

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-290985
(P2004-290985A)

(43) 公開日 平成16年10月21日(2004.10.21)

(51) Int. Cl.⁷

B23K 26/06
G02B 27/46

F I

B23K 26/06
B23K 26/06
B23K 26/06
G02B 27/46

テーマコード(参考)

4E068

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2003-83907 (P2003-83907)
(22) 出願日 平成15年3月25日(2003.3.25)

(71) 出願人 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
(74) 代理人 100108671
弁理士 西 義之
(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
Fターム(参考) 4E068 AA01 CA03 CC01 CD05 CD08
CD10 CD14

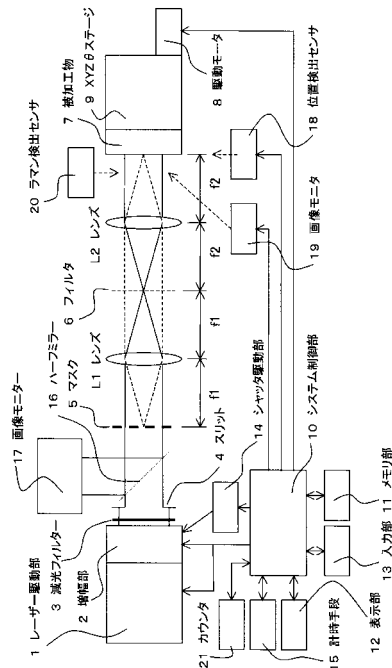
(54) 【発明の名称】 レーザー加工装置及びレーザー加工方法

(57) 【要約】

【課題】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。

【構成】フェムト秒(f s)からピコ秒(p s)($10^{-15} \sim 10^{-12}$ 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において、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、第二のレンズの射出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ことで、2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る。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

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、マスクのパターンを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ことで、2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ることを特徴とするレーザー加工装置。

【請求項 2】

フーリエ変換面にフィルタを置くことにより、マスク像の情報処理を行う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】

レーザー光が超短パルスレーザー光であり、2枚の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】

第二のレンズと被加工物の任意の位置に円柱レンズを配置することによって、ビームを一方向だけに絞ることでパワー密度を上昇させ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。

【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) (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ことを特徴とするレーザー加工方法。

【請求項 7】

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。

【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】

被加工物部分を減圧することで、アブレーションされた粒子の再付着を防止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】

レーザーの焦点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。

【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】

被加工物をアブレーション加工中又は加工後にレーザー又は機械的方法で加工や切除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。

10

20

30

40

50

【請求項 14】

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。

【請求項 15】

前記薄膜材料をアブレーション加工中又は加工後にレーザーで剥離することを特徴とする請求項 14 記載のレーザー加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【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。 10

【0002】

【従来技術】

大規模集積回路 (LSI) 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。

【0003】

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)。 20

【0004】

しかしながら、この方法では、レーザーとして Nd-YAG、Ti-Al₂O₃ や ArF、KrF 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損失が起こってしまう。 30

【0005】

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 6A 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_2 と f_1 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 によって分かるとおり、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。 40

【0006】

【特許文献 1】

特開平 11 - 216580 号公報

【特許文献 2】

特表平 9 - 511688 号 (特許第 3283265 号) 公報

【特許文献 3】

特開 2001 - 212680 号公報

【特許文献4】

特開2001-212687号公報

【特許文献5】

特開2001-212798号公報

【0007】

【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。

10

【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

20

【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ことで、2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ることを特徴とするレーザー加工装置、である。

30

【0012】

また、本発明は、(2)フーリエ変換面にフィルタを置くことにより、マスク像の情報処理を行う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。

40

また、本発明は、(4)レーザー光が超短パルスレーザー光であり、2枚の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。

また、本発明は、(5)第二のレンズと被加工物の任意の位置に円柱レンズを配置することによって、ビームを一方向だけに絞ることでパワー密度を上昇させ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】

また、本発明は、(6)上記(1)ないし(5)のいずれかのレーザー加工装置を用いて、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

50

スレーザ光によって、被加工物をアブレーション加工することを特徴とするレーザー加工方法、である。

【0014】

また、本発明は、(7)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。

10

【0015】

また、本発明は、(10)被加工物部分を減圧することで、アブレーションされた粒子の再付着を防止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)レーザーの焦点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。

20

【0016】

また、本発明は、(13)被加工物をアブレーション加工中又は加工後にレーザー又は機械的方法で加工や切除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、(14)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。

また、本発明は、(15)前記薄膜材料をアブレーション加工中又は加工後にレーザーで剥離することを特徴とする上記(14)のレーザー加工方法、である。

30

【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、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。

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。

40

【0018】

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10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10はメモリ部11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12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13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10はメモリ部11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XYZステ

50

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、レンズ L 1 及びレンズ L 2 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。

【 0 0 2 5 】

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

10

20

30

40

50

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、レンズL1、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レンズL1によってフーリエ変換され、さらに、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。

【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と、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。

10

【0027】

また、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、マスク像を一方向のみ圧縮することで、さらに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のロス、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、それ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状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。

20

【0029】

ここで、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。レンズL1及び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。

30

$$M = F2 / F1$$

【0030】

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効率の減少が生じたり、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しきい値をP3、マスク5の破損パワーしきい値をP4とする。

【0031】

マスク5の光が透過する部分でのパワーを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している。

40

$$P1, P4 > P \cdots (1)$$

$$P2 > P / M^2 > P3 \cdots (2)$$

【0032】

上式の(1)は、マスク5を破損せず、さらにレンズL1による障害が生じないための条件である。上式の(2)は、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P/M²を大きくする必要があるため、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、レンズL1、L2の組み合わ

50

せによってMを調節した。

【0033】

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ため、アクロマティックレンズを用いるのが理想的であるが、通常のレンズでもミクロン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、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。

10

【0035】

また、超短パルスレーザーがレンズL1, L2によりラマン変換されることによるエネルギー損失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。

【0036】

前出のように被加工物7の上でのパワー密度は 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。

20

【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の像のとおりの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。

30

【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。

40

【0041】

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、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が照射されるようにする。

【0042】

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

50

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。

【0043】

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、レンズL1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でエアブレイクダウンを抑えるなどで対応できる。

10

【0044】

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。

【0045】

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。

20

【0046】

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. Nakata, Appl. Phys. A 69, S275-S278, 1999)。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。

30

【0047】**【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 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 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 fs 、ピーク波長は約 800 nm である。

40

【0048】

図3は加工例を示す光学顕微鏡写真である。図3(a)は、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)はそこからをレンズL2に 300 μm 近づけた場合である。

【0049】

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。

【0050】

50

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。

【0051】

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。

10

【0052】

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。

【0053】

20

【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。

30

【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。

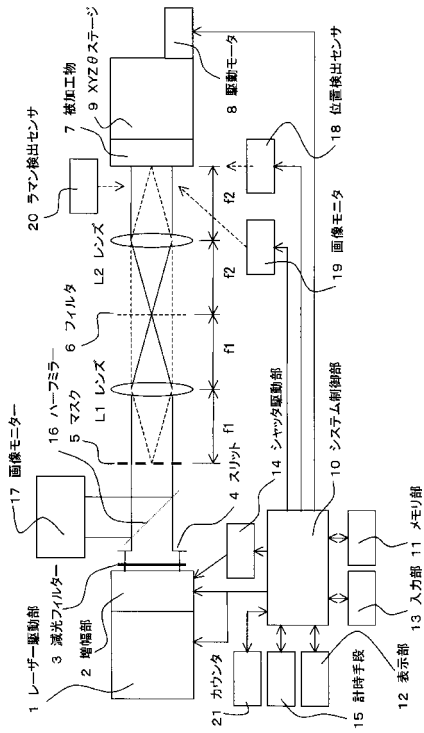
【図 4】図 4 は、実施例 2 において、4 光束を干渉させて加工を行った場合の加工例を示す図面代用の光学顕微鏡写真である。

【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。

40

【 図 1 】



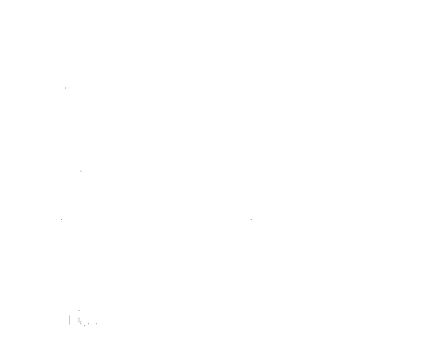
【 図 2 】



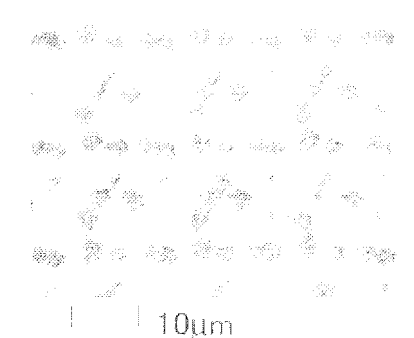
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 6 】



【 図 5 】

