

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5756584号  
(P5756584)

(45) 発行日 平成27年7月29日 (2015. 7. 29)

(24) 登録日 平成27年6月5日 (2015. 6. 5)

(51) Int. Cl.

F I

G O 3 F 1/72 (2012. 01)  
 B 2 3 K 26/36 (2014. 01)  
 B 2 3 K 26/06 (2014. 01)  
 G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 1/72  
 B 2 3 K 26/36  
 B 2 3 K 26/06  
 G O 3 F 7/20 5 0 5  
 G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 26 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2009-265773 (P2009-265773)  
 (22) 出願日 平成21年11月21日 (2009. 11. 21)  
 (65) 公開番号 特開2010-130013 (P2010-130013A)  
 (43) 公開日 平成22年6月10日 (2010. 6. 10)  
 審査請求日 平成24年11月21日 (2012. 11. 21)  
 (31) 優先権主張番号 12/324, 296  
 (32) 優先日 平成20年11月26日 (2008. 11. 26)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 501419107  
 エフ・イー・アイ・カンパニー  
 アメリカ合衆国オレゴン州 9 7 1 2 4, ヒ  
 ルズバラ, ノースイースト・ドーソンクリ  
 ーク・ドライブ 5 3 5 0  
 (74) 代理人 100103171  
 弁理士 雨貝 正彦  
 (72) 発明者 マーカス・ストロー  
 アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 2 1 5  
 ポートランド サウス・イースト クレ  
 イ・ストリート 4 5 2 1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ・アブレーション微細機械加工用の荷電粒子ビーム・マスクング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

あるスポット・サイズを有するレーザ・ビームを使用して、第1のアブレーションしきい値を有する材料の基板上に、マイクロスコピックまたはナノスコピック構造を形成する方法であって、

荷電粒子ビーム・アシスト付着を使用して、前記基板上に前記第1のアブレーションしきい値よりも高い第2のアブレーションしきい値を有し、異なる領域において光透過量に影響を与える複数の特性を有する材料のマスクのパターンを付着させるステップであり、前記荷電粒子ビームがサブミクロンのスポット・サイズを有し、前記マスクが、前記マスクによって覆われた前記基板の部分を保護する、ステップと、

前記基板表面に向かって超高速パルス・レーザ・ビームを誘導するステップであり、前記レーザ・ビームが、前記荷電粒子ビームの前記スポット・サイズよりも大きなスポット・サイズおよび前記第1のアブレーションしきい値以上のフルエンスを有し、前記基板内にフィーチャを生成するために、前記レーザ・ビームが、前記マスクによって覆われていない前記基板の部分を加工し、前記基板内に生成された前記フィーチャが、前記レーザ・ビームのスポット・サイズよりも小さな寸法を有する、ステップと

を含む方法。

【請求項 2】

荷電粒子ビーム・アシスト付着を使用して、前記基板上にマスクのパターンを付着させるステップが、前記基板表面に前駆体ガスを供給するステップと、前記前駆体ガスを解離

10

20

させ、マスキング材料を付着させるために、前記基板表面に、集束イオン・ビームまたは集束電子ビームを誘導するステップとを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記基板表面に向かって超高速パルス・レーザ・ビームを誘導するステップが、前記基板材料を除去するのに十分なフルエンスを有する超高速パルス・レーザ・ビームを前記基板に向かって誘導するステップを含む、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記基板表面に向かって超高速パルス・レーザ・ビームを誘導するステップが、前記マスクの材料を除去するのに不十分なフルエンスを有する超高速パルス・レーザ・ビームを前記基板に向かって誘導するステップを含む、請求項 3 に記載の方法。

10

【請求項 5】

前記基板上にマスクのパターンを付着させるステップが、前記レーザ・ビームによる前記マスクの下の前記基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を吸収するパターンを付着させるステップを含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記基板上にマスクのパターンを付着させるステップが、前記レーザ・ビームによる前記マスクの下の前記基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を反射するパターンを付着させるステップを含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

前記基板表面に向かって超高速パルス・レーザ・ビームを誘導するステップが、フェムト秒レーザまたはピコ秒レーザを誘導するステップを含む、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の方法。

20

【請求項 8】

前記基板上にマスクのパターンを付着させるステップが、前記マスクを構成する、層数が複数である材料層を付着させるステップを含む、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9】

前記基板上にマスクのパターンを付着させるステップが、マスクのパターンの少なくとも 1 つの領域の特性が、マスクのパターンの他の領域の特性とは異なるマスクのパターンを付着させるステップを含み、前記少なくとも 1 つの領域に対応する前記基板の加工を異ならせるために、前記少なくとも 1 つの領域の前記異なる特性が、ある異なるレベルの保護を前記基板に提供する、請求項 1 から 8 のいずれかに記載の方法。

30

【請求項 10】

あるスポット・サイズを有するレーザ・ビームを使用して、第 1 のアブレーションしきい値を有する材料の基板上に、マイクロスコピック構造を形成する方法であって、

前記レーザ・ビームのスポット・サイズよりも小さなマスク・フィーチャを生成することができ製造プロセスを使用して、異なる領域において光透過量に影響を与える複数の特性と前記第 1 のアブレーションしきい値よりも高い第 2 のアブレーションしきい値を有する材料のマスクを前記基板の表面に形成するステップと、

前記基板の表面に向かって前記レーザ・ビームを誘導するステップであり、前記レーザ・ビームが、前記マスクの最小設計フィーチャよりも大きなスポット・サイズおよび前記第 1 のアブレーションしきい値以上のフルエンスを有し、前記マスクが、レーザ加工によって前記基板内にフィーチャを生成するために前記マスクによって覆われた前記基板の部分を保護し、前記加工された基板内の前記フィーチャが、前記レーザ・ビームのスポット・サイズよりも小さい、ステップと

40

を含む方法。

【請求項 11】

前記レーザ・ビームが、前記基板の材料を除去するには十分で、前記マスクの材料を除去するには十分でないフルエンスを有する、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

50

前記基板の表面にマスクを形成するステップが、電子ビーム・アシスト付着またはイオン・ビーム・アシスト付着を使用してマスクを形成するステップを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記基板の表面にマスクを形成するステップが、フォトリソグラフィを使用してマスクを形成するステップを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

前記基板の表面にマスクを形成するステップが、前記レーザ・ビームによる前記マスクの下の前記基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を吸収するパターンを付着させるステップを含む、請求項 10 から 13 のいずれかに記載の方法。

10

【請求項 15】

前記基板の表面にマスクを形成するステップが、前記レーザ・ビームによる前記マスクの下の前記基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を反射するパターンを付着させるステップを含む、請求項 10 から 13 のいずれかに記載の方法。

【請求項 16】

前記基板の表面に向かって前記レーザ・ビームを誘導するステップが、前記基板の表面に向かって超高速パルス・レーザ・ビームを誘導するステップを含む、請求項 10 から 15 のいずれかに記載の方法。

【請求項 17】

前記基板の表面に向かって前記レーザ・ビームを誘導するステップが、フェムト秒レーザまたはピコ秒レーザを誘導するステップを含む、請求項 10 から 16 のいずれかに記載の方法。

20

【請求項 18】

前記基板の表面にマスクを形成するステップが、前記マスクを構成する、層数が複数である材料層を付着させるステップを含む、請求項 10 から 17 のいずれかに記載の方法。

【請求項 19】

前記基板の表面に向かって前記レーザ・ビームを誘導するステップが、前記基板の材料を選択的に除去し、前記基板のマスクされた部分を保護するためにマスク材料を残すステップを含む、請求項 10 から 18 のいずれかに記載の方法。

【請求項 20】

前記基板の表面に向かってレーザ・ビームを誘導するステップが、化学反応を開始させるために前記基板の一部分を加熱するステップを含む、請求項 10 から 19 のいずれかに記載の方法。

30

【請求項 21】

前記基板の表面に向かってレーザ・ビームを誘導するステップが、光化学反応を開始させるステップを含む、請求項 10 から 20 のいずれかに記載の方法。

【請求項 22】

前記基板の表面に向かってレーザ・ビームを誘導するステップが、前記マスクによって覆われてない前記基板の領域から材料を除去するステップを含む、請求項 10 から 21 のいずれかに記載の方法。

40

【請求項 23】

あるスポット・サイズを有するレーザ・ビームを使用して、第 1 のアブレーションしきい値を有する材料の基板上に、マイクロスコピック構造を形成する方法であって、

前記レーザ・ビームのスポット・サイズよりも小さなマスク・フィーチャを生成することができる製造プロセスを使用して、異なる領域において光透過量に影響を与える複数の特性と前記第 1 のアブレーションしきい値よりも高い第 2 のアブレーションしきい値を有する材料のマスクを形成するステップと、

レーザ・アブレーションによって前記基板内にフィーチャを生成するために、前記マスクに向かって前記レーザ・ビームを誘導し、次いで前記基板の表面に前記レーザ・ビームを誘導するステップであり、前記レーザ・ビームが、前記マスクの最小設計フィーチャよ

50

りも大きなスポット・サイズおよび前記第1のアブレーションしきい値以上のフルエンスを有し、前記ビームが、前記加工された基板内に、前記レーザ・ビームのスポット・サイズよりも小さい寸法を有するフィーチャを生成し、前記マスクが、前記基板の部分が除去されることを防ぐ、ステップと

を含む方法。

【請求項24】

第1のアブレーションしきい値を有する材料の基板の表面にマイクロスコピック構造を製造するシステムであって、

荷電粒子システム

を備え、前記荷電粒子システムが、

荷電粒子源と、

前記荷電粒子源からの荷電粒子のビームを形成し、前記荷電粒子ビームを前記基板の表面に集束させ、走査する集束カラムと、

前記荷電粒子ビームの存在下で反応する前駆体ガスを供給するガス噴射システムと

を含み、

マイクロスコピック構造を製造するシステムがさらに、

超高速パルス・レーザ・カラムと、

異なる領域において光透過量に影響を与える複数の特性と前記第1のアブレーションしきい値よりも高い第2のアブレーションしきい値を有する材料のマスクを前記基板の表面に形成するために、前記前駆体ガスの存在下で前記荷電粒子ビームをあるパターンに誘導し、前記超高速パルス・レーザ・カラムから前記基板の表面に誘導されるレーザ・ビームであって前記第1のアブレーションしきい値以上のフルエンスを有する前記レーザ・ビームのスポット・サイズよりも小さな寸法を有するフィーチャを前記基板上に生成するために、前記基板のマスクされていない領域を加工するように前記レーザ・ビームを誘導するようプログラムされたコンピュータと

を備えるシステム。

【請求項25】

前記レーザがフェムト秒レーザまたはピコ秒レーザである、請求項24に記載のシステム。

【請求項26】

前記コンピュータが、前記基板のマスクされた領域を加工するようにレーザ・ビームを誘導するようプログラムされた、請求項24または25に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は全般的には微細構造の製造に関し、より詳細にはレーザ微細機械加工 (laser micromachining) に関する。

【背景技術】

【0002】

マイクロスコピック (microscopic) またはナノスコピック (nanoscopic) 構造を形成するために基板から材料を除去するプロセスは、微細機械加工 (micromachining)、ミリング (milling) またはエッチングと呼ばれる。レーザ・ビームおよび荷電粒子ビームは、微細機械加工に使用される2つの個別の技術である。これらはそれぞれさまざまな用途において利点および限界を有する。

【0003】

レーザ・システムは、微細機械加工に対して異なるいくつかのメカニズムを使用する。いくつかのプロセスでは、化学反応を誘起させるための熱を基板に供給するためにレーザが使用される。反応は、加熱された領域だけで起こる。熱は、レーザ・ビーム・スポットよりも広い領域に拡散する傾向があり、このプロセスの解像度をレーザ・スポット・サイズよりも低下させる。レーザ微細機械加工において使用される他のメカニズムが光化学工

10

20

30

40

50

ッチングであり、光化学エッチングでは、基板の個々の原子または分子によってレーザ・エネルギーが吸収され、吸収されたレーザ・エネルギーが、それらの原子または分子を、エッチング剤と化学的に反応することができる状態まで励起する。光化学エッチングは光化学的に活性な材料だけに限定される。レーザ加工において使用される他のメカニズムがレーザ・アブレーションであり、レーザ・アブレーションでは、小さな容積に急速に供給されるエネルギーによって、基板を加熱することなく基板から原子が放出される。高速パルス・フェムト秒レーザを使用するレーザ・アブレーションが例えば、Mourouの「Method for Controlling Configuration of Laser Induced Breakdown and Ablation」という名称の米国特許第 Re. 37, 585 号に記載されている。フェムト秒レーザ・アブレーションは上述のプロセスの限界のいくつかを解決する。

10

#### 【0004】

荷電粒子ビームにはイオン・ビームおよび電子ビームが含まれる。集束ビーム中のイオンは一般に、表面から材料を物理的に放出させることによって微細機械加工する十分な運動量を有する。電子はイオンよりもはるかに軽いため、電子ビームは一般に、エッチング剤蒸気と基板との間の化学反応を誘起させることによって材料を除去することに限定される。イオン・ビームは一般に液体金属イオン源から、またはプラズマ・イオン源によって生成される。荷電粒子ビームのスポット・サイズは、ビーム中の粒子のタイプおよび電流を含む多くの因子に依存する。小電流を有するビームは一般により小さなスポットに集束させることができ、したがって、大電流を有するビームよりも小さな構造を生成することができ、小電流ビームは、大電流ビームに比べて、構造を微細機械加工するのに時間がかかる。

20

#### 【0005】

レーザは一般に、荷電粒子ビームよりもはるかに高い速度で基板にエネルギーを供給することが可能であり、そのため、レーザは一般に、荷電粒子ビームよりもはるかに高い材料除去率を有する。しかしながら、レーザの波長は、荷電粒子ビーム中の荷電粒子の波長よりもはるかに長い。ビームを集束させることができるサイズは、ビームの波長によって一部限定されるため、レーザ・ビームの最小スポット・サイズは一般に、荷電粒子ビームの最小スポット・サイズよりも大きい。A. P. Joglekar 他、「Optics at critical intensity: Applications to Nanomorphing」、Proceedings of the National Academy of Science、101巻、16号、5856～5861ページ（2004年）（「Joglekar 他」）は、アブレーションに対する臨界強度に近い約10ピコ秒よりも短いレーザ・パルスを使用すると、波長よりも小さなフィーチャを達成することができることを示している。その結果得られるフィーチャに対するパルス・エネルギーの小さな偏差の影響は、このプロセスの安定した再現性を難しくする。

30

#### 【0006】

荷電粒子ビームは一般にレーザ・ビームよりも大きな解像度を有し、極めて小さな構造を微細機械加工することができるが、ビーム電流は限られており、微細機械加工作業が容認できないほど低速になりうる。一方、レーザ微細機械加工は一般にはるかに高速だが、より長いビーム波長によって解像度が本質的に限定される。

40

#### 【0007】

レーザのより高速な微細機械加工能力と荷電粒子ビームのより高い精度の両方を利用する1つの方策は、サンプルを逐次的に加工することである。逐次加工は例えば、M. Paniccia 他、「Novel Optical Probing and Micromachining Techniques for Silicon Debug of Flip Chip Packaged Microprocessors」、Microelectronic Engineering、46巻（27～34ページ、1999年）（「Paniccia」）に記載されている。Paniccia 他は、材料のバルクを除去するためにレーザ誘起化学エッチングを使用し、次いで最終的なより精密な

50

微細機械加工のために荷電粒子ビームを使用する、半導体フリップ・チップの活性部分にアクセスする、公知の技法を記載している。逐次加工の課題は、より高速だが精度に劣るレーザ微細機械加工をいつ停止し、より精密な荷電粒子ビーム加工をいつ開始するかを決定することにある。レーザ加工の停止が早すぎる場合には、荷電粒子ビームによって除去するのは過剰な材料が残る。レーザ加工の停止が遅すぎる場合には、加工物が損傷する。加工を停止する時期の決定は「エンドポインティング (end pointing)」と呼ばれる。微細機械加工プロセスが第1の材料を完全に切削して第2の材料を露出させた時期を検出するいくつかの方法が知られているが、材料のある変化に到達する前にレーザ加工を停止することが一般的であり、そのため、終点 (エンドポイント) を決定することはより難しい。

10

## 【0008】

サンプルを最初にレーザで加工し、次いで粒子ビームで加工する逐次加工には利点もあるが、エンドポインティングの問題およびレーザ加工本来の比較的に低い解像度の問題が残されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0009】

【特許文献1】米国特許第 Re. 37, 585号

【特許文献2】米国特許出願第 10 / 664, 247号

【特許文献3】米国特許出願第 61 / 079, 304号

【特許文献4】米国特許出願第 11 / 766, 680号

【特許文献5】米国特許第 6, 753, 538号

【特許文献6】米国特許第 4, 609, 809号

【特許文献7】米国特許第 6, 977, 386号

## 【非特許文献】

## 【0010】

【非特許文献1】A. P. Joglekar 他、「Optics at critical intensity: Applications to Nanomorphing」、Proceedings of the National Academy of Science、101巻、16号、5856~5861ページ (2004年)

20

30

【非特許文献2】M. Paniccia 他、「Novel Optical Probing and Micromachining Techniques for Silicon Debug of Flip Chip Packaged Microprocessors」、Microelectronic Engineering、46巻 (27~34ページ、1999年)

【非特許文献3】Handbook of Charged Particle Beam Optics、Jon Orloff 編、CRC Press 社刊 (1997年)

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0011】

本発明の目的は、改良されたレーザ加工法を提供することにある。

40

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

好ましい一実施形態は、それを通してサンプルをレーザ・ビームで露光するマスクを提供することを含む。このマスクは、従来のレーザ・ビーム加工によって一般に達成可能なマスク解像度よりも高いマスク解像度を提供し、それによって、マスクを使用しないレーザ加工によって可能な解像度よりも高い解像度でのサンプルの加工を可能にするプロセスによって製造される。

## 【0013】

以上では、以下の本発明の詳細な説明をより理解できるように、本発明の特徴および技

50

術上の利点をかなり広く概説した。以下では、本発明の追加の特徴および利点を説明する。開示される着想および特定の実施形態を、本発明の同じ目的を達成する他の構造を変更しまたは設計するベースとして容易に利用することができることを当業者は理解されたい。さらに、このような等価の構造は、添付の特許請求の範囲に記載された本発明の趣旨および範囲を逸脱しないことを当業者は理解されたい。

【0014】

次に、本発明および本発明の利点のより徹底的な理解のため、図面に関連して書かれた以下の説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0015】

10

【図1】本発明とともに使用されるビーム・システムを示す図である。

【図2】本発明の好ましい実施形態のステップの流れ図である。

【図3A】本発明の好ましい実施形態に従って変形されるサンプル基板の断面を示す図である。

【図3B】マスクの一部分をその上に付着させた図3Aの基板を示す図である。

【図3C】サンプル基板のレーザ・アブレーションされた領域を示す図である。

【図3D】マスクを除去した後の加工された基板を示す図である。

【図4】FIBおよび[TEOS + H<sub>2</sub>O]付着前駆体によってシリコン基板上に付着させ、続いて超短パルス・レーザの集束ビームで機械加工したCおよびGaドーブSiO<sub>x</sub>マスクを示す、本発明の好ましい一実施形態の方法の結果の画像である。

20

【図5】その下のシリコン基板にレーザ・アブレーションによる損傷がないことを明らかにするための断面部分をさらに示す、図4の結果の画像である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

当業者は、特に本明細書に提供された例を考慮して、多くの代替実施形態に容易に気づくであろうが、この詳細な説明は、本発明の好ましい実施形態を例示するものであり、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によってのみ限定される。

【0017】

本発明の好ましい実施形態は、荷電粒子ビーム加工などのプロセスによって高解像度マスクを製造する。続いて、このマスクを通して加工物をレーザ・ビームで露光する。このマスクは、このレーザ・ビーム露光に対して加工物の一部分を遮蔽し、または制限する。このマスクは、加工物の表面に直接に製造されることが好ましい。この出願では用語「加工物(work piece)」、「サンプル(sample)」および「試料(specimen)」が相互に交換可能に使用される。

30

【0018】

好ましい一実施形態では、荷電粒子ビーム誘起付着を使用して、加工物の表面にマスクを直接に付着させる。次いで、加工物の表面に向かって超短レーザ・パルスを誘導する。レーザ・ビームの直径は一般にマスクのフィーチャ・サイズよりも大きいため、レーザ・ビームは、マスクされた領域とマスクされていない領域の両方に当たるが、マスク材料とサンプルとではアブレーションしきい値に差があるため、加工サンプルに対するレーザ・ビームの効果は、マスクされた領域とマスクされていない領域とで異なる。この差を使用して構造を生成する。生成されるフィーチャの解像度はマスクの解像度に依存するため、本発明の実施形態は一般に、従来のレーザ微細機械加工に比べて改良された横方向解像度およびアスペクト比を有するフィーチャの製造を提供する。

40

【0019】

ともに真空室内にあるサンプルにビームを誘導する荷電粒子ビーム・カラムとレーザ・システムとを含む装置を使用して、本発明のいくつかの実施形態を実行することができる。これらのビームはおおよそ同期することが好ましい。レーザ源と荷電粒子ビーム源の両方を含む単一システムが、本発明の譲受人であるF E I Company社(米オレゴン州Hillsboro)に譲渡された米国特許出願第10/664,247号に記載され

50

ている。他の実施形態では、１つのシステムでマスクを適用し、真空を必要としないレーザー加工を、別のシステムで実行することができる。

#### 【００２０】

図１は、本発明の好ましい一実施形態とともに使用されるシステム１００を示す。レーザー１０２は、基板材料１０６とマスク１０８とを含むサンプル１０４にビーム１０３を誘導する。マスクは、荷電粒子ビーム誘起付着など適当な任意の方法によって製造することができる。レーザー１０２は、機械加工中の材料のアブレーションしきい値よりも大きなフルエンス（fluence）で動作させることができることが好ましい。サンプル１０４は一般に精密ステージ１０９上に配置され、精密ステージ１０９は、サンプルをX-Y平面内で平行移動させることができることが好ましく、さらに加工物をZ軸方向にも平行移動させることができ、加えて、３次元構造を製造する際の融通性を最大化するためにサンプルを傾け、回転させることができることにより好ましい。システム１００は、任意選択で、マスク１０８を付着させるため、あるいは他の加工または画像化タスクに使用することができる電子ビーム・カラム（column）、イオン・ビーム・カラムまたはこれら両方など、１つまたは複数の荷電粒子ビーム・カラム１３０を含む。荷電粒子ビーム１３０は一般に、荷電粒子源１３２と、荷電粒子源からの荷電粒子のビームを形成し、その荷電粒子ビームを基板表面に集束させ、走査する集束カラム１３４と、サンプル１０４の画像を形成する、一般的にはシンチレータ-光電子増倍管検出器である２次粒子検出器１３６と、荷電粒子ビームの存在下で反応する前駆体ガスを供給するガス噴射システム１３８とを含む。

#### 【００２１】

荷電粒子ビーム・カラム１３０または２次粒子検出器１３８が使用されるときには、基板が真空中に維持される。機械加工プロセスの完了の時期を判定するために、いくつかの実施形態では、追加の検出器１１０が、X線または他の光子など、サンプル１０４からの放出１１２を検出する。放出１１２は、マスク１０８または基板材料１０６が除去されたとき、または露出したときに変化する。このようなエンドポインティング・プロセスは、参照によって本明細書に組み込まれる２００９年７月９日出願の「Method and Apparatus for Laser Machining」という名称の米国特許出願第６１／０７９，３０４号に記載されている。コンピュータ１２０はシステム１００を制御し、ディスプレイ１２２はサンプルの画像をユーザに対して表示する。

#### 【００２２】

図２は、本発明の好ましい一実施形態のステップを示す流れ図である。ステップ２０２では、例えば付加的（additive）または低減的（reductive）技法を使用して基板の表面にマスクが生成される。付加的技法を使用する場合には、例えばeビームまたはFIB誘起付着を使用して、所望のパターンのマスク材料を基板表面に直接に付着させる。低減的方法は、マスク材料を全面に配置し、続いて、例えばFIBまたは電子ビーム・エッチングあるいはフォトリソグラフィを使用して材料を除去することによって、パターンを形成することを含む。マスクの形成に使用することができる他の技法には、例えば荷電粒子ビーム付着またはフォトリソグラフィを使用して付着させた導体パターン上への電着などがある。後続のレーザー・アブレーション・プロセスによって機械加工されるフィーチャの横方向解像度およびアスペクト比を向上させるため、マスクは、基板の表面に直接に製造されることが好ましい。

#### 【００２３】

加工物上に直接に配置されたマスクでは、マスク材料のアブレーションしきい値が、微細機械加工される基板材料のアブレーションしきい値よりも高いことが好ましい。さらに、マスクを通してその下の基板が損傷することを防ぐため、マスクの光透過率は十分に低いことが好ましい。すなわち、マスク材料は、入射レーザー放射を透過せず、入射レーザー放射を反射し、マスク材料が入射レーザー放射による影響を受けないことが好ましい。マスクの透過率は、マスキング材料の組成と厚さの両方によって制御される。マスクはレーザーの影響を受けないことが望ましいとはいえ、いくつかの実施形態では、マスクはレーザーの影



響を受ける。しかし、微細機械加工作業の間、基板の損傷を防ぐのに十分な頑健性をマスクは有する。

【 0 0 2 4 】

好ましい実施形態は、「階層 ( g r a d e d )」構造を含むマスク、すなわち、光透過量に影響を与える厚さ、材料、密度または他の特性の程度がマスクの領域によって異なるマスクを生成することを含む。これらのマスク特性は、レーザ加工によってマスクが除去されないような特性、またはレーザ加工によってマスクが除去される場合には、保護されていない基板の加工が完了するまでマスクの下の基板が保護されるような十分に遅い速度でマスクが除去されるような特性であることが好ましい。これらのマスク特性を、3次元構造を生成するように制御することができる。例えば、レーザによってある微細機械加工期間後にマスクの部分が除去され、それにより、次いで、それらのマスク部分の下の基板を加工することができ、その結果、加工が開始された後に露出した領域の方が、加工開始時にマスクされていなかった領域よりも加工量が小さくなるように、マスクの異なる領域の厚さを変化させ、またはマスクの異なる領域を異なる材料から形成することができる。

【 0 0 2 5 】

好ましい一実施形態では、このマスクが、本発明の譲与人である F E I C o m p a n y 社 (米オレゴン州 H i l l s b o r o ) に譲渡された、参照によって本明細書に組み込まれる「H i g h R e s o l u t i o n P l a s m a E t c h」という名称の米国特許出願第 1 1 / 7 6 6 , 6 8 0 号に記載されているとおりに製造される。米国特許出願第 1 1 / 7 6 6 , 6 8 0 号に記載されているとおり、基板表面の一部分をマスクする保護層を製造するために、好ましくは 1 n m から 1 0 0 μ m、より一般的には 1 n m から 1 0 n m の範囲のビーム直径を有する集束ビームが使用される。この荷電粒子ビーム法は一般に、フォトリソグラフィ手段によって利用可能な鮮明度よりも高い鮮明度の保護層を生成する。荷電粒子ビーム付着を使用してマスクを付着させるため、あるいはスパッタリング、プラズマ付着、化学蒸着、物理蒸着プロセス、または一般にフォトレジストを塗布することによって実行されているように回転している基板上に液体マスク材料を注ぎ込むプロセスなどのプロセスを使用して予め付着させた層をパターン形成するために、この荷電粒子ビームを使用することができる。米国特許出願第 1 1 / 7 6 6 , 6 8 0 号に記載されたビーム・プロセスは、基板表面に、精密に画定された保護マスク・パターンを生成する。例えば、ビーム付着は、約 1 0 n m 未満の線幅などの表面フィーチャを生成することができる。

【 0 0 2 6 】

電子ビーム誘起付着法は例えば、参照によって本明細書に組み込まれる M u s i l 他の「E l e c t r o n B e a m P r o c e s s i n g」という名称の米国特許第 6 , 7 5 3 , 5 3 8 号に記載されている。米国特許第 6 , 7 5 3 , 5 3 8 号は、電子ビームの存在下で分解して表面に適当な材料を残す前駆体ガス中で化学反応を誘起させることによって材料を付着させるために、電子ビームを使用することを記載している。好ましい付着前駆体ガスには例えば、炭素保護マスクを付着させるためのスチレン (  $C_6H_5CH=CH_2$  )、および  $H_2O$  などの酸素ベースの炭素エッチング前駆体に対して抵抗性の高タングステン含量保護マスクを付着させるための  $WF_6$  (六フッ化タングステン) または  $W(CO)_6$  (タングステンカルボニル) などがある。酸化物層を付着させることができる前駆体ガスには例えば、酸化シリコン保護マスクを付着させる  $TEOS$  (オルトケイ酸テトラエチル) などがある。電子ビーム付着用の前駆体はこの他にも知られており、それらも同様に使用することができる。その例には、それぞれ高  $Ga$  含量マスクおよび高  $Pt$  含量マスクを付着させるための過重水素化 ( p e r d e u t e r a t e d ) アジ化ガリウム (  $D_2GaN_3$  ) および  $Pt(PF_3)_4$  (テトラキス(トリフルオロホスファン)白金) などがある。

【 0 0 2 7 】

あるいは、保護マスクを形成する材料を付着させるために、イオン・ビームを使用することもできる。あるイオン・ビーム付着プロセスでは、表面に向かってガスが誘導され、

10

20

30

40

50

一般に液体金属ガリウム・イオン源からのガリウム・イオンを含む微細に集束させたイオン・ビームまたは焦点をずらした (defocused) イオン・ビームが、基板表面に吸収されたガス分子を分解し、不揮発性分解生成物を付着させる。FIBを使用して金属材料を付着させるプロセスが、Yamaguchi 他「Method And Apparatus For Correcting Delicate Wiring of IC Device」という名称の米国特許第4,609,809号に記載されており、米国特許第4,609,809号は、タングステン前駆体ガス化合物をFIBの存在下で使用して、基板表面にタングステンを付着させることを記載している。FIBの存在下で分解して材料を付着させる、本発明とともに使用することができる他の前駆体ガスは例えば、Handbook of Charged Particle Beam Optics、Jon Orloff 編、CRC Press 社刊 (1997年) に記載されている。イオン・ビームは例えば、本発明の譲受人に譲渡された Gerlach 他「Angular Aperture Shaped Beam System and Method」という名称の米国特許第6,977,386号に記載されているとおりに一点に集束させ、または成形することができる。本明細書で使用する用語「集束ビーム」は成形ビームを含む。

10

#### 【0028】

ステップ204では、基板の微細機械加工される領域に向かってレーザ・ビームが誘導され、レーザ・アブレーションによって基板が改変される。アブレーションしきい値は、その基板材料の固有の特性であり、当業者は、経験的に、または文献から、さまざまな材料のアブレーションしきい値を容易に決定することができる。例えばシリコン基板は、約  $170 \text{ mJ} / \text{cm}^2$  の単一パルス・アブレーションしきい値を有し、そのため、本発明に従ってシリコンを微細機械加工するためには、好ましくは、レーザ・フルエンスがこの値よりも少し高くなければならない。好ましいレーザ・ビームは、 $10 \text{ nJ}$  から  $1 \text{ mJ}$  の範囲のエネルギー、および  $0.1 \text{ J} / \text{cm}^2$  から  $100 \text{ J} / \text{cm}^2$  の範囲のフルエンスを有する。シリコン基板をミリングする好ましい実施形態では、レーザ・ビームが、 $150 \text{ mJ} / \text{cm}^2$  のフルエンス、 $150 \text{ femtosecond}$  のパルス幅および  $2 \mu\text{m}$  のスポット・サイズを有する。他の実施形態では、レーザ・ビームが、 $30 \text{ nJ}$  のエネルギーおよび  $0.4 \text{ J} / \text{cm}^2$  のフルエンスを有する。

20

#### 【0029】

本発明の実施形態は、十分なフルエンスを供給する、既存のまたは今後開発される、任意のタイプのレーザを使用することができる。好ましいレーザは、短い、すなわちナノ秒からフェムト秒のパルス・レーザ・ビームを供給する。適当なレーザには例えば、Ti:サファイア発振器または増幅器、ファイバ・ベースのレーザ、あるいはイッテルビウムまたはクロム・ドープ薄ディスク・レーザなどがある。

30

#### 【0030】

任意選択で、微細機械加工が完了したか否かを判定するために、米国特許出願第61/079,304号に記載されているプロセスのうちの1つのプロセスなどの「エンドポイントティング」プロセスが使用される。例えば、埋没した材料を露出させるためにレーザが使用されている場合、レーザ微細機械加工が被覆材料を完全に切削し、またはほぼ完全に切削したことを、放出における変化を用いて知ることができる。放出の変化が、レーザ微細機械加工が被覆材料またはマスクを完全に切削し、またはほぼ完全に切削したことを示している場合、例えばレーザ・ビームを停止し、パルスあたりのフルエンスなどレーザのパラメータを変更し、ガス流量を変更し、電子またはイオン・ビームを停止し、あるいはサンプルを支持するステージを移動させることによって、このプロセスは変更される。連続的にまたは周期的に放出を監視することができる。放出を周期的に監視する場合には、監視期間と監視期間の間に被覆材料が完全に除去された場合のその下の材料の許容できない損傷を防ぐため、周期は十分に短くすべきである。いくつかの実施形態では、レーザ微細機械加工のエンドポイントティング信号を生成するために、電子ビームなどの荷電粒子ビームを使用することができる。この電子ビームは例えば、レーザ・アブレーションの間、

40

50

レーザ・ビームと同期させることができ、レーザ・ビームと同時にまたはレーザ・ビームと逐次的に使用することができる。陰極ルミネセンスまたは後方散乱電子がエンドポイント信号として使用される場合には、エンドポイント信号の「先取り (look-ahead)」能力を調整するために、電子ビーム・エネルギーを調整することができる。判断ステップ 206 は、加工物を画像化することによって、放出を観察することによって、あるいは所定の時間が経過した、または所定量のレーザ・エネルギーが送達されたと判定することによって、微細機械加工が完了したかどうかを判定する。微細機械加工が完了していない場合、任意選択で、ステップ 204 からこのプロセスを続けることができる。

#### 【0031】

任意選択のステップ 207 は、例えばマスクを選択的にエッチングし、実質的に影響を与えずに基板を残すウェットまたはドライ・エッチング・プロセスを使用して、マスクを除去することを含む。このために、マスキング材料は、選択的に除去することができるようにエッチングされることが好ましい。例えば、基板が  $\text{Si}$  または  $\text{SiO}_x$ 、マスクが炭素化合物でできている場合には、例えばその下の  $\text{SiO}_x$  を傷つけることなく炭素マスクを選択的に除去する「ピラニア (piranha)」ウェット・エッチング・プロセスまたは酸素プラズマ・ドライ・エッチング・プロセスを含む *ex situ* 非局在 (delocalized) 選択化学エッチングを使用して、マスクを除去することができる。ピラニア・エッチングは一般に、98%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (硫酸) と 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  (過酸化水素) の体積比 2 ~ 4 : 1 の混合物を含む。この混合物がピラニアと呼ばれるのは、一般にエッチングのための後続の  $\text{HF}$  の使用に備えて有機物を除去するその旺盛な除去能力のためである。 $\text{SF}_6$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{CF}_4$  などと酸素とを混合したフッ化ガス・プラズマも、約 2 : 4 : 1 程度で、シリコン基板上のタングステン・マスクを選択的にエッチングすることが知られており、上で論じられたような適当な材料が使用される場合、これらのプラズマもこのステップ 206 に対して考慮される。反対に、マスク材料が  $\text{SiO}_x$ 、基板がシリコンである場合には、マスクを選択的に除去するために、 $\text{HF}$  ウェット・エッチングまたは緩衝酸化物エッチング (buffered oxide etch) を使用することができる。 $\text{CF}_4$  と  $\text{CHF}_3$  のブレンドなどのフルオロカーボン・ガスを使用した適当なガス混合比を使用して、露出したシリコンに対する相対的に高い選択性で、 $\text{SiO}_x$  を優先的にドライ・エッチングすることができる。

#### 【0032】

図 3 A から 3 D は、図 2 の流れ図のステップの結果を示す。図 3 A は、加工される基板 300 を示す。図 3 B は、基板 300 上にマスク 302 の一部が付着された、ステップ 202 の結果を示す。マスク 302 は、レーザによる機械加工を受ける部分 304 と、レーザ加工ステップの全期間、基板を保護するのに十分な頑健性を有する部分 306 とを有する。基板 300 は、マスクされていない領域 308 と、マスク部分 306 によって覆われたマスクされた領域 310 と、加工の間、基板を部分的にしか保護しないマスク部分 304 によって覆われたマスクされた領域 312 とを含む。図 3 C は、レーザ 318 が、マスクされていない領域 308 に所定の深さの穴 320 を機械加工し、領域 312 に、領域 308 の穴よりも浅い所定の深さの穴 322 を機械加工した、ステップ 204 のプロセスの結果を示す。マスク 302 の部分 306 は、レーザ・ビームによる損傷を本質的に受けておらず、その下の基板領域 310 は無傷である。レーザ・ビーム 318 の直径は穴 320 および穴 322 の直径よりも大きく、レーザ・ビームの解像度よりも高い解像度を有するフィーチャの生成を示している。示された実施形態では、他の穴 320 および穴 322 を機械加工するために、図 3 C に示された位置から右へレーザ・ビーム 318 が走査される。あるいは、走査なしで穴 320 および穴 322 を機械加工するより幅の広いビームを使用することもできる。基板材料を除去するのに十分なフルエンスを提供するため、ビームの直径は十分に小さいことが好ましい。図 3 D は、基板からマスクが選択的に除去された、任意選択のステップ 207 の結果を示す。

#### 【0033】

図4および5は、FIBおよびTEOSと水蒸気の混合物からなる付着前駆体によって、CおよびGaドーパ非晶質SiO<sub>x</sub>マスク・ライン402をシリコン基板400上に付着させた、本発明の好ましい実施形態に基づく実験の結果を示す。次いで、超短パルス（USP）フェムト秒レーザの集束ビームを使用して、マスク・ライン402を横切ってライン404を除去した。図5は特に、その下のSi基板400にレーザ・アブレーション・プロセスによる損傷がないことを明らかにするためのCおよびGaドーパ非晶質SiO<sub>x</sub>マスク・ライン402の断面500を示す。図4および5に示されたレーザ機械加工されたライン404は、最適化された近しい値（near - threshold）微細機械加工に特徴的な熱損傷に比べてはるかに大きい顕著な熱損傷を示していることが分かる。この過度の損傷は、（マスク・基板界面のTEMよりもむしろ）デュアル・ビーム・システムでの断面画像化によって、このマスキング技法の有効性を示すのに有効である。

10

#### 【0034】

本発明の好ましい方法または装置は多くの新規の態様を有する。本発明は、さまざまな目的のためにさまざまな方法または装置として具体化することができるため、全ての実施形態に全ての態様が存在する必要はない。また、記載された実施形態の態様の多くは別々に特許を受けることができる。

#### 【0035】

超高速パルス・レーザを使用したレーザ・アブレーションとともにマスクを使用することを説明したが、例えば光化学加工のような他のタイプのレーザ加工の解像度を向上させるために、マスクを使用することもでき、このとき、マスクは、レーザ・エネルギーからまたはエッチング化学剤との接触から基板を遮蔽する。熱誘起レーザ反応では、後に除去することができるマスク上でその反応を生じさせることによって、または反応物から基板を遮蔽することによって、マスクが、基板での反応を防ぐことができる。さらに、例えば、後に除去されるマスク上に材料を付着させることによって、または反応物が加熱された基板に到達することを防ぐ透明なマスクを使用することによって、マスクをレーザ付着プロセスとともに使用することもできる。

20

#### 【0036】

いくつかの実施形態では、石英基板などの加工物以外の基板上にマスクを製造し、加工物と接触するように配置することもできる。加工物がマスクの近接場、すなわち加工物から約1波長未満の距離にあるように、マスクを配置することもできる。除去された材料がマスク上に堆積する可能性が高いため、別個の接触または近接マスクは好ましくない。加工物からさらに離してマスクを配置し、次いでそのマスクに通して、またはそのマスクから反射させて、レーザを加工物上に誘導し、加工物表面から材料を除去することもできる。

30

#### 【0037】

あるスポット・サイズを有するレーザ・ビームを使用して、基板上に、マイクロスコピックまたはナノスコピック構造を形成する本発明の好ましい実施形態は、荷電粒子ビーム・アシスト付着を使用して、基板上にマスク・パターンを付着させるステップであり、荷電粒子ビームがサブミクロン（sub - micron）のスポット・サイズを有するステップと、基板表面に向かって超高速パルス・レーザ・ビームを誘導するステップであり、レーザ・ビームが、荷電粒子ビームのスポット・サイズよりも大きなスポット・サイズを有し、レーザ加工によって基板内にフィーチャを生成するために、レーザ・ビームが、マスクによって覆われていない基板の部分加工し、マスクが、マスクによって覆われた基板の部分保護し、基板内のフィーチャがレーザ・スポット・サイズよりも小さいステップとを含む。

40

#### 【0038】

好ましい実施形態はさらに、基板表面に前駆体ガスを供給し、前駆体ガスを解離させ、マスキング材料を付着させるために、基板表面に、集束イオン・ビームまたは集束電子ビームを誘導することによって、荷電粒子ビーム・アシスト付着を使用して、基板上にマスク・パターンを付着させるステップを含む。好ましくは、このマスク・パターンが、レー

50

ザ・ビームによるマスクの下の基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を吸収し、かつ/またはレーザ・ビームによるマスクの下の基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を反射する。好ましくは、マスクを形成するために複数の材料層を付着させることができる。好ましくは、マスク・パターンを付着させるステップが、マスク・パターンの少なくとも1つの領域の特性が、マスク・パターンの他の領域の特性とは異なるマスク・パターンを付着させるステップを含み、前記少なくとも1つの領域に対応する基板の加工を異ならせるために、前記少なくとも1つの領域の前記異なる特性が、ある異なるレベルの保護を基板に提供する。

#### 【0039】

好ましい実施形態はさらに、基板表面に向かって超高速パルス・レーザ・ビームを誘導するステップを含む。好ましくは、レーザ・ビームが、基板材料を除去するのに十分なフルエンスを有する。レーザは、フェムト秒レーザまたはピコ秒レーザとすることができる。

10

#### 【0040】

あるスポット・サイズを有するレーザ・ビームを使用して、基板上に、マイクロスコピック構造を形成する本発明の好ましい実施形態は、レーザ・ビーム・スポット・サイズよりも小さなマスク・フィーチャを生成することができる製造プロセスを使用して、基板表面にマスクを形成するステップと、基板表面に向かってレーザ・ビームを誘導するステップであり、レーザ・ビームが、マスクの最小設計フィーチャよりも大きなスポット・サイズを有し、マスクが、レーザ加工によって基板内にフィーチャを生成するためにマスクによって覆われた基板の部分を保護し、加工された基板内のフィーチャが、レーザ・ビーム・スポット・サイズよりも小さいステップとを含む。

20

#### 【0041】

好ましい実施形態は、電子ビーム・アシスト付着またはイオン・ビーム・アシスト付着を使用することによって、基板表面にマスクを形成するステップを含む。好ましい実施形態はさらに、フォトリソグラフィを使用することによって基板表面にマスクを形成するステップを含む。好ましくは、基板表面にマスク・パターンを形成するステップが、レーザ・ビームによるマスクの下の基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を吸収するパターンを付着させるステップ、あるいはレーザ・ビームによるマスクの下の基板に対する損傷を防ぐのに十分な量のレーザ放射を反射するマスク・パターンを形成するステップを含む。

30

#### 【0042】

本発明の好ましい実施形態は、基板材料を選択的に除去し、基板のマスクされた部分を保護するためにマスク材料を残すように、基板表面に向かってレーザ・ビームを誘導するステップを含む。好ましいいくつかの実施形態では、化学反応を開始させるために基板の一部を加熱するため、かつ/または光化学反応を開始させるために、レーザ・ビームが基板表面に向かって誘導される。好ましいいくつかの実施形態では、レーザが、マスクによって覆われていない基板の領域から材料を除去する。

#### 【0043】

あるスポット・サイズを有するレーザ・ビームを使用して、基板上に、マイクロスコピック構造を形成する本発明の好ましい実施形態は、レーザ・ビーム・スポット・サイズよりも小さなマスク・フィーチャを生成することができる製造プロセスを使用して、マスクを形成するステップと、レーザ・アブレーションによって基板内にフィーチャを生成するために、マスクに向かってレーザ・ビームを誘導し、次いで基板表面にレーザ・ビームを誘導するステップであり、レーザ・ビームが、マスクの最小設計フィーチャよりも大きなスポット・サイズを有し、ビームが、加工された基板内に、レーザ・ビーム・スポット・サイズよりも小さいフィーチャを生成し、マスクが、基板の部分が除去されることを防ぐステップとを含む。

40

#### 【0044】

基板表面にマイクロスコピック構造を製造するシステムの本発明の好ましい実施形態は

50

、荷電粒子システム（この荷電粒子ビームは、荷電粒子源と、荷電粒子源からの荷電粒子のビームを形成し、荷電粒子ビームを基板表面に集束させ、走査する集束カラムと、荷電粒子ビームの存在下で反応する前駆体ガスを供給するガス噴射システムとを有する）と、超高速パルス・レーザ・カラムと、基板表面にマスクを形成するために、前駆体ガスの存在下で荷電粒子ビームをあるパターンに誘導し、基板のマスクされていない領域を加工するようにレーザ・ビームを誘導するようプログラムされたコンピュータとを備える。

#### 【 0 0 4 5 】

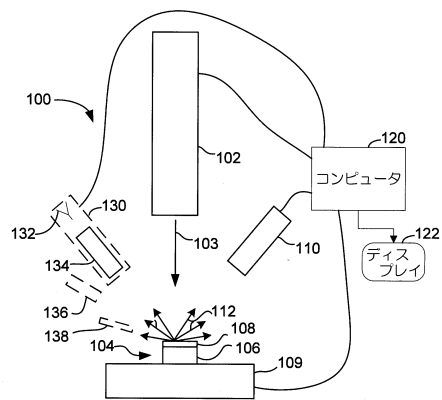
本発明および本発明の利点を詳細に説明したが、添付の特許請求の範囲によって定義された本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、本明細書に記載された実施形態に、さまざまな変更、置換および改変を加えることができることを理解されたい。さらに、本出願の範囲が、本明細書に記載されたプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法およびステップの特定の実施形態に限定されることは意図されていない。当業者なら本発明の開示から容易に理解するように、本明細書に記載された対応する実施形態と実質的に同じ機能を実行し、または実質的に同じ結果を達成する既存のまたは今後開発されるプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを、本発明に従って利用することができる。したがって、添付の特許請求の範囲は、その範囲内に、このようなプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを含むことが意図されている。

#### 【 符号の説明 】

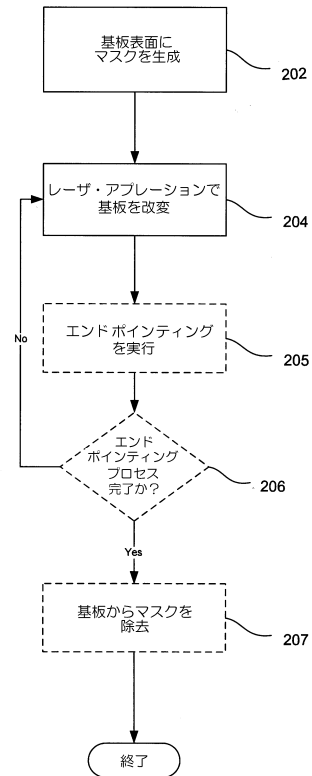
#### 【 0 0 4 6 】

1 0 0	システム	20
1 0 2	レーザ	
1 0 3	ビーム	
1 0 4	サンプル	
1 0 6	基板材料	
1 0 8	マスク	
1 0 9	精密ステージ	
1 1 0	検出器	
1 1 2	放出	
1 2 0	コンピュータ	
1 2 2	ディスプレイ	30
1 3 0	荷電粒子ビーム・カラム	
1 3 2	荷電粒子源	
1 3 4	集束カラム	
1 3 6	2次粒子検出器	
1 3 8	ガス噴射システム	
3 0 0	基板	
3 0 2	マスク	
3 0 4	マスク部分	
3 0 6	マスク部分	
3 0 8	マスクされていない領域	40
3 1 0	マスクされた領域	
3 1 2	マスクされた領域	
3 1 8	レーザ・ビーム	
3 2 0	穴	
3 2 2	穴	
4 0 0	S i 基板	
4 0 2	C および G a ドープ非晶質 S i O <sub>x</sub> マスク・ライン	
4 0 4	レーザ機械加工されたライン	

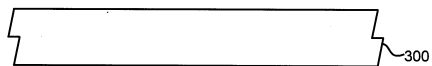
【図 1】



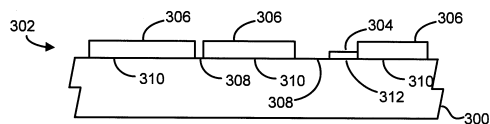
【図 2】



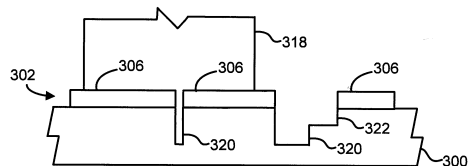
【図 3 A】



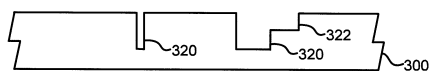
【図 3 B】



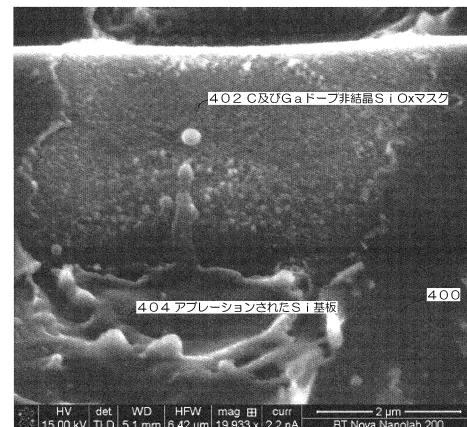
【図 3 C】



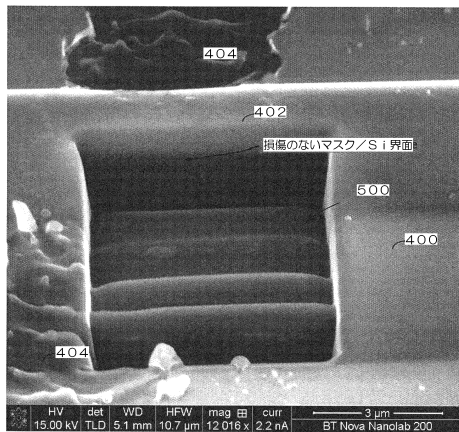
【図 3 D】



【図 4】



【図 5】





## フロントページの続き

- (72)発明者 ミロス・トス  
アメリカ合衆国 オレゴン州 97210 ポートランド ノース・ウェスト グリサン・ストリート 2386 エイ・ピー・ティー 7
- (72)発明者 マーク・ダブリュー・ウトロート  
アメリカ合衆国 オレゴン州 97056 スカプース ダッチ・キャニオン・ロード 29430
- (72)発明者 スティーブン・ランドルフ  
アメリカ合衆国 オレゴン州 97209 ポートランド ノース・ウェスト ラブジョイ・ストリート 1420 212番
- (72)発明者 マイケル・リソー  
アメリカ合衆国 オレゴン州 97224 ティガード サウス・ウェスト ブル・マウンテン・ロード 15400

審査官 佐野 浩樹

- (56)参考文献 特開2006-005110(JP,A)  
特開昭59-104287(JP,A)  
特開平05-173316(JP,A)  
特開平05-136097(JP,A)  
特開2008-078634(JP,A)  
特開平09-045639(JP,A)  
特表2004-528181(JP,A)  
特表2004-512672(JP,A)  
特開昭63-134679(JP,A)  
特開平02-020685(JP,A)  
特開平04-354321(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 26/00 - 26/42 、  
H01L 21/027