【0076】

光造形装置1は、ビームスキャン光学系10の走査手段12により走査される光ビームと、一括露光光学系30の空間光変調手段32により空間変調される光とをビームスプリッタ41で光路合成し、対物レンズ42を經由して移動架台4上の紫外線硬化樹脂2に照射することで、高速且つ高精細な造形を実現する。

【0077】

すなわち、上述のような構成とされた光造形装置1は、走査手段12により走査される光ビームと、空間光変調手段32により空間変調される光とを同時に照射し、又は一方を照射することの双方を可能とし、より高速度な造形を可能とする。

10

【0078】

この際、ビームスキャン光学系10及び一括露光光学系30からの光ビーム及び光をビームスプリッタ41で合成していることから、両光学系のいずれを用いる場合にも紫外線硬化樹脂2に対して垂直方向から照射することができるので、硬化層及び造形物が水平方向に対して斜め方向に傾斜してしまふことがなく、高精細な造形を可能とする。

【0079】

また、光造形装置1は、高速度を実現する一括露光光学系30により、目標とする立体造形物の各層の形状に応じて、大部分一括して露光できる部分に関しては、空間光変調手段32により空間変調される光を照射して高速造形を可能とするとともに、境界部等の高精細な造形を要求される部分に関しては、走査手段12により走査される光ビームを照射して高精細な微細造形を可能とする。

20

【0080】

例えば、図7に示すような、目標とする立体造形物の各層の形状である目標二次元形状  $f_1$  がワーク領域内にあった場合、光造形装置1は、空間光変調手段32により空間変調された光により一括露光（一括描画）して、所望の形状の造形物を得るための各層毎の所望の形状より内側の部分であって上述の1画素に対応した各一定領域を組み合わせた部分（以下、「一括描画領域」ともいう。）の粗描画（以下、「一括描画」ともいう。）を行うことで各画素に対応して硬化された部分  $a_{11}$  が一又は複数組み合わせられてなる光硬化性樹脂の硬化層の大部分  $a_1$ （以下、「一括描画部分」ともいう。）を形成し、走査手段12により走査された光ビームにより、各層毎の所望の形状の境界部分  $a_{21}$  と、粗描画された部分と境界部との間の隙間部分  $a_{22}$  と（以下、この境界部分と隙間部分とを合わせて「微細描画領域」ともいう。）の微細描画を行うことで光硬化性樹脂の硬化層の微細部分  $a_2$ （以下、「微細描画部分」ともいう。）を形成することができる。

30

【0081】

尚、走査手段12等からなるビームスキャン光学系10により微細描画に際しては、図8に示すように、境界部  $a_{21}$  及び隙間部分  $a_{22}$  をベクタースキャンを繰り返し行うことによって硬化層の微細部分  $a_2$  を形成してもよく、また、図9に示すように、境界部  $a_{21}$  をベクタースキャンにより行い、隙間部分  $a_{22}$  をラスタースキャンにより行うことで硬化層の微細部分  $a_2$  を形成してもよい。

40

【0082】

このように、光造形装置1は、図7に示すような目標二次元形状をビームスキャン方式の従来の光造形装置により形成するよりも短時間で硬化層を形成することができ、一括露光方式の従来の光造形装置により形成するよりも高精度に硬化層を形成することができる。また、光造形装置1は、上述したように、移動架台4を垂直方向Zの下方側に移動させて次に硬化層を形成するための位置にワーク領域が位置するように移動させて、すなわち、形成層を変更する動作を繰り返すことにより立体造形物を形成でき、上述したような高精度な硬化層を短時間で形成することにより、高精度な造形物を短時間で造形することが可能となる。

【0083】

50

また、本発明を適用した光造形装置 1 は、図 1 に示すように、移動架台 4 と、上述した走査手段 1 2、空間光変調手段 3 2、ビームスプリッタ 4 1 等からなる光学系 5 との何れか一方を紫外線硬化樹脂 2 の液面に平行な平面内で X 方向及び Y 方向に移動させる移動手段 6 を備えている。尚、ここでは、移動手段 6 は、移動架台 4 を紫外線硬化樹脂 2 の液面に平行な平面内で略直交する二軸方向 X, Y に駆動させる移動手段とするが、これに限られるものではなく、移動架台 4 及び光学系 5 の少なくとも一方を移動させることで相対的な位置を変化させるものであればよい。また、ここでは、移動架台 4 を収容容器 3 に対しても液面に平行な平面内で移動させるように構成したが、この平面内での移動は、移動架台 4 と収容容器 3 とを同時に移動させるように構成してもよい。

【 0 0 8 4 】

移動手段 6 は、例えば移動架台 4 を X 方向及び / 又は Y 方向に移動させ、移動架台 4 及び光学系 5 の水平面内における相対的な位置を変化させることにより、光学系 5 により移動架台 4 上及びこれに積層された硬化層上に、硬化層を形成可能な領域を液面に平行な面内で変えることができ、このように、ワーク領域を変更することができる。

【 0 0 8 5 】

このように、光造形装置 1 は、後述のデータ処理及び制御部 1 0 1 に駆動制御されることにより、移動架台 4 及び移動手段 6 により、光学系 5 と移動架台 4 との相対的な位置関係を X, Y, Z 方向に変化させることが可能である。尚、ここでは、X, Y, Z 方向への相対位置の関係の変化を可能とするように構成したが、例えば、移動架台 4 を Z 方向の軸回り方向にも変化させるように構成してもよく、このように構成することで、さらに、造形物を高速且つ高精細に形成することも可能である。

【 0 0 8 6 】

光造形装置 1 は、この移動手段 6 により移動架台 4 と光学系 5 との相対的な位置を変化させる動作と、光学系 5 の光及び光ビームにより硬化層を形成する動作とを順次繰り返す動作「以下、「ステップ&リピート動作」ともいう。）によりさらに広範囲な造形を行うことを実現し、すなわち、より大きな造形物を高精細に造形することが可能となる。

【 0 0 8 7 】

ここで、このステップ&リピート動作について詳細に説明する。尚、以下の説明においては、この光造形装置 1 により紫外線硬化樹脂 2 の液面に平行な平面内の大きさが例えば 1 0 c m × 1 0 c m 以内の寸法とされる造形物を作成するものとして説明する。また、造形物の液面に直交する所謂高さ方向の寸法は、移動架台 4 の Z 方向の移動可能な範囲により決定される。

【 0 0 8 8 】

ステップ&リピート動作を可能とする光造形装置 1 は、例えば図 1 0 に示すように、この 1 0 c m × 1 0 c m の領域を造形物の各層を形成することができる最大の領域を示すワーク全体領域  $W_{a_1_1}$  として、これを例えば 1 c m × 1 c m の個別の分割領域からなる各ワーク領域  $W_{x_y}$  に分割し、この各ワーク領域  $W_{x_y}$  毎に光学系 5 から光及び光ビームを照射して移動架台 4 上に硬化層を形成するとともに、順次、上述した移動手段 6 により移動架台 4 と光学系 5 との相対的な位置を変化することにより所望の造形物の各硬化層を形成する。

【 0 0 8 9 】

具体的に図 1 0 中  $F_{a_1_1}$  で示されるような目標二次元形状がワーク全体領域  $W_{a_1_1}$  内にあった場合に、まず、図 1 0 及び図 1 1 に示すように、移動架台 4 上の一のワーク領域  $W_{3_2}$  に対向する位置に光学系 5 が位置する状態とされた場合の一のワーク領域  $W_{3_2}$  において、一括露光光学系 3 0 の空間光変調手段 3 2 により空間変調された光による粗描画を行うことでこのワーク領域内の硬化層の大部分である一括描画部分  $a_{3_2_1}$  を形成するとともに、ビームスキャン光学系 1 0 の走査手段 1 2 により走査された光ビームによる微細描画を行うことでこのワーク領域内の硬化層の微細部分である微細描画部分  $a_{3_2_2}$  を形成する。これにより、一のワーク領域  $W_{3_2}$  内の所定の形状  $f_{3_2}$  の硬化層を形成することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 0 】

そして、移動手段 6 により移動架台 4 と光学系 5 との相対的な位置を変化することにより、移動架台 4 上の他のワーク領域  $W_{x y}$  に対向する位置に光学系 5 が位置する状態とする。このワーク領域  $W_{x y}$  においても、上述したワーク領域  $W_{3 2}$  と同様に硬化層を形成し、このステップ&リピート動作を繰り返すことにより、造形物の各硬化層の一層を形成することができる。そして、上述のように、移動架台 4 を Z 方向に移動させた後に、上述のステップ&リピート動作を行うことを順次繰り返して各硬化層を積層することで造形物を形成することができる。

## 【 0 0 9 1 】

以上のように、移動架台 4 と光学系 5 との相対位置を変化させる移動手段 6 を有しステップ&リピート動作を行う光造形装置 1 は、比較的大きな範囲の領域を、高精細且つ短時間で硬化させることができ、これにより比較的大きな立体造形物を形成することを可能とする。

10

## 【 0 0 9 2 】

尚、上述では、1 cm x 1 cm 程度の所定の小領域において、一括露光光学系 3 0 により 1 0  $\mu$  m 程度のオーダで粗描画を行い、ビームスキャン光学系 1 0 により 1  $\mu$  m 程度のオーダで微細描画を行うとともに、ステップ&リピート動作を行うことにより 1 0 cm x 1 0 cm 程度の比較的大きな造形物を実現するものとしたが、移動手段 6 により移動架台 4 等をさらに広範囲に移動させることでさらに大きな造形物の造形を実現できるとともに、一括露光光学系 3 0 の空間光変調手段 3 2 の画素数を変化させたり、ビームスキャン光学系 1 0 によりさらに小さなビームスポットを形成する構成に変えることでさらに微細な描画も実現できる。

20

## 【 0 0 9 3 】

ところで、本発明を適用した光造形装置 1 は、データベース、プログラム等が格納されたハードディスク、データがロードされる R A M (Random Access Memory)、演算を行う C P U (Central ProcessingUnit) 等を有したデータ処理及び制御装置 1 0 0 を備えている。

## 【 0 0 9 4 】

このデータ処理及び制御装置 1 0 0 は、図 1 2 に示すように、各種データの処理や、各光学部品等を制御するデータ処理及び制御部 1 0 1 と、このデータ処理及び制御部 1 0 1 に 3 次元形状データ等を入力するための入力部 1 0 2 と、このデータ処理及び制御部 1 0 1 を操作するための操作部 1 0 3 とを備えている。

30

## 【 0 0 9 5 】

データ処理及び制御部 1 0 1 は、図 1 2 に示すように、第 1 の光源 1 1 に対してレーザー制御を行い、シャッタ 1 7 に対して光ビームの透過・遮蔽の制御を行い、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1 , 2 2 の反射手段の回転駆動制御を行うことにより、ビームスキャン光学系 1 0 の微細描画の制御を行う。

## 【 0 0 9 6 】

また、データ処理及び制御部 1 0 1 は、第 2 の光源 3 1 に対して光強度等の制御を行い、シャッタ 3 7 に対して光の透過・遮蔽の制御を行い、空間光変調手段 3 2 の制御を行うことにより、一括露光光学系 3 0 の一括描画の制御を行う。

40

## 【 0 0 9 7 】

また、データ処理及び制御部 1 0 1 は、移動手段 6 を制御して、所定の分割領域に対応した移動架台 4 の所定に位置にワーク領域が位置するように X , Y 方向に移動架台 4 を移動させるとともに、所定の位置での分割領域の積層が完了したら次の所定の分割領域に対応した移動架台 4 の所定の位置にワーク領域が位置するように X , Y 方向に移動架台 4 を移動させる。また、データ処理及び制御部 1 0 1 は、所定の高さの硬化層の積層が完了したら、移動架台 4 を制御して、移動架台 4 を所定量だけ垂直方向 Z に下降させてワーク領域の Z 方向の位置を変更して、形成層を変更する。

## 【 0 0 9 8 】

50

さらに、データ処理及び制御部 101 は、反射光検出手段 18 で検出されたフォーカス信号等のフィードバックを受けることでフォーカス補正や硬化層状の状態を検出することができ、より一層の高精細な造形を実現する。

【0099】

本発明を適用した光造形装置 1 は、紫外線硬化樹脂 2 等の光硬化性樹脂上を描画するための光ビームを放射する第 1 の光源 11 と、第 1 の光源 11 から放射された光ビームを光硬化性樹脂上に走査させる走査手段 12 と、光硬化性樹脂上の一定領域毎に照射される光を放射する第 2 の光源 31 と、第 2 の光源 31 から放射された光を空間変調して光硬化性樹脂上の所定領域を一括露光させる空間光変調手段 32 とを備え、走査手段 12 により走査される光ビームと、空間光変調手段 32 により空間変調される光とにより、光硬化性樹脂を硬化して各硬化層を形成することにより、すなわち、所望の各硬化層を形成する際に大部分一括して露光できる部分については、空間光変調手段 32 により空間変調される光を用いて短時間に硬化層を形成し、境界部及び境界部付近の微細な精度を要求される部分については、走査手段 12 により走査される光ビームにより高精度に硬化層を形成することにより、造形物の各硬化層を高速且つ高精度に形成することができ、これを積層することにより高精細な立体造形物を短時間で形成することを実現する。

10

【0100】

また、本発明を適用した光造形装置 1 は、第 1 の光源 11、走査手段 12、第 2 の光源 31、空間光変調手段 32 に加えて、これらの光学系 5 と移動架台 4 との何れか一方を液面に平行な平面内で移動させることで移動架台 4 と光学系 5 との相対的な位置を変化させる移動手段 6 とを備えることにより、走査手段 12 により走査される光ビームと、空間光変調手段 32 により空間変調される光とにより、所望の 2 次元形状を分割した分割形状を各ワーク領域に形成する動作と、移動手段 6 により移動架台 4 と光学系 5 との相対的な位置を変化する動作とを順次繰り返す所謂ステップ&リピート動作を行うことにより、走査手段 12 及び空間光変調手段 32 の性能により決定されるワーク領域より大きな各硬化層を高速且つ高精度に形成することができ、これを積層することにより、比較的大きな立体造形物を高精細且つ短時間で形成することを実現する。

20

【0101】

尚、本発明を適用した光造形装置はこれに限られるものではなく、例えば、ビームスキャン光学系に、通過する光ビームを高速偏向させる高速偏向素子を設けるように構成してもよい。

30

【0102】

次に、図 13 に示すように、ビームスキャン光学系に高速偏向素子を設けた光造形装置について説明する。尚、以下の説明において、上述した光造形装置 1 と共通する部分については、共通の符号を付すとともに詳細な説明は省略する。

【0103】

本発明を適用した光造形装置 51 は、図 13 に示すように、ビームスキャン光学系用として、第 1 の光源 11 と、第 1 の光源 11 から放射された光ビームを紫外線硬化樹脂 2 上に走査させる走査手段 52 とを備え、一括露光光学系用として、第 2 の光源 31 と、空間光変調手段 32 とを備え、さらに、光路合成手段としてビームスプリッタ 41 を備える。

40

【0104】

また、光造形装置 51 は、第 1 の光源 11 と走査手段 52 とともに、ビームスキャン光学系 53 を構成するために、コリメータレンズ 13 と、アナモルフィックレンズ 14 と、ビームエキスパンダ 15 とを備える。また、ビームエキスパンダ 15 と第 1 のガルバノミラー 21 との間には、戻り光を反射光検出手段 18 に導くためのビームスプリッタ 16 と、シャッタ 17 とが設けられている。さらに、ビームスプリッタ 16 とシャッタ 17 との間には、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 21, 22、第 1 及び第 2 のリレーレンズ 23, 24、並びに対物レンズ 42 とともに走査手段 52 を構成する素子として、入射して通過する光ビームを X 方向及び / 又は Y 方向に高速偏向する高速偏向素子 54 が設けられている。

50

## 【 0 1 0 5 】

この高速偏向素子 5 4 としては、例えば、音響光学効果を利用して通過する光ビームの偏向方向を変化させる音響光学偏向素子 (AOD) や、電気光学効果を利用して通過する光ビームの偏向方向を変化させる電気光学偏向素子 (EOD) 等が用いられる。このような高速偏向素子 5 4 は、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1, 2 2 に比べて、上述した図 9 に示すような隙間部分 a<sub>2 2</sub> を走査するとき等の所謂塗り潰すように走査させる動作に適しており、高速な微細描画を可能とする。

## 【 0 1 0 6 】

高速偏向素子 5 4 を有する走査手段 5 2 は、例えば、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1, 2 2 により上述した図 9 に示す境界部分 a<sub>2 1</sub> をベクターキャンするとともに、この高速偏向素子 5 4 により図 9 に示す隙間部分 a<sub>2 2</sub> をラスタースキャンすることにより硬化層の微細部分を形成する。

10

## 【 0 1 0 7 】

このとき、高速偏向素子 5 4 は、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1, 2 2 に比べて、紫外線硬化樹脂 2 上を高速で走査させることができ、一括露光光学系 3 0 に比べて時間がかかるビームスキャン光学系 5 3 の描画速度を高めることができ、この光造形装置 5 1 による造形の短時間化を可能とする。

## 【 0 1 0 8 】

以上のような、第 1 の光源 1 1 と、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1, 2 2、第 1 及び第 2 のリレーレンズ 2 3, 2 4、対物レンズ 4 2、並びに高速偏向素子 5 4 からなる走査手段 5 2 と、コリメータレンズ 1 3 と、アナモルフィックレンズ 1 4 と、ビームエキスパンダ 1 5 とは、ビームスキャン光学系 5 3 を構成する。この光造形装置 5 1 のビームスキャン光学系 5 3 は、上述のビームスキャン光学系 1 0 と同様に第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1, 2 2 により X 方向及び Y 方向に走査されるように偏向すると、高速偏向素子 5 4 により高速に X 方向及び Y 方向に走査されるように偏向するのを切り換えて、紫外線硬化樹脂 2 上の所望の位置に走査されるとともに集光されて微細領域を照射するとともに描画して硬化層を形成する。

20

## 【 0 1 0 9 】

本発明を適用した光造形装置 5 1 は、上述した光造形装置 1 と同様に、第 1 の光源 1 1 と、走査手段 5 2 と、第 2 の光源 3 1 と、空間光変調手段 3 2 とを備え、走査手段 5 2 により走査される光ビームと、空間光変調手段 3 2 により空間変調される光とにより、光硬化性樹脂を硬化して各硬化層を形成することにより、すなわち、所望の各硬化層を形成する際に大部分一括して露光できる部分については、空間光変調手段 3 2 により空間変調される光を用いて短時間に硬化層を形成し、境界部及び境界部付近の微細な精度を要求される部分については、走査手段 5 2 により走査される光ビームにより高精度の硬化層を形成することにより、造形物の各硬化層を高速且つ高精度に形成することができ、これを積層することにより高精細な立体造形物を短時間で形成することを実現する。また、光造形装置 5 1 は、上述の光造形装置 1 で説明したステップ & リピート動作等のさらなる効果についても同様に実現することができる。

30

## 【 0 1 1 0 】

さらに、本発明を適用した光造形装置 5 1 は、走査手段 5 2 が第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1, 2 2 に加えて高速偏向素子 5 4 を有するので、走査手段 5 2 により微細描画を行う部分のうち、例えば、境界部等のベクターキャンが行われる部分について、第 1 及び第 2 のガルバノミラー 2 1, 2 2 により光ビームを偏向することで走査を行い、境界部付近の隙間部分等のラスタースキャンが行われる部分について、高速偏向素子 5 4 により光ビームを高速偏向することで走査を行うことで、ビームスキャン光学系による硬化層の形成時間を短縮化することができるので、造形物の各硬化層を高精度且つより一層高速に形成することを実現する。

40

## 【 0 1 1 1 】

尚、上述の光造形装置 1, 5 1 では、例えば、移動架台 4 を収容容器 3 内の垂直方向 Z

50

に移動させることにより、移動架台 4 又はこの上に既に積層された硬化層のうち最も上方側に位置する硬化層の上面が紫外線硬化樹脂 2 の液面より硬化層の厚み分程度の距離だけ下方側に位置するようにすることで、ワーク領域に硬化される紫外線硬化樹脂 2 が存在するように構成するが、本発明の光造形装置はこれに限られるものではなく、例えば、移動架台 4 又は最も上方側に位置する硬化層の上面から硬化層の厚さだけ離間した位置に配置される透明板をさらに設け、この透明板により紫外線硬化樹脂の液面を抑制する液面抑制機能を発揮させるとともに、この透明板と移動架台 4 又は最も上方側に位置する硬化層の上面との間をワーク領域として機能させ、すなわち、この間に紫外線硬化樹脂 2 が存在するように構成してもよい。さらに、本発明の光造形装置は、ローラ等の複数の回転体を設け、この回転体の表面に紫外線硬化樹脂 2 を付着させ保持して、この回転体により、移動架台 4 又は最も上方側に位置する硬化層の上面に所定の厚さだけ紫外線硬化樹脂を安定して供給できる所謂リコータ等によりワーク領域に紫外線硬化樹脂 2 を供給するように構成してもよい。

10

**【0112】**

次に、上述のような光造形装置 1 を用いた光造形方法について説明する。尚、図 13 を用いて説明した光造形装置 51 を用いた光造形方法については、以下に説明する光造形装置 1 と、ビームスキャン光学系による描画の際に高速偏向素子を用いることができることを除いて同様であるので、詳細な説明は省略する。

**【0113】**

本発明を適用した光造形方法は、入力手段により入力された 3 次元形状データに基づいて、液状の光硬化性樹脂としての紫外線硬化樹脂 2 上に光を照射して硬化層を順次形成することにより所望の形状の造形物を形成するものである。

20

**【0114】**

この光造形方法は、図 14 に示すように、入力部 102 により 3 次元形状データを入力するステップ S1 と、入力された 3 次元形状データに基づいて、各層毎の 2 次元形状データを生成するステップ S2 と、生成された 2 次元形状データに基づいて、各層を液面に平行な平面内で分割した複数の分割領域毎の分割領域形状データを生成するステップ S3 と、生成された各分割領域形状データに基づいて、一括露光光学系 30 により一括露光させて所定領域を形成するための第 1 のデータと、ビームスキャン光学系 10 により微細描画させて残りの領域を形成するための第 2 のデータを生成するステップ S4 と、第 1 のデータに基づいて、一括露光光学系 30 により一括露光するとともに、第 2 のデータに基づいて、ビームスキャン光学系 10 により微細描画して各分割領域  $W_{x,y}$  を形成することにより硬化層を順次形成するステップ S5 とを有する。

30

**【0115】**

ステップ S1 では、入力部 102 により目標とする所望の形状の立体造形物の CAD データ等の 3 次元形状データをデータ処理・制御装置 100 のデータ処理及び制御部 101 内に入力する。

**【0116】**

ステップ S2 では、入力された 3 次元形状データを、例えば STL フォーマット等の 3 次元形状データに変換するとともに、この 3 次元形状データを積層方向である Z 方向に輪切り状にスライスして、各層毎の 2 次元形状データを生成する。尚、この際に、操作部 103 により立体造形物の配置姿勢・向き及び積層方向を選択し、又は積層方向の厚さを選択できるように構成してもよい。

40

**【0117】**

ステップ S3 では、生成された 2 次元形状データに基づいて、これを上述した  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  の所定の各ワーク領域  $W_{x,y}$  に対応した分割領域に分割して、各ワーク領域  $W_{x,y}$  毎の 2 次元形状データ  $f_{x,y}$  である分割領域形状データを生成する。

**【0118】**

ステップ S4 では、得られた各ワーク領域  $W_{x,y}$  毎の分割領域形状データに基づいて、一括露光させて所定領域を形成するための、すなわち、空間光変調手段 32 により紫外線

50

硬化樹脂 2 上の一定領域毎に一括露光させて硬化層の所定領域である一括描画部分を形成するための第 1 のデータと、ビームスキャン光学系 10 により微細描画させて残りの領域を形成するための、すなわち、走査手段 12 により硬化性樹脂上に光ビームを走査することにより硬化層の残りの領域である微細描画部分を形成するための第 2 のデータとを生成する。

【0119】

尚、ここで説明したステップ S3, S4 では、2 次元形状データから分割領域形状データを生成した後に、この分割領域形状データに基づいて第 1 のデータ及び第 2 のデータを生成するようにしたが、これに限られるものではなく、2 次元形状データに基づいて、一括露光光学系により一括露光させて所定領域である一括描画部分を形成するための第 1 のデータと、ビームスキャン光学系により微細描画させて残りの領域を形成するための微細描画部分を形成するための第 2 のデータとを生成し、その後、それぞれ第 1 及び第 2 のデータの分割領域形状データを生成するように構成してもよい。

【0120】

ステップ S5 は、図 15 に示すように、各ワーク領域  $W_{x,y}$  において、第 1 のデータに基づいて、空間光変調手段 32 により光を空間変調して紫外線硬化樹脂 2 上の所定領域を一括露光するとともに、第 2 のデータに基づいて、走査手段 12 により光ビームを紫外線硬化樹脂 2 上に走査することにより硬化層の分割部分を形成するステップ S5-1 と、移動手段 6 により、光学系 5 と移動架台 4 との相対的な位置を変化させてワーク領域  $W_{x,y}$  を変更するステップ S5-2 と、同一層における各分割領域の積層が完了したことを確認するステップ S5-3 と、所定の高さの同一層の硬化層が形成されたら移動架台 4 を Z 方向の位置を下方に移動させて形成層を変更するステップ S5-4 と、全ての硬化層の積層が完了したことを確認するステップ S5-5 とを有する。

【0121】

ステップ S5-1 では、第 1 の光源 11 から紫外線硬化樹脂 2 上に描画するために光ビームを放射し、第 1 の光源 11 から放射された光ビームを走査手段 12 により走査させ、第 2 の光源 31 から紫外線硬化樹脂 2 上の一定領域毎に照射させる光を放射し、第 2 の光源 31 から放射された光を空間光変調手段 32 により空間変調させ、走査手段 12 により走査された光ビームにより紫外線硬化樹脂 2 上を走査させ、空間光変調手段 32 により空間変調された光により紫外線硬化樹脂 2 上の所定領域を一括露光させることにより、各分割領域の紫外線硬化樹脂 2 を硬化させて、造形物の各硬化層の分割領域を形成する。

【0122】

ステップ S5-2 では、移動手段 6 により移動架台 4 を X 方向及び / 又は Y 方向に移動させてワーク領域  $W_{x,y}$  が分割領域形状データに対応した位置となるようにする。

【0123】

ステップ S5-3 では、同一層において全ての分割領域の積層が完了したか否かを確認する。分割領域の積層が完了していない場合には、ステップ S5-1 に戻り、ステップ S5-1、ステップ S5-2 を繰り返すようにする。同一層における全ての分割領域の積層が完了している場合には、ステップ S5-4 に進む。

【0124】

ステップ S5-4 では、移動架台 4 を垂直方向 Z の下方側に移動させて次に硬化層を形成するための位置にワーク領域  $W_{x,y}$  が位置するように移動させて、形成層を変更する。

【0125】

ステップ S5-5 では、立体造形物の全ての硬化層の積層が完了したか否かを確認する。立体造形物の全ての硬化層の積層が完了していない場合には、ステップ S5-1 に戻り、ステップ S5-1 ~ S5-4 を繰り返すようにする。

【0126】

このように、ステップ S5 では、上述のステップ S5-1 ~ ステップ S5-3 で説明したように、所定の高さの同一層における各ワーク領域  $W_{x,y}$  毎に第 1 のデータに基づいて一括露光光学系 30 により一括露光するとともに、第 2 のデータに基づいてビームスキャ

10

20

30

40

50

ン光学系10により微細描画して硬化層の分割領域を形成するとともに、順次ワーク領域を変更することで2次元形状データに基づいた同一層内の分割領域が全て形成されて一層の硬化層が得られたら、垂直方向Zの高さを変えて順次これを繰り返すことにより立体造形物が形成される。

【0127】

尚、上述の光造形方法において、光造形装置1に移動手段6を設けない場合や、造形すべき立体造形物の平面方向の大きさが所定のワーク領域内に含まれてしまう程度に小さい場合にはステップS3を設けなくてもよく、この場合には、ステップS2で生成された「2次元形状データ」がS4以降の「分割領域形状データ」となるとともに、ステップS5におけるステップS5-2及びS5-3を行わない。

10

【0128】

以上のように、本発明を適用した光造形方法は、第1の光源11から紫外線硬化樹脂2上に描画するために光ビームを放射し、第1の光源11から放射された光ビームを走査手段12により走査させ、第2の光源31から紫外線硬化樹脂2上の一定領域毎に照射させる光を放射し、第2の光源31から放射された光を空間光変調手段32により空間変調させ、走査手段12により走査された光ビームにより紫外線硬化樹脂2上を描画させ、空間光変調手段32により空間変調された光により紫外線硬化樹脂2上の所定領域を一括露光させることにより、造形物の各硬化層を形成することにより、所望の各硬化層を形成する際に大部分一括して露光できる部分については、空間光変調手段32により空間変調される光を用いて短時間に硬化層を形成し、境界部及び境界部付近の微細な精度を要求される部分については、走査手段12により走査される光ビームにより高精度に硬化層を形成することにより、造形物の各硬化層を高速且つ高精度に形成することができ、これを積層することにより高精細な立体造形物を短時間で形成することを実現する。

20

【0129】

また、本発明を適用した光造形方法は、入力部102により入力された3次元形状データに基づいて、紫外線硬化樹脂2上に光を照射して硬化層を順次形成することにより所望の形状の造形物を形成する光造形方法であって、入力部102により3次元形状データを入力するステップS1と、入力された3次元形状データに基づいて、各層毎の2次元形状データを生成するステップS2と、この2次元形状データに基づいて、空間光変調手段32により紫外線硬化樹脂2上に一定領域毎に一括露光させて硬化層の所定領域を形成するための第1のデータと、走査手段12により紫外線硬化樹脂2上に光ビームを走査することにより硬化層の残りの領域を形成するための第2のデータとを生成するステップS4と、第1のデータに基づいて、空間光変調手段32により光を空間変調して紫外線硬化樹脂2上の所定の領域を一括露光するとともに、第2のデータに基づいて、走査手段12により光ビームを紫外線硬化樹脂2上に走査することにより硬化層を順次形成するステップS5とを有することにより、造形物の各硬化層を高速且つ高精度に形成することができ、これを順次積層することにより、高精細な立体造形物を短時間で形成することを実現する。

30

【0130】

また、本発明を適用した光造形方法は、入力部102により入力された3次元形状データに基づいて、紫外線硬化樹脂2上に光を照射して硬化層を順次形成することにより、紫外線硬化樹脂2に浸漬され少なくとも光硬化性樹脂の液面に対して直交する方向に移動される移動架台4上に所望の形状の造形物を形成する光造形方法において、入力部102により3次元形状データを入力するステップS1と、入力された3次元形状データに基づいて、各層毎の2次元形状データを生成するステップS2と、各層毎の2次元形状データに基づいて、各層を液面に平行な平面内で分割した複数の分割領域毎の分割領域形状データを生成するステップS3と、分割領域形状データに基づいて、空間光変調手段32により紫外線硬化樹脂2上に一定領域毎に一括露光させて硬化層の分割領域の所定領域を形成するための第1のデータと、走査手段12により紫外線硬化樹脂2上に光ビームを走査することにより硬化層の分割領域の残りの領域を形成するための第2のデータとを生成するステップS4と、第1のデータに基づいて、空間光変調手段32により光を空間変調して紫

40

50

外線硬化樹脂 2 上の所定の領域を一括露光し、第 2 のデータに基づいて、走査手段 1 2 により光ビームを紫外線硬化樹脂 2 上に走査することにより各分割領域を形成するとともに、順次空間光変調手段 3 2 及び走査手段 1 2 と、移動架台 4 との液面に平行な平面内での位置関係を変化させることによりワーク領域を変更して得られる硬化層を順次形成・積層するステップ S 5 とを有することにより、造形物の各硬化層の各分割領域を高速且つ高精度に形成することができ、これにより造形物を高速且つ高精度に形成することができ、これを順次積層することにより、比較的大きな立体造形物を高精細且つ短時間で形成することを実現する。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 3 1 】

10

【図 1】本発明を適用した光造形装置の概略を示す斜視図である。

【図 2】本発明を適用した光造形装置の光学系を示す図である。

【図 3】本発明を適用した光造形装置を構成する第 1 及び第 2 のガルバノミラーと対物レンズとの機能を説明するための図であり、第 1 のガルバノミラーと対物レンズとの模式図である。

【図 4】本発明を適用した光造形装置を構成する対物レンズの機能を説明するための図であり、対物レンズとして f レンズを用いた場合の模式図である。

【図 5】本発明を適用した光造形装置を構成する第 1 及び第 2 のリレーレンズの機能を説明するための図であり、両側テレセントリック結像光学系の一例を示す模式図である。

【図 6】本発明を適用した光造形装置のビームスキャン光学系等における、ビームスキャン方式について説明する図であり、( a ) は、ラスタースキャンを示す平面図であり、( b ) は、ベクタースキャンを示す平面図であり、( c ) は、ラスター・ベクター併用スキャンを示す平面図である。

20

【図 7】本発明を適用した光造形装置により目標とする立体造形物の各硬化層を形成するときの一括描画と微細描画とについて説明するための図であり、各層の形状である目標二次元形状と、一括描画部分及び微細描画部分とを示す平面図である。

【図 8】本発明を適用した光造形装置により目標とする立体造形物の各硬化層を形成するときの一括描画と微細描画とについて説明するための図であり、一括露光により一括描画を行うとともに、ベクタースキャン方式のビームスキャンにより微細描画を行うことを示す平面図である。

30

【図 9】本発明を適用した光造形装置により目標とする立体造形物の各硬化層を形成するときの一括描画と微細描画とについて説明するための図であり、一括露光により一括描画を行うとともに、ベクター・ラスター併用方式のビームスキャンにより微細描画を行うことを示す平面図である。

【図 10】本発明を適用した光造形装置によるステップ&リピート動作について説明するための図であり、ワーク全体領域を所定の各ワーク領域毎に分割することを説明するための平面図である。

【図 11】図 10 に示すワーク全体領域を分割された各ワーク領域のうち一のワーク領域  $W_{32}$  を示す平面図である。

【図 12】本発明を適用した光造形装置の光学系の制御やデータ処理を行うデータ処理及び制御装置について説明するための図である。

40

【図 13】本発明を適用した光造形装置の光学系の他の例として、高速偏向素子を有する例を示す図である。

【図 14】本発明を適用した光造形方法について説明するフローチャートである。

【図 15】図 14 に示す硬化層を形成するステップ S 5 についてさらに詳細に説明するためのフローチャートである。

【符号の説明】

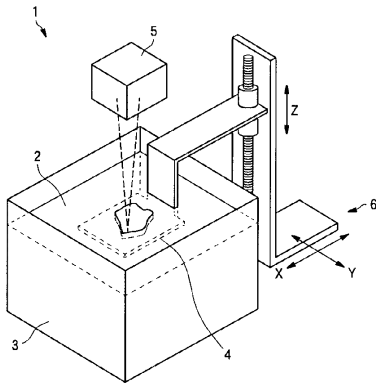
【 0 1 3 2 】

1 光造形装置、 2 紫外線硬化樹脂、 3 収容容器、 4 移動架台、 5 光学系、 6 移動手段、 10 ビームスキャン光学系、 11 第 1 の光源、 12

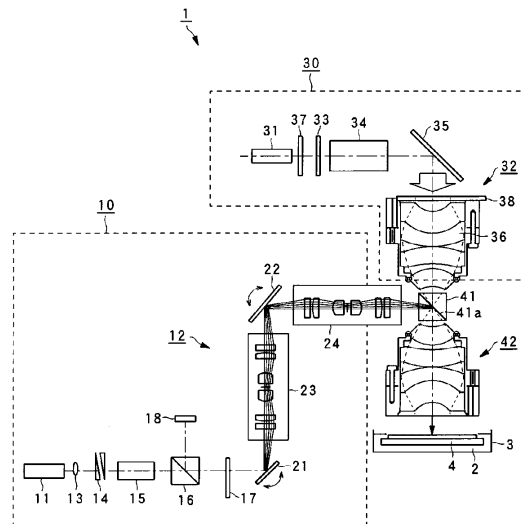
50

走査手段、 13 コリメータレンズ、 14 アナモルフィックレンズ、 15 ビームエキスパンダ、 17 シャッタ、 18 反射光検出手段、 21 第1のガルバノミラー、 22 第2のガルバノミラー、 23 第1のリレーレンズ、 24 第2のリレーレンズ、 30 一括露光光学系、 31 第2の光源、 32 空間光変調手段、 33 偏光板、 34 ビームインテグレータ、 35 反射手段、 36 集光レンズ、 37 シャッタ、 41 ビームスプリッタ、 42 対物レンズ

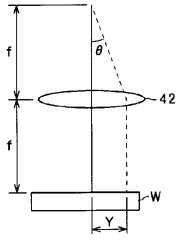
【図1】



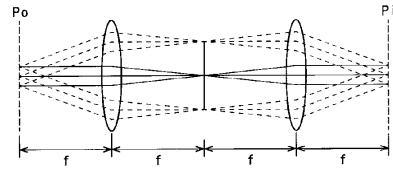
【図2】



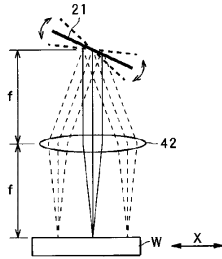
【 図 3 】



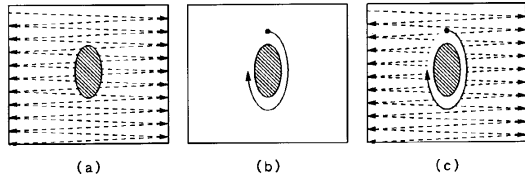
【 図 5 】



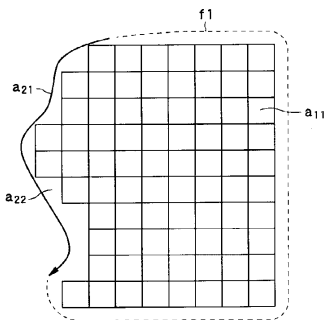
【 図 4 】



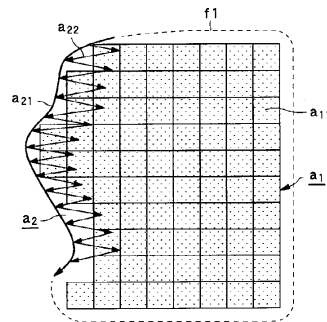
【 図 6 】



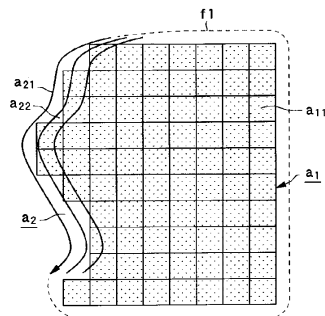
【 図 7 】



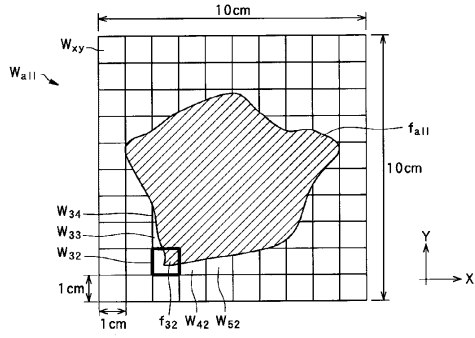
【 図 9 】



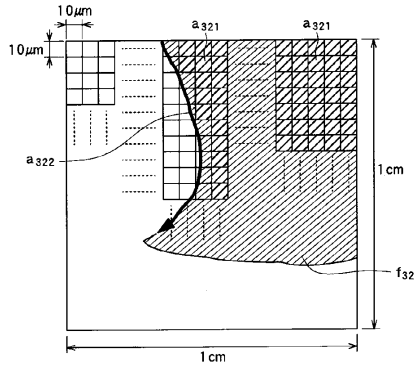
【 図 8 】



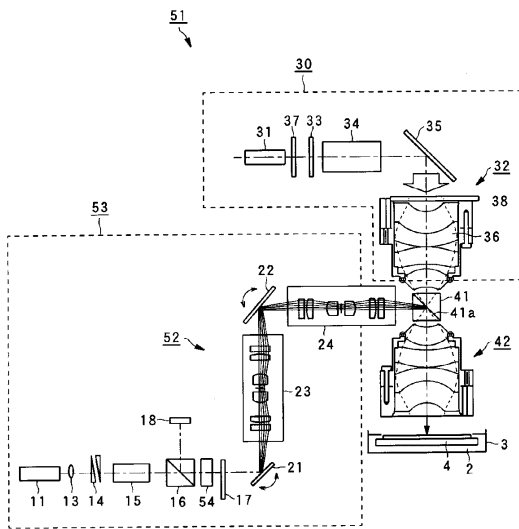
【図10】



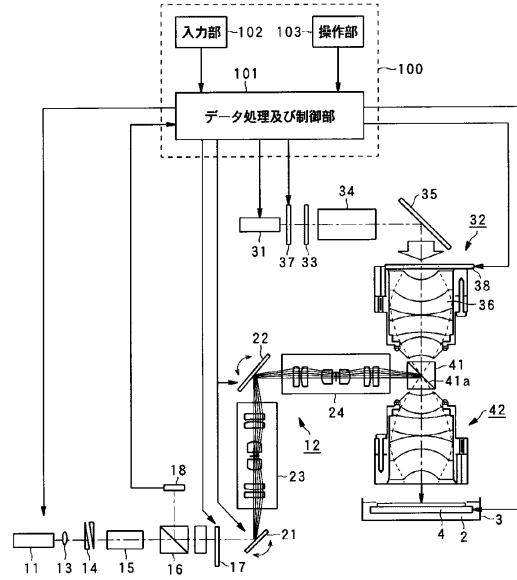
【図11】



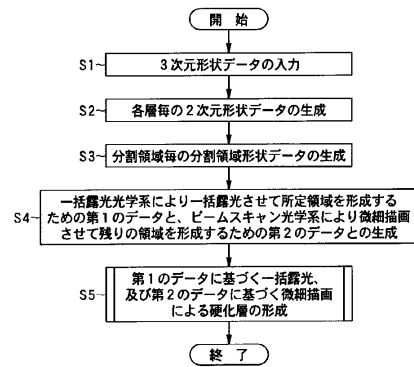
【図13】



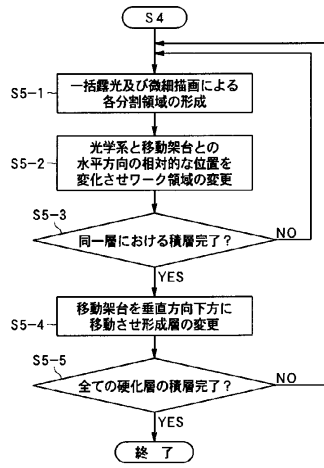
【図12】



【図14】



【図15】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 齊藤 公博  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 安芸 祐一  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 山崎 剛  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

審査官 増田 亮子

- (56)参考文献 実開平02-031727(JP,U)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B29C 67/00