



(10) **DE 10 2009 049 239 A1** 2011.08.04

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 049 239.9**

(22) Anmeldetag: **08.10.2009**

(43) Offenlegungstag: **04.08.2011**

(51) Int Cl.: **B81C 99/00** (2010.01)

(71) Anmelder:

**OFFIS e.V., 26121, Oldenburg, DE; Carl von
Ossietzky Universität Oldenburg, 26129,
Oldenburg, DE**

(74) Vertreter:

**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122,
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:

**Wich, Thomas, Dr.-Ing., 26129, Oldenburg, DE;
Edeler, Christoph, Dipl.-Ing., 26129, Oldenburg,
DE; Stolle, Christian, Dipl.-Inf., 26131, Oldenburg,
DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

**US 64 37 463 B1
US 2004/02 56 577 A1
KR 102007088934 A**

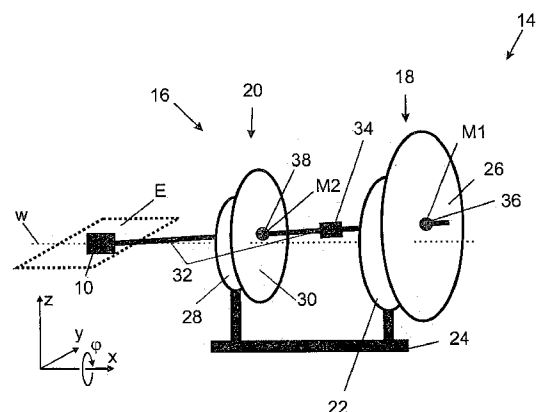
**D. Jasper, C. Edeler: Characterization,
optimization and control of a mobile platform.
International Workshop on Microfactories, IWMF,
2008er**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Mikro-Bearbeitungsmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Mikro-Bearbeitungsmaschine zum Bearbeiten eines Mikro-Bauteils (10), mit einem Drehantrieb zum Drehen des Mikro-Bauteils (10) und einer Bearbeitungseinheit zum Einwirken auf das Mikro-Bauteil (10). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass der Drehantrieb (16) zumindest einen ersten Planarmotor (18) umfasst.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Mikro-Bearbeitungsmaschine zum Bearbeiten von Mikro-Bauteilen, mit (a) einem Drehantrieb zum Drehen des Mikro-Bauteils und (b) einer Bearbeitungseinheit zum Einwirken auf das Mikro-Bauteil. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bearbeiten eines Mikro-Bauteils.

[0002] Zum Fertigen von Mikro-Bauteilen werden häufig die gleichen Verfahren verwendet wie beim Bearbeiten von makroskopischen Bauteilen. So werden beispielsweise abtragende Verfahren eingesetzt, bei denen mittels eines Ionenstrahls, eines Laserstrahls oder eines Werkzeugs Material von einer Oberfläche des Mikro-Bauteils abgetragen wird.

[0003] Zum Bearbeiten eines Mikro-Bauteils wird dieses auf der Mikro-Bearbeitungsmaschine befestigt, beispielsweise gespannt. Ein derartiges Befestigen geht unvermeidlich mit einem Fehler einher, der dazu führt, dass das Werkzeug relativ zu einem Koordinatensystem mit der Mikro-Bearbeitungsmaschine einen Lagefehler und/oder einen Winkelfehler aufweist. Derartige Lage- und Winkelfehler sind auch bei makroskopischen Bauteilen bekannt, spielen dort aber eine deutlich geringere Rolle.

[0004] Auch bei der Einspannung eines makroskopischen Werkstücks auf einer Drehmaschine treten insgesamt sowohl Lage- als auch Orientierungstoleranzen auf. Diese können bei der Bearbeitung oft unberücksichtigt bleiben, da die Sollkontur deutlich kleiner als die Istkontur des Werkstücks gewählt wird, und somit auch die Bearbeitung dieser Lage- und Orientierungstoleranzen ausgeglichen werden können.

[0005] Ein weiteres bekanntes Verfahren ist das Korrigieren der Lage und der Orientierung des Werkstücks, nachdem eine Messung, zum Beispiel mit Hilfe einer Messuhr, durchgeführt wurde. Die Einspannung des makroskopischen Werkstücks erfolgt auf der Makroskala dabei häufig über Spannfutter, beispielsweise Drei- oder Vier-Backen-Spannfutter oder thermische oder hydraulische Dehnspannfutter, die eine möglichst präzise Einspannung des Werkstücks ermöglichen, so dass der axiale Versatz zwischen der Einspannung und der Drehachse der Drehmaschine minimal ist. Weiterhin werden das Spannfutter und das Werkstück so aufeinander abgestimmt, dass der Winkelfehler zwischen der gewünschten Drehachse des Werkstücks und der tatsächlichen Drehachse der Drehmaschine möglichst gering ist.

[0006] Bei der Einspannung von sehr kleinen Bauteilen treten jedoch mehrere technische Herausforderungen auf. Während Längen- und Abstandsmaße bei der Miniaturisierung nach unten skaliert werden, bleiben Winkelmaße gleich. Häufig werden die

zu Werkstücke mit Hilfe mikrotechnischer Fertigungsverfahren hergestellt, beispielsweise der Silizium-Prozesstechnik. Dabei sind die funktionalen Elemente, die beispielsweise mit Hilfe eines Drehprozesses nachbearbeitet werden sollen, mit einem größeren Stück des zur Herstellung benutzen Substrats verbunden, der auch als Grundkörper bezeichnet werden kann. Dadurch können dort beispielsweise die Anbringung von Bonddrähten für die Energie- und Signalleitung, die Adaptierung auf einen makroskopischen Halter oder Pick- and Place-Prozesse für die endgültige Montage des Mikrosystems erfolgen.

[0007] Bei der Einspannung eines solchen Werkstücks am Grundkörper, der meist einen rechtwinkligen Querschnitt aufweist, ist die Gestaltung einer Einspannung, die sowohl die präzise Ausrichtung des Werkstücks zur Drehachs-Drehmaschine und trotzdem eine hohe Flexibilität bei veränderten Werkstückgeometrien ermöglicht, nur schlecht zu realisieren. Weiterhin führen die Toleranzen des Werkstücks, beispielsweise beim Vereinzeln von Siliziumwafern, und die Toleranzen beim Einlegen des Werkstücks in die Spannvorrichtungen zu axialem Versatz und Winkelfehlern zwischen der Drehachse der Drehmaschine und der gewünschten Drehachse auf dem Werkstück.

[0008] Aus der US 2004/0256577 A1 ist der Einsatz einer Ionenstrahlanlage zur Herstellung feiner Metallspitzen bekannt, die für das Testen von integrierten Schaltkreisen eingesetzt werden. Hierbei wird eine Mikro-Drehmaschine in die Vakuumkammer der Ionen-Feinstrahlanlage (engl. focused ion beam system) eingebracht. Auf dieser Mikro-Drehmaschine werden die Messspitzen montiert und unter dem Ionenstrahl gedreht. Nachteilig hieran ist, dass dieses Verfahren eine sehr genaue Ausrichtung des Werkstücks in der Mikro-Drehmaschine voraussetzt.

[0009] In der KR 10 2007 088 934 A ist ebenfalls eine Bearbeitungsvorrichtung beschrieben, bei der eine Drehvorrichtung verwendet wird, um ein Bauteil unter einer Ionen-Feinstrahlanlage zu drehen. Auch diese Vorrichtung weist die oben genannten Nachteile auf.

[0010] Während also die absoluten Lagefehler bei makroskopischen und bei mikroskopischen Bauteilen im Wesentlichen gleich groß sind, unterscheiden sich die Dimensionen des zu bearbeitenden Werkzeugs teilweise mehr als drei Größenordnungen. Das Verhältnis zwischen Lagefehler und Werkstückabmessungen ist also bei Mikrobauteilen besonders ungünstig.

[0011] Es ist bekannt, Mikro-Bauteile wie mikroskopische Bauteile auf der Mikro-Bearbeitungsmaschine zu positionieren, um das Verhältnis zwischen Lagefehler und Werkstückabmessungen zu verbessern.

Es ist auch bekannt, das zu bearbeitende Mikro-Bauteil mit einem erhöhten Aufmaß zu versehen, um trotz eines etwaigen Lagefehlers ein Mikro-Bauteil mit den geforderten Abmessungen zu erhalten. Nachteilig hieran ist, dass entweder ein hoher Aufwand zum Justieren des Mikro-Bauteils aufgewendet werden muss oder die Bearbeitung aufgrund des erhöhten Aufmaßes langwierig und damit aufwändig ist.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu überwinden.

[0013] Die Erfindung löst das Problem durch eine oben genannte Mikro-Bearbeitungsmaschine, bei der der Drehantrieb zumindest einen ersten Planarmotor umfasst. Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Verfahren zum Bearbeiten eines Mikro-Bauteils, mit den Schritten (i) Befestigen des Mikro-Bauteils zwischen zwei Aufnahmeelementen, (ii) Ermitteln eines Lagefehlers und/oder eines Winkelfehlers des Mikro-Bauteils, (iii) Drehen des Mikro-Bauteils mittels mindestens eines ersten Planarmotors, so dass der Lagefehler und/oder der Winkelfehler vermindert wird und (iv) simultanes Bearbeiten des Mikro-Bauteils.

[0014] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass Bauteile, die mit einem Lage- und/oder Winkelfehler am Drehantrieb befestigt wurden, während der Bearbeitung so positioniert werden können, dass das Mikro-Bauteil die gewünschte End-Kontur erhält, ohne dass ein erhöhtes Aufmaß vorgesehen werden muss. Durch das Vorsehen mindestens eines Planarmotors, insbesondere von zwei Planarmotoren, können Lage- und/oder Winkelfehler ausgeglichen werden. Handelt es sich beispielsweise um ein im Wesentlichen zylinderförmiges Mikro-Bauteil, so kann durch die beiden Planarmotoren das Mikro-Bauteil so ausgerichtet werden, dass eine Längsachse mit einer Drehachse einer Drehbewegung bei der Bearbeitung zusammenfällt. Je nach dem, ob bei dem Mikro-Bauteil Material hinzugefügt oder abgetragen werden soll, wird entweder die Menge hinzuzufügenden Materials oder die Menge abzutragenden Materials verringert.

[0015] Es ist ein weiterer Vorteil, dass die Bearbeitungszeit von Mikro-Bauteilen verringert werden kann. So ist es in der Regel relativ einfach und schnell möglich, die Lage des in der Mikro-Bearbeitungsmaschine aufgenommenen Mikro-Bauteils relativ zur Mikro-Bearbeitungsmaschine mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. Hierzu kann beispielsweise ein Laser-Interferometer, ein Mikroskop oder ein sonstiges Messgerät eingesetzt werden. Sobald die Lage des Mikro-Bauteils bekannt ist, kann schnell berechnet werden, wie der zumindest eine Planarmotor angesteuert werden muss, damit ein etwaiger Lage- und/oder Winkelfehler ausgeglichen werden kann. Auch eine Erwärmung des Mikro-Bauteils führt, anders als bei Verfah-

ren nach dem Stand der Technik, nur zu geringen Fehlern.

[0016] Vorteilhaft ist zudem, dass ein Fokus eines Ionenstrahls einer Ionenfeinstrahlanlage stets in oder dicht bei ihrer Bildebene betrieben werden kann. So wird ein Fehler durch Defokussierung vermieden.

[0017] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Mikro-Bauteil insbesondere ein Bauteil verstanden, dessen maximale Ausdehnung höchstens 100 µm beträgt.

[0018] Unter einer Mikro-Bearbeitungsmaschine wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, die ausgebildet ist zur Bearbeitung von Mikro-Bauteilen. Das heißt insbesondere, dass die Mikro-Bearbeitungsmaschine so aufgebaut ist, dass ein Mikro-Bauteil so bearbeitet werden kann, dass eine Gestaltabweichung unterhalb von 1 µm liegt und ein zylinderförmiges Bauteil mit Hilfe der Mikro-Bearbeitungsmaschine fertigbar sein muss, das einen Manteldurchmesser von höchstens 100 µm hat und eine Abweichung vom idealen Zylinder von weniger als 1 µm.

[0019] Unter dem Drehantrieb wird insbesondere jede Komponente verstanden, die in der Lage ist, das Mikro-Bauteil so um eine Drehachse zu drehen, dass die oben genannten Anforderungen an die Gestaltabweichung erfüllbar sind. Dazu ist es möglich, nicht aber notwendig, dass der Drehantrieb eine kontinuierliche Drehung ermöglicht. Insbesondere ist es auch möglich, dass der Drehantrieb eine schrittweise Drehung durchführt.

[0020] Unter der Bearbeitungseinheit wird insbesondere jede Vorrichtung verstanden, mittels der die Gestalt des Mikro-Bauteils veränderbar ist. Es kann sich bei der Bearbeitungseinheit um eine Abtragsvorrichtung zum Abtragen von Material von dem Mikro-Bauteil handeln. Alternativ oder additiv kann die Bearbeitungseinheit auch zum Auftragen von Material auf das Mikro-Bauteil ausgebildet sein.

[0021] Die Bearbeitungseinheit kann ein Partikelstrahlssystem aufweisen. Unter einem Partikelstrahlssystem wird insbesondere ein Strahlssystem verstanden, das auf der optischen Strahlung von Lichtquellen beruht, bevorzugt auf einer Wellenlänge, wie bei einem Laser. Der Energieeintrag durch das Strahlssystem kann dabei entweder auf das Werkstück selbst oder auf ein Prozessgas erfolgen, das das Werkstück umgibt. Es kann dabei zu pyrolytischen oder photo-lytischen Wechselwirkungen kommen. Denkbar sind auch Strahlssysteme, die geladene oder ungeladene Teilchen emittieren, beispielsweise Elektronen, Ionen oder sonstige Moleküle. Der Energieeintrag auf das Mikro-Bauteil erfolgt dann mittels kinetischer Energie oder durch den Übertrag elektrischer Energie.

[0022] Unter einem Planarmotor wird ein Motor verstanden, der eine translatorische Bewegung in einer Ebene wie der x-z-Ebene, und eine Drehbewegung erlaubt. In der Regel verläuft diese Drehbewegung um eine Drehachse, die senkrecht auf der Ebene steht.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besitzt die Mikro-Bearbeitungsmaschine einen zweiten Planarmotor, der von dem ersten Planarmotor beabstandet angeordnet ist. Eine erste Drehachse des ersten Planarmotors und eine zweite Drehachse des zweiten Planarmotors verlaufen dabei parallel. In der Regel sind die beiden Planarmotoren so ausgebildet, dass dann, wenn der x-z-Antrieb unbetätigt ist, die beiden Drehachsen kollinear verlaufen. Bei den Drehachsen handelt es sich dabei um die Drehachsen im physikalischen Sinne. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass Drehachsen in Form von Bauelementen existieren. Beispielsweise ist es möglich, dass der Planarmotor ein Flächenmotor ist, bei dem zwei flächige Bauteile gegeneinander verschoben und gedreht werden.

[0024] Vorteilhaft an zwei Planarmotoren ist, dass alle Lage- und Winkelfehler prinzipiell ausgeglichen werden können. Die Bearbeitung von Mikro-Bauteilen wird so schneller ermöglicht als aus dem Stand der Technik bekannt.

[0025] Bevorzugt weist zumindest der erste Planarmotor ein Abtriebsteil auf, das ausgebildet ist, um das Mikro-Bauteil daran zu befestigen. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass das Abtriebsteil eine plane Oberfläche hat. Beispielsweise ist es möglich, das Mikro-Bauteil durch Spannen oder Kleben an dem Abtriebsteil zu befestigen.

[0026] Die Planarmotoren besitzen in der Regel einen Drehantrieb sowie einen x-z-Antrieb. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Mikro-Bearbeitungsmaschine eine elektrische Steuerung, die eingerichtet ist zum Ansteuern des Drehantriebs und des x-z-Antriebs, so dass ein Versatzfehler und/oder ein Winkelfehler des an dem mindestens einen Planarmotor befestigten Mikro-Bauteils ausgleichbar ist.

[0027] Besonders günstig ist es, wenn die Mikro-Bearbeitungsmaschine eine Positionserfassungsvorrichtung zum Erfassen einer Position des Mikro-Bauteils aufweist. Es kann sich hierbei um ein Mikroskop handeln, möglich ist auch die Verwendung eines Laser-Interferometers. Die elektrische Steuerung ist dann eingerichtet zum Erfassen der Position des Mikro-Bauteils in einem Koordinatensystem der Mikro-Bearbeitungsmaschine und zum Errechnen eines Lage- und/oder Winkelfehlers. Derartige Berechnungsverfahren sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden daher hier nicht weiter beschrieben.

[0028] Vorzugsweise umfasst die Mikro-Bearbeitungsmaschine zudem eine Planarmotor-Positionserfassungsvorrichtung zum Erfassen einer Position eines zumindest ersten Planarmotors. Eine derartige Planarmotor-Positionserfassungsvorrichtung ist beispielsweise in dem Aufsatz „Characterization, Optimization and Control of a Mobile Platform“ von Jasper et al beschrieben (International Workshop on Micro-factories IWMF, Evanston (Chicago), USA, October 5–7, 2008).

[0029] Es ist möglich, die Position des Planarmotors, insbesondere die Position des Abtriebsteils, mittels einer Kamera oder eines Interferometers zu bestimmen. Möglich sind aber auch induktive oder kapazitive Abstandsmesser.

[0030] Vorzugsweise umfasst die Mikro-Bearbeitungsmaschine eine Bearbeitungseinheit zum Abtragen von Material des Mikro-Bauteils, insbesondere eine Ionenfeinstrahlanlage. Alternativ oder additiv kann die Bearbeitungseinheit einen Bearbeitungslaser umfassen.

[0031] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines exemplarischen Ausführungsbeispiels näher erläutert. Dabei zeigt

[0032] Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Mikro-Bauteils, das relativ zu einem Koordinatensystem einer Mikro-Bearbeitungsmaschine sowohl einen Lage- als auch einen Winkelfehler aufweist,

[0033] Fig. 2 eine schematische Ansicht einer Mikro-Bearbeitungsmaschine,

[0034] Fig. 3 eine schematische Ansicht der Anordnung von zwei Planarmotoren und

[0035] Fig. 4 ein Flussdiagramm für die Regelung der Mikro-Bearbeitungsmaschine.

[0036] Fig. 1 zeigt schematisch ein Mikro-Bauteil **10**, das eine Werkstückachse w aufweist, die einen Winkel α in einer x-y-Ebene und einen Winkel β in der x-z-Ebene zu einer Drehachse u der Mikro-Bearbeitungsmaschine aufweist. Die Tatsache, dass α bzw. β nicht beide gleichzeitig null sind, führt dazu, dass das Mikro-Bauteil **10** einen Winkelfehler bezüglich seiner Einspannung hat.

[0037] Das Mikro-Bauteil **10** besitzt zudem einen Schwerpunkt S , durch den die Werkstückachse w verläuft. Der Schwerpunkt S ist von der Drehachse u der Mikro-Bearbeitungsmaschine beabstandet. Ein Lagefehler Δx bezüglich der x-Achse und ein Lagefehler Δy bezüglich der y-Achse beziehen sich auf eine gedachte Parallele p zur Drehachse u und sind ein Maß für einen Lagefehler. Auch ein Abstand d zwischen der Werkstückachse w im Schwerpunkt S und

dem nächstliegenden Punkt der Drehachse u kann als Maß für den Lagefehler des Mikro-Bauteils **10** dienen.

[0038] Fig. 1 zeigt schematisch einen Ionen-Strahl **12**, der in einer Bildebene E fokussiert werden kann. Der Ionen-Strahl **12** wird von einer ansonsten in Fig. 1 nicht eingezeichneten Ionen-Feinstrahlanlage produziert.

[0039] Fig. 2 zeigt eine erfindungsgemäße Mikro-Bearbeitungsmaschine **14**, die einen Drehantrieb **16** zum Drehen des Mikro-Bauteils **10** aufweist. Der Drehantrieb **16** umfasst einen ersten Planarmotor **18** und einen zweiten Planarmotor **20**.

[0040] Der erste Planarmotor **18** besitzt einen Stator **22**, der fest an einer Basis **24** befestigt ist und einen flächigen Rotor bzw. Läufer **26**. Der Läufer **26** kann in einer x - z -Ebene translatorisch relativ zum Stator **22** bewegt werden. Der Läufer **26** kann zudem um einen Mittelpunkt M_1 um einen Drehwinkel ϕ drehen.

[0041] Der zweite Planarmotor **20** ist wie der erste Planarmotor **18** aufgebaut und umfasst einen Stator **28**, der an der Basis **24** befestigt ist, und einen Läufer **30** besitzt. Der Läufer **30** ist ebenfalls durch eine geeignete Ansteuerung des zweiten Planarmotors **20** in der x - z -Ebene translatorisch positionierbar und um einen Drehwinkel ϕ drehbar.

[0042] Der Läufer **26** und der Läufer **30** sind über eine Welle **32**, die einen Längenausgleich **34** aufweist, drehstarr miteinander verbunden. Die Welle **32** erstreckt sich zwischen den beiden Planarmotoren **18**, **20** und seitlich über zumindest einen Planarmotor, nämlich den ersten Planarmotor **18**, hinaus. An der Welle **32** kann ein Befestigungsmittel zum Befestigen des Mikro-Bauteils **10** vorgesehen sein.

[0043] Fig. 2 zeigt einen Zustand, in dem sowohl der erste Planarmotor **18**, als auch der zweite Planarmotor **20** in der x - z -Ebene verschoben sind, so dass die Welle **32** unter einem Winkel zur ursprünglichen Drehachse u verläuft. Der Versatz der beiden Planarmotoren **18**, **20** ist dabei so gewählt, dass das Mikro-Bauteil **10** einen deutlich reduzierten Lagerfehler und einen deutlich reduzierten Winkelfehler aufweist. Insbesondere sind die Winkel α , β sowie der Abstand d minimiert und betragsmäßig deutlich kleiner als ohne die Verschiebung der beiden Läufer **26**, **30**.

[0044] In der in Fig. 2 gezeigten Position kann das Mikro-Bauteil **10** durch den in Fig. 2 nicht gezeigten Ionen-Strahl **12** (vgl. Fig. 1) bearbeitet werden. Die Werkstückachse w verläuft in der ausgerichteten Stellung kollinear zur Drehachse u der Mikro-Bearbeitungsmaschine.

[0045] Fig. 3 zeigt schematisch die Bearbeitung des Mikro-Bauteils **10** durch den Ionen-Strahl **12**. Aufgrund des Lagefehlers und des Winkelfehlers muss bei einer Drehung des Mikro-Bauteils **10** um einen Drehwinkel ϕ eine Ausgleichsbewegung durch zumindest einen, im vorliegenden Fall durch beide Planarmotoren **18**, **20** erfolgen. Dazu wird ein erstes Lager **36**, in dem die Welle **32** an dem Läufer **26** des ersten Planarmotors **18** befestigt ist (vgl. Fig. 2), auf einer im vorliegenden Fall kreisförmigen Bahn B_{36} bewegt.

[0046] Des Weiteren wird ein Lager **38**, in dem die Welle **32** (Fig. 2) am zweiten Läufer **30** befestigt ist, auf einer im vorliegenden Fall ebenfalls kreisförmigen Bahn B_{38} geführt. Die Bahnen B_{36} und B_{38} sind so gewählt, dass der Lagefehler des Mikro-Bauteils **10** und dessen Winkelfehler bezüglich der ursprünglichen Drehachse u minimal ist. Die Drehachse u dient als Referenz für den Ionen-Strahl. Die Drehachse u liegt in der Bildebene E der Ionen-Feinstrahlanlage.

[0047] Die Lage des Mikro-Bauteils **10** wird mittels einer schematisch eingezeichneten Kamera **40** ermittelt. Dazu wird zunächst ein erster Drehwinkel ϕ_1 eingestellt und mit der Kamera **40** ein Bild aufgenommen. Danach wird zumindest bei einem unterschiedlichen, zweiten Drehwinkel ϕ_2 ein zweites Bild aufgenommen. Aus beiden Bildern wird mit Hilfe von objekterkennenden Verfahren die Lage des Mikro-Bauteils **10** im Koordinatensystem der Mikro-Bearbeitungsmaschine errechnet. Anschließend werden der Winkelfehler und der Lagefehler berechnet und die beiden Bahnen B_{36} und B_{38} berechnet.

[0048] Die in Fig. 3 gezeigte Mikro-Bearbeitungsmaschine kann in einer Vakuum-Vorrichtung angeordnet sein, so dass die Ionen-Feinstrahlanlage besonders effektiv arbeiten kann.

[0049] Fig. 3 zeigt zudem eine Kamera **41**, in deren Blickfeld die beiden Läufer **28** und **30** liegen, so dass mittels der Kamera **41** deren Position relativ zur Basis **24** ermittelbar ist und ermittelt wird. Insbesondere kann der Drehwinkel ϕ mittels der Kamera **41** ermittelt werden.

[0050] Fig. 4 zeigt schematisch die Funktionsweise der Mikro-Bearbeitungsmaschine **14**. Eine elektrische Steuerung **42** ist mit einer Motoren-Steuerung **44** verbunden, die die beiden Planarmotoren **18**, **20** ansteuert. Die Kamera **41** ist über eine Bildverarbeitungseinheit **46**, die Teil der elektrischen Steuerung **42** sein kann, mit der Steuerung **44** für die Planarmotoren verbunden, so dass das Mikro-Bauteil stets auf der korrekten Position gehalten wird.

[0051] Über eine Bildverarbeitungseinheit **48**, die auch Teil der Bildverarbeitungsanlage **46** sein kann, wird ein lokales Bild des Mikro-Bauteils **10**, das von

der Ionen-Feinstrahlanlage **50** aufgenommen wird, ebenfalls zur elektrischen Steuerung **44** zurückgeführt. Die Verwendung des Ionen-Strahls der Ionen-Feinstrahlanlage zum Bestimmen der Lage des Mikro-Bauteils hat den Vorteil, dass eine besonders große Tiefenschärfe erreicht werden kann. Die Kamera **40** dient als eine Ergänzung oder als Alternative zur Positionsbestimmung mittels des Ionenstrahls **12**. Die Positionserfassungsvorrichtung kann also durch die Ionen-Feinstrahlanlage, eine Kamera oder ein Elektronenmikroskop ausgebildet sein.

Bezugszeichenliste

10	Mikro-Bauteil
12	Ionen-Strahl
14	Mikro-Bearbeitungsmaschine
16	Drehantrieb
18	erster Planarmotor
20	zweiter Planarmotor
22	Stator
24	Basis
26	Läufer
28	Stator
30	Läufer
32	Welle
34	Längenausgleich
36	erstes Lager
38	zweites Lager
40	Kamera
41	Kamera
42	elektrische Steuerung
44	Motoren-Steuerung
46	Bildverarbeitungsanlage
48	Bildverarbeitungseinheit
50	Ionen-Feinstrahlanlage
α, β	Winkel
φ	Drehwinkel
B	Bahn
d	Abstand
E	Bildebene
M	Mittelpunkt
p	Parallele
S	Schwerpunkt
u	Drehachse
w	Werkstückachse

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2004/0256577 A1 [0008]
- KR 102007088934 A [0009]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- „Characterization, Optimization and Control of a Mobile Platform“ von Jasper et al beschrieben (International Workshop on Microfactories IWMF, Evanston (Chicago), USA, October 5–7, 2008) [0028]

Patentansprüche

1. Mikro-Bearbeitungsmaschine zum Bearbeiten eines Mikro-Bauteils (10), mit
 (a) einem Drehantrieb zum Drehen des Mikro-Bauteils (10) und
 (b) einer Bearbeitungseinheit zum Einwirken auf das Mikro-Bauteil (10),
dadurch gekennzeichnet, dass
 (c) der Drehantrieb (16) zumindest einen ersten Planarmotor (18) umfasst.

2. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch
 – einen zweiten Planarmotor (20), der eine zweite Drehachse aufweist,
 – wobei der erste Planarmotor (18) eine erste Drehachse aufweist,
 – wobei der erste Planarmotor (18) und der zweite Planarmotor (20) beabstandet angeordnet sind,
 – wobei die erste Drehachse und die zweite Drehachse parallel verlaufen.

3. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest der erste Planarmotor (18) ein Abtriebsselement umfasst, das ausgebildet ist, um das Mikro-Bauteil (10) daran zu befestigen.

4. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Planarmotor (18) und der zweite Planarmotor (20) mittels einer Welle (32) miteinander verbunden sind.

5. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Planarmotoren (18, 20) mit ihren Drehachsen kollinear ausrichtbar angeordnet sind.

6. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch
 – eine elektrische Steuerung,
 – wobei der zumindest eine Planarmotor (18, 20) einen Drehantrieb (16) und einen x-y-Antrieb aufweist und
 – wobei die elektrische Steuerung eingerichtet ist zum Ansteuern des Drehantriebs (16) und des x-y-Antriebs, so dass ein Versatzfehler und/oder ein Winkelfehler des an dem mindestens einen Planarmotor (18, 20) befestigten Mikro-Bauteils (10) ausgleichbar ist.

7. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Positionserfassungsvorrichtung zum Erfassen einer Position des Mikro-Bauteils (10).

8. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ei-

ne Planarmotor-Positionserfassungsvorrichtung zum Erfassen einer Position zumindest des ersten Planarmotors (18).

9. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungseinheit zum Abtragen von Material des Mikro-Bauteils (10) eingerichtet ist und insbesondere eine Ionenfeinstrahlanlage umfasst.

10. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ionenfeinstrahlanlage eingerichtet ist zum Fokussieren eines Ionenstrahls auf einen vorgegebenen Fokus.

11. Mikro-Bearbeitungsmaschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungseinheit einen Bearbeitungslaser umfasst.

12. Verfahren zum Bearbeiten eines Mikro-Bauteils, mit den Schritten:
 (i) Befestigen des Mikro-Bauteils (10) zwischen zwei Aufnahmeelementen,
 (ii) Ermitteln eines Lagefehlers und/oder eines Winkelfehlers des Mikro-Bauteils (10),
 (iii) Drehen des Mikro-Bauteils (10) mittels mindestens eines ersten Planarmotors (18), so dass der Lagefehler und/oder der Winkelfehler vermindert wird, und
 (iv) simultanes Bearbeiten des Mikro-Bauteils (10).

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt (iii) ein kontinuierliches Ändern einer Lage mindestens eines Aufnahmeelements eines Drehmittelpunkts durch eine translatorische Bewegung umfasst.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

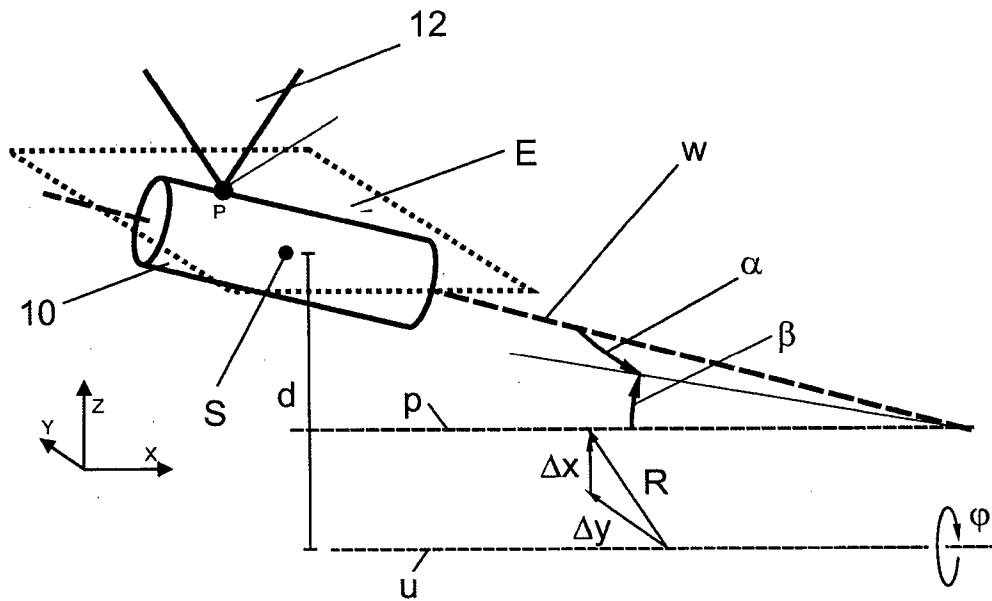


Fig. 1

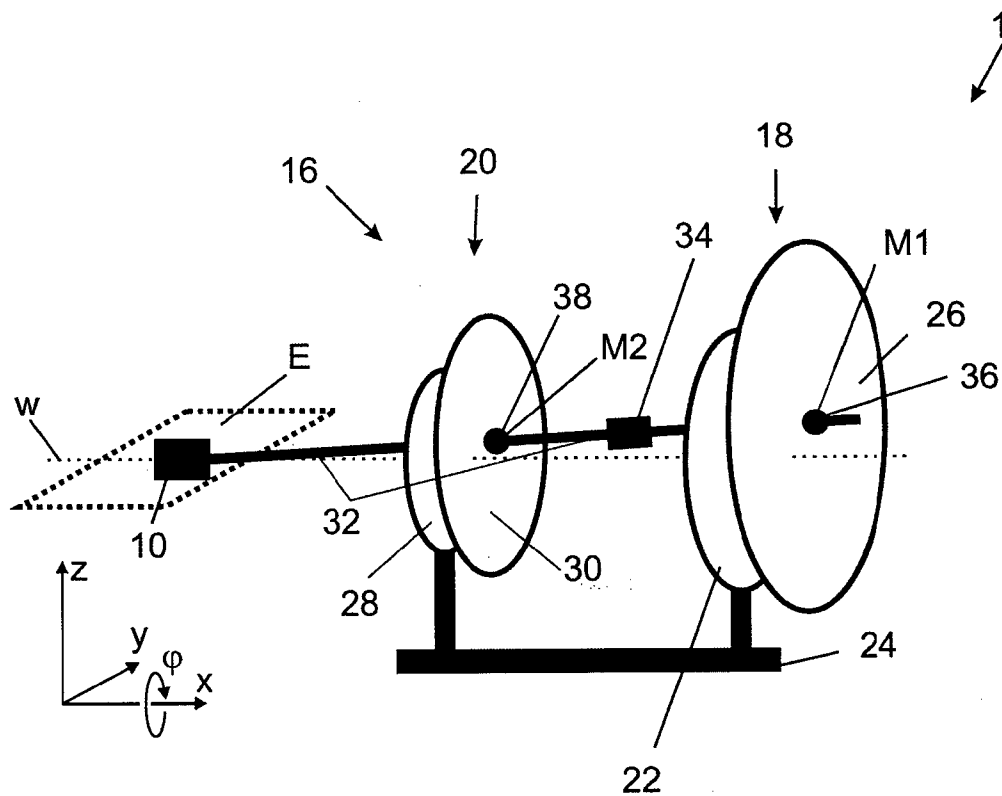


Fig. 2

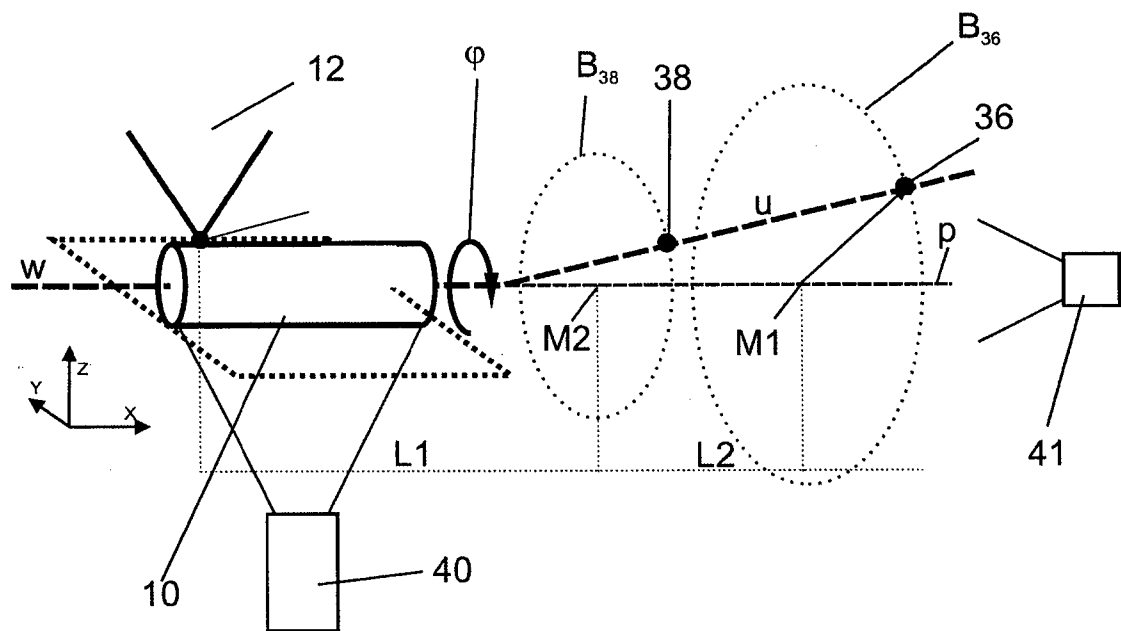


Fig. 3

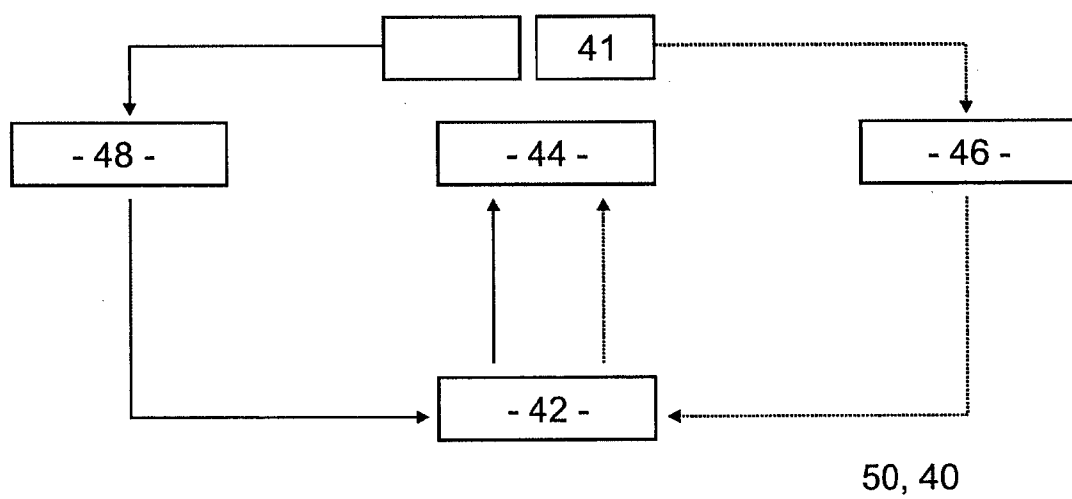


Fig. 4