

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5148717号
(P5148717)

(45) 発行日 平成25年2月20日 (2013. 2. 20)

(24) 登録日 平成24年12月7日 (2012.12.7)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 3 K 26/06 (2006.01)	B 2 3 K 26/06 J
B 2 3 K 26/08 (2006.01)	B 2 3 K 26/08 F
G O 2 B 26/10 (2006.01)	B 2 3 K 26/06 Z
	G O 2 B 26/10 C

請求項の数 8 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2010-541620 (P2010-541620)	(73) 特許権者	000003458
(86) (22) 出願日	平成22年6月24日 (2010. 6. 24)		東芝機械株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/004197		東京都千代田区内幸町2丁目2番2号
(87) 国際公開番号	W02011/016176	(74) 代理人	100119035
(87) 国際公開日	平成23年2月10日 (2011. 2. 10)		弁理士 池上 徹真
審査請求日	平成22年10月20日 (2010.10.20)	(74) 代理人	100141036
(31) 優先権主張番号	特願2009-180285 (P2009-180285)		弁理士 須藤 章
(32) 優先日	平成21年8月3日 (2009. 8. 3)	(74) 代理人	100088487
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 松山 允之
		(72) 発明者	林 誠
			静岡県沼津市大岡2068の3 東芝機械株式会社内
		審査官	青木 正博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パルスレーザー加工装置およびパルスレーザー加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

クロック信号を発生する基準クロック発振回路と、
前記クロック信号に同期したパルスレーザービームを出射するレーザー発振器と、
前記クロック信号に同期して前記パルスレーザービームを1次元方向のみに走査するレーザービームスキャナと、
被加工物を載置可能で前記1次元方向に直交する方向に移動するステージと、
前記レーザー発振器と前記レーザービームスキャナとの間の光路に設けられ、前記クロック信号に同期して前記パルスレーザービームの通過と遮断を切り替えるパルスピッカーと、
前記パルスレーザービームの光パルス数に基づき、前記パルスピッカーを制御するパルスピッカー制御部と、
を備えることを特徴とするパルスレーザー加工装置。

【請求項2】

入力される被加工物の加工データを、前記パルスレーザービームの光パルス数で記述した加工テーブルを生成するテーブル生成部を備え、
前記加工テーブルに基づき前記パルスピッカー制御部が前記パルスピッカーを制御することを特徴とする請求項1記載のパルスレーザー加工装置。

【請求項3】

前記テーブル生成部は、前記加工データの加工長および非加工長と、前記パルスレーザービームのスポット径と、を基準に加工テーブルを生成することを特徴とする請求項2記載

のパルスレーザ加工装置。

【請求項 4】

前記レーザビームスキャナによる前記パルスレーザビームの前記 1 次元方向の走査と、前記走査に続く前記 1 次元方向に直交する方向のステージの移動を交互に繰り返すことで、前記被加工物を加工することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 いずれか一項に記載のパルスレーザ加工装置。

【請求項 5】

前記レーザビームスキャナはガルバノメータ・スキャナにより構成され、前記パルスピックアップは音響光学素子 (AOM) または電気光学素子 (EOM) により構成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 いずれか一項に記載のパルスレーザ加工装置。

10

【請求項 6】

前記レーザビームスキャナからの走査位置信号に基づき、走査毎の加工原点位置を補正する補正機構を有し、前記補正機構は、前記走査位置信号に基づき、前記パルスピックアップにおける前記パルスレーザビームの通過と遮断を制御することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 いずれか一項に記載のパルスレーザ加工装置。

【請求項 7】

前記ステージは、前記レーザビームスキャナの走査位置信号に基づいて、前記 1 次元方向に直交する方向の移動制御がされることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 いずれか一項に記載のパルスレーザ加工装置。

【請求項 8】

20

ステージに被加工物を載置し、
クロック信号を発生し、
前記クロック信号に同期したパルスレーザビームを出射し、
前記被加工物表面に、前記クロック信号に同期して前記パルスレーザビームを 1 次元方向に走査し、

前記 1 次元方向に前記パルスレーザビームを走査した後に、前記 1 次元方向に直交する方向に前記ステージを移動して、更に前記クロック信号に同期して前記パルスレーザビームを前記 1 次元方向に走査するパルスレーザ加工方法であって、

前記パルスレーザビームを前記 1 次元方向に走査する際に、前記パルスレーザビームの光パルス数に基づき、前記クロック信号に同期して前記パルスレーザビームの照射と非照射を切り替えることを特徴とするパルスレーザ加工方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パルスレーザビームにより被加工物表面を加工するパルスレーザ加工装置およびパルスレーザ加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、例えば液晶パネルのようなフラットパネルディスプレイ (FPD) は、その大型化に伴い、例えば μm オーダーあるいはそれ以下の高精度の微細加工が大面積の領域に施された部材を必要としてきている。そして、従来の機械加工では作成が難しい、シート作成用大型ロール金型、止まり溝や深いマイクロレンズ用の微細形状をもつ金型、難削材等の微細加工について種々に検討されている。

40

【0003】

一方、パルス幅がピコ秒 (ps) オーダー以下になる超短パルスレーザビームを用いたアブレーション加工により、例えば金属表面に $1\ \mu\text{m}$ 以下の微細パターンを容易に形成できることが知られている。そして、これまで、この超短パルスレーザ加工により、樹脂を含む高分子材、半導体材、ガラス材、金属材等からなる被加工物の表面を加工する技術について種々の方法が提示されている (例えば、特許文献 1 参照)。

【0004】

50

ここで、特許文献1に開示されるレーザー加工では、ステージに載置した被加工物をXY方向の2次元方向に広い範囲に移動走査させる必要がある。しかし、この場合、加工速度はステージ移動の速度に律速され高速化が困難となる。

【0005】

また、レーザー加工においてレーザービームを例えばガルバノメータ・スキャナのようなビームスキャナによりXY方向に2次元走査して所要領域を微細加工する技術がある（例えば、特許文献2参照）。ガルバノメータ・スキャナによれば走査速度をステージによる場合よりも向上させることが可能である。しかし、現状技術にあつては、この場合のパルスレーザービームの2次元走査は、その照射スポットの位置決め精度が10 μ m以上になり、パルスレーザービームを用いたアブレーションによる微細加工への適用が難しい状況にある

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-118821号公報

【特許文献2】特開2002-160086号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、上記事情に鑑み、パルスレーザービームの照射スポットの位置決め精度を向上させ、大型の被加工物表面の安定した微細加工とその高速化を可能にするパルスレーザー加工装置およびパルスレーザー加工方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様のパルスレーザー加工装置は、クロック信号を発生する基準クロック発振回路と、前記クロック信号に同期したパルスレーザービームを出射するレーザー発振器と、前記クロック信号に同期して前記パルスレーザービームを1次元方向のみに走査するレーザービームスキャナと、被加工物を載置可能で前記1次元方向に直交する方向に移動するステージと、前記レーザー発振器と前記レーザービームスキャナとの間の光路に設けられ、前記クロック信号に同期して前記パルスレーザービームの通過と遮断を切り替えるパルスピッカーと、前記パルスレーザービームの光パルス数に基づき、前記パルスピッカーを制御するパルスピッカー制御部と、を備えることを特徴とする。

30

【0009】

上記態様の装置において、入力される被加工物の加工データを、パルスレーザービームの光パルス数で記述した加工テーブルを生成するテーブル生成部を備え、前記加工テーブルに基づき前記パルスピッカー制御部が前記パルスピッカーを制御することが望ましい。

【0010】

上記態様の装置において、前記テーブル生成部は、前記加工データの加工長および非加工長と、前記パルスレーザービームのスポット径と、を基準に加工テーブルを生成することが望ましい。

40

【0011】

上記態様の装置において、前記レーザービームスキャナによる前記パルスレーザービームの前記1次元方向の走査と、前記走査に続く前記1次元方向に直交する方向のステージの移動を交互に繰り返すことで、前記被加工物を加工することが望ましい。

【0012】

上記態様の装置において、前記レーザービームスキャナはガルバノメータ・スキャナにより構成され、前記パルスピッカーは音響光学素子(AOM)または電気光学素子(EOM)により構成されていることが望ましい。

【0013】

上記態様の装置において、前記レーザービームスキャナからの走査位置信号に基づき、走

50

査毎の加工原点位置を補正する補正機構を有し、前記補正機構は、前記走査位置信号に基づき、前記パルスピッカーにおける前記パルスレーザビームの通過と遮断を制御することが望ましい。

【0014】

上記態様の装置において、前記ステージは、前記レーザビームスキャナの走査位置信号に基づいて、前記1次元方向に直交する方向の移動制御がされることが望ましい。

【0015】

本発明の別の態様のパルスレーザ加工方法は、ステージに被加工物を載置し、クロック信号を発生し、前記クロック信号に同期したパルスレーザビームを出射し、前記被加工物表面に、前記クロック信号に同期して前記パルスレーザビームを1次元方向に走査し、前記1次元方向に前記パルスレーザビームを走査した後に、前記1次元方向に直交する方向に前記ステージを移動して、更に前記クロック信号に同期して前記パルスレーザビームを前記1次元方向に走査するパルスレーザ加工方法であって、前記パルスレーザビームを前記1次元方向に走査する際に、前記パルスレーザビームの光パルス数に基づき、前記クロック信号に同期して前記パルスレーザビームの照射と非照射を切り替えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、パルスレーザビームの照射スポットの位置決め精度を向上させ、大型の被加工物表面の安定した微細加工とその高速化を可能にするパルスレーザ加工装置およびパルスレーザ加工方法を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置の構成図である。

【図2】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置のレーザビームスキャナの説明図である。

【図3】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置のレーザビームスキャナの走査の説明図である。

【図4】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置の加工制御部の説明図である。

【図5】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置の加工パターン生成部の説明図である

【図6】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置の加工パターン信号生成部の説明図である。

【図7】第1の実施の形態のレーザ加工装置のタイミング制御を説明する信号波形図である。

【図8】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置のパルスピッカー動作のタイミング制御を説明する信号波形図である。

【図9】第1の実施の形態のパルスレーザ加工装置による一加工例を示す図である。

【図10】図9の加工における特定の1次元方向の走査を示す図である。

【図11】図9の加工における特定のレイヤについての2次元加工を示す図である。

【図12】第2の実施の形態の製造方法により形成される金型の加工例である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、図面を参照しつつ、本発明の実施の形態のパルスレーザ加工装置およびパルスレーザ加工方法について説明する。

【0019】

(第1の実施の形態)

本実施の形態のパルスレーザ加工装置は、クロック信号を発生する基準クロック発振回路と、このクロック信号に同期したパルスレーザビームを出射するレーザ発振器と、クロック信号に同期してパルスレーザビームを1次元方向のみに走査するレーザビームスキャ

10

20

30

40

50

ナと、被加工物（ワーク）を載置可能で上記 1 次元方向に直交する方向に移動するステージと、レーザ発振器とレーザビームスキャナとの間の光路に設けられ、クロック信号に同期してパルスレーザビームの通過と遮断を切り替えるパルスピッカーと、パルスレーザビームの光パルス数に基づき、パルスピッカーを制御するパルスピッカー制御部と、を備える。

【 0 0 2 0 】

本実施の形態のパルスレーザ加工装置は、レーザ発振器のパルス、レーザビームスキャナの走査、およびパルスレーザビームの通過と遮断を、同一のクロック信号に直接または間接的に同期させる。このように、レーザ系とビーム走査系の同期を維持することで、パルスレーザビームの照射スポットの位置決め精度を向上させる。

10

【 0 0 2 1 】

そして、さらに、パルスレーザビームの光パルス数に基づき、パルスレーザビームの通過と遮断を制御することを可能にする。これにより、レーザ発振器のパルス、レーザビームスキャナの走査、およびパルスレーザビームの通過と遮断の同期維持が容易になる。また、制御回路の構成が簡略化できる。本実施の形態のパルスレーザ加工装置は、パルスレーザビームの照射スポットの位置決め精度を一層向上させるとともに、大型の被加工物表面の安定した微細加工とその高速化を容易に実現する。

【 0 0 2 2 】

図 1 は、本実施の形態のパルスレーザ加工装置の構成図である。パルスレーザ加工装置 1 0 は、その主要な構成として、レーザ発振器 1 2、パルスピッカー 1 4、ビーム整形器 1 6、レーザビームスキャナ 1 8、X Y ステージ部 2 0、パルスピッカー制御部 2 2 および加工制御部 2 4 を備えている。加工制御部 2 4 には所望のクロック信号 S 1 を発生する基準クロック発振回路 2 6 が備えられている。

20

【 0 0 2 3 】

レーザ発振器 1 2 は、基準クロック発振回路 2 6 で発生するクロック信号 S 1 に同期したパルスレーザビーム P L 1 を出射するよう構成されている。このレーザ発振器 1 2 は、超短パルスである p s（ピコ秒）レーザビームあるいは f s（フェムト秒）レーザビームを発振するものが望ましい。

【 0 0 2 4 】

ここでレーザ発振器 1 2 から射出されるレーザ波長は被加工物の光吸収率、光反射率等を考慮して選択される。例えば、C u、N i、難削材である S K D 1 1 等を含む金属材料あるいはダイヤモンドライク・カーボン（D L C）からなる被加工物の場合、N d : Y A G レーザの第 2 高調波（波長：5 3 2 n m）を用いることが望ましい。

30

【 0 0 2 5 】

パルスピッカー 1 4 は、レーザ発振器 1 2 とレーザビームスキャナ 1 8 との間の光路に設けられる。そして、クロック信号 S 1 に同期してパルスレーザビーム P L 1 の通過と遮断（オン/オフ）を切り替えることで被加工物（ワーク W）の加工と非加工を切り替えるよう構成されている。このように、パルスピッカー 1 4 の動作によりパルスレーザビーム P L 1 は、被加工物の加工のためにオン/オフが制御され変調された変調パルスレーザビーム P L 2 となる。

40

【 0 0 2 6 】

パルスピッカー 1 4 は、例えば音響光学素子（A O M）で構成されていることが望ましい。また、例えばラマン回折型の電気光学素子（E O M）を用いても構わない。

【 0 0 2 7 】

ビーム整形器 1 6 は、入射したパルスレーザビーム P L 2 を所望の形状に整形されたパルスレーザビーム P L 3 とする。例えば、ビーム径を一定の倍率で拡大するビームエキスパンダである。また、例えば、ビーム断面の光強度分布を均一にするホモジナイザのような光学素子が備えられていてもよい。また、例えばビーム断面を円形にする素子や、ビームを円偏光にする光学素子が備えられていても構わない。

【 0 0 2 8 】

50

レーザビームスキャナ 18 は、クロック信号 S 1 に同期してパルスレーザビーム P L 4 を、1次元方向のみに走査するよう構成されている。このように、クロック信号 S 1 に同期してパルスレーザビーム P L 4 を走査することにより、パルスレーザビームの照射スポットの位置決め精度が向上する。

【 0 0 2 9 】

また、1次元方向のみの走査とすることによっても、パルスレーザビームの照射スポットの位置決め精度の向上を図ることができる。なぜなら、2次元方向の走査を行うレーザビームスキャナは、構造上1次元方向のみ走査するレーザビームスキャナに対してビームの位置精度が劣化するためである。

【 0 0 3 0 】

レーザビームスキャナ 18 としては、例えば1軸スキャンミラーを備えたガルバノメータ・スキャナが挙げられる。図 2 は、ガルバノメータ・スキャナを用いたレーザビームスキャナの説明図である。

【 0 0 3 1 】

ガルバノメータ・スキャナは、1軸スキャンミラー 28、ガルバノメータ 30、レーザビームスキャナ制御部 32 を有している。ここで、ガルバノメータ 30 は、例えば走査角センサ 36 からのフィードバックによるサーボ制御のようなスキャンミラー回転の駆動機構を備えている。

【 0 0 3 2 】

加工制御部 24 からは、クロック信号 S 1 に同期した走査指令信号 S 2 が送られる。そして、ガルバノメータ 30 は、走査指令信号 S 2 に基づくレーザビームスキャナ制御部 32 からの駆動信号 S 3 により駆動制御されるよう構成されている。ガルバノメータ・スキャナは、1軸スキャンミラー 28 により全反射するパルスレーザビーム P L 3 を、図 2 の矢印に示すようにスキャンミラーの回転運動（首振り）に従い走査する。

【 0 0 3 3 】

レーザビームスキャナ 18 には、走査角センサ 36 が備えられている。ガルバノメータ・スキャナの場合には、その1軸スキャンミラー 28 の回転位置をロータリエンコーダ等によって検出する構造になっている。そして、走査角センサ 36 は検出した走査角検出信号 S 4 をレーザビームスキャナ制御部 32 に送り、ガルバノメータ 30 の駆動制御用として使用する。また、レーザビームスキャナ制御部 32 は、走査角検出信号 S 4 に基づき走査位置信号である走査角信号 S 5 を加工制御部 24 に送信する。

【 0 0 3 4 】

そして、上記1軸スキャンミラー 28 で反射したパルスレーザビーム P L 3 は、f レンズ 34 を通り、1次元方向に、例えば一定の速度 V で並行して走査される像高 $H = f$ のパルスレーザビーム P L 4 となる。そして、このパルスレーザビーム P L 4 が、X Y ステージ部 20 上に保持される被加工物 W の表面を微細加工する照射パルス光として、被加工物 W 上に投射される。

【 0 0 3 5 】

レーザビームスキャナ 18 には、ガルバノメータ・スキャナの他に、例えば、ポリゴン・スキャナ、ピエゾ・スキャナ、またはレゾナント・スキャナ等を適用することも可能である。

【 0 0 3 6 】

上記いずれのレーザビームスキャナであっても、加工を行う範囲で一定の走査速度 V が確保できるように制御するよう構成されることが、加工精度を上げる観点から重要である。図 3 は、本実施の形態のパルスレーザ加工装置のレーザビームスキャナの走査を説明する図である。図 3 に示すように、スキャンミラーの走査角範囲の走査開始位置から走査終了位置に対応する位置範囲には、加速期間、安定域、減速期間がある。加工精度をあげるためには、実際の加工範囲が含まれる安定域内で走査速度 V が一定となるよう制御するよう装置が構成されることが重要である。

【 0 0 3 7 】

10

20

30

40

50

XYステージ部20は、被加工物Wを載置可能で、パルスレーザービームが走査される1次元方向に直交する方向を含むXY方向に自在に移動できるXYステージ、その駆動機構部、XYステージの位置を計測する例えばレーザー干渉計を有した位置センサ等を備えている。ここで、XYステージは、2次元の広範囲、例えば1m程度のX方向およびY方向の距離範囲で、連続移動あるいはステップ移動できるようになっている。そして、その位置決め精度および移動誤差がサブミクロンの範囲の高精度になるよう構成されている。

【0038】

加工制御部24は、半導体集積回路からなるマイクロコンピュータ(MCU)、マイクロプロセッサ(MPU)、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)、半導体メモリ、回路基板等のハードウェアまたはこれらのハードウェアとソフトウェアとの組み合わせにより構成されている。パルスレーザー加工装置による加工を統合して制御する。

10

【0039】

図4は、本実施の形態のパルスレーザー加工装置の加工制御部の説明図である。加工制御部24は、レーザー系・ビーム走査系制御部36、加工データ設定部38および加工パターン生成部40を備えている。

【0040】

レーザー系・ビーム走査系制御部36は、レーザー発振器12やパルスピッカー14等のレーザー系およびレーザービームスキャナ18等のビーム走査系を制御する。レーザー系・ビーム走査系制御部36には、レーザー系やビーム走査系の条件を設定するレーザー・ビーム条件設定部68、レーザー系やビーム走査系の同期を維持するためのクロック信号S1を発生する基準クロック発振回路26を備えている。また、レーザー系やビーム走査系の同期を維持するために、位相同期処理回路42、レーザービームスキャナ制御回路32、同期位置設定部44、同期検出回路46等を備えている。

20

【0041】

加工パターン生成部40では、例えば、外部から加工データ設定部40に入力される加工データを、実際の加工に即したパラメータのデータに変換する。加工データ設定部40に入力される加工データは、例えば、3次元形状の指定、寸法、形状の数、配置、ワークの材料名、ワークの寸法等で構成されている。

【0042】

図5は、本実施の形態のパルスレーザー加工装置の加工パターン生成部の説明図である。加工パターン生成部40には、加工データ設定部38に入力される加工データを解析する加工データ解析部48が備えられる。また、加工データ解析部48での解析を基に、加工テーブルおよびステージ移動テーブルを生成するテーブル生成部49を備えている。加工テーブルは、加工パターンについて、待機長、加工長や非加工長をパルスレーザービームの光パルス数に基づき記載する。すなわち、テーブル生成部49は、加工データの加工長および非加工長と、パルスレーザービームのスポット径と、を基準に加工テーブルを生成する。ステージ移動テーブルは、加工パターンについて、XYステージ部の移動距離等を記載する。

30

【0043】

また、加工パターン生成部40は、加工テーブルを備えるパルスピッカー加工テーブル部50を備えている。また、ステージ移動テーブルを備えるステージ移動テーブル部52を備えている。なお、加工テーブルやステージ移動テーブルについては、上記のように加工パターン生成部40の内部で生成される装置構成であっても、加工パターン生成部40やパルスレーザー加工装置10の外部で生成される装置構成であっても構わない。

40

【0044】

そして、加工パターン生成部40には、パルスピッカー加工テーブル部50から出力される加工原点に関する情報が入力される加工原点(SYNC)レジスタ54(以下、単に加工原点レジスタとも記載)を備える。また、パルスピッカー加工テーブル部50から出力される待機長、加工長や非加工長に関する情報が入力される待機長レジスタ56、加工長レジスタ58、および非加工長レジスタ60が備えられている。

50

【 0 0 4 5 】

加工パターン信号生成部 6 2 には、加工原点レジスタ 5 4、待機長レジスタ 5 6、加工長レジスタ 5 8、および非加工長レジスタ 6 0 の値が入力され、パルスピッカー制御部 2 2 へと送られる。移動信号生成部 6 4 は、ステージ移動テーブル部 5 2 からのデータに基づき、ステージ移動信号 S 1 5 を生成し、ステージ制御部 6 6 へと出力するよう構成されている。

【 0 0 4 6 】

加工パターン生成部 4 0 で生成されたデータは、レーザ系・ビーム走査系制御部 3 6 へも出力され、レーザ系とビーム走査系の同期維持に用いられる。

【 0 0 4 7 】

図 6 は、本実施の形態のパルスレーザ加工装置の加工パターン信号生成部の説明図である。加工パターン信号生成部 6 2 は、加工原点カウンタ 7 0、待機長カウンタ 7 2、加工長カウンタ 7 4、および非加工長カウンタ 7 6 を備えている。これらのカウンタは、タイミング形成回路 8 8 から出力されるカウンタ制御信号 S 8 により、カウントを開始するよう構成されている。

【 0 0 4 8 】

また、レジスタとカウンタとの値を比較する機能を有する加工原点比較器 8 0、待機長比較器 8 2、加工長比較器 8 4、および非加工長比較器 8 6 を備えている。これらの比較器は、レジスタとカウンタとの値が一致した場合は、一致信号 a ~ d をタイミング形成回路 8 8 へ出力するよう構成されている。

【 0 0 4 9 】

そして、タイミング形成回路 8 8 は、入力される同期検出信号 S 9、一致信号 a ~ d、走査終了コードに基づき、加工パターン出力回路 9 0 へ出力制御信号 S 1 0 を出力するよう構成されている。

【 0 0 5 0 】

加工パターン出力回路 9 0 は、加工長比較器 8 4 からの出力と、タイミング形成回路 8 8 からの出力制御信号 S 1 0 により加工パターン信号 S 7 を発生するよう構成されている。

【 0 0 5 1 】

上記加工制御部 2 4 は、基準クロック発振回路において、パルスレーザビームの繰り返し周波数入力データに基づきレーザ発振器 1 2 に与える発振器クロック（クロック信号）S 1 を生成する。そして、レーザ発振器 1 2 は、その発振器クロック S 1 によりパルスレーザビームを生成する。すなわち、クロック信号に同期したパルスレーザビームが射出される。

【 0 0 5 2 】

加工開始指示が行われると、内蔵するシャッターを開にすることでパルスレーザビーム P L 1 を射出する。このようにして、パルスレーザビーム P L 1 が射出される際にはファーストパルスは存在せず、安定出力エネルギーが維持される。

【 0 0 5 3 】

また、加工制御部 2 4 は、上述した 2 次元加工データから加工パターン信号 S 7 を生成する。そして、パルスピッカー制御部 2 2 は、この加工パターン信号 S 7 に従い、クロック信号 S 1 によりパルスレーザビーム P L 1 との同期を確保したパルスピッカー駆動信号 S 6 を、パルスピッカー 1 4 に供給する。このようにして、クロック信号 S 1 に同期して、パルスピッカー 1 4 が、パルスレーザビームの通過と遮断を切り替える。

【 0 0 5 4 】

また、加工制御部 2 4 は、レーザビームスキャナ 1 8 の走査開始時にクロック信号 S 1 との同期を確保した走査指令信号 S 2 を生成する。そして、レーザビームスキャナ 1 8 のレーザビームスキャナ制御部 3 2 が上記走査指令信号 S 2 を受けてレーザビームスキャナ 1 8 の駆動制御を行う。このようにして、クロック信号に同期して、レーザビームスキャナ 1 8 がパルスレーザビームを 1 次元方向のみに走査する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

更に、加工制御部 2 4 は、レーザビームスキャナ 1 8 からの走査位置信号である走査角信号 S 5 に基づいて X - Y ステージ部 2 0 の移動タイミングを判定し、上記 2 次元加工データと上記移動タイミングによりステージ移動信号 S 1 5 を生成する。この場合の走査角信号 S 5 は、図 3 で説明した加工が終了する加工終端位置あるいはスキャナ走査が終了する走査終了位置を走査角センサ 3 6 で検出した走査角検出信号 S 4 からのものである。そして、X - Y ステージ部 2 0 は上記ステージ移動信号 S 1 5 に指示されて動作する。

【 0 0 5 6 】

このように、X - Y ステージは、レーザビームスキャナの走査位置信号に基づいて、例えば、レーザビームスキャナの走査方向とは直交する方向の移動制御がされる。これによって、次の走査への時間が短縮され、レーザビーム加工の更なる高速性が実現される。

10

【 0 0 5 7 】

そして、本実施の形態において、レーザビームスキャナからの走査位置信号に基づき、走査毎の加工原点位置を補正する補正機構を有することが望ましい。この補正機構を有することにより、各走査毎のレーザビームスキャナの加速期間（図 3 参照）における走査速度ばらつきが補償され、さらに高精度な加工が可能となるからである。

【 0 0 5 8 】

なお、図 1 において、加工制御部 2 4 がビーム整形器 1 6 も制御する構成になっていてもよい。この場合は、特に、ビーム整形器 1 6 においてビーム径を自動制御したりビーム断面の光強度分布を自動調整したりする場合に有効になる。

20

【 0 0 5 9 】

次に、パルスレーザ加工装置 1 0 の主要な動作について説明する。ワーク W のレーザ加工動作においては、レーザ発振器 1 2 はその内蔵する制御部によりレーザ発振のほとんどが制御され自律して動作している。もっとも、上述した基準クロック発振回路 2 6 によりパルス発振のタイミング等の制御がなされる。これについて図 7 を参照して説明する。

【 0 0 6 0 】

レーザビームスキャナの例として図 2 に示したガルバノメータ・スキャナの 1 軸スキャン・ミラー 2 8 は、走査起動信号により図 3 で説明したような走査開始位置（走査原点）で走査起動する。この時、レーザビームスキャナ 1 8 は、図 7 (a) に示すようにクロック信号 S 1 の例えば立ち上がり（立ち下りでもよい）に同期した走査指令信号 S 2 により指示を受け、そのレーザビームスキャナ制御部 3 2 がガルバノメータ 3 0 の駆動制御を行う。ここで、走査指令信号 S 2 は、X Y 2 - 1 0 0 プロトコルに対応することで、例えば 1 0 0 k H z (T s = 1 0 μ s e c) での絶対走査角指令に従う。

30

【 0 0 6 1 】

なお、図 7 (a) は、パルスレーザの発振周波数を 5 0 0 k H z (T p = 2 μ s e c)、パルスレーザビームのビーム径を 1 6 μ m、走査速度 V を 4 0 0 0 m m / s e c とした場合の、走査起動時のクロック信号 S 1 の立ち上がりに同期した走査指令信号 S 2 の例を示している。このような動作が、パルスレーザビームの走査毎に行われる。

【 0 0 6 2 】

ここで、図 3 の加速期間では、スキャナ速度が早期に安定した走査速度 V になるように、走査指令信号 S 2 によりレーザビームスキャナ制御部 3 2 はガルバノメータ 3 0 の駆動制御を行う。この時、最適条件での 1 軸スキャン・ミラー 2 8 の走査角繰り返し再現性は、安定領域では 1 0 μ r a d / p - p 程度が経験的に得られることが確認されている。この値は、焦点距離が 1 0 0 m m の f レンズとした場合、1 μ m / p - p の走査位置再現性になる。

40

【 0 0 6 3 】

しかし、上記加速期間の繰り返し安定性は、長期走査において 1 0 倍程度まで悪化するため、加工開始位置において走査ごとに変動が生じる。そこで、補正機構によって、レーザビームスキャナからの走査位置信号（走査角信号 S 5 ）に基づき、走査毎の加工原点位置を補正する。

50

【 0 0 6 4 】

例えば、加速期間終了後、十分な安定域（例えば、経験的には加速期間が $1 \text{ m s e c} \sim 1.5 \text{ m s e c}$ で、焦点距離が 100 mm の f レンズとした場合、その走査角範囲は約 2.3 度 ~ 3.4 度である）に達した後、図 7 (b) に示すように予め設定されている同期角 ($s y$) を検出信号として走査角センサ 3 6 により検出する時、走査指令信号 (o : 走査開始位置からの走査角) との差分を位相差 (i) とし、この位相差により走査指令信号 $S 2$ に対する加工原点までの距離を補正する。

【 0 0 6 5 】

上記加工原点までの距離補正值は、加工時の第 1 回目走査 ($i = 1$) を基準補正值として記憶し、以後の $i = n$ となる第 n 回目の走査開始位置からの走査の都度、位相差 (n) と位相差 (1) の差分を第 n 回目走査の第 1 回目走査に対する走査指令信号に対する加工原点までの距離補正值として、第 1 回目走査時と第 n 回目走査時の加工原点位置を一致させる。

10

【 0 0 6 6 】

図 8 に示した加工パターン信号 $S 7$ は、加工原点からの距離データを含め 3 次元ビットマップから与えられている。このため、走査毎に加工原点位置が一致すると、加工パターン信号 $S 7$ の加工開始位置も一致し、パルスピッカー駆動信号 $S 6$ も所望のタイミングで生成される。

【 0 0 6 7 】

レーザビームスキャナ 1 8 が図 2 に説明したガルバノメータ・スキャナからなる場合、スキャナクロック信号がレーザビームスキャナ制御部 3 2 からの駆動信号としてサーボ制御モータを駆動させる。しかし、レーザビームスキャナ 1 8 もその自律した動作によりその位相ズレが生じることがある。そこで、上記スキャン動作の繰り返し毎に発生する走査位置信号となる同期角検出信号により、発振パルス光の通過 / 遮断とビームのスキャン動作との同期化、すなわちタイミングを合わせることで、極めて安定したレーザ加工が可能になる。

20

【 0 0 6 8 】

具体的には、例えば、補正機構が、走査位置信号 (走査角信号 $S 5$) に基づき、パルスピッカーにおけるパルスレーザビームの通過と遮断を制御する。すなわち、上記スキャン・ミラーの回転位置の同期位置 (角) 検出の走査位置信号から検出した位相差に基づき、パルスピッカー 1 4 の駆動信号のタイミングを指定する。これによって、パルスレーザビームの走査毎の加工原点位置を補正する。

30

【 0 0 6 9 】

あるいは、例えば、補正機構が、走査位置信号から検出した位相差から得られる距離補正值を、走査開始位置からの走査角に o に対するレーザビームスキャナへの走査指令信号以降の走査指令信号に与えることで、パルスレーザビームの走査毎の加工原点位置を補正する。

【 0 0 7 0 】

パルスピッカー動作によりパルスレーザビームはパルス周波数変調され所要の変調パルス光が生成される。これについて図 8 を参照して説明する。

40

【 0 0 7 1 】

図 8 に示すように、周波数 $T p$ のクロック信号 $S 1$ からの $t 1$ 遅延のパルスレーザビーム $P L 1$ は、パルスピッカー駆動信号 $S 6$ により遮断 / 通過の動作がなされる。例えば、そのパルスピッカー駆動信号 $S 6$ は、加工パターン信号 $S 7$ をクロック信号 $S 1$ の立ち上がりによりサンプリングし、クロック信号 $S 1$ の一クロックの立ち上がりから $t 2$ 時間遅延して立ち上がり、所要数クロック後の他クロックの立ち上がりから $t 3$ 時間遅延して立ち下がるパターン信号になる。そして、このパルスピッカー駆動信号によりパルスピッカー 1 4 の動作がその遅延時間 $t 4$ および $t 5$ に従って生じ、その動作の間のパルスレーザビーム $P L 1$ が変調パルスレーザビーム $P L 2$ として抽出される。ここで、上記遅延時間 $t 2$ 、 $t 3$ 、 $t 4$ および $t 5$ はパルスピッカー 1 4 に合わせて設定される。

50

【 0 0 7 2 】

なお、パルスピッカー 1 4 が音響光学素子 (A O M) を使用する場合、上記パルスピッカー駆動信号 S 6 の反転パターン信号が、超音波発生制御部における発振の O N / O F F を制御するドライバ信号となる。そして、この反転パターンのドライバ信号により所要の発振パルス光が抽出されることになる。

【 0 0 7 3 】

また、上述したようにレーザビームスキャナ 1 8 からの走査位置信号 (走査角信号 S 5)、例えばそのスキャン・ミラーの回転位置における加工終端位置の走査位置信号が、X - Y ステージ移動部 2 0 の移動タイミングを指示する。レーザビームスキャナ 1 8 の 1 次元走査方向を X 軸方向とすると、上記移動タイミングにより、Y 軸方向の所定幅のステップ移動あるいは連続移動がなされる。あるいは、X - Y ステージの X 軸方向の所定距離の連続移動あるいはステップ移動が行われる。このようにして、X - Y ステージの予め決められている移動パターンの移動制御が行われる。

10

【 0 0 7 4 】

例えば、パルスピッカー動作パターンにより生成された変調パルスレーザビーム P L 2 は、各パルス光がビーム整形器 1 6 において所要の形状に整形される。そして、上記レーザビームスキャナ 1 8 による X 軸方向の走査と X - Y ステージ部 2 0 によるワーク W 位置の Y 軸方向の移動によって、ワーク W の所要位置に照射パルス光が投射され、ワーク W 表面の高精度の微細加工がなされる。パルスピッカー動作パターンにおける各パルスピッカー動作の時間幅および各動作の時間間隔はそれぞれ異なるようになっていてもよい。

20

【 0 0 7 5 】

次に、上記パルスレーザ加工装置 1 0 を用いたパルスレーザ加工方法について説明する。このパルスレーザ加工方法は、ステージに被加工物 (ワーク) を載置し、クロック信号を発生し、クロック信号に同期したパルスレーザビームを出射し、被加工物表面に、上記クロック信号に同期してパルスレーザビームを 1 次元方向に走査し、1 次元方向にパルスレーザビームを走査した後に、上記 1 次元方向に直交する方向にステージを移動して、更に上記クロック信号に同期してパルスレーザビームを上記 1 次元方向に走査するパルスレーザ加工方法である。そして、パルスレーザビームを上記 1 次元方向に走査する際に、パルスレーザビームの光パルス数に基づき、上記クロック信号に同期してパルスレーザビームの照射と非照射を切り替える。

30

【 0 0 7 6 】

図 7 は、本実施の形態のパルスレーザ加工装置のタイミング制御を説明する信号波形図である。ステージに載置されるワーク W を加工する際、レーザ発振器 1 2 は内蔵する制御部によりレーザ発振の大半が制御され自律して動作する。もっとも、図 7 (a) に示すように基準クロック発振回路により生成される周期 T_p のクロック信号 S 1 により、パルス発振のタイミングの制御が行われ、クロック信号 S 1 に同期した周期 T_p のパルスレーザビーム P L 1 を出射する。

【 0 0 7 7 】

レーザビームスキャナ 1 8 は、走査起動信号 S 1 1 に基づき図 6 に示す走査開始位置 (走査原点) で走査起動する。この時、レーザビームスキャナ 1 8 は図 7 (a) に示すように、クロック信号 S 1 の立ち上がり (立下りでもよい) に同期した、加工制御部 2 4 で生成される周期 T_s の走査指令信号 S 2 により指示を受ける。そして、この走査指令信号 S 2 に基づき、レーザビームスキャナ制御部 3 2 がガルバノメータ 3 0 の駆動制御を行う。

40

【 0 0 7 8 】

このように、レーザビームスキャナ 1 8 により、クロック信号 S 1 に同期してパルスレーザビームを 1 次元方向に走査する。この時、パルスレーザビームの照射と非照射を切り替えることで、ワーク W 表面にパターンを加工する。なお、走査指令信号 S 2 は、X Y 2 - 1 0 0 プロトコルに対応することで、例えば、1 0 0 k H z ($T_s = 1 0 \mu s e c$) での、ガルバノメータ 3 0 の走査角「 0 度」位置を基準とする絶対走査角指令に従う。

【 0 0 7 9 】

50

なお、図7(a)は、パルスレーザビームの発振周波数を500kHz($T_p = 2\mu\text{sec}$)、パルスレーザビームのビーム径を16 μm 、走査速度Vを4000mm/secとした場合の、走査起動時のクロック信号S1の立ち上がり同期した走査指令信号S2の例を示している。

【0080】

1次元方向にパルスレーザビームを走査した後に、上記1次元方向に直交する方向にステージを移動して、更に上記クロック信号に同期してパルスレーザビームを上記1次元方向に走査する。このように、パルスレーザビームの1次元方向の走査と、上記1次元方向に直交する方向にステージの移動が交互に行われる。

【0081】

ここで、レーザビームスキャナ18からの走査位置信号である走査角信号S5が、XYステージ部の移動タイミングを指示する。レーザビームスキャナ18の1次元走査方向をX軸方向とすると、上記移動タイミングにより、Y軸方向の所定幅のステップ移動あるいは連続移動がなされる。その後、パルスレーザビームをX方向に走査する。

【0082】

ここで、図3の加速期間では、走査速度が早期に安定した走査速度Vになるように、走査指令信号S2によるレーザビームスキャナ18の制御を行う。最適条件での1軸スキャンミラー28の走査角繰り返し再現性は、安定域では10 $\mu\text{rad/p-p}$ 程度が得られることが経験的に明らかである。この値は、焦点距離が100mmのf レンズとした場合、1 $\mu\text{m/p-p}$ の走査位置再現性になる。

【0083】

もっとも、加速期間における走査速度Vの繰り返し安定性は、長期の走査において10倍程度まで悪化する。このため、図3における加工原点の位置が走査ごとに変動する恐れがある。そこで、加速期間終了後、十分に安定した領域で、パルスレーザビームPL1の発振と、ビーム走査との同期をとるための同期角(θ_{sy})を設定する。十分に安定した領域に達するまでの走査角範囲は、例えば、加速期間が1msec~1.5msecで、焦点距離が100mmのf レンズとした場合、約2.3度~3.4度である。

【0084】

そして、図7(b)に示すように、この同期角を走査角センサ36が検出する。そして、同期角を検出する時に走査開始位置からの走査角 θ_0 に対応する走査指令信号S2との位相差 θ_i を求める。そして、この位相差 θ_i に基づき、走査指令信号S2に対する加工原点までの距離を補正する。

【0085】

上記加工原点までの距離の補正值は、加工時の第1回目の走査($i = 1$)を基準補正值として記憶させる。そして、以後の $i = n$ となる第n回目の走査開始位置からの走査の都度、位相差 θ_n と位相差 θ_1 の差分を第n回目走査の第1回目走査に対する走査指令信号S2に対する加工原点までの距離補正值とする。求められた距離補正值は、走査開始位置からの走査角 θ_0 に対する走査指令信号(S2:絶対走査角指令)以降の走査指令信号(S2)に与えることで、加工原点位置が補正される。このようにして、レーザビームスキャナ18の加速期間における走査速度がばらついたとしても、第1回目走査時と第n回目走査時の加工原点位置を一致させることが可能となる。

【0086】

以上のように、1次元方向にパルスレーザビームを走査した後に、上記1次元方向に直交する方向にステージを移動して、更に上記クロック信号S1に同期してパルスレーザビームを上記1次元方向に走査する場合において、走査ごとの加工原点位置が一致し、加工精度が向上する。

【0087】

上記、1次元方向にパルスレーザビームを走査する際に、パルスレーザビームの光パルス数に基づき、上記クロック信号S1に同期してパルスレーザビームの照射と非照射を切り替える。パルスレーザビームの照射と非照射は、パルスピッカーを用いて行われる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 8 】

図 3 に示すように、

S_L : 同期角検出位置からワークまでの距離

W_L : ワーク長

W_1 : ワーク端から加工原点まで距離

W_2 : 加工範囲

W_3 : 加工終端からワーク端までの距離

とする。

【 0 0 8 9 】

ここで、

$$\text{加工原点} = \text{同期角検出位置} + S_L + W_1$$

となり、ワークはステージ上に固定位置で設置されるため、 S_L も固定距離となる。更に、同期角検出位置を基準とするワーク上の加工原点（以下、加工原点（SYNC）とも表記）は、

$$\text{加工原点（SYNC）} = S_L + W_1$$

となる。この加工原点（SYNC）は、上述のような補正を行うことで管理され、走査ごとに常に安定した位置から加工が開始される。なお、図 3 に示すように、実加工は加工範囲（ W_2 ）に収まる範囲で行われる。

【 0 0 9 0 】

例えば、ビームスポット径 D （ μm ）、ビーム周波数 F （ kHz ）の加工条件で走査を行う場合、加工速度： V （ m/sec ）は、スポット径の $1/n$ ずつ、ビームの照射位置をずらす場合、

$$V = D \times 10^{-6} \times F \times 10^3 / n$$

となる。

【 0 0 9 1 】

パルスピッカーにより光パルスを制御して加工を行う場合、パルスピッカーで作成するパルスピッカー駆動信号 S_6 は、実際に加工を行う領域を加工長により定義し、繰り返し加工ピッチを非加工長により定義することが可能である。ここで、加工長を L_1 とし、非加工長を L_2 とすると、パルスレーザビームの光パルス数に基づき、加工長レジスタ設定は、

$$\text{加工パルス数} = (L_1 / (D / n)) - 1$$

非加工長レジスタ設定は、

$$\text{非加工パルス数} = (L_2 / (D / n)) + 1$$

とすることができる。

【 0 0 9 2 】

また、加工原点（SYNC）から実際に加工を開始する位置を待機長として定義することで、加工形状ごとの開始位置を設定する。ここで、待機長を L_W とすると、加工原点（SYNC）レジスタ設定は、

$$\text{加工原点（SYNC）光パルス数} = (S_L + W_1) / (D / n)$$

待機長レジスタ設定は、

$$\text{待機長光パルス数} = L_W / (D / n)$$

とすることができる。

【 0 0 9 3 】

なお、加工長、非加工長、待機長、加工原点（SYNC）に対する各レジスタへの設定値は、それぞれに対応する光パルス数である。そして、この光パルス数は、使用されるビームプロファイルに基づいて予め決定される補正のための光パルス数を加味した値となる。

【 0 0 9 4 】

上記のレジスタ設定値は、照射する光パルス数で管理される。また、同期角検出後の加工待機区間についても光パルス数で管理される。このようにパルスピッカーの管理を光パ

10

20

30

40

50

ルス数で行うことにより、基準となるクロック信号 S 1 とパルスピッカーとの同期を容易に維持でき、安定した繰り返し性が維持される。そして、クロック信号 S 1 とパルスピッカー 1 4 との同期を維持することで、高精度なレーザ加工が簡易に実現される。

【 0 0 9 5 】

図 8 は、本実施の形態のパルスレーザ加工装置のパルスピッカー動作のタイミング制御を説明する信号波形図である。加工データから生成され、光パルス数で管理される加工パターン信号 S 7 は、加工パターン信号生成部 4 0 の加工パターン出力回路 6 2 から出力される。

【 0 0 9 6 】

図 8 に示すように、周期 T_p のクロック信号 S 1 から t_1 遅延したパルスレーザビーム (P L 1) は、パルスピッカー駆動信号 S 6 に基づき遮断 / 通過が制御される。なお、レーザビームスキャナ 1 8 の走査と、パルスレーザビームの遮断 / 通過との同期は、走査角指令信号 (S 2) 生成タイミングをクロック信号 (S 1) に同期させることで行っている。

10

【 0 0 9 7 】

例えば、パルスピッカー駆動信号 S 6 は、加工パターン信号 S 7 をクロック信号 S 1 の立ち上がりによりサンプリングする。そして、クロック信号 S 1 の一クロックの立ち上がりから t_2 時間遅延して立ち上がる。そして、所要のパルス数に相当するクロック数後、加工パターン信号 S 7 がインアクティブとなった状態をクロック信号 S 1 の立ち上がりでサンプリングし、 t_3 時間遅延して立ち下がる。

20

【 0 0 9 8 】

そして、このパルスピッカー駆動信号 S 6 により、パルスピッカー 1 4 の動作が遅延時間 t_4 および t_5 経過後に生ずる。このパルスピッカー 1 4 の動作により、パルスレーザビーム (P L 1) が、変調パルスレーザビーム (P L 2) として抽出される。

【 0 0 9 9 】

ここで、加工データは、例えば、3次元形状の指定、寸法、形状の数、配置位置、ワークの材料名、ワークの寸法等で構成されている。加工データは加工パターン生成部 4 0 の加工データ解析部 4 8 で解析される。そして、加工に使用されるレーザの発振器動作、ビーム走査条件である照射パルスエネルギー、ビームスポット径、繰り返し周波数、走査速度、ステージ送り量等の条件から単位光パルスの加工量が経験的に得られる。

30

【 0 1 0 0 】

上記条件を基に、更に3次元形状から2次元レイヤに分解し、各レイヤ毎のビットマップデータ等による2次元データに変換する。この2次元データからパルスピッカー 1 4 の動作データ (加工パルス数、非加工パルス数、待機長パルス数) に変換する。

【 0 1 0 1 】

例えば、C u 材に加工を行う場合、ビームスポット径 $D = 15 \mu m$ 、繰り返し周波数 $F = 500 kHz$ 、ビーム照射移動比 $n = 2$ の加工条件で操作を行うとすると、加工速度 V は、 $V = 3.75 m / sec$ となる。また、照射パルスエネルギーを $1 \mu J / パルス$ とすると、加工深さが $0.1 \mu m$ となる。したがって、加工形状のレイヤ分解幅を $0.1 \mu m$ とすればよい。なお、このようにして分解されたレイヤの数をレイヤ数 R_n と称する。

40

【 0 1 0 2 】

次に、レイヤ毎のパルスピッカー動作データ、すなわち、加工パルス数、非加工パルス数、待機長パルス数について説明する。図 9 は実施の形態のパルスレーザ加工装置による一加工例を示す図である。図 1 0 は図 9 の加工における特定の1次元方向の走査を示す図である。図 1 1 は図 9 の加工における特定のレイヤについての2次元加工を示す図である。

【 0 1 0 3 】

図 9 に示すように、例えば、 $L X_1$ (横) $\times L Y_1$ (縦) $\times D p$ (深さ)、具体的には、例えば、 $52.5 \mu m \times 37.5 \mu m \times 0.1 R_n \mu m$ のポケットをワーク W 上の 9 箇所形成する。この加工例では、ビーム走査方向である X 方向については、 $L X_1$ の加工

50

長と $L X_2$ の非加工長の加工を行い、ステージ移動方向である Y 方向については、 $L Y_1$ の加工長で、 $L Y_2$ 、 $L Y_3$ の非加工長の加工を行う。

【0104】

図10には、Y方向で、 $L Y_1$ に相当する領域内の1本のラインの1次元方向の走査を示す。同期角検出位置から $S_L + W_1$ 、光パルス数にして $(S_L + W_1) / (D/n)$ 離れた加工原点 (SYNC) を基準に L_w 、光パルス数にして $L_w / (D/n)$ の待機長において、ワークへのパルスレーザービーム照射が行われる。この照射は光パルス数にして $(L X_1 / (D/n)) - 1$ である。その後、光パルス数にして $(L X_2 / (D/n)) + 1$ の間、非照射とし、更に、光パルス数で管理された照射と非照射を同一走査内で繰り返す。

10

【0105】

1次元方向のみに走査されるレーザービームスキャナ18により、特定のX方向のライン走査が終了すると、ステージをX方向に直交するY方向に移動させて、更にレーザービームスキャナ18により、X方向の走査を行う。すなわち、レーザービームスキャナ18によるパルスレーザービームの1次元方向の走査と、この走査に続く1次元方向に直交する方向のステージの移動を交互に繰り返すことで、被加工物を加工する。

【0106】

このようにして、図11に示すような特定のレイヤについての2次元加工が行われる。さらに、レイヤ分解により生成された別のレイヤについて、図11に占めすと同様な手法で2次元加工を行う。このようなレイヤ毎の加工を繰り返して、最終的に図9に示すような3次元のポケット加工が完了する。

20

【0107】

次に、図5および図6を用いて、加工制御部24の動作について詳細に説明する。加工制御部24内の加工パターン生成部40では、位相同期回路42で同期検出を行った際に発生する同期検出信号S9がタイミング形成回路88に入力されると、パルスピッカー加工テーブル部50へテーブル選択信号S13「加工原点 (SYNC)」が出力される。そして、パルスピッカー加工テーブル部50から加工原点の情報が出力され、加工原点レジスタ54へロードされる。併せて、加工原点 (SYNC) カウンタ70 (以下、単に加工原点カウンタとも記載) は、クロック信号S1の計数を開始する。

【0108】

30

そして、比較器制御信号S14は加工原点 (SYNC) 比較器80 (以下、単に加工原点比較器とも記載) をイネーブルとし、加工原点カウンタ70の値と加工原点レジスタ54の値を比較する。これらが一致すると、加工原点比較器80から一致信号aがタイミング形成回路88へ出力される。この時、パルスレーザービームが加工原点位置まで走査されていることになる。

【0109】

次に、タイミング形成回路88は、カウンタ制御信号S8を出力し、加工原点カウンタ70の計数を停止させる。そして、タイミング形成回路88からパルスピッカー加工テーブル部50へテーブル選択信号S13「待機長」が出力される。パルスピッカー加工テーブル部50から待機長の情報が出力され、待機長レジスタ56へロードされる。併せて、カウンタ制御信号S8により、待機長カウンタ72はクロック信号S1の計数を開始する。

40

【0110】

そして、比較器制御信号S14は待機長比較器82をイネーブルとし、待機長カウンタ72の値と待機長レジスタ56の値を比較する。これらが一致すると、待機長比較器82から一致信号bがタイミング形成回路88へ出力される。この時、パルスレーザービームが実加工開始位置まで走査されていることになる。

【0111】

次に、タイミング形成回路88は、カウンタ制御信号S8を出力し、待機長カウンタ72の計数を停止させる。そして、タイミング形成回路88からパルスピッカー加工テーブ

50

ル部 50 へテーブル選択信号 S 13 「加工長」が出力される。パルスピッカー加工テーブル部 50 から加工長の情報が出力され、加工長レジスタ 58 へロードされる。併せて、カウンタ制御信号 S 8 により、加工長カウンタ 74 はクロック信号 S 1 の計数を開始する。

【 0 1 1 2 】

そして、比較器制御信号 S 14 は加工長比較器 84 をイネーブルとし、加工長カウンタ 74 の値と加工長レジスタ 58 の値を比較する。これらが一致すると、加工長比較器 84 から一致信号 c がタイミング形成回路 88 へ出力される。この時、パルスレーザビームが加工を終了する位置まで走査されていることになる。

【 0 1 1 3 】

次に、タイミング形成回路 88 は、カウンタ制御信号 S 8 を出力し、加工長カウンタ 74 の計数を停止させる。そして、タイミング形成回路 88 からパルスピッカー加工テーブル部 50 へテーブル選択信号 S 13 「非加工長」が出力される。パルスピッカー加工テーブル部 50 から非加工長の情報が出力され、非加工長レジスタ 60 へロードされる。併せて、カウンタ制御信号 S 8 により、非加工長カウンタ 76 はクロック信号 S 1 の計数を開始する。

10

【 0 1 1 4 】

そして、比較器制御信号 S 14 は非加工長比較器 86 をイネーブルとし、非加工長カウンタ 76 の値と非加工長レジスタ 60 の値を比較する。これらが一致すると、非加工長比較器 86 から一致信号 d がタイミング形成回路 88 へ出力される。この時、パルスレーザビームが非加工端部まで走査されていることになる。そして、実加工を開始する位置の 1

20

【 0 1 1 5 】

次に、タイミング形成回路 88 は、カウンタ制御信号 S 8 を出力し、非加工長カウンタ 76 の計数を停止させる。そして、タイミング形成回路 88 からパルスピッカー加工テーブル部 50 へテーブル選択信号 S 13 「加工長」が出力される。パルスピッカー加工テーブル部 50 から加工長の情報が出力され、加工長レジスタ 58 へロードされる。併せて、カウンタ制御信号 S 8 により、加工長カウンタ 74 はクロック信号 S 1 の計数を開始する。

【 0 1 1 6 】

そして、比較器制御信号 S 14 は加工長比較器 84 をイネーブルとし、加工長カウンタ 74 の値と加工長レジスタ 58 の値を比較する。これらが一致すると、加工長比較器 84 から一致信号 c がタイミング形成回路 88 へ出力される。この時、パルスレーザビームが加工を終了する位置まで走査されていることになる。

30

【 0 1 1 7 】

次に、タイミング形成回路 88 は、カウンタ制御信号 S 8 を出力し、加工長カウンタ 74 の計数を停止させる。そして、タイミング形成回路 88 からパルスピッカー加工テーブル部 50 へテーブル選択信号 S 13 「非加工長」が出力される。パルスピッカー加工テーブル部 50 から非加工長の情報が出力され、非加工長レジスタ 60 へロードされる。併せて、カウンタ制御信号 S 8 により、非加工長カウンタ 76 はクロック信号 S 1 の計数を開始する。

40

【 0 1 1 8 】

そして、比較器制御信号 S 14 は非加工長比較器 86 をイネーブルとし、非加工長カウンタ 76 の値と非加工長レジスタ 60 の値を比較する。これらが一致すると、非加工長比較器 86 から一致信号 d がタイミング形成回路 88 へ出力される。この時、パルスレーザビームが非加工端部まで走査されていることになる。そして、実加工を開始する位置の 1 光パルス手前まで走査されたことになる。

【 0 1 1 9 】

上記過程の中で、加工パターン出力回路 90 は加工長比較器 84 の出力に従い、加工実施期間を認識し、更にタイミング形成回路 88 からの出力制御信号 S 10 により、加工パターン信号 S 7 を出力する。この加工パターン信号 S 7 に基づくパルスピッカー動作のタ

50

タイミング制御は図 8 に示すとおりである。

【 0 1 2 0 】

上述のように、加工パターン生成部 4 0 は、パルスピッカー加工テーブル部 5 0 内に備えられるパルスピッカー加工テーブルに従い、図 1 0 に示すようなパルスレーザビームの 1 次元走査を行う。パルスピッカー加工テーブル部 5 0 には、走査終了コードが設けられ、特定のビーム走査の終了後にタイミング形成回路 8 8 に出力される。

【 0 1 2 1 】

タイミング形成回路 8 8 が走査終了コードを認識すると、ステージ移動が行われ、ステージ移動テーブル部 5 2 からステージ移動量が読み出され、移動信号生成部 6 4 からステージ制御部 6 6 へ、ステージ移動量とステージ移動開始指令を含むステージ移動信号 S 1 5 が出力される。ステージ移動へのプロセスに移ることで、当該ラインの加工が終了したことが認識される。

10

【 0 1 2 2 】

ラインの走査とは直交する方向へのステージ移動の終了と、次のラインのビーム走査の準備が完了した時点で、次ラインのビーム走査を開始する。上記と同様のプロセスに従い 1 次元方向のビーム走査による加工を実施する。所定数のビーム走査とステージ移動とが終了することで当該 2 次元レイヤの加工が終了する。

【 0 1 2 3 】

当該 2 次元レイヤの加工終了の判断は、ステージ移動テーブル部 5 2 に設けられている移動終了コードによる判断が行われる。移動終了コードが確認された時、ステージは第 1 ラインへ移動する様に制御される。

20

【 0 1 2 4 】

以上のように、ビーム走査とステージ移動が「パルスピッカー加工テーブル」と「ステージ移動テーブル」の各データに従って行われ各レイヤの加工が実行される。そして、R n で与えられる所定レイヤ数の加工が行われる。

【 0 1 2 5 】

表 1 は、実施の形態のテーブルの例である。表 1 は、パルスピッカー加工テーブルとステージ移動テーブルが同一テーブル内に記述される例である。表 1 において、待機長、加工長、非加工長は光パルス数で記述されている。なお、パルスピッカー加工テーブルとステージ移動テーブルが別個のテーブルとして存在しても構わない。

30

【 様 1 】

ラインNo.	ステージ送り (μ m)	待機長	形状1		形状2		形状3		形状4	
			加工長	非加工長	加工長	非加工長	加工長	非加工長	加工長	非加工長
1	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
2	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
3	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
4	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
5	22.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
6	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
7	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
8	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
9	30	10	6	3	6	3	6	3	6	3
10	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
11	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
12	7.5	10	6	3	6	3	6	3	6	3
13	0									

10

20

30

【 0 1 2 6 】

(第 2 の 実 施 の 形 態)

40

本実施の形態は、第 1 の実施の形態のパルスレーザ加工装置およびパルスレーザ加工方法を用いたマイクロレンズ用金型の製造方法、これを用いて製造されるマイクロレンズ用金型、および、このマイクロレンズ用金型を用いたマイクロレンズの製造方法である。

【 0 1 2 7 】

例えば、フラットパネルディスプレイに用いられるマイクロレンズは大面積と高い加工精度が求められる。そのため、金型を用いて、このマイクロレンズを製造する場合には、必然的に、その金型にも大面積と高い加工精度が要求される。図 1 2 は、本実施の形態の製造方法により形成される金型の加工例である。

【 0 1 2 8 】

図 1 2 に示すように、例えば、Cu材のワークに、直径R、深さD pのディンプルを、

50

間隔 I で 9 箇所形成する。レーザ加工については、第 1 の実施の形態と同様の方法による。加工テーブルとして、図 12 の 3 次元形状に即したテーブルを用いることで、図 12 の加工が実現できる。本実施の形態によれば、大面積かつ高精度のマイクロレンズ用金型の製造が可能となる。

【 0 1 2 9 】

また、このマイクロレンズ用金型は大面積かつ高精度のマイクロレンズを製造する上で有用である。そして、このマイクロレンズ用金型を用いたマイクロレンズの製造方法によれば、大面積かつ高精度のマイクロレンズを製造することが可能である。

【 0 1 3 0 】

以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。パルスレーザ加工装置、パルスレーザ加工方法等で、本発明の説明に直接必要としない部分については記載を省略したが、必要とされるパルスレーザ加工装置、パルスレーザ加工方法を適宜選択して用いることができる。その他、本発明の要素を具備し、当業者が適宜設計変更しうる全てのパルスレーザ加工装置、パルスレーザ加工方法は、本発明の範囲に包含される。

10

【 0 1 3 1 】

例えば、実施の形態では、ポケットやディンプルを加工する場合を例に説明したが、これらの形状に限られることなく、例えば、電子ペーパー用のリブを製造するための円錐形状、あるいは三角錐、四角錐、V 溝、凹溝、R 溝等の任意形状の加工、その組み合わせの形状の加工を行うパルスレーザ加工装置またはパルスレーザ加工方法であっても構わない。

20

【 0 1 3 2 】

また、被加工物として、主に Cu 材を例に説明したが、例えば、Ni 材、SKD11 等の金属材料、DLC 材、高分子材料、半導体材、ガラス材等のその他の材料であっても構わない。

【 0 1 3 3 】

また、レーザ発振器としては、YAG レーザに限ることなく、被加工物の加工に適したその他の、例えば、Nd:YVO₄ レーザの第 2 高調波 (波長 : 532 nm) のような単一波長帯レーザあるいは複数波長帯レーザを出力するものであっても構わない。

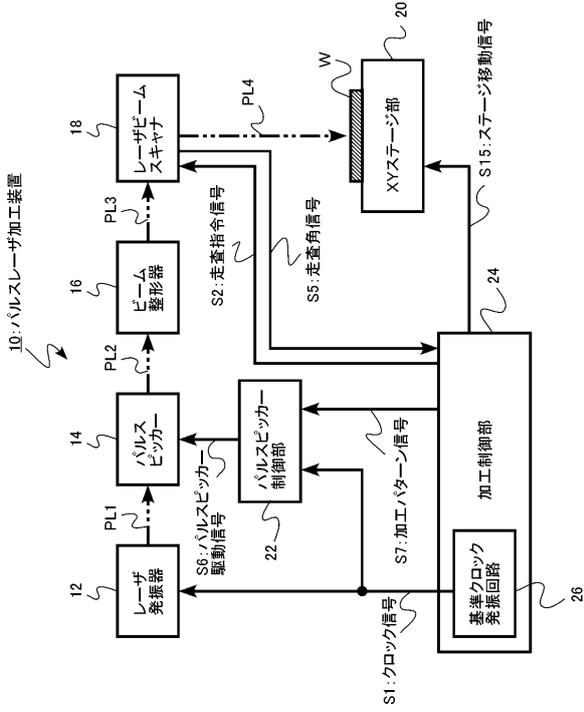
【 符号の説明 】

【 0 1 3 4 】

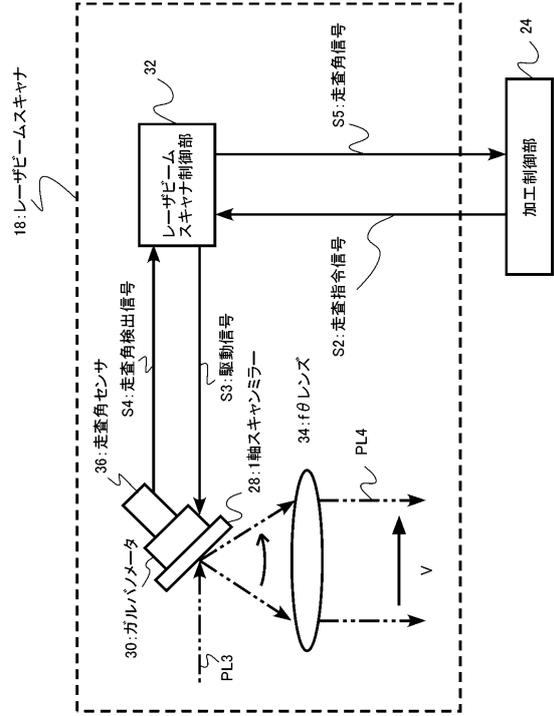
10	パルスレーザ加工装置
12	レーザ発振器
14	パルスピッカー
18	レーザビームスキャナ
20	XY ステージ部
22	パルスピッカー制御部
26	クロック発振回路
49	テーブル生成部

30

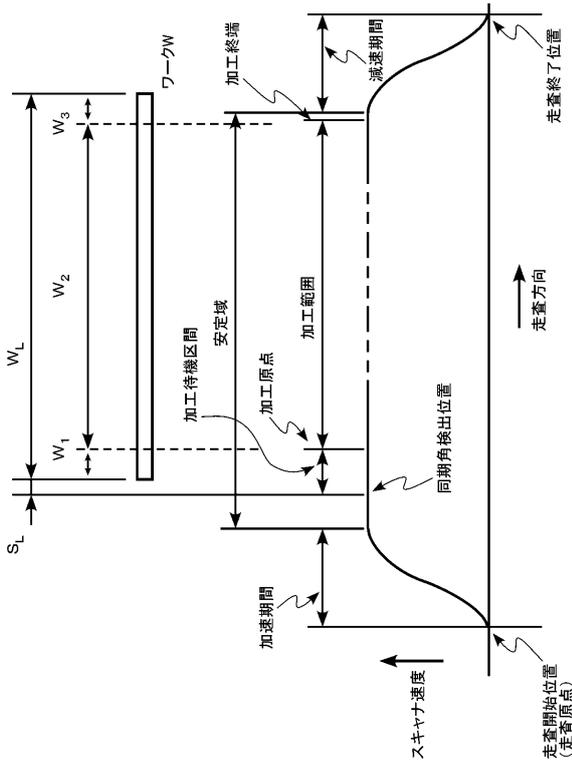
【図1】



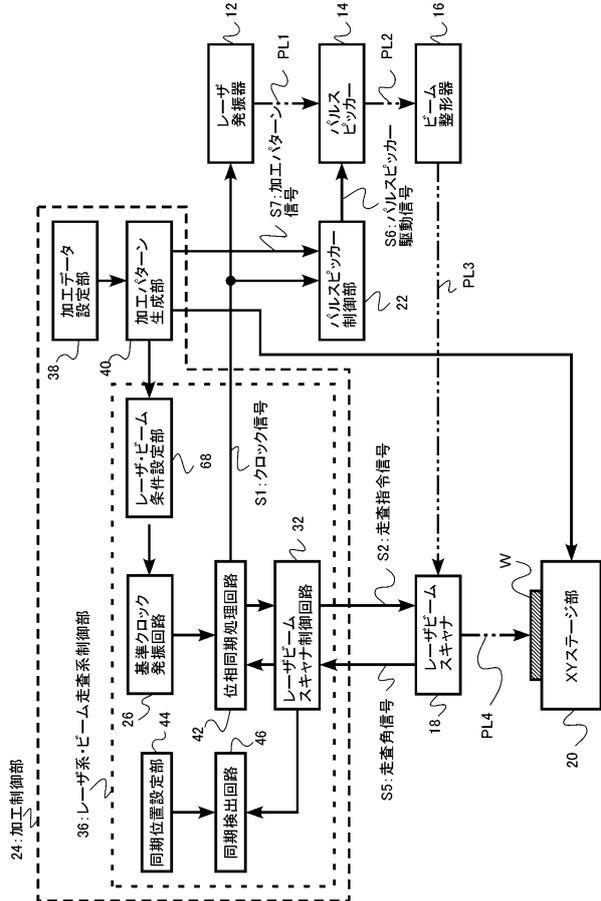
【図2】



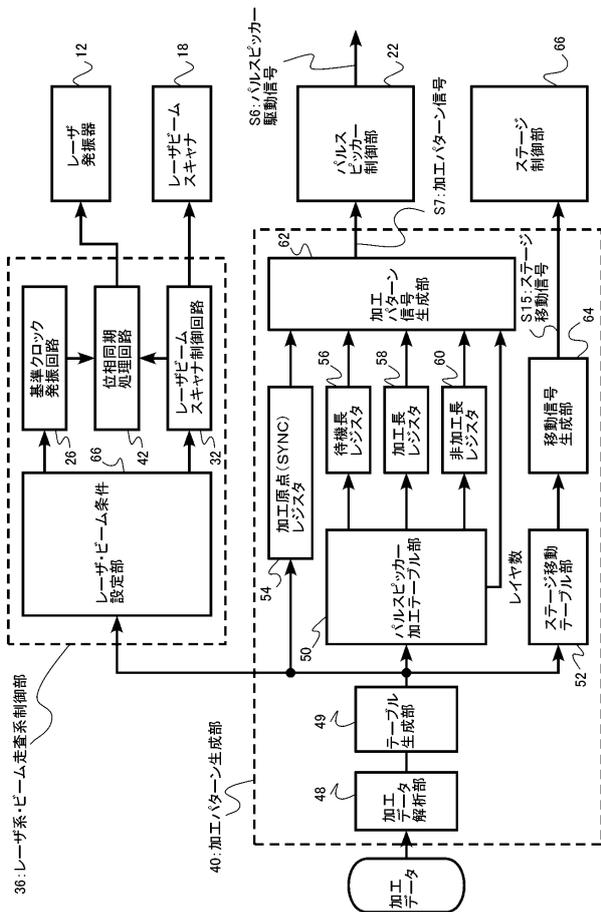
【図3】



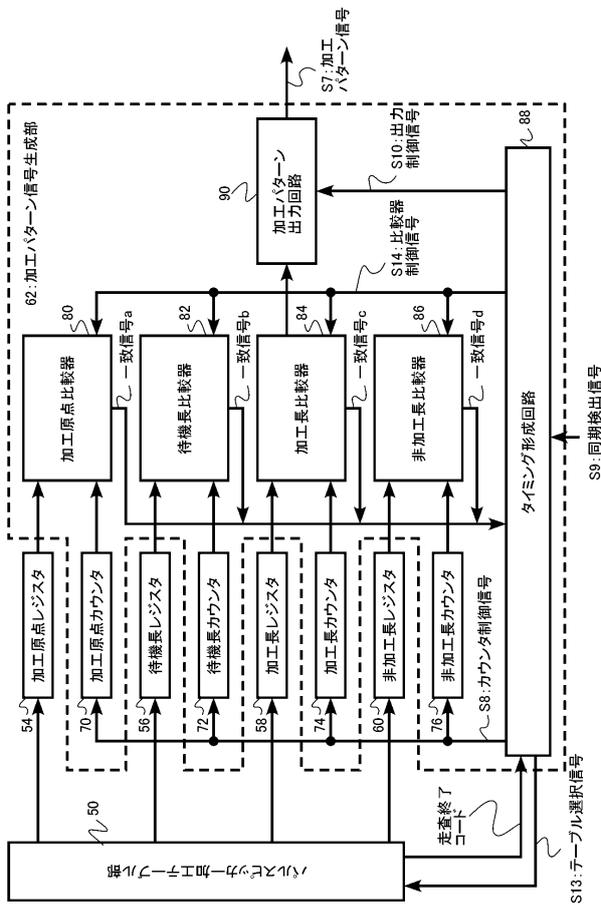
【図4】



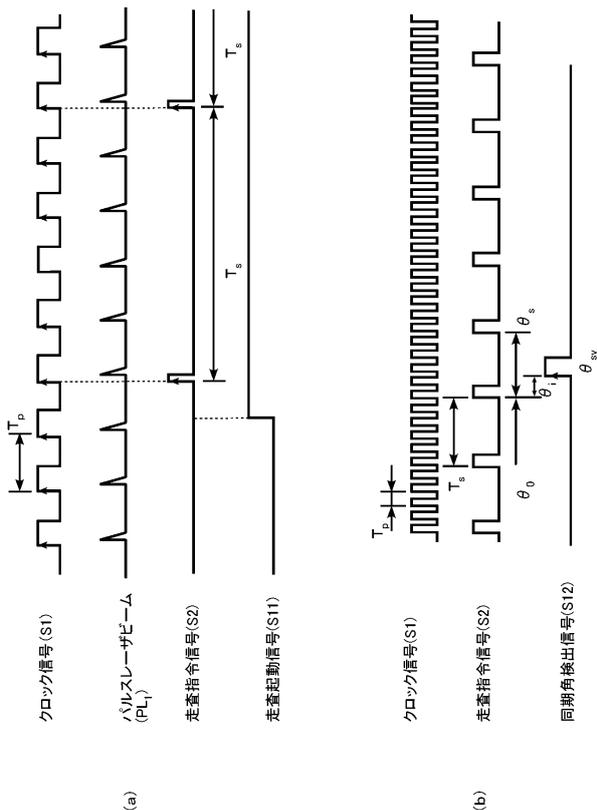
【図5】



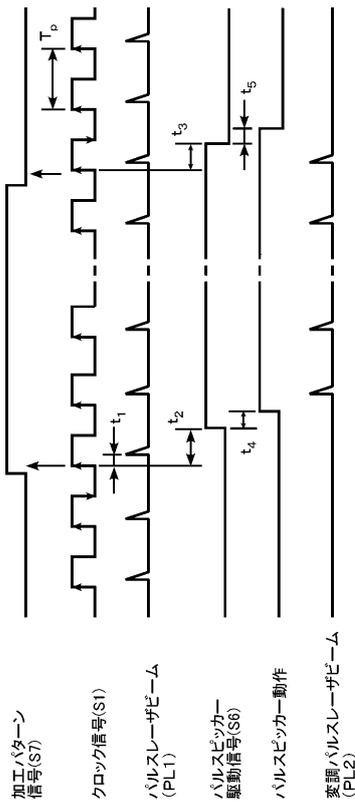
【図6】



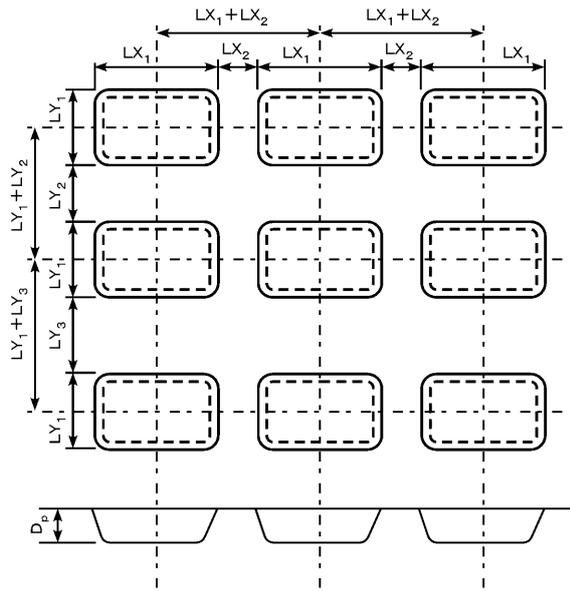
【図7】



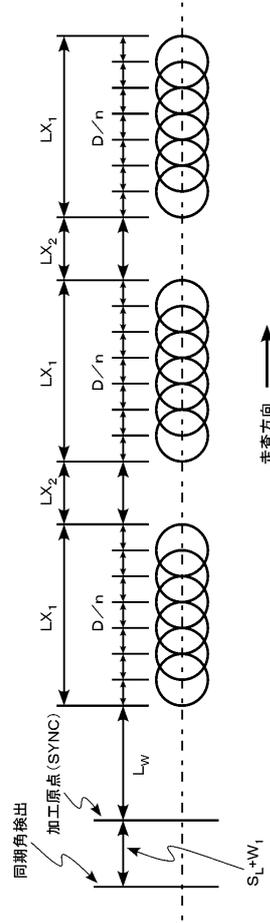
【図8】



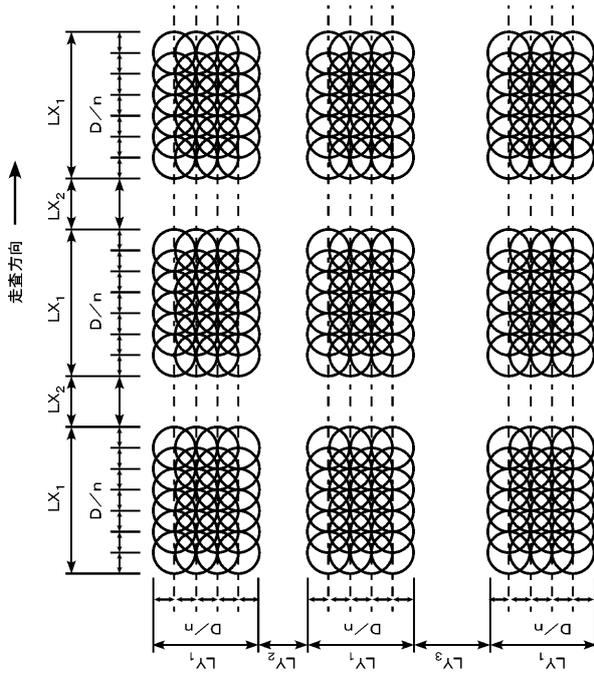
【 图 9 】



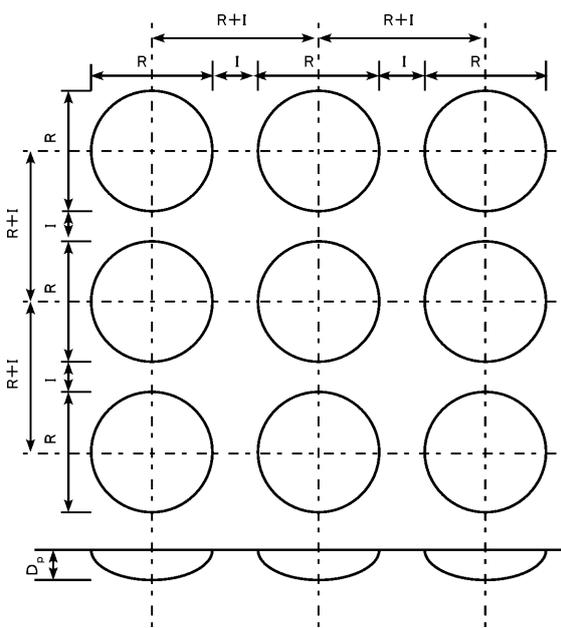
【 图 10 】



【 图 11 】



【 图 12 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特表2002-536188(JP,A)
特開2001-042246(JP,A)
特開2005-118814(JP,A)
特表2002-530204(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B23K 26/00-26/42
G02B 26/10