

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4322527号  
(P4322527)

(45) 発行日 平成21年9月2日(2009.9.2)

(24) 登録日 平成21年6月12日(2009.6.12)

(51) Int. Cl.		F I	
<b>B 2 3 K 26/06</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 3 K 26/06	J
<b>B 2 3 K 26/073</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 3 K 26/073	
<b>G O 2 B 27/46</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 3 K 26/06	Z
		G O 2 B 27/46	

請求項の数 13 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2003-83907 (P2003-83907)	(73) 特許権者	503360115 独立行政法人科学技術振興機構 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(22) 出願日	平成15年3月25日(2003.3.25)	(74) 代理人	100108671 弁理士 西 義之
(65) 公開番号	特開2004-290985 (P2004-290985A)	(72) 発明者	中田 芳樹 福岡県福岡市東区千早2-27 クラシオン千早1-705
(43) 公開日	平成16年10月21日(2004.10.21)		
審査請求日	平成17年2月1日(2005.2.1)	審査官	青木 正博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザー加工装置及びレーザー加工方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

フェムト秒 (fs) からピコ秒 (ps) ( $10^{-15} \sim 10^{-12}$  秒) 領域の超短パルスレーザー光によって、マスクのパターンを第一のレンズ (L1) と第二のレンズ (L2) の2枚の投影レンズにより被加工物に投影して加工するレーザー加工装置であって、2枚の投影レンズの焦点を一致させ、第一のレンズ (L1) の入射側からその焦点距離だけ離れた位置にマスク (5) を置き、第二のレンズ (L2) の出射側からその焦点距離だけ離れた位置に被加工物 (7) を配置し、第一のレンズ (L1) と第二のレンズ (L2) の間にあるフーリエ変換面にマスク像の情報処理を行うフィルタ (6) を置くことで、マスク (5) を透過したレーザー光の第一のレンズ (L1) によるフーリエ変換及び第二のレンズ (L2) による逆フーリエ変換を用いたマスク像の被加工物への投影を行うようにしたフーリエ光学系を用い、かつ、レンズ材料と超短パルスレーザーのパワー密度の関係によってレーザー光が第一のレンズ (L1) 及び第二のレンズ (L2) によりラマン変換されることによって発生したラマン光を検知するラマン検出センサ (20) を第二のレンズ (L2) と被加工物 (7) の間に設けたことを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項2】

レーザー駆動部 (1) で発振させたレーザー光を増幅させる増幅部 (2) とマスク (5) との間に減光フィルタ (3) を設けたことを特徴とする請求項1記載のレーザー加工装置

## 【請求項 3】

マスク ( 5 ) としてコンピューター制御の空間光変調器を用いることを特徴とする請求項 1 記載のレーザー加工装置。

## 【請求項 4】

2 枚の投影レンズをアクロマティックレンズとし、広スペクトル領域に対応したことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のレーザー加工装置。

## 【請求項 5】

第二のレンズ ( L2 ) と被加工物 ( 7 ) の間の任意の位置にマスク像を一方向にのみ圧縮する円柱レンズを配置したことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のレーザー加工装置。

10

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のレーザー加工装置を用いて、フェムト秒 ( f s ) からピコ秒 ( p s ) ( 1 0 - 1 5 ~ 1 0 - 1 2 秒 ) 領域の超短パルスレーザー光によって、被加工物をアブレーション加工する方法において、

レンズ材料と超短パルスレーザーのパワー密度の関係によってレーザー光が第一のレンズ ( L1 ) 及び第二のレンズ ( L2 ) によりラマン変換されることによって発生したラマン光をラマン検出センサ ( 2 0 ) によって検知しレーザー光の進行方向又はスペクトルの変化を検出することでラマン変換によるエネルギーロスを検出し、

該エネルギーロスを防ぐためにレーザーパワー及びパルス幅、第一のレンズ ( L1 ) 及び第二のレンズ ( L2 ) の材質の選定を行って、

20

被加工物 ( 7 ) 表面でのレーザーパワー密度 (  $P / M^2$  ;  $P$  はレーザーパワー、 $M$  は第一のレンズ ( L1 ) 及び第二のレンズ ( L2 ) の焦点距離をそれぞれ  $F_1$ 、 $F_2$  としたとき、 $F_2 / F_1$  で表される像の倍率である ) が、アブレーションしきい値 (  $P_3$  ) を上回るようにすることを特徴とするレーザー加工方法。

## 【請求項 7】

減光フィルター ( 3 ) でレーザーパワー (  $P$  ) を調節することを特徴とする請求項 6 記載のレーザー加工方法。

## 【請求項 8】

被加工物表面に結んだマスク像を観察することによってマスク、第一のレンズ、第二のレンズ及び被加工物位置を最適化することを特徴とする請求項 6 記載のレーザー加工方法。

30

## 【請求項 9】

被加工物表面によって反射されるレーザー光が再びマスクを正確に透過するようにマスク、第一のレンズ、第二のレンズ及び被加工物位置を調整することを特徴とする請求項 6 記載のレーザー加工方法。

## 【請求項 10】

前記空間光変調器によるマスクパターンの変化と、XYZ ステージ ( 9 ) の XYZ 各軸による移動を組み合わせ、被加工物 ( 7 ) の加工したい部分のみにレーザー光を照射して、被加工物に 3 次元のミクロンオーダーのマスクパターンをアブレーション加工することを特徴とする請求項 6 記載のレーザー加工方法。

## 【請求項 11】

第一のレンズ ( L1 ) の焦点位置を減圧又はガスフローすることで、エアブレイクダウンによるビーム質の劣化を抑えることを特徴とする請求項 6 記載のレーザー加工方法。

40

## 【請求項 12】

レーザー光源を超短パルスレーザー及びナノ秒レーザーとし、同時又はある時間差をもってアブレーション加工と熱加工、感光を併用することを特徴とする請求項 6 記載のレーザー加工方法。

## 【請求項 13】

被加工物が透明基板上にある薄膜材料であり、該透明基板側からレーザーを照射することで加工を行うことを特徴とする請求項 6 記載のレーザー加工方法。

## 【発明の詳細な説明】

50

## 【 0 0 0 1 】

## 【 発明の属する技術分野 】

本発明は、新規な光学系を用いることを特徴とする、任意の固体材料における 2 次元又は 3 次元の任意形状の加工やマイクロマシン形状の超短パルスレーザー光を用いたレーザー加工装置及びレーザー加工方法に関する。

## 【 0 0 0 2 】

## 【 従来技術 】

大規模集積回路 ( L S I ) やマイクロマシンの作製においてリソグラフィに代表される光転写露光技術が用いられている。近年では光学技術の発展によって、露光光の波長より小さな微細パターンが露光されるようになっている。

10

## 【 0 0 0 3 】

一方、マスクパターンを物質表面に投影して、物質表面をレーザーアブレーション加工する試みがある。例えば、二枚のレンズによるフーリエ及び逆フーリエ変換を用いたマスク形状の物質表面への投影によるアブレーション加工方法の発明が特許出願されている ( 特許文献 1 ) 。

## 【 0 0 0 4 】

しかしながら、この方法では、レーザーとして Nd - Y A G、Ti - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や Ar F、Kr F などのエキシマレーザーが適当であるとしており、これらの一般的にパルス幅がナノ秒のレーザーでは、加工を行う時間内に熱伝導によって被加工物の温度が均一化してしまう。その結果、一般的な材料に対してミクロンからナノサイズの極小さなパターン転写加工を行うことは不可能であり、そのような加工が出来るのは一部の高分子材料のように光によって解離しやすい材料に限定されてしまう。さらに、難加工材料を加工するためには高強度の光を入射する必要があるが、その場合、材料側のレンズが材料上と同程度の光強度で照射されるため、レンズの破損やラマン変換によるビーム形状の劣化やエネルギーロスが起こってしまう。

20

## 【 0 0 0 5 】

また、フェムト秒レーザーを用いたアブレーション加工法も知られている ( 例えば、特許文献 2 , 3 , 4 , 5 ) 。特許文献 2 においては、マスクを利用したビーム形状の変更が述べられているが、図 6 A に示されているように、第 2 のレンズからその焦点及び標的までの距離がそれぞれ f<sub>2</sub> と f<sub>1</sub> とまちまちであり、第 1 のレンズによってフーリエ変換された信号を逆フーリエ変換する構成になっていない。したがって、マスク形状が複雑な場合、その正確な形状が標的に投影されない。これは、添付された図 2 によって分かる通り、リップルの発生など加工形状の劣化につながる。また、特許文献 3、4 及び 5 では、マスクとレンズ、被加工物の距離関係が明確でなく、さらに、マスクと被加工物の間にレンズは 1 枚のみであり、フーリエ変換及び逆フーリエ変換を用いてマスク形状を被加工物に正確に投影する構成になっていない。

30

## 【 0 0 0 6 】

## 【 特許文献 1 】

特開平 1 1 - 2 1 6 5 8 0 号公報

## 【 特許文献 2 】

特表平 9 - 5 1 1 6 8 8 号 ( 特許第 3 2 8 3 2 6 5 号 ) 公報

40

## 【 特許文献 3 】

特開 2 0 0 1 - 2 1 2 6 8 0 号公報

## 【 特許文献 4 】

特開 2 0 0 1 - 2 1 2 6 8 7 号公報

## 【 特許文献 5 】

特開 2 0 0 1 - 2 1 2 7 9 8 号公報

## 【 0 0 0 7 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

従来の光転写技術は露光に重点が置かれており、その他の光技術であるレーザーアブレーション

50

ションによる物質加工に応用された例は材料が限定されたごく一部しかない。その主要な理由として、従来の露光光に用いられるような紫外光ランプ又はナノ秒レーザーなどの光源では、加工を行う時間内に熱伝導によって被加工物の温度が均一化してしまい、結果としてミクロンからナノサイズの極小さなパターン転写加工が出来ないからであった。

【0008】

よって、従来の手法は、熱伝導の影響が無視できる大きなサイズの加工、又は一部の高分子材料のように光によって解離しやすい材料の加工に限られる。さらに、光学系が短パルスレーザー特有の広スペクトルや高強度レーザーの照射による破損やラマン変換に耐えられる設計になっていない。

【0009】

本発明は、超短パルスレーザー光を用いたレーザー加工において、新規なフーリエ変換レンズ及び逆フーリエ変換レンズを利用したイメージ投影装置を利用することにより、被加工物に直接2次元又は3次元のミクロンオーダーのマスクパターンをアブレーション加工することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明は、被加工物に注入されたエネルギーが熱伝導によって均一化する前にエネルギー注入過程を終了させるために、超短パルスレーザーであるフェムト秒レーザーを光源に用いたレーザー加工方法であって、マスクパターン像を被加工物にアブレーションしきい値以上のフルエンスで照射させるために、2枚の凸レンズを用いたフーリエ変換及び逆フーリエ変換を用いたことを特徴とする。

【0011】

すなわち、本発明は、(1)フェムト秒(fs)からピコ秒(ps)( $10^{-15} \sim 10^{-12}$ 秒)領域の超短パルスレーザー光によって、マスクのパターンを第一のレンズ(L1)と第二のレンズ(L2)の2枚の投影レンズにより被加工物に投影して加工するレーザー加工装置であって、

2枚の投影レンズの焦点を一致させ、第一のレンズ(L1)の入射側からその焦点距離だけ離れた位置にマスク(5)を置き、第二のレンズ(L2)の出射側からその焦点距離だけ離れた位置に被加工物(7)を配置し、第一のレンズ(L1)と第二のレンズ(L2)の間にあるフーリエ変換面にマスク像の情報処理を行うフィルタ(6)を置くことで、

マスク(5)を透過したレーザー光の第一のレンズ(L1)によるフーリエ変換及び第二のレンズ(L2)による逆フーリエ変換を用いたマスク像の被加工物への投影を行うようにしたフーリエ光学系を用い、

かつ、レンズ材料と超短パルスレーザーのパワー密度の関係によってレーザー光が第一のレンズ(L1)及び第二のレンズ(L2)によりラマン変換されることによって発生したラマン光を検知するラマン検出センサ(20)を第二のレンズ(L2)と被加工物(7)の間に設けたことを特徴とするレーザー加工装置、である。

【0012】

また、本発明は、(2)レーザー駆動部(1)で発振させたレーザー光を増幅させる増幅部(2)との間に減光フィルタ(3)を設けたことを特徴とする上記(1)のレーザー加工装置、である。

また、本発明は、(3)マスク(5)としてコンピューター制御の空間光変調器を用いることを特徴とする上記(1)のレーザー加工装置、である。

また、本発明は、(4)2枚の投影レンズをアクロマティックレンズとし、広スペクトル領域に対応したことを特徴とする上記(1)ないし(3)のいずれかのレーザー加工装置、である。

本発明は、(5)第二のレンズ(L2)と被加工物(7)の間の任意の位置にマスク像を一方方向にのみ圧縮する円柱レンズを配置したことを特徴とする上記(1)ないし(4)のいずれかのレーザー加工装置、である。

【0013】

10

20

30

40

50

また、本発明は、(6) 上記(1)ないし(5)のいずれかに記載のレーザー加工装置を用いて、フェムト秒(f s)からピコ秒(p s)(10 - 15 ~ 10 - 12 秒)領域の超短パルスレーザー光によって、被加工物をアブレーション加工する方法において、レンズ材料と超短パルスレーザーのパワー密度の関係によってレーザー光が第一のレンズ(L1)及び第二のレンズ(L2)によりラマン変換されることによって発生したラマン光をラマン検出センサ(20)によって検知しレーザー光の進行方向又はスペクトルの変化を検出することでラマン変換によるエネルギーロスを検出し、該エネルギーロスを防ぐためにレーザーパワー及びパルス幅、第一のレンズ(L1)及び第二のレンズ(L2)の材質の選定を行って、被加工物(7)表面でのレーザーパワー密度(P/M<sup>2</sup>; Pはレーザーパワー、Mは第一のレンズ(L1)及び第二のレンズ(L2)の焦点距離をそれぞれF1、F2としたとき、F2/F1で表される像の倍率である)が、アブレーションしきい値(P3)を上回るようにすることを特徴とするレーザー加工方法、である。

10

## 【0014】

また、本発明は、(7) 減光フィルター(3)でレーザーパワー(P)を調節することを特徴とする上記(6)のレーザー加工方法、である。

また、本発明は、(8) 被加工物表面に結んだマスク像を観察することによってマスク、第一のレンズ、第二のレンズ及び被加工物位置を最適化することを特徴とする上記(6)のレーザー加工方法、である。

また、本発明は、(9) 被加工物表面によって反射されるレーザー光が再びマスクを正確に透過するようにマスク、第一のレンズ、第二のレンズ及び被加工物位置を調整することを特徴とする上記(6)のレーザー加工方法、である。

20

## 【0015】

また、本発明は、(10) 前記空間光変調器によるマスクパターンの変化と、XYZ ステージ(9)のXYZ 各軸による移動を組み合わせ、被加工物(7)の加工したい部分のみにレーザー光を照射して、被加工物に3次元のミクロンオーダーのマスクパターンをアブレーション加工することを特徴とする上記(6)のレーザー加工方法、である。

また、本発明は、(11) 第一のレンズ(L1)の焦点位置を減圧又はガスフローすることで、エアブレイクダウンによるビーム質の劣化を抑えることを特徴とする上記(6)のレーザー加工方法、である。

また、本発明は、(12) レーザー光源を超短パルスレーザー及びナノ秒レーザーとし、同時又はある時間差をもってアブレーション加工と熱加工、感光を併用することを特徴とする上記(6)のレーザー加工方法、である。

30

## 【0016】

また、本発明は、(13) 被加工物が透明基板上にある薄膜材料であり、該透明基板側からレーザーを照射することで加工を行うことを特徴とする上記(6)のレーザー加工方法、である。

## 【0017】

## 【発明の実施の形態】

図1に、本発明のレーザー加工装置の光学系を概念的に示す。レーザー駆動部1と増幅部2から照射されるフェムト秒レーザー光を減光フィルタ3、スリット4を通してマスク5に照射する。マスク5を透過したレーザー光は第一のレンズL1によってフーリエ変換され、フィルタ6でエッジ強調などの情報処理がなされ、さらに、第二のレンズL2によって逆フーリエ変換されることで、再生像が倒立した状態で被加工物7の表面に照射される。

40

図1に示すように、2枚のレンズの焦点を一致させ、第一のレンズの入射側からその焦点距離だけ離れた位置にマスクを置き、第二のレンズの出射側からその焦点距離だけ離れた位置に被加工物を配置する。被加工物7は駆動モータ8で駆動されるXYZ ステージ9上に設置される。マスク5には、透明基板にマスクパターンを書き込んだもの、金属板を打ち抜いたもの他、透過型回折格子、コンピューター制御の空間光変調器を用いることができる。これらは、いずれも公知の手段であり、適宜使用できる。

50

## 【 0 0 1 8 】

続いて、本発明において用いられるフェムト秒レーザー装置の動作について説明する。図 1 に示すシステム制御部 1 0 の電源スイッチ（図示しない）を ON することにより、システム制御部 1 0 はメモリ部 1 1 から制御手順を実行する制御プログラムをロードし、表示部 1 2 に入力画面を表示させ、制御のための設定値を入力できるようにする。入力部 1 3 から被加工物 7 の材質や、目的とする加工形状、深さ、繰り返し周波数、ショット回数等の基本的な設定データを入力すると、システム制御部 1 0 はメモリ部 1 1 からこの設定データと関係付けられている関連データ、例えば、繰り返し周波数から定まる X Y Z ステージ 9 の移動速度等のデータを読み出し、表示部 1 2 に表示する。

## 【 0 0 1 9 】

この表示内容を確認した後、システム制御部 1 0 のスタートボタン（図示しない）を押すことにより、レーザー駆動部 1 の励起用の固体レーザーの動作を開始する。フェムト秒レーザーが発振し、増幅部 2 で増幅されたフェムト秒レーザー光は、システム制御部 1 0 からシャッタ駆動部 1 4 への動作命令でシャッタ（図示しない）が開かれ、1 ショット目が出射される。繰り返し周波数 1 0 H z で出射させるため、システム制御部 1 0 はレーザー光を出射する少なくとも 1 パルス幅分前にシャッタを開放する。これは、発振開始から計時手段 1 5 によってタイミングを計って実行する。

## 【 0 0 2 0 】

この後レーザー光は、減光フィルタ 3、スリット 4 を通してマスク 5、又はシステム制御部 1 0 によって電気制御された空間光変調器（図示しない）を透過する。システム制御部 1 0 は最初の 1 ショットを出射した後、レーザー光の出射が終わった少なくとも 1 パルス幅分後にシャッタを閉止する。また、システム制御部 1 0 は最初の 1 ショットの加工が終わると、二度目のショットを行うべく、レーザー駆動部 1 を発振させ、増幅部 2 で増幅させる。

## 【 0 0 2 1 】

分割された光束は凸レンズ L 1 を透過し、凸レンズ L 2 で再び集光される。このとき分離されている光束が凸レンズ L 2 から焦点距離離れた位置で結像する。このとき、システム制御部 1 0 は位置検出センサ 1 8 及び加工面の画像モニタ 1 9 からの検出信号に基づいて X Y Z 及び 方向に駆動モータ 8 を駆動して最適位置に被加工物 7 を移送させている。したがって、被加工物 7 は加工中に最適加工位置にあり、被加工物 7 に結像したマスク像に応じたアブレーション加工が行われる。同時に、ラマン検出センサ 2 0 でラマン変換が検出され、それが加工に影響を与える場合は、減光フィルタ 3 及びマスク 5、パルス幅の調整によってこれを回避する。1 ショットのための加工の場合はこれで加工プロセスが終了する。

## 【 0 0 2 2 】

次に、多ショット加工を行う場合を説明する。システム制御部 1 0 は最初の 1 ショットの加工が終わると、カウンタ 2 1 でカウントし、予めプログラムされたとおりに、場合によっては、マスク 5 の変更や空間光変調器のコントロールを行い、同時に被加工物 7 の移送を行う。計時手段 1 5 の計時により、二度目のショットを行う 1 パルス幅分以上前にシャッタを開放し、増幅部 2 から二度目のショットを出射する。その後のレーザー光が被加工物 7 まで到達して加工するプロセスは 1 ショット目の場合と同様である。以下、以上の繰り返しを続け、カウンタ 2 1 のカウント数が入力された所定の回数に達したら、システム制御部 1 0 はレーザー駆動部 1 の励起用グリーン固体レーザーを停止させ、X Y Z ステージ 9 の移送動作を停止する。

## 【 0 0 2 3 】

前記の超短パルスレーザーとしては、モードロック T i : s a p p h i r e レーザーやそれとアンプを組み合わせたものが適当である。前記の超短パルスレーザーとしては、パルス幅が短く、そのために広スペクトルになっているモードロック T i : s a p p h i r e レーザーや、それと再生増幅器などのアンプを組み合わせたものが適当である。

## 【 0 0 2 4 】

一般的な光情報処理装置で行われているように、第一のレンズL1及び第二のレンズL2の間にあるフーリエ変換面に適当なフィルタ6を配置することで、例えば、エッジを強調した加工形状を得ることが出来る。さらに、超短パルスレーザーのスペクトルが広いことから、マスク5の同じ部分を透過した光でも、波長によってフーリエ変換面を通過する場所が異なる。そこで、フィルタ6によってスペクトル情報をコントロールすることで、例えばパルス幅の変更が可能である。

【0025】

本発明では、2枚のレンズの焦点を一致させ、第一のレンズの入射側からその焦点距離だけ離れた位置にマスクを置き、第二のレンズの出射側からその焦点距離だけ離れた位置に被加工物を配置して、光情報処理のように、第一のレンズL1、第二のレンズL2によるフーリエ変換及び逆フーリエ変換を利用することで、マスク5の形状を被加工物7の表面に加工できる。すなわち、マスク5を透過した超短パルスレーザーは第一のレンズL1によってフーリエ変換され、さらに、第二のレンズL2によって逆フーリエ変換されることで、再生像が倒立した状態で被加工物7の表面に照射される。

10

【0026】

上記のようなフーリエ変換及びフーリエ逆変換を用いたマスク像の投影装置に超短パルス幅のレーザーを適用した場合、そのようなレーザーは原理的にスペクトルが広いため、一般的なレンズを用いた場合には波長ごとの焦点距離の違いにより正確なフーリエ変換及び逆変換が出来なくなってしまう。これを防ぐため、波長による分散の影響を最小限に抑えたアクロマティックレンズを用いるのがよい。ただし、アクロマティックレンズは用いる超短パルスレーザーの波長域及びパワーに応じて設計される必要がある。

20

【0027】

また、第二のレンズL2と被加工物7の間に円柱レンズ(図示しない)を追加することにより、マスク像を一方向にのみ圧縮することで、さらにレーザーパワー密度を上げることができ、また、円柱レンズが無い場合とは異なった形状を加工できる。

【0028】

レンズ材料と超短パルスレーザーのパワー密度の関係によってはラマン変換が生じ、その結果、エネルギーロス、スペクトルの変化による加工形状の劣化など様々な問題が生じる。それを防ぐためには、ラマン変換によって発生したラマン光を検知し、ラマン光が問題にならない程度まで小さくなるように各パラメータを調整する必要がある。ラマン光の検知方法としては、ラマン光が元になる光と異なるスペクトル情報を持つこと、異なる時間的又は空間的形狀を持つことなどを利用する。ラマン光を小さくするためには、ラマン変換が起こり難い材料をレンズに用いる、フィルタで減光する、パルス幅を広くするなどの手段がある。

30

【0029】

ここで、各レンズL1、L2、レーザー強度及び被加工物7の組み合わせについて設計を行う。第一のレンズL1及び第二のレンズL2の焦点距離をそれぞれF1、F2とすると、像の倍率Mは下記の式で表される。

$$M = F2 / F1$$

【0030】

各レンズL1、L2にレーザーが入射した場合、レーザーのパワーが強いとラマン変換によってビーム形状の劣化やエネルギーロスが生じたり、各レンズL1、L2の破損が起きたりするなどの問題が生じる。このような、プロセスに支障を来すレーザーパワーのしきい値はレンズ材料によって異なるが、これをそれぞれのレンズL1、L2についてP1、P2と置く。また、被加工物7の表面でのアブレーションによる加工が行われるためのレーザーパワーのしきい値をP3、マスク5の破損が起こるレーザーパワーしきい値をP4とする。

40

【0031】

マスク5の光が透過する部分でのレーザーパワーをPとした場合の、プロセスを行うための条件は以下となる。ただし、マスク5から被加工物7までのパワーロスが無視できると

50

している。

$$P_1, P_4 > P \cdots (1)$$

$$P_2 > P/M^2 > P_3 \cdots (2)$$

【0032】

上式の(1)は、マスク5を破損せず、さらに第一のレンズL1による障害が生じないための条件である。上式の(2)は、第二のレンズL2による障害が生じず、さらにアブレーションによる加工が行われるための条件である。一般的には、被加工物7の表面でレーザーアブレーションを起こすためにレーザーパワー密度 $P/M^2$ を大きくする必要があるため、第二のレンズL2に関する条件が厳しくなる。本実施例では、Pを減光フィルタ3で調節し、各レンズL1, L2の組み合わせによってMを調節した。

10

【0033】

各レンズL1, L2としては、超短パルスレーザーのスペクトルが広いこと、アクロマティックレンズを用いるのが理想的であるが、通常のレンズでもマイクロオーダーの加工は可能である。

【0034】

本発明の装置の光学系は、フーリエ変換を利用しているため、第一のレンズL1の焦点の位置、つまり、マスク5の形状の情報がフーリエ変換された面でフィルタ6によってフィルタリング処理を行うことにより、いわゆる光コンピューターと同様にエッジ強調やスムージング等、マスク形状の情報処理を併用できる。

【0035】

また、超短パルスレーザー光が各レンズL1, L2によりラマン変換されることによるエネルギーロス及びビーム形状の劣化を防ぐため、ラマン変換現象の検出部を設ける。ラマン変換の検出方法としては、ビームの変形やスペクトルの変化を検出するためのCCDセンサやスペクトルメーターなどのラマン検出センサ20が適する。また、ラマン変換が十分小さな範囲で加工が出来るよう、レーザーパワー及びパルス幅、レンズ材質の選定を行う。

20

【0036】

前出のように被加工物7の上でのレーザーパワー密度は $P/M^2$ と表される。よって、Mを小さくする、すなわち縮小光学系とすることで大きなパワー密度を達成し、被加工物7表面でのアブレーションしきい値 $P_3$ を上回ることによってレーザーアブレーション加工を行うことができる。

30

【0037】

マスク像が被加工物7表面に正確に像を結んでいる、又はマスク5の像のとおり加工が連続して行われているのを確認しながら加工を行うのがよい。そのために、被加工物7の表面を光学顕微鏡等で観察する。また、観察像を元にしてXYZステージ9の位置を制御する。

【0038】

また、被加工物7にある程度の反射率が有る場合、各レンズL1、L2、マスク5、被加工物7の位置が適当であれば、被加工物7の表面で反射した戻り光が正確にマスク5の表面で同じ像を結ぶはずである。被加工物7からマスク5への透過光をハーフミラー16を通じて画像モニタ17側に反射して観察することによって、そうなるように各レンズL1、L2、マスク5、被加工物7の位置を調節することができる。

40

【0039】

また、正確にマスク5の像が再生(投影)された場所で被加工物7が加工されるように、被加工物7の位置検出センサ18及び加工形状の画像モニタ19を用いる。又は、被加工物7の表面によって反射されるマスク像が、再びマスク5を正確に透過する条件でも良い。

【0040】

なお、上記のとおり、マスク5の形状が正確に再生される位置に被加工物7を配置しアブレーションを行なう場合について説明したが、被加工物7の形状が単純な周期的形状であ

50



る場合、被加工物 7 の位置はマスク 5 の形状が正確に再生される位置に配置される必要は必ずしも無い。その場合、レーザーの数、角度、強度に応じた干渉縞が形成され、加工される。被加工物 7 の位置の選定は、実際に加工される形状から判断し、その場合には加工表面を測定するための画像モニタ 19 を適当な場所に配置する。

【 0 0 4 1 】

また、マイクロマシンなど複雑な 3 次元形状の作製では、空間光変調器によるマスクパターンの変化と、X Y Z ステージ 9 の X Y Z 各軸による移動を組み合わせ、被加工物 7 の加工したい部分のみにレーザー光が照射されるようにする。

【 0 0 4 2 】

なお、一般的にレーザーアブレーションにより除去された材料は、プラズマなどのガス状又は微粒子状になって被加工物材料から離脱するが、一部がガスの凝縮や反動などによって被加工物材料に戻り、それが加工形状の劣化につながる。これを防ぐためには、被加工部分を減圧するのがよい。

【 0 0 4 3 】

本発明の方法は大気中でも実施可能であるが、蒸発した粒子の再付着が問題となる場合、従来のレーザーアブレーションと同様に減圧中又は真空中でプロセスを行うことが出来る。また、第一レンズ L 1 の焦点でレーザーのエネルギー密度が高くなり、大気がプラズマ化する、すなわちエアブレイクダウンによってレーザーの質が劣化することが問題になる場合も、焦点位置の減圧やエアブレイクダウンしにくいガスを流すこと、すなわちガスフローでエアブレイクダウンを抑えるなどで対応できる。

【 0 0 4 4 】

本発明の装置の光学系はスペクトルの広いレーザー用に設計されているが、当然単色光も利用することが出来る。そのため、レーザーアブレーション加工、熱加工、感光を併用した加工が可能である。

【 0 0 4 5 】

加工した形状をマイクロマシンとして応用する場合、場合によってはその部分を取り出したり、機械的加工を加えたりする必要がある。そのために、レーザーや機械による加工や切除ができる装置を備えるのがよい。レーザーはマスク形状加工に用いているフェムト秒レーザー又はその励起用・増幅用レーザーをそのまま用いてもよいし、全く別個のレーザーを用いてもよい。切除の際、被加工物を適当な位置・角度に移動することが出来る。また、切除以外の湾曲などの加工を加えることも出来、これらはマスク形状加工と併せて複合的に行うことが出来る。

【 0 0 4 6 】

透明基板材料の上にある薄膜状の被加工物材料について、上記のような全ての加工を薄膜の裏側、すなわち、透明基板側からレーザーを入射することで行うことが出来る。透明基板材料の上の薄膜材料を加工する場合、裏面からレーザーを照射することでその部分を剥離できることが知られている（例えば、Y . N a k a t a , A p p l . P h y s . A 6 9 , S 2 7 5 - S 2 7 8 , 1 9 9 9 ）。これを併用することで、構造物の取り出しを行うことが出来る。レーザーはマスク形状加工で用いられているレーザー又はその励起用・増幅用レーザーを利用してもよいし、別個のレーザーを利用してもよい。

【 0 0 4 7 】

【実施例】

実施例 1

光学系の倍率は  $M = 0.2$  を選択した。また、減光フィルタによってマスク上のレーザーフルエンスを  $0.078 \text{ J/cm}^2$  まで減衰させた。被加工物には合成石英基板上に金薄膜を  $20 \text{ nm}$  厚で蒸着したものをを用いた。マスクには、図 2 に一部を示すような、ネガタイプのテストパターンを用いた。図 2 に示される白い部分が Cr メッキされた部分で、黒い部分が透明になっており、レーザー光が透過する。加工はフェムト秒レーザーをシングルショットだけ入射することで行った。フェムト秒レーザーのパルス幅は約  $90 \text{ fs}$ 、ピーク波長は約  $800 \text{ nm}$  である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 8 】

図 3 は加工例を示す光学顕微鏡写真である。図 3 ( a ) は、フィルタ位置をマスク形状が正確に再生される位置に置いた場合、図 3 ( b ) はそこからフィルタを第二レンズ L 2に 3 0 0 ミクロン近づけた場合である。

## 【 0 0 4 9 】

黒い部分がアブレーションによって加工が行われた部分であり、マスク形状が縮小加工されていることが分かった。また、黒い部分が半導体レーザーを透過することを確認し、貫通孔が形成されていることが明らかになった。図 3 ( a ) ではマスク形状がほぼ正確に縮小加工されているが、図 3 ( b ) では形状が崩れていた。

## 【 0 0 5 0 】

## 実施例 2

図 4 は、マスクとして透過型回折格子を用い、4 光束を干渉させて加工を行った形状を光学顕微鏡で観察したものである。マスクは 4 本の一次光を縦横に発生するタイプである。マスク上のフルエンスなどの条件は実施例 1 と同様である。また、加工では 0 次光をカットした。図 4 に示すように、1 . 8 ミクロン間隔の周期ドットマトリクス構造をシングルショットで作製出来た。

## 【 0 0 5 1 】

図 5 は、2 光束を干渉させて 0 . 9 ミクロン間隔の周期構造を作製した形状を光学顕微鏡で観察したものである。図 4、図 5 に示す加工例のものに半導体レーザーを入射したところ、反射及び透過光ともに回折が見られ、反射型及び透過型回折格子が作製出来たことが分かった。これらの実施例において、被加工物の位置の変化による加工形状の大きな変化は見られなかった。

## 【 0 0 5 2 】

## 実施例 3

図 6 は、実施例 2 より複雑な形状の透過型回折格子を用いて加工を行った形状を光学顕微鏡で観察したものである。この場合、レーザーは 4 × 4 のマトリクス状に光が分割される。図 6 に示すような加工形状が得られ、これに半導体レーザーを入射したところ、元になった透過型回折格子と同様の回折像が得られた。ただし、倍率 M に応じて回折角度は変化した。

## 【 0 0 5 3 】

## 【 発明の効果 】

本発明の構成とすることで、従来不可能であった金属など熱伝導の大きな材料、結晶などの難加工材料に対してもミクロンからナノサイズのマスク転写レーザーアブレーション加工が出来るようになる。また、マスクの複雑な形状がシングルショットで加工されるため、従来のレーザーキャンなどを用いる方法と比較して加工時間が非常に短い。さらに、マスクをコンピューター制御の空間光変調器とすることで、設計した形状を即座に作製するラピッドプロトタイピングへ応用できる。さらに、3次元形状を作製することでマイクロマシン形状を作製できる。

## 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明のレーザー加工装置の光学系を示す概念図である。

【 図 2 】 図 2 は、実施例 1 のレーザーアブレーション加工時に用いたマスクの図面代用の光学顕微鏡写真である。

【 図 3 】 図 3 ( a ) 及び ( b ) は、実施例 1 において、金薄膜のレーザーアブレーション加工例を示す図面代用の光学顕微鏡写真である。

【 図 4 】 図 4 は、実施例 2 において、4 光束を干渉させて加工を行った場合の加工例を示す図面代用の光学顕微鏡写真である。

【 図 5 】 図 5 は、実施例 2 において、2 光束を干渉させて加工を行った場合の加工例を示す図面代用の光学顕微鏡写真である。

【 図 6 】 図 6 は、実施例 3 において、4 × 4 のマトリクス状に光束を分割する回折格子を用いた場合の加工例を示す図面代用の光学顕微鏡写真である。

10

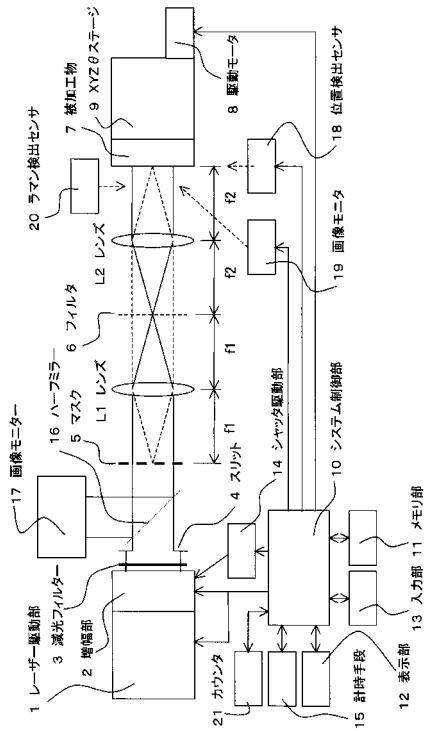
20

30

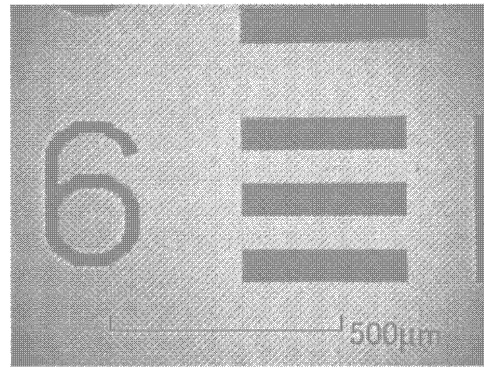
40

50

【図1】



【図2】



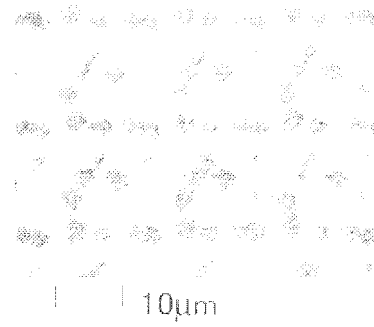
マスクの画像(一部)

【図3】

【図4】

【図6】

【図5】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 2 1 6 5 8 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 2 1 2 6 8 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 1 2 8 5 6 9 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 2 9 6 4 7 5 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 0 4 5 9 2 1 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 3 2 8 8 7 2 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 3 3 9 7 8 4 ( J P , A )  
実開平 0 5 - 0 7 8 3 8 2 ( J P , U )  
特開平 0 5 - 2 1 8 4 7 2 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 1 3 8 8 9 6 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B23K 26/00-26/42  
G02B 27/46