

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2011-527637

(P2011-527637A)

(43) 公表日 平成23年11月4日 (2011.11.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 P	2 G 0 0 1
B 2 3 K 26/14 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 N	4 E 0 6 8
B 2 3 K 26/08 (2006.01)	B 2 3 K 26/14 Z	
B 2 3 K 26/12 (2006.01)	B 2 3 K 26/08 D	
G O 1 N 23/221 (2006.01)	B 2 3 K 26/12	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 24 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2011-517574 (P2011-517574)
 (86) (22) 出願日 平成21年7月8日 (2009.7.8)
 (85) 翻訳文提出日 平成23年3月4日 (2011.3.4)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2009/049961
 (87) 国際公開番号 W02010/006067
 (87) 国際公開日 平成22年1月14日 (2010.1.14)
 (31) 優先権主張番号 61/079, 304
 (32) 優先日 平成20年7月9日 (2008.7.9)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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】 レーザ機械加工のための方法および装置

(57) 【要約】

レーザ加工は、終点決定を使用することによって、またはレーザとともに荷電粒子ビームを使用することによって向上する。終点決定は、基板からの光子、電子、イオン、中性粒子などの放出を使用して、レーザの下で材料がいつ変化したか、またはいつ変化しようとしているか判定する。レーザ光学要素への付着を防ぐため、試料から除去された材料をそらすことができる。

【選択図】図2

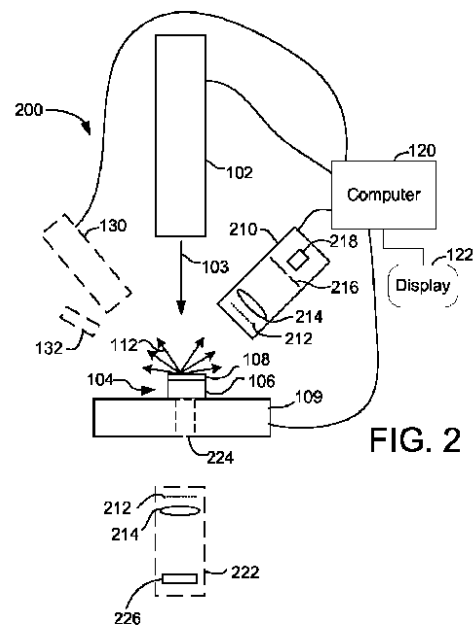


FIG. 2

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

レーザ・ビーム加工によって構造を形成し、または改変する方法であって、
構造を形成し、または改変するために試料に向かってレーザ・ビームを誘導すること、
前記レーザ・ビームの入射に起因する前記試料からの放出物を検出すること、
前記試料に特有の前記放出物のある特性を決定すること、および
前記レーザ・ビームが入射している材料が変化したことを前記放出物が示しているときに、前記レーザ・ビーム加工を変更すること
を含む方法。

【請求項 2】

10

前記レーザ・ビーム加工を変更することが、前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導するのを止めることを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記レーザ・ビーム加工を変更することが、ガス流量を変えること、パルスあたりのフルエンスなどのレーザ・パラメータを変えること、電子またはイオン・ビームをブランピングすること、あるいは前記試料を支持しているステージを動かすことを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することが、 10^{-3} ミリバール未満の圧力を有する環境中で前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することを含む、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することが、50ミリバール未満の圧力を有する環境中で前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記放出物のある特性を決定することが、前記試料から放出された電子電流を決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記表面から放出された電子電流を決定することが、前記試料と前記試料と直接にまたは間接的に接触したグラウンドとの間の電流を測定することを含む、請求項 6 に記載の方法。

30

【請求項 8】

前記放出物のある特性を決定することが、前記試料から放出された電子のエネルギーを決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記放出物のある特性を決定することが、前記試料から放出された光子を検出することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記放出物のある特性を決定することが、特性波長を有する光子を検出することを含む、請求項 9 に記載の方法。

40

【請求項 11】

前記放出物のある特性を決定することが、前記特性波長以外の波長を有する光子をフィルタリングによって除去することを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記放出物のある特性を決定することが、前記表面から放出された粒子の質量を決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記放出物のある特性を決定することが、前記表面から放出された粒子の電荷対質量比を決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

50

【請求項 1 4】

前記表面から放出された粒子の質量を決定する前に中性粒子をイオン化することをさらに含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 5】

中性粒子をイオン化することが、レーザ・ビームを使用して中性粒子をイオン化することを含む、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 6】

中性粒子をイオン化することが、電子ビームを使用して中性粒子をイオン化することを含む、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 7】

中性粒子をイオン化することが、第 1 のレーザ・ビームによって前記試料から追い出された展開中の放出物をイオン化するために、時間遅延レーザ・ビームを誘導することを含む、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 8】

中性粒子をイオン化することが、第 2 のレーザ・ビームを使用して中性粒子をイオン化することを含む、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記表面から放出された粒子の質量を決定することが、誘導結合プラズマ質量分析法を使用して質量を決定することを含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することが、1 ピコ秒未満のパルス持続時間を有するパルス・レーザを前記試料に向かって誘導することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記放出物のある特性を決定することが、狭帯域検出器を使用して、指定された特性を有する放出物だけを検出することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記放出物のある特性を決定することが、前記放出物の電流を決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記放出物のある特性を決定することが、前記放出物のエネルギーを決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 2 4】

前記試料に向かって荷電粒子ビームを誘導することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 2 5】

前記放出物のある特性を決定することが、前記放出物のエネルギー・スペクトルを決定することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 2 6】

試料上に構造を形成する方法であって、
構造を形成し、または改変するために試料に向かってレーザ・ビームを誘導すること、
前記試料に向かって荷電粒子ビームを誘導すること、
前記荷電粒子ビームの入射に起因する前記試料からの放出物を検出すること、
前記試料に特有の前記放出物のある特性を決定すること、および
前記レーザ・ビームが入射している材料が変化したことを前記放出物が示しているときに、前記レーザ・ビーム加工を変更すること
を含む方法。

【請求項 2 7】

前記レーザ・ビームと前記粒子ビームが同時に試料に入射する、請求項 2 6 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 28】

前記レーザ・ビームと前記粒子ビームが連続的に試料に入射する、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 29】

前記荷電粒子ビームが電子ビームである、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 30】

前記荷電粒子ビームが電子ビームであり、前記荷電粒子ビームの入射に起因する前記試料からの放出物を検出することが、2 次電子、後方散乱電子または透過電子を検出することを含む、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 31】

前記荷電粒子ビームが電子ビームであり、前記荷電粒子ビームの入射に起因する前記試料からの放出物を検出することが、(X 線を含む)光子を検出することを含む、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 32】

前記荷電粒子ビームが電子ビームであり、前記試料からの放出物を検出することが、表面よりも下方の材料からの放出物を検出することを含む、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 33】

前記荷電粒子ビームがイオン・ビームである、請求項 26 に記載の方法。

【請求項 34】

試料を形成し、または改変するシステムであって、
試料を保持する試料ホルダと、
前記試料に向かってレーザ・ビームを誘導する高速パルス・レーザと、
前記レーザ・ビームの衝突に起因する前記試料からの放出物であり、前記試料に特有の放出物を検出する検出器と
を備えるシステム。

【請求項 35】

前記試料ホルダが前記試料を真空中で保持する、請求項 34 に記載のシステム。

【請求項 36】

前記放出物の検出器が電子検出器を含む、請求項 34 に記載のシステム。

【請求項 37】

前記放出物の検出器が質量分析器または分光計を含む、請求項 34 に記載のシステム。

【請求項 38】

前記放出物の検出器が、誘導結合プラズマ質量分析器または分光計を含む、請求項 34 に記載のシステム。

【請求項 39】

前記放出物の検出器が光子検出器である、請求項 34 に記載のシステム。

【請求項 40】

前記放出物の検出器がエネルギー分散型 X 線分光法検出器である、請求項 34 に記載のシステム。

【請求項 41】

前記放出物の検出器が波長分散型 X 線分光法検出器である、請求項 34 に記載のシステム。

【請求項 42】

構造を形成し、または改変する装置であって、
試料を保持する真空室、
前記真空室内の前記試料に対して動作するレーザ・システムであり、レンズを含むレーザ・システム、
荷電粒子またはレーザ・ビームが衝突したときに前記試料から放出された 2 次粒子によって前記レーザ・システム・レンズが損傷することを防ぐために、前記 2 次粒子を前記レーザ・システム・レンズからそらす偏向器、

10

20

30

40

50

荷電粒子またはレーザ・ビームが衝突したときに前記試料から放出された２次粒子によって荷電粒子光学カラム構成要素が損傷することを防ぐために、前記２次粒子を荷電粒子光学カラム構成要素からそらす偏向器、および／あるいは、

荷電粒子またはレーザ・ビームが衝突したときに前記試料から放出された２次粒子によって前記装置の構成要素が損傷することを防ぐために、前記２次粒子を前記装置の前記構成要素からそらす偏向器

を備える装置。

【請求項４３】

前記偏向器が電極を含み、２次粒子電流を決定するために前記電極が増幅器に電氣的に接続された、請求項４２に記載の装置。

10

【請求項４４】

前記偏向器が一組の電極を含む、請求項４２に記載の装置。

【請求項４５】

前記偏向器が磁気偏向器を含む、請求項４２に記載の装置。

【請求項４６】

構造を形成し、または改変する方法であって、

試料を保持する真空室と、荷電粒子ビーム・カラムと、前記真空室内の前記試料に対して動作する、レンズを含むレーザ・システムとを含むシステムを用意すること、および前記試料に向かって荷電粒子ビームを誘導すること

を含み、前記荷電粒子ビームの衝突が２次粒子の放出を引き起こし、前記方法がさらに

20

、
前記２次粒子によって前記レーザ・システム・レンズが損傷することを防ぐために前記２次粒子を前記レーザ・システム・レンズからそらすための場を提供すること、

前記２次粒子を放出物検出器からそらすための場を提供すること、および

前記２次粒子を前記荷電粒子光学カラムの構成要素からそらすための場を提供することを含む方法。

【請求項４７】

前記２次粒子を前記レーザ・システム・レンズの前記レンズからそらすことが、前記荷電粒子をそらすための静電場を発生させるために電極を提供することを含む、請求項４６に記載の方法。

30

【請求項４８】

前記２次荷電粒子をそらすための静電場を発生させるために電極を提供することが、前記荷電粒子をそらすように設計された電場を発生させるために複数の電極を提供することを含む、請求項４６に記載の方法。

【請求項４９】

レーザ・ビーム加工によって構造を形成し、または改変する方法であって、

構造を形成し、または改変するために試料に向かってレーザ・ビームを誘導すること、前記試料からの放出物を検出すること、

前記試料に特有の前記放出物のある特性を決定すること、および

前記レーザ・ビームが入射している材料が変化したことを前記放出物が示しているときに、前記レーザ・ビーム加工を変更すること

40

を含む方法。

【請求項５０】

前記試料からの放出物を検出することが、前記試料から放出されたルミネセンス、電子、イオン、中性原子または分子、あるいは粒子／ドロップレットを検出することを含む、請求項４９に記載の方法。

【請求項５１】

前記試料からの前記放出物が、前記レーザ・ビームの入射に起因する、請求項４９または５０に記載の方法。

【請求項５２】

50

前記試料に向かって荷電粒子ビームを誘導することをさらに含む、請求項 49 または 50 に記載の方法。

【請求項 53】

前記試料からの前記放出物が、前記荷電粒子ビームの入射に起因する、請求項 52 に記載の方法。

【請求項 54】

前記試料を保持する真空室と、荷電粒子ビーム・カラムと、前記真空室内の前記試料に対して動作する、レンズを含むレーザ・システムと、前記試料からの放出物を検出する放出物検出器とを含むシステムを用意すること、および

前記荷電粒子ビームの入射によって生成された前記 2 次粒子によって前記レーザ・システム・レンズが損傷することを防ぐために前記 2 次粒子を前記レーザ・システム・レンズからそらすための場を提供すること、

10

前記 2 次粒子を放出物検出器からそらすための場を提供すること、および

前記 2 次粒子を前記荷電粒子光学カラムの構成要素からそらすための場を提供することをさらに含む、請求項 53 に記載の方法。

【請求項 55】

前記レーザ・ビーム加工を変更することが、前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導するのを止めること、ガス流量を変えること、パルスあたりのフルエンスなどのレーザ・パラメータを変えること、電子またはイオン・ビームをブランキングすること、あるいは前記試料を支持しているステージを動かすことを含む、請求項 49 ~ 54 のいずれかに記載の方法。

20

【請求項 56】

前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することが、 10^{-3} ミリバール未満または 50 ミリバール未満の圧力を有する環境中で前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することを含む、請求項 49 ~ 55 のいずれかに記載の方法。

【請求項 57】

前記放出物のある特性を決定することが、前記試料から放出された電子電流を決定することを含む、請求項 49 ~ 56 のいずれかに記載の方法。

【請求項 58】

前記表面から放出された電子電流を決定することが、前記試料と前記試料と直接にまたは間接的に接触したグラウンドとの間の電流を測定することを含む、請求項 57 に記載の方法。

30

【請求項 59】

前記放出物のある特性を決定することが、前記試料から放出された電子のエネルギーを決定することを含む、請求項 49 ~ 58 のいずれかに記載の方法。

【請求項 60】

前記放出物のある特性を決定することが、前記試料から放出された光子を検出することを含む、請求項 49 ~ 58 のいずれかに記載の方法。

【請求項 61】

前記放出物のある特性を決定することが、特性波長を有する光子を検出することを含む、請求項 49 ~ 58 のいずれかに記載の方法。

40

【請求項 62】

前記放出物のある特性を決定することが、前記特性波長以外の波長を有する光子をフィルタリングによって除去することを含む、請求項 61 に記載の方法。

【請求項 63】

前記放出物のある特性を決定することが、前記表面から放出された粒子の質量を決定することを含む、請求項 49 ~ 62 のいずれかに記載の方法。

【請求項 64】

前記放出物のある特性を決定することが、前記表面から放出された粒子の電荷対質量比を決定することを含む、請求項 49 ~ 63 のいずれかに記載の方法。

50

【請求項 6 5】

前記表面から放出された粒子の質量を決定する前に中性粒子をイオン化することをさらに含む、請求項 6 3 に記載の方法。

【請求項 6 6】

中性粒子をイオン化することが、レーザ・ビームを使用して中性粒子をイオン化することを含む、請求項 6 5 に記載の方法。

【請求項 6 7】

中性粒子をイオン化することが、電子ビームを使用して中性粒子をイオン化することを含む、請求項 6 5 に記載の方法。

【請求項 6 8】

中性粒子をイオン化することが、第 1 のレーザ・ビームによって前記試料から追い出された展開中の放出物をイオン化するために、時間遅延レーザ・ビームを誘導することを含む、請求項 6 5 に記載の方法。

【請求項 6 9】

中性粒子をイオン化することが、第 2 のレーザ・ビームを使用して中性粒子をイオン化することを含む、請求項 6 5 に記載の方法。

【請求項 7 0】

前記表面から放出された粒子の質量を決定することが、誘導結合プラズマ質量分析法を使用して質量を決定することを含む、請求項 6 3 に記載の方法。

【請求項 7 1】

前記試料に向かって前記レーザ・ビームを誘導することが、1 ピコ秒未満のパルス持続時間を有するパルス・レーザを前記試料に向かって誘導することを含む、請求項 4 9 ~ 7 0 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7 2】

前記放出物のある特性を決定することが、狭帯域検出器を使用して、指定された特性を有する放出物だけを検出することを含む、請求項 4 9 ~ 7 1 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7 3】

前記放出物のある特性を決定することが、前記放出物の電流を決定することを含む、請求項 4 9 ~ 7 2 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7 4】

前記放出物のある特性を決定することが、前記放出物のエネルギーを決定することを含む、請求項 4 9 ~ 7 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7 5】

前記放出物のある特性を決定することが、前記放出物のエネルギー・スペクトルを決定することを含む、請求項 4 9 ~ 7 4 のいずれかに記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本出願は、参照により本明細書に組み込まれている、2008 年 7 月 9 日に出願した米国仮出願第 61 / 079,304 号の優先権を主張するものである。

【0002】

本発明は、レーザ・マイクロ機械加工 (laser micromachining) に関する。

【背景技術】**【0003】**

基板から材料を除去して、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プロセスは、マイクロ機械加工と呼ばれる。材料を除去するプロセスは、ミリング (milling) またはエッチング (etching) とも呼ばれる。マイクロ機械加工に対しては、レーザ・ビームおよび荷電粒子ビームが使用される。これらのビームはそれぞれ、さまざまな用途において利点および限界を有する。

10

20

30

40

50

【0004】

レーザ・システムは、マイクロ機械加工にいくつかの異なる機構を使用する。いくつかのプロセスでは、基板に熱を供給して化学反応を誘発させるために、レーザを使用する。反応は、レーザが熱を供給する領域だけで起こるが、この熱は、レーザ・ビーム・スポットよりも広い面積に拡散する傾向があり、それによりプロセスの解像度が制限される。レーザ・マイクロ機械加工において使用される他の機構が光化学エッチングであり、光化学エッチングでは、基板の個々の原子によってレーザ・エネルギーが吸収され、それにより、これらの原子が、化学的に反応することができる状態にまで励起される。光化学エッチングは、光化学的に活性な材料に限定される。レーザ機械加工において使用される他の機構がレーザ・アブレーション (laser ablation) であり、レーザ・アブレーションでは、小さな体積に急速に供給されたエネルギーによって原子が基板から放出され、基板が加熱されることはない。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」という名称の米国再発行特許第 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

【0005】

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追い出すことによってマイクロ機械加工するのに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、エッチング剤との化学反応を誘発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、粒子のタイプおよびビーム中の電流を含む多くの因子に依存する。低電流を有するビームは一般に、高電流を有するビームよりも小さなスポットに集束させることができ、したがって、高電流を有するビームよりも小さな構造を形成することができるが、低電流ビームでは、構造体をマイクロ機械加工するのに、高電流ビームよりも長い時間がかかる。

20

【0006】

レーザは一般に、荷電粒子ビームよりもはるかに高速で基板にエネルギーを供給することができるが、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早い材料除去速度を有する。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大きい。ビームを集束することができるサイズはその波長によって制限されるため、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 頁 (2004 年) (「Joglekar 他」) は、イオン化に対する臨界強度に近い約 10 ピコ秒よりも短いレーザ・パルスを使用して、波長よりも小さなフィーチャ (feature) を達成することができることを示している。それでも、Joglekar 他によって達成可能なフィーチャ・サイズは、多くのナノテクノロジー用途に対して十分に小さいとは言えない。

30

40

【0007】

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マイクロ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、マイクロ機械加工操作は許容できないほどに低速となることがある。一方、レーザ・マイクロ機械加工は高速とすることができるが、そのより長い波長のため、解像度は本質的に限られている。

【0008】

レーザのより高速なマイクロ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 つの方法は、試料を逐次的に加工する方法である。逐次加工は例えば、M. Pa

50

paniccia他、「Novel Optical Probing and Micromachining Techniques for Silicon Debug of Flip Chip Packaged Microprocessors」、Microelectronic Engineering 46 (27~34頁、1999年) (「Paniccia他」) によって記述されている。Paniccia他は、レーザ誘起化学エッチングを使用して大半の材料を除去し、次いで荷電粒子ビームを使用して、より精密な最終マイクロ機械加工を実施する、半導体フリップ・チップの活性部分にアクセスする既知の技法を記述している。この逐次加工の問題は、より高速ではあるが精密さに劣るレーザ・マイクロ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決定することである。レーザ加工を停止するのが早すぎる場合には、荷電粒子ビームによって除去する材料が過剰に残り、レーザ加工を停止するのが遅すぎる場合には、加工物が損傷する。加工をいつ停止するかの決定は「終点決定(endpointing)」と呼ばれる。

10

【0009】

荷電粒子ビーム加工において終点を決定する技法は知られており、例えばRay他の米国特許公開第2005/0173631号に記載されている。このような技法は例えば、下にある回路が露出し、またはほぼ露出したときに2次粒子の放出が変化するように、ある変化する電圧を下にある回路に印加することを含む。この2次粒子の放出を観察することによって、オペレータは、埋込み導体などのフィーチャがいつ露出したか判定することができる。他の荷電粒子ビーム終点決定法は例えば、荷電粒子ビームによって注入された荷電粒子に起因するトランジスタの漏れ電流を検出することを含む。レーザ加工は一般に真空室内では実行されず、そのため2次電子およびイオンを捕集することはできない。

20

【0010】

イオン・ビーム加工では、イオン・ビームが衝突している材料がいつ変化したか判定するために、基板から放出された指定された周波数の光子を検出することも知られている。このような方法は例えば、本出願の譲受人に譲渡された、Ward他の「Focused Ion Beam Imaging and Process Control」という名称の米国特許第4,874,947号に記載されている。Ward他は、イオン・ビーム・システムにおいて光子を検出して終点を決定することを記載しているが、低い光子信号を捕集するのが困難であるため、この技法は広範には使用されていない。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】米国仮出願第61/079,304号

【特許文献2】米国再発行特許第37,585号

【特許文献3】米国特許公開第2005/0173631号

【特許文献4】米国特許第4,874,947号

【非特許文献】

【0012】

【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頁(2004年)

40

【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、(27~34頁、1999年)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 1 3 】

本発明の目的は、レーザ加工の制御を向上させることによってマイクロ機械加工を改良することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、試料から材料を除去するため試料にレーザ・ビームを誘導する。試料からの放出物を検出することによって、レーザ加工の終点を決定する。

【 0 0 1 5 】

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。開示された着想および特定の実施形態を、本発明と同じ目的を達成するために他の構造を変更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すべきである。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すべきである。

【 0 0 1 6 】

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、添付図面に関して書かれた以下の説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図 1】試料からの放出物を使用してレーザ加工の終点を決定する本発明の一実施形態を示す図である。

【図 2】試料から放出された光子を使用してレーザ加工の終点を決定する本発明の一実施形態を示す図である。

【図 3】試料から放出された電子を使用してレーザ加工の終点を決定する本発明の一実施形態を示す図である。

【図 4】レーザ加工の終点を決定する本発明の一実施形態に基づく好ましいステップを示す流れ図である。

【図 5】レーザ・レンズなどの構成要素に対する 2 次粒子による損傷を低減させる一実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

本発明のさまざまな実施形態は、さまざまな手段を使用してレーザ加工を向上させる。本発明の実施形態は、十分なフルエンス (f l u e n c e) 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 1 つのレーザは、短パルス・レーザ・ビーム、すなわちナノ秒ないしフェムト秒パルス・レーザ・ビームを提供する。適切なレーザには例えば、T i : サファイア発振器、ファイバ・ベースのレーザ、あるいはイッテルビウム・ドープまたはクロム・ドープの薄ディスク・レーザ (t h i n d i s k l a s e r) などがある。

【 0 0 1 9 】

短レーザ・パルス、すなわちナノ秒ないしフェムト秒レーザ・パルスによる基板のアブレーションには、基板からのさまざまな放出物が付随する。本発明の実施形態は、基板からの放出物を使用して、レーザ・マイクロ機械加工の進捗状況を決定し、ある加工段階がいつ完了したか判定する。放出粒子の放出イールド (e m i s s i o n y i e l d) およびエネルギー・スペクトルは材料に依存する。第 1 の材料が除去されて第 2 の材料が露出すると、材料の境界面で放出物に変化する。検出器は、放出物がいつ変化したか判定することができる、この放出物の変化は、ビームの下で材料が変化したことを示す。第 2 の材料に特有の放出物が検出されたとき、または第 1 の層に特有の放出が止んだときに、オペレータは、レーザ・ミリング操作の進捗状況を知ることができる。放出物の変化が検出されると、オペレータまたはシステムは、例えば加工を停止することにより、自動的にまたは手動でプロセスを変更することができる。

【0020】

試料からの放出物は、ルミネセンス、例えば赤外（IR）から紫外（UV）～X線範囲のルミネセンス、電子、イオン、中性原子または分子、および粒子ノドロップレット（droplet）を含む。異なる用途における終点決定には、加工中の材料のタイプおよび加工環境に応じた、異なるタイプの放出物が有用である。加工環境には例えば、大気圧の通常大気、高真空、すなわち圧力が約 10^{-3} ミリバール未満の真空、圧力約 1 ミリバールから 50 ミリバールの各種ガスなど走査型環境電子顕微鏡に適した真空、あるいは、適切な圧力の適切なガスの制御されたガス環境などが含まれる。表面から放出されたイオンを、質量分析法によって直接に分析して、表面から追い出された材料がいつ変化したか判定することができ、この変化は、境界に到達したことを示す。2 次イオン質量分析用のシステムは、市販の集束イオン・ビーム・システムの一般的な付属システムである。一般にプラズマ・ブルーム（plasma plume）と呼ばれる展開中の放出物（evolving emission）の中に存在する中性原子および分子をイオン化するため、展開中の放出物に、第 2 の時間遅延レーザ・ビームを共点集束させることができる。この第 2 のビームは、別個の追加のレーザを起源とすることができ、または標準ビーム・スプリッタを使用することによって 1 次ビームと同じレーザを起源とすることができ、1 次ビームの到着と 2 次ビームの到着との間の間隔（時間遅れ）は、2 次ビームの経路長を調整することによって調整することができ、次いで、この 2 次イオン化によって生じたイオンを質量分析法によって分析することができ、粒子およびドロップレットも誘導結合プラズマ質量分析法によって分析することができ、

10

20

【0021】

終点決定にルミネセンスを使用するときには、ミリングされた穴の底を「予見する（looking ahead）」ことができるという利点がある。すなわち、レーザ・パルスによって生成されたプラズマは、パルスによって除去される体積を超えて伝搬するため、表面の直ぐ下の原子がレーザ・パルスによって励起される。したがって、表面の直下から光子が放出され、この放出物は、マイクロ機械加工をいつ止めるべきかについてのより適時の指標を提供する。すなわち、第 2 の材料からの光子を指標として使用するときには、第 1 の材料が完全に除去される少し前に、第 2 の材料からの光子を検出することができる。同様に、第 1 の材料からの光電子放出も、第 1 の材料が完全に除去される少し前に減衰し始める。終点決定は、レーザ・ビームまたは荷電粒子ビームによって起こる表面からの放出光子の流れを検出することによって実行することができる。

30

【0022】

光子以外の放出物を終点決定に使用するときには一般に、空気分子が放出物の捕集を妨げないように、基板を低圧環境中または真空中に維持しなければならない。光子を指標として使用するときには、レーザを、真空中で、大気圧で、または制御されたガス環境中で操作することができる。

【0023】

検出器は、1 つまたは複数のタイプの放出物の強度を決定する一般的な検出器とすることができる。検出器は一般に、（基準を含む）粒子を計数し、または粒子電流を測定し、検出器感度を粒子エネルギーの関数として定義する特性エネルギー応答を有する。終点決定に使用される信号の変化を検出する能力を最大にするため、検出器出力を適時に微分することができる。エネルギー、電荷、質量または電荷対質量比が異なる粒子を検出するため、複数の検出器を並行して使用することができる。例えば、光電子増倍管、半導体検出器などの広帯域光子検出器を使用して、基板から放出された光の強度を測定することができる。終点決定信号の材料依存性が最大になるように、この検出器を最適化することができる。例えば、エネルギー・フィルタリング分光計（energy filtering spectrometer）を、埋込み層または被覆層からの予想される特定の信号を検出するように調整することができる。ある実施形態では、回折格子を使用して光を分散させ、スリットを使用して所与の周波数帯内の光を通過させ、次いでその光を広帯域光子検出器によって検出することができる。スリットの代わりに、被覆材料に特有の光を吸収

40

50

し、埋込み材料に特有の光を透過させ、または埋込み材料に特有の光を吸収し、被覆材料に特有の光を透過させる１つまたは複数の吸収フィルタを使用して、埋込み材料が露出し、またはほぼ露出したときに信号を提供することもできる。あるいは、回折格子を使用して、電荷結合素子アレイ上に光を分散させることもできる。放出スペクトルは、アレイ内の異なるセルにおいて測定される信号の強度によって決定される。異なるセルにおいて測定された信号を使用して、被覆および埋込み層から放出された特性信号の強度を監視することができる。

【 0 0 2 4 】

金属、半導体、絶縁体などのさまざまな材料が、ミリング中の材料層、またはミリング中の材料層の下材料層を構成する。例えば、一般的な材料には、Si、SiO₂、Cu、Al、Au、Ag、Cr、Mo、Pt、W、Ta、低k誘電体、高k誘電体、Al₂O₃、SiC、Si₃N₄、GaN、AlN、Al_xGa_(1-x)N、In_xGa_(1-x)As、In_xGa_(1-x)AsおよびGeなどがある。終点決定指標として光子を検出するとき、これらの光子は一般に、0.01 nmから1000 nm、より典型的には300 nmから800 nmの波長を有することになる。より短波長用のX線検出器からより長波長用の赤外線検出器までの適切な検出器を使用することができる。当業者は、さまざまな被覆材料およびその下の材料の特性放出スペクトルを容易に決定することができる。被覆材料の特性信号の周波数とその下の材料の特性信号の周波数とが互いに近くないとき、終点決定の実現はより容易になる。

【 0 0 2 5 】

終点決定指標として電子を使用するときには、イオン・ビーム・カラムと電子ビーム・カラムとを含むデュアル・ビーム・システムなどの荷電粒子ビーム・システムにおいて現在使用されているタイプの電子検出器を使用することが好ましい。このような検出器には例えば、電子が衝突したときに光を放出するシンチレータと放出された光信号を増幅する光電子増倍管とを備える高効率エバーハート・ソーンリー(Everhart-Thornley)検出器が含まれる。エバーハート・ソーンリー検出器は一般にレーザ軸からずらして取り付けられ、試料によって放出された電子を引き寄せるため、シンチレータの前のスクリーンに、試料に対する電圧が印加される。指定されたエネルギー・レベルよりも低い電子を排除するため、試料にバイアスをかけて、低エネルギー電子の捕集を防ぐことができる。検出される電子は一般に約20 eV未満のエネルギーを有するが、一部の用途では1,000 eVまでのエネルギーを有する電子が有用であることがある。ある実施形態では、基板材料に特有の電子電流を有する幅広いエネルギー帯内の電子が捕集される。他の実施形態では、材料を特徴づけるために電子のエネルギーが決定される。

【 0 0 2 6 】

いくつかの実施形態では、真空室内で試料表面から放出された粒子を検出するのではなく、試料からグラウンドへの電流を測定することができる。例えばプローブによって直接に、または例えば試料ステージを介して間接的に、グラウンドを試料に物理的に接触させる。グラウンドへまたはグラウンドから流れる電流は、ビームが衝突している試料表面を出る電流に等しい。

【 0 0 2 7 】

図1は、本発明を実施する好ましいシステム100を示す。ビーム103を生成するレーザ102は一般に、機械加工中の材料に対するしきい値よりも高いフルエンスで操作される。例えば、Mourouは、10 nJから1 mJの範囲のエネルギーおよび0.1 J/cm²から100 J/cm²の範囲のフルエンスを有する好ましい1つのビームを教示している。一実施形態では、レーザ・ビームのエネルギーが30 nJ、フルエンスが0.4 J/cm²である。ビーム103は試料104に誘導され、試料104は、基板材料106および被覆材料108を含むことがある。試料104は一般に、異なる材料からなるいくつかの層を有する。試料104は一般に、2軸精密X-Yステージ109上に配置される(追加の軸は、最初の2軸に垂直な方向の平行移動、傾斜および回転を含むことができる)。検出器110は、試料104からの放出物112を検出する。被覆材料108が除

去され、基板材料 106 が露出すると、放出物 112 は変化する。コンピュータ 120 は検出器 110 から信号を受け取り、信号の変化は、ビームの下に材料が変化したことを示し、それにより、オペレータが、機械加工の進捗状況を監視し、適切な処置をとることを可能にし、あるいはシステムが、加工がそれ以上進まないようにレーザ 102 を自動的に停止するなどの措置を自動的にとることを可能にする。コンピュータ 120 に接続された表示装置 122 は、試料 104 の画像を含む情報をオペレータに提供することができる。上述のとおり、この検出器は、レーザ・アブレーションまたは他のレーザ加工の結果として放出された光子、電子、イオン、中性粒子またはドロップレットを検出することができる。システム 100 は、任意選択で、加工または画像化目的に使用することができる、電子ビーム・カラムまたはイオン・ビーム・カラム、あるいはその両方などの 1 つまたは複数の荷電粒子ビーム・カラム 130、および試料 104 の画像を形成する 2 次電子検出器 132 を含む。荷電粒子ビーム・カラム 130 または 2 次電子検出器 132 が使用されるときには、基板は真空中に維持される。ある実施形態では、画像を形成するための 2 次電子信号の検出および終点決定信号の検出に、検出器 110 を使用することができる。

【0028】

図 2 は、検出器が光子検出器 210 を含むシステム 200 を示し、光子検出器 210 は、試料 104 から光を分散させる回折格子 212 (代わりにプリズムを使用することもできる) として概略的に示されたモノクロメータ (monochromator) と、この分散光を、周波数に応じて異なる点に集束させるレンズ 214 と、下にある材料に特有のスペクトルを有する光を通過させるスリット 216 と、スリット 216 を通過した光を検出する光子検出器 218 とを含む。コンピュータ 120 は光子検出器 210 から信号を受け取り、この信号を解釈して、レーザ・ビームの下に材料がいつ変化したか判定する。コンピュータ 120 は例えば、ある加工段階が完了したことを放出物の変化が示しているときに、オペレータに信号を提供し、または加工がそれ以上進まないようにレーザ 102 を自動的に停止することができる。基板の下に配置された代替光子検出器 222 が示されている。光子検出器のこのような配置は、基板が特性光信号に対して透明であるとき、すなわち基板材料のバンド・ギャップが検出中の光子のエネルギーよりも大きいときにのみ有用である。試料の下に光子検出器が使用されるときには、ステージが、光を透過させる隙間または透明な窓 224 を含む。光子検出器 222 は、スリットおよび光電子増倍管を使用する検出器ではなく、異なる周波数に対応する異なる位置における光信号の強度を検出する電荷結合素子 (CCD) のアレイ 226 を含む広帯域スペクトル検出器である。いずれの位置でも両方のタイプの検出器を使用することができる。

【0029】

図 3 は、電子を検出して終点を決定するレーザ加工システム 300 を示す。システム 300 では、基板 104 が真空室 302 内に配置される。電子検出器 306 は、スクリーン 308、シンチレータ 310 および光電子増倍管 312 を含むエバーハート・ソーンリー検出器である。スクリーン 308 には約 50 ボルトの低電圧が印加され、シンチレータには約 10,000 V の高電圧が印加される。電子は、試料からスクリーンへ向かって加速され、次いでより大きなエネルギーに加速されて、シンチレータ内で光子の放出を引き起こす。それらの光子は電子に変換され、光電子増倍管において増倍される。

【0030】

図 4 は、図 1 のシステムの動作を示す流れ図である。ステップ 402 で、基板に向かってレーザを誘導する。ステップ 404 で、基板からの放出物を検出する。判断ブロック 406 で、レーザ・マイクロ機械加工が被覆材料を貫通切削し、またはほぼ貫通切削したことを、放出物の変化が示しているかどうかを判定する。レーザ・マイクロ機械加工が被覆材料を貫通切削し、またはほぼ貫通切削したことを、放出物の変化が示している場合には、プロセスを変更する。そうでない場合には、ステップ 402 に戻ってプロセスを継続する。プロセスの変更は例えば、レーザ・ビームを停止すること、パルスあたりのフルエンスなどのレーザ・パラメータを変えること、ガス流量を変えること、電子またはイオン・ビームをブランキング (blanking) すること、あるいは試料を支持しているステ

ージを動かすことを意味する。放出物は、連続的にまたは定期的に監視することができる。放出物を定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にその下の材料に対する許容できない損傷を防ぐため、その周期は十分に短くなければならない。

【0031】

いくつかの実施形態では、電子ビームなどの荷電粒子ビームを使用して、レーザ・マイクロ機械加工の終点決定信号を生成することができる。この電子ビームは、例えばレーザ・アブレーション中のレーザ・ビームと同じ点に入射し、このレーザ・ビームと同時にまたは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を終点決定信号として使用する場合には、電子ビーム・エネルギーを調整して、終点決定の「予見」能力を調節することができる。

10

【0032】

基板表面から材料が追い出されたときに、追い出された粒子が、レンズに付着し、またはレンズの材料をスパッタリングすることによって、レーザ・レンズの光学的品質を低下させることがある。図5は、2次粒子によるレーザ・レンズおよび真空システム内の他の構成要素の損傷を低減させることができる1つのシステムを示す。図5は、試料506に向かって荷電粒子ビーム504を誘導する、集束イオン・ビーム・カラムなどの荷電粒子ビーム・カラム502を含むシステム500を示す。システム500はさらに、レーザ・ビーム512を試料506上に集束させるレンズ510を有するレーザ・システム508を含む。レーザ・システム・ビーム512と荷電粒子ビーム504は同じ点に入射することが好ましい。すなわち、レーザ・システム・ビーム512と荷電粒子ビーム504は試料506の同じ領域に衝突することが好ましい。レーザ・ビームは一般に、試料506上において、荷電粒子ビームよりも大きなスポット・サイズを有する。垂直方向を向いたレーザ・システム508および垂直に対して傾斜した荷電粒子ビーム・カラム502が示されているが、これらのシステムはともに、適切な任意の向きに配置することができる。

20

【0033】

試料506は精密可動ステージ516上に置かれる。荷電粒子ビーム504が試料506に衝突すると、電子およびイオンを含む2次粒子518が放出される。このイオンがレーザ・レンズ510に衝突し、その光学的品質を低減させることがある。2次粒子518の経路をレーザ・レンズ510からそらして、損傷を低減させ、または排除する電場を生み出すため、電極520および522を電圧源（図示せず）に接続する。電極520および522を使用して、画像化または終点決定用の2次粒子518を検出することもできる。2次電子信号を増幅するため、電極520に増幅器524を接続することができる。これに加えて、またはこれに代えて、画像化または終点決定用の陽イオン信号を増幅するため、電極522に増幅器526を接続することもできる。

30

【0034】

好ましい一実施形態では、電極520と電極522の間に約300Vから400Vの電位が印加される。好ましい電圧は実施態様によって異なるが、一般的には数十ボルトから数千ボルトとし、好ましくは数百ボルトとする。電極520および522の形状を変更して、レーザ・レンズまたは試料の上方の他の構成要素に衝突する粒子を再誘導するように電場を整形することができる。ある実施形態では、単一の電極を使用することができる。ある実施形態では、電極520および522の代わりに、磁場を使用して、損傷に敏感な構成要素から荷電粒子をそらすこともできる。

40

【0035】

本発明の好ましい実施形態によれば、

- ・構造を形成し、または改変するために試料に向かってレーザ・ビームを誘導すること、
- ・レーザ・ビームの入射に起因する試料からの放出物を検出すること、
- ・試料に特有の放出物のある特性を決定すること、および
- ・レーザ・ビームが入射している材料が変化したことを放出物が示しているときに、レ

50

ーザ・ビーム加工を変更すること

によるレーザ・ビーム加工によって、構造が形成され、または改変される。

【0036】

本発明の好ましい実施形態によれば、レーザ・ビーム加工を変更することは、試料に向かってレーザ・ビームを誘導するのを止めること、ガス流量を変えること、パルスあたりのフルエンスなどのレーザ・パラメータを変えること、電子またはイオン・ビームをブランキングすること、あるいは試料を支持しているステージを動かすことを含む。

【0037】

本発明の好ましい実施形態によれば、試料に向かってレーザ・ビームを誘導することは、 10^{-3} ミリバール未満または50ミリバール未満の圧力を有する環境中で試料に向かってレーザ・ビームを誘導することを含む。

10

【0038】

本発明の好ましい実施形態によれば、放出物のある特性を決定することは、試料から放出された電子電流を決定することを含む。表面から放出された電子電流を決定することは、試料と試料に直接にまたは間接的に接触したグランドとの間の電流を測定することを含む。

【0039】

本発明の好ましい実施形態によれば、放出物のある特性を決定することは、試料から放出された電子のエネルギーを決定すること、または試料から放出された光子を検出することを含む。試料から放出された光子を検出することは、特性波長を有する光子を検出すること、および/または特性波長以外の波長を有する光子をフィルタリングによって除去することを含む。

20

【0040】

本発明の好ましい実施形態によれば、放出物のある特性を決定することは、表面から放出された粒子の質量を決定すること、および/または表面から放出された粒子の電荷対質量比を決定することを含む。

【0041】

本発明の好ましい実施形態はさらに、表面から放出された粒子の質量を決定する前に中性粒子をイオン化することを含む。本発明の好ましい実施形態によれば、中性粒子をイオン化する方法は、レーザ・ビームまたは電子ビームを使用して中性粒子をイオン化すること、あるいは第1のレーザ・ビームによって試料から追い出された展開中の放出物をイオン化するために、第2の時間遅延レーザ・ビームを誘導することを含む。

30

【0042】

本発明の好ましい実施形態によれば、表面から放出された粒子の質量を決定することは、誘導結合プラズマ質量分析法を使用して質量を決定することを含む。

【0043】

本発明の好ましい実施形態によれば、試料に向かってレーザ・ビームを誘導することは、1ピコ秒未満のパルス持続時間を有するパルス・レーザを試料に向かって誘導することを含む。

【0044】

本発明の好ましい実施形態によれば、放出物のある特性を決定することは、狭帯域検出器を使用して、指定された特性を有する放出物だけを検出すること、放出物の電流またはエネルギーを決定すること、あるいは放出物のエネルギー・スペクトルを決定することを含む。

40

【0045】

本発明の好ましい実施形態はさらに、試料に向かって荷電粒子ビームを誘導することを含む。

【0046】

本発明の好ましい実施形態によれば、

・構造を形成し、または改変するために試料に向かってレーザ・ビームを誘導すること

50

、

- ・ 試料に向かって荷電粒子ビームを誘導すること、
- ・ 荷電粒子ビームの入射に起因する試料からの放出物を検出すること、
- ・ 試料に特有の放出物のある特性を決定すること、および
- ・ レーザ・ビームが入射している材料が変化したことを放出物が示しているときに、レーザ・ビーム加工を変更すること

によって、試料上に構造が形成される。

【 0 0 4 7 】

本発明の好ましい実施形態によれば、構造を形成することは、レーザ・ビームと粒子ビームを、同時にまたは連続的に試料に入射するように誘導することを含む。

10

【 0 0 4 8 】

本発明の好ましい実施形態によれば、荷電粒子ビームは電子ビームまたはイオン・ビームであり、荷電粒子ビームの入射に起因する試料からの放出物を検出することは、2次電子、後方散乱電子または透過電子を検出することを含む。

【 0 0 4 9 】

本発明の好ましい実施形態によれば、荷電粒子ビームは電子ビームであり、荷電粒子ビームの入射に起因する試料からの放出物を検出することは、(X線を含む)光子を検出することを含む。

【 0 0 5 0 】

本発明の好ましい実施形態によれば、試料からの放出物を検出することは、表面よりも下方の材料からの放出物を検出することを含む。

20

【 0 0 5 1 】

本発明の好ましい実施形態によれば、試料を形成し、または改変するシステムは、

- ・ 試料を保持する試料ホルダと、
- ・ 試料に向かってレーザ・ビームを誘導する高速パルス・レーザと、
- ・ レーザ・ビームの衝突に起因する試料からの放出物であり、試料に特有の放出物を検出する検出器と

を備える。

【 0 0 5 2 】

本発明の好ましい実施形態によれば、試料を形成し、または改変するこのシステムは、試料を真空中で保持する試料ホルダを含む。

30

【 0 0 5 3 】

本発明の好ましい実施形態によれば、試料を形成し、または改変するこのシステムは、電子検出器である放出物検出器を含む。この放出物検出器はさらに、質量分析器または分光計、誘導結合プラズマ質量分析器または分光計、光子検出器、エネルギー分散型X線分光法検出器、あるいは波長分散型X線分光法検出器を含む。

【 0 0 5 4 】

本発明の好ましい実施形態によれば、構造を形成し、または改変する装置は、

- ・ 試料を保持する真空室、
- ・ 真空室内の試料に対して動作するレーザ・システムであり、レンズを含むレーザ・システム、
- ・ 荷電粒子またはレーザ・ビームが衝突したときに試料から放出された2次粒子によってレーザ・システム・レンズが損傷することを防ぐために、2次粒子をレーザ・システム・レンズからそらす偏向器、
- ・ 荷電粒子またはレーザ・ビームが衝突したときに試料から放出された2次粒子によって荷電粒子光学カラム構成要素が損傷することを防ぐために、2次粒子を荷電粒子光学カラム構成要素からそらす偏向器、および/あるいは、
- ・ 荷電粒子またはレーザ・ビームが衝突したときに試料から放出された2次粒子によって装置の構成要素が損傷することを防ぐために、2次粒子を装置の構成要素からそらす偏向器

40

50

を含む。

【0055】

本発明の装置の好ましい実施形態によれば、偏向器は、2次粒子電流を決定するために増幅器に電氣的に接続された電極、一組の電極または磁気偏向器を含む。

【0056】

本発明の好ましい実施形態によれば、構造を形成し、または改変する方法は、

- ・試料を保持する真空室と、荷電粒子ビーム・カラムと、真空室内の試料に対して動作する、レンズを含むレーザ・システムとを含むシステムを用意すること、および
- ・試料に向かって荷電粒子ビームを誘導すること

を含み、荷電粒子ビームの衝突は2次粒子の放出を引き起こし、この方法はさらに、

- ・2次粒子によってレーザ・システム・レンズが損傷することを防ぐために2次粒子をレーザ・システム・レンズからそらすための場を提供すること、
 - ・2次粒子を放出物検出器からそらすための場を提供すること、および
 - ・2次粒子を荷電粒子光学カラムの構成要素からそらすための場を提供すること
- を含む。

10

【0057】

本発明の好ましい実施形態によれば、2次粒子をレーザ・システム・レンズのレンズからそらす方法は、荷電粒子をそらすための静電場を発生させるために電極を提供すること、または荷電粒子をそらすように設計された電場を発生させるために多数の電極を提供することを含む。

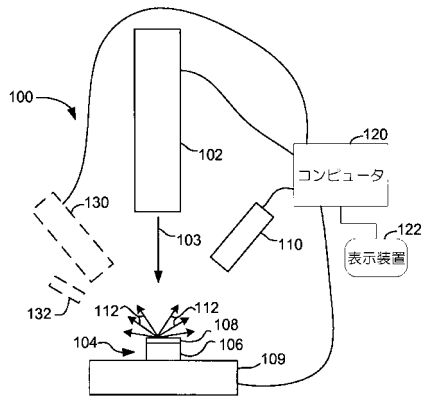
20

【0058】

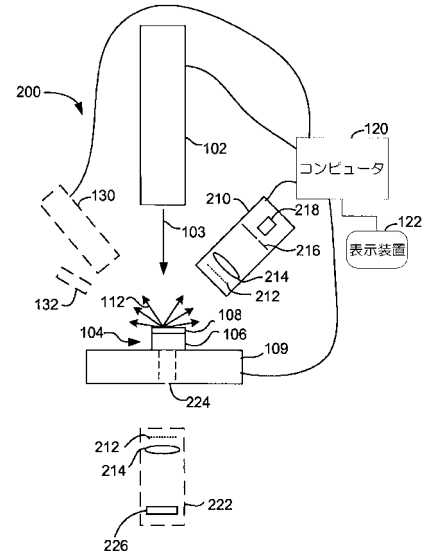
本発明および本発明の利点を詳細に説明したが、添付の特許請求の範囲によって定義される本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、さまざまな変更、置換および改変を加えることができることを理解すべきである。さらに、本出願の範囲が、本明細書に記載されたプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法およびステップの特定の実施形態に限定されることは意図されていない。当業者なら本発明の開示から容易に理解するように、本明細書に記載された対応する実施形態と実質的に同じ機能を実行し、または実質的に同じ結果を達成する既存のまたは今後開発されるプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを、本発明に従って利用する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

30

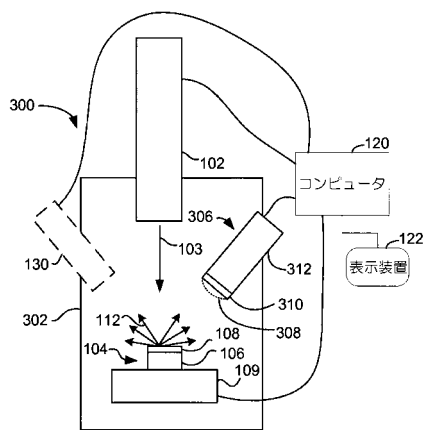
【図 1】



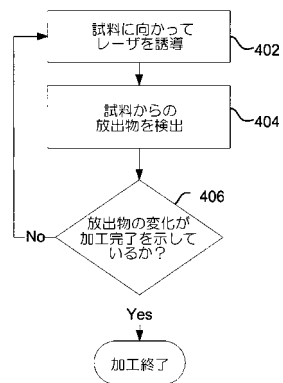
【図 2】



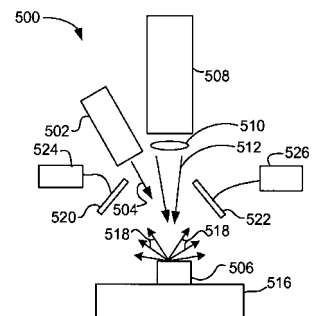
【図 3】



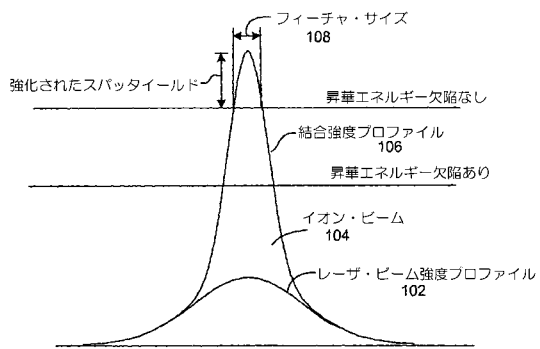
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【手続補正書】

【提出日】平成23年5月12日(2011.5.12)

【手続補正 1】



【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 6

【補正方法】削除

【補正の内容】

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2009/049961
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B23K 26/36(2006.01)i, B23K 26/42(2006.01)i, G01N 23/225(2006.01)i, B23K 26/12(2006.01)i</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K 26/36; B08B 7/00; B23K 26/00; B23K 26/06		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models (Chinese Patents and application for patent)		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eCOMPASS(KIPO internal) & Keywords: fume,spatter, micromachining		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5254832 A1 (GARTNER GEORG et al.) 19 October 1993 See column 2, line 35 - column 7, line 25.	1-54
A	US 2005-0109747 A1 (DENNIS ALEXANDER) 26 May 2005 See paragraphs 167-196.	1,26,34,42,46,49
A	JP 11-507298 A (CAULDRON LIMITED PARTNERSHIP) 29 June 1999 See abstract.	1,26,34,42,46,49
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 FEBRUARY 2010 (24.02.2010)		Date of mailing of the international search report 26 FEBRUARY 2010 (26.02.2010)
Name and mailing address of the ISA/KR  Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Seo-gu, Daejeon 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140		Authorized officer KANG, Min sug Telephone No. 82-42-481-5860 

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US2009/049961

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☒ Claims Nos.: 55-75
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2009/049961

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5254832 A1	19.10.1993	EP 0442163 A1 EP 0442163 B1 JP 04-214859 A	21.08.1991 27.07.1994 05.08.1992
US 2005-0109747 A1	26.05.2005	US 6864457 B1	08.03.2005
JP 11-507298 A	29.06.1999	CA 2222502 C CA 2570713-A1 CN 100390938 G0 CN 1066644 C CN 1078415 A0 CN 1096313 C CN 1125917 A CN 1125917 C0 CN 1166145 A CN 1166145 C0 CN 1194057 A0 EP 0350021 A2 EP 0350021 A3 EP 0350021 B1 EP 0633823 A1 EP 0633823 A4 EP 0633823 B1 EP 0693978 A1 EP 0693978 A1 EP 0693978 B1 EP 0782483 A1 EP 0782483 A1 EP 0782483 B1 EP 0834191 A1 EP 0834191 A1 EP 0834191 B1 JP 02-086128 A JP 02-634245 B2 JP 02-820534 B2 JP 03-267977 B2 JP 04-089833 B2 JP 08-509652 A JP 10-504139 A JP 2634245 B2 JP 2820534 B2 KR 10-0157608 B1 KR 10-0221421 B1 KR 10-0265583 B1 KR 10-1996-0701709 A KR 10-1999-0022679 A US 5024968 A1 US 5099557 A1 US 5531857 A1 US 5643472 A1	08.05.2007 19.12.1996 28.05.2008 06.06.2001 17.11.1993 18.12.2002 03.07.1996 03.07.1996 26.11.1997 26.11.1997 23.09.1998 10.01.1990 23.05.1990 05.05.1993 18.01.1995 15.02.1995 02.06.1999 20.01.1999 31.01.1996 24.11.1999 21.01.1998 09.07.1997 12.07.2000 11.11.1998 08.04.1998 02.01.2002 27.03.1990 25.04.1997 28.08.1998 11.01.2002 28.05.2008 15.10.1996 14.04.1998 23.07.1997 05.11.1998 01.12.1998 15.09.1999 15.09.2000 28.03.1996 25.03.1999 18.06.1991 31.03.1992 02.07.1996 01.07.1997

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2009/049961

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
		US 5821175 A1	13.10.1998
		US 5958268 A1	28.09.1999
		US 6048588 A1	11.04.2000
		WO 90-00812 A1	25.01.1990
		WO 93-19888 A1	14.10.1993
		WO 94-23854 A1	27.10.1994
		WO 96-09128 A1	28.03.1996
		WO 96-41370 A1	19.12.1996

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

G 0 1 N 23/221

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ミロス・トス

アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 2 0 9 ポートランド ノースウェスト 9 番アベニュー 3
3 3 エイ・ピー・ティー 6 0 6

(72)発明者 マーク・ウトロート

アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 2 2 4 スカプース ダッチ・キャニオン・ロード 2 9 4 3
0

(72)発明者 デイヴィッド・エイチ・ナラム

アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 1 0 6 バンクス ノース・ウェスト アズール・ドライブ
1 8 8 5 2

(72)発明者 ガイド・クニベルス

オランダ 5 4 8 1 アールエイ スハインデル ファン タイラーン 7

(72)発明者 ゲラルドゥス・ニコラス・アン・ファン・フェーン

オランダ 5 5 8 1 エイチビー ヴァールレ アカシアラーン 4

F ターム(参考) 2G001 AA07 CA03 JA12 MA05 RA04

4E068 CA03 CA17 CB02 CC00 CC01 CE04 CE09 CH01 CJ01 CJ09