

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7244986号

(P7244986)

(45)発行日 令和5年3月23日(2023.3.23)

(24)登録日 令和5年3月14日(2023.3.14)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 Q 30/02 (2010.01)

G 0 1 Q 30/02

G 0 1 Q 80/00 (2010.01)

G 0 1 Q 80/00 1 1 1

G 0 3 F 1/82 (2012.01)

G 0 3 F 1/82

H 0 1 L 21/027(2006.01)

H 0 1 L 21/30 5 0 2 D

G 0 1 Q 60/38 (2010.01)

G 0 1 Q 60/38 1 0 1

請求項の数 12 (全61頁)

(21)出願番号 特願2017-100802(P2017-100802)

(22)出願日 平成29年5月22日(2017.5.22)

(65)公開番号 特開2017-207492(P2017-207492
A)

(43)公開日 平成29年11月24日(2017.11.24)

審査請求日 令和2年5月22日(2020.5.22)

審判番号 不服2021-18007(P2021-18007/J
1)

審判請求日 令和3年12月27日(2021.12.27)

(31)優先権主張番号 15/160,302

(32)優先日 平成28年5月20日(2016.5.20)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者 510036425

レイヴ リミテッド ライアビリティ カ
ンパニー

アメリカ合衆国 フロリダ州 3 3 4 4 5

デルレイ ビーチ サウス コンGRES ア

ベニュー 4 3 0 スイート 7

(74)代理人 100094569

弁理士 田中 伸一郎

(74)代理人 100103610

弁理士 吉 田 和彦

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100098475

弁理士 倉澤 伊知郎

(74)代理人 100130937

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高アスペクト構造からのデブリ除去

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

走査型プローブ顕微鏡 (S P M) チップを使用して、粒子の組成を特定する方法であっ
て、

前記粒子を前記 S P M チップに移送するステップと、

照射源からの第 1 の入射する照射を前記 S P M チップ上の前記粒子に照射するステップ
と、

前記第 1 の入射する照射によって引き起こされた前記粒子からの第 1 の試料照射を照射
検出器により検出するステップと、

前記 S P M チップの周りの前記第 1 の試料照射の検出に基づいて、前記粒子の組成を特定
するステップと、

前記 S P M チップの周りの粒子を検出するために、前記第 1 の試料照射に应答した前記
照射検出器からの第 1 の信号を生成するステップと、を含み、

前記 S P M チップは、前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つに対して、
前記第 1 の信号に基づいて、前記 S P M チップから前記粒子を回収するパッチへ移動する
、方法。

【請求項 2】

前記第 1 の信号に基づいて前記第 1 の試料照射の第 1 の周波数領域スペクトルを生成す
るステップと、

前記第 1 の周波数領域スペクトルからバックグラウンド周波数領域スペクトルを差し引

10

20

くことによって第 2 の周波数領域スペクトルを生成するステップと、

前記第 2 の周波数領域スペクトルに基づいて前記 SPM チップを、前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つに対して、前記 SPM チップから前記粒子を回収するパッチへ移動させるステップと、
を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記 SPM チップが実質的に汚染物質を含まない場合に、前記 SPM チップの照射に対する前記照射検出器の応答に基づいて前記バックグラウンド周波数領域スペクトルを生成するステップを更に含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記照射源からの第 2 の入射する照射を前記 SPM チップに照射するステップと、
前記第 2 の入射する照射によって引き起こされた第 2 の試料照射を前記照射検出器により検出するステップと、
前記第 2 試料照射にตอบสนองした前記照射検出器からの第 2 の信号に基づいて、前記 SPM チップを、前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つに対して、前記 SPM チップから前記粒子を回収するパッチへ移動させるステップと、
を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 2 の信号と前記第 1 の信号との間の差違に基づいて、前記 SPM チップを、前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つに対して移動させるステップを更に含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記照射源からの前記第 1 の入射する照射が、X 線、可視光、赤外光、紫外光、電子ビーム、及びレーザのうちの少なくとも 1 つである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記照射源からの前記第 2 の入射する照射が、X 線、可視光、赤外光、紫外光、電子ビーム、及びレーザのうちの少なくとも 1 つである、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 8】

前記第 2 の入射する照射は、前記第 1 の入射する照射とは異なるタイプの照射である、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記第 1 の試料照射は、前記第 1 の入射する照射が前記 SPM チップと相互作用することによって生成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記第 1 の試料照射は、前記第 1 の入射する照射が前記 SPM チップ上に配置されたデブリと相互作用することによって生成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記照射源からの前記第 1 の入射する照射の強度又は周波数を調整するステップを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記照射源からの前記第 2 の入射する照射の強度又は周波数を調整するステップを更に含む、請求項 4 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願に対する相互参照)

本特許出願は、2007 年 9 月 17 日出願の米国特許出願第 11 / 898, 836 号 (米国特許第 8, 287, 653 号として交付された) の継続出願である、2012 年 10 月 15 日出願の米国特許出願第 13 / 652, 114 号 (米国特許第 8, 696, 818 号として交付された) の分割出願である、2014 年 2 月 28 日出願の米国特許出願第 1

10

20

30

40

50

4 / 1 9 3 , 7 2 5 号の一部継続出願である、2 0 1 6 年 1 月 2 9 日出願の同時係属中の米国特許出願第 1 5 / 0 1 1 , 4 1 1 号の一部継続出願であり、本特許出願の優先利益を主張する。これら全ては、援用により全体が本明細書に組み込まれる。

【 0 0 0 2 】

(技術分野)

本開示は一般に、ナノ加工プロセスに関する。より詳細には、本開示は、ナノ加工プロセス中及び／又はナノ加工プロセス後のデブリ除去に関する。更に、本開示のデブリ除去処理は、基板に対する何らかの異物の除去に適用することができる。

【 背景技術 】

【 0 0 0 3 】

ナノ加工は、定義によれば、例えば、フォトリソグラフィ用マスク、半導体基板／ウェハ、又は走査型プローブ顕微鏡法 (S P M) が実施可能な何らかの表面から物質のナノスケールの体積を機械的に除去することを伴う。本検討において、「基板」とは、ナノ加工が実施可能な何れかの対象物を指すことになる。

【 0 0 0 4 】

フォトリソグラフィ用マスクの実施例には、標準的フォトマスク (1 9 3 n m 波長、液浸有り又は無し)、次世代リソグラフィ用マスク (インプリント、自己組織化など)、極紫外線リソグラフィ用マスク (E U V 又は E U V L)、及び他の何れかの実行可能な又は有用なマスク技術が含まれる。基板と見なされる他の表面の実施例は、メンブレン、ペリクル膜、マイクロエレクトロ／ナノエレクトロメカニカルシステム・M E M S / N E M S である。本開示における用語「マスク」又は「基板」の使用は、上記の実施例を含むが、他のフォトマスク又は表面も適用可能とすることができることは、当業者には理解されよう。

【 0 0 0 5 】

先行技術におけるナノ加工は、原子間力顕微鏡 (A F M) のカンチレバーアーム上に位置決めされたチップ (例えば、ダイヤモンド切削ビット) を用いて基板の表面に力を加えることにより実施することができる。より具体的に言うと、チップは、最初に基板表面に挿入することができ、次に表面に平行な平面 (つまり、x y 平面) で基板を引きずることができる。これにより、チップが基板に沿って引きずられるにつれて、基板からの物質の変位及び／又は除去が生じる。

【 0 0 0 6 】

このナノ加工の結果として、デブリ (基板表面に対する何らかの異物を含む) が基板上に生成される。より具体的には、物質が基板から除去されると、ナノ加工プロセス中に小粒子が生じる場合がある。これらの粒子は、場合によっては、ナノ加工プロセスが完了すると基板上に残存する。このような粒子は、例えば、基板上に存在するトレンチ及び／又はキャビティにおいて見られることが多い。

【 0 0 0 7 】

デブリ、粒子又は基板に対する異物を除去するために、特に高アスペクトのフォトリソグラフィ用マスク及び電子回路においては、湿式洗浄技術が使われてきた。より具体的には、液体状態での化学物質の使用及び／又はマスク又は回路全体の攪拌を用いることができる。しかしながら、化学的方法及び攪拌方法 (例えば、メガソニック (高周波超音波) 攪拌など) は、高アスペクト比の構造及びマスク光近接効果補正特徴部 (すなわち、一般に極めて小さい特徴部であるので、これらの特徴部は、結像するのではなく、むしろパターンを形成するためにマスク設計者により有利に利用される回折パターンを形成する) の両方に悪影響を及ぼし、又は破壊する場合がある。

【 0 0 0 8 】

高アスペクト形状及び構造が化学物質及び攪拌により特に破壊されやすい理由をより良く理解するために、このような形状及び構造は、定義によれば多大な表面積を含み、そのため熱力学的に極めて不安定であることを想起する必要がある。従って、これらの形状及び構造は、化学的及び／又は機械的エネルギーが加えられると層間剥離及び／又は他の形

10

20

30

40

50

態の破壊に極めて脆弱である。

【 0 0 0 9 】

インプリントリソグラフィ及びEUV（又はEUVL）において、複写されるリソグラフィ表面から粒子を離しておくためのペリクルの使用は、現在では適していない点に留意することは重要である。ペリクルを使用できない技術は一般に、ウェハへのパターン転写能力を阻害する粒子汚染による不良の影響をより受けやすい。ペリクルは、EUVマスク向けに開発されているが、DUVペリクルマスクに関するこれまでの経験が示すように、ペリクルの使用は、限界粒子及び他の汚染物が表面上に落下するのを軽減するだけであり（完全には防げない）、その後の高エネルギー光子へ何れかの曝露は、これらの粒子を大きな付着力でマスク表面に固定する傾向となる。更に、これらの技術は、より小さなフィーチャサイズ（1～300nm）で実施することができ、通常使用することができる標準的な湿式洗浄の実施の際に損傷をより受けやすくする。EUV又はEUVLの特定ケースにおいて、この技術は、使用中、及び場合によっては使用待ちの保管中に基板を真空環境にすることが必要となる可能性がある。標準的な湿式洗浄技術を使用するためには、この真空を破壊しなければならず、これにより更なる粒子汚染につながりやすい。

10

【 0 0 1 0 】

基板からデブリを除去するための現在利用可能な別の方法において、極低温洗浄システム及び技術を用いる。例えば、高アスペクト形状及び／又は構造を含む基板は、砂の代わりに二酸化炭素粒子を用いて効果的に「サンドブラスト」することができる。

【 0 0 1 1 】

しかしながら、先行技術における極低温洗浄システム及びプロセスでも同様に、高アスペクト特徴部に悪影響を及ぼす又はこれを破壊することが知られている。更に、極低温洗浄プロセスは、基板の比較的大きな領域に影響を及ぼす（例えば、ナノメートル台の寸法を有するデブリを洗浄するために、処理される領域は、幅がおよそ10ミリメートル又はそれを超える場合がある）。結果として、そこからデブリを除去する必要のない基板領域が、それでも極低温洗浄プロセス、並びにこれに関連する潜在的構造破壊性エネルギーに曝される。ナノレジームとマイクロレジームとの間には多くの物理的相違点が存在することに留意すべきであり、本明細書において、ナノ粒子洗浄プロセスに関連する相違点に焦点を当てることになる。ナノとマクロスケールの洗浄プロセスの間には多くの類似点があるが、多くの決定的な相違点もまた存在する。本開示において、ナノスケールの共通した定義が有用であり、これは1～100nmのサイズ範囲を定義する。本明細書で評価されるプロセスの多くがこの範囲未満で（原子スケールまで）生じることができ、また、この範囲より大きな粒子（マイクロレジームまで）に影響を及ぼすことができるので、このサイズ範囲は、汎用の範囲である。

20

【 0 0 1 2 】

マクロとナノの粒子洗浄プロセス間の幾つかの物理的な相違点には、表面積、平均自由行程、熱的及び電界効果を含む輸送関連特性が含まれる。このリストの最初の2つは、粒子の熱機械的・化学的挙動により関連性があるが、最後の1つは、粒子の電磁場との相互作用とより関係している。熱輸送現象は、粒子周りの熱機械的・物理化学現象であり、赤外波長レジームにおける粒子と電磁場との相互作用であるという点で、これらの2つのレジームを分ける。これらの相違点の幾つかを機能的に明らかにするために、高アスペクトのラインアンドスペース構造（深さ70nm、幅40nm～AR=1.75）の底部にトラップされたナノ粒子の思考実験の例を仮定する。マクロスケールプロセスでこの粒子を洗浄除去するために、粒子を取り除くのに必要とされるエネルギーは、基板上の特徴部又はパターンに損傷を与えるのに必要とされるエネルギーとほぼ同じであり、これにより、この高アスペクトのラインアンドスペース構造を損傷無しで洗浄することは不可能である。マクロスケールの洗浄プロセス（水、界面活性剤、音波攪拌など）においては、ナノ粒子が除去されるエネルギーレベルにおいて、周囲の特徴部又はパターンもまた損傷を受ける。ナノ粒子に対してナノ距離内で正確にナノ的に鋭利な（又はナノスケール）構造を扱う技術的能力がもしあれば、ナノ粒子を洗浄除去するためのエネルギーをナノ粒子だけに印加

30

40

50

することができる。ナノスケールの洗浄プロセスにおいて、ナノ粒子を除去するために必要とされるエネルギーは、ナノ粒子にだけ印加され、基板上にある周囲の特徴部又はパターンには印加されない。

【 0 0 1 3 】

最初に、粒子の表面領域特性を見ると、理論上の粒子（ここでは完全球体としてモデル化される）がナノスケールレジームに近づくにつれて明瞭になる数学的スケージングの相違点が存在する。物質のバルク特性は、物質の体積で評価されるが、表面は、外部面積により評価される。仮定的粒子においては、その体積は、その粒子の直径に対して3乗で反比例して減少するが、表面積は、粒子の直径に対して2乗で減少する。この差は、マクロ及びマイクロスケールの直径での粒子の挙動を支配する物質特性が、ナノレジームでは無視できるように（より小さく）なることを意味する。これらの特性の実施例には、粒子の質量及び慣性特性が含まれ、音波攪拌又はレーザー衝撃などの一部の洗浄技術にとって重大な考慮事項である。

10

【 0 0 1 4 】

ここで考察する次の輸送特性は平均自由行程である。マクロからマイクロレジームにおいて、流体（液体と気体の両方、及び混合状態）は、その挙動において連続体流れとして正確にモデル化することができる。AFMチップ及びナノ粒子など、ナノスケール又はそれよりも小さい間隙で離隔された表面を考えると、これらの流体を連続体と見なすことはできない。これは、流体が古典的流れモデルに従って移動するのではなく、より正確には希薄気体又は真空の弾道的原子運動に関連付けることができることを意味する。標準温度及び圧力での気体中の平均原子又は分子（直径がおおよそ0.3 nm）において、計算平均自由行程（つまり、分子が平均して別の原子又は分子に衝突する前に一直線に進む距離）は、おおよそ94 nmであり、これはAFM走査プローブの大きな距離である。流体は気体よりも遥かに密度が高いため、遥かに小さな平均自由行程を有することになるが、あらゆる流体に対する平均自由行程は、原子又は分子の直径より小さくなることはできない点に留意しなければならない。典型的なチップに対して上記で与えられた0.3 nmという仮定原子又は分子の直径と、1 nm程度に小さいとすることができる非接触走査モード時の表面平均分離距離とを比較すると、最も密度の高い流体を除けば、AFMチップ先端と走査される表面との間の流体環境は、希薄気体から近真空までの流体特性の範囲で挙動することになる。上記の評価における知見は、マクロからナノスケールにスケール変更される際に熱流体プロセスが基本的に異なるように挙動することを示すのに不可欠である。これは、化学反応、環境に遊離した粒子などの生成物の除去、帯電又は電荷中和、及び熱又は熱エネルギーの輸送など、様々なプロセス態様の機構及び動力学に影響を及ぼす。

20

30

【 0 0 1 5 】

マクロ及びナノからサブナノスケールへの既知の熱輸送の相違点は、走査型熱プローブ顕微鏡を用いた研究により見出された。1つの初期に見出された相違点は、熱エネルギーの輸送速度がナノスケールの距離にわたってマクロスケールよりも1桁小さい場合があることである。このようにして、走査型熱プローブ顕微鏡は、チップから表面までの離隔距離がナノ又はオングストロームスケール程に小さい非接触モードで走査している表面に対して、場合によっては数百度の温度差まで加熱されたナノプローブを用いて機能することができる。この低い熱輸送の理由は、流体における平均自由行程に関する前節にて暗示されている。しかしながら、熱輸送の一形態である黒体放射が強化されている。ナノスケールの距離で、所与の温度での黒体スペクトル放射輝度に関するプランク限界を超える場合があることが実験的に示された。従って、熱輸送の大きさが減少するだけでなく、主要な輸送タイプが、伝導/対流から希薄真空流体挙動と一致する黒体へと変化する。

40

【 0 0 1 6 】

場（他の実施可能な例と比較してその長い波長に起因して、電磁場が本明細書での主要な目的とする実施例である）の相互作用における相違点は、本検討において、波長関連及び他の量子効果（特にトンネリング）として更に分類することができる。ナノスケールにおいて、発生源（ここにおいて、主要な発生源としてか、又は比較的遠距離場発生源の変

50

更形態としてかを問わず、AFMチップの先端として想定される)と表面との間の電磁場の挙動は、遠距離場発生源が経験することになる分解能に対する波長依存の回折限界に従わないことになる。この挙動は、一般に近接場光学と呼ばれ、近接場走査型光学顕微鏡(NSOM)などの走査型プローブ技術では大きな成功を収めて使用されている。計測工学での応用を超えて、近接場の挙動は、互いにナノ距離で離間した全てのナノスケールサイズの物体の電磁相互作用に影響を及ぼす可能性がある。言及した次の近接場挙動は、量子トンネリングであり、ここでは粒子、特に電子は、古典的には通り抜けることのできない障壁を超えて運ぶことができる。この現象は、マクロスケールでは見られない手段によるエネルギー輸送を可能にし、走査型トンネリング顕微鏡(STM)及び一部の固体電子デバイスで利用されている。最後に、近接励起及びプラズモン共鳴の検出など、ナノスケールにおいて電磁場に関して(限定されないが)見られることの多いより難解な量子効果が存在するが、現在の検討がマクロとナノスケールの物理過程間の根本的な相違点の十分な論証を与えることが、当業者には理解されるであろう。

10

【0017】

以下において、用語「表面エネルギー」は、仕事(ここにおいて、基板及びチップそれぞれの表面へのデブリの付着という仕事)を実行するのに利用可能な表面の熱力学特性を指すのに使用することができる。古典的にこれを計算する1つの方法は、

$$G(p, T) = U + pV - TS$$

として与えられるギブズ自由エネルギーであり、
ここで、

20

U = 内部エネルギー

p = 圧力

V = 体積

T = 温度、及び

S = エントロピーである。

【0018】

現行の実施において、圧力、体積、及び温度を変えないので(これらのパラメータを同様に操作して所望の効果を得ることも可能なので、必然ではないが)、詳細には検討しない。従って、上記の式中で操作される項は、内部エネルギーと以下で検討する方法における駆動機構としてのエントロピーだけとなる。プローブチップ表面は洗浄される基板よりも清浄である(つまり、デブリ及び意図しない表面汚染がない)ことが意図されているので、当然ながら、エントロピーが基板上方のチップ表面を優先的に汚染する熱力学的駆動機構である(次いで、その後、軟質物質のクリーナパレットを汚染する)。内部エネルギーは、パレット、チップ、デブリ、及び基板表面の間で、そのそれぞれの表面エネルギーにより特徴付けられる熱力学特性によって操作される。微分表面エネルギーをギブズ自由エネルギーと関連付ける1つの方法は、単軸性張力P下で半径r及び長さlの円柱に対する高温(つまり、その融点温度の有意な部分)での工學材料のクリープ特性に関する理論的發展を考察することである:

30

$$dG = -P * dl + \gamma * dA$$

ここで、

40

γ = 表面エネルギー密度 [J/m²]、及び

A = 表面積 [m²]

【0019】

物体の応力及び外因性表面エネルギーがそのギブズ自由エネルギーにおける因子であるという知見は、これらの因子(表面エネルギー密度に加えて)を操作して、チップ及びその後続く軟質パレットにデブリを可逆的に優先して付着させるステップを実行することができる。これを行う手段には、応力印加(外的か内的かを問わず)及び温度が含まれる。この駆動プロセスは常に、優先的に基板の汚染物質を除去してその後軟質パレットを優先的に汚染する微分表面エネルギー勾配を提供するために、正味のGが<0となる一連の表面相互作用をもたらすことになる点に留意されたい。こ

50

れは、ボールが斜面をより低いエネルギー状態に優先的に転がり落ちることに類似していると考えることができる（但し、ここにおいて、熱力学的表面エネルギーの勾配には、系全体での総体的な無秩序又はエントロピーも含まれる）。図6は、本明細書に記載する方法が選択的に汚染を除去して選択的に軟質パッチ上に堆積させる熱力学的ギブズ自由エネルギーの下り勾配を提供することができる、表面相互作用の1つの実施可能なセットを示す。このシーケンスは、低表面エネルギーのフッ化炭素系材料をダイヤモンドなどの低表面エネルギーチップ材料と共に用いる現行の実施態様に対する役割を担うと考えられる理論的機構の1つである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0020】

【文献】米国特許出願第15/011,411号明細書

米国特許出願第14/193,725号明細書

米国特許出願第13/652,114号明細書

米国特許第8,696,818号明細書

米国特許出願第11/898,836号明細書

米国特許第8,287,653号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

少なくとも上記のことを鑑みると、デブリ、汚染物質、粒子又は基板表面に対する何らかの異物を除去するための新規の装置及び方法に対する要望があり、詳細には、高アスペクト比構造を有する基板、フォトマスク光近接効果補正特徴部などをこのようなナノスケールの構造及び/又は特徴部を破壊することなく洗浄することができる新規の装置及び方法に対する要望がある。

【課題を解決するための手段】

【0022】

本開示の一態様によれば、汚染物質を検出するためのナノスケール計測システムが提供される。本システムは、走査プローブ顕微鏡（SPM）チップ、照射源、照射検出器、アクチュエータ、及びコントローラを含む。照射源は、入射する照射をSPMチップ上に配向するように構成され配置される。照射検出器は、SPMチップから試料照射を受けるように構成され配置され、該試料照射は、入射する照射によって引き起こされる。アクチュエータシステムは、ナノスケール計測システムに動作可能に連結され、SPMチップと照射源及び照射検出器のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じるように構成される。コントローラは、アクチュエータシステム及び照射検出器に動作可能に連結され、コントローラは、試料照射に対する照射検出器の第1の応答に基づいて第1の信号を受信するように構成されており、第1の信号に基づいて、アクチュエータシステムによってSPMチップと照射検出器及び照射源のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じるように構成される。

【0023】

本開示のナノスケール計測システムの一態様によれば、アクチュエータシステムは、SPMチップに動作可能に連結され、アクチュエータシステムは、SPMチップを第1の軸の周りで回転させるように構成された回転アクチュエータを含む。

【0024】

本開示におけるナノスケール計測システムの一態様によれば、照射源は、X線源、レーザー、可視光源、赤外光源、紫外光源、又は電子ビーム源である。

【0025】

本開示におけるナノスケール計測システムの一態様によれば、コントローラは更に、第1の信号に基づいて試料照射の第1の周波数領域スペクトルを生成し、第1の周波数領域スペクトルからバックグラウンド周波数領域スペクトルを差し引くことによって第2の周

10

20

30

40

50

波数領域スペクトルを生成し、第2の周波数領域スペクトルに基づいてアクチュエータシステムによってSPMチップと照射検出器及び照射源のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じるように構成される。本開示におけるナノスケール計測システムの一態様によれば、コントローラは更に、SPMチップが実質的に汚染物質を含まない場合に、SPMチップの照射に対する照射検出器の応答に基づいてバックグラウンド周波数領域スペクトルを生成するように構成される。

【0026】

本開示におけるナノスケール計測システムの一態様によれば、コントローラは更に、試料照射に対する照射検出器の第2の応答に基づいて第2の信号を受信し、第1の信号と第2の信号との間の差違に基づいてアクチュエータシステムによってSPMチップと照射検出器及び照射源のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じるように構成される。本開示におけるナノスケール計測システムの一態様によれば、コントローラは更に、第1の信号と第2の信号との間の差違に基づいてSPMチップと照射検出器及び照射源のうちの少なくとも1つとの間に所定の大きさの相対移動を生じるように構成される。

【0027】

本開示の一態様によれば、回収器を備えたナノスケール計測システムが提供される。本計測システムは、回収器、照射源、照射検出器、走査プローブ顕微鏡(SPM)チップ、及びアクチュエータシステムを含む。本回収器は、回収器の第1の表面上にある第1の内縁部と、回収器の第2の表面上に第1の表面の反対側にある第2の内縁部と、第1の内縁部から第2の内縁部まで延びて、回収ポケット又は回収スルーホールの少なくとも一部を定める内部表面と、を有することができる。照射源は、回収器の内部表面から試料照射を受けるように構成されて配置され、試料照射は入射する照射によって引き起こされる。アクチュエータシステムは、SPMチップに動作可能に連結され、SPMチップを回収器に対して移動させて、少なくとも1つの粒子又はデブリをSPMチップから回収器に移送するように構成される。

【0028】

本開示における計測システムの一態様によれば、回収スルーホールの幅は、第1の表面から第2の表面に向かって回収器を通過する方向に沿って増加する。

【0029】

本開示における計測システムの一態様によれば、第1の内縁部は、回収ポケット又は回収スルーホールの矩形の輪郭を定める。本開示の一態様によれば、矩形輪郭の各線分の長さは10mm以下である。

【0030】

本開示における計測システムの一態様によれば、第1の内縁部は、回収ポケット又は回収スルーホールの三角形の輪郭を定める。本開示の一態様によれば、三角形輪郭の各線分の長さは10mm以下である。

【0031】

本開示における計測システムの一態様によれば、第1の内縁部は回収ポケット又は回収スルーホールの弓形断面を定め、該弓形断面は、円形、楕円形又は卵形の輪郭である。本開示の一態様によれば、第1の内縁部は円形輪郭を定め、円形輪郭の直径は10mm以下である。

【0032】

本開示における計測システムの一態様によれば、計測システムは更に、アクチュエータシステムに動作可能に連結されたコントローラを含み、コントローラは、SPMチップを第1の内縁部に対して引きずることによってSPMチップから回収ポケット又は回収スルーホールに粒子を移送するように構成される。

【0033】

本開示における計測システムの一態様によれば、回収器の内部表面は、スルーホール通路を形成する。本開示の一態様によれば、スルーホール通路は、切頂四面体通路、円錐台形通路、切頂四面体通路、又は角錐台形通路である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

本開示における計測システムの一態様によれば、S P Mチップは、四面体形状、円錐形状、又は角錐形状を含む。

【 0 0 3 5 】

本開示における計測システムの一態様によれば、回収ポケット又は回収スルーホールは、計測システムに取り外し可能に装着される。

【 0 0 3 6 】

本開示の一態様によれば、粒子回収及び計測システムが提供される。本粒子回収及び計測システムは、走査型プローブ顕微鏡（S P M）チップと、基板を支持するよう構成されたステージと、作動システムと、照射源と、照射検出器と、コントローラと、を含む。作動システムは、ステージ及びS P Mチップに動作可能に連結され、該作動システムは、S P Mチップをステージに対して移動させるように構成されている。照射源は、計測位置と光学的に連通しており、また、照射検出器は、計測位置と光学的に連通している。コントローラは、作動システム、照射源、及び照射検出器に動作可能に連結される。コントローラは更に、基板に近接した位置から計測位置にS P Mチップを移動させ、計測位置からの第1の試料照射に対する照射検出器の応答を示す第1の信号を照射検出器から受信する、ように構成されており、第1の試料照射は、照射源からの第1の入射する照射によって引き起こされる。

10

【 0 0 3 7 】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、計測位置は、S P Mチップの少なくとも一部分上に配置され、コントローラは更に、第1の入射する照射を計測位置に照射することによって、第1の試料照射を引き起こすように構成される。

20

【 0 0 3 8 】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、粒子回収及び計測システムは更に粒子回収器を含み、計測位置は、粒子回収器の少なくとも一部分上に配置される。コントローラは更に、第1の入射する照射を計測位置に照射することによって第1の試料照射を引き起こすように構成される。

【 0 0 3 9 】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、コントローラは更に、S P Mチップを介して基板から計測位置に粒子を移送するように構成される。

30

【 0 0 4 0 】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、粒子回収及び計測システムは更に、材料のパッチを含み、該材料は、基板の表面エネルギーよりも低い表面エネルギーを有し、S P Mチップは、表面上に材料のナノスケールコーティングを含む。

【 0 0 4 1 】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、コントローラは更に、S P Mチップとパッチとの間に接触を生じさせ、これによってS P Mチップを材料でコーティングするように構成される。

【 0 0 4 2 】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、作動システムは、S P Mチップに動作可能に連結されたチップ作動システムと、ステージに動作可能に連結されたステージ作動システムと、を含む。チップ作動システムは、S P Mチップを基部に対して移動させるように構成され、ステージ作動システムは、ステージを基部に対して移動させるように構成される。

40

【 0 0 4 3 】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、粒子回収器は、回収ポケット又は回収スルーホールである。粒子回収器は、少なくとも第1の内縁部を含む。少なくとも第1の内縁部は、三角形、矩形、円形、楕円形、又は卵形の輪郭のうちの1つを定める。本開示の一態様によれば、第1の内縁部は、三角形又は矩形の輪郭を定め、三角形又は矩形の輪郭の各線分は10mm以下の長さを含む。本開示の一態様によれば、第1の

50

内縁部は円形輪郭を定め、円形輪郭の直径は10mm以下である。

【0044】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、粒子回収器は、回収器の第1の表面上にある第1の内縁部と、回収器の第2の表面上に第1の表面の反対側にある第2の内縁部と、第1の内縁部から第2の内縁部まで延びる内部表面とを含む。本開示の一態様によれば、内部表面はスルーホール通路を形成する。スルーホール通路は、切頂四面体通路、円錐台形通路、又は角錐台形通路である。

【0045】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、SPMチップは、四面体形状、円錐形状、又は角錐形状を含む。

【0046】

本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、パッチは、計測システムに取り外し可能に装着される。本開示における粒子回収及び計測システムの一態様によれば、回収ポケット又は回収スルーホールは、ステージに取り外し可能に装着される。

【0047】

本開示の一態様によれば、走査プローブ顕微鏡(SPM)チップを使用して粒子の組成を特定する方法が提供される。本方法は、粒子をSPMチップに移送するステップと、照射源からの第1の入射する照射をSPMチップに照射するステップと、第1の入射する照射によって引き起こされた第1の試料照射を照射検出器により検出するステップと、第1の試料照射に応答した照射検出器からの第1の信号に基づいて、SPMチップと照射源及び照射検出器のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じさせるステップと、を含む。

【0048】

SPMチップ上の粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、本方法は、第1の信号に基づいて試料照射の第1の周波数領域スペクトルを生成するステップと、第1の周波数領域スペクトルからバックグラウンド周波数領域スペクトルを差し引くことによって第2の周波数領域スペクトルを生成するステップと、第2の周波数領域スペクトルに基づいてSPMチップと照射源及び照射検出器のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じさせるステップと、を更に含む。

【0049】

SPMチップ上の粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、本方法は、SPMチップが実質的に汚染物質を含まない場合に、SPMチップの照射に対する照射検出器の応答に基づいてバックグラウンド周波数領域スペクトルを生成するステップを更に含む。

【0050】

SPMチップ上の粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、本方法は更に、照射源からの第2の入射する照射をSPMチップに照射するステップと、第2の入射する照射によって引き起こされた第2の試料照射を照射検出器により検出するステップと、第2試料照射に応答した照射検出器からの第2の信号に基づいて、SPMチップと照射源及び照射検出器のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じさせるステップと、を含む。

【0051】

SPMチップ上の粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、本方法は、第2の信号と第1の信号との間の差違に基づいて、SPMチップと照射源及び照射検出器のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じさせるステップを更に含む。

【0052】

SPMチップ上の粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、照射源からの第1の入射する照射は、X線、可視光、赤外光、紫外光、電子ビーム、及びレーザのうちの少なくとも1つである。SPMチップ上の粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、照射源からの第2の入射する照射は、X線、可視光、赤外光、紫外光、電子ビーム、及びレーザのうちの少なくとも1つである。第2の入射する照射は、第1の入射する照射とは異なるタイプの照射である。一態様において、第1の試料照射は、第1の入射する照射がSPMチップと相互作用することによって生成される。一態様において、相互作用は、第1の入

10

20

30

40

50

射する照射のSPMチップによる反射、屈折、又は吸収及び再放出のうちの1又は2以上を含むことができる。一態様において、第1の試料照射は、第1の入射する照射がSPMチップ上に配置されたデブリと相互作用することによって生成される。一態様において、相互作用は、第1の入射する照射のSPMチップ上に配置されたデブリによる反射、屈折、又は吸収及び再放出のうちの1又は2以上を含むことができる。

【0053】

SPMチップ上の粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、本方法は更に、照射源からの第1の入射する照射の強度又は周波数を調整するステップを含む。一態様において、本方法は更に、照射源からの第2の入射する照射の強度又は周波数を調整するステップを含む。

10

【0054】

本開示の一態様によれば、基板から除去された粒子の組成を特定するための方法が提供される。本方法は、基板から走査プローブ顕微鏡（SPM）チップに粒子を移送するステップと、照射源からの第1の入射する照射を粒子に照射するステップと、照射検出器にて粒子から第1の入射する照射によって引き起こされる第1の試料照射を受けるステップと、を含む。

【0055】

基板から除去された粒子の組成を特定する本方法の態様によれば、粒子からの第1の試料照射は、粒子がSPMチップ上に配置されている間に照射検出器によって受け取られる。

【0056】

20

基板から除去された粒子の組成を決定する本方法の一態様によれば、基板からSPMチップへの粒子の移送は、SPMチップを基板に接触させて、基板に対してSPMチップを移動させるステップを含む。

【0057】

基板から除去された粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、本方法は、SPMチップを用いて計測位置に粒子を移送するステップを更に含む。

【0058】

基板から除去された粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、本方法は更に、SPMチップから、粒子回収器上に定められた計測位置を有する粒子回収器に粒子を移送するステップを含む。粒子からの第1の試料照射は、粒子が計測位置に配置されている間に照射検出器によって受け取られる。SPMチップから粒子回収器への粒子の移送は、SPMチップを計測位置に接触させてSPMチップを計測位置に対して移動させるステップを含む。

30

【0059】

基板から除去された粒子の組成を特定する方法の一態様によれば、粒子回収器は、少なくとも1つの汚染物回収縁部を含む回収ポケット又は回収スルーホールであり、SPMチップから粒子回収器に粒子を移送するステップは、SPMチップを操作して、少なくとも1つの汚染物回収縁部に対して摩擦又は引きずるようにSPMチップを操作するステップを含む。一態様によれば、操作ステップは、SPMチップを少なくとも1つの汚染物回収縁部に向けて移動させ、次いでそこから離して移動させるステップを含む。一態様において、SPMチップを移動させるステップは、擦過動作及び/又は拭取り動作を含むことができる。一態様によれば、操作ステップは、少なくとも1つの汚染物回収縁部を通過してSPMチップを上方に移動させるステップを含み、操作ステップは更に、少なくとも1つの汚染物回収縁部を通過してSPMチップを下方に移動させるステップを含む。一態様によれば、操作ステップは、SPMチップを粒子回収器の中心から離れて上方へ移動させるステップを含む。一態様によれば、操作ステップは、SPMチップを粒子回収器の中心に向けて下方に移動させるステップを含む。一態様によれば、操作ステップは、SPMチップを放物線軌道で移動させるステップを含む。一態様によれば、操作ステップは更に、SPMチップの異なる部分上に堆積したデブリをSPMチップから粒子回収器に移送することを可能にするようSPMチップを回転させるステップを含む。

40

50

【 0 0 6 0 】

本開示の一態様によれば、プロセッサに対して走査型プローブ顕微鏡（S P M）上の粒子の組成を特定させるための命令をエンコードする非一時的機械可読媒体を備えた製品が提供される。製品のエンコード命令を用いて、照射源からの第1の入射する照射に応答した第1の試料照射を照射検出器により検出するステップと、第1の試料照射に応答した照射検出器からの第1の信号に基づいて、S P Mチップと照射源及び照射検出器のうちの少なくとも1つとの間に相対移動を生じさせるステップと、を実行することができる。

【 0 0 6 1 】

以上、本書における詳細な説明がより理解できるように、及び当該技術に対する本発明の貢献がより良く認識できるように、本発明の特定の態様を幾分広範囲に概略的に説明してきた。以下で説明され且つ添付の特許請求の範囲の発明特定事項を形成する本発明の追加の態様が存在することは当然である。

【 0 0 6 2 】

この点に関し、本開示の種々の態様を詳細に説明する前に、本発明がその適用において以下の説明において記載され又は図面で示される構成の詳細及び構成要素の配置に限定されるものではないことを理解されたい。本発明は、記載されるものとは別の実施形態を実現可能であり、また、様々な方式で実施及び実行することができる。また、本明細書で採用される表現及び専門用語並びに要約は説明目的のものであり、限定と見なすべきではないことを理解されたい。

【 0 0 6 3 】

このため、本開示が基礎する概念が、本開示の幾つかの目的を実現するための他の構造、方法、及びシステムの設計の基礎として容易に利用できることは、当業者には理解されるであろう。従って、特許請求の範囲は、本発明の技術的精神及び範囲から逸脱しない限りかかる均等構成を含むものと見なすべきである。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 4 】

【図1 A】本開示の態様による一連の表面相互作用時のデブリ除去デバイスの一部の断面図である。

【図1 B】本開示の態様による一連の表面相互作用時のデブリ除去デバイスの一部の断面図である。

【図1 C】本開示の態様による一連の表面相互作用時のデブリ除去デバイスの一部の断面図である。

【図2】本開示の態様によるデブリ除去デバイスの一部分の断面図である。

【図3】図2に示すデブリ除去デバイスの別部分の断面図である。

【図4】粒子が低エネルギー材料のパッチ又はリザーバに埋められている、図2に示すデブリ除去デバイスの一部分の断面図である。

【図5】チップがもはや低エネルギー材料のパッチ又はリザーバと接触していない、図4に示すデブリ除去デバイスの一部分の断面図である。

【図6】本開示の態様によるプリストル又はフィブリルを備えたチップの断面図である。

【図7 A】本開示の態様による剛性フィブリルと巻き付けフィブリルの一般的な相違点を示す図である。

【図7 B】本開示の態様による剛性フィブリルと巻き付けフィブリルの一般的な相違点を示す図である。

【図8 A】本開示の態様による単一の剛性フィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を取り出して除去するプロセスを示す図である。

【図8 B】本開示の態様による単一の剛性フィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を取り出して除去するプロセスを示す図である。

【図8 C】本開示の態様による単一の剛性フィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を取り出して除去するプロセスを示す図である。

【図9 A】本開示の態様による複数の剛性フィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒

10

20

30

40

50

子を取り出して除去するプロセスを示す図である。

【図 9 B】本開示の態様による複数の剛性フィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を取り出して除去するプロセスを示す図である。

【図 9 C】本開示の態様による複数の剛性フィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を取り出して除去するプロセスを示す図である。

【図 10 A】本開示の態様による単一の巻き付けフィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を除去するプロセスを示す図である。

【図 10 B】本開示の態様による単一の巻き付けフィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を除去するプロセスを示す図である。

【図 10 C】本開示の態様による単一の巻き付けフィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を除去するプロセスを示す図である。

10

【図 11 A】本開示の態様による複数の巻き付けフィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を除去するプロセスを示す図である。

【図 11 B】本開示の態様による複数の巻き付けフィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を除去するプロセスを示す図である。

【図 11 C】本開示の態様による複数の巻き付けフィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を除去するプロセスを示す図である。

【図 11 D】本開示の態様による複数の巻き付けフィブリルを用いてターゲット基板からナノ粒子を除去するプロセスを示す図である。

【図 12】本開示の態様による少なくとも 1 つのパッチを含むデブリ回収装置の斜視図である。

20

【図 13】本開示の態様による少なくとも 2 つのパッチを含むデブリ回収装置の斜視図である。

【図 14】本開示の態様によるコントローラを含むデブリ回収装置の斜視図である。

【図 15】本開示の態様による計測システムを含むデブリ回収装置の斜視図である。

【図 16】本開示の態様による計測システム及びコントローラを含むデブリ回収装置の斜視図である。

【図 17 A】本開示の態様による計測装置を含むデブリ回収装置の上面図である。

【図 17 B】本開示の態様による計測装置を含むデブリ回収装置の側面図である。

【図 18 A】本開示の態様による計測装置及びコントローラを含むデブリ回収装置の上面図である。

30

【図 18 B】本開示の態様による計測装置及びコントローラを含むデブリ回収装置の側面図である。

【図 19 A】本開示の態様による計測装置及び複数のパッチ及び / 又はデブリ回収器を含むデブリ回収装置の上面図である。

【図 19 B】本開示の態様による計測装置及び複数のパッチ及び / 又はデブリ回収器を含むデブリ回収装置の側面図である。

【図 20 A】本開示の態様によるコントローラを備えた計測装置及び複数のパッチ及び / 又はデブリ回収器を含むデブリ回収装置の上面図である。

【図 20 B】本開示の態様によるコントローラを備えた計測装置及び複数のパッチ及び / 又はデブリ回収器を含むデブリ回収装置の側面図である。

40

【図 21 A】本開示の態様によるロボットアームを含むデブリ回収装置の上面図である。

【図 21 B】本開示の態様によるロボットアームを含むデブリ回収装置の側面図である。

【図 22 A】ロボットアームが第 2 の位置にある、図 21 A 及び 21 B のデブリ回収装置の上面図である。

【図 22 B】ロボットアームが第 2 の位置にある、図 21 A 及び 21 B のデブリ回収装置の側面図である。

【図 23 A】本開示の態様によるチップ支持組立体の上面図である。

【図 23 B】本開示の態様によるチップ支持組立体の側面図である。

【図 24 A】本開示の態様による四面体チップと共に使用可能な計測システムの底面図で

50

ある。

【図 2 4 B】本開示の態様による四面体チップと共に使用可能な計測システムの側面図である。

【図 2 5 A】デブリが四面体チップに付着した図 2 4 A 及び 2 4 B の計測システムの底面図である。

【図 2 5 B】デブリが四面体チップに付着した図 2 4 A 及び 2 4 B の計測システムの側面図である。

【図 2 6 A】本開示の態様による円錐形チップと共に使用可能な計測システムの底面図である。

【図 2 6 B】本開示の態様による円錐形チップと共に使用可能な計測システムの側面図である。

10

【図 2 7 A】デブリが円錐形チップに付着した図 2 6 A 及び 2 6 B の計測システムの底面図である。

【図 2 7 B】デブリが円錐形チップに付着した図 2 6 A 及び 2 6 B の計測システムの側面図である。

【図 2 8 A】本開示の態様による角錐形チップと共に使用可能な計測システムの底面図である。

【図 2 8 B】本開示の態様による角錐形チップと共に使用可能な計測システムの側面図である。

【図 2 9 A】デブリが角錐形チップに付着した図 2 8 A 及び 2 8 B の計測システムの底面図である。

20

【図 2 9 B】デブリが角錐形チップに付着した図 2 8 A 及び 2 8 B の計測システムの側面図である。

【図 3 0 A】本開示の態様による三角形配置を有する回収ポケットを備えた汚染物回収器の側断面図である。

【図 3 0 B】本開示の態様による三角形配置を有する回収ポケットを備えた汚染物回収器の上面図である。

【図 3 1 A】本開示の態様による円形配置を有する回収ポケットを備えた汚染物回収器の側断面図である。

【図 3 1 B】本開示の態様による円形配置を有する回収ポケットを備えた汚染物回収器の上面図である。

30

【図 3 2 A】本開示の態様による方形配置を有する回収ポケットを備えた汚染物回収器の側断面図である。

【図 3 2 B】本開示の態様による方形配置を有する回収ポケットを備えた汚染物回収器の上面図である。

【図 3 3 A】本開示の態様による回収ポケットを備えた汚染物回収器を用いた例示的なデブリ回収プロセスを示す図である。

【図 3 3 B】本開示の態様による回収ポケットを備えた汚染物回収器を用いた例示的なデブリ回収プロセスを示す図である。

【図 3 3 C】本開示の態様による回収ポケットを備えた汚染物回収器を用いた例示的なデブリ回収プロセスを示す図である。

40

【図 3 4 A】本開示の態様による回収ポケットを備えた汚染物回収器を用いた別の例示的なデブリ回収プロセスを示す図である。

【図 3 4 B】本開示の態様による回収ポケットを備えた汚染物回収器を用いた別の例示的なデブリ回収プロセスを示す図である。

【図 3 4 C】本開示の態様による回収ポケットを備えた汚染物回収器を用いた別の例示的なデブリ回収プロセスを示す図である。

【図 3 5 A】本開示の態様による切頂四面体通路を定める回収スルーホールを備えた汚染物回収器の側断面図である。

【図 3 5 B】本開示の態様による切頂四面体通路を定める回収スルーホールを備えた汚染

50

物回収器の上面図である。

【図 3 6 A】本開示の態様による円錐台形通路を定める回収スルーホールを備えた汚染物回収器の側断面図である。

【図 3 6 B】本開示の態様による円錐台形通路を定める回収スルーホールを備えた汚染物回収器の上面図である。

【図 3 7 A】本開示の態様による角錐台形通路を定める回収スルーホールを備えた汚染物回収器の側断面図である。

【図 3 7 B】本開示の態様による角錐台形通路を定める回収スルーホールを備えた汚染物回収器の上面図である。

【図 3 8】本開示の態様による回収スルーホール及び計測システムを備えた汚染物回収器の側断面図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0065】

ここで、図面全体を通して同じ参照番号が同じ要素を指す図面を参照しながら、発明の態様を説明する。

【0066】

図 1 A、1 B、1 C、2、3、4、及び 5 を参照して、基板から粒子を取り除いてパッチに移送するための例示的なデバイスを説明する。図 1 A から 1 C は、本開示の態様による一連の表面相互作用時のデブリ除去デバイス 1 の一部の断面図を示す。基板 3 から粒子 2 を選択的に付着させてそれを軟質パッチ 4 に移転させることができる可能性のある一連の表面相互作用を図に示す（左から右へ移動する）。図 1 A において、粒子 2 は、（相対的に）高い表面エネルギー基板 3 を汚染し、これによりその表面エネルギーは減少して系全体におけるエントロピーが増加する。次に、図 1 B において、拡散的可動性の低表面エネルギーコーティングを備えたチップ 5 は、（同様に相対的に）高い表面エネルギー基板 3 及び粒子 2 をコーティングするようにされて、これらを剥離する。続いて、低表面エネルギー材料の喪失は、チップ 5 の表面エネルギーを僅かに増加させ（その通常の、非コーティング時の値に近づく）、剥離された粒子 2 をチップの表面 6（更に、フッ化炭素などの材料は一般的に良好な結合力を有する）に付着させるためのエネルギー勾配が存在するようにすることができる。これらの相互作用はまた、特にチップ表面 6 が基板よりも清浄である場合には、系のエントロピーを増加させるはずである。最終的に、図 1 C において、粒子 2 は、軟質パッチ材料 4 内に機械的に詰め込まれ、この機械的動作はまた、低表面エネルギー材料でチップ表面 6 を再コーティングし、これによりエネルギーを減少させて系のエントロピーを増加させることになる。

20

30

【0067】

図 2 は、本開示の実施形態によるデブリ除去デバイス 10 の一部の断面図を示す。デバイス 10 は、低表面エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 13 に隣接して位置決めされたナノスケールチップ 12 を含む。リザーバ内の低表面エネルギー材料は、固体、液体、半液体又は半固体とすることができる。

【0068】

チップ 12 上には、コーティング 16 が形成される。コーティング 16 を形成する前に、チップ 12 は、プレコーティング又は表面処理されて、チップ 12 の表面エネルギーを変える（例えば、毛細管、濡れ性、及び/又は表面張力の作用を変更する）ことができる。適切に選択されると、コーティング 16 によって、チップ 12 が非コーティングチップよりも長期間の間鋭利なままでいることが可能となる。例えば、PTFE コーティングのダイヤモンドチップは、非コーティングダイヤモンドチップよりも長い動作寿命を有することができる。

40

【0069】

本開示の特定の態様によれば、コーティング 16 は、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 内に見出されるのと同じ低表面エネルギー材料を含むことができる。また、本開示の特定の態様によれば、チップ 12 は、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14

50

と直接接触することができ、コーティング 16 は、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 に対してチップ 12 を摩擦又は接触させることによって、チップ 12 の表面上に形成（又は補充）することができる。更に、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバに対してチップ 12 を摩擦する及び／又はパッド 14 を引掻くことにより、チップ 12 の表面にわたって低表面エネルギー材料の表面拡散を強化することができる。

【0070】

本開示の特定の態様によれば、コーティング 16 及び低エネルギー材料 14 のパッチ又はリザーバ 14 は共に、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）などの塩素化及びフッ素化された炭素含有分子、又はフッ素化エチレンプロピレン（FEP）などの他の類似材料で作製することができ、又は少なくともこれらを含むことができる。本開示の別の態様によれば、金属材料、酸化物、金属酸化物、又は他の何れかの高表面エネルギー材料の中間層 15 をチップ 12 の表面と低表面エネルギー材料コーティング 16 との間に配置することができる。中間層の代表的な実施例には、セシウム（Cs）、イリジウム（Ir）、及びこれらの酸化物（並びに塩化物、フッ化物など）を含むことができるが、これらに限定されない。これら 2 つの例示的な元素金属は、それぞれ低表面エネルギー及び高表面エネルギーを備えた比較的軟質の金属であり、従って、所与の汚染、基板、及び周囲環境に対して最適な表面エネルギー勾配の最適化を示す。加えて又は代替として、チップ 12 の表面を粗面化又はドーブすることができる。高表面エネルギー材料又はチップ処理は一般的に、低表面エネルギー材料コーティング 16 をチップ 12 により強く固着するように作用する。チップの形状もまた局所的な表面エネルギー密度の変化（つまり、ナノスケールの鋭利さは、表面エネルギー密度をちょうど先端部で大きく増加させることになる）に影響を与えるので、チップ 12 の形状は、チップに対する粒子の選択的な付着力の増加をもたらすように変更することもできる。また、チップ 12 のチップ表面 13 を粗面化することにより、粒子及び多くの潜在的結合サイトとの接触表面積の増加（ dA ）に起因して、より大きな付着力をもたらすことができる。チップ表面 13 はまた、粒子又は一部の間コーティングと反応して付着力を増加させることができる、極めて不安定で化学的に活性なダングリングボンドを含むように処理（場合によっては化学的又はプラズマプロセスによって）することができる。チップ表面 13 はまた、粒子と相互作用するチップ 12 の表面積を増大させるために、高密度炭素（HDC）又はダイヤモンド状炭素（DLC）のような高表面積材料でコーティングすることができる。

【0071】

高表面エネルギー前処理は、本開示の特定の態様による低表面エネルギーコーティング 16 無しで利用される。このような態様において、以下で検討する粒子 20 は、本明細書で検討するものと類似の方法を用いて他の何れかの軟質ターゲット（例えば、金、アルミニウム）に埋め込むことができ、或いはチップ 12 は、消耗品とすることができる。また、本開示を鑑みて当業者には理解されるように、他の物理的な及び／又は環境的なパラメータ（例えば、温度、圧力、化学作用、湿度）を変更して、チップ処理及び／又は粒子のピックアップ／ドロップオフを強化することができる。

【0072】

本開示の特定の態様によれば、図 2 及び 3 に示す構成要素の全ては AFM に含まれる。一部のこのような構成において、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 は、実質的に平坦であり、基板 18 を支持するステージに取り付けられる。また、本開示の特定の態様によれば、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 は、ステージから取り外し可能であり、容易に交換又は容易に補充可能とすることができる。例えば、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 は、容易に取り外し可能なクランプ又は磁気マウント（図示せず）を用いて AFM に固定することができる。

【0073】

図 3 は、図 2 に示すデブリ除去デバイス 10 の別部分の断面図を示す。図 3 には、典型的には図 2 に示す低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 に隣接して位置決めすることができる基板 18 が示される。また図 3 には、基板 18 の表面に形成されたトレンチ 2

10

20

30

40

50

2 に存在することができる複数の粒子 20 が示される。粒子 20 は、典型的には、ファンデルワールス近距離力によってトレンチ 22 の表面に付着する。図 3 において、チップ 12 を基板 18 に隣接するよう移動させて位置決めし、粒子 20 をチップ 12 に物理的に付着させることができる。トレンチ 22 の底部に到達させるために、図 2 及び 3 に示すようなチップ 12 は、高アスペクト比のチップとすることができる。トレンチ 22 は、図 3 に示されるが、粒子 20 は、洗浄されることになる別の構造上に付着し、又は見出すことができる。

【0074】

図 4 は、図 2 に示すデブリ除去デバイス 10 の一部分の断面図を示し、ここで粒子 20 は、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 の表面内に又は表面に対してチップ 12 を延ばすことによって、チップ 12 から移送することができ、また、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 に埋め込むことができる。その後、図 5 の断面図に示すように、チップ 12 を後退させて、チップ 12 がもはや低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 と接触しないようにすることができる。チップ 12 が低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 から後退又は引き出されると、その前にチップ 12 上にあった粒子 20 は、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 と共に留まる。

【0075】

本開示の特定の態様によれば、図 2 - 5 に示すデバイス 10 は、デブリ除去方法を実施するのに利用することができる。本開示の特定の態様は、本明細書で検討する方法の前に又はこれに従って他の粒子洗浄プロセスと併せて用いることができる点に留意されたい。更に、粒子、デブリ、又は汚染物質という用語は、基板表面に対する異物を記述するのに同義的に用いることができる点に留意されたい。また、1つのチップ 12 だけが検討され図示されているが、複数のチップを同時に用いて複数の構造体から同時に粒子を除去してもよい点に留意されたい。更に、複数のチップを本明細書にて検討する方法にて並行して同時に使用してもよい。

【0076】

上述のデブリ除去方法は、図 3 の基板 18 上に存在するように示された粒子 20 (すなわち、デブリの断片) の 1 又は 2 以上に隣接してチップ 12 を位置決めするステップを含むことができる。本方法は更に、同様に図 3 に示されるように粒子 20 をチップ 12 に物理的に付着させるステップ (静電的に付着させるステップではなく) と共に、粒子 (又は複数の粒子) 20 及び周囲の表面と接触したときのチップ 12 の何らかの実施可能な繰り返し動作を含むことができる。粒子 20 のチップ 12 への物理的な付着の後、本方法は、図 4 に示すように、チップ 12 を基板 18 から離れて移動及び/又は引き出して、チップ 12 を粒子 20 と共に低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 に移動させることによって、粒子 20 を基板 18 から除去するステップを含むことができる。

【0077】

本開示の特定の態様によれば、本方法は、チップ 12 の少なくとも一部分上にコーティング 16 を形成するステップを含むことができる。本開示の特定の態様によれば、コーティング 16 は、基板 18 の表面エネルギーよりも低い表面エネルギーを有するコーティング材料を含むことができる。加えて又は代替として、コーティング 16 は、基板 18 と接触状態にある粒子 20 の表面積よりも大きい表面積を有するコーティング材料を含むことができる。

【0078】

上記に加えて、本方法の一部の態様は更に、チップ 12 が粒子又はデブリの別の断片 (図示せず) に隣接して、粒子又はデブリの別の断片がチップ 12 に物理的に付着するように、基板 18 の少なくとも第 2 の位置にチップ 12 を移動させるステップを含むことができる。粒子又はデブリの別の断片は、その後、図 4 に示すものと同様の方法で、基板 18 からチップ 12 を離れて移動させることにより基板 18 から除去することができる。

【0079】

デブリ (例えば上述の粒子 20) が基板 18 から除去されると、本開示による幾つかの

10

20

30

40

50

方法は、基板から離れて位置決めされた材料片（例えば、上述の低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４）にデブリの断片を堆積させるステップを含むことができる。

【００８０】

チップ１２は、大量のデブリを除去するために繰り返し使用することができるので、本開示の特定の態様によれば、本方法は、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４にチップ１２を押し込むことによってコーティング１６を補充するステップを含むことができる。低エネルギー材料のパッチ又はリザーバからの低表面エネルギー材料は、経時的にチップ１２のコーティング１６において生じる可能性がある何らかの孔又はギャップをコーティングすることができる。この補充ステップは、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４内にチップ１２を押し込んだ後、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４内でチップ１２を横方向に移動させるステップ、チップ１２の表面を摩擦するステップ、又はチップ１２及び／又は低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４の物理的なパラメータ（例えば、温度）を変更するステップのうちの１又は２以上を伴うことができる。

10

【００８１】

本開示による特定の方法は、修復が完了した後に除去された材料が塊になって再度基板に強く付着する可能性を低減するために、修復前に欠陥又は粒子の周りの小領域を低表面エネルギー材料に曝すステップを含むことができる点に留意されたい。例えば、欠陥／粒子及び欠陥周りのおよそ１～２ミクロン領域は、本開示の特定の態様に従ってＰＴＦＥ又はＦＥＰでプレコーティングすることができる。このような場合には、低表面エネルギー材料でコーティングされ又は構成されたチップ１２（例えば、ＰＴＦＥ又はＦＥＰのチップ）を用いて、他の修復ツール（レーザ、電子ビーム）が利用中の場合でも極めて多くの低表面エネルギー材料を修復領域に付与することができる。チップ１２上のコーティング１６に加えて、チップ１２の一部又は全部は、限定ではないが、塩素化及びフッ素化炭素含有分子などの低エネルギー材料を含むことができる。このような材料の実施例には、ＰＴＦＥ又はＦＥＰを含むことができる。加えて又は代替として、金属及びその化合物などの他の材料を用いてもよい。一部の代表的な実施例には、Ｃｓ、Ｉｒ、及びこれらの酸化物（並びに塩化物、フッ化物など）が含まれる。これら２つの例示的な元素金属は、それぞれ低表面エネルギー及び高表面エネルギーを有する比較的軟質の金属であり、従って、所与の汚染物質、基板、及び周囲環境に対して最適な表面エネルギー勾配の最適化を示す。加えて又は代替として、他の炭素系化合物を用いてもよい。一部の代表的な実施例には、ＨＤＣ又はＤＬＣが含まれる。

20

30

【００８２】

本開示の特定の態様によれば、本方法は、粒子をチップ１２の先端から該先端の上部でチップ１２を支持するＡＦＭカンチレバーアーム（図示せず）に向けて押し進めるために低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４を用いるステップを含む。このような粒子２０の押し上げは、チップ１２の先端付近にスペースを確保して、より多くの粒子２０を物理的に付着させることができる。

【００８３】

本開示の特定の態様によれば、チップ１２を低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４に見出すことができる軟質材料のパレット内に交互に浸漬、挿入、及び／又は窪み形成することによって、例えば基板１８のトレンチ２２などの高アスペクト比構造からナノ加工デブリを除去するためにチップ１２が使用される。選ばれた態様において、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４の軟質材料は、柔らかい又は展性のある粘稠性を有することができる。この軟質材料は一般に、それ自体よりもチップ１２及び／又はデブリ物質（例えば、粒子２０内の）に対してより優れた付着力を有することができる。軟質材料はまた、ナノ加工のデブリ粒子２０をチップ１２に静電的に吸着する極特性を有するように選択することができる。例えば、低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ１４は、可動性界面活性物質を含むことができる。

40

【００８４】

上記に加えて、本開示の特定の態様によれば、チップ１２は、１又は２以上の誘電性表

50

面（すなわち、電気絶縁性表面）を含むことができる。これらの表面を特定の環境条件（例えば、低湿度）下で類似の誘電性表面上で摩擦させ、静電氣的表面帯電に起因する粒子ピックアップを可能にすることができる。また、本開示の特定の態様によれば、コーティング 16 は、限定ではないが、水素結合、化学反応、強化表面拡散を含むことができる、他の何れかの近距離機構によって粒子を吸着することができる。

【0085】

次に、図 6 - 11 を参照しながら、デブリ除去チップの例示的な態様を説明する。低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 の軟質パレット材料を貫通する（すなわち、窪み形成する）のに十分な程度に強固で剛性のある何れかのチップを使用することができる。従って、極めて高いアスペクトのチップ外形形状（1：1 を超える）は、本開示の範囲内にある。チップが軟質の（場合によっては粘着性の）材料を貫通するほど十分に剛性があれば、強固で可撓性のある高アスペクト比のチップが、より脆弱及び／又は可撓性が小さいチップに優先して一般に選択される。従って、本開示の特定の態様によれば、チップは、トレンチ 22 又は基板 18 への損傷又は変化無しに、基板 18 の修復トレンチ 22 の側部及び角部に摩擦することができる。この作業の大まかなマクロスケール類似物は、深い内径内を移動する剛性のあるプリストルである。本開示の特定の態様によれば、以下でより詳細に説明するように、チップ 12 は、複数の堅固な又は剛性のあるナノフィブリル・プリストルを備えることができる点に留意されたい。図 6 に示すような一態様において、複数の堅固な又は剛性のあるナノフィブリル・プリストル 30 の各プリストルは、チップ 12 から直線的に延びることができる。一態様において、複数の堅固な又は剛性のあるナノフィブリル・プリストル 30 は、カーボンナノチューブ、金属ウィスカなどで形成することができる。加えて又は代替として、以下でより詳細に説明するように、チップ 12 は、複数の可撓性又は巻き付けナノフィブリルを備えることができる。複数の可撓性又は巻き付けナノフィブリルは、例えば、高分子材料を用いてチップ 12 上に形成することができる。当然ながら、他の材料及び構造も企図される。

【0086】

本開示の特定の態様によれば、1 又は 2 以上の粒子がピックアップされたか否かの検出は、関心領域（ROI）のナノコンタクト AFM スキャンを用いて粒子を検出することによって実施することができる。チップ 12 は次に、ターゲットでの後処理まで再スキャンすることなく、基板 18 から後退することができる。しかしながら、チップ 12 によってピックアップされたデブリ物質の総質量もまた、チップの共振周波数の相対的シフトによりモニタすることができる。更に、他の動力学を同じ機能に使用してもよい。

【0087】

上述のように及び図 5 に示すように粒子 20 を取り除くために軟質材料内に窪み形成する代わりに、チップ 12 を低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 内に誘導し、粒子 20 を取り除くことができる。従って、チップが意図せずに粒子 20 をピックアップした場合、粒子 20 は、別の修復を行うことによって取り除くことができる。特に誘導によって粒子 20 を堆積するために異なる材料が使用される場合、金箔などの軟質金属を利用することができる。

【0088】

上記に加えて、紫外（UV）光硬化材料、又は同様に化学的非可逆反応を受けやすい他材料を使用して、チップ 12 をコーティングする、並びにコーティング 16 を形成することができる。UV 硬化の前に、材料は、基板 18 から粒子 20 をピックアップする。チップ 12 が基板 18 から取り外されると、チップ 12 は、UV 光源に曝すことができ、この場合、材料特性を変化させて粒子 20 のチップ 12 に対する付着力を低下させ、且つ低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 中の材料に対する付着力を高めることになり、その後、粒子 20 をチップ 12 から取り除いて低エネルギー材料のパッチ又はリザーバ 14 と共に堆積することができる。当然ながら、粒子のピックアップ及び除去の選択性を強化又は可能にする他の非可逆プロセスも企図される。

【0089】

本開示の特定の態様は、様々な利点を提供する。例えば、本開示の特定の態様は、極めて高いアスペクトのAFMチップ外形形状（1：1を超える）を用いて高アスペクトのトレンチ構造から能動的なデブリ除去を可能にする。また、本開示の特定の態様は、極めて高いアスペクトのチップを使用すること並びにAFMオペレータによって現在使用されているソフトウェア修復シーケンスに比較的軽微な調整を行うことに加えて、低表面エネルギー又は軟質材料パレットをAFMに取り付けることによって比較的容易に実施することができる。更に、本開示の特定の態様によれば、他のいかなる方法によっても洗浄できないマスクの表面から粒子を選択的に除去するのに使用することができる（ナノピンセットのように）新規のナノ加工ツールを実施することができる。これは、デブリが最初に非コーティングのチップで表面から取り出され、次にコーティングされたチップでピックアップされる、より従来の修復と組み合わせることができる。

10

【0090】

一般に、低表面エネルギー材料は上述の局所的な洗浄方法で使用されるが、他の実施可能な変形形態もまた、本開示の範囲内であることに留意すべきである。典型的には、これらの変形形態は、粒子20をチップ12に引き付ける表面エネルギー勾配（すなわち、ギブズ自由エネルギー勾配）を生成し、その後で、他の何らかの処理により反転されて粒子20をチップ12から放出することができる。

【0091】

本開示の一態様は、高アスペクト構造内での能力を向上させると同時に下にある基板に対して機械的により攻撃的でないプロセスを可能にするために、AFMチップの作用端に少なくとも1つのナノフィブリルの取り付けを伴う。これらのフィブリルは、その機械的特性及びナノ粒子洗浄に向けた適用に応じて、2つの異なるラベル、すなわち「剛性のある」フィブリルと「巻き付け」フィブリルに分類することができる。この相違点を理解するために、図7A及び7Bは、これら2つのタイプのフィブリル、すなわち、チップ710に取り付けられた剛性フィブリル700とチップ760に取り付けられた巻き付けフィブリル750とを示す。更に、ピットクリーン（Bit Clean）粒子洗浄において必要とされる2つの重要なプロセス：ナノ粒子の取り出し、汚染表面からナノ粒子の付着及び抽出を最初に理解しなければならない。これらの定められた最重要ステップに関して、2つの異なるフィブリル間の機能的な相違点は、以下のように示される。

20

【0092】

図7Aに関連して、剛性フィブリル700は、ナノ粒子を取り出すためにフィブリル自体の機械的動作及び機械的強度により多く依存する。従って、破断することなく首尾よく取り出しを達成するために、剪断及び曲げ強度及び弾性率にも依存している。これは、単結晶ダイヤモンドの強度及び剛性（典型的には硬度と呼ばれる）を超える又は適合することができる材料が僅かであることを意味する。これらの中には、カーボンナノチューブ及びグラフェンがあり、これは、共にダイヤモンドでも見出される炭素-炭素sp³混成軌道原子間結合（既知の最強結合の1つ）を用いていることに起因する。他の企図される材料には、場合によってはダイヤモンドの機械的強度及び剛性を超えることができる特性を有するホウ素含有化学物質の特定相が含まれ、これらを用いることもできる。一般に、多くの物質（ダイヤモンドを含めて）は、その次元が縮退されると、本質的により強固でより剛性が高くなることができる（構造が原子スケールに近づき、その形状が熱拡散挙動によって決定付けられるにつれて、剛性は低下する）。これは、最初にナノ結晶性金属で観察されたが、分子シミュレーション及び単結晶ナノピラーに関しても生じる一部の実験でも確認されている物質現象である。この挙動に対する1つの有力な仮説は、塑性変形の欠陥拡散機構につながる。より大きなスケールでは、これらの結晶欠陥（空孔、転位など）は、バルク支配型動力学において拡散し相互作用する。より小さなスケールでは（物質及び温度など全てが同じ場合）、これら欠陥の動きは、結晶のバルクにおけるよりも遥かに高い表面拡散型動力学に支配されるようになると考えられる。物質連続体近似の範囲内で考えると、この大きな表面拡散速度は、結果的に低応力レベルでの物質の塑性変形（降伏とも呼ばれる）及び破損にもつながる。例えば、Tiの単結晶ナノピラーに関して、降伏

30

40

50

応力は、約 8 ~ 14 nm の範囲までは断面幅の減少と共に増加することが明らかになっているが、この範囲未満では、その挙動は、降伏応力が断面幅の減少と共に実際には減少する変曲点を経る。

【0093】

図 8 A から 8 C は、AFM チップ 810 の先端又はその近くに取り付けられた単一の剛性フィブリル 800 を用いてターゲット基板からナノ粒子を取り出して取り除く例示的なプロセスを示す。チップ 810 は表面に接近し、剛性フィブリル無しで AFM 走査と同じ原理を用いて走査する。チップ 810 の先端に取り付けられた単一の剛性フィブリルを考慮して、異なる操作パラメータが適用可能であることは、当業者には理解されるであろう。粒子が位置特定されると、チップ 810 は表面 830 に向けて移動され、剛性フィブリル 800 は、図 8 B に概略的に示されるように弾性変形する。一態様において、剛性フィブリル 800 の変形は、圧縮性、剪断性、曲げ性、引張性、又はこれらの組み合わせとすることができ、表面 830 からナノ粒子 820 を機械的に取り出すのに使用することもできる。ナノ粒子 820 が取り出されると、剛性フィブリル 800、基板 840 及びナノ粒子 820 の表面間の表面エネルギー及び面積の相違が、後でナノ粒子 820 が基板表面から抽出されたときに剛性フィブリル 820 に付着するかどうかを決定付ける。

【0094】

これに対しての剛性フィブリルのナノ粒子洗浄プロセスに特有の例外は、図 9 A から 9 C に示すように、2 又は 3 以上の剛性フィブリルが、ナノ粒子の直径よりも小さい（しかし、これらの剪断及び曲げ弾性率及び幅に対する長さの比によって決定されるような、剛性フィブリルに対する弾性変形限界より小さくはない）距離でチップ表面に強固に取り付けられている場合である。2 又は 3 以上の剛性フィブリル 900 a、900 b がナノ粒子の直径よりも小さい距離でチップ 910 に取り付けられた態様によれば、そのシーケンスは、図 8 A から 8 C に関して上述されたような単一の剛性フィブリルと極めて類似している。その相違点は、図 9 B に概略的に示すように、ナノ粒子 920 の周りにより歪んだ又は変形した剛性フィブリル 900 a、900 b が存在するという観察に始まり、これによって、1 又は 2 以上の剛性フィブリル 900 a、900 b が所与の洗浄シナリオに対してナノ粒子 920 を取り出すのに必要となるような方式（力及び加えられる力の角度）でナノ粒子に衝突する確率が増大する。取り出しステップの後に、マルチフィブリルチップ 910 は、粒子 920 が付着する（すなわち、濡れる）より多くの潜在的表面積を有することができる。チップ 910 が基板から後退すると、図 9 C に概略的に示されるように、フィブリルの長さ及び間隔が適正範囲にある場合には別の相違点が現れる。この設定に対するナノ粒子 920 は、剛性のあるナノフィブリル 900 a、900 b 間のスペース内に機械的にトラップされる可能性があり、これにより、マルチフィブリル 900 a、900 b への付着力の増大と、基板表面 930 からナノ粒子 920 を取り出す確率の増大とをもたらすことができる。同様に、別の表面上にナノ粒子 920 を堆積させることが望ましい場合には、チップ 910 を表面に再接近させて、剛性フィブリル 900 a、900 b にナノ粒子 920 の機械的な捕捉を緩めるように再び応力を加え、これにより、ナノ粒子 920 が所望の表面位置に堆積される確率を高めることができる。上述のように、これは、フィブリル 900 a、900 b の長さ及び間隔が適正範囲内にあると仮定しており、1 次モデルにおいて、本開示を鑑みて当業者には理解されるように、これらの範囲には、ナノ粒子 920（砕けることのない強固なナノ粒子を仮定している）の最小幅より小さいが、フィブリル 900 a、900 b がその剪断及び曲げ強度の限界（フィブリルの相対的な長さによっても決まり、フィブリル取り付けの付着強度がこの限界より小さいと仮定している）を超えて曲がることのない程度に大きいフィブリル間隔が含まれる。選ばれた態様において、2 又は 3 以上の剛性フィブリルは、種々の等しくない長さを有することができる。

【0095】

剛性フィブリルとは何か（巻き付けフィブリルと対照的に）を定義するために、特定の物質及びナノ構造に対して非等方的なバネ定数（有効剪断及び曲げ弾性率に係する）を定めることができないかもしれない。これは実際に行うことが極めて難しいので、本明細

10

20

30

40

50

書においては、これらの特性は、およそ引張（別名ヤングの）弾性率及び強度に比例すると仮定する。引張弾性率は、物質が弾性的な（すなわち、バネ様の）機械的特性を示す応力範囲内の物質の剛性の実施可能な尺度である。これは、応力を歪みで除算することによって与えられ、従って、応力と同じ単位となる（歪みは、初期寸法に対する最終寸法の変形率として定義されるため）。引張弾性率は、特に剛性を定義しないが、フィブリルは、それ自体が破断して付加的な汚染を基板表面に生成することなく、ナノ粒子を取り出すのに十分な力を加えることができる必要があるので、引張強度もまた重要である。強度も応力の単位（パスカル）で与えられる。ダイヤモンドに関して、その固有の引張弾性率は、およそ 1.22 テラパスカル（ TPa ）で、引張強度は $8.7 \sim 16.5$ ギガパスカル（ GPa ）に及び、本明細書では剛性及び強度に対する一般的基準尺度を提供する（引張弾性率が 0.5 TPa のタングステンに対する値内に近く、又はこれらの値を超える）。カーボンナノチューブは、その性質上、真性の実体ではないので、これらの引張弾性率は、個々の分子及びその特性に特有である（例えば、単層又は多層、それぞれ SWNT 又は MWNT 、キラリティなど）。 SWNT に関して、その引張弾性率は、 $1 \sim 5 \text{ TPa}$ に及び、その引張強度は $13 \sim 53 \text{ GPa}$ に及ぶことができる。この範囲にある別の部類の物質と比較するため、 B_xN_y （様々な化学量論組成の窒化ホウ素化合物）は、 $0.4 \sim 0.9 \text{ TPa}$ に及び引張弾性率を有する。巻き付けフィブリルと剛性フィブリルを区別してその境界を定めるために、最も適切で適用可能な標準的な機械的材料特性は、降伏応力である。剛性フィブリルは、 0.5 GPa （ $1 \text{ GPa} = 1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ）以上の降伏応力を有する材料としてここでは定義される。従って、消去法により、 0.5 GPa 未満の降伏応力を有する何れかの材料は、巻き付けフィブリルと見なすことになる。特にナノスケールにおいて、多くの物質は非等方的な機械的特性を示すことができ、よって降伏応力は、フィブリルの主要（すなわち、最長）寸法を横切る剪断応力（又は等価な曲げ応力）として規定されることが重要である点に留意されたい。

【0096】

巻き付けフィブリルは、剛性フィブリルとは対照的に、十分に高い（同等の）引張強度と共に遥かに小さなバネ定数を有することになる。巻き付けフィブリルの場合、適用方法の相違に起因して、基板表面からナノ粒子を取り出して抽出するために引張力が加えられるので、引張強度はその性能に直接的に関係する。しかしながら、文献で引用されるほとんどの機械的特性は、原則として、単分子フィブリル（又は、単分子スケールに近いナノスケールフィブリル）に対する引張特性にはほとんど完全に無関係なバルク物質に関するものである点に留意されたい。例えば、 PTFE は通常、バルク物質では極めて低い引張弾性率及び強度を有する（それぞれ、 0.5 GPa 及び場合によっては $< 20 \text{ MPa}$ ）とされるが、分子の骨格が炭素 - 炭素 sp 混成軌道化学結合から構成されるので、その単分子の引張強度は、他の多くの物質、カーボンナノチューブ及びグラフェン（これらの全ては、同種の化学結合を含む）よりもダイヤモンドに匹敵するはずである。バルク物質の機械的特性は、その近傍と相互作用する単一分子鎖の作用により関連するので、凝集力のある単分子の曲げ及び剪断弾性率の両方に匹敵するはずである。これらのタイプの物質（高分子）は、塑性変形と関係した機械的特性の例証となるので、これらの分子は、高い可撓性を示すより拡散性熱的挙動に従って変形すると予期される。剛性フィブリルに対する巨視的な例示が、ガラスの細片である場合、巻き付けフィブリルの相当する例示は、薄い炭素繊維となる（後者は、高い引張強度と共にマクロスケールで高い可撓性を有するように見える）。

【0097】

図 10A ~ 10C は、本開示の一態様による、先端近く又は先端にて AFM チップ 1010 に取り付けられた巻き付け（可撓性）ナノフィブリル 1000 を用いたナノ粒子洗浄シーケンスを示す。巻き付け型フィブリル 1000 を変形させるのに必要な圧縮応力ががないので、近距離表面エネルギー力によりフィブリル 1000 がナノ粒子表面に付着することが可能となる程にフィブリル 1000 をナノ粒子表面に接近させるために、チップ 1010 は、表面 1030 の近接近される。フィブリル 1000、ナノ粒子 1020、及び基

10

20

30

40

50

板表面 1 0 3 0 の相対的表面エネルギーは、フィブリルが優先的にナノ粒子表面に付着するように標的化されるので、フィブリル 1 0 0 0 が、フィブリル長さを考慮した十分な弛みを有して接触状態になると、フィブリル 1 0 0 0 が粒子 1 0 2 0 に巻き付くのを可能にするために、時間及び付与される撹拌エネルギー（場合によっては機械的及び／又は熱的なエネルギー）だけが必要とされる。より剛性のあるチップからの機械的なエネルギー（フィブリル 1 0 0 0 が取り付けられたチップ 1 0 1 0 か、又は前の処理パスの別のチップによるかを問わず）が加えられて、最初に粒子 1 1 2 0 を取り出すことができる。フィブリル 1 0 0 0 がナノ粒子 1 0 2 0 に十分に巻き付くと、図 1 0 に概略的に示されるように、チップ 1 0 1 0 は次に、基板表面 1 0 3 0 から後退する。この段階の間、フィブリル 1 0 0 0 のナノ粒子 1 0 2 0 への付着力（ナノ粒子の周りに巻き付いて絡まるほど強化される）、フィブリル 1 0 0 0 の引張強度、及び A F M チップ 1 0 1 0 に対するその付着力が全て、ナノ粒子 1 0 2 0 の基板 1 0 4 0 に対する付着力よりも大きい場合には、ナノ粒子 1 0 2 0 は、図 1 0 C に概略的に示されるように、基板 1 0 4 0 から後退することになる。【 0 0 9 8 】

10

ナノ（又は分子）スケールの巻き付けフィブリルを作製するのに用いることができる実施可能な材料の幾つかの実施例には、RNA / DNA、アクチン、アミロイドのナノ構造、及びイオノマーが含まれる。RNA（リボ核酸）及びDNA（デオキシリボ核酸）は、類似の化学的性質、調製、及び処理プロセスを示すので、一緒に説明する。近年、俗に「DNA オリガミ」として知られる技術に関して大幅な進歩が成し遂げられ、これにより、DNA 分子を結合する方法の精密な化学工学が可能となる。これら又は類似の化学的性質に適用される類似のプロセスは、長鎖高分子が脱離して、列状に結合することができると考えられる。最も一般的なプロセスを考慮すると、特定の DNA 配列は、化学的に生成され又は周知の一本鎖ウィルス DNA 配列から商業的に得られることになり、適切に化学的官能化された（化学力顕微鏡法の実施で行われるように）A F M チップ 1 1 1 0 は、DNA 配列を含んだ水溶液に浸漬され又は表面に対し A F M 接触状態にされて、DNA 配列が設計どおりに結合するようになる。チップ 1 1 1 0 は次に、図 1 1 A ~ 1 1 D に示すように、基板表面 1 1 3 0 から粒子除去のために官能化することができる。図中で左から右へ移動すると、官能化されたチップ 1 1 1 0 は、図 1 1 A に示すように、粒子 1 1 2 0 及び基板表面 1 1 3 0 に接近する（DNA 鎖 1 1 0 0 の長さよりも近接して）ように移動又は作動させることができる。チップ 1 1 1 0 が、図 1 1 B に示すように取り出された粒子 1 1 2 0 の近くにある間、活性化化学的性質（商業的にも入手可能なヘルパー DNA 鎖か、又はマグネシウム塩などの他の幾つかのイオン活性剤）を有してより高い温度（おそらく ~ 9 0 ）を付与することができる。次いで、環境が冷却され（おそらく ~ 2 0 まで）、鎖 1 1 0 0 における目標の配列が図 1 1 C に示すように結合することができる（結合鎖 1 1 0 0 は、分子の自由両端部にある）。ナノ粒子 1 1 2 0 が確実に付着する点に DNA コーティング 1 1 0 0 が凝固すると、図 1 1 D に示すように、基板表面 1 1 3 0 からチップ 1 1 1 0 を抽出することができる。これらの小スケールでは、ナノ粒子とチップ間のこの結合は機械的と言えるが、粒子が分子スケールの場合には、立体結合として説明することもできる。立体効果は、十分に近接近した原子の反発力によって生成することができる。原子又は分子が、全ての実施可能な拡散方向で原子によって囲まれている場合には、効果的に捕捉されて、その周囲に他の何れかの原子又は分子と化学的又は物理的に相互作用することができないことになる。本開示を鑑みて当業者には理解されるように、RNA も同様に操作することができる。

20

30

40

【 0 0 9 9 】

次に実施可能な巻き付けナノフィブリルの候補は、真核細胞中にフィラメントを形成する類似した球状の多機能タンパク質のファミリーであり、その 1 つはアクチンとして知られる。アクチンは、骨組み形成、定着、機械的支持、及び結合のために細胞内部で使われ、このことは、高度に適応可能で十分に強固なタンパク質フィラメントであることを示している。アクチンは、上述の DNA オリガミ関連プロセスと極めて類似した方法で適用され使用されることになる。実験により、このタンパク質が $6.7 \times 4.0 \times 3.7 \text{ nm}$

50

の寸法の分子に結晶化可能であることが示された。

【 0 1 0 0 】

特定の海洋生物（フジツボ、藻類、海洋扁形動物など）が広範囲の基質材料にバイオミメティック的に（又は直接的に）強固に結合できる機構の研究は、別の巻き付けフィブリル候補を提供する。これらの海洋生物は、一般に頭文字語 D O P A（3、4 - ジヒドロキシフェニルアラニン）と呼ばれる物質を分泌し、これは機能性アミロイドナノ構造でこれらの基質表面に結合する。アミロイド分子の付着特性は、フィブリル軸に対して垂直に配向されて高密度の水素結合網を通じて連結された鎖に起因する。この結合網は、何千もの分子単位にわたって連続的に広がることが多い超分子シートをもたらす。このようなフィブリル状ナノ構造は、水中付着、環境悪化に対する耐性、自己重合による自己修復、及び広大なフィブリル表面積を含む、幾つかの利点を有する。先に検討したように、広大なフィブリル表面積は、フジツボの付着性プラークにおける接触面積の増加により付着力を高める。アミロイドのナノ構造はまた、汎用アミロイド分子間シート構造と関係した凝集強度及びアミロイドコアの外部の付着性残基に関連した付着強度などの、実施可能な機械的利点を有する。これらの特性により、アミロイド構造は広範囲の用途において有望な新世代の生体発想型接着剤の基礎とされる。分子自己組織化の利用の進歩により、ナノテクノロジー上の応用のために合成アミロイド及びアミロイド類似性接着剤の生成が可能となったが、1つには、基礎を成す生物学的設計原理を理解する上での限界に起因して、完全に合理的な設計が未だ実験的に示されていない。

10

【 0 1 0 1 】

巻き付けフィブリル材料の最後の実施例は、イオノマーとして知られる高分子の一部類である。簡潔に言えば、これらは、分子鎖に沿って標的とされたイオン荷電部位に強固に結合する長い熱可塑性高分子である。イオノマー化学的構造の一般的な実施例は、ポリ（エチレン - コ - メタクリル酸）である。本開示の一態様によれば、イオノマーは、走査型熱プローブの表面に官能化することができる。この際、ナノ粒子を洗浄するプロセスは、特に走査型熱プローブで使用される場合に水性環境が必ずしも必要とされないことを除いて、上述の DNA オリガミプロセスに関して示したものと極めて類似している。イオノマー官能化コーティングもまた、水性（又は類似の溶媒）環境内で優先的共役結合のためにイオン性界面活性剤とペアにすることができる。これらの実施例（特に DNA / RNA 及びアクチン）は、細胞などの生体構造内部でのナノ粒子状実体の除去及び操作に関して高度に生体適合性があることに言及すべきである。

20

30

【 0 1 0 2 】

例えば、使用可能な1つの変形形態には、高表面エネルギーチップコーティングを用いることが含まれる。別の変形形態は、粒子を低表面エネルギー材料で前処理して粒子を剥離させ、次いで、粒子を高表面エネルギーチップコーティング（場合によっては異なるチップ上の）と接触させるステップを含む。更に別の変形形態は、チップ表面コーティングと粒子表面との間で起こる化学反応に対応する化学エネルギー勾配を利用して、この2つを結合するステップを含む。これは、チップが尽き果てるまで実行するか、又は他の何れかの処理で反転させることができる。

【 0 1 0 3 】

本開示の更に別の態様によれば、接着剤又は粘着性コーティングは、上記の因子のうちの1つ又は2以上と組み合わせて使用される。また、表面粗さ又は小スケール（例えば、ナノスケール）のテクスチャは、粒子洗浄プロセス効率を最大にするように設計することができる。

40

【 0 1 0 4 】

上記に加えて、典型的にはモップと類似し粒子20を機械的に巻き込むことができるフィブリルをチップ12が含む場合に、機械的結合を用いることができる。本開示の特定の態様による機械的絡み合いは、表面エネルギー或いは接触又は環境に対する化学変化によって駆動され、及び/又は強化される。

【 0 1 0 5 】

50

本開示の更に別の態様によれば、チップ 12 は、分子ピンセット（すなわち、分子クリップ）でコーティングすることができる。これらのピンセットは、ゲスト（例えば、上述の粒子 20）を結合させることができる開放キャビティを有する非環状化合物を含むことができる。ピンセットの開放キャビティは、典型的には、水素結合、金属配位、疎水力、ファンデルワールス力、相互作用、及び/又は静電効果を含む非共有結合を用いてゲストを結合する。これらのピンセットは、ゲスト分子を結合させる 2 つのアームが典型的には一端でのみ連結されていることを除いて、大環状分子受容体に類似していることがある。

【0106】

上記に加えて、粒子 20 は、拡散接合又はカシミール効果を用いてチップによって除去することができる。また、図 6 に示す本開示の態様のように、プリストル又はフィブリル 30 をチップ 12 の端部に取り付けることができる。十分に考慮した配置又はランダムな配置かを問わず、これらのプリストル又はフィブリル 30 は、幾つかの方法で局所的清浄度を高めることができる。例えば、関連する表面積の増加は、粒子に対する表面（近距離）結合に利用することができる。

【0107】

本開示の態様の一部によれば、フィブリル 30 は、選択的に（例えば、表面又は環境のどちらかによって）粒子 20 の周りに巻き付いて粒子 20 を絡ませ、表面接触を最大にする分子であるように設計される。また、典型的には、剛性のあるプリストル 30 がチップ 12 に取り付けられたときに、本開示の特定の態様に従って粒子 20 の取り出しが行われる。しかしながら、フィブリル 30 はまた、粒子 20 を絡ませて、粒子 20 を引っ張ることによって機械的に粒子 20 を取り出すこともできる。対照的に、比較的合成のあるプリストル 30 は通常、チップ 12 が到達困難な裂け目に延びることができる。この場合、プリストル 30 の衝撃変形応力、粒子 20 を跳ね返すためのチップ 12 の表面改質、又は何らかの組み合わせによって、粒子 20 が取り出される。更に、本開示の特定の態様は、粒子 20 をチップ 12 に機械的に結合させる。フィブリルがチップ 12 上にあるときには、フィブリル全体又は摩耗したフィブリルの 1 又は 2 以上のもつれが生じる可能性がある。プリストルがチップ 12 上にあるときには、（弾性的に）応力が加えられたプリストルの間に粒子 20 を割り込ませることができる。

【0108】

本開示の更に別の態様によれば、デブリ除去の方法は、局所的な洗浄を容易にするために環境を変えるステップを含む。例えば、気体又は液体の媒質を導入することができ、或いは、化学的及び/又は物理的特性（例えば、圧力、温度、及び湿度）を変更することができる。

【0109】

上述の構成要素に加えて、本開示の特定の態様は、除去されるデブリを特定する画像認識システムを含む。このため、自動デブリ除去デバイスもまた本開示の範囲内にある。

【0110】

本開示の特定の態様によれば、複雑な形状の内側輪郭、壁、及び/又は底部への望ましくない損傷を回避するために比較的軟質の洗浄用チップが使用される。適切な場合には、より強い力を用いて比較的軟質のチップを表面に遥かに強く接触させながら、走査速度を増加させる。

【0111】

また、低表面エネルギー材料に曝された及び/又はコーティングされたチップは、ナノレベル構造体のデブリ除去（洗浄）以外の他の目的で使用できる点に留意すべきである。例えば、このようなチップはまた、本開示の特定の態様によれば、化学反応を抑制するためにミクロンレベル又はそれ未満のデバイス（MEMS/NEMS のような）を周期的に潤滑するのに使用することができる。

【0112】

本方法は、用途の要件に応じて様々な環境で、並びに基板表面から低エネルギー材料の

10

20

30

40

50

パッチ又はリザーバへの粒子の差別的付着力を更に高めるために実施することができる。これらの環境は、限定ではないが、真空、様々な組成及び圧力のシールドガス、及び可変組成の流体（イオン強度及び／又はpHを変化させる流体を含む）を含むことができる。

【0113】

基板、チップ、デブリ、及び軟質パッチ間のギブズ自由エネルギー勾配に影響を与える他の多くの因子が存在するので、これらの他の因子を操作して、基板から軟質パッチへ粒子を移動させる下り勾配を生成することもできる。一つの因子は温度である。所望の勾配を生成するために、基板及び軟質パッチ材料の温度と合わせて走査熱プローブを使用することが可能である。ギブズ自由エネルギーの基本式は、デブリがより高い相対温度の表面に連続的に接触する場合に（式中の $T \cdot S$ 項が負であるため）、 $G < 0$ の可能な駆動力を与えることができるということを示している。また、高温下で変形したロッドの G の式から、別の因子はチップに加わる応力であり、これがデブリの付着力を潜在的に増加させることが分かる。これは、外部ハードウェア（すなわち、異なる熱膨張係数を有するバイオマテリアルストリップ）によって、或いはナノ加工又はチップ破損に関する閾値未満での基板に対する圧縮又は剪断によって達成することができる。チップ材料の変形はまた、特にそれが粗面化されている（又はナノブリストルで覆われている）場合、及び／又は表面に高い微細構造欠陥（すなわち、ポイド）密度を有する場合には、デブリの機械的捕捉機構を提供することができる。次に検討する最後の因子は、化学ポテンシャルエネルギーである。デブリ材料をチップに結合させるための優先的化学反应を生成するために、チップ及び／又は軟質パッチ表面の化学状態を変えることが可能である。これらの化学結合は、本質的に共有結合又はイオン結合とすることができる（ sp^3 混成軌道共有結合が最も強い）。デブリは、化学的作用の標的化されたロック・アンド・キー型化学結合ペアの1つの構成要素でコーティングすることができる。チップ（又は別のチップ）は、他の化学物質でコーティングされ、デブリ表面と接触させてデブリをチップに結合させることができる。化学作用のロック・アンド・キー型ペアの1つの非限定的な実施例は、化学力顕微鏡（CFM）実験で使用されることが多いストレプトアビジン及びビオチンである。イオン結合を用いる別の実施例は、デブリ及びチップ表面上の分子の露出した極性端が反対の荷電である、2つの界面活性物質の極性分子化学作用であろう。欠乏した溶媒和及び立体相互作用コーティング又は表面を含む表面化学相互作用付着機構には、付加的な関連態様が存在する。チップ表面に対する化学変化はまた、表面エネルギーに対する目標とする変化並びに結合するためにチップ表面でデブリを（表面積 dA を最大にするように）囲んで機械的に捕捉することができる相変化（特に流体から固体への）を可能にすることになる。これらの化学変化（チップ表面に対するものか、又は中間コーティングに対するものかを問わず）は、熱（温度）、紫外線、及び荷電粒子ビームなどの外部エネルギー源によって触媒作用を及ぼすことができる。

【0114】

図12-38を見ると、デブリ検出及び回収システムの例示的な態様について説明する。図12は、本開示の一態様による、基板18からデブリ20を抽出するためのデブリ回収装置100の斜視図を示す。装置100は、基板支持組立体102及びチップ支持組立体104を含み、各々が基部106によって支持され、又は基部106に連結される。基部106は、一体形の金属スラブ、一体形の石スラブ、一体形のコンクリートスラブ、又は当該技術分野で公知の他の一体形のスラブ構造などの一体形スラブとすることができる。代わりに、基部106は、互いに固定された複数のスラブを含むことができる。複数のスラブは、金属スラブ、石スラブ、コンクリートスラブ、これらの組み合わせ、又は当該技術分野で公知の他の何れかのスラブ組立体を含むことができる。本開示の一態様によれば、基部106は、例えば、一体形の花崗岩スラブ又は一体形の大理石スラブなどの、一体形の石スラブとすることができる。

【0115】

基板支持組立体102は、基板18を支持するか、基板18を基板支持組立体102に固定するか、又はその両方を行うように構成された固定具108を含むことができる。基

10

20

30

40

50

板支持組立体 102 は更に、基部 106 に対して固定具 108 を移動させるように構成された基板ステージ組立体 110 を含むことができる。基板ステージ組立体 110 は、直線平行移動ステージ、回転移動ステージ、これらの組み合わせ、又は当該技術分野で公知の他の何れかの移動ステージなど、1 又は 2 以上の移動ステージを含むことができる。例えば、基板ステージ組立体 110 は、x 方向 112 に沿った平行移動で、y 方向 114 に沿った平行移動で、z 方向 116 に沿った平行移動で、x 方向 112 周りの回転で、y 方向 114 周りの回転で、z 方向 116 周りの回転で、又はこれらの組み合わせで固定具 108 を基部 106 に対して移動させるように構成することができる。x 方向 112、y 方向 114、及び z 方向 116 は、互いに直交することができるが、x 方向 112、y 方向 114 及び z 方向 116 が互いに直交することは必須ではない点は、理解されるであろう。

10

【0116】

基板ステージ組立体 110 の 1 又は 2 以上の動作ステージは、固定装置 108 と基部 106 との間の所望の相対移動をもたらすように構成された 1 又は 2 以上のアクチュエータ 118 を含むことができる。例えば、1 又は 2 以上のアクチュエータ 118 は、ねじ付きロッド又はウォームギアを介して基板ステージ組立体 110 に連結された回転モータ、サーボモータ、磁場によって基板ステージ組立体 110 に力を発動するように構成された磁気アクチュエータ、ピストンロッドを介して基板ステージ組立体 110 に連結された空気圧又は液圧ピストン、圧電アクチュエータ、又は当該技術分野で公知の他の何れかの運動アクチュエータを含むことができる。1 又は 2 以上のアクチュエータ 118 は、基部 106 に固定することができる。

20

【0117】

本開示の一態様によれば、基板ステージ組立体 110 は、第 1 ステージ 120 及び第 2 ステージ 122 を含むことができ、ここでは第 1 ステージ 120 は、第 1 アクチュエータ 124 を介して固定具 108 を第 2 ステージ 122 に対して移動させるように構成され、第 2 ステージは、第 2 アクチュエータ 126 を介して基部に対して第 1 ステージ 120 を移動させるように構成される。第 1 アクチュエータ 124 は、第 1 ステージ 120 を x 方向 112 に沿って平行移動させるように構成することができ、第 2 アクチュエータ 126 は、y 方向 114 に沿って第 2 ステージ 122 を平行移動させるように構成することができる。しかしながら、第 1 ステージ 120 及び第 2 ステージ 122 は、他の用途に適合させるために、他の軸に沿った平行移動又は他の軸の周りの回転で基部 106 に対して移動するように構成可能であることは理解されるであろう。

30

【0118】

チップ支持組立体 104 は、チップカンチレバー 132 を介してチップステージ組立体 130 に連結されたチップ 12 を含むことができる。チップ 12 は、AFM 用又は走査型トンネル顕微鏡 (STM) のチップなどの走査型プローブ顕微鏡 (SPM) チップとすることができる。図 12 に示すチップ 12 は、本明細書で上記で説明したチップ構造又は属性の何れかを具現化することができる点は理解されるであろう。従って、チップステージ組立体 130 は、SPM スキャナ組立体とすることができる。チップステージ組立体 130 は、基部 106 に固定され、x 方向 112 に沿った平行移動で、y 方向 114 に沿った平行移動で、z 方向 116 に沿った平行移動で、x 方向 112 周りの回転で、y 方向 114 周りの回転で、z 方向 116 周りの回転で、又はこれらの組み合わせでチップ 12 を基部 106 に対して移動させるように構成することができる。

40

【0119】

基板ステージ組立体 110 と同様に、チップステージ組立体 130 は、基部 106 に対してチップ 12 の所望の移動をもたらす 1 又は 2 以上のアクチュエータ 134 を含むことができる。本開示の一態様によれば、1 又は 2 以上のアクチュエータは、チップ 12 を第 1 軸の周りに回転させるためにチップ 12 に動作可能に連結された回転アクチュエータシステムを含むことができる。本開示の一態様によれば、1 又は 2 以上のアクチュエータ 134 は、1 又は 2 以上の圧電アクチュエータを含むことができるが、本開示の範囲から逸脱することなく、特定用途の要求を満たすために 1 又は 2 以上のアクチュエータ 134 に

50

対して他のアクチュエータ構造を利用してもよいことは理解されるであろう。

【0120】

基板ステージ組立体110は、チップステージ組立体130によって行われる移動よりも大きく且つ精度の低い移動を行うように構成することができる。従って、基板ステージ組立体110は、固定具108とチップ12間の粗い相対移動を生じるように調整することができ、チップステージ組立体130は、固定具108とチップ12間のより微細な相対移動を生じるように調整することができる。

【0121】

一態様によれば、図12の装置100は、基板支持組立体102、基部106、又はその両方に配置された第1パッチ142を含むことができる。別の態様によれば、図13に示すように、装置100は、基板支持組立体102、基部106、又はその両方に配置された第1パッチ142及び第2パッチ144を含むことができる。第1パッチ142、第2パッチ144、又はその両方は、上述のパッチ14の構造、材料、又は属性の何れかを具現化することができる。本開示の態様によれば、第2パッチ144は、第1パッチ142のものと類似した又は同一の構造及び材料を具現化することができ、そこにおいて、第2パッチ144は主に、チップ12を介して基板18から回収されたデブリ20を受け取って保持するために使用され、第1パッチは主に、基板18からの引き続くデブリ20の回収のためにチップ12を処理又は調製するために使用される。或いは、第2パッチ144は、第1パッチ142とは異なる構造又は材料を具現化することができ、第1パッチ142は、基板18からのデブリ20の回収前にチップ12を処理するステップにより良好に調整することができ、第2パッチ144は、チップ12を介して基板18から回収されて第2パッチ144上に配置されたデブリ20を受け取って保持するためにより良好に調整することができる。

【0122】

一態様において、図30-37を参照して更に詳細に説明するように、第2パッチ144は、チップ12からデブリ又は汚染物質を回収するための回収ポケット又は回収スルーホールとして構成することができる。しかしながら、第1パッチ142又は第2パッチ144の何れかを単独で使用して、基板18からデブリ20を回収する前にチップ12を処理し、チップ12を用いて基板18から回収されたデブリ20を保持することができる。図13に示すように、第2パッチ144は、第1パッチ142に対向させて第1ステージに配置又は取り付けることができる。しかしながら、第2パッチ144は、第1パッチ142に隣接して設置することができ、或いは、回収ポケット又は回収スルーホールとして構成された場合に、デブリの捕捉を促進させるために第1ステージ120の他の何れかの位置上又はデブリ回収装置100上に設置することができる。

【0123】

本開示の態様によれば、図14に示すように、図12又は13のデブリ回収装置100からの基板ステージ組立体用のアクチュエータ118及びチップステージ組立体用のアクチュエータ134のうちの何れか又は全ては、それぞれその制御のためにコントローラ136に動作可能に結合することができる。従って、コントローラ136は、それぞれアクチュエータ118、134の制御によって、固定具108と基部106の間及びチップ12と基部106の間で相対移動を生じることができる。同様に、コントローラ136は、アクチュエータ118、134の制御によって、チップ12と固定具108の間で相対移動を生じることができる。

【0124】

更に、コントローラ136は、手動ユーザ入力138、コントローラ136のメモリ140に予めプログラムされた処理手順又はアルゴリズム、これらの組み合わせ、又は当該技術分野で公知の他の何れかの制御入力に応答して、固定具108と基部106の間の相対移動を生じることができる。コントローラ136用の予めプログラムされた制御アルゴリズムは、閉ループアルゴリズム、開ループアルゴリズム、又はその両方を含むことができることは理解されるであろう。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 5 】

図 1 5 は、本開示の一態様による、基板 1 8 からデブリ 1 0 を抽出して、デブリ 2 0 の特性を分析するためのデブリ回収及び計測装置 2 0 0 の斜視図を示す。図 1 2 のデブリ回収装置 1 0 0 と同様に、デブリ回収及び計測装置 2 0 0 は、基板支持組立体 1 0 2、チップ支持組立体 1 0 4、及び基部 1 0 6 を含む。しかしながら、デブリ回収及び計測装置 2 0 0 は更に、計測システム 2 0 2 を含む。本開示の態様によれば、計測システム 2 0 2 はナノスケール計測システムとすることができる。

【 0 1 2 6 】

計測システム 2 0 2 は、エネルギー源 2 0 4 及びエネルギー検出器 2 0 6 を含むことができる。エネルギー源 2 0 4 は、X 線源、可視光源、赤外光源、紫外光源、電子ビーム源、レーザ源、これらの組み合わせ、又は当該技術分野で公知の他の何れかの電磁エネルギー源とすることができる。可視光源は可視光レーザを含むことができ、赤外光源は赤外レーザを含むことができ、紫外光源は紫外レーザを含むことができる点は理解されるであろう。

10

【 0 1 2 7 】

エネルギー源 2 0 4 は、該エネルギー源 2 0 4 によって生成された入射エネルギービーム 2 0 8 がチップ 1 2 に入射するように、チップ 1 2 に向けて配向し照準を合わせることができる。入射エネルギービーム 2 0 8 の少なくとも一部は、チップ 1 2 又はチップ 1 2 上に配置されたデブリ 2 0 によって反射、屈折、又は吸収されて再放出される場合がある。本開示の一態様によれば、エネルギー源 2 0 4 は、SPM チップなどのチップ 1 2 上に入射する照射を配向するように構成され配置された照射源とすることができ、エネルギー検出器 2 0 6 は、チップ 1 2 から試料照射を受け取るために構成され配置された照射検出器とすることができ、試料照射は、入射する照射が加えられて反射され、屈折され、或いはチップ 1 2 又はチップ 1 2 上に配置されたデブリ 2 0 によって吸収されて再放出される結果として生成される。

20

【 0 1 2 8 】

エネルギー検出器 2 0 6 はまた、試料エネルギービーム 2 1 0 がエネルギー検出器 2 0 6 に入射するように、チップ 1 2 に向けて配向し照準することができる。試料エネルギービーム 2 1 0 は、チップ 1 2 又はチップ 1 2 上に配置されたデブリ 2 0 によって反射され、屈折され、吸収されて再放出され、及びこれらの組み合わせの入射エネルギービーム 2 0 8、或いは、入射エネルギービーム 2 0 8 とチップ 1 2 又はチップ 1 2 上に配置されたデブリ 2 0 の何れかとの間の相互作用から生じる場合のある他の何れかのエネルギービームからの寄与を含むことができる。従って、エネルギー検出器 2 0 6 は、例えば、X 線検出器などの光電子増倍管又はフォトダイオード、電子ビーム検出器、これらの組み合わせ、或いは当該技術分野で公知の他の何れかの電磁照射検出器などの、光検出器とすることができる。

30

【 0 1 2 9 】

本開示の一態様によれば、エネルギー源 2 0 4 は、電子ビーム源を含み、エネルギー検出器 2 0 6 は、X 線検出器を含む。本開示の別の態様によれば、エネルギー源 2 0 4 は X 線源を含み、エネルギー検出器 2 0 6 は電子ビーム検出器を含む。本開示の別の態様によれば、エネルギー源 2 0 4 は、限定ではないが、可視光及び赤外光を含む光源を含む。

40

【 0 1 3 0 】

エネルギー検出器 2 0 6 は、試料エネルギービーム 2 1 0 の強度、試料エネルギービーム 2 1 0 の周波数、これらの組み合わせ、又は当該技術分野で公知の試料エネルギービーム 2 1 0 の他の何れかの電磁放射特性に基づいて、出力信号を生成するよう構成することができる。更に、本開示の態様によれば、エネルギー検出器 2 0 6 は、図 1 6 に示すように、コントローラ 1 3 6 に接続することができ、コントローラ 1 3 6 が試料エネルギービームに応じてエネルギー検出器 2 0 6 から出力信号を受信するようになる。従って、本明細書で後述するように、コントローラ 1 3 6 は、試料エネルギービーム 2 1 0 に応じてエネルギー検出器 2 0 6 からの出力信号を分析し、チップ 1 2 又はチップ 1 2 上に配置され

50

たデブリ 20 の 1 又は 2 以上の材料属性を識別するように構成することができる。任意選択的に、エネルギー源 204 は、図 16 のコントローラ 136 に動作可能に結合することができ、コントローラ 136 は、限定ではないが、入射エネルギービーム 208 の強度、入射エネルギービーム 208 の周波数、又はその両方など、エネルギー源 204 によって生成される入射エネルギービーム 208 の属性を制御することができるようになる。一態様において、エネルギー源 204、試料エネルギービーム 210、及び/又はエネルギー検出器 206 の方向は、エネルギー検出器 206 からの出力信号に応じて調整することができる。

【0131】

本開示の一態様によれば、コントローラ 136 は、1 又は 2 以上のアクチュエータ 134 及びエネルギー検出器 206 を含むアクチュエータシステムに動作可能に結合することができ、コントローラ 136 は、試料エネルギービーム 210 などの試料照射に対するエネルギー検出器の第 1 の応答に基づいて第 1 の信号を受信するように構成され、また、第 1 の信号に基づいて 1 又は 2 以上のアクチュエータ 134 を介してチップ 12 と少なくとも 1 つのエネルギー検出器 206 との間に相対移動を生じるように構成されている。一態様において、コントローラ 136 は、試料照射に対する照射検出器の第 1 の応答に基づいて試料照射の第 1 の周波数領域スペクトルを生成し、第 1 の周波数領域スペクトルからバックグラウンド周波数領域スペクトルを差し引くことによって第 2 の周波数領域スペクトルを生成するように構成することができる。第 2 の周波数領域スペクトルに応じて、コントローラ 136 は、1 又は 2 以上のアクチュエータ 134 を介して、チップ 12 とエネルギー源 204 及びエネルギー検出器 206 のうちの少なくとも 1 つとの間に相対移動を生じることができる。一態様において、コントローラ 136 は更に、チップ 12 に汚染物がないか又は実質的にない場合にチップ 12 に対するエネルギー検出器 206 の応答に基づいてバックグラウンド周波数領域を生成するように構成することができる。一態様において、コントローラ 136 は、試料照射に対するエネルギー検出器 206 の第 2 の応答に基づいて第 2 の信号を受信するように構成することができ、また、コントローラ 136 は、第 1 の信号と第 2 の信号との間の差違に基づいて 1 又は 2 以上のアクチュエータ 134 を介してチップ 12 とエネルギー検出器 206 及びエネルギー源 204 のうちの少なくとも 1 つとの間に相対移動を生じるように構成することができる。一態様において、コントローラ 136 は、第 1 の信号と第 2 の信号との間の差違に基づいて、チップ 12 とエネルギー検出器 206 及びエネルギー源 204 のうちの少なくとも 1 つとの間に所定の大きさの相対移動を生じるように構成される。

【0132】

ここで図 17A、図 17B、図 18A 及び図 18B を参照すると、図 17A 及び 18A は、本開示の態様によるデブリ回収及び計測装置 250 の上面図を示し、図 17B 及び 18B は、本開示の態様によるデブリ回収及び計測装置 250 の側面図を示すことが理解されるであろう。図 15 及び 16 にそれぞれ示されるデブリ回収及び計測装置 200 と同様に、デブリ回収及び計測装置 250 は、基板支持組立体 102、チップ支持組立体 104、基部 106、及び計測システム 202 を含むことができる。しかしながら、デブリ回収及び計測装置 250 において、エネルギー源 204 及びエネルギー検出器 206 は各々、チップ 12 ではなくパッチ 252 に向けて配向し照準を合わせることができる。

【0133】

パッチ 252 は、上記で説明した第 1 パッチ 142 又は第 2 パッチ 144 の構造又は属性の何れかを具現化することができ、或いは、図 30 - 37 を参照して更に詳細に説明するように、パッチ 252 は、チップ 12 からデブリ又は汚染物質を回収するための回収ポケット又は回収スルーホールを含み、又は回収ポケット又は回収スルーホールとして構成することができる。従って、デブリ回収及び計測装置 250 は、計測システム 202 を用いて、パッチ 252、パッチ 252 上に配置されたデブリ 20、又はこれらの組み合わせの材料特性を分析するように構成することができる。

【0134】

10

20

30

40

50

基板ステージ組立体 110、チップステージ組立体 130、又はその両方の動作及び / 又は調整は、デブリ回収及び計測装置 250 を用いて少なくとも 3 つの処理手順を実行することができる。第 1 の処理手順の間、基板ステージ組立体 110、チップステージ組立体 130、又はその両方の動作及び / 又は移動は、チップ 12 と固定具 108 上に配置された基板 18 との間の接触を生じ、デブリ 20 が基板 18 からチップ 12 へ移送されるようになる。第 2 の処理手順の間、基板ステージ組立体 110、チップステージ組立体 130、又はその両方の動作及び / 又は移動は、チップ 12 とパッチ 252 との間の接触を生じて、チップ 12 からパッチ 252 にデブリ 20 を移送する。第 3 の処理手順の間、基板ステージ組立体 110 の動作及び / 又は移動は、エネルギー源 204 及びエネルギー検出器 206 の各々をパッチ 252 上に配向し照準を合わせ、エネルギー源 204 からの入射エネルギービーム 208 がパッチ 252 に入射し、パッチ 252 から放出される試料エネルギービーム 210 は、エネルギー検出器 206 に入射する。

10

【0135】

図 18A 及び 18B に示すように、エネルギー検出器 206 は、コントローラ 136 に接続することができ、コントローラ 136 が、試料エネルギービームに応じてエネルギー検出器 206 から出力信号を受信するようになる。従って、本明細書で後述するように、コントローラ 136 は、試料エネルギービーム 210 に応じてエネルギー検出器 206 からの出力信号を分析し、パッチ 252 又はパッチ 252 上に配置されたデブリ 20 の 1 又は 2 以上の材料属性を識別するように構成することができる。任意選択的に、エネルギー源 204 は、図 18A 及び 18B のコントローラ 136 に動作可能に接続することができ、コントローラ 136 が、限定ではないが、入射エネルギービーム 208 の強度、入射エネルギービーム 208 の周波数、又はその両方などのエネルギー源 204 によって生成される入射エネルギービーム 208 の属性を制御することができるようになる。一態様において、エネルギー源 204、試料エネルギービーム 210、及び / 又はエネルギー検出器 206 の方向は、エネルギー検出器 206 からの出力信号に応じて調整することができる。

20

【0136】

ここで図 19A、19B、20A 及び 20B を参照すると、図 19A 及び 20A は、本開示の態様によるデブリ回収及び計測装置 250 の上面図を示し、図 19B 及び 20B は、本開示の態様によるデブリ回収及び計測装置 250 の側面図を示す。図 17A、17B、18A 及び 18B のデブリ回収及び計測装置 250 と同様に、デブリ回収及び計測装置 250 は、基板支持組立体 102、チップ支持組立体 104、基部 106、計測システム 202、エネルギー源、及びエネルギー検出器 206 を含むことができる。図 17A、17B、18A 及び 18B のデブリ回収及び計測装置 250 は更に、第 1 パッチ 252 及び第 2 パッチ 254 を含むことができる。一態様において、第 1 パッチ 252 及び第 2 パッチ 254 は、基板 18 の反対側に配置され、固定具 108 に取り付けることができる。エネルギー源 204 及びエネルギー検出器 206 は各々、第 1 パッチ 252 及び第 2 パッチ 254 のうちの少なくとも 1 つに向けて配向し照準を合わせることができる。第 1 パッチ 252 及び第 2 パッチ 254 は、上述の構造又は属性の何れかを具現化することができる。加えて又は代替として、図 30 - 37 を参照して更に詳細に説明するように、第 1 パッチ 252 及び第 2 パッチ 254 は、チップ 12 からデブリ又は汚染物質を回収するための回収ポケット又は回収スルーホールを含むことができ、或いは回収ポケット又は回収スルーホールとして構成することができる。例えば、デブリ回収及び計測装置 250、エネルギー源 204 及びエネルギー検出器 206 は各々、回収ポケット又は回収スルーホールに配向されて、回収ポケット又は回収スルーホールに回収されたデブリ又は汚染物質 20 の材料特性を計測システム 202 を用いて分析することができる。

30

40

【0137】

基板ステージ組立体 110、チップステージ組立体 130、又はその両方の動作及び / 又は調整は、デブリ回収及び計測装置 250 を用いて少なくとも 3 つの処理手順を実行することができる。本開示の一態様によれば、以下で更に詳細に説明するように、デブリは基板 18 から除去され、回収ポケット又は回収スルーホールを用いて回収することができ

50

る。回収ポケット又は回収スルーホールは、第１パッチ２５２及び第２パッチ２５４の一部とすることができ、或いは、第１パッチ２５２及び第２パッチ２５４の位置に取り付け又は位置決めすることができる。

【０１３８】

第１の処理手順の間、基板ステージ組立体１１０、チップステージ組立体１３０、又はその両方の動作及び／又は移動は、チップ１２と固定具１０８上に配置された基板１８との間の接触を生じ、デブリ２０が基板１８からチップ１２に移送されるようになる。第２の処理手順の間、基板ステージ組立体１１０、チップステージ組立体１３０、又はその両方の動作及び／又は移動は、チップ１２と第１パッチ２５２の回収ポケット又は回収スルーホールとの間の接触を生じ、これによってチップ１２から第１パッチ２５２の回収ポケット又は回収スルーホールにデブリ２０を移送する。一態様において、図３３及び３４に関連して以下で更に詳細に説明するように、第１パッチ２５２の回収ポケット又は回収スルーホールに対するチップ１２の動作及び／又は移動は、所定の軌道を辿ることができる。第３の処理手順の間、基板ステージ組立体１１０の動作及び／又は移動は、エネルギー源２０４及びエネルギー検出器２０６の各々を第１パッチ２５２の回収スルーホールの上に配向して照準を合わせ、エネルギー源２０４からの入射エネルギービーム２０８が、パッチ２５２上に入射し、パッチ２５２から放出される試料エネルギービーム２１０が、エネルギー検出器２０６に入射するようになる。

【０１３９】

図２０Ａ及び２０Ｂを見ると、エネルギー検出器２０６は、コントローラ１３６に結合することができ、コントローラ１３６が、試料エネルギービームに応じてエネルギー検出器２０６から出力信号を受信するようになる。コントローラ１３６は、試料エネルギービーム２１０に応じてエネルギー検出器２０６からの出力信号を分析し、第１パッチ２５２の回収ポケット又は回収スルーホール又は第１パッチ２５２の回収ポケット又は回収スルーホール上に配置されたデブリの１又は２以上の材料属性を識別するように構成することができる。任意選択的に、エネルギー源２０４は、図２０Ａ及び２０Ｂのコントローラ１３６に動作可能に接続することができ、コントローラ１３６は、限定ではないが、入射エネルギービーム２０８の強度、入射エネルギービーム２０８の周波数、又はその両方などのエネルギー源２０４によって生成される入射エネルギービーム２０８の属性を制御することができるようになる。一態様において、エネルギー源２０４、試料エネルギービーム２１０、及び／又はエネルギー検出器２０６の方向は、エネルギー検出器２０６からの出力信号に応じて調整することができる。

【０１４０】

ここで図２１Ａ及び２１Ｂを参照すると、図２１Ａは、本開示の態様によるデブリ回収及び計測装置２６０の上面図を示し、図２１Ｂは、本開示の態様によるデブリ回収及び計測装置２６０の側面図を示すことは理解されるであろう。図１５－２０に示すデブリ回収及び計測装置２００及び２５０と同様に、デブリ回収及び計測装置２６０は、基板支持組立体１０２、チップ支持組立体１０４、及び基部１０６、及び計測システム２０２を含むことができる。しかしながら、デブリ回収及び計測装置２６０において、チップ支持組立体１０４は更に、ロボット２６２を含む。

【０１４１】

ロボット２６２は、モータ２６４及びロボットアーム２６６を含むことができる。ロボットアーム２６６の近位端は、モータ２６４を介して基部１０６に動作可能に連結することができ、チップステージ組立体１３０は、ロボットアーム２６６の遠位端に動作可能に連結することができ、モータ２６４の動作がチップ１２と基部１０６との間の相対移動を生じるようになる。本開示の一態様によれば、モータ２６４の動作は、基部１０６に対するロボット２６２の回転軸２６８周りのチップ１２の回転移動を生じる。

【０１４２】

計測システム２０２は、パッチ２５２を含み、パッチ２５２を支持するための計測ステージ組立体２７０を含むことができる。或いは、計測ステージ組立体２７０がない場合は

、パッチ 2 5 2 は、基部 1 0 6 上に直接的に又は基部 1 0 6 によって支持することができる。計測ステージ組立体 2 7 0 は、x 方向 1 1 2 に沿った平行移動で、y 方向 1 1 4 に沿った平行移動で、z 方向 1 1 6 に沿った平行移動で、x 方向 1 1 2 周りの回転で、y 方向 1 1 4 周りの回転で、z 方向 1 1 6 周りの回転で、又はこれらの組み合わせで、パッチ 2 5 2 と基部 1 0 6 の間の相対移動を生じるように構成することができる。更に、計測ステージ組立体 2 7 0 は、基板ステージ組立体 1 1 0、チップステージ組立体 1 3 0、又はその両方に関する上述の構造又は属性の何れかを具現化することができる。

【 0 1 4 3 】

図 2 1 A 及び 2 1 B において、ロボットアーム 2 6 6 が第 1 の位置に示され、チップ 1 2 が固定具 1 0 8 の近位に位置するようになる。ロボットアーム 2 6 6 が第 1 位置にあるときには、基板ステージ組立体 1 1 0、チップステージ組立体 1 3 0、又はその両方の動作は、チップ 1 2 と固定具 1 0 8 に取り付けられた基板 1 8 との間の接触を生じるのに十分である。従って、ロボットアーム 2 6 6 がその第 1 位置にあるときには、デブリ回収及び計測装置 2 6 0 は、デブリ 2 0 の基板 1 8 からチップ 1 2 への移送を生じさせることができる。

10

【 0 1 4 4 】

図 2 2 A 及び 2 2 B において、ロボットアーム 2 6 6 が第 2 の位置に示され、チップ 1 2 が計測システム 2 0 2 の近位に位置するようになる。ロボットアーム 2 6 6 が第 2 位置にあるときには、チップステージ組立体 1 3 0 の動作、又はチップステージ組立体 1 3 0 及び計測ステージ組立体 2 7 0 の複合動作は、チップ 1 2 とパッチ 2 5 2 の間の接触を生じるのに十分である。従って、ロボットアーム 2 6 6 が第 2 位置にあるときには、デブリ回収及び計測装置 2 7 0 は、デブリ 2 0 のチップ 1 2 からパッチ 2 5 2 への移送を生じさせることができる。本開示の一態様によれば、図 3 0 - 3 7 を参照して更に詳細に説明するように、パッチ 2 5 2 は、チップ 1 2 からデブリ又は汚染物質を回収するための回収ポケット又は回収スルーホールとして構成することができる。図 2 1 A 及び 2 1 B には図示されていないが、デブリ回収及び計測装置 2 7 0 は、パッチ 2 5 2、パッチ 2 5 2 上に配置されたデブリ 2 0、又はその両方に関して計測分析を行うために、図 1 7 A 及び 1 7 B に示したのと類似又は同様のパッチ 2 5 2 に向けて配向して照準を合わせたエネルギー源 2 0 4 及びエネルギー検出器 2 0 6 を含むことができる。

20

【 0 1 4 5 】

本開示の一態様によれば、デブリ回収及び計測装置 2 6 0 内のロボット 2 6 2、基板ステージ組立体 1 1 0、チップステージ組立体 1 3 0、及び計測ステージ組立体 2 7 0 のうちの何れか 1 又は 2 以上は、その制御のためにコントローラ 1 3 6 に動作可能に連結することができる。従って、コントローラ 1 3 6 は、ロボット 2 6 2 を作動させて、図 2 1 A 及び 2 1 B に示す上述の第 1 位置と図 2 2 A 及び 2 2 B に示す第 2 位置との間で構成を切り換えるように構成することができる。

30

【 0 1 4 6 】

次に図 2 3 A 及び 2 3 B を参照すると、図 2 3 A は、本開示の一態様によるチップ支持組立体 1 0 4 の底面図を示し、図 2 3 B は、本開示の一態様による切断線 2 3 B - 2 3 B に沿ったチップ支持組立体の部分側断面図を示すことが理解されるであろう。図 2 3 A 及び図 2 3 B に示すチップ支持組立体 1 0 4 は、図 2 1 A、2 1 B、2 2 A 及び 2 2 B に示すように、ロボットアーム 2 6 6 への一体化に特に好適とすることができる。しかしながら、本開示を考慮して当業者には理解されるように、チップ支持組立体 1 0 4 は、有利には、特定の要求を満たすために、他のデブリ回収及び / 又は計測システムに組み込むことができる点は理解されるであろう。

40

【 0 1 4 7 】

図 2 3 A 及び 2 3 B に示すチップ支持組立体 1 0 4 は、z - アクチュエータ 2 8 0、カメラ 2 8 2、又はその両方を含むが、チップ支持組立体 1 0 4 は、限定ではないが、x 方向 1 1 2 又は y 方向 1 1 4 に沿った平行移動、並びに x 方向 1 1 2、y 方向 1 1 4、及び z 方向 1 1 6 のうちの何れかの周りの回転移動の手段に、チップ支持組立体に関して上記

50

で検討した他の何れかの構造又は属性を具現化できる点は理解されるであろう。

【0148】

z - アクチュエータ280の近位端は、ロボットアーム266に動作可能に連結することができ、z - アクチュエータ280の遠位端は、チップカンチレバー132、カメラ282、又はその両方を介してチップ12に動作可能に連結することができる。従って、z - アクチュエータ280の動作は、チップ12、カメラ282、又はその両方の間でz方向116に沿った相対移動を生じる。z - アクチュエータ280は、回転モータ及びねじ構造、リニアサーボモータ構造、空気圧又は液圧ピストン構造、圧電構造、又は本術分野で公知の他の何れかのリニアアクチュエータ構造を含むことができる。

【0149】

z - アクチュエータ280は、ロボットアーム266とチップ12、カメラ282、又はその両方との間に相対移動を制御するために、コントローラ136に動作可能に連結することができる点は理解されるであろう。更に、カメラ282はまた、コントローラ136に連結して、チップ12に近接する基板の画像をユーザディスプレイ、チップ12の制御用マシンビジョンアルゴリズム、又はその両方に提供することができる。

【0150】

次に図24A及び24Bを参照すると、図24Aは、図15 - 20に関連して上記で説明したものと同一又は類似の計測システム202とすることができる計測システム202の底面図を示すが、図24A及び24Bの計測システム202は、少なくともチップ12、チップステージ組立体13、エネルギー源204、及びエネルギー検出器206を含む他のシステムを表すことができることは、当業者には理解されるであろう。図24Bは、本開示の一態様による計測システム202の側面図を示す。図24A及び24Bに示す計測システム202の構造は、図15及び16に示すデブリ回収及び計測装置200に適用可能とすることができ、ここで計測処理手順は、チップ12、チップ12上に配置されたデブリ20、又はその両方に対して直接実施される。しかしながら、図24A及び24Bに示す計測システム202は、他の計測システム及び装置に対して有利に適用可能であることは理解されるであろう。一態様において、図24A及び24Bに示す特定のチップ12は、四面体形状を含むことができる。図24A及び24Bに示すように、四面体形状を有するチップ12は、どのようなデブリ20も含まない。従って、計測システム202を用いて、チップ12に付着したデブリ20がない状態でチップ12の属性を分析することができる。

【0151】

エネルギー源204は、チップ12に向けて配向し照準を合わせることができ、その結果、エネルギー源204によって生成された入射エネルギービーム208がチップ12に入射するようになり、エネルギー検出器206は、チップ12に向けて配向し照準を合わせることができ、その結果、チップ12上への入射エネルギービーム208に応じて生成された試料エネルギービーム210が、エネルギー検出器206によって受け取られるようになる。チップステージ組立体130は、チップ12に動作可能に連結することができ、該チップステージ組立体130は、エネルギー源204、エネルギー検出器206、又はその両方に対してx方向112、y方向114、及びz方向115のうちのあらゆる方向に沿った平行移動又はあらゆる方向の周りの回転でチップ12を移動させることができるようになる。本開示の一態様によれば、チップステージ組立体130は、チップ12を貫いて延びるチップ長手方向軸線284の周りに少なくともチップ12を回転させるように構成される。本開示の一態様によれば、図24A及び24Bに具体的に示されるチップ12は、四面体形状を含む。

【0152】

チップステージ組立体130、エネルギー源204、エネルギー検出器206、又はこれらの組み合わせは、その制御のためにコントローラ136に動作可能に結合することができる。従って、コントローラ136は、チップステージ組立体130を作動させることによって入射エネルギービーム208をチップ12の異なる表面上に選択的に配向するこ

10

20

30

40

50

とができ、コントローラ 136 は、結果として得られた試料エネルギービーム 210 の属性を表す、エネルギー検出器 206 からの 1 又は 2 以上の信号を受信することができる。図 24A 及び 24B に示すように、チップ 12 は、どのようなデブリ 20 も存在しないとすることができる。従って、計測システム 202 を用いて、チップ 12 に付着したデブリ 20 がない状態のチップ 12 の属性を分析することができる。

【0153】

ここで図 25A 及び 25B を参照すると、図 25A は、本開示の一態様による計測システム 202 の底面図を示し、図 25B は、本開示の一態様による計測システム 202 の側面図を示す。図 25A 及び 25B に示す計測システム 202 は、図 15 - 20、24A 及び 24B に示す計測システム 202 に関して説明した構造又は属性の何れかを具現化することができる。しかしながら、図 25A 及び 25B に示す計測システム 202 は、四面体形状を有するチップ 12 に付着したデブリ 20 を示す。従って、計測システム 202 を用いて、チップ 12、チップ 12 に付着したデブリ 20、又はその両方の属性を分析することができる。

10

【0154】

ここで図 26A 及び 26B を参照すると、図 26A は、本開示の一態様による計測システム 202 の底面図を示し、図 26B は、本開示の一態様による計測システム 202 の側面図を示す。図 26A 及び 26B に示す計測システム 202 は、図 24A 及び 24B に示す計測システム 202 の構造又は属性の何れかを具現化することができる。しかしながら、図 24A 及び 24B とは違って、図 26A 及び 26B に示す特定のチップ 12 は、円錐形状を含む。図 26A 及び 26B に示すように、円錐形状を有するチップ 12 は、どのようなデブリ 20 も含まない。従って、計測システム 202 を用いて、チップ 12 に付着したデブリ 20 がない状態のチップ 12 の属性を分析することができる。

20

【0155】

ここで図 27A 及び 27B を参照すると、図 27A は、本開示の一態様による計測システム 202 の底面図を示し、図 27B は、本開示の一態様による計測システム 202 の側面図を示す。図 27A 及び 27B に示す計測システム 202 は、図 26A 及び 26B に示す計測システム 202 に関して説明した構造又は属性の何れかを具現化することができる。しかしながら、図 27A 及び 27B に示す計測システム 202 は、円錐形状を有するチップ 12 に付着したデブリ 20 を示す。従って、計測システム 202 を用いて、チップ 12、チップ 12 に付着したデブリ 20、又はその両方の属性を分析することができる。

30

【0156】

ここで図 28A 及び 28B を参照すると、図 28A は、本開示の一態様による計測システム 202 の底面図を示し、図 27B は、本開示の一態様による計測システム 202 の側面図を示すことが理解されるであろう。図 28A 及び 28B に示す計測システム 202 は、図 24A 及び 24B に示す計測システム 202 の構造又は属性の何れかを具現化することができる。しかしながら、図 24A 及び 24B とは違って、図 28A 及び 28B に示す特定のチップ 12 は角錐形状を含む。図 28A 及び 28B に示すように、角錐形状を有するチップ 12 は、どのようなデブリ 20 も含まない。従って、計測システム 202 を用いて、チップ 12 に付着したデブリ 20 がない状態のチップ 12 の属性を分析することができる。

40

【0157】

ここで図 29A 及び 29B を参照すると、図 29A は、本開示の一態様による計測システム 202 の底面図を示し、図 29B は、本開示の一態様による計測システム 202 の側面図を示すことが理解されるであろう。図 29A 及び 29B に示す計測システム 202 は、図 28A 及び 28B に示す計測システム 202 に関して説明した構造又は属性の何れかを具現化することができる。しかしながら、図 29A 及び 29B に示す計測システム 202 は、角錐形状を有するチップ 12 に付着したデブリ 20 を示す。従って、計測システム 202 を用いて、チップ 12、チップ 12 に付着したデブリ 20、又はその両方の属性を分析することができる。

50

【 0 1 5 8 】

図 3 0 - 3 7 を見ると、回収ポケット又は回収スルーホールを備えた例示的な汚染物回収器について説明する。ここで図 3 0 A 及び 3 0 B を参照すると、図 3 0 A は、汚染物試料 3 3 をチップ 1 2 から回収するための汚染物回収器 3 0 の側断面図（図 3 0 B の 3 0 A - 3 0 A で見た）を示し、チップ 1 2 は、例示的なデブリ検出及び回収システムに関して上記で説明したものと同一又は類似することができる。汚染物試料 3 3 は、上述のデブリ又は粒子 2 0 の 1 又は 2 以上の断片を含むことができる。汚染物回収器 3 0 は、第 1 の上面 3 6 から第 2 の上面 3 8 まで延びる少なくとも 3 つの側壁 3 4 を含む回収ポケット 3 2 を定めることができる。側壁 3 4 の高さ（ h ）は、チップ 1 2 の少なくとも一部を回収ポケット 3 2 の深さに挿入できるように選択することができる。一態様において、回収ポケット 3 2 の深さを定める側壁 3 4 の高さ（ h ）は、チップ 1 2 の長さ（ L ）の 2 5 % から 2 0 0 % の間とすることができる。一態様において、側壁の高さ（ h ）は、汚染物回収器 3 0 内又は汚染物回収器 3 0 上に堆積することができる汚染物試料 3 3 を分析するための分光法の屈折を促進するように選択することができる。

10

【 0 1 5 9 】

一態様において、第 1 上面 3 6 と側壁 3 4 との間の交差が、第 1 セットの内縁を形成し、第 2 上面 3 8 と側壁 3 4 との間の交差が、第 2 のセットの内縁を形成する。側壁 3 4 は、第 1 上面 3 6 から第 2 上面 3 8 まで延びる少なくとも 1 つの内部表面を定めることができる。一態様において、上述のエネルギー源 2 0 4 などの照射源は、入射する照射を汚染物回収器 3 0 の内部表面又は表面に配向するように構成し配置することができる。一態様において、上述のエネルギー検出器 2 0 6 などの照射検出器は、汚染物回収器 3 0 の 1 又は 2 以上の内部表面から試料照射を受け取るように構成し配置することができ、試料照射は、入射する照射が汚染物回収器 3 0 の 1 又は 2 以上の内部表面又は表面に配向されてこれらから反射されることによって生成される。

20

【 0 1 6 0 】

図 3 0 B に示すように、3 つの側壁 3 4 及び対応する第 1 内縁は、上から見て正三角形の輪郭を形成することができる。隣接する側壁 3 4 の各セットは、一セットの汚染物回収縁部 3 5 を形成することができる。一態様において、四面体形状を有するチップ 1 2 を図 3 0 A 及び 3 0 B の汚染物回収器 3 0 と共に使用することができる。チップ 1 2 の 1 又は 2 以上の縁部 1 3 は、回収ポケット 3 2 の 1 又は 2 以上の汚染物回収縁部 3 5 の近くで、それに隣接して操作、摩擦、又は引きずることができ、その結果、汚染物試料 3 3 をチップ 1 2 から回収ポケット 3 2 に移送することができるようになる。選ばれた態様において、汚染物回収器 3 0 は、上から見て非正三角形の輪郭（例えば、二等辺、不等辺、鋭角、直角、又は鈍角の三角形）を形成する 3 つの側壁 3 4 を含むことができる。非正三角形の断面は、本開示を考慮して当業者には理解されるように、等しくない汚染物回収縁部 3 5 を定め、従って、様々なサイズ及び／又は形状のチップから汚染物試料 3 3 を抽出するように適合させることができる。一態様において、汚染物回収縁部 3 5 の各縁部は、特に汚染物試料 3 3 がナノレベルの構造である場合に、チップ 1 2 が汚染物試料 3 3 を回収ポケット 3 2 に移送するのに必要とされる移動量を低減するために、1 0 mm 以下の長さを有することができる。

30

40

【 0 1 6 1 】

ここで図 3 1 A 及び 3 1 B を参照すると、図 3 1 A は、汚染物試料 3 3 をチップ 1 2 から回収するための汚染物回収器 3 0 の側断面図（図 3 1 B の 3 1 A - 3 1 A に見た）を示し、チップ 1 2 は、例示的なデブリ検出及び回収システムに関して上記で説明したものと同一か又は類似したものとすることができる。汚染物回収器 3 0 は、第 1 上面 3 6 から第 2 上面 3 8 まで延びる側壁 3 4 を含む回収ポケット 3 2 を定めることができる。側壁 3 4 の高さ（ h ）は、チップ 1 2 の少なくとも一部を回収ポケット 3 2 の深さに挿入できるように選択することができる。一態様において、回収ポケットの深さを定める側壁 3 4 の高さ（ h ）は、チップ 1 2 の長さ（ L ）の 2 5 % から 2 0 0 % の間とすることができる。一態様において、側壁の高さ（ h ）は、汚染物回収器 3 0 内又は汚染物回収器 3 0 上に堆積

50

することができる汚染物試料 33 を分析するための分光法の屈折を促進するように選択することができる。

【0162】

一態様において、図 31B に示すように、汚染物回収器 30 は、上から見て円形の輪郭を形成する円筒状側壁 34 を含むことができる。第 1 上面 36 と側壁 34 との間の交差部にて汚染物回収内縁部 35 を形成することができる。一態様において、円錐形状を有するチップ 12 は、図 31A 及び 31B の汚染物回収器 30 と共に使用することができる。円錐形チップ 12 の表面は、回収ポケット 32 の汚染物回収縁部 35 の近くで、それに隣接して操作、摩擦、又は引きずることができ、その結果、汚染物試料 33 をチップ 12 から回収ポケット 32 に移送することができるようになる。選ばれた態様において、汚染物回収器 30 は、上から見て卵形又は楕円形の輪郭を定める側壁 34 を含むことができ、従って、本開示を考慮して当業者には理解されるように、様々なサイズ及び/又は形状のチップから汚染物試料 33 を抽出するように適合させることができる。一態様において、汚染物回収縁部 35 の直径は、幅 10 mm 未満とすることができる。選ばれた態様において、汚染物回収縁部 35 の直径は、特に汚染物試料 33 がナノレベル構造である場合に、チップ 12 が汚染物試料 33 を回収ポケット 32 に移送するのに必要とされる移動量を低減するために、500 ミクロン以下とすることができる。

10

【0163】

ここで図 32A 及び 32B を参照すると、図 32A は、汚染物試料 33 をチップ 12 から回収するための汚染物回収器 30 の側断面図（図 32B の 32A - 32A で見た）を示し、チップ 12 は、例示的なデブリ検出及び回収システムに関して上記で説明したものと同じか又は類似したものとすることができる。汚染物回収器 30 は、第 1 上面 36 から第 2 上面 38 まで延びる側壁 34 を含む回収ポケット 32 を定めることができる。側壁 34 の高さ（h）は、チップ 12 の少なくとも一部を回収ポケット 32 の深さに挿入できるように選択することができる。一態様において、回収ポケットの深さを定める側壁 34 の高さ（h）は、チップ 12 の長さ（L）の 25% から 200% の間とすることができる。一態様において、側壁の高さ（h）は、汚染物回収器 30 内又は汚染物回収器 30 上に堆積することができる汚染物試料 33 を分析するための分光法の屈折を促進するように選択することができる。

20

【0164】

一態様において、図 32B に示すように、汚染物回収器 30 は、上から見て矩形又は方形の輪郭を形成する 4 つの側壁 34 を含むことができる。隣接する側壁 34 の各セットは、汚染物回収内縁部 35 を形成することができる。一態様において、角錐形状を有するチップ 12 は、図 32A 及び 32B の汚染物回収器 30 と共に使用することができる。チップ 12 の 1 又は 2 以上の縁部 13 は、回収ポケット 32 の 1 又は 2 以上の汚染物回収内縁部 35 の近くで、それに隣接して操作、摩擦、又は引きずることができ、その結果、汚染物試料 33 をチップ 12 から回収ポケット 32 に移送することができるようになる。一態様において、汚染物回収縁部 35 の各縁部は、特に汚染物試料 33 がナノレベルの構造である場合に、チップ 12 が汚染物試料 33 を回収ポケット 32 に移送するのに必要とされる移動量を低減するために、10 mm 以下の長さを有することができる。

30

40

【0165】

チップ及び回収ポケットの形状の特定の組み合わせについて、図 30A、30B、31A、31B、32A 及び 32B に関連して上述したが、チップ 12 及び回収ポケット 32 の形状の何れかの組み合わせは、共に又は互換的に利用できることは理解されるであろう。例えば、図 31A 及び 31B の円錐形チップは、図 30A 及び 30B の三角形の回収ポケット 32 と共に使用することができる。更に、例示的な三角形、矩形及び円形の汚染物回収器が図 30 - 32 に示されるが、5 つ又は 6 以上の側壁を有する汚染物回収器もまた使用可能である。

【0166】

次に、図 33A から 33C を見ると、図 30 - 32 に関連して上述したような、チップ

50

12 を操作して汚染物試料 33 をチップ 12 から汚染物回収器 30 に移送するステップの例示的なプロセスを説明する。図 35 - 37 に関連して全体的に説明するように、同様のステップが汚染物試料を汚染物回収器 40 に移送するために適用可能であることを理解されるであろう。図 33 A に示すように、チップ 12 は最初に、回収ポケット 32 の開口部の x 方向及び y 方向の上方で中心に位置決めすることができる。次いで、チップ 12 は、回収ポケット 32 の側壁 34 に接触することなく、少なくとも部分的には z 方向で回収ポケット 32 内に降下することができる。次に、図 33 B に示すように、チップ 12 は、x 方向及び / 又は y 方向で側壁 34 のうちの 1 つに向けて操作することができる。同時に、チップ 12 は、汚染物試料 33 が回収ポケット 32 の汚染物回収縁部 35 と摩擦又は密接することができるように、z 方向に上向きに操作することができ、これにより、汚染物試料 33 をチップ 12 から汚染物回収縁部 35 の少なくとも 1 つの側部に移送することができる。

10

【0167】

一態様において、チップ 12 の図 33 A に示す位置から図 33 B の位置までの移動は、チップ 12 が放物線軌道、擦過動作及び / 又は拭取り動作を経て汚染物回収縁部 35 に向けて移動し通過するような、二次関数として定義することができる。チップ 12 は、図 33 A に示すような開始位置に戻す操作をする前に、図 33 B に示す位置から汚染物回収縁部 35 の上方右側に移動し続けることができる。一態様において、チップ 12 の移動は、チップ 12 及び回収ポケット 32 のサイズ及び形状に応じた線形関数として定義することができる。チップ 12 に関する他の軌道及び移動経路は、本開示を鑑みて当業者には理解されるであろう。

20

【0168】

加えて又は代替として、図 34 A から図 34 C に示すように、チップ 12 は最初に、回収ポケット 32 の中心から上方で x 方向及び y 方向でオフセットして位置付けることができる。次いで、チップ 12 の少なくとも一部が少なくとも部分的に回収ポケット 32 内に位置するまで、チップ 12 は、z 方向下方に移動させると同時に、回収ポケット 32 の中心に向けて x 方向及び / 又は y 方向で移動させることができる。チップ 12 を回収ポケット 32 内へ移動する際に、汚染物試料 33 は、回収ポケット 32 の汚染物回収縁部 35 に摩擦又は密接することができ、これにより、汚染物試料 33 は、チップ 12 から汚染物回収縁部 35 の少なくとも 1 つの上部に移送される。

30

【0169】

一態様において、チップ 12 の図 34 A に示す位置から図 34 C の位置までの移動は、チップ 12 が放物線軌道、擦過動作及び / 又は拭取り動作を経て汚染物回収縁部 35 に向けて移動し通過するような、二次関数として定義することができる。一態様において、チップ 12 の移動は、チップ 12 及び回収ポケット 32 のサイズ及び形状に応じた線形関数として定義することができる。チップ 12 に関する他の軌道及び移動経路は、本開示を鑑みて当業者には理解されるであろう。

【0170】

本開示の一態様によれば、図 33 A - 33 C 及び / 又は 34 A - 34 C の上記チップ操作は、チップ 12 が汚染物回収縁部 35 の異なる部分に接触するように繰り返すことができる。例えば、図 31 A 及び 31 B に関連して上述したように、汚染物回収縁部 35 が円形の外形形状を有する場合、チップ 12 は、チップ 12 の異なる対応部分から汚染物試料 33 を移送するために、汚染物回収縁部 35 の 12 時と 6 時の位置に（図 31 B に示す上面図の向きに基づいて）接触するように操作することができる。本開示を鑑みて、汚染物回収縁部 35 の付加的な部分又は全ての部分に接触するようにチップの操作を繰り返すことができることは、当業者には理解されるであろう。一態様において、チップ 12 を操作して、12 時、3 時、6 時、9 時の位置で汚染物回収縁部 35 に摩擦し又は密接することによって、汚染物試料 33 をチップ 12 から汚染物回収縁部 35 に移送することができる。汚染物回収縁部 35 の異なる位置で汚染物試料 33 を回収することにより、チップ 12 の異なる部分から得られた回収汚染物試料の組成は、汚染物回収縁部の異なる対応部分に

40

50

計測位置を定めることで特定することができる。

【 0 1 7 1 】

本開示の一態様によれば、図 3 3 A - 3 3 C 及び / 又は 3 4 A - 3 4 C の上記のチップ操作は、チップ 1 2 の異なる部分が汚染物回収縁部 3 5 の同じ位置に接触又は密接することができるように繰り返すことができ、これにより汚染物試料 3 3 の全て又は大部分をチップ 1 2 から汚染物回収縁部 3 5 上の同じ位置に堆積することができる。例えば、図 3 3 B 又は 3 4 B に示すように、汚染物試料 3 3 を汚染物回収縁部 3 5 に移送した後、チップ 1 2 を z 軸の周りに回転させて、汚染物回収縁部 3 5 上の同じ共通位置を通過するように連続的に操作することができる。加えて又は代替として、図 3 3 B 又は 3 4 B に示すように、汚染物試料 3 3 をチップ 1 2 から汚染物回収縁部 3 5 に移送した後に、汚染物回収縁部 3 5 を z 軸の周りに回転させることができる。更に、本開示で記載される回収ポケット 3 2 及び回収スルーホール 4 6 (チップ 1 2 を完全に囲む回収縁部を有する)に加えて、チップ 1 2 を完全には取り囲まない回収縁部又は回収縁部のセットを使用してもよい。例えば、回収縁部は、単一の直線縁部又は単一の C 字形状縁部からなることができる。一セットの回収縁部が使用される一態様において、回収縁部が合わせてチップ 1 2 の 7 5 % 未満を囲み、選ばれた態様において、回収縁部は合わせてチップ 1 2 の 5 0 % 未満を囲むことができる。汚染物回収縁部 3 5 の同じ共通位置で汚染物試料 3 3 を回収することにより、チップ 1 2 から回収された汚染物試料 3 3 の組成全体は、汚染物回収縁部上の共通位置を計測位置として定めることで特定することができる。

10

【 0 1 7 2 】

一態様において、図 3 3 A - 3 3 C 及び / 又は 3 4 A - 3 4 C の上記のチップ操作は、上方及び横方向の外方への動作の後に下方及び横方向の内方への動作が続くように、又はその逆もできるように組み合わせることで連続的に使用されて、汚染物試料 3 3 をチップ 1 2 から汚染物回収縁部 3 5 に移送することができる。連続動作は、チップ 1 2 から汚染物試料 3 3 を回収する速度の向上を促進することができる。

20

【 0 1 7 3 】

次に、図 3 5 - 3 7 を見ると、回収スルーホールを有する例示的な汚染物回収器を説明する。ここで図 3 5 A 及び 3 5 B を参照すると、図 3 5 A は、汚染物試料 3 3 をチップ 1 2 から回収するための汚染物回収器 4 0 の断面図 (図 3 5 B の 3 5 A - 3 5 A で見た) を示し、チップ 1 2 は、本開示の例示的なデブリ検出及び回収システムに関して上記で説明したものと同一又は類似したものとすることができる。汚染物回収器 4 0 は、少なくともスタンド 4 2 及びプラットフォーム 4 4 を含むことができ、プラットフォーム 4 4 は、回収スルーホール 4 6 を定めるため側壁 4 5 を有する内部切欠きを含むことができる。一態様において、プラットフォーム 4 4 は、上面 4 7 及び下面 4 8 を含み、側壁 4 5 は、上面 4 7 から下面 4 8 まで延びることができる。回収リップ縁部 4 9 は、側壁 4 5 と上面 4 7 との間の交差部に定めることができる。スタンド 4 2 及びプラットフォーム 4 4 は、互いに固定することができ、又は別々の構成部品として設けることができる。

30

【 0 1 7 4 】

一態様において、特に回収及び計測システムが別個のユニットで、一体化されず及び / 又は同じ位置に設置されていない場合には、汚染物回収器 4 0 は、一つの位置から別の位置に移送してもよい。汚染物回収器 4 0 又はプラットフォーム 4 4 は個々に、回収された汚染物試料 3 3 を分析するために回収システムから計測システムへ移動させることができる。

40

【 0 1 7 5 】

図 3 5 A 及び 3 5 B に示すように、汚染物回収器の側壁 4 5 は、回収スルーホール 4 6 がチップ進入位置に向かう方向で狭窄するように傾斜を付けることができる。本開示の一態様によれば、図 3 5 B に示すように、スルーホール 4 6 が上から見たときに略三角形の輪郭を有する切頂四面体通路を定めるように、側壁 4 5 を傾斜させることができる。動作時には、図 3 5 A 及び 3 5 B に示すように、四面体形状のチップ 1 2 は、汚染物回収器 4 0 の回収スルーホール 4 6 に z 方向で上方から入るように位置決めすることができる。チ

50

チップ 12 は、回収スルーホール 46 に進入するために少なくとも z 方向下方に操作することができる。チップ 12 の少なくとも一部がスルーホール 46 に入ると、チップ 12 は次に、汚染物回収器 40 の側壁 45 及び汚染物リップ縁部 49 に向けて x 方向及び / 又は y 方向で横方向に操作することができる。横方向に移動しながら、チップ 12 は、汚染物試料 33 が回収リップ縁部 49 及び / 又は側壁 45 に摩擦し接触することができるように、同時に z 方向上方に操作することができ、これにより、汚染物試料 33 は、チップ 12 から回収リップ縁部 49 及び / 又は側壁 45 に移送される。チップ 12 の軌道及び移動は、図 33A - 33C に関連して上述したものと同一である又は類似したものとすることができる。

【0176】

10

加えて又は代替として、汚染物試料 33 は、汚染物回収器 40 の回収スルーホール 46 の上方に z 方向で且つ回収スルーホール 46 の中心から x 方向及び / 又は y 方向でオフセットしてチップ 12 を最初に位置決めすることによって、チップ 12 から除去することができる。次いで、チップ 12 の少なくとも一部が少なくとも部分的にスルーホール 46 内に位置するまで、チップ 12 は、z 方向下方に移動させると同時に、x 方向及び / 又は y 方向でスルーホール 46 の中心に向けて移動させることができる。チップ 12 をスルーホール 46 に移動する際に、汚染物試料 33 は、スルーホール 46 の回収リップ縁部 49 に摩擦又は密接することができ、これにより、汚染物試料 33 がチップ 12 から回収リップ縁部 49 の少なくとも上部に移送される。チップ 12 の軌道及び移動は、図 34A - 34C に関連して上述したものと同一又は類似したものとすることができる。

20

【0177】

図 35A 及び 35B と同様に、図 36A 及び 36B の汚染物回収器 40 は、少なくともスタンド 42 及びプラットフォーム 44 を含むことができる。しかしながら、側壁 45 が切頂四面体通路を有するスルーホール 46 を定めた図 35A 及び 35B とは違って、図 36A 及び 36B のプラットフォーム 44 は、円錐形、卵形円錐形、及び楕円円錐形の通路を含めて、円錐台形通路を定める側壁 45 を有する内部切欠きを含む。動作時には、汚染物試料 33 のチップ 12 からの除去は、スルーホール 46 を円錐台形通路と取り替えて、図 35A 及び 35B に関連して上述したものと同一処理手順に従うことになる。

【0178】

図 36A 及び 36B と同様に、図 37A 及び 37B の汚染物回収器 40 は、少なくともスタンド 42 及びプラットフォーム 44 を含むことができる。しかしながら、側壁 45 が円錐台形通路を有するスルーホール 46 を定める図 36A 及び 36B とは違って、図 37A 及び 37B のプラットフォーム 44 は、回収スルーホール 46 を定めるため複数の側壁 45 を有する内部切欠きを含む。本開示の一態様によれば、プラットフォーム 44 は、角錐台形通路を有するスルーホール 46 を定めるため 4 つの側壁を備えることができる。動作時には、汚染物試料 33 のチップ 12 からの除去は、スルーホール 46 を円錐台形通路と取り替えて、図 35A 及び 35B に関連して上述したものと同一処理手順に従うことになる。

30

【0179】

切頂四面体通路、円錐台形通路、及び角錐台形通路について図 35 - 37 に関連して上述したが、スルーホール 46 に関する他の通路形状が企図され、通路形状は、不均一な形状並びにスルーホールが 3 又は 4 以上の側壁を有する場合を含めて、チップ 12 の対応する形状に基づいて選択することができる。当然のことながら、チップの他の形状及びサイズが図 35 - 37 の汚染物回収器 40 と共に利用可能であることは当業者には明らかであろう。

40

【0180】

図 30 - 32 の回収ポケット 32 及び / 又は図 35 - 37 の汚染物回収器 40 は、上述のような図 12 - 23 のデブリ回収装置 100 と共に使用可能とすることができ、或いは、チップ 12 及び関連する作動及び制御機構とは別個に、図 38 の汚染物分析システム 500 を用いて調べることができる。本開示を鑑みて当業者には理解されるように、図 30

50

- 3 2 の回収ポケット 3 2 及び / 又は図 3 5 - 3 7 の汚染物回収器 4 0 を用いて、第 1 の位置に装着され、除去され、第 2 の位置に運ばれ、デブリ検出プロセスで分析され、洗浄されて再使用される間に、デブリを回収することができる。

【 0 1 8 1 】

図 3 8 に示すように、汚染物分析システム 5 0 0 は、エネルギー源 5 0 及びエネルギー検出器 5 2 を含むことができる。汚染物回収器 4 0 を検査又は分析する準備が整うと、汚染物回収器 4 0 は、スタンド 4 2 上に配置又は装着することができる。エネルギー源 5 0 及びエネルギー検出器 5 2 は、単一ユニット内に共同設置することができ、或いは別々のユニットに設けることができる。エネルギー源 5 0 及びエネルギー検出器 5 2 は各々、1 又は 2 以上のアクチュエータに連結され、x 方向、y 方向及び z 方向のうちの 1 又は 2 以上の方向にエネルギー源 5 0 及びエネルギー検出器 5 2 を移動させ、及び / 又は x 方向、y 方向及び z 方向の周りにエネルギー源 5 0 及びエネルギー検出器 5 2 を回転させることができる。エネルギー源 5 0 及びエネルギー検出器 5 2 は、汚染物回収器 4 0 の上方、下方又は汚染物回収器 4 0 と並べて設置することができ、その結果、エネルギー源 5 0 及びエネルギー検出器 5 2 は、汚染物回収器 4 0 の回収リップ縁部 4 9 又は側壁 4 5 上に照準を合わせるように動作可能である。

【 0 1 8 2 】

汚染物試料 3 3 が汚染物回収器 4 0 の回収リップ縁部 4 9 及び / 又は側壁 4 5 上に回収される汚染物回収プロセスの間又はその後で、エネルギー源 5 0 は、リップ縁部 4 9 及び / 又は側壁 4 5 に向けて配向し照準を合わせることができ、エネルギー源 5 0 によって生成された入射エネルギービーム 5 1 が回収リップ縁部 4 9 及び / 又は側壁 4 5 に入射するようになり、またエネルギー検出器 5 2 は、リップ縁部 4 9 及び / 又は側壁 4 5 に向けて配向し照準を合わせることができ、リップ縁部 4 9 及び / 又は側壁 4 5 上に入射したエネルギービーム 5 1 に応答して生成された試料エネルギービーム 5 3 が、エネルギー検出器 5 2 によって受け取られるようになる。

【 0 1 8 3 】

本開示の態様によれば、エネルギー源 5 0、エネルギー検出器 5 2、又はこれらの組み合わせは、その制御のためにコントローラ 5 6 に動作可能に結合することができる。従って、コントローラ 5 6 は、エネルギー源 5 0 と関係付けられた 1 又は 2 以上のアクチュエータによって、入射エネルギービーム 5 1 をエネルギー源 5 0 からリップ縁部 4 9 及び / 又は側壁 4 5 の種々の表面上に選択的に照準を定めて配向することができる。コントローラ 5 6 は更に、入射エネルギービーム 5 1 に応答して生成された試料エネルギービーム 5 3 を受け取るために、入射エネルギービーム 5 1 に曝されている種々の表面にエネルギー検出器 5 2 を照準を定めて配向することができる。コントローラ 5 6 は、得られた試料エネルギービーム 5 3 の属性を示す 1 又は 2 以上の信号をエネルギー検出器 5 2 から受信することができる。

【 0 1 8 4 】

本開示の多くの特徴及び利点は、詳細な明細書から明らかであり、従って、特許請求の範囲によって、本発明の真の趣旨及び範囲内にある本発明の全てのこのような特徴及び利点を保護することを意図している。本開示の様々な態様を組み合わせることは理解される。更に、本開示を考慮して多くの変更形態及び変形形態が当業者には容易に明らかであるので、図示し説明した厳密な構成及び動作に本発明を限定することは望ましくなく、従って、本発明の範囲にある全ての適切な変更形態及び等価物を認めることができる。

なお、好ましい構成態様として、本発明を次のように構成することもできる。

1. 走査型プローブ顕微鏡 (S P M) チップを使用して、粒子の組成を特定する方法であって、

前記粒子を前記 S P M チップに移送するステップと、

照射源からの第 1 の入射する照射を前記 S P M チップに照射するステップと、

前記第 1 の入射する照射によって引き起こされた第 1 の試料照射を照射検出器により検

10

20

30

40

50

出するステップと、

前記第 1 の試料照射に应答した前記照射検出器からの第 1 の信号に基づいて、前記 S P M チップと前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つとの間に相対移動を生じさせるステップと、

を含む、方法。

2. 前記第 1 の信号に基づいて前記第 1 の試料照射の第 1 の周波数領域スペクトルを生成するステップと、

前記第 1 の周波数領域スペクトルからバックグラウンド周波数領域スペクトルを差し引くことによって第 2 の周波数領域スペクトルを生成するステップと、

前記第 2 の周波数領域スペクトルに基づいて前記 S P M チップと前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つとの間に相対移動を生じさせるステップと、
を更に含む、上記 1 に記載の方法。

10

3. 前記 S P M チップが実質的に汚染物質を含まない場合に、前記 S P M チップの照射に対する前記照射検出器の应答に基づいて前記バックグラウンド周波数領域スペクトルを生成するステップを更に含む、上記 2 に記載の方法。

4. 前記照射源からの第 2 の入射する照射を前記 S P M チップに照射するステップと、
前記第 2 の入射する照射によって引き起こされた第 2 の試料照射を前記照射検出器により検出するステップと、

前記第 2 試料照射に应答した前記照射検出器からの第 2 の信号に基づいて、前記 S P M チップと前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つとの間に相対移動を生じさせるステップと、
を更に含む、上記 1 に記載の方法。

20

5. 前記第 2 の信号と前記第 1 の信号との間の差違に基づいて、前記 S P M チップと前記照射源及び前記照射検出器のうちの少なくとも 1 つとの間に相対移動を生じさせるステップを更に含む、上記 4 に記載の方法。

6. 前記照射源からの前記第 1 の入射する照射が、X 線、可視光、赤外光、紫外光、電子ビーム、及びレーザのうちの少なくとも 1 つである、上記 1 に記載の方法。

7. 前記照射源からの前記第 2 の入射する照射が、X 線、可視光、赤外光、紫外光、電子ビーム、及びレーザのうちの少なくとも 1 つである、上記 4 に記載の方法。

8. 前記第 2 の入射する照射は、前記第 1 の入射する照射とは異なるタイプの照射である、上記 7 に記載の方法。

30

9. 前記第 1 の試料照射は、前記第 1 の入射する照射が前記 S P M チップと相互作用することによって生成される、上記 1 に記載の方法。

10. 前記第 1 の試料照射は、前記第 1 の入射する照射が前記 S P M チップ上に配置されたデブリと相互作用することによって生成される、上記 1 に記載の方法。

11. 前記照射源からの前記第 1 の入射する照射の強度又は周波数を調整するステップを更に含む、上記 1 に記載の方法。

12. 前記照射源からの前記第 2 の入射する照射の強度又は周波数を調整するステップを更に含む、上記 4 に記載の方法。

13. 基板から除去された粒子の組成を特定するための方法であって、

40

前記基板から走査プローブ顕微鏡 (S P M) チップに粒子を移送するステップと、

照射源からの第 1 の入射する照射を前記粒子に照射するステップと、

照射検出器にて前記粒子から前記第 1 の入射する照射によって引き起こされる第 1 の試料照射を受けるステップと、

を含む、方法。

14. 前記粒子からの前記第 1 の試料照射は、前記粒子が前記 S P M チップ上に配置されている間に前記照射検出器によって受け取られる、上記 13 に記載の方法。

15. 前記 S P M チップから、粒子回収器上に定められた計測位置を有する該粒子回収器に前記粒子を移送するステップを更に含む、前記粒子からの前記第 1 の試料照射は、前記粒子が前記計測位置上に配置されている間に前記照射検出器によって受け取られる、上

50

記 1 3 に記載の方法。

【符号の説明】

【 0 1 8 5 】

1 2 ナノスケールチップ

1 8 基板

1 0 2 基板支持組立体

1 0 4 チップ支持組立体

1 0 6 基部

1 0 8 固定具

1 1 0 基板ステージ組立体

10

1 1 2 x 方向

1 1 4 y 方向

1 1 6 z 方向

1 1 8 アクチュエータ

1 2 0 第 1 ステージ

1 2 2 第 2 ステージ

1 2 4 第 1 アクチュエータ

1 2 6 第 2 アクチュエータ

1 3 0 チップステージ組立体

20

1 3 2 チップカンチレバー

1 3 4 アクチュエータ

1 3 6 コントローラ

1 3 8 手動ユーザ入力

1 4 0 メモリ

1 4 2 第 1 パッチ

1 4 4 第 2 パッチ

2 0 0 デブリ回収及び計測装置

2 0 2 計測システム

2 0 4 エネルギー源

2 0 6 エネルギー検出器

30

2 0 8 入射エネルギービーム

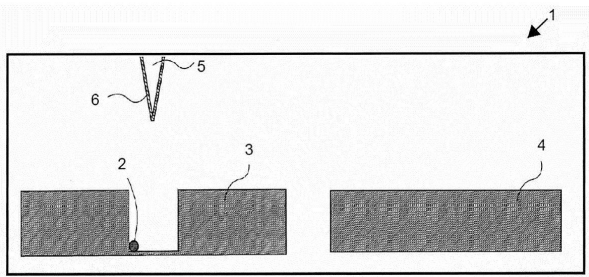
2 1 0 試料エネルギービーム

40

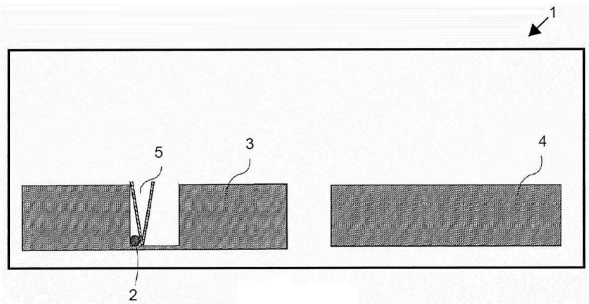
50

【図面】

【図 1 A】

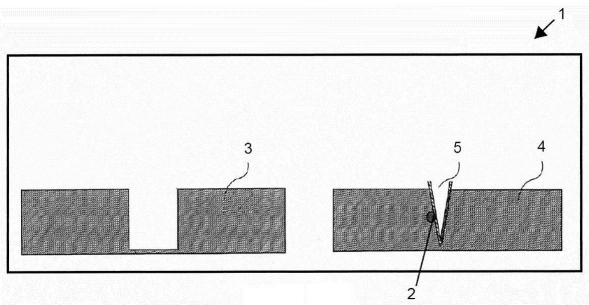


【図 1 B】

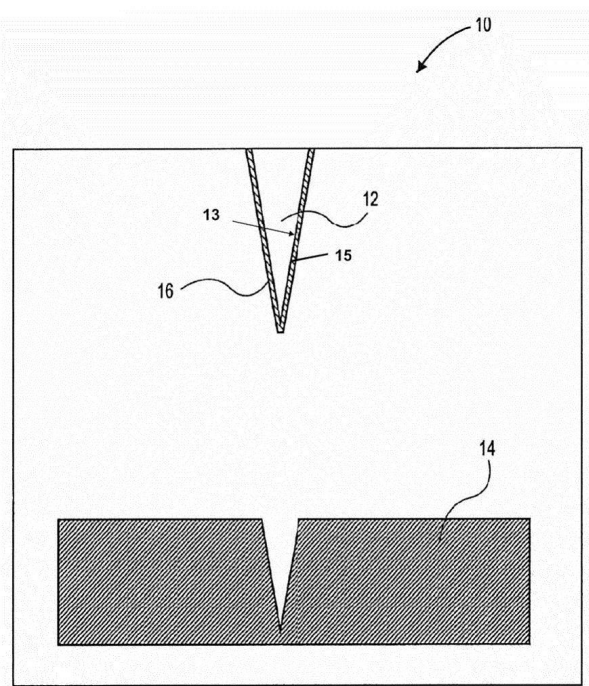


10

【図 1 C】



【図 2】



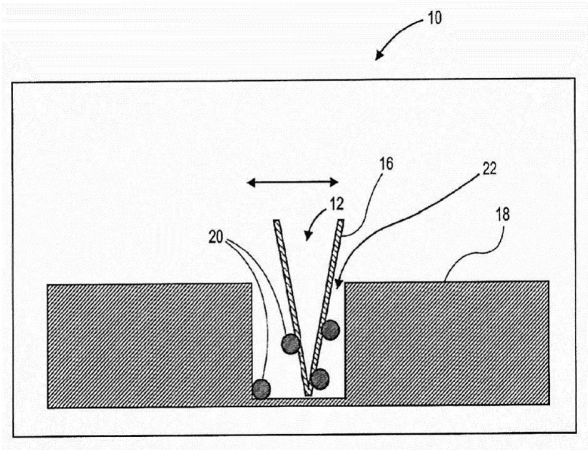
20

30

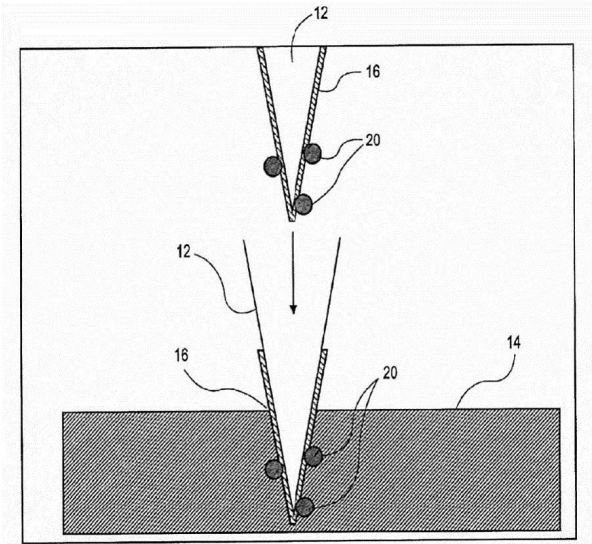
40

50

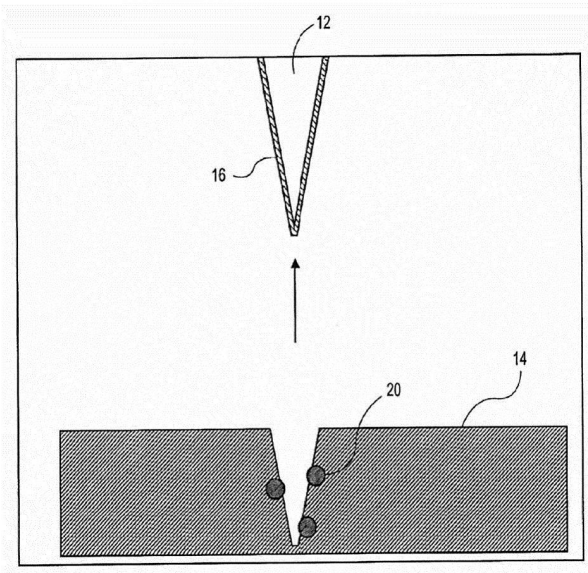
【 図 3 】



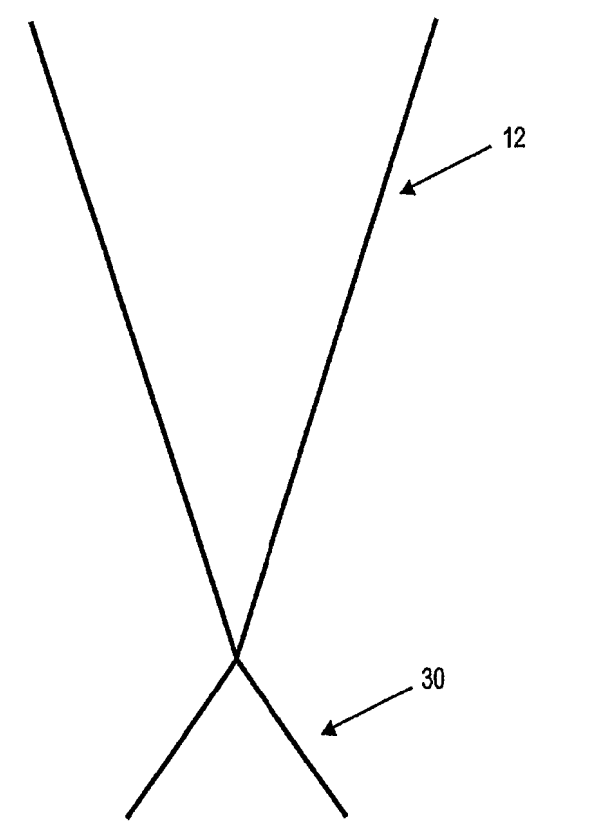
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



10

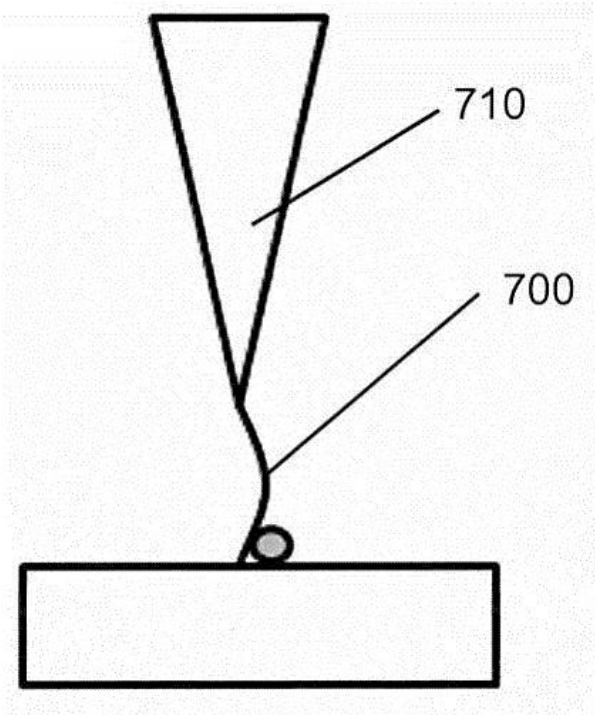
20

30

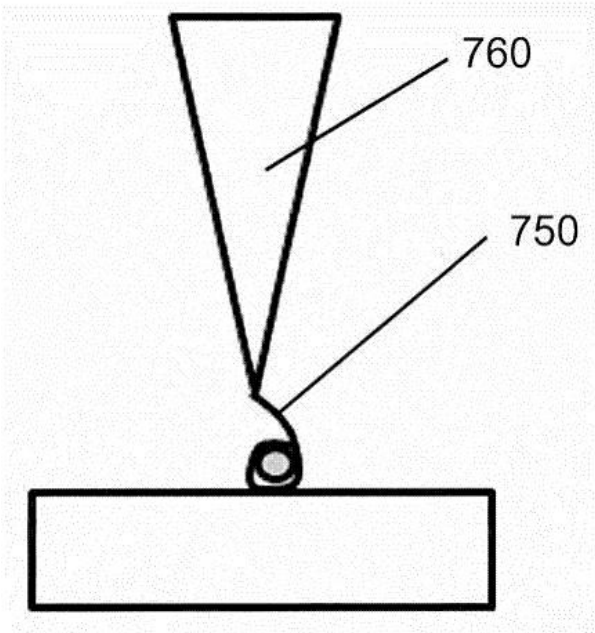
40

50

【図 7 A】



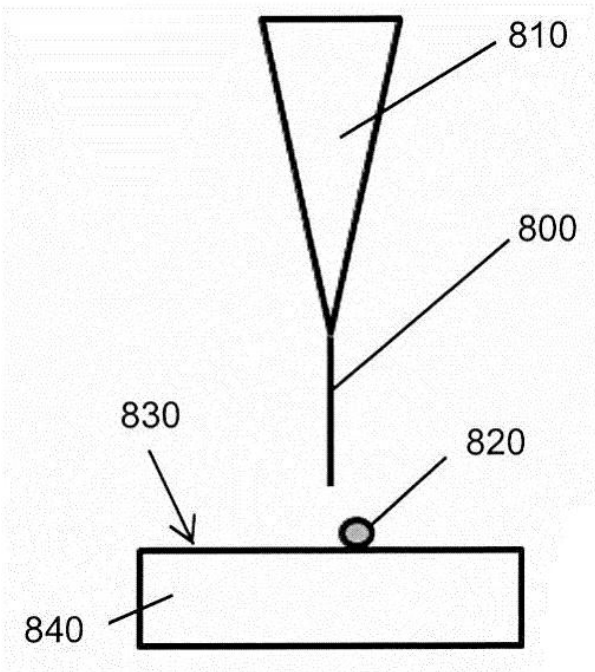
【図 7 B】



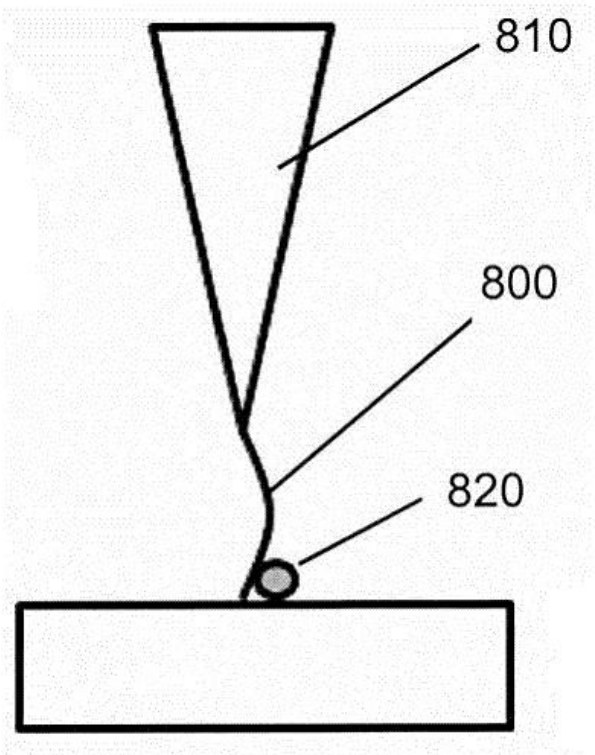
10

20

【図 8 A】



【図 8 B】

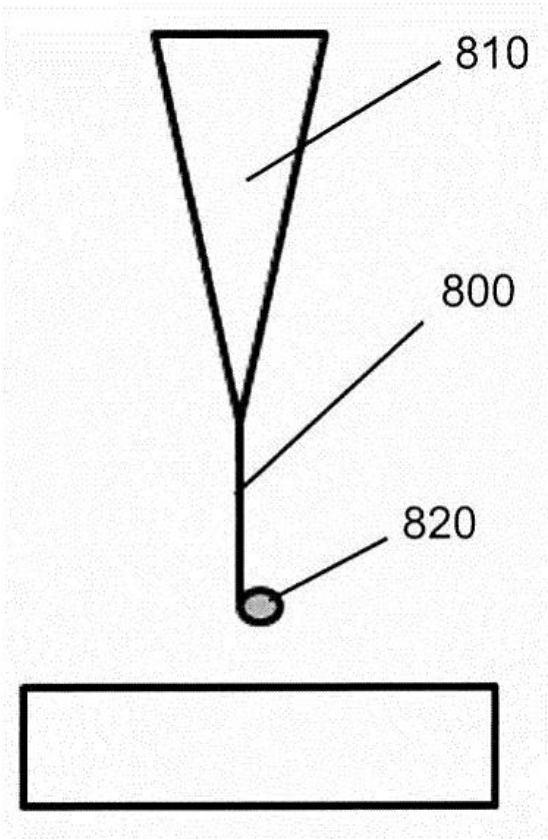


30

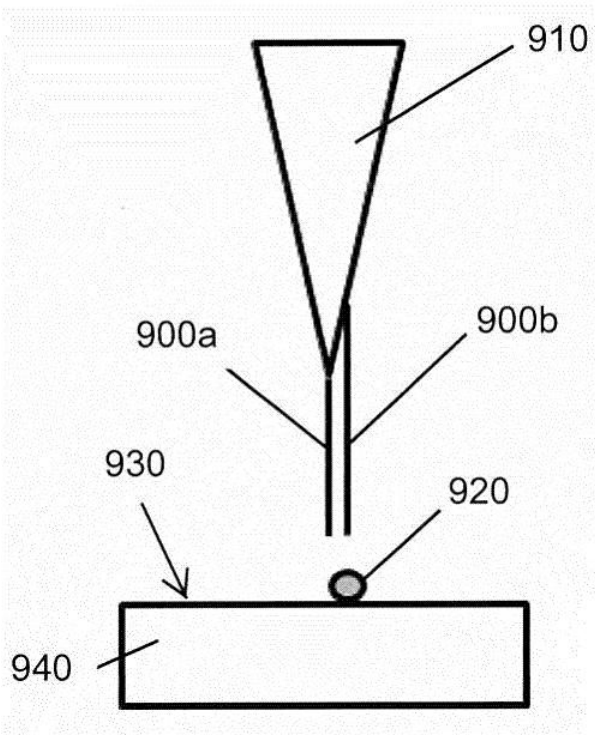
40

50

【図 8 C】



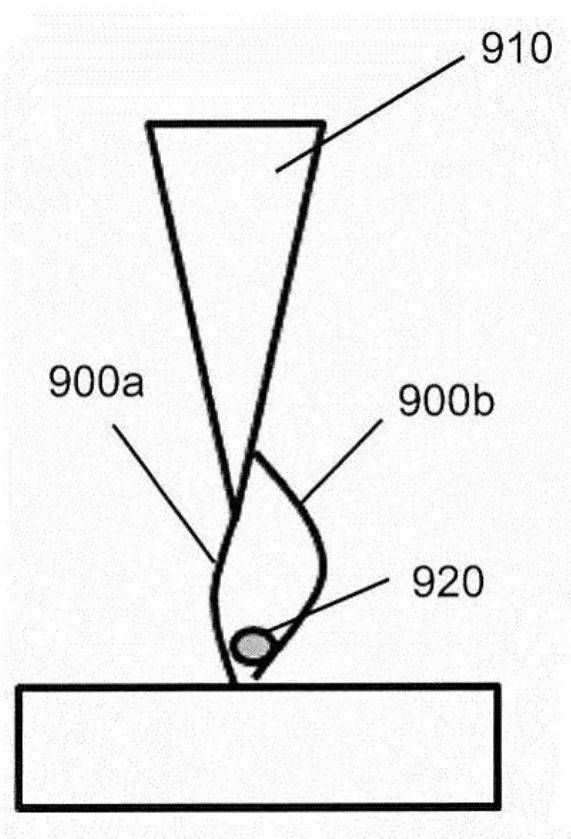
【図 9 A】



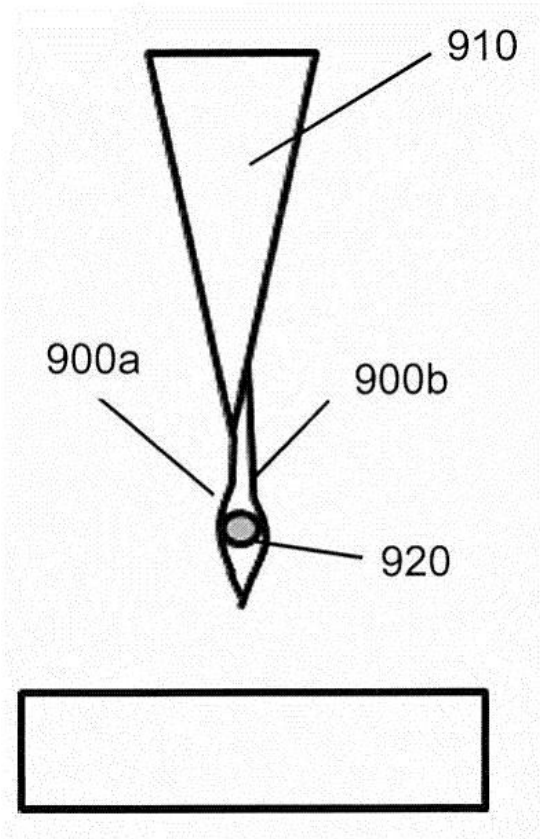
10

20

【図 9 B】



【図 9 C】

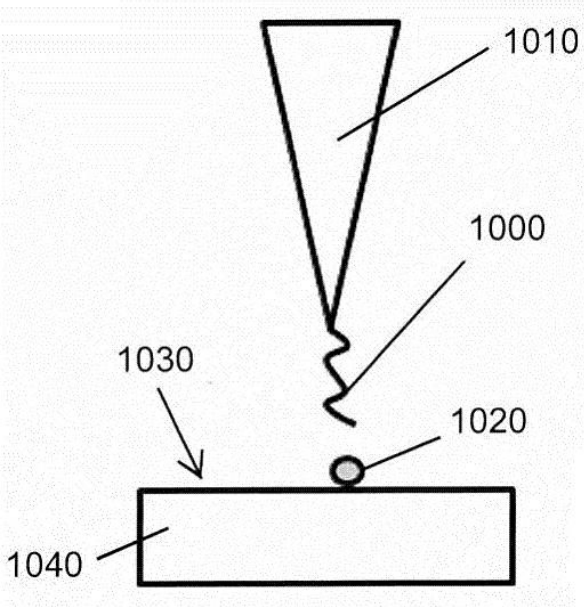


30

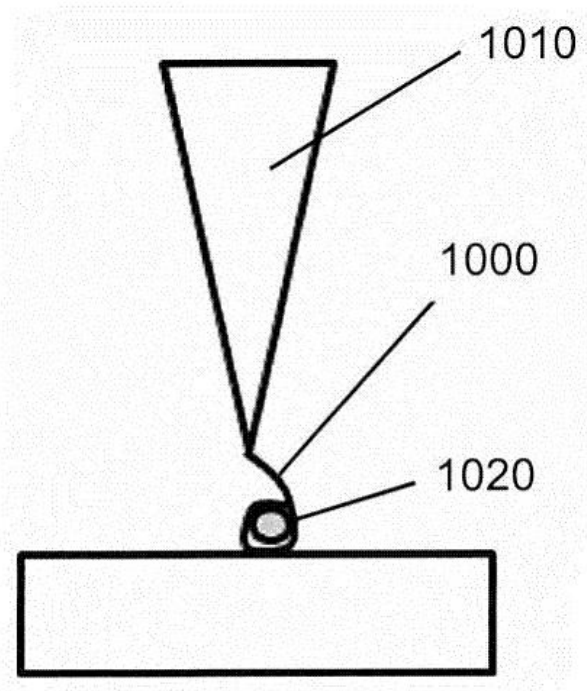
40

50

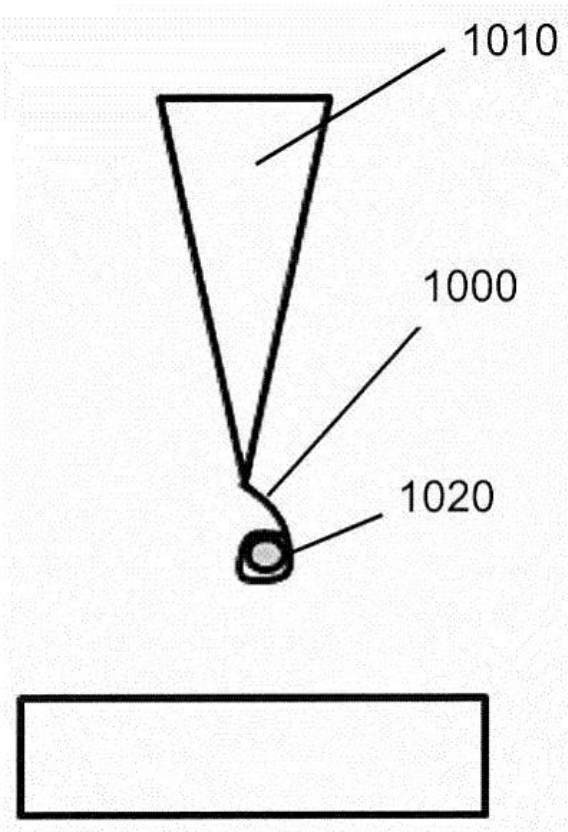
【図 10 A】



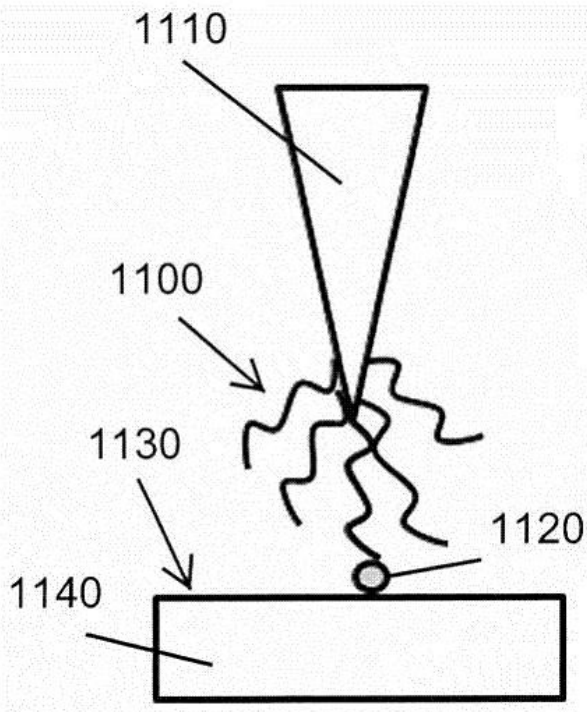
【図 10 B】



【図 10 C】



【図 11 A】



10

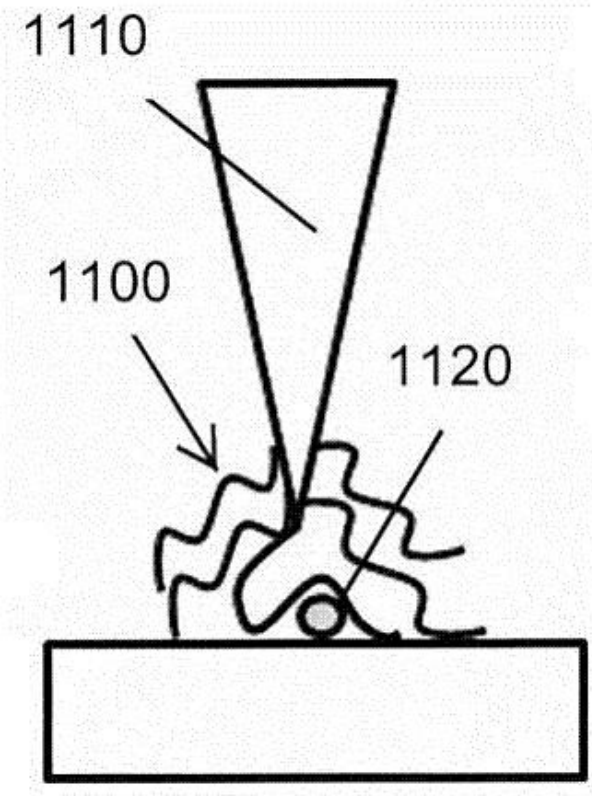
20

30

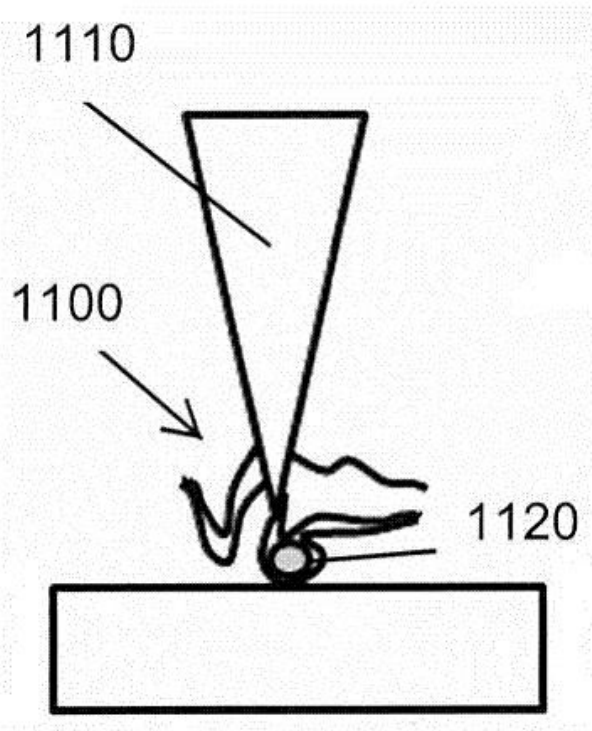
40

50

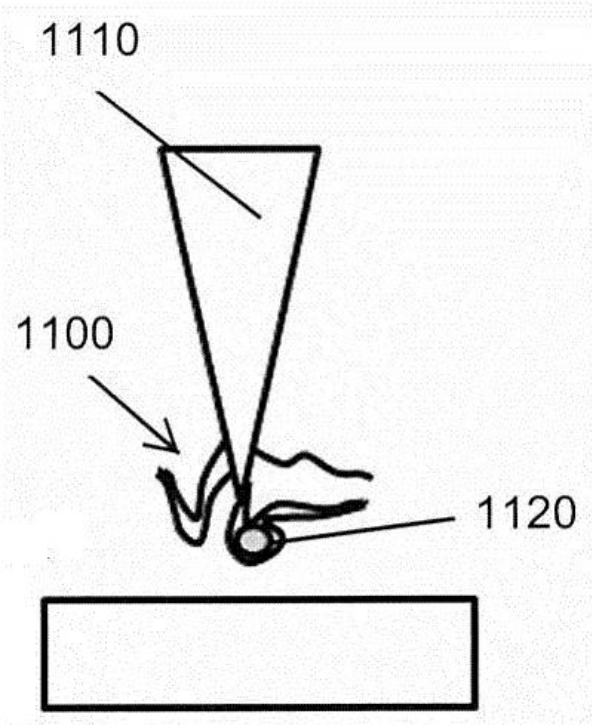
【図 1 1 B】



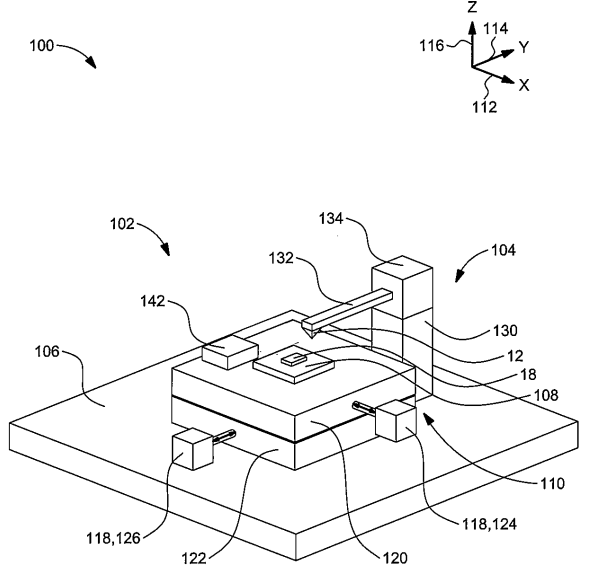
【図 1 1 C】



【図 1 1 D】



【図 1 2】



10

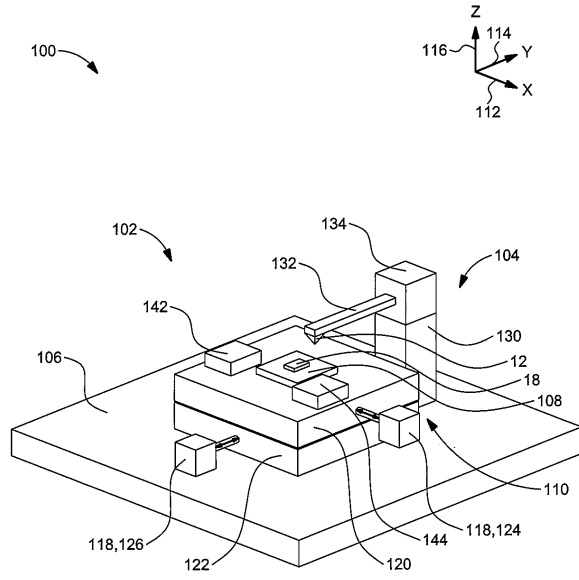
20

30

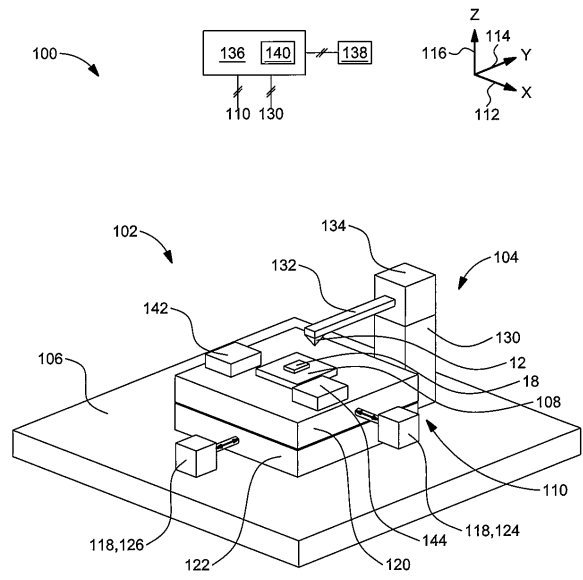
40

50

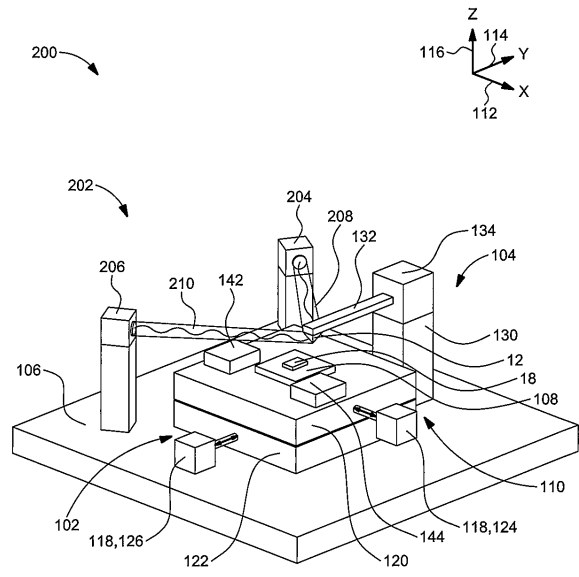
【図 13】



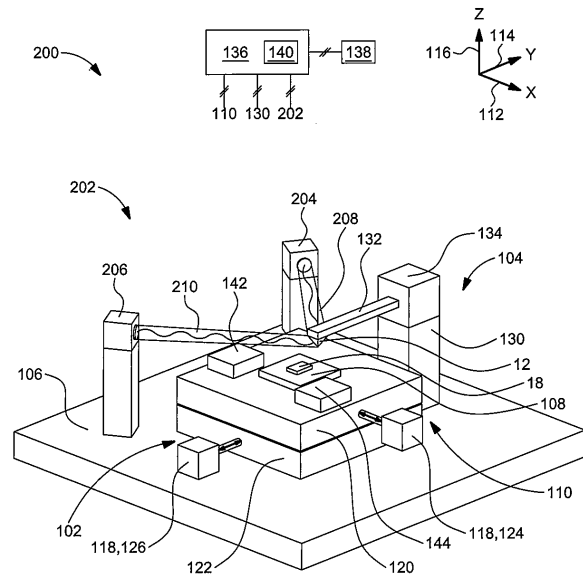
【図 14】



【図 15】



【図 16】



10

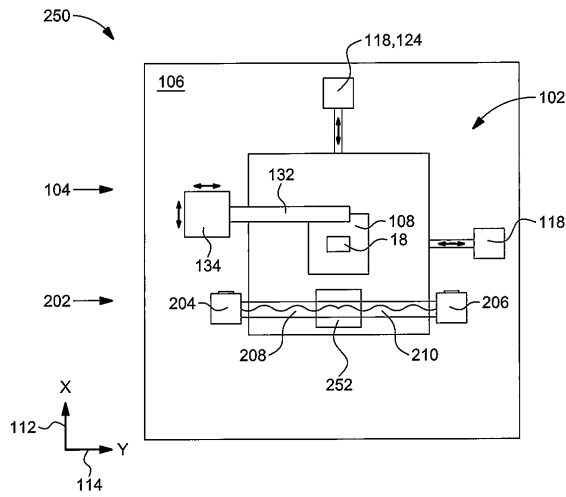
20

30

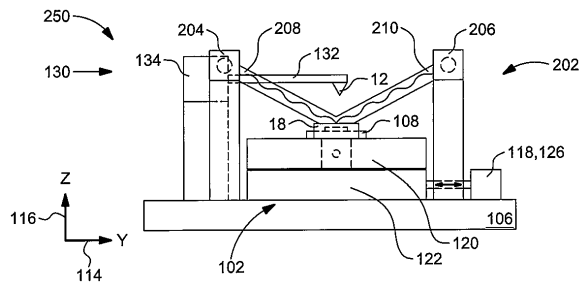
40

50

【図 17 A】

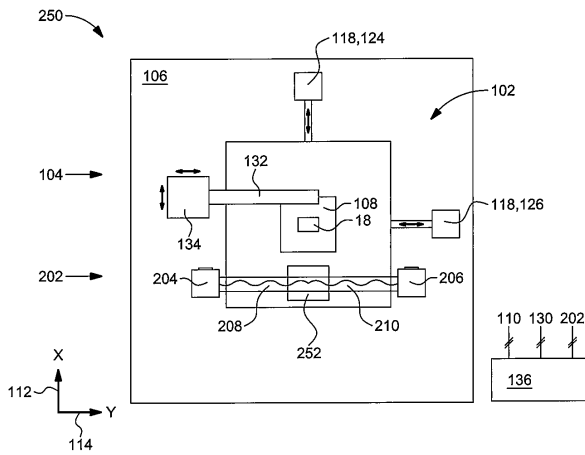


【図 17 B】

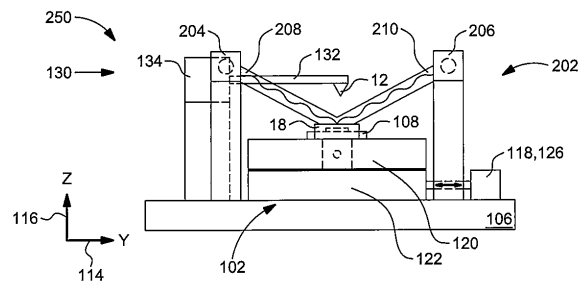


10

【図 18 A】



【図 18 B】



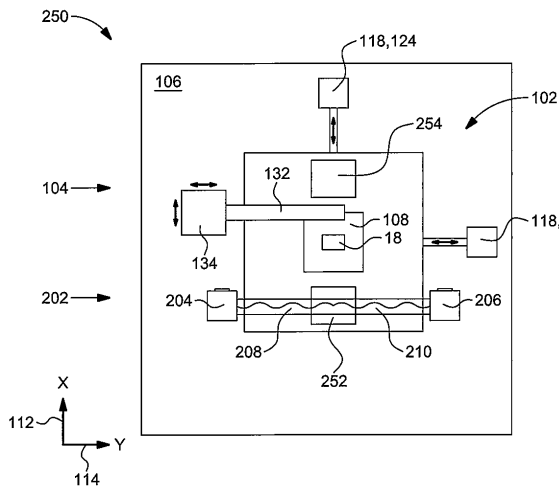
20

30

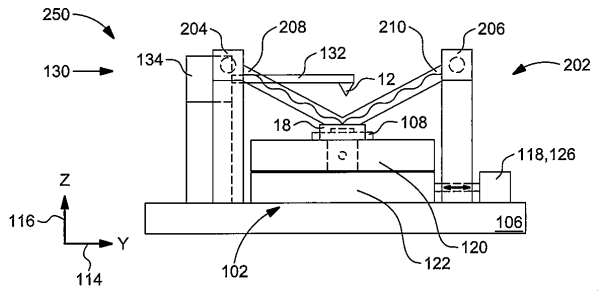
40

50

【図 19 A】

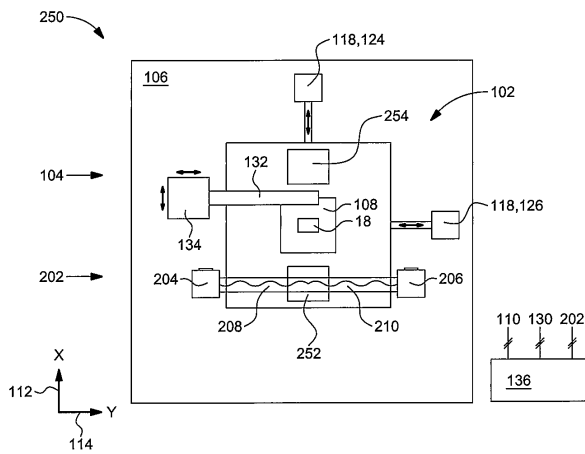


【図 19 B】

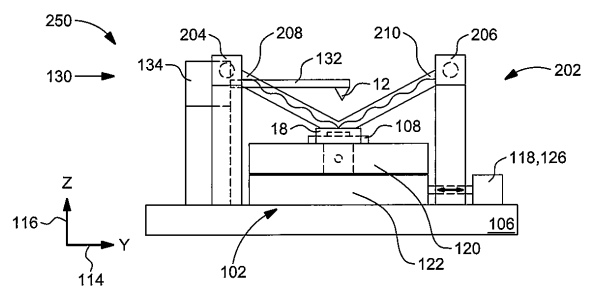


10

【図 20 A】



【図 20 B】



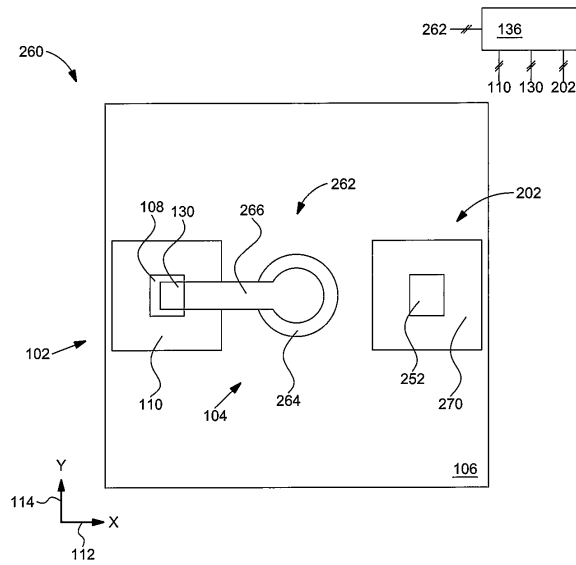
20

30

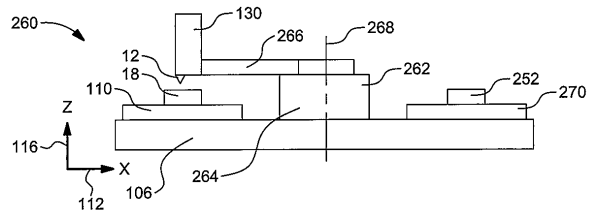
40

50

【図 2 1 A】

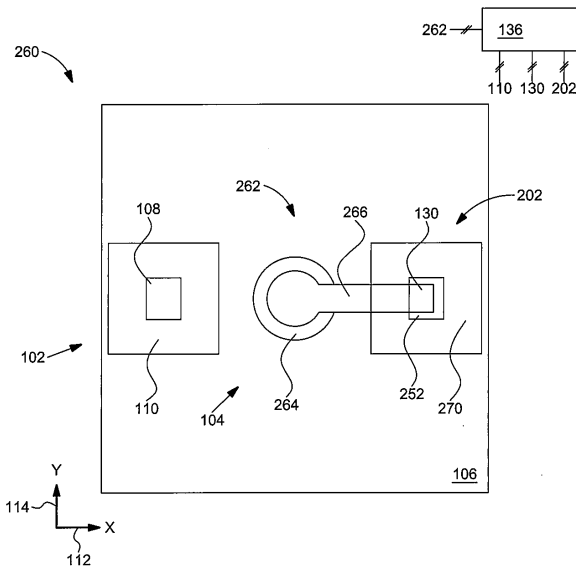


【図 2 1 B】

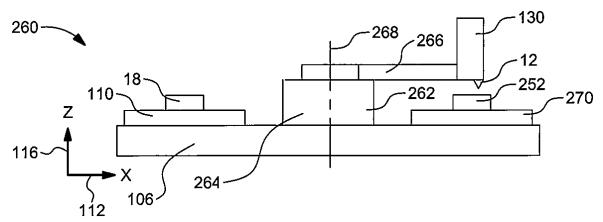


10

【図 2 2 A】



【図 2 2 B】



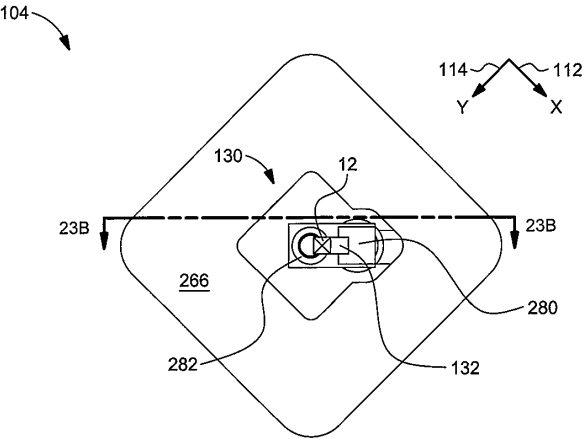
20

30

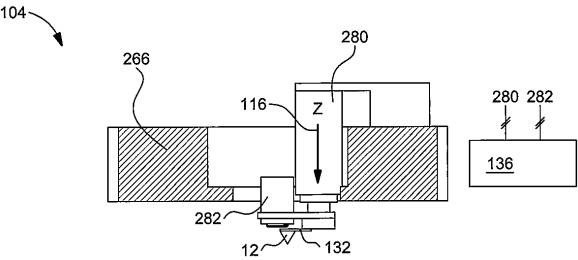
40

50

【図 2 3 A】

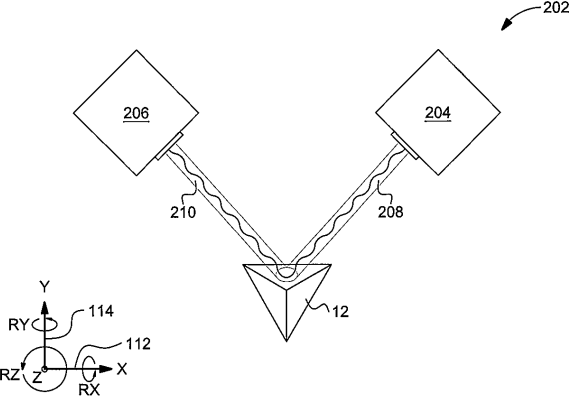


【図 2 3 B】

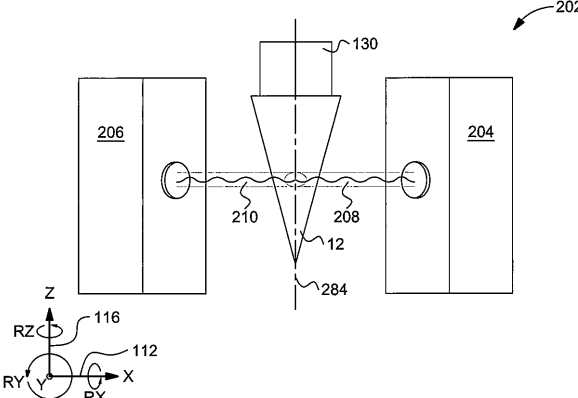


10

【図 2 4 A】



【図 2 4 B】



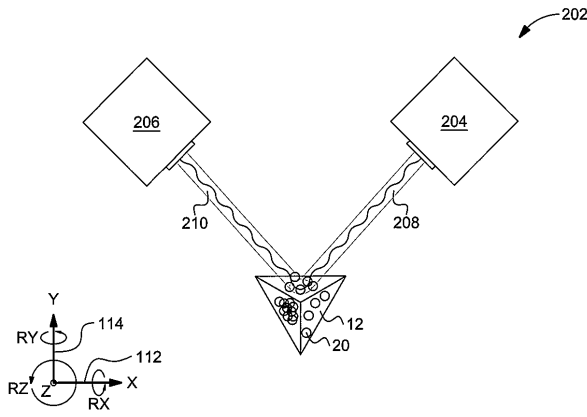
20

30

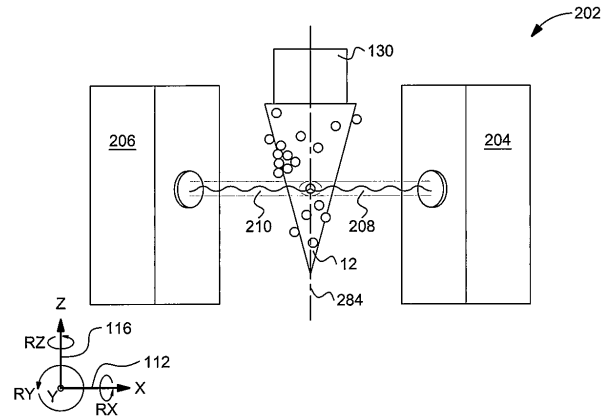
40

50

【図 25 A】

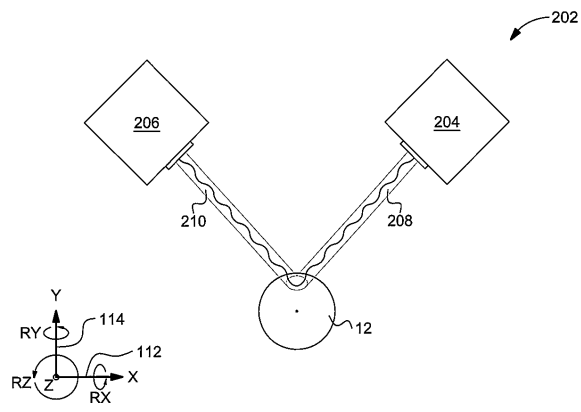


【図 25 B】

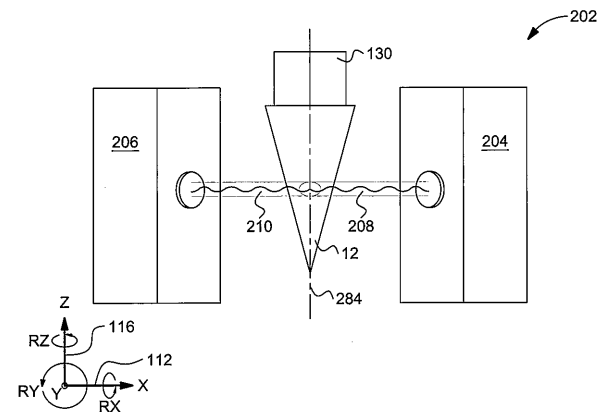


10

【図 26 A】

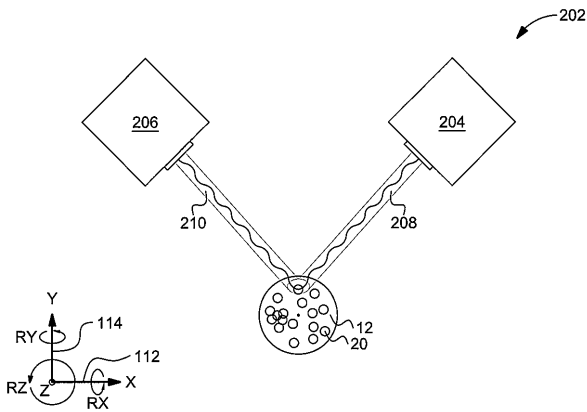


【図 26 B】

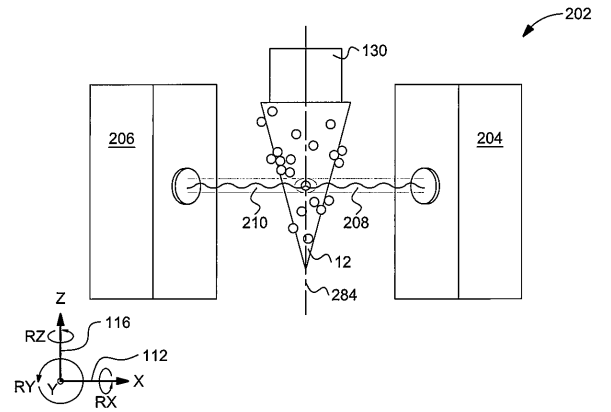


20

【図 27 A】



【図 27 B】

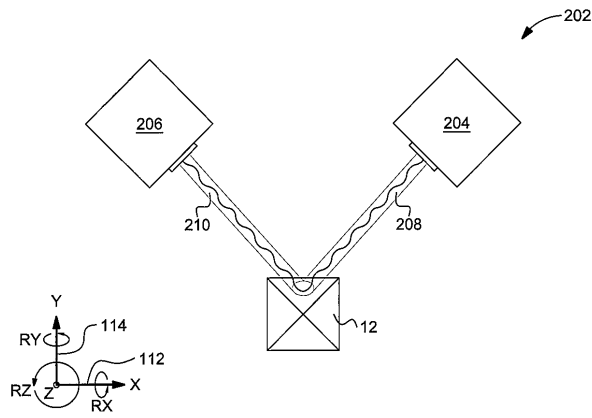


30

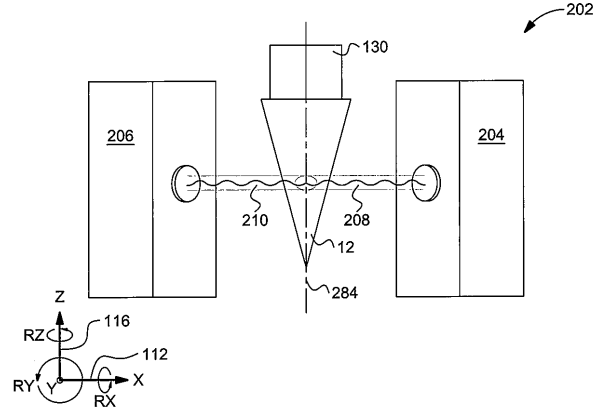
40

50

【図 28 A】

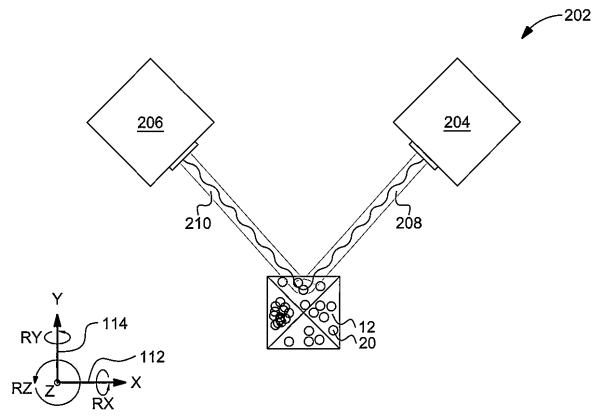


【図 28 B】

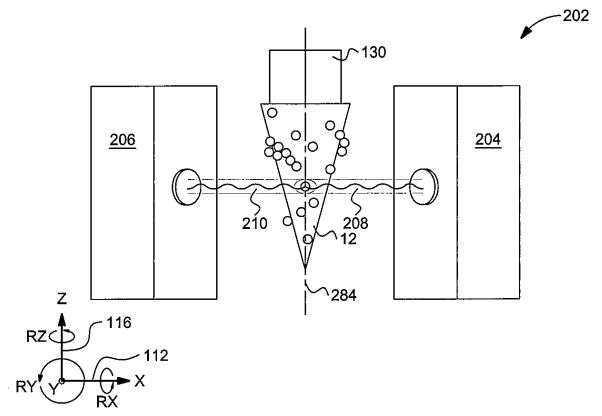


10

【図 29 A】

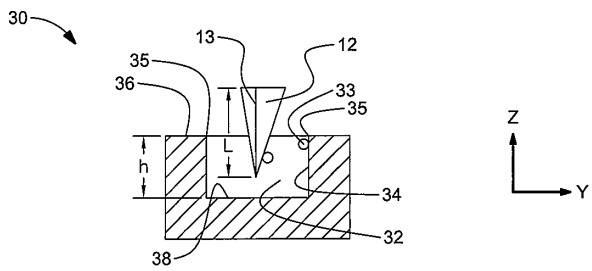


【図 29 B】

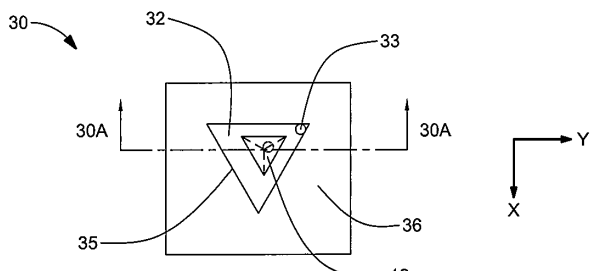


20

【図 30 A】



【図 30 B】

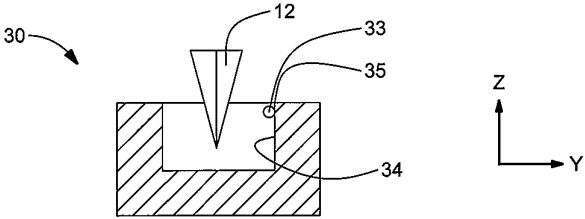


30

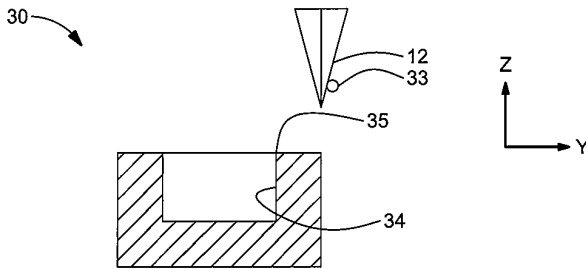
40

50

【図 3 3 C】

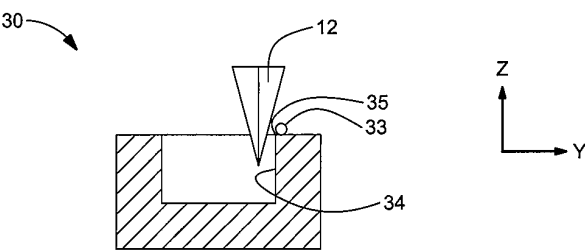


【図 3 4 A】

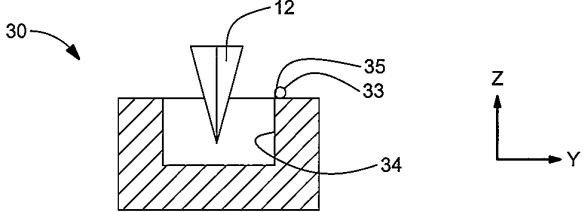


10

【図 3 4 B】

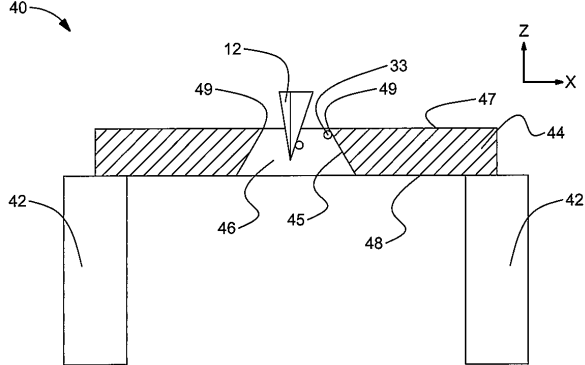


【図 3 4 C】

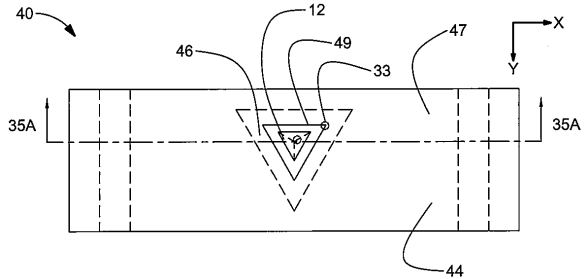


20

【図 3 5 A】



【図 3 5 B】

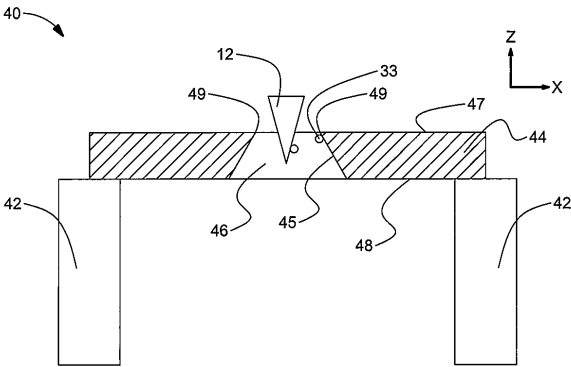


30

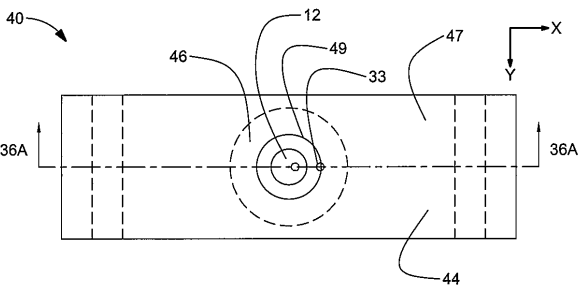
40

50

【図 3 6 A】

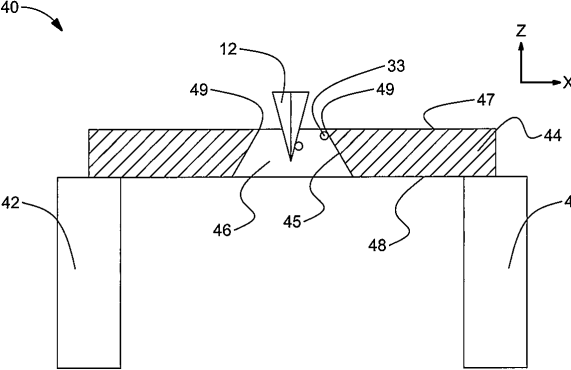


【図 3 6 B】

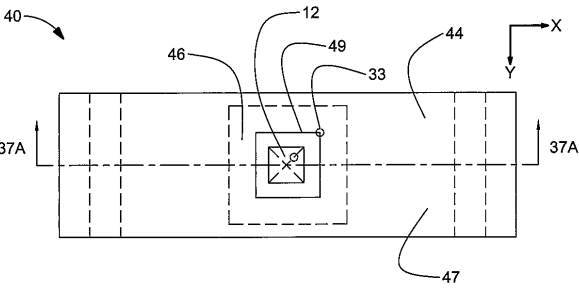


10

【図 3 7 A】



【図 3 7 B】



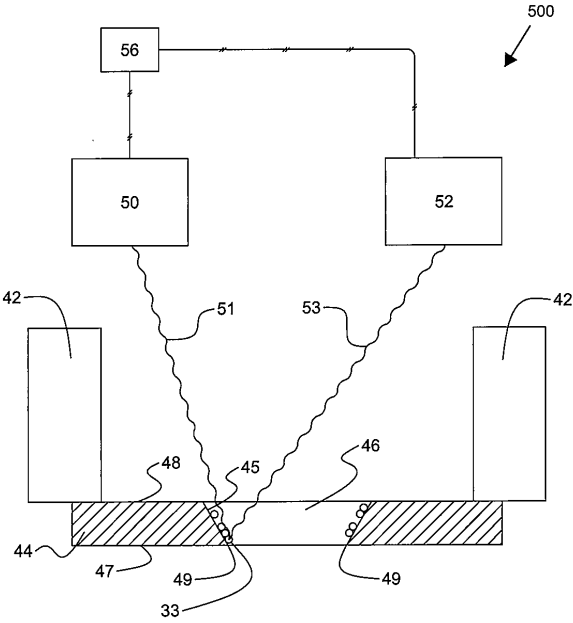
20

30

40

50

【 図 38 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

弁理士 山本 泰史
(74)代理人 100144451
弁理士 鈴木 博子
(74)代理人 100123630
弁理士 渡邊 誠
(72)発明者 トッド エヴァン ロビンソン
アメリカ合衆国 フロリダ州 3 3 4 2 6 ボイントン ビーチ ノース エヴァーグリーン サークル
3 0 9 3
(72)発明者 ベルナベ ジェイ アーラザ
アメリカ合衆国 フロリダ州 3 3 4 3 3 ボカ ラトン ソノマ コート 2 1 6 4 4
(72)発明者 ケネス ギルバート ロエスラー
アメリカ合衆国 フロリダ州 3 3 4 3 1 ボカ ラトン ノースウェスト サーティース ロード 2 0 9 6
(72)発明者 デイヴィッド ブリンクリー
アメリカ合衆国 メリーランド州 2 1 2 0 9 ボルチモア サルグレイヴ アヴェニュー 2 2 0 7
(72)発明者 ジェフリー イー ルクレア
アメリカ合衆国 フロリダ州 3 3 4 3 3 ボカ ラトン ベイブリーズ ウェイ 1 1 0 8 3
合議体
審判長 福島 浩司
審判官 高 見 重雄
審判官 石井 哲
(56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 2 0 9 5 4 4 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G01Q10/00-90/00
G03F1/00-1/86
H01L21/027,21/30