



(10) **DE 10 2018 108 974 B3** 2019.05.09

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 108 974.0**  
(22) Anmeldetag: **16.04.2018**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **09.05.2019**

(51) Int Cl.: **H01J 37/26 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Carl Zeiss Microscopy GmbH, 07745 Jena, DE**

(74) Vertreter:  
**Patent- und Rechtsanwälte Diehl & Partner GbR,  
80636 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Biberger, Josef, 93359 Wildenberg, DE;  
Lengweiler, Stefan, 73447 Oberkochen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

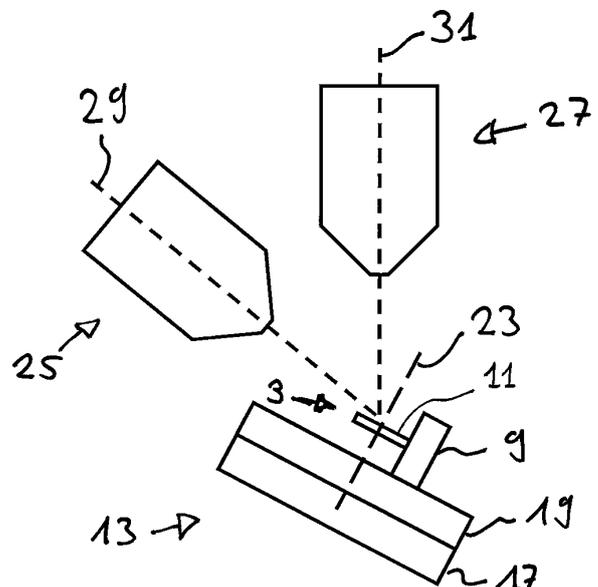
US	2014 / 0 190 934	A1
US	2015 / 0 001 176	A1
US	2017 / 0 256 380	A1

C. Li et al., An improved FIB sample preparation technique for site-specific plan-view specimens: A new cutting geometry, *Ultramicroscopy* 184 (2018), S. 310 - 317

L.A. Giannuzzi et al., A review of focused ion beam milling techniques for TEM specimen preparation, *Micron* 30 (1999), S. 197 - 204

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen einer TEM-Probe**

(57) Zusammenfassung: In einem Verfahren zum Herstellen einer TEM-Probe wird ein Objekt (3) an einem Element (19) eines Objekthalters (13) so befestigt, dass eine zu bearbeitende Fläche (11) des Objekts (3) im Wesentlichen senkrecht zu einer Drehachse (23) des Elements (19) angeordnet ist. Ein Ionenstrahl wird unter streifendem Einfall auf die zu bearbeitende Fläche (11) gerichtet, wobei das Element (19) verschiedene Drehstellungen bezüglich der Drehachse (23) einnimmt, während der Ionenstrahl auf die zu bearbeitende Fläche (11) gerichtet wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer TEM-Probe unter Verwendung eines Partikelstrahlsystems.

**[0002]** Die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) ist ein Verfahren zur Darstellung und Analyse von miniaturisierten Objekten, welche eine Größe in der Größenordnung weniger Nanometer haben. TEM wird beispielsweise zur Analyse von integrierten Schaltelementen verwendet. Hierzu muss das zu untersuchende Objekt ausreichend dünn sein, damit Elektronen eines Elektronenstrahls das Objekt durchdringen können, d. h. durch das Objekt transmittieren können. Zudem sollten die Eintrittsfläche, an welcher der Elektronenstrahl auf das Objekt trifft, und die Austrittsfläche, an welcher der Elektronenstrahl aus dem Objekt austritt, möglichst glatt sein, d. h. eine möglichst geringe Rauigkeit aufweisen. In einigen Fällen sollten die Eintrittsfläche und die Austrittsfläche zueinander möglichst parallel sein. Jedoch gibt es auch Anwendungen, in denen das zu untersuchende Objekt und damit die Eintrittsfläche und die Austrittsfläche eine andere Gestalt haben sollen. Ein Objekt, welches diese Voraussetzungen erfüllt, ist für eine Analyse mittels TEM geeignet und wird nachfolgend als TEM-Probe bezeichnet.

**[0003]** Zur Herstellung von TEM-Proben werden üblicherweise Partikelstrahlsysteme mit einer Ionenstrahlsäule und einer Elektronenstrahlsäule verwendet. Die Ionenstrahlsäule dient zur Bearbeitung des Objekts, während die Elektronenstrahlsäule zur Erzeugung von Bildern des Objekts und somit zur Überwachung des Objekts dient. Zur Positionierung und Orientierung des Objekts bezüglich der Ionenstrahlsäule und der Elektronenstrahlsäule wird eine Positionierungsvorrichtung verwendet. Die Positionierungsvorrichtung umfasst beispielsweise einen Probentisch, welcher drei translatorische Freiheitsgrade und zwei rotatorische Freiheitsgrade zur Positionierung und Orientierung des Objekts gegenüber der Ionenstrahlsäule und der Elektronenstrahlsäule bereitstellt. Die Positionierungsvorrichtung umfasst häufig weitere Hilfskonstruktionen, welche auf dem Probentisch angeordnet sind und weitere Freiheitsgrade zur Bewegung des Objekts bereitstellen. Diese Hilfskonstruktionen müssen mechanisch hoch präzise ausgefertigt sein, implizieren weiteren Steuerungsaufwand und weitere potentielle Fehlerquellen bei der Positionierung und Orientierung des Objekts.

**[0004]** Es ist daher wünschenswert, TEM-Proben herstellen zu können, ohne solche Hilfskonstruktionen verwenden zu müssen.

**[0005]** US 2014 / 0 190 934 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung, um Proben zur Beobachtung in einem System mit geladenen Teilchenstrah-

len auf eine Weise vorzubereiten, die Artefakte reduziert oder verhindert. Material wird auf der Probe mit einer Ladungsteilchenstrahlabscheidung unmittelbar vor oder während des abschließenden Mahlens abgeschieden, was zu einer artefaktfreien Oberfläche führt. Ausführungsformen eignen sich zur Herstellung dünner TEM-Proben.

**[0006]** US 2017 / 0 256 380 A1 offenbart Techniken, die die automatisierte Extraktion von Lamellen und das Anbringen der Lamellen an Probengittern zum Betrachten von Transmissionselektronenmikroskopie erleichtern.

**[0007]** US 2015 / 0 001 176 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ändern der Orientierung einer Probe, die mittels eines Partikelstrahlsystems bearbeitet und analysiert wird.

**[0008]** C. Li et al., „An improved FIB sample preparation technique for site-specific plan-view specimens: A new cutting geometry“, Ultramicroscopy 184 (2018), Seiten 310 bis 317, offenbart eine FIB-Lift-Out-Probenvorbereitung.

**[0009]** L.A. Giannuzzi et al., „A review of focused ion beam milling techniques for TEM specimen preparation“, Micron 30 (1999), Seiten 197 bis 204, offenbart Verfahren zur Herstellung von Transmissionselektronenmikroskopproben unter Verwendung eines fokussierten Ionenstrahls.

**[0010]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer TEM-Probe bereitzustellen, welches mit konstruktiv einfachen Mitteln zur Durchführung des Verfahrens auskommt.

**[0011]** Nachfolgend wird zunächst eine Gesamtübersicht über ein Verfahren zur Herstellung einer TEM-Probe gegeben. Anschließend werden einzelne Verfahrensschritte im Detail beschrieben. Die Ausgangslage für das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer TEM-Probe ist ein Körper, welcher einen räumlichen Bereich umfasst, der die herzustellende TEM-Probe bildet.

**[0012]** In einem ersten Schritt wird ein Teil des Körpers wenigstens teilweise von dem Körper abgetrennt, indem ein von einer Ionenstrahlsäule erzeugter Ionenstrahl auf den Körper gerichtet wird. Dieser Teil des Körpers wird nachfolgend als Objekt bezeichnet. Das Objekt ist physisch noch mit dem Körper an denjenigen Stellen verbunden, an welchen der Ionenstrahl nicht auf den Körper gerichtet wurde.

**[0013]** In einem zweiten Schritt wird ein Manipulator an dem Objekt angebracht. Beispielsweise wird ein Manipulator an die Oberfläche des Objekts geführt und unter Verwendung des Ionenstrahls wird der Manipulator mit dem Objekt verbunden.

**[0014]** In einem dritten Schritt wird das Objekt vollständig von dem Körper abgetrennt, beispielsweise indem der Abschnitt, der das Objekt mit dem Körper verbindet, durch den Ionenstrahl entfernt wird. Zu diesem Zeitpunkt des Verfahrens wird das Objekt durch den Manipulator getragen und ist nicht mehr physisch mit dem Körper verbunden.

**[0015]** Alternativ zu den vorangehend beschriebenen Verfahrensschritten kann das Objekt auf andere Weise aus dem Körper gelöst und mit dem Manipulator verbunden werden. Beispielsweise kann zuerst der Manipulator an einer Oberfläche des Körpers angebracht werden und anschließend wird ein Teil des Körpers, welcher mit dem Manipulator physisch verbunden ist, mittels eines Ionenstrahls von dem Körper abgetrennt.

**[0016]** In einem vierten Schritt wird das Objekt zur weiteren Bearbeitung zu einem Objekthalter transferiert. Beispielsweise wird der Manipulator, an welchem das Objekt angebracht ist, so bewegt, dass das Objekt mit dem Objekthalter in Kontakt kommt. Anschließend wird unter Verwendung eines Ionenstrahls das Objekt an dem Objekthalter befestigt. Somit trägt der Objekthalter das Objekt.

**[0017]** In einem daran anschließenden fünften Schritt wird der Manipulator von dem Objekt gelöst. Beispielsweise wird der Manipulator von dem Objekt unter Verwendung eines Ionenstrahls gelöst. Zu diesem Zeitpunkt des Verfahrens wird das Objekt allein durch den Objekthalter getragen. Der Objekthalter ist beispielsweise ein Probenstisch eines Partikelstrahlensystems oder ein an dem Probenstisch befestigtes TEM-Grid.

**[0018]** In einem sechsten Schritt wird das Objekt unter Verwendung eines Ionenstrahls gedünnt. Beispielsweise wird unter Verwendung eines Ionenstrahls Material von dem Objekt abgetragen, um die gewünschte Gestalt des Objekts zu erhalten. Beispielsweise kann das Objekt mit dem Ionenstrahl so bearbeitet werden, dass das Objekt zwei zueinander im Wesentlichen parallele Oberflächen aufweist und der Abstand zwischen diesen Oberflächen für eine TEM-Analyse ausreichend klein ist. Beispielsweise beträgt ein Abstand zwischen den zueinander im Wesentlichen parallelen Ebenen wenigstens 10 nm und höchstens 1000 nm. Alternativ kann das Objekt mit dem Ionenstrahl so bearbeitet werden, dass es die Gestalt eines Keils oder dergleichen aufweist. Im sechsten Schritt wird das Objekt so gedünnt, dass das Objekt eine Dicke aufweist, die gering genug ist, damit das Objekt mittels TEM analysiert werden kann.

**[0019]** Nach dem Dünnen des Objekts kann die Oberfläche des Objekts eine Rauigkeit aufweisen, die durch das Dünnen mittels des Ionenstrahls erzeugt

wird. Um die Oberfläche des Objekts weiter zu glätten, wird in einem siebten Schritt die Oberfläche des Objekts unter Verwendung des Ionenstrahls poliert, d. h. Material von dem Objekt entfernt. Alternativ kann das Dünnen und Polieren des Objekts gleichzeitig durchgeführt werden bzw. durch dieselben Verfahrensschritte bewirkt werden.

**[0020]** Nachfolgend werden die Verfahrensschritte zum Polieren des Objekts im Detail beschrieben.

**[0021]** Das Polieren des Objekts wird unter Verwendung eines Partikelstrahlensystems durchgeführt, welches eine Ionenstrahlsäule zur Erzeugung eines Ionenstrahls und einen Objekthalter zum Halten, Positionieren und Orientieren des Objekts relativ zu der Ionenstrahlsäule umfasst. Der Objekthalter weist ein Basiselement, ein erstes Element, ein zweites Element, einen ersten Aktor und einen zweiten Aktor auf. Das Basiselement, das erste Element und das zweite Element bilden eine kinematische Kette, welche durch die Aktoren relativ zueinander bewegt und/oder orientiert werden können.

**[0022]** Beispielsweise ist das Basiselement innerhalb einer Vakuumkammer des Partikelstrahlensystems angeordnet, wobei das Basiselement selbst durch wenigstens einen weiteren Aktor innerhalb der Vakuumkammer positioniert und orientiert werden kann. Das erste Element kann durch den ersten Aktor relativ zu dem Basiselement um eine erste Drehachse gedreht werden. Das zweite Element kann durch den zweiten Aktor relativ zu dem ersten Element um eine zweite Drehachse gedreht werden. Der Objekthalter ist so konfiguriert, dass die erste Drehachse und die zweite Drehachse zueinander im Wesentlichen senkrecht orientiert sind.

**[0023]** Wenn der erste Aktor das erste Element um die erste Drehachse dreht, dreht gemäß dieser Konfiguration das zweite Element ebenfalls um die erste Drehachse. Andererseits wird das erste Element nicht um die zweite Drehachse gedreht, wenn der zweite Aktor das zweite Element um die zweite Drehachse dreht.

**[0024]** Zum Dünnen und/oder Polieren des Objekts wird das Objekt an dem zweiten Element des Objekthalters befestigt.

**[0025]** Das Objekt wird hierbei an dem zweiten Element so befestigt, dass eine zu bearbeitende Fläche des Objekts im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Drehachse angeordnet ist. Beispielsweise wird das Objekt an dem zweiten Element des Objekthalters so befestigt, dass ein Winkel zwischen der zu bearbeitenden Fläche des Objekts und der zweiten Drehachse wenigstens 80°, bevorzugt wenigstens 85°, weiter bevorzugt wenigstens 89° beträgt.

**[0026]** Der erste Aktor wird so gesteuert, dass eine Hauptachse der Ionenstrahlsäule unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche orientiert ist, während der zweite Aktor so gesteuert wird, dass das zweite Element bezüglich des ersten Elements eine erste Drehstellung um die zweite Drehachse aufweist. „Streifender Einfall“ bedeutet beispielsweise, dass die Hauptachse der Ionenstrahlsäule mit der zu bearbeitenden Fläche einen Winkel einschließt, welcher höchstens  $10^\circ$  beträgt.

**[0027]** Während dieser Konfiguration der Aktoren, d. h. während die Hauptachse der Ionenstrahlsäule unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche orientiert ist und das zweite Element bezüglich des ersten Elements die erste Drehstellung um die zweite Drehachse aufweist, wird ein durch die Ionenstrahlsäule erzeugter Ionenstrahl auf das Objekt gerichtet, um Material von dem Objekt zu entfernen.

**[0028]** Anschließend wird der erste Aktor so gesteuert, dass die Hauptachse der Ionenstrahlsäule (weiterhin) unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche orientiert ist, während der zweite Aktor so gesteuert wird, dass das zweite Element bezüglich des ersten Elements eine zweite Drehstellung um die zweite Drehachse aufweist, wobei die zweite Drehstellung von der ersten Drehstellung verschieden ist. Im einfachsten Fall erzeugt der zweite Aktor eine Drehung des zweiten Elements relativ zu dem ersten Element um die zweite Drehachse, wodurch die Drehstellung des zweiten Elements bezüglich des ersten Elements von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung überführt wird, während die Ansteuerung des ersten Aktors unverändert bleibt.

**[0029]** In dieser Konfiguration der Aktoren, d. h. während die Hauptachse der Ionenstrahlsäule unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche orientiert ist und das zweite Element bezüglich des ersten Elements die zweite Drehstellung um die zweite Drehachse aufweist, wird der durch die Ionenstrahlsäule erzeugte Ionenstrahl auf das Objekt gerichtet, um (erneut) Material von dem Objekt zu entfernen.

**[0030]** Auf diese Weise wird der Ionenstrahl aus unterschiedlichen Richtungen, aber jeweils unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche auf das Objekt gerichtet. Unregelmäßigkeiten der Oberfläche des Objekts, d. h. eine Rauigkeit des Objekts, die durch die vorangegangene Bearbeitung des Objekts erzeugt wurde, kann auf diese Weise reduziert werden. Durch die spezielle Anordnung des Objekts (genauer gesagt, der zu bearbeitenden Fläche des Objekts) relativ zu dem zweiten Element des Objekthalters, der Konfiguration des Objekthalters selbst und der Orientierung der Hauptachse der Ionenstrahlsäule (genauer gesagt, des Ionenstrahls) relativ zu der zu bearbeitenden Fläche kann die Rauigkeit der zu bearbeitenden Fläche reduziert werden,

indem lediglich das zweite Element um die zweite Drehachse gedreht wird und der Ionenstrahl bei zwei verschiedenen Drehstellungen des zweiten Elements bezüglich des ersten Elements um die zweite Drehachse auf das Objekt gerichtet wird. Durch diese spezielle Konfiguration kann die Rauigkeit der zu bearbeitenden Oberfläche reduziert werden, ohne dass Hilfsvorrichtungen zusätzlich zu einem Probentisch erforderlich sind. Dies vereinfacht die Konfiguration und den Steuerungsaufwand des zur Durchführung des Verfahrens verwendeten Systems.

**[0031]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform unterscheidet sich die erste Drehstellung von der zweiten Drehstellung um wenigstens  $5^\circ$ , bevorzugt wenigstens  $10^\circ$ . D. h., beim Überführen des zweiten Elements des Objekthalters von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung vollzieht das zweite Element bezüglich des ersten Elements eine Drehung um die zweite Drehachse von wenigstens  $5^\circ$ , bevorzugt wenigstens  $10^\circ$  und/oder höchstens  $45^\circ$ , bevorzugt höchstens  $35^\circ$ .

**[0032]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform bildet das zweite Element das letzte kinematische Element bezüglich der (rotatorischen) Freiheitsgrade, die durch den Objekthalter bereitgestellt werden. D. h., das Objekt ist an demjenigen Element des Objekthalters befestigt, welches bezüglich des Basiselements die meisten (rotatorischen) Bewegungsfreiheitsgrade aufweist. Mit anderen Worten ist das Objekt an dem Objekthalter so befestigt und der Objekthalter ist so ausgebildet, dass kein steuerbarer Bewegungsfreiheitsgrad zwischen dem Objekt und dem zweiten Element des Objekthalters vorhanden ist.

**[0033]** Der Objekthalter kann so konfiguriert sein, dass die Drehbarkeit des ersten Elements relativ zu dem Basiselement um die erste Drehachse ohne zwischenliegende Freiheitsgrade realisiert ist. Das bedeutet, dass in der kinematischen Kette zwischen der Basis und dem ersten Element abgesehen von der Drehbarkeit um die erste Drehachse keine anderen steuerbaren Freiheitsgrade, insbesondere keine anderen rotatorischen Freiheitsgrade, realisiert sind. Beispielsweise sind die Basis und das erste Element jeweils direkt mit einer ersten Lagervorrichtung verbunden, welche den Freiheitsgrad der Drehbarkeit um die erste Drehachse, jedoch darüber hinaus keine weiteren (rotatorischen) Freiheitsgrade bereitstellt.

**[0034]** Der Objekthalter kann so konfiguriert sein, dass die Drehbarkeit des zweiten Elements relativ zu dem ersten Element um die zweite Drehachse ohne zwischenliegende Freiheitsgrade realisiert ist. Das bedeutet, dass in der kinematischen Kette zwischen dem ersten Element und dem zweiten Element abgesehen von der Drehbarkeit um die zweite Drehachse keine anderen steuerbaren Freiheitsgrade, insbesondere keine anderen rotatorischen Freiheitsgrade,

realisiert sind. Beispielsweise sind das erste Element und das zweite Element jeweils direkt mit einer zweiten Lagervorrichtung verbunden, welche den Freiheitsgrad der Drehbarkeit um die zweite Drehachse, jedoch darüber hinaus keine weiteren (rotatorischen) Freiheitsgrade bereitstellt. Aufgrund der Konfiguration des Objekthalters ist die Befestigung des Objekts am zweiten Element daher (wenigstens in Bezug auf Drehungen) starr.

**[0035]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform wird der Ionenstrahl während der Drehung des zweiten Elements von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung wenigstens zeitweise auf das Objekt gerichtet. Insbesondere wird der Ionenstrahl während der Dauer der Drehung des zweiten Elements von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung auf das Objekt gerichtet. Hierdurch wird der Ionenstrahl aus einer Vielzahl von Richtungen, jedoch stets unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche auf das Objekt gerichtet, wodurch die Oberfläche des Objekts verbessert geglättet wird.

**[0036]** Alternativ kann der Ionenstrahl während des Drehens des zweiten Elements von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung nicht auf das Objekt gerichtet sein.

**[0037]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird das Objekt vor dem Dünnen/Polieren so angeordnet, dass die zweite Drehachse die zu bearbeitende Fläche durchsetzt. Auf diese Weise kann die Steuerung der Aktoren vereinfacht werden, da bei Drehung des zweiten Elements um die zweite Drehachse die zu bearbeitende Fläche relativ zu dem ersten Element im Wesentlichen ausschließlich eine Drehung und keine Translation vollzieht. Damit der Ionenstrahl bei Drehung des zweiten Elements um die zweite Drehachse auf die zu bearbeitende Fläche gerichtet bleibt, muss in dieser Ausführungsform keine Translation der zu bearbeitenden Fläche relativ zu dem ersten Element (und damit auch relativ zu der Ionenstrahlsäule) kompensiert werden.

**[0038]** Gemäß einer alternativen Ausführungsform wird das Objekt vor dem Dünnen/Polieren so angeordnet, dass die zweite Drehachse die zu bearbeitende Fläche des Objekts nicht durchsetzt.

**[0039]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst das Partikelstrahlensystem zur Durchführung des Verfahrens ferner eine Elektronenstrahlsäule. Die Hauptachse der Elektronenstrahlsäule und die Hauptachse der Ionenstrahlsäule können einen gemeinsamen Arbeitsbereich durchsetzen, in welchem das Objekt unter Verwendung des Objekthalters angeordnet werden kann. Die Hauptachse der Elektronenstrahlsäule und die Hauptachse der Ionenstrahlsäule können im Wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene liegen. In dieser Ausführungsform kann

das Basiselement des Objekthalters so ausgerichtet werden, beispielsweise durch einen oder mehrere Aktoren, dass die erste Drehachse im Wesentlichen senkrecht zu der gemeinsamen Ebene orientiert ist. Dies ermöglicht, dass das zu bearbeitende Objekt allein durch Ansteuern des ersten Aktors, d. h. durch Drehen des ersten Elements des Objekthalters relativ zu dem Basiselement des Objekthalters, auf die Hauptachse der Elektronenstrahlsäule und/oder auf die Hauptachse der Ionenstrahlsäule ausgerichtet werden kann. Ferner kann in dieser Konfiguration, in welcher die erste Drehachse senkrecht zu der Hauptachse der Ionenstrahlsäule orientiert ist, der Winkel zwischen der zu bearbeitenden Oberfläche des Objekts und der Hauptachse der Ionenstrahlsäule und damit der Einfallswinkel des Ionenstrahls auf die zu bearbeitende Oberfläche des Objekts einfach eingestellt werden, indem lediglich der erste Aktor angesteuert wird. Diese Konfiguration hat daher den synergetischen Effekt, dass sowohl der Einfallswinkel des Ionenstrahls auf die zu bearbeitende Oberfläche des Objekts wie auch die Ausrichtung des Objekts auf sowohl die Hauptachse der Elektronenstrahlsäule als auch die Hauptachse der Ionenstrahlsäule durch das Ansteuern eines einzigen Aktors, nämlich des ersten Aktors, bewirkt werden kann.

**[0040]** Zur Überwachung des Fortschritts des Herstellungsverfahrens, d. h. zur Überwachung des Zustands des Objekts bei Bearbeitung des Objekts mit dem Ionenstrahl, kann ein von der Elektronenstrahlsäule erzeugter Elektronenstrahl auf das Objekt gerichtet werden und die von dem Objekt ausgehenden Elektronen können detektiert werden. Hierdurch können während der Bearbeitung des Objekts Bilder des Objekts unter Verwendung des Elektronenstrahls aufgenommen werden.

**[0041]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der Objekthalter wenigstens einen weiteren Aktor, welcher dazu konfiguriert ist, das zweite Element bezüglich des Basiselements in wenigstens zwei, bevorzugt drei verschiedene Richtungen zu translätieren. Somit kann das Objekt so angeordnet werden, dass die Hauptachse der Ionenstrahlsäule und/oder die Hauptachse der Elektronenstrahlsäule das Objekt durchsetzen bzw. dass das Objekt im gemeinsamen Arbeitsbereich der Ionenstrahlsäule und der Elektronenstrahlsäule angeordnet ist.

**[0042]** Nachfolgend werden mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Detail beschrieben.

**Fig. 1 bis Fig. 5** zeigen verschiedene Stadien eines Objekts während der Herstellung einer TEM-Probe;

**Fig. 6** zeigt einen Objekthalter mit einem daran befestigten Objekt;

**Fig. 7** zeigt eine räumliche Anordnung des in **Fig. 6** gezeigten Objekts in Relation zu einer Ionenstrahlsäule und einer Elektronenstrahlsäule;

**Fig. 8** zeigt eine vergrößerte Darstellung der in **Fig. 7** gezeigten Anordnung; und

**Fig. 9** und **Fig. 10** zeigen eine räumliche Anordnung der in **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigten Situation aus der Perspektive der zweiten Drehachse.

**[0043]** Die **Fig. 1** bis **Fig. 5** zeigen die grundlegenden Schritte bei der Herstellung einer TEM-Probe. Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst ein Körper **1**, welcher durch gestrichelte Linien dargestellt ist, ein Objekt **3**. Das Objekt **3** ist ein Volumenbereich des Körpers **1** und enthält denjenigen Volumenbereich, der die TEM-Probe bildet.

**[0044]** Zur Herstellung der TEM-Probe wird in einem ersten Schritt das Objekt **3** wenigstens teilweise von dem Körper **1** abgetrennt. Hierzu wird ein Ionenstrahl **5** aus mehreren verschiedenen Richtungen auf den Körper **1** gerichtet, wodurch Material von dem Körper **1** entfernt wird. Das Objekt **3** wird jedoch nicht vollständig von dem Körper **1** abgetrennt, sondern bleibt noch mit dem Körper **1** physisch verbunden, so dass der Körper **1** das Objekt **3** trägt.

**[0045]** In einem zweiten Schritt wird ein Manipulator **7** an dem teilweise von dem Körper **1** abgetrennten Objekt **3** angebracht, so wie dies in **Fig. 2** dargestellt ist. Beispielsweise wird der Manipulator **7** in Kontakt mit dem Objekt **3** gebracht und die Kontaktstelle wird anschließend mit dem Ionenstrahl bestrahlt, um das Objekt **3** mit dem Manipulator **7** zu verbinden. In diesem Stadium des Verfahrens wird das Objekt **3** sowohl von dem Körper **1** als auch von dem Manipulator **7** getragen.

**[0046]** In einem dritten Schritt wird das Objekt **3** vollständig von dem Körper **1** abgetrennt. Beispielsweise wird hierzu der Ionenstrahl an diejenigen Stellen des Körpers **1** gerichtet, die das Objekt **3** noch mit dem Körper **1** verbinden. Hierdurch wird das Objekt **3** von dem Körper **1** vollständig abgetrennt und das Objekt **3** wird nun ausschließlich von dem Manipulator **7** getragen. Das Objekt **3** kann nun unter Verwendung des Manipulators **7** von dem Körper **1** entfernt werden.

**[0047]** In einem vierten Schritt wird das Objekt **3** unter Verwendung des Manipulators **7** von dem Körper **1** zu einem Objekthalter transferiert. In **Fig. 3** ist ein Teil eines Objekthalters dargestellt, welcher üblicherweise als „TEM-Grid“ bezeichnet wird. Das TEM-Grid **9** ist üblicherweise ein Körper von makroskopischer Größe, welcher beispielsweise mittels einer Pinzette transportiert werden kann.

**[0048]** Nachdem das Objekt **3** unter Verwendung des Manipulators **7** zu dem TEM-Grid **9** transpor-

tiert wurde, wird das Objekt **3** beispielsweise unter Verwendung eines Ionenstrahls an dem TEM-Grid **9** befestigt, was den Schritt des Transferierens abschließt.

**[0049]** In einem fünften Schritt wird der Manipulator **7** von dem Objekt **3** gelöst, nachdem das Objekt **3** zu dem TEM-Grid **9** transferiert wurde. Diese Situation ist in **Fig. 4** dargestellt.

**[0050]** Das Objekt **3** enthält den Volumenbereich, welcher schließlich die TEM-Probe bilden soll. Da das Objekt **3** in diesem Stadium des Herstellungsverfahrens üblicherweise noch nicht ausreichend dünn für eine Analyse mittels TEM ist und eine Eintrittsfläche und eine Austrittsfläche für eine Analyse mittels TEM noch nicht ausreichend glatt sind, wird das Objekt **3** in einem sechsten Schritt unter Verwendung eines Ionenstrahls gedünnt. Während des Dünnens des Objekts **3** wird durch den Ionenstrahl Material von dem Objekt entfernt.

**[0051]** **Fig. 5** zeigt das Objekt **3** nach dem Dünnen. Das Objekt **3** weist in diesem Stadium des Herstellungsprozesses in der Regel eine flache Gestalt auf, d. h. die Abmessung des Objekts **3** in z-Richtung ist deutlich kleiner als die Abmessung des Objekts **3** in der x-Richtung und der y-Richtung. Die Dicke des Objekts **3**, d. h. die Abmessung des Objekts **3** in der z-Richtung, weist beispielsweise lediglich 1000 nm oder weniger auf, während die Abmessung des Objekts **3** in der x-Richtung und der y-Richtung einige Mikrometer beträgt. Die Fläche **11** dient in einer Analyse des Objekts **3** mittels TEM als Eintritts- und/oder Austrittsfläche für einen Elektronenstrahl. Zu diesem Zweck muss die Fläche **11** möglichst glatt sein. Um die Fläche **11** zu glätten, d. h. die Rauigkeit der Fläche **11** zu reduzieren, wird die Fläche **11** mittels des nachfolgend beschriebenen Verfahrens poliert.

**[0052]** Alternativ können das Dünnen und Polieren gemeinsam in einem gemeinsamen Schritt durchgeführt würden.

**[0053]** Das Dünnen/Polieren des Objekts **3** wird unter Verwendung eines Partikelstrahlensystems durchgeführt, welches eine Ionenstrahlsäule und einen Objekthalter **13** umfasst. Der in **Fig. 6** gezeigte Objekthalter **13** umfasst ein Basiselement **15**, ein erstes Element **17** und ein zweites Element **19**. Ferner umfasst der Objekthalter **13** einen ersten Aktor, welcher dazu konfiguriert ist, das erste Element **17** gegenüber dem Basiselement **15** um eine erste Drehachse **21** zu drehen. Ferner umfasst der Objekthalter **13** einen zweiten Aktor, welcher dazu konfiguriert ist, das zweite Element **19** gegenüber dem ersten Element **17** um eine zweite Drehachse **23** zu drehen. Der Objekthalter **13** kann weitere Aktoren umfassen, welche das Basiselement **15** positionieren und orientieren können. Die erste Drehachse **21** ist im Wesentlichen senk-

recht zu der zweiten Drehachse **23** orientiert. Der Objekthalter **13** ist beispielsweise in einer Vakuumkammer des Partikelstrahlsystems angeordnet.

**[0054]** Das Objekt **3** ist in einem vorangegangenen Schritt an dem TEM-Grid **9** befestigt worden. Über das TEM-Grid **9** wird das Objekt **3** so an dem zweiten Element **19** des Objekthalters **13** befestigt, dass die Fläche **11**, welche nachfolgend bearbeitet wird, im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Drehachse **23** orientiert ist. D. h., wenn das zweite Element **19** gegenüber dem ersten Element **17** um die zweite Drehachse **23** gedreht wird, bleibt die Fläche **11** während der Drehung innerhalb einer Ebene, die senkrecht zu der zweiten Drehachse **23** steht und zu der Fläche **11** des Objekts **3** parallel ist.

**[0055]** Es ist zu betonen, dass das Basiselement **15**, das erste Element **17** und das zweite Element **19** eine kinematische Kette bilden, wobei das zweite Element das letzte Element der kinematischen Kette bezüglich des Basiselements **15** ist. D. h., in Bezug auf das Basiselement **15** weist das zweite Element **19** die meisten (rotatorischen) Bewegungsfreiheitsgrade auf. Das zweite Element **19** weist in dem in **Fig. 6** gezeigten Beispiel zwei (rotatorische) Bewegungsfreiheitsgrade bezüglich des Basiselements **15** auf, nämlich den Freiheitsgrad der Drehung um die zweite Drehachse **23** sowie den Freiheitsgrad der Drehung um die erste Drehachse **21** (über das erste Element **17**). Das erste Element **17** weist bezüglich des Basiselements **15** einen (rotatorischen) Bewegungsfreiheitsgrad auf, nämlich den Freiheitsgrad der Drehung um die erste Drehachse **21**.

**[0056]** Das Objekt **3** ist starr an dem zweiten Element **19** befestigt, d. h. zwischen dem Objekt **3** und dem zweiten Element **19** ist kein steuerbarer Bewegungsfreiheitsgrad vorhanden. Dementsprechend vollzieht das Objekt **3** dieselben Bewegungen wie das zweite Element **19**.

**[0057]** Der Objekthalter **13** ist dementsprechend so ausgebildet, dass das zweite Element **19** um die erste Drehachse **21** gedreht wird, wenn das erste Element **17** durch den ersten Aktor um die erste Drehachse **21** gedreht wird. Jedoch wird das erste Element **17** nicht um die zweite Drehachse **23** gedreht, wenn das zweite Element **19** relativ zu dem ersten Element **17** durch den zweiten Aktor um die zweite Drehachse **23** gedreht wird.

**[0058]** **Fig. 7** zeigt die Anordnung des Objekts **3** in Bezug auf eine Ionenstrahlsäule **25** und eine Elektronenstrahlsäule **27** des Partikelstrahlsystems. Die gestrichelte Linie **29** repräsentiert eine Hauptachse der Ionenstrahlsäule **25**. Eine gestrichelte Linie **31** repräsentiert eine Hauptachse der Elektronenstrahlsäule **27**. Aus Gründen der vereinfachten Darstellung sind in **Fig. 7** lediglich das erste Element **17** und das zwei-

te Element **19** des Objekthalters **13** dargestellt. Ferner ist die zweite Drehachse **23** dargestellt. Die erste Drehachse **21** steht senkrecht auf der Zeichenebene der **Fig. 7**.

**[0059]** **Fig. 8** ist eine vergrößerte Darstellung der in **Fig. 7** gezeigten Anordnung zur Erläuterung der räumlichen Beziehungen zwischen dem Objekt **3**, der zweiten Drehachse **23** und der Hauptachse **29** der Ionenstrahlsäule **25**.

**[0060]** Der erste Aktor wird so gesteuert, dass die Hauptachse **29** der Ionenstrahlsäule **25** unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche **11** orientiert ist, während der zweite Aktor so gesteuert wird, dass das zweite Element **19** bezüglich des ersten Elements **17** eine erste Drehstellung um die zweite Drehachse **23** aufweist. Die Hauptachse **29** der Ionenstrahlsäule **25** schließt mit der zu bearbeitenden Fläche **11** einen Winkel  $\alpha$  ein, welcher beispielsweise höchstens  $10^\circ$  beträgt. Unter dieser Bedingung trifft der von der Ionenstrahlsäule **25** erzeugte Ionenstrahl unter streifendem Einfall auf die zu bearbeitende Fläche **11**.

**[0061]** **Fig. 9** zeigt die räumliche Anordnung, in welcher das zweite Element **19** bezüglich des ersten Elements **17** die erste Drehstellung um die zweite Drehachse **23** aufweist, aus der Perspektive entlang der zweiten Drehachse **23**. Die Perspektive ist in **Fig. 8** durch einen Pfeil **30** angedeutet.

**[0062]** Während die Hauptachse **29** der Ionenstrahlsäule **25** unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche **11** orientiert ist und das zweite Element **19** bezüglich des ersten Elements **17** die erste Drehstellung um die zweite Drehachse **23** aufweist, wird ein durch die Ionenstrahlsäule **25** erzeugter Ionenstrahl auf das Objekt **3** (genauer gesagt, auf die zu bearbeitende Fläche **11**) gerichtet. Hierdurch wird Material von der zu bearbeitenden Fläche **11** entfernt, wodurch die Rauigkeit der Fläche **11** reduziert wird.

**[0063]** Anschließend wird der erste Aktor (weiterhin) so gesteuert, dass die Hauptachse **29** der Ionenstrahlsäule **25** unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche **11** orientiert ist, während der zweite Aktor so gesteuert wird, dass das zweite Element **19** bezüglich des ersten Elements **17** eine zweite Drehstellung um die zweite Drehachse **23** aufweist. Die zweite Drehstellung ist von der ersten Drehstellung verschieden. Das Überführen von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung wird beispielsweise dadurch erreicht, dass das zweite Element **19** gegenüber dem ersten Element **17** um die zweite Drehachse **23** gedreht wird.

**[0064]** **Fig. 10** zeigt die räumliche Anordnung, in welcher das zweite Element **19** bezüglich des ersten Elements **17** die zweite Drehstellung um die zweite Dreh-

achse **23** aufweist, aus der Perspektive entlang der zweiten Drehachse **23**. Die Perspektive ist in **Fig. 8** durch einen Pfeil **30** angedeutet. Um das zweite Element **19** von der in **Fig. 9** gezeigten ersten Drehstellung bezüglich der zweiten Drehachse **23** in die in **Fig. 10** gezeigte zweite Drehstellung zu überführen, wurde der zweite Aktor so angesteuert, dass das zweite Element **19** gegenüber dem ersten Element **17** eine Drehung um die zweite Drehachse **23** vollzieht. In der in den **Fig. 9** und **Fig. 10** gezeigten Darstellung wurde dementsprechend das zweite Element **19** im Uhrzeigersinn, gezeigt durch den Pfeil **33**, gedreht.

**[0065]** Da die zu bearbeitende Fläche **11** im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Drehachse **23** orientiert ist (vgl. **Fig. 8**), bleibt die Hauptachse **29** der Ionenstrahlsäule **25** während der Drehung des zweiten Elements um die zweite Drehachse unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche **11** orientiert. Um das zweite Element **19** von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung zu überführen, wird das zweite Element **19** gegenüber dem ersten Element **17** beispielsweise um wenigstens  $5^\circ$ , bevorzugt wenigstens  $10^\circ$  gedreht.

**[0066]** Während die Hauptachse **29** der Ionenstrahlsäule **25** unter streifendem Einfall zu der zu bearbeitenden Fläche **11** orientiert ist und das zweite Element **19** bezüglich des ersten Elements **17** die zweite Drehstellung aufweist, wird der durch die Ionenstrahlsäule **25** erzeugte Ionenstrahl auf das Objekt **3** (genauer gesagt auf die zu bearbeitende Fläche **11**) gerichtet, wodurch Material von dem Objekt **3** abgetragen wird.

**[0067]** Durch das vorangehend beschriebene Verfahren wird ein Ionenstrahl unter streifendem Einfall aus verschiedenen Richtungen auf eine zu bearbeitende Fläche gerichtet, wodurch die Rauigkeit der Fläche reduziert wird. Hierdurch wird das Dünnen/Polieren abgeschlossen und die Herstellung der TEM-Probe ist beendet.

**[0068]** Während des Überführens des zweiten Elements **19** von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung kann der durch die Ionenstrahlsäule **25** erzeugte Ionenstrahl vollständig, zeitweise oder gar nicht auf das Objekt gerichtet werden.

**[0069]** Wie in den **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigt, kann das Objekt **3** bzw. die zu bearbeitende Fläche **11** des Objekts **3** an dem zweiten Element **19** des Objekthalters **13** so befestigt werden, dass die zweite Drehachse **23** das Objekt **3** bzw. die zu bearbeitende Fläche **11** des Objekts **3** durchsetzt. Alternativ kann, wie in **Fig. 6** gezeigt, das Objekt **3** bzw. die zu bearbeitende Fläche **11** des Objekts **3** an dem zweiten Element **19** des Objekthalters **13** so befestigt werden, dass die zweite Drehachse **23** das Objekt **3** bzw. die zu bearbeitende Fläche **11** des Objekts **3** nicht durchsetzt.

**[0070]** Im Zusammenhang mit den vorangehend beschriebenen Ausführungsformen wurde ein Objekthalter **13** beschrieben, welcher lediglich zwei Bewegungsfreiheitsgrade, nämlich den Freiheitsgrad der Drehung um die erste Drehachse **21** und den Freiheitsgrad der Drehung um die zweite Drehachse **23**, bereitstellt. Der Objekthalter kann jedoch weitere Bewegungsfreiheitsgrade, beispielsweise translatorische Bewegungsfreiheitsgrade, bereitstellen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer TEM-Probe unter Verwendung eines Partikelstrahlsystems, welches eine Ionenstrahlsäule (25) und einen Objekthalter (13) umfasst, wobei der Objekthalter (13) ein Basiselement (15), ein erstes Element (17), ein zweites Element (19), einen ersten Aktor und einen zweiten Aktor aufweist, wobei der erste Aktor dazu konfiguriert ist, das erste Element (17) gegenüber dem Basiselement (15) um eine erste Drehachse (21) zu drehen, wobei der zweite Aktor dazu konfiguriert ist, das zweite Element (19) gegenüber dem ersten Element (17) um eine zweite Drehachse (23) zu drehen, und wobei die erste Drehachse (21) im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Drehachse (23) orientiert ist; wobei das Verfahren umfasst:

Befestigen eines Objekts (3) an dem zweiten Element (19) des Objekthalters (13) derart, dass eine zu bearbeitende Fläche (11) des Objekts (3) im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Drehachse (23) orientiert ist; und

Herstellen der TEM-Probe durch Polieren des Objekts (3), wobei das Polieren umfasst:

- Steuern des ersten Aktors derart, dass eine Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) unter streifendem Einfall (a) zu der zu bearbeitenden Fläche (11) orientiert ist, und des zweiten Aktors derart, dass das zweite Element (19) bezüglich des ersten Elements (17) eine erste Drehstellung um die zweite Drehachse (23) aufweist;

- Richten eines durch die Ionenstrahlsäule (25) erzeugten Ionenstrahls auf das Objekt (3), während die Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) unter streifendem Einfall (a) zu der zu bearbeitenden Fläche (11) orientiert ist und das zweite Element (19) bezüglich des ersten Elements (17) die erste Drehstellung um die zweite Drehachse (23) aufweist;

- Steuern des ersten Aktors derart, dass die Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) unter streifendem Einfall (a) zu der zu bearbeitenden Fläche (11) orientiert ist, und des zweiten Aktors derart, dass das zweite Element (19) bezüglich des ersten Elements (17) eine zweite Drehstellung um die zweite Drehachse (23) aufweist, wobei die zweite Drehstellung von der ersten Drehstellung verschieden ist; und

- Richten des durch die Ionenstrahlsäule (25) erzeugten Ionenstrahls auf das Objekt (3), während die Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) unter streifendem Einfall (a) zu der zu bearbeitenden Fläche (11) orientiert ist, und des zweiten Aktors derart, dass das zweite Element (19) bezüglich des ersten Elements (17) eine dritte Drehstellung um die zweite Drehachse (23) aufweist, wobei die dritte Drehstellung von der zweiten Drehstellung verschieden ist; und

che (11) orientiert ist und das zweite Element (19) bezüglich des ersten Elements (17) die zweite Drehstellung um die zweite Drehachse (23) aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Objekt (3) an dem zweiten Element (19) so befestigt wird und der Objekthalter (13) so ausgebildet ist, dass kein steuerbarer Bewegungsfreiheitsgrad zwischen dem Objekt (3) und dem zweiten Element (19) vorhanden ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Objekthalter (13) so ausgebildet ist, dass kein weiterer steuerbarer rotatorischer Bewegungsfreiheitsgrad zwischen dem zweiten Element (19) und dem ersten Element (17) vorhanden ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Objekthalter (13) so ausgebildet ist, dass das zweite Element (19) um die erste Drehachse (21) gedreht wird, wenn das erste Element (17) um die erste Drehachse (21) gedreht wird und/oder wobei der Objekthalter (13) so ausgebildet ist, dass das erste Element (17) nicht um die zweite Drehachse (23) gedreht wird, wenn das zweite Element (19) um die zweite Drehachse (23) gedreht wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei sich die erste Drehstellung von der zweiten Drehstellung um wenigstens  $5^\circ$ , bevorzugt wenigstens  $10^\circ$  und/oder um höchstens  $45^\circ$ , bevorzugt höchstens  $35^\circ$  unterscheidet.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Ionenstrahl wenigstens zeitweise auf das Objekt (3) gerichtet wird, während das zweite Element (19) von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung um die zweite Drehachse (23) gedreht wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Ionenstrahl nicht auf das Objekt (3) gerichtet wird, während das zweite Element (19) von der ersten Drehstellung in die zweite Drehstellung um die zweite Drehachse (23) gedreht wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, ferner umfassend:  
wenigstens teilweise Abtrennen des Objekts (3) von einem Körper (1) unter Verwendung eines von der Ionenstrahlsäule erzeugten Ionenstrahls (5);  
Anbringen eines Manipulators (7) an dem teilweise abgetrennten Objekt (3);  
vollständiges Abtrennen des Objekts (3), an welchem der Manipulator (7) angebracht ist, von dem Körper (1);  
Transferieren des Objekts (3) von dem Körper (1) zu dem Objekthalter (13) unter Verwendung des Manipulators (7);

Lösen des Manipulators (7) von dem Objekt (3) nach dem Befestigen des Objekts (3) an dem zweiten Element (19) des Objekthalters (13);

Dünnen und/oder Durchführen des Polierens des an dem zweiten Element (19) befestigten Objekts (3) unter Verwendung eines von der Ionenstrahlsäule (25) erzeugten Ionenstrahls.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Objekt (3) an dem zweiten Element (19) so befestigt wird, dass ein Winkel zwischen der zu bearbeitenden Fläche (11) des Objekts (3) und der zweiten Drehachse (23) wenigstens  $80^\circ$ , bevorzugt wenigstens  $85^\circ$ , weiter bevorzugt wenigstens  $89^\circ$  beträgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der erste Aktor so gesteuert wird, dass die Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) mit der zu bearbeitenden Fläche (11) einen Winkel ( $\alpha$ ) einschließt, welcher höchstens  $10^\circ$  beträgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Verfahren vor dem Polieren des Objekts (3) ferner umfasst:

Ausrichten des Basiselements (15) derart, dass die erste Drehachse (21) im Wesentlichen senkrecht zu Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) orientiert ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Partikelstrahlensystem ferner eine Elektronenstrahlsäule (27) umfasst, wobei eine Hauptachse (31) der Elektronenstrahlsäule (27) und die Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) im Wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene liegen und einen gemeinsamen Arbeitsbereich durchsetzen;  
wobei das Verfahren vor dem Polieren des Objekts (3) ferner umfasst:

Ausrichten des Basiselements (15) derart, dass die erste Drehachse (21) im Wesentlichen senkrecht zu der gemeinsamen Ebene orientiert ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, ferner umfassend:

Richten eines von der Elektronenstrahlsäule (27) erzeugten Elektronenstrahls auf das Objekt (3) und Detektieren von von dem Objekt (3) ausgehenden Elektronen.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei der Objekthalter (13) wenigstens einen weiteren Aktor umfasst, welcher dazu konfiguriert ist, das zweite Element (19) bezüglich des Basiselements (15) in wenigstens zwei verschiedene Richtungen zu translatieren; und

wobei das Verfahren ferner umfasst:

Steuern des wenigstens einen weiteren Aktors des Objekthalters (13) derart, dass die Hauptachse (29) der Ionenstrahlsäule (25) das Objekt (3) durchsetzt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

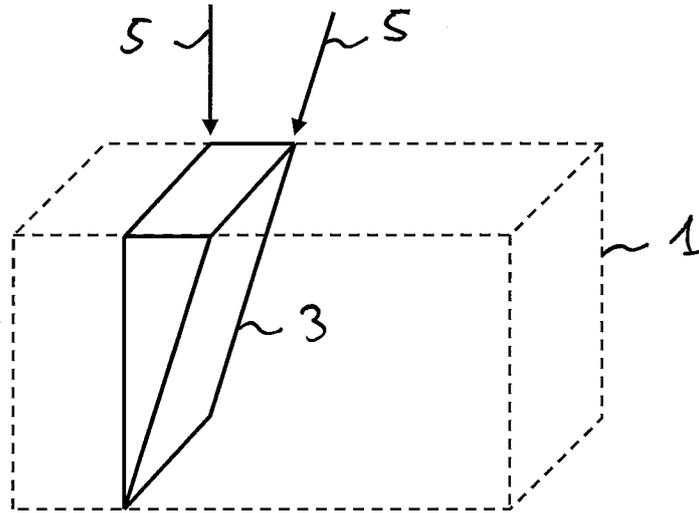


Fig. 1

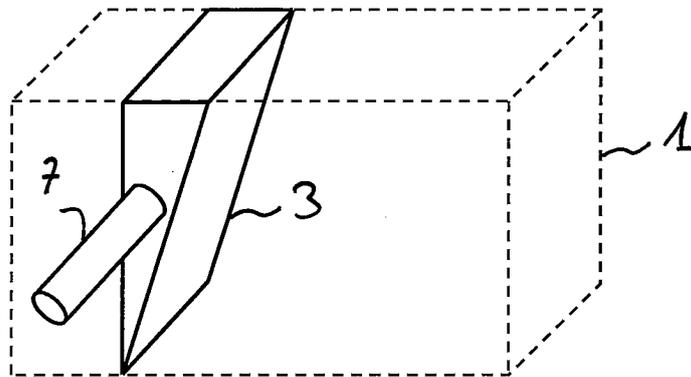


Fig. 2

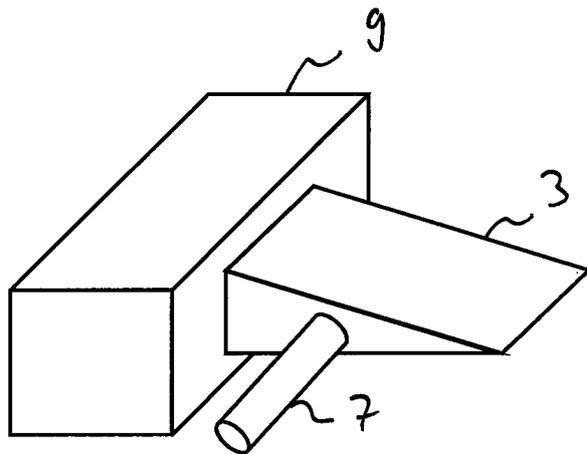


Fig. 3

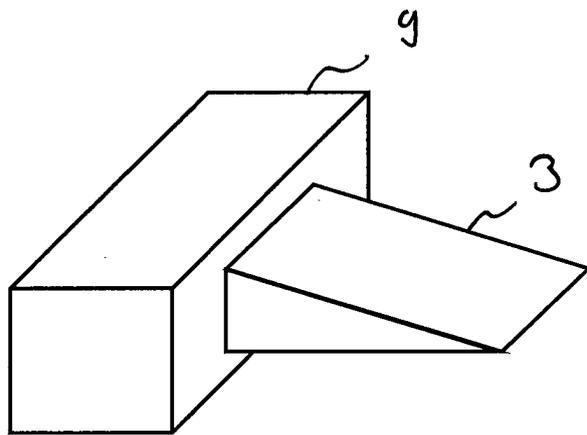


Fig. 4

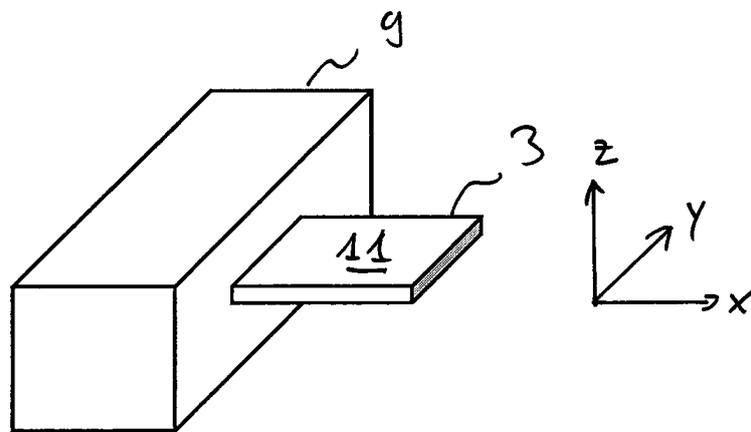


Fig. 5

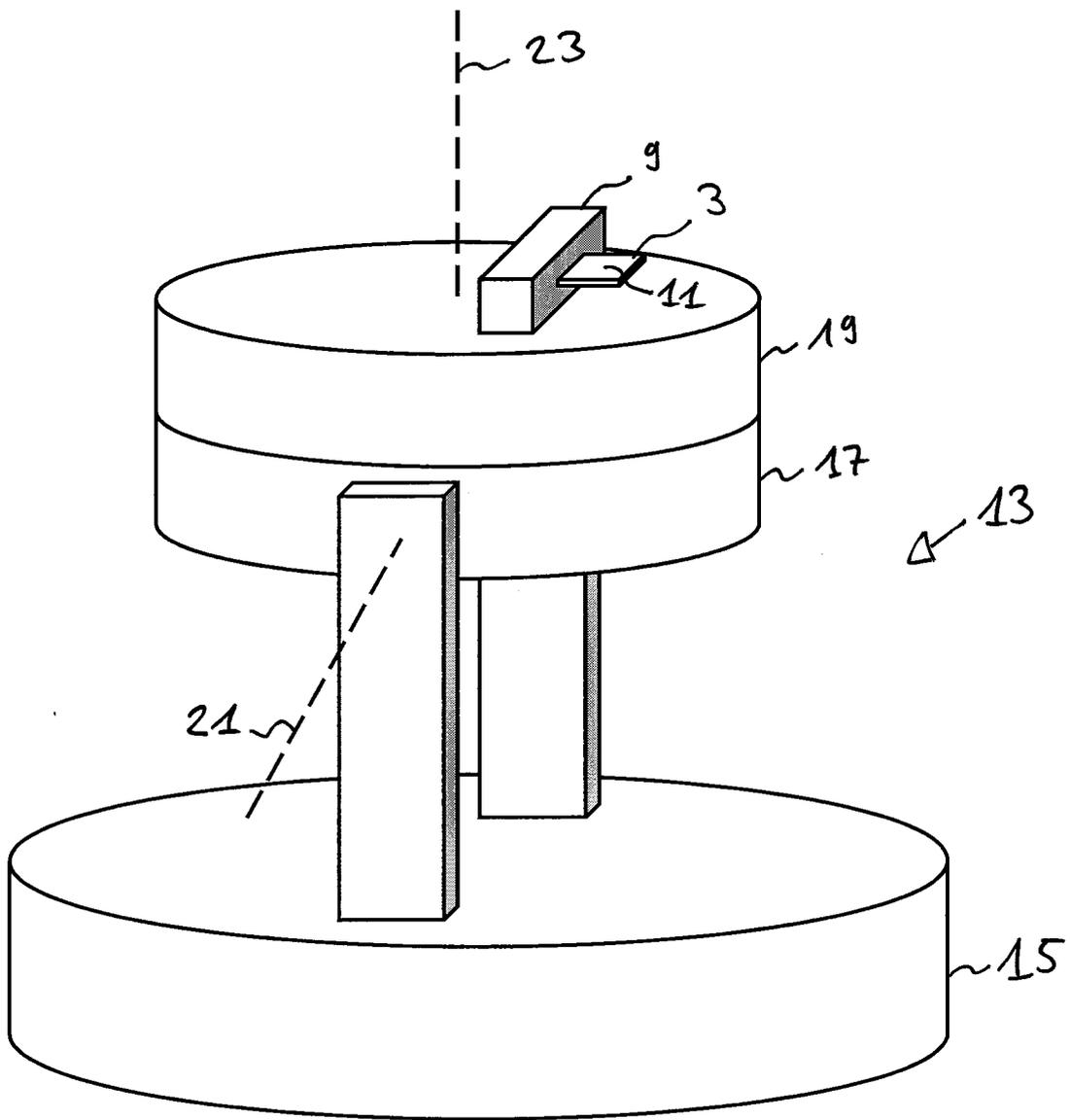


Fig. 6

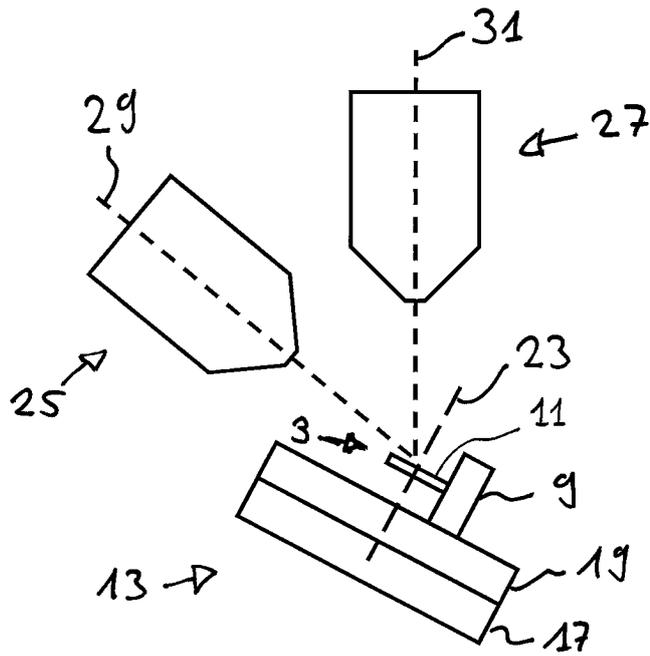


Fig. 7

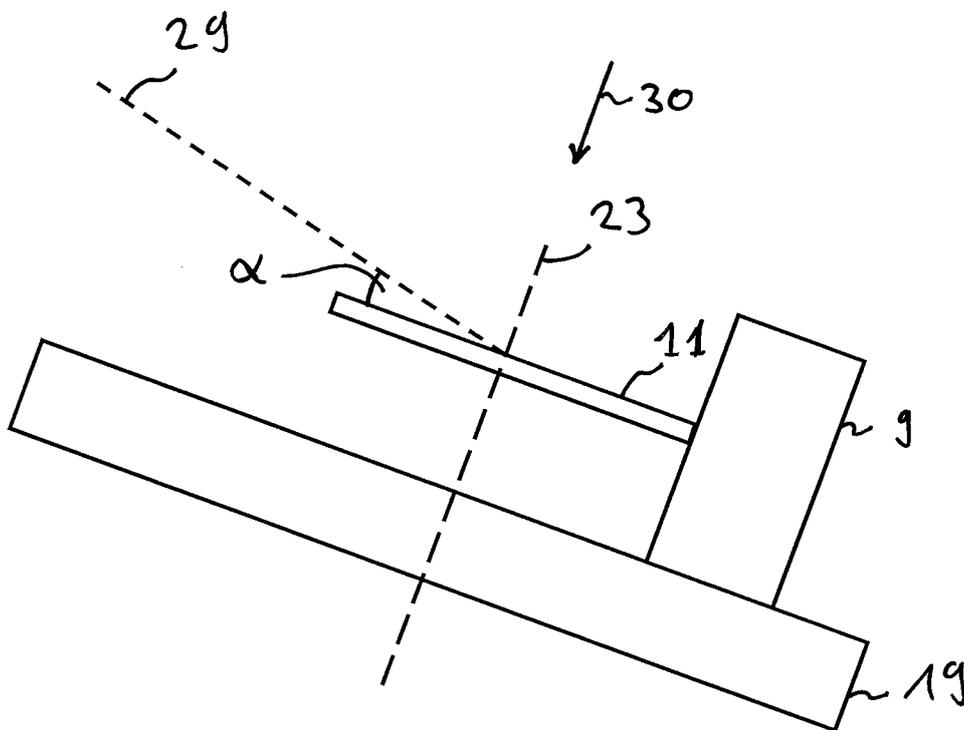


Fig. 8

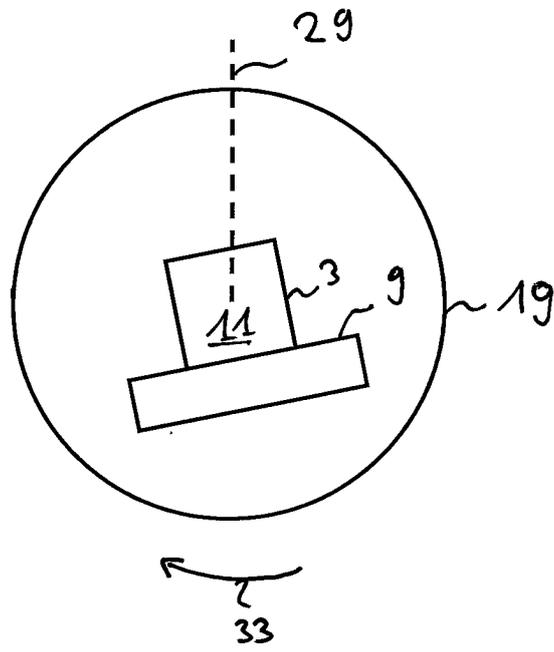


Fig. 9

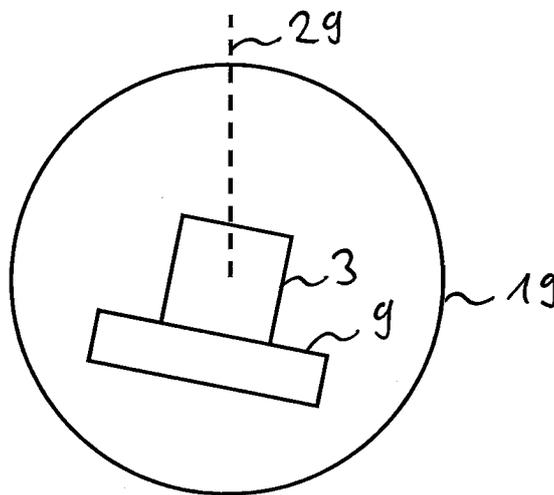


Fig. 10