

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5127985号

(P5127985)

(45) 発行日 平成25年1月23日(2013.1.23)

(24) 登録日 平成24年11月9日(2012.11.9)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 3 F 7/20 (2006.01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

H O 1 L 41/083 (2006.01)

H O 1 L 41/08 S

H O 1 L 41/09 (2006.01)

H O 1 L 41/08 U

G O 2 B 7/04 (2006.01)

G O 2 B 7/04 E

請求項の数 18 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2011-519055 (P2011-519055)
 (86) (22) 出願日 平成21年7月7日(2009.7.7)
 (65) 公表番号 特表2011-528857 (P2011-528857A)
 (43) 公表日 平成23年11月24日(2011.11.24)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2009/004892
 (87) 国際公開番号 W02010/009807
 (87) 国際公開日 平成22年1月28日(2010.1.28)
 審査請求日 平成23年3月23日(2011.3.23)
 (31) 優先権主張番号 102008034285.8
 (32) 優先日 平成20年7月22日(2008.7.22)
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

早期審査対象出願

前置審査

(73) 特許権者 503263355
 カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
 エムペーハー
 ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバー
 コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
 ーセ 2
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100147692
 弁理士 下地 健一
 (74) 代理人 100174001
 弁理士 結城 仁美
 (72) 発明者 ウルリッヒ ヴェーバー
 ドイツ国 8 9 0 7 5 ウルム リヒテン
 シュタインシュトラーセ 1
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエータおよび投影露光システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

有効方向、

ハウジング(2)、および

前記有効方向に、前記ハウジング(2)に対して移動可能な可動部(3)を有するアク
 チュエータ(1)であって、該アクチュエータ(1)は、

少なくとも一時的に前記可動部(3)に連結される前進ユニットを有し、該前進ユニ
 ャットは、少なくとも1つの変形ユニットであって、該変形ユニットの中心を含み、前記有効
 方向に沿う軸に対して対称に変形可能な変形ユニット(6, 6 0 1, 6 3 0, 6 5 0, 6
 6 0, 6 7 0, 6 8 0)、および、該変形ユニット(6, 6 0 1, 6 3 0, 6 5 0, 6 6
 0, 6 7 0, 6 8 0)を変形する少なくとも1つのデフォーマ(5, 5 0 1, 5 0 2, 5
 0 3, 5 0 5)を有し、該少なくとも1つのデフォーマ(5, 5 0 1, 5 0 2, 5 0 3,
 5 0 5)は、前記アクチュエータ(1)の前記有効方向に垂直なベクトル成分を用いて前
 記変形ユニット(6, 6 0 1, 6 3 0, 6 5 0, 6 6 0, 6 7 0, 6 8 0)を変形するの
 に適しており、該変形の結果、前記変形ユニット(6, 6 0 1, 6 3 0, 6 5 0, 6 6 0,
 6 7 0, 6 8 0)の全長が前記有効方向において変化する、アクチュエータであって、

前記変形ユニットの伸張動作によって、前記変形ユニットが完全に伸張し、

前記変形ユニットは2つの変形素子を有し、および

前記デフォーマは前記2つの変形素子のそれぞれの上に配置され、前記デフォーマによ
 り、前記2つの変形素子を外側から互いに向けて曲げるようにした、

10

20

ことを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記ハウジング (2) は、前記変形ユニットを介して相互に連結可能な、少なくとも 2 つのハウジング部 (2 1 , 2 2) で構成されたことを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記少なくとも 2 つのハウジング部 (2 1 , 2 2) は、それぞれ、少なくとも 1 つの固定ユニット (4 1 , 4 2) を有し、前記可動部は前記固定ユニット (4 1 , 4 2) を用いて前記ハウジング部 (2 1 , 2 2) のそれぞれに固定可能としたことを特徴とする、アク

10

【請求項 4】

請求項 3 に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記変形素子は、板バネ (6 0 1) であることを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 5】

請求項 3 に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記変形素子を、2 枚の対向する板バネ (6 0 1) で構成した 1 対のバネとして設計したことを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記可動部 (3) は、該可動部 (3) の一部として設計される変形ユニット (6) を介して連結した第 1 の部分可動部および第 2 の部分可動部 (3 1 , 3 2) を有することを特徴とする、アクチュエータ。

20

【請求項 7】

請求項 6 に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記部分可動部 (3 1 , 3 2) のうちの 1 つを前記ハウジング (2 1 , 2 2) に対してそれぞれ固定可能な少なくとも 2 つの固定ユニット (4 1 , 4 2) を設けたことを特徴とする、

アクチュエータ。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記アクチュエータ (1) は、前記可動部 (3) が前記アクチュエータ (1) の前記有効方向での移動を抑制する減衰素子 (7) を有することを特徴とする、アクチュエータ。

30

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記変形素子は、磁気柔軟バネ (6 3 0) であることを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記変形素子は、線バネ (6 5 0) であることを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記変形素子は、断面および/または長さの異なる種々の螺旋バネ (6 7 0) の組み合わせとして設計されることを特徴とする、アクチュエータ。

40

【請求項 12】

請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記変形素子は、該アクチュエータ (1) の有効方向に、弾性特性の異なる少なくとも 2 つの部分 (6 8 0 , 6 8 1) を有することを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、

前記デフォーマ (5) は、圧電素子、特に、圧電積層体 (8 1 0) を有することを特徴

50

とする、アクチュエータ。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 1 3 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、
前記デフォーマ (5) は、電磁コイル (502) を有することを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 1 4 のいずれか一項に記載のアクチュエータ (1) であって、
前記デフォーマ (5) は、液圧シリンダまたは空気圧シリンダ (503) を有することを特徴とする、アクチュエータ。

【請求項 16】

半導体リソグラフィ用の投影露光システム (310) であって、
前記投影露光システム (310) の光学素子 (100) を、該投影露光システム (310) の光軸方向または該投影露光システム (310) の一部の光軸方向へ移動するために、請求項 1 ~ 1 5 に記載のアクチュエータ (1) を有することを特徴とする、投影露光システム。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の投影露光システム (310) であって、
前記光学素子 (100) を、前記アクチュエータ (1) を介して、該投影露光システム (310) のさらなる構成要素に排他的に連結したことを特徴とする、投影露光システム。

【請求項 18】

有効方向、ハウジング (2)、および前記ハウジング (2) に対し、前記有効方向に移動可能な変形ユニット (6) であって、該変形ユニット (6) の中心を含み、前記有効方向に沿う軸に対して対称に変形可能な、2つの変形素子を有する変形ユニット (6)、を持つ可動部 (3) を有するアクチュエータ (1) の動作方法であって、

前記可動部の移動方向から見て前記変形ユニット (6) の上流側に位置する第 1 の固定ユニット (41) により、前記可動部 (3) を固定するステップ、

前記可動部 (3) の移動方向から見て前記変形ユニットの下流側に位置する、前記可動部 (3) の第 2 の固定ユニット (42) を解除するステップ、

前記 2つの変形素子のそれぞれの上に配置されたデフォーマにより、前記 2つの変形素子を外側から互いに向けて曲げるようにして前記変形ユニット (6) の前記変形素子を変形するステップ、

前記第 2 の固定ユニット (42) により前記可動部を固定するステップ、

前記第 1 の固定ユニット (41) を解除するステップ、

前記変形ユニット (6) の伸張動作によって、前記変形ユニット (6) を完全に伸張させるステップ、および

前記変形ユニット (6) から前記デフォーマ (5) を取り外すステップ、
により前記可動部を移動することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高精度に位置決めおよび/または構成要素を操作するためのアクチュエータに関し、特に、半導体リソグラフィ用の投影露光システムにおける光学素子またはその他の機能素子、およびそのようなアクチュエータの動作方法に関する。ここで、用語「アクチュエータ」は、用語「最終制御要素 (final controlling element)」および「駆動要素 (actuating element)」と同義であり、これらの用語は同様に使用されることを理解されたい。

【背景技術】

【0002】

上述したような構成要素をナノメートル領域で位置決めおよび/または操作して、高水

10

20

30

40

50

準システムの全体的な機能性を保証するという要求が常にある。このような状況においては、多くの場合、位置決め／操作した構成要素、またはそれらの空間配置を監視する必要があり、高分解能で、したがって高コストの、場合によっては、感受性の高い測定制御電子機器を用いる。

【 0 0 0 3 】

従来の技術によるシステムに基づく経験上、位置決めおよび／または操作の精度を主として左右するものは、この場合、アクチュエータ技術そのものではなく、むしろ、位置測定の正確さであることがわかっている。言い換えれば、アクチュエータは位置測定により測定することのできるステップ幅よりも小さいステップ幅を有することができる。

【 0 0 0 4 】

しかしながら、従来技術のアクチュエータに共通する問題として、駆動ステップ幅が、アクチュエータの可動部に作用する荷重に応じて変化してしまうことがある。その結果、出力移動量を算出することが不可能であり、移動量を測定装置により監視しなければならない。これに加え、ステップ幅のわずかな偏差が、アクチュエータの移動距離が長くなるにつれて蓄積する点も問題となる。

【 0 0 0 5 】

上記の問題点を、特許文献 1 に記載の圧電アクチュエータに基づき以下に説明する。特許文献 1 に記載のアクチュエータにおいて、アクチュエータ可動部（すなわち、アクチュエータの作動部分であって、通例、操作および／または位置決め対象の構成要素に作用する部分）は、可動部に垂直な 1 つまたはそれ以上の前進素子（「足部」）により前方に駆動される。ここで、前進素子は、可動部の方向へ、前進素子自体の長手方向とは垂直に移動する。

【 0 0 0 6 】

そのような足部もアクチュエータの有効方向と同一方向に一定の順応性（コンプライアンス）を示すため、足部により生成されるステップ幅も、一方では、足部自体が加えることのできる力（前進力）、および他方では足部が動作開始する際の抗力、または、アクチュエータの可動部に張力または圧力を及ぼす力に依存する。

【 0 0 0 7 】

その結果として、所定の前進力により足部が所定の絶対値だけ屈折するが、足部の順応性のため、この屈折に第 2 の屈折、すなわち、可動部への荷重により生ずる屈折が重畳する。

【 0 0 0 8 】

例えば、もし、力が可動部の前進方向に向かって可動部に作用すると、ステップ幅が名目上のステップ幅、すなわち、このアクチュエータの設計上のステップ幅よりも大きくなってしまふ。対照的に、力が有効方向とは反対に可動部に作用すると、ステップ幅が名目上のステップ幅よりも小さくなってしまふ。

【 0 0 0 9 】

可動部にかかる荷重がアクチュエータの移動に伴い変化する場合、ステップ幅もそれと共に変化する。したがって、付加的な高精度変位センサを用いてステップ幅を確認しなければならないが、そのことは、設計空間および操作上の理由により、必ずしも望ましい、または可能であるとは限らない。

【 0 0 1 0 】

高分解能ステップ駆動の別の方法として、慣性駆動がある。慣性駆動を利用して、前進素子、例えば、圧電セラミックが摩擦接触により可動部を一方向へ徐々に推進する。この過程で、可動部上の荷重および可動部の加速力は、摩擦接触により伝達可能な摩擦力よりも小さくなければならない。続いて、前進素子が急に後退し、この急な後退動作に対する可動部の所要加速力が、摩擦接触により伝達可能な摩擦力よりも大きくなる。そのため、可動部は静止し、一方で、前進素子は可動部に対して逆行する。しかしながら、このような駆動においては、わずかな力を加えることしかできないというデメリットがある。なぜなら、可動部を前進させる際、加速力（慣性力）と共に可動部にかかる力が伝達可能な摩

10

20

30

40

50

擦力を超えないようにしなければならないからである。

【 0 0 1 1 】

その上、前進素子を急に後退させた際に可動部を固定することができないため、この時点で、可動部にかかる外力により可動部が「調整不十分」となる可能性がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 1 2 】

【特許文献 1】独国特許出願公開第 1 0 0 2 2 5 2 6 6 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【 0 0 1 3 】

本発明の目的は、大きな力が及んだ際にも、その荷重にはほとんど影響されずに、作動対象の構成要素の正確な位置決めおよび／または操作を可能とするアクチュエータを特定することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

上記の目的を達成するため、本発明のアクチュエータは、請求項 1 に明記した特徴を有し、本発明の方法は、請求項 2 2 に明記した特徴を有する。従属項は、本発明の有利な変形および例示的な実施形態に関する。

【 0 0 1 5 】

20

本発明によれば、有効方向を有するアクチュエータは、ハウジング、および、アクチュエータの有効方向にハウジングに対して移動可能な可動部を有し、アクチュエータは、少なくとも一時的に可動部に連結される前進ユニットを有する。前進ユニットは、少なくとも 1 つの変形ユニットおよび、この変形ユニットを変形する少なくとも 1 つのデフォーマを備える。この少なくとも 1 つのデフォーマは、アクチュエータの有効方向と垂直なベクトル成分、特に、分力を用いて変形ユニットを変形するのに適しており、この変形の結果、変形ユニットの全長が有効方向において変化するものとした。

【 0 0 1 6 】

ハウジングは、変形ユニットを介して相互に連結した少なくとも 2 つのハウジング部で構成することができ、少なくとも 2 つのハウジング部は、それぞれ、少なくとも 1 つの固定ユニットを有することができ、前記可動部はこの固定ユニットを用いて前記ハウジング部のそれぞれに固定可能とした。

30

【 0 0 1 7 】

変形ユニットは、少なくとも 1 枚の板バネを有することができ、特に、2 枚の対向する板バネで構成した 1 対のバネで構成することができ、1 対のバネ上に少なくとも 2 つのデフォーマを配置することができ、デフォーマにより各板バネを外側から互いに向けて曲げるようにした。

【 0 0 1 8 】

可動部は、第 1 の部分可動部および第 2 の部分可動部を有することができ、これら 2 つの部分可動部を、可動部の一部として設計した変形ユニットを介して連結した。

40

【 0 0 1 9 】

この場合、部分可動部のうちの 1 つをハウジングに対してそれぞれ固定可能な少なくとも 2 つの固定ユニットを設けることができる。

【 0 0 2 0 】

可動部がアクチュエータの有効方向へ移動するのを抑制するため、アクチュエータは減衰素子を有することができる。

【 0 0 2 1 】

本発明の有利な一変形例において、変形ユニットは少なくとも 1 つの加圧可能な管を有することができる。

【 0 0 2 2 】

50

或いは、変形ユニットは、少なくとも1つの温度制御可能なバイメタル、磁気柔軟バネ、線バネ、または断面および/または長さの異なる種々の螺旋バネの組み合わせを有することができる。

【0023】

デフォーマは圧電素子、特に、圧電積層体、電磁コイル、液圧シリンダまたは空気圧シリンダ、または空気圧ペローズを有することができる。追加として、デフォーマはコンデンサ極板を有するコンデンサとして設計することができ、コンデンサ極板の電界により、コンデンサ極板の間に配置した曲げ素子を変形させるようにした。

【0024】

変形ユニットを持つ可動部を有する本発明のアクチュエータの動作方法として実行可能な方法であって、

可動部の移動方向から見て変形ユニットの上流側に位置する第1の固定ユニットにより、可動部を固定するステップ、

可動部の移動方向から見て変形ユニットの下流側に位置する、可動部の第2の固定ユニットを解除するステップ、

デフォーマにより変形ユニットを変形するステップ、

第2の固定ユニットにより可動部を固定するステップ、

第1の固定ユニットを解除するステップ、および

変形ユニットからデフォーマを取り外すステップ、

を含む。

【0025】

この場合、個々の方法ステップ、特に、最後の2つのステップは、上記のシーケンスから分岐して行うことができる。

【0026】

本発明のさらなる有利な改良形態および展開形態については、特許請求の範囲および以下の図面を参照して原則的に説明する例示的な実施形態により明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】図1a～図1dは、本発明の第1実施形態を示す図である。

【図2】図2a～図2dは、アクチュエータの移動パスを実質的に無制限とすることを可能とした場合の、本発明の変形例を示す図である。

【図3】減衰素子を用いた場合の配置を示す図である。

【図4a】アクチュエータの、急な動きのない(ジャークフリー: jerk-free)移動の可能性を示す図である。

【図4b】アクチュエータの、急な動きのない(ジャークフリー: jerk-free)移動の可能性を示す図である。

【図4c】アクチュエータの、急な動きのない(ジャークフリー: jerk-free)移動の可能性を示す図である。

【図4d】アクチュエータの、急な動きのない(ジャークフリー: jerk-free)移動の可能性を示す図である。

【図4e】アクチュエータの、急な動きのない(ジャークフリー: jerk-free)移動の可能性を示す図である。

【図5】パスを高精度に設定するためのアクチュエータの使用法を示す図である。

【図6】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図7】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図8】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図9】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す

10

20

30

40

50

図である。

【図 1 0】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 1】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 2】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 3】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 4】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

10

【図 1 5】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 6】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 7】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 8】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

【図 1 9】種々の技術的原理を適用してデフォーマおよび変形素子を実施する可能性を示す図である。

20

【図 2 0】本発明の基本的な機械的原理を示す概略図である。

【図 2 1】本発明のアクチュエータを適用した半導体リソグラフィ用の投影露光システムのためのマニピュレータを示す図である。

【図 2 2】本発明のアクチュエータおよび / または図 2 1 に示すようなマニピュレータを適用した半導体リソグラフィ用の投影露光システムを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

図 1 に、本発明の第 1 実施形態を示す。アクチュエータ 1 は、図 1 に示す例において、ハウジング 2、および可動部 3 を備える。可動部はハウジング内に配置され、固定ユニット 4 1, 4 2 により少なくとも一時的に保持される。この場合、固定ユニット 4 1, 4 2 による可動部 3 の保持は、必ずしも機械的接触によるものである必要はなく、例えば、電気力または磁力による非接触固定によるものとすることもできる。ハウジング 2 内には、また、変形ユニット 6 に作用するデフォーマ 5 を配置する。図示の例では、変形ユニット 6 は、可動部 3 の 2 つの部分可動部 3 1 および 3 2 を相互接続する 2 枚の板バネ 6 0 1 で構成されるように設計される。本発明のアクチュエータ 1 の動作モードを、概略図である図 1 a ~ 図 1 c を参照して、以下に説明する。

30

【0029】

図 1 a に、可動部 3 をハウジング 2 に対して動かす際の第 1 ステップを示す。図 1 a に示す方法ステップにおいて、可動部 3 は、その部分可動部 3 1 上に固定ユニット 4 1 を用いて固定される。右側の部分可動部 3 2 は自由に動くことができ、固定ユニット 4 2 は開放している。デフォーマ 5 は、アクチュエータ 1 の有効方向に垂直に作用し、したがって、可動部 3 の移動方向に対して垂直であるが、このデフォーマ 5 もハウジング 2 内に格納される。

40

【0030】

第 2 の方法ステップでは、図 1 b に示すように、2 つのデフォーマ 5 は伸長し、互に対向配置した板バネ 6 0 1 を互いに向けて変形し、この 2 つの板バネ 6 0 1 が撓むことにより可動部 3 を矢印 7 0 0 の方向に短縮するようにする。言い換えれば、右側の部分可動部 3 2 が、左側へ向かって左側の部分可動部 3 1 の方向に振動する。

【0031】

50

図 1 c に示す方法ステップでは、右側の部分可動部 3 2 は、対応付けられた固定ユニット 4 2 により固定され、一方、デフォーマ 5 は、再度ハウジング 2 内に引き込まれ、板バネ 6 0 1 を解除するが、左側の部分可動部 3 1 を保持する固定ユニット 4 1 はこの状態でまだ閉じたままであるため、左側の可動部 3 1 はまだ移動することができない。

【 0 0 3 2 】

図 1 d に示す第 4 の方法ステップで、左側の固定ユニット 4 1 が開いて部分可動部 3 1 を開放する。その結果、部分可動部は左側へ矢印 8 0 0 の方向に移動する。これにより、アクチュエータ 1 のハウジング 2 に対する、可動部 3 の動作に関する完全な 1 周期が完了する。

【 0 0 3 3 】

図 1 a ~ 図 1 d に示すステップは、原則として、アクチュエータ 1 の幾何学的条件、特に、板バネ 6 0 1 のアクチュエータ 1 の有効方向への伸張が許す限り、繰り返すことができる。図 1 に示すアクチュエータ 1 を、伸張と圧縮の両方向に動作すること、すなわち、右側の部分可動部 3 2 または左側の部分可動部 3 1 のどちらかを、移動対象の素子に連結することも可能である。

【 0 0 3 4 】

図 1 からわかるように、アクチュエータ 1 の幾何学的形状、および、特に、板バネ 6 0 1 をアクチュエータの有効方向に対して垂直（すなわち、矢印 7 0 0 および矢印 8 0 0 の方向に垂直）に作動することにより、有効方向にて、高減速比を達成し、さらに、アクチュエータ 1 の高剛性化を図ることができるという有利な効果を奏する。

【 0 0 3 5 】

図 1 に示すアクチュエータ 1 が加えることのできる最大力は、この場合、アクチュエータ 1 の圧縮動作に対する、板バネ 6 0 1 のオイラー座屈荷重に相当する。アクチュエータの伸張動作はこの制約を受けないが、作用する最大伸張力は、デフォーマ 5 により加えられる力および各板バネ 6 0 1 の E モジュールにより大幅に制限される。

【 0 0 3 6 】

また、この超高減速比により、可動部 3 への荷重にかかわらず、規定ステップ幅を一定に保つことができる。変形制約を用いて、板バネ 6 0 1 の有効方向に対して垂直な比較的大きい変形を正確に規定することにより、規定ステップ幅を一定に保つことができ、その結果、有効方向へのステップ幅も、高減速比により、非常に正確に規定することができる。例えば、この変形制約は、図 1 a ~ 図 1 d において、板バネ 6 0 1 が互いに当接するまで垂下されるという点に基づき実現することができる。

【 0 0 3 7 】

図 2 に、可動部 3 の移動パスを実質的に無制限とすることを可能とした場合の、本発明の変形例を示す。図 2 に示す変形例では、アクチュエータ 1 のハウジングは、2 つのハウジング部 2 1 および 2 2 からなる 2 つの部分に設計され、その 2 つのハウジング部 2 1 および 2 2 は板バネ 6 0 1 により相互に連結される。この場合、第 1 のハウジング部 2 1 には第 1 の固定ユニット 4 1 を配置し、一方、第 2 のハウジング部 2 2 内には第 2 の固定ユニット 4 2 を配置する。同様に、第 1 のハウジング部 2 1 内にはデフォーマ 5 を配置し、これらデフォーマは板バネ 6 0 1 に対し、図 1 に示した変形例と略同一の方法で作用する。

【 0 0 3 8 】

図 2 a に示す第 1 の方法ステップにおいて、左側の固定ユニット 4 1 は閉じていて可動部 3 を保持しており、一方、右側の固定ユニット 4 2 は開放し可動部 3 の右側部分を解放する。デフォーマ 5 が第 1 のハウジング部 2 1 内に引き込まれているため、板バネ 6 0 1 は弛緩している。

【 0 0 3 9 】

図 2 b に示す第 2 の方法ステップにおいて、デフォーマ 5 が第 1 のハウジング部 2 1 が突出し、図 1 において既に明示した方法と同様にして板バネ 6 0 1 を変形する。その結果、右側のハウジング部 2 2 は、固定ユニット 4 2 が開放したまま、第 1 のハウジング部 2

10

20

30

40

50

1 の方向へ可動部 3 に沿って移動する。続いて（図 2 c に示すように）、右側の固定ユニット 4 2 が閉じて、その結果、可動部 3 および左側の固定ユニット 4 1 が開く。図 2 d に示す最後の方法ステップにおいて、デフォーマ 5 はハウジング部 2 1 内に引き込まれ、その結果、板バネ 6 0 1 が弛緩する。図 2 に示す例では、変形ユニット 6、すなわち、板バネ 6 0 1 が、可動部 3 ではなくハウジング部 2 1, 2 2 に連結されているため、可動部をハウジング部 2 1, 2 2 に対して、実質的に無制限の距離にわたり移動することが可能となる。

【 0 0 4 0 】

特に、図 1 に示す本発明の例示的な実施形態において、固定ユニット 4 1 を開放したとき、板バネ 6 0 1 が急に弛緩し、それにより、アクチュエータ 1 に不測の衝撃が加わることがある。この問題を軽減または回避するため、図 3 に示すように、ダンパ 7 を用いることにより板バネ 6 0 1 の弛緩及びそれに伴う可動部 3 の移動を制限することができ、上記の衝撃をほぼ回避することができる。ダンパ 7 は、例えば、浸漬コイルとして設計した油圧ダンパまたはその他の方式の電磁ダンパとして設計することができる。

10

【 0 0 4 1 】

図 4 は、その図 4 a ~ 4 e において、板バネ 6 0 1 の弛緩により発生する衝撃を防止するために実現可能な代案を示す。基本的に、図 4 に示す例は図 1 に示す例に対応する。図 4 d および図 4 e にそれぞれ示すように、変形ユニット 4 1 が左側の可動部部分 3 1 を解放してから板バネ 6 0 1 を弛緩させる点で異なる。その後、デフォーマ 5 を制御してハウジング 2 内に引き込むことにより、左側の可動部部分 3 1 の制御を行うことができる。

20

【 0 0 4 2 】

本発明のアクチュエータ 1 により実施される高減速比により、図 5 に示すようにデフォーマ 5 をドープ作動することにより、可動部 3 またはアクチュエータ 1 の微調整を行うこともできる。デフォーマ 5 の移動パスが比較的長い場合、本発明の幾何学的条件により、可動部 3 の移動パスが明らかに短縮される。したがって、この幾何学的条件および材料定数に関する知識に基づいてデフォーマ 5 の移動パスを測定するだけでよく、その後、それに対応する可動部 3 の移動パスを推測すればよい。本発明のこの変形例によれば、デフォーマ 5 の比較的長い移動パスを測定するだけでよい場合、特に、低分解能の測定システムを用いて移動パスを監視することができる。デフォーマの移動パスを、結果として生じる可動部 3 の大幅に短い移動パスへ変換するにあたり誤差が影響することはほとんどない。なぜなら、第 1 に、本発明のアクチュエータによれば、高減速比を防止することができ、第 2 に、アクチュエータはその有効方向において確実に剛性設計され、作動対象の構成要素から加わる反力は、可動部 3 の有効方向への変形にほとんど影響しないからである。

30

【 0 0 4 3 】

可動部 3 の全ての移動パスが複数の個別ステップにより構成されるとすると、このパスは、正確に把握されているデフォーマ 5 と可動部 3 との間の減速比を考慮した変形移動の合計から求めることができる。したがって、近年必要とされているような、可動部の全移動パスの測定用の高精度の測定システムを利用する必要がなくなる。本発明によるアクチュエータを用いることにより、可動部の全ての移動パスを測定するためには、測定システムのデフォーマ 5 として、比較的短い、デフォーマ 5 の移動範囲のみをカバーするものを用いれば十分であり、また、高減速比により、従来この目的のために用いられてきた測定システムのように高い分解能を必要としない。

40

【 0 0 4 4 】

変形ユニットおよびデフォーマの実施における種々の可能性を図 6 ~ 図 1 9 に示す。

【 0 0 4 5 】

このように、図 6 ~ 図 9 において、変形ユニット 6 は、複数の板バネ 6 0 1（各例においては、1 枚の板バネのみ図示）として実施される。デフォーマは、図 6 においては圧電素子 5 0 1 として、図 7 においては鉄心の電磁コイル 5 0 2 として、図 8 においては液圧ラムと連結した液圧シリンダ 5 0 3、および図 9 においては 2 枚の板バネ 6 0 1 の間の空気圧ペローズ 5 0 4 として実施される。図 1 0 において、変形ユニットは薄肉管 6 1 0 と

50

して実施され、管内部から所定の圧力を加圧することができる。管 6 1 0 は、この場合、ベローズと螺旋バネの両方の機能を兼ね備える。

【 0 0 4 6 】

図 1 1 に、変形ユニット 6 を 1 対のバイメタルストリップにより実施した場合の熱駆動の可能性を示す。この場合、熱を供給または除去することにより、図 1 1 b および図 1 1 c に示すように、バイメタルストリップ 6 2 0 が撓む。図 1 1 a に、中立的な状態における配置を示す。同様に、図 1 2 に示すように、変形ユニットを、磁気柔軟バネ 6 3 0 を有する 2 つの磁気コイル 5 0 5 の組み合わせとして構成することもできる。

【 0 0 4 7 】

さらに、デフォーマをコンデンサ極板 5 0 6 を有するコンデンサとして用いることもできる。コンデンサ極板の電界により、コンデンサ極板 5 0 6 の間に配置した曲げ素子 6 4 0 が変形する。

【 0 0 4 8 】

図 1 4 ~ 図 1 9 に、変形素子 6 の形成におけるさらなる可能性を示す。図 1 4 に、既に示した板バネ 6 0 1 の実施の可能性を示すが、図 1 5 では線バネ 6 5 0 を用いている。図 1 6 に示すように、変形素子 6 6 0 を、あらゆる所望の断面を有するものとすることができる。図 1 7 に、断面形状および長さの異なる種々の螺旋バネを組み合わせで構成した変形素子を用いる場合の変形例を示す。このように構成した変形素子を用いることにより、本発明のアクチュエータを使用する際の個々の一般的な要件に、本発明のアクチュエータの作用を適合させることができる。

【 0 0 4 9 】

図 1 8 に、一実施可能性として、変形ユニットが、アクチュエータの有効方向に、弾性特性の異なる少なくとも 2 つの部分を持つ場合を示す。この構成は、剛体の中間片部 6 8 1 を螺旋バネ 6 8 0 内に配置することにより実施される。図 1 8 には図示しないが、剛体の中間片部 6 8 1 により、デフォーマのための規定担持面を提供する。その結果、デフォーマから変形素子に力を作用させるために必要な規定条件が、可動部が横方向に移動する際も、限定した領域にわたり有効となる。

【 0 0 5 0 】

図 1 9 a , 図 1 9 b , および図 1 9 c において、内側から加圧することのできる薄肉管を変形素子 6 1 0 として構成する際の種々の可能性を示す。

【 0 0 5 1 】

図 2 0 を参照して、荷重とはほぼ無関係な可動部のステップ幅の機能原理を説明する。

【 0 0 5 2 】

変形ユニットを備えた可動部を、3 つのピボットジョイントにより相互連結された 4 つのロッドで構成した等価力学モデルによりシミュレートする。ここで、ねじりバネが中央のピボットジョイントと平行に配置されている。

【 0 0 5 3 】

内側のロッドの長さはそれぞれ a であり、ねじりバネのねじりバネ剛性は k_{φ} である。

【 0 0 5 4 】

右外側のロッドは固定ユニットにより固定され、一方、左外側のロッドは（例えば、開放した固定ユニットにより）直線的に案内される。

【 0 0 5 5 】

デフォーマが、中央のピボットジョイントをパス v を経て変形させたことにより、内側のロッドは水平方向に対して角 φ をなすようになる。

【 0 0 5 6 】

左外側のロッドには力 F が作用し、これにより、中央のピボットジョイントには、中央のピボットジョイントを曲げようとする M_{bend} の曲げモーメントがかかる。曲げモーメント M_{bend} はパス v のオフセットおよび力 F により得られる。

【 0 0 5 7 】

$$M_{bend} = F * v$$

10

20

30

40

50

【 0 0 5 8 】

パス v は、内側の各ロッドの長さ a を介した中央のピボットジョイントの曲げ角度 $2 * \varphi$ の係数である。具体的には、次のようになる。

【 0 0 5 9 】

$$v = a * \sin [(2 * \varphi / 2)] = a * \sin (\varphi)$$

【 0 0 6 0 】

短いパス v および角度 φ の近似により、線形化が可能である。より具体的には、次のようになる。

【 0 0 6 1 】

$$v = a * \varphi$$

10

【 0 0 6 2 】

したがって、曲げモーメント M_{bend} は、中央のピボットジョイントの曲げ角度 φ の半分の角度の関数として表すことができる。具体的には、次のようになる。

【 0 0 6 3 】

$$M_{bend} = F * a * \varphi$$

【 0 0 6 4 】

一方、ねじりバネにより、中央のピボットジョイントには、ピボットジョイントおよび可動部全体を伸長しようとする伸長モーメント M_{extend} がかかる。

【 0 0 6 5 】

この伸長モーメント M_{extend} は、中央のピボットジョイントの曲げ角度 $2 * \varphi$ およびねじりバネのバネ定数（スチフネス） k_{φ} により与えられる。具体的には、次のようになる。

20

【 0 0 6 6 】

$$M_{extend} = k_{\varphi} * 2 * \varphi = 2 * k_{\varphi} * \varphi$$

【 0 0 6 7 】

曲げモーメント M_{bend} が伸長モーメント M_{extend} よりも小さい場合、可動部は再度完全に伸長する。具体的には、次のようになる。

【 0 0 6 8 】

$$M_{bend} < M_{extend}$$

$$F * a * \varphi < 2 * k_{\varphi} * \varphi$$

30

$$F * a < 2 * k_{\varphi}$$

【 0 0 6 9 】

この不等式により、力 F に対して、力 F が超えることのない限界値を与えて、可動部が再度完全に伸長するようにする。

【 0 0 7 0 】

この限界値は、臨界力 F_{crit} であり、具体的には、次のようになる。

【 0 0 7 1 】

$$F < (2 * k_{\varphi}) / a = F_{crit}$$

【 0 0 7 2 】

力 F が臨界力 F_{crit} よりも小さく、そのまま維持されるという条件の下では、可動部が再度完全に伸長することができ、可動部のステップ幅は可動部の伸長動作により生ずるため、力 F には依存しない。

40

【 0 0 7 3 】

このステップ幅が力 F には依存しないことは、次のようなことから説明できる。すなわち、力 F が臨界力 F_{crit} よりも小さい場合、可動部のゼロ位置（伸長位置）周囲にかかる伸長モーメント M_{extend} は、曲げモーメント M_{bend} よりも増加率が大きいからである。

【 0 0 7 4 】

実際の板バネにおいては、臨界力 F_{crit} は、対応する座屈荷重の場合におけるオイラー座屈荷重に相当する。

【 0 0 7 5 】

50

さらに、変形ユニットは必ずしも弾性構成要素を備えている必要はないことに留意されたい。圧力および張力の両方を与えることのできるデフォーマにより変形ユニットを変形させることも同様に考えられる。この場合、変形そのものに必ずしも復元力を利用する必要がないことが要求される。

【0076】

本発明のアクチュエータは、剛性が高いこと、位置決め力が高いこと、およびステップ幅が荷重とはほぼ独立していることから、次のような使用領域に適している。すなわち、極めて高精度の位置決め精度が要求されることを前提として、アクチュエータを駆動するために調整対象物の位置測定を行うことが非常に困難である場合、または、非常に大量の対象物を位置決めする必要がある場合である。

10

【0077】

このような要求は、例えば、半導体リソグラフィ用のZマニピュレータにて生ずる。すなわち、Zマニピュレータは、収差補正のためz方向においてレンズを非常に高精度に位置決めしてから動作を開始し、動作中もこれらのレンズをリアルタイムでz方向における各位置に関して精度よく設定し、動作環境における変動により生ずる収差を補正する。その例を、図21に示す。

【0078】

Zマニピュレータは、この場合、次のように設計する。レンズ100を、内輪101に搭載し、さらに、内輪101は、3つの本発明によるアクチュエータ1により支持される。アクチュエータの有効方向はz方向に平行な向きとする。

20

【0079】

これら3つのアクチュエータ1は外輪102に埋設され、外輪の外側領域は、対象構造物（図示せず）に対するインターフェイスを形成する。

【0080】

駆動剛性が高いため、アクチュエータ1は、内輪101をレンズ100と共に直接z方向へ支持することができ、レンズ100、内輪101、およびアクチュエータ1で構成したシステムが振動の影響を受けやすくなることはない。

【0081】

中間位置103検出のためのセンサを用いて、電源障害の後、アクチュエータ1を略中央位置に再度設置することができる。

30

【0082】

動作の前に収差を補正するため、アクチュエータ1によりレンズ100を段階的（ステップ的）にz位置に動かすことができ、レンズ100のz位置を正確に記録するセンサは不要である。なぜなら、ステップ幅は根本的に荷重に依存しないため、ほぼ正確に定められるからである。しかしながら、所望のz位置に到達するには、実施すべきステップ数をカウントする必要がある。

【0083】

アクチュエータ1を、図5に示すような微調整モードで使用して、中央のz位置の変動に対応することができる。

【0084】

40

図22に、本発明のアクチュエータを使用した、半導体リソグラフィ用の投影露光システム310を示す。このシステムにより、基板上の構造物を露光して、例えばコンピュータチップ等の半導体構成要素を製造する。基板は、感光性材料で被覆され、通常、主にシリコンで形成され、ウエハ320と称する。

【0085】

投影露光システム310は、この場合、主に、照射系330、マスクを保持し正確に位置決めするデバイス340、ウエハ320上における最終的な構造を規定するために用いられる構造を備えたいわゆるレチクル350、このウエハ320の保持、移動、および正確な位置決めを行うデバイス360、および結像デバイス、具体的には、投影対物レンズ370で構成する。投影対物レンズは、投影対物レンズ370の対物レンズハウジング4

50

00内のマウント390を介して支持した複数の光学素子380を備える。

【0086】

基本的な機能的原理によれば、この場合、レチクル350内に挿入した構造は、ウエハ320上に縮小結像される。

【0087】

露光後、ウエハ320を矢印の方向にさらに移動し、同じウエハ320上の複数の個々の領域を露光するようにする。いずれの場合も、ウエハはレチクル350により規定された構造を有する。投影露光システム310内でウエハ320が段階的（ステップ毎）に前進して移動するため、多くの場合、投影露光システムはステッパとも称される。

【0088】

照射系330は、例えば、光放射または同様の電磁放射等の投影ビーム410を生成し、レチクル350をウエハ320上に結像する。

【0089】

レーザ等を、この放射線の源として用いることもできる。放射線は照射系330内で光学素子を介して整形され、投影ビーム410がレチクル350に入射する際に、直径、偏光、波面形状等に関して所望の特性を有するようにする。

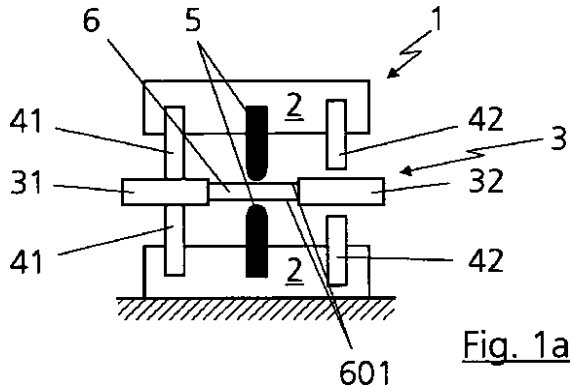
【0090】

ビーム410により、レチクル350の像を生成する。既に説明したように、像は投影対物レンズ370により適切に縮小されてウエハ320上に転写される。投影対物レンズ370は、例えば、レンズ、ミラー、プリズム、遮蔽板等の複数の独立した屈折光学素子および/または反射光学素子380を備える。この場合、1つまたはそれ以上の光学素子を、図21に示すマニピュレータのように、マニピュレータ内に配置することができる。

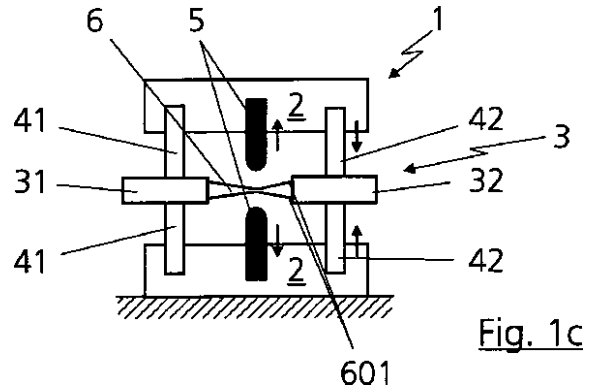
【0091】

本図において示すz方向は、図21に一致するものとする。

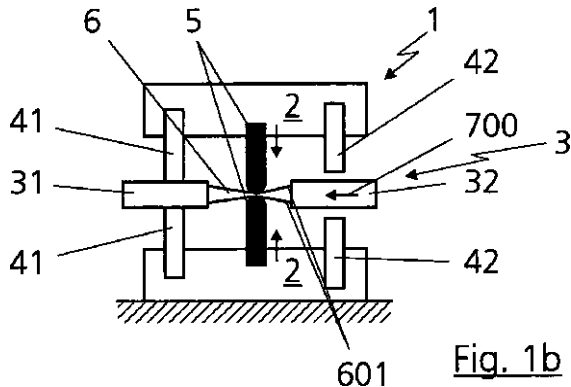
【図1a】



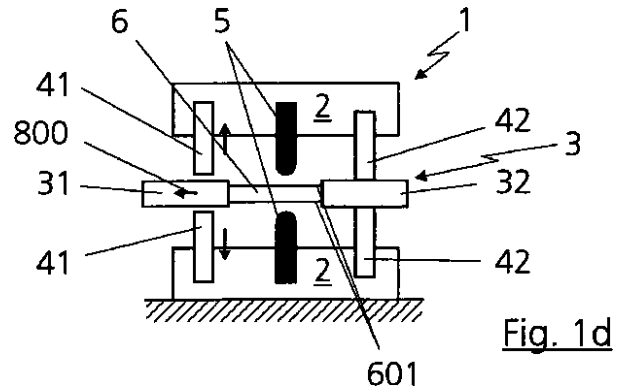
【図1c】

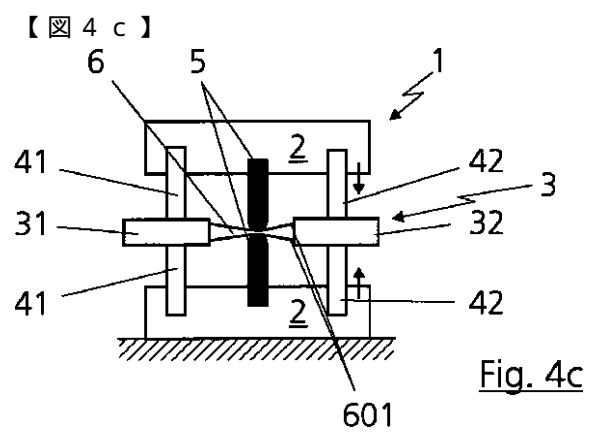
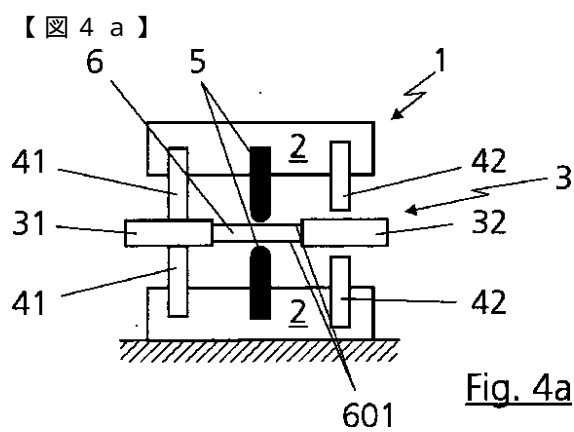
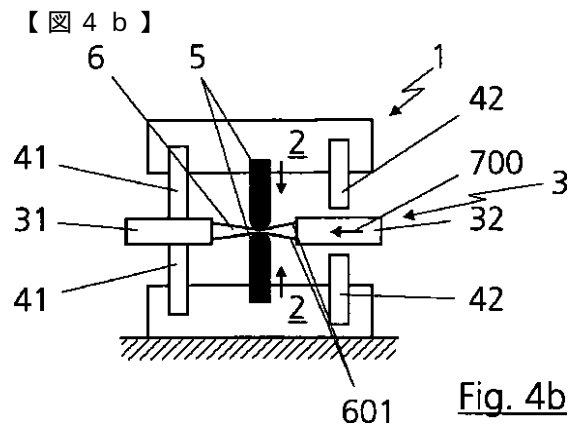
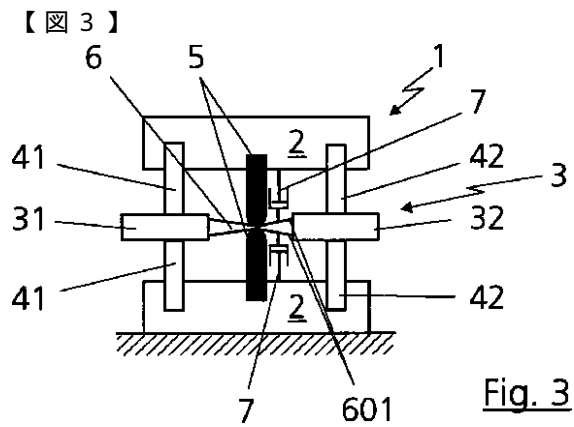
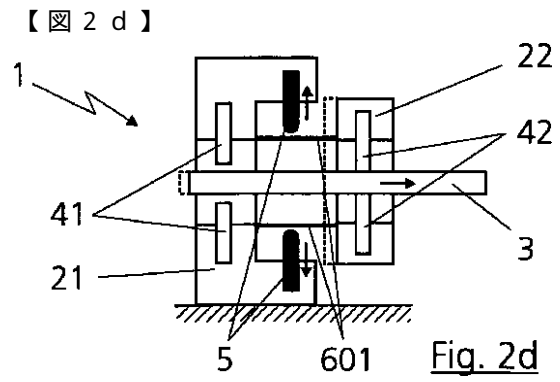
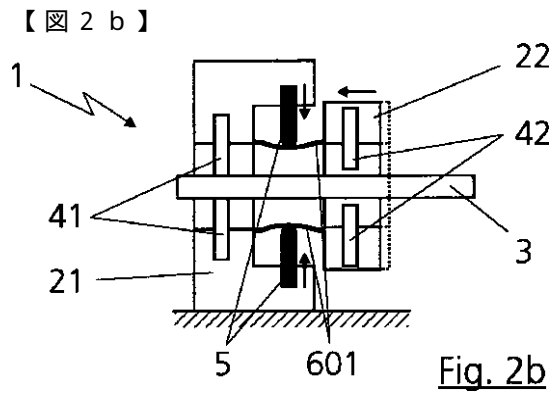
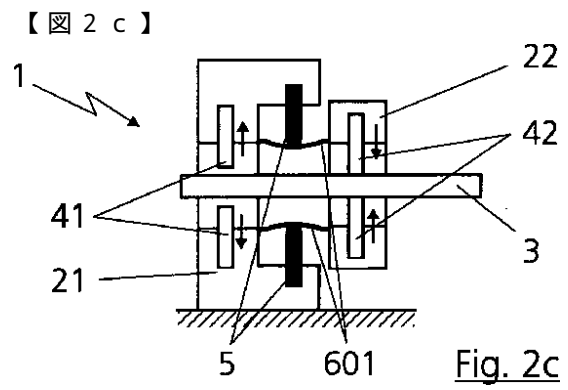
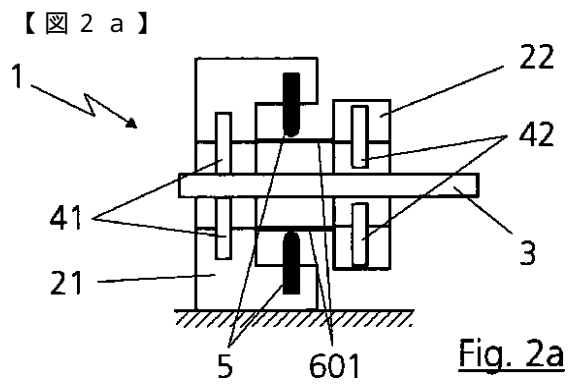


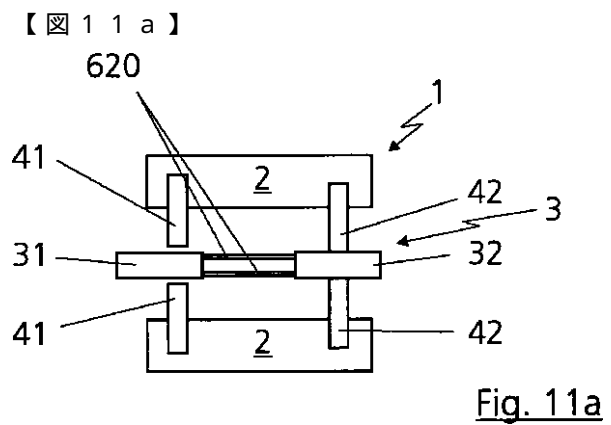
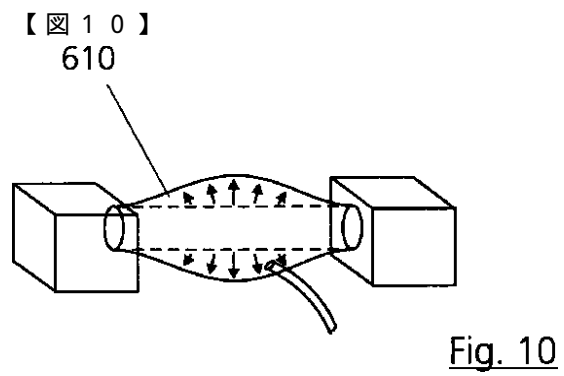
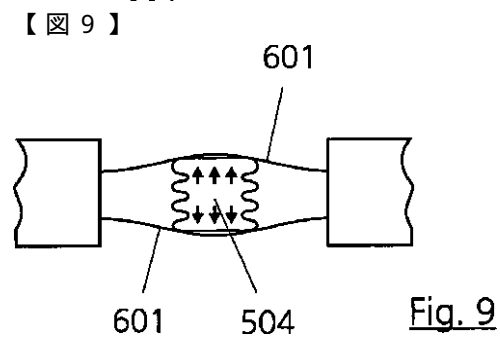
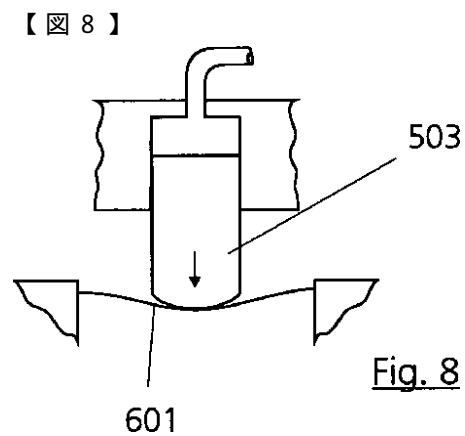
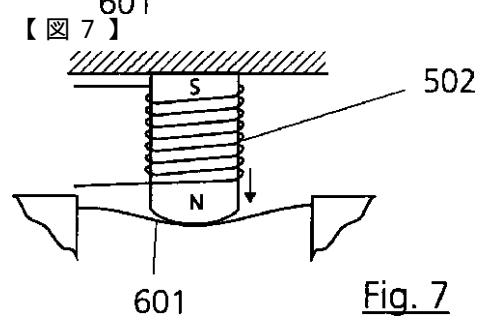
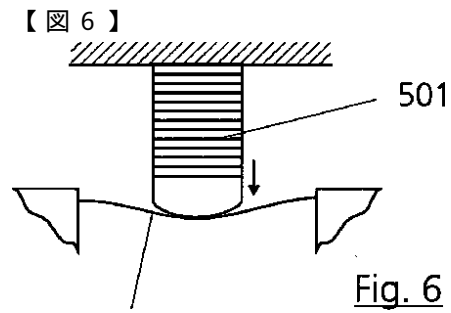
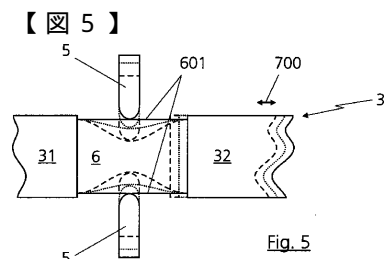
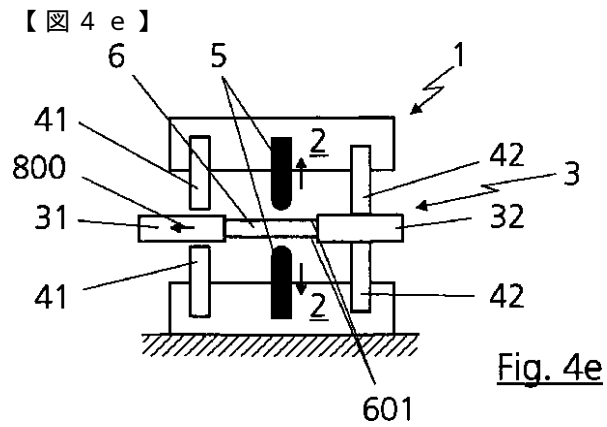
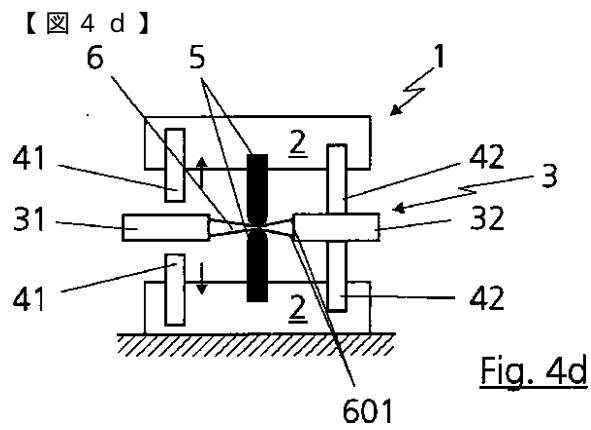
【図1b】

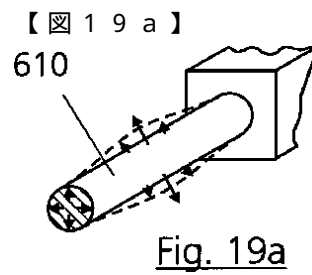
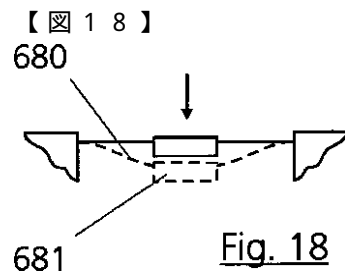
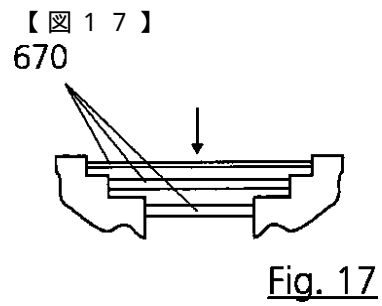
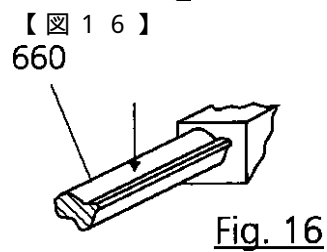
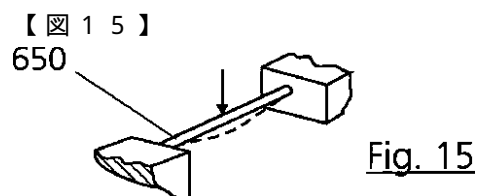
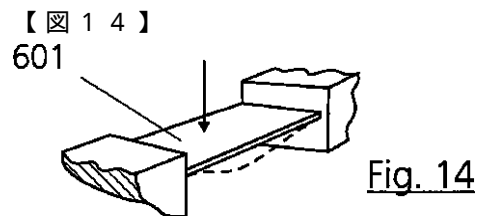
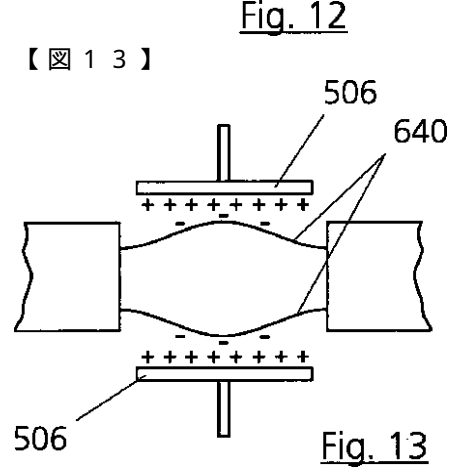
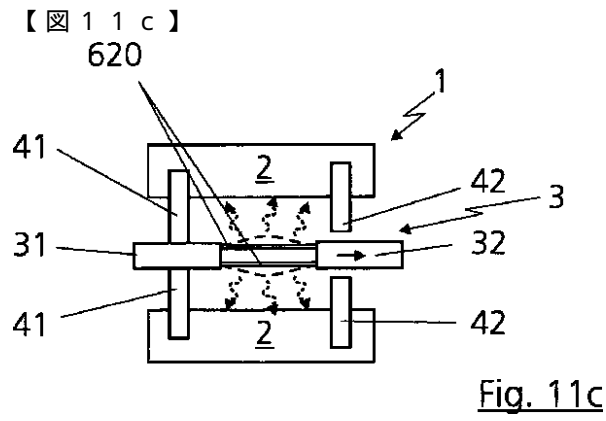
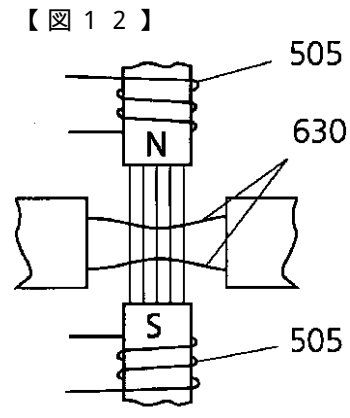
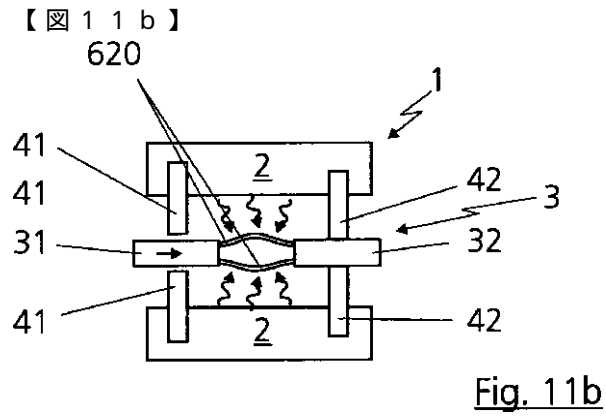


【図1d】









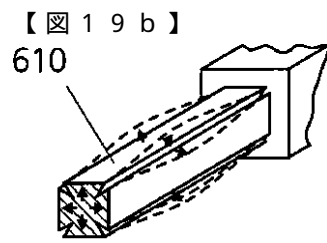


Fig. 19b

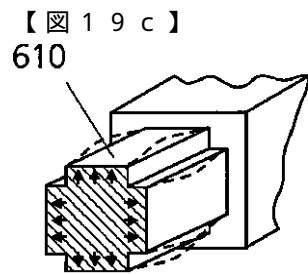


Fig. 19c

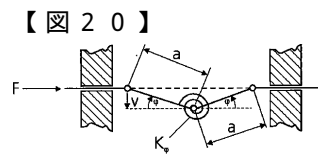


Fig. 20

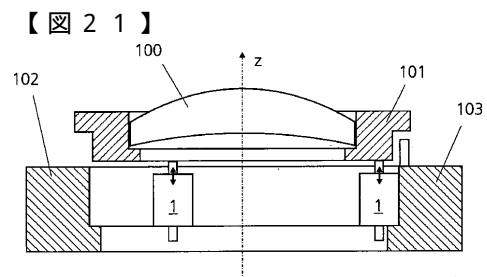


Fig. 21

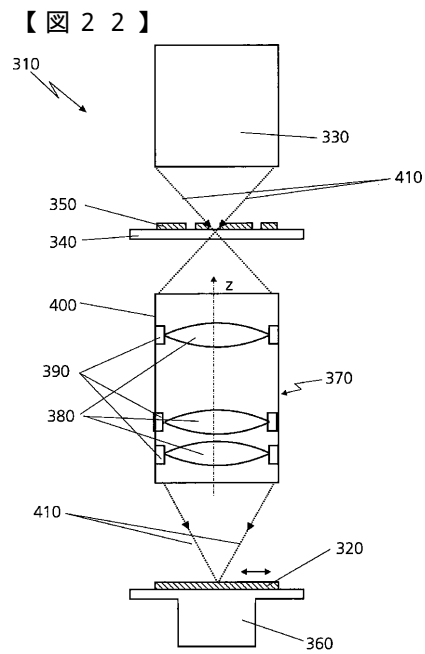


Fig. 22

フロントページの続き

- (72)発明者 ステファン ヘムバッハー
ドイツ国 8 6 3 9 9 ボビンゲン ブザールドヴェーク 7
- (72)発明者 アルミン シェパツハ
ドイツ国 7 3 4 3 1 アーレン シレーヘンベーク 5 0

審査官 長井 真一

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/027
G03F 7/20 - 7/24
H01N 2/00
G02B 7/02 - 7/16
G03B 5/04
B25J 1/00
F05B 15/00
G12B 1/00