



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 04 690 T2** 2006.05.18

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 401 007 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01J 37/295** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 04 690.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 020 889.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **18.09.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.06.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **18.05.2006**

(73) Patentinhaber:
Staub Instrumente GmbH, 85416 Langenbach, DE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, NL

(74) Vertreter:
v. Bezold & Sozien, 80799 München

(72) Erfinder:
**Dr.Staub, Phillippe c/o Staub Instrumente GmbH,
85416 Langenbach, DE**

(54) Bezeichnung: **Elektronenbeugungsvorrichtung zur Anwendung in einer Produktionsumgebung und für Hochdruck-Abscheidungsverfahren**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gegenstand der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Elektronenquelle, insbesondere für ein RHEED-Messsystem, sowie auf ein RHEED-Messsystem als solches, und auf ein Verfahren zur Strahlung eines Elektronenstrahls mit einer Elektronenquelle auf eine Probe.

Stand der Technik

[0002] Die Beugung von Elektronen auf einer Kristalloberfläche ist in vielen Beziehungen ähnlich zu der optischen Beugung von Licht oder Röntgenstrahlen. Für beides gilt das Bragg'sche Beugungsgesetz, welches das Auftreten und die Größe des Beugungsdiagramms bestimmt. Zwei wesentliche Parameter des einfallenden Strahls finden sich im Bragg'schen Beugungsgesetz, nämlich seine Wellenlänge und der Einfallswinkel. Da die Wellenlänge, die den Elektronen zugeordnet ist, gering und vergleichbar kleiner als der Gitterabstand von Atomen in Kristallen ist, wird Elektronenbeugung wie Röntgenbeugung verwendet, um die atomare Struktur von Materialien zu analysieren. Da Elektronen stark absorbiert werden, können sie nicht in die Probe eindringen oder durch diese hindurchtreten. Im Unterschied zur Röntgenbeugung wird die Elektronenstrahlbeugung durchgeführt, indem der Elektronenstrahl auf der Oberfläche reflektiert wird. In Abhängigkeit von dem Einfallswinkel des Elektronenstrahls wurden zwei wesentliche Beugungstechniken entwickelt: bei einem großen Einfallswinkel, z.B. bei senkrechtem Einfall, wird die geeignete Wellenlänge bei niedrigeren Elektronenergien im Bereich von 10 eV bis 300 eV erzielt. Diese Technik wird „Low Energy Electron Diffraction“ (LEED) genannt. Bei einem streifenden Einfallswinkel kann die Energie in dem Bereich von 10.000 eV bis 60.000 eV, wesentlich höher sein. Diese Technik wird „Reflection High Energy Electron Diffraction“ (RHEED) genannt. Meistens ist der Einfallswinkel im Bereich von nur 2° bis 4°. Eine genaue und stabile Justierung des Einfallswinkels ist zwingend erforderlich. Nachjustierungen des Einfallswinkels sind häufig erforderlich, wenn die Strahlenergie oder die Orientierung der Probe geändert werden.

[0003] Die RHEED-Technik hat sich in jüngster Zeit zu einem wichtigen Untersuchungswerkzeug zur Überwachung des Kristallwachstums in Vakuumkammern entwickelt. Es wird üblicherweise verwendet, um in-situ die Qualität und die Dicke des Materials während des Wachstumsprozesses zu kontrollieren, das unter guten Vakuumbedingungen mit einem Druck in dem Bereich von 10^{-6} bis 10^{-11} Torr abgelesen wird.

[0004] Ein herkömmlicher Aufbau für RHEED ist in

Fig. 7 gegeben: ein Hochenergie-Elektronen-Emitter **5'** erzeugt einen dichten, gut kollimierten Strahl **7'**. Der Strahl trifft mit einem geringen Einfallswinkel auf die Oberfläche einer Probe **1'**. Der Strahl **7'** wird gemäß der Kristallstruktur der Oberfläche gebeugt, und das Beugungsdiagramm wird auf einem fluoreszierenden Schirm **20'** beobachtet, der innerhalb der Vakuumkammer auf der anderen Seite der Probe angebracht ist.

[0005] Der Hochenergie-Elektronen-Emitter **5'** ist mit Flanschen **3'** und **4'** an der Vakuumkammer **2'** angebracht. Die Achse des Flansches **3'** kann in Abhängigkeit von der Kammergestaltung verschiedene Orientierungen aufweisen: gewöhnlich weist es zu dem Zentrum der Probe **1'** hin, wobei die Achse jedoch auch oft parallel zu der Oberfläche verläuft, wie es in **Fig. 7** gezeigt ist. Eine Ablenkstufe (elektrostatisch oder magnetisch) **6'a**, **b** wird verwendet, um den Strahl auf die Probe **1'** zu justieren. Die Ablenkung sollte in zwei zueinander senkrechten Richtungen X und Y gegeben sein. Die Ablenkstufe besteht aus zwei separaten Einheiten **6'a** und **6'b** für die X- und Y-Orientierung. Die Ablenkstufe kann innerhalb (elektrostatisch oder magnetisch) oder außerhalb der Elektronenquelle (magnetisch) angeordnet sein. Optional kann eine mechanische Einrichtung, die aus einem Vakuumbalg **8'** und Justierschrauben **9'** besteht, zugefügt werden, um die Orientierung und die Position der Elektronenquelle in Bezug auf die Probe zu justieren.

[0006] Diese herkömmliche Gestaltung ist mit oder ohne mechanische Stufe der am häufigsten verwendete herkömmliche RHEED-Aufbau. Sie weist jedoch für die folgenden neuen Anwendungen, insbesondere bei Einrichtungen zur Wafer-Produktion und mit Umgebungen mit erhöhtem Druck starke Einschränkungen auf:

- Maschinen zur Wafer-Produktion für MBE, DVD usw. weisen eine große Vakuumkammer auf. Die Entfernungen, die durch den Elektronenstrahl zurückgelegt werden, liegen im Meterbereich anstelle des Dezimeterbereiches. Die Strahlposition und -stabilität wird wesentlich stärker durch Rest-Magnetfelder, wie das Erdmagnetfeld, und durch magnetische Wechselfelder, die durch die Geräte um den Strahl (meist mit der Frequenz der Hauptenergieleitung) erzeugt werden, und durch magnetische Streufelder beeinflusst, die durch andere Komponenten des Systems (wie Magnetron-Verdampfungsquellen) erzeugt werden. Die Wirkung des reinen Erdmagnetfeldes (ungefähr 0.6 G) wird wichtig: Bei einem 35 kV Elektronenstrahl, der innerhalb einer Vakuumkammer 500 mm zurücklegt, ergibt sich ein ringförmiger Weg. Der Strahl wird von seiner ursprünglichen Achse abgelenkt und sein Orientierungswinkel wird verändert. Der Ablenkwinkel ist so groß wie 2.7° und der Strahl-Offset-Abstand beträgt an der Probenposi-

tion 12 mm. In ähnlicher Weise wird ein Wechsel-
feld von 80 mG den Strahl verbreitern (defokus-
sieren), wobei die Größe des Strahlflecks auf bis
zu 3 mm vergrößert wird.

– Viele Aufwachsgeräte arbeiten bei erhöhtem
Gasdruck in der Kammer, und oft werden reaktive
und/oder toxische Substanzen verwendet. Die
Elektronenquelle verwendet ein Filament, das auf
Temperaturen in dem Bereich von 800 °C bis
1800 °C erhitzt wird, um thermisch Elektronen zu
emittieren. Das Vakuum innerhalb der Elektronen-
quelle muss so gut wie möglich gehalten werden,
um nicht das Filament (durch Verdampfen und
Verbrennen) zu beschädigen. Das Filament wird
auch durch Ionen beschädigt werden, die in dem
Gas innerhalb der Quelle erzeugt werden.

– Die Produktionsmaschinen laufen über Monate,
ohne anzuhalten oder die Kammer zu belüften.
Große Materialmengen werden verdampft und
abgeschieden. Einiges von diesem Material er-
reicht den Elektronenemitter und wird auf Teilen
der Elektronenquelle abgeschieden. Das be-
schriebene System wird auch in derart rauen Um-
gebungen, speziell wenn gefährliche Elemente in-
volviert sind, verwendet, um das elektronische
System zu schützen. Neben der Erhöhung der Zu-
verlässigkeit der RHEED-Quelle verringert es
stark die Menge der Kontamination auf den Ka-
thodenteilen, die regulär ausgetauscht werden
müssen.

[0007] Dementsprechend resultieren die Hauptpro-
bleme der herkömmlichen Systeme aus: 1 – einem
großen Abstand zwischen der Probe **1** und dem
Flansch **3**, 2 – einem hohen Druck innerhalb der
Kammer und 3 – dem Auftreten von magnetischen
Streifeldern, die durch einige Einrichtungen in der
Kammer erzeugt werden.

[0008] Mit Blick auf die o.g. Probleme wurde eine
verbesserte Gestaltung zum Betrieb bei erhöhtem
Druck vorgeschlagen (siehe J.H. Guus et al. in „Appl.
Phys. Lett.“, Band 70, 1997, Seite 1888–1890). Wie
in [Fig. 8](#) gezeigt ist, wird eine Möglichkeit zum diffe-
rentiellen Pumpen dem Elektronenstrahlungssystem
zugefügt. Eine kleine Apertur **10'** (0.1 mm bis 2 mm)
wird zwischen dem Emitter **5'** und der Vakuumkam-
mer **2'** eingefügt. Ein Pumpanschluss **11'** ist zum diffe-
rentiellen Pumpen des Emittervolumens zugefügt.
Ferner ist eine weitere differentielle Apertur **13'** zuge-
fügt. Diese Apertur ist nahe der Probe angeordnet,
um den Abstand zu begrenzen, der von dem Elektro-
nenstrahl **7'** in schlechtem Vakuum zurückgelegt
wird. Dies reduziert die Strahlabsorption und -diffusi-
on aus dem Gas in der Vakuumkammer. Der Raum
zwischen den Aperturen **13'** und **10'** wird durch den
Flansch **12'** ausgepumpt. Der Elektronenstrahl von
dem Emitter **5'** wird präzise fokussiert und unter Ver-
wendung der Ablenkstufe **6'a**, b auf die kleine Apertur
13' ausgerichtet. Der Strahl tritt in die Vakuumkam-

mer **2'** auf der Achse des Systems ein.

[0009] Dies ist die wesentliche Beschränkung des
Aufbaus. Um den Einfallswinkel zu justieren, müssen
der gesamte Aufbau, die Elektronenquelle, die Vaku-
umrohre und die Vakuumschläuche mechanisch be-
wegt werden. Dies wird durch mechanische Positio-
nierungseinrichtungen **9'a**, b erreicht, die die Translation
in die X- und Y-Richtungen (**9'b**) und eine Neigung
der Achse (**9'a**) ermöglichen. Die Amplitude der Ver-
setzungen ist durch die Größe des inneren Rohres
des Flansches **3'** begrenzt. Dann muss die Probe
auch bewegt werden, um den Einfallswinkel zu opti-
mieren. Viele Vakuumsysteme haben jedoch eine
mechanisch fixierte Probenposition, und die Strahl-
ausrichtung ist unter Verwendung dieses Aufbaus
nicht möglich. Des Weiteren ist die mechanische Jus-
tierung des Einfallswinkels kein einfacher Vorgang.
Aufgrund des Gewichts der Elektronenquelle (10 bis
25 kg) und der Vakuumrohrverbindungen zu den
Pumpen, die für das differentielle Pumpen verwendet
werden, muss ein sehr robustes Vakuumbalgsystem
8' verwendet werden, um die Anordnung genau in
Position zu halten.

[0010] EP 1 113 482 A1 offenbart eine Hochenergie-
Elektronenbeugungsvorrichtung mit einer Elek-
tronenquelle, einer axialen Ausrichtungs-Beugungs-
stufe, einer astigmatischen Korrektur Elektrodenan-
ordnung und einer Abtastablenkelektrodenanord-
nung. G. J. H. Rijders et al. ("Appl. Phys. Lett.", Band
70, 1997, S. 1888) offenbaren eine Technik für die in
situ-Überwachung während der gepulsten Laser-De-
position von komplexen Oxiden in hohem Sauerstoff-
druck unter Verwendung von Reflektions-Hochenergie-
Elektronenbeugung.

Aufgabe der Erfindung

[0011] Eine Aufgabe der Erfindung ist es, eine ver-
besserte Elektronenquelle bereitzustellen, welche
die Nachteile der herkömmlichen Systeme vermei-
det. Insbesondere soll ein System bereitgestellt wer-
den, das eine verbesserte Fähigkeit zur Strahljustie-
rung für RHEED-Beugung ermöglicht. Des Weiteren
sollen die Genauigkeit und Stabilität der Strahljustie-
rung verbessert werden.

[0012] Diese Aufgaben werden durch eine Elektro-
nenquelle gelöst, welche die Merkmale von Anspruch
1 umfasst. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfin-
dung sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0013] Gemäß einem ersten Gesichtspunkt der Er-
findung wird eine Elektronenquelle, insbesondere für
ein RHEED-Messystem mit einem Elektronenemitter
zum Erzeugen eines Elektronenstrahls und einer ers-
ten Ablenkstufe zum Strahlen des Elektronenstrahls
auf eine Probe bereitgestellt, wobei eine zweite Ab-
lenkstufe für eine elektronische Strahlorientierungs-

korrektur zwischen der ersten Ablenkstufe und der Probe, vorzugsweise nahe der Probe, vorgesehen ist. Die Bereitstellung der zweiten Ablenkstufe eröffnet die folgenden Vorteile. Das System ermöglicht die komplette elektronische Strahljustierfähigkeit für RHEED-Beugung ohne mechanische Nachjustierungen der Vakuumteile (weder die Teile der Elektronenquelle noch die Probenhalterungen müssen bewegt werden). Diese neue Gestaltung ermöglicht es, dass die Elektronenquelle und alle angebrachten Pumpeneinrichtungen in einer festen mechanischen Position angebracht sind. Die Strahlposition auf der Probe sowie der Einfallswinkel können vollständig elektronisch gesteuert werden. Die Genauigkeit und Stabilität des Strahls ist wesentlich besser, als wenn mechanische Stufen verwendet werden.

[0014] Erfindungsgemäß umfasst die Elektronenquelle ein längliches, vakuumdichtes, rohrförmiges Gehäuse, das den Weg des Elektronenstrahls, der sich von dem Elektronenemitter über die erste Ablenkstufe zu der zweiten Ablenkstufe bewegt, gegenüber der Umgebung, z.B. einer Vakuumkammer trennt. Das Gehäuse hat den Vorteil, insbesondere den Elektronenemitter gegen störende Einflüsse von der Umgebung, z.B. von Reaktionsgasen zu schützen. Das Gehäuse ist aus einem Material hergestellt, das magnetische Felder abschirmt. Entsprechend können Einflüsse von magnetischen Streufeldern vermieden werden.

[0015] Für einen weiteren Schutz des Elektronenemitters ist der Innenraum des Gehäuses mit mindestens einer Pumpeinrichtung zum Evakuieren des Innenraumes des Gehäuses verbunden. Vorzugsweise sind sowohl der Elektronenemitter als auch der Innenraum des Gehäuses beide mit zwei Pumpeinrichtungen verbunden, die eine differentielle Vakuumpumpeinrichtung bilden.

[0016] Die Wirkung von der mindestens einen Pumpeinrichtung kann weiter verbessert werden, falls eine Apertur an oder nahe der zweiten Ablenkstufe vorgesehen ist. Die Apertur repräsentiert eine Barriere für Gase, die von der Vakuumkammer in die Elektronenquelle wandern könnten. Gemäß bevorzugten Ausführungsformen hat die Apertur eine Punktform oder eine Schlitzform. Der Vorteil der Punktform besteht in der Bereitstellung einer sehr kleinen Fläche, die eine effektive Gasbarriere bildet. Der Vorteil der Schlitzform bezieht sich auf eine erweiterte Justiermöglichkeit der Elektronenquelle.

[0017] Für spezielle Anwendungen kann es vorteilhaft sein, die Apertur mit einer dünnen Folie abzudecken, die in der Lage ist, den Elektronenstrahl durchzulassen. Die dünne Folie repräsentiert eine dichte Barriere für jegliche Moleküle innerhalb der Vakuumkammer oder von der übrigen Umgebung. Der Raum von dem Elektronenemitter über die ersten und zwei-

ten Ablenkstufen zu der abgedeckten Apertur ist vakuumdicht von der Umgebung getrennt.

[0018] Diese Ausführungsform hat einen wesentlichen Vorteil. Sie erlaubt erstmalig, einen Elektronenstrahl mit einer definierten Orientierung, insbesondere für RHEED-Messungen, bei einem erhöhten Druck, bis zum normalen atmosphärischen Druck, bereitzustellen. Der Erfinder hat herausgefunden, dass die Reichweite des Elektronenstrahls bei Normaldruck in Luft oder einem anderen Gas aus Atomen mit geringer Atomzahl (z.B. reiner Stickstoff, He usw.) groß genug ist, um eine Beugungseinrichtung zu bauen. Die Probe muss nahe genug an dem Austrittsfenster (Apertur mit der Folie), z.B. in dem Bereich von 5 mm bis 25 mm, angeordnet sein.

[0019] Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein RHEED-Messsystem, das mit der erfindungsgemäßen Elektronenquelle ausgestattet ist. Das RHEED-Messsystem kann zum herkömmlichen Betrieb unter Vakuumbedingungen oder alternativ zum Betrieb unter atmosphärischem Druck angepasst sein.

[0020] Gemäß einem weiteren Gesichtspunkt der Erfindung wird ein Verfahren zum Strahlen eines Elektronenstrahls auf eine Probe bereitgestellt, wobei nach der Erzeugung des Elektronenstrahls mit einem Elektronenemitter und einem Ausrichten des Elektronenstrahls mit einer ersten Ablenkstufe hin zur Probe ein weiterer Schritt der Korrektur der Orientierung des Elektronenstrahls mit einer zweiten Ablenkstufe vorgesehen ist, die zwischen der ersten Ablenkstufe und der Probe angeordnet ist.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Elektronenstrahl von der optischen Achse mit der ersten Ablenkstufe abgelenkt, wobei der Strahl, der sich zwischen den zwei Ablenkstufen bewegt, von der Achse verlängert wird, und die zweite Ablenkstufe den Strahl zurück hin zur Achse der Elektronenquelle biegt.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0022] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im folgenden unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:

[0023] [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#): schematische Illustrationen einer ersten Ausführungsform der Elektronenquelle gemäß der Erfindung,

[0024] [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#): schematische Illustrationen von weiteren Ausführungsformen einer Elektronenquelle gemäß der Erfindung, und

[0025] [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#): schematische Illustratio-

nen von herkömmlichen Elektronenquellen (Stand der Technik).

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

[0026] Eine erste Ausführungsform einer Elektronenquelle **100** ist in [Fig. 1](#) gezeigt. Die Elektronenquelle **100** hat eine Grundstruktur wie ein herkömmliches System, das in [Fig. 8](#) gezeigt ist. Entsprechende Teile sind mit entsprechenden Bezugszeichen versehen. Der Elektronenemitter (Elektronenkanone) mit einer ersten Ablenkstufe **6a, b** ist mit Flanschen **3, 4** an einer Vakuumkammer **2** (teilweise gezeigt) montiert. Die Linie von dem Elektronenemitter **5** zu der ersten Ablenkstufe **6a, b** legt eine Achse der Elektronenquelle fest. Die Vakuumkammer **2** ist ein Rezipient z.B. einer Abscheidungs- oder einer Messvorrichtung. Die Elektronenquelle **5** ist zur Bestrahlung einer Probe **1** (z.B. eines Wafers) in der Vakuumkammer, z.B. für eine RHEED-Messung vorgesehen. Ein Pumpanschluss **11** ist zum differentiellen Pumpen des Emittervolumens vorgesehen.

[0027] Erfindungsgemäß ist eine zweite Ablenkstufe **16a, b** dem System zugefügt. Die zweite Ablenkstufe **16a, b** ist zwischen der ersten Ablenkstufe **16a, b** der Probe **1**, d.h. auf der zu dem Elektronenemitter **5** entgegengesetzten Seite der ersten Ablenkstufe **16a, b** angeordnet. Vorzugsweise ist die zweite Ablenkstufe **16a, b** in Betrachtung der speziellen mechanischen Randbedingungen in der Vakuumkammer (insbesondere Größe der Probe **1** und der Probenhalterung, wobei Schatten vermieden werden) so nah wie möglich an der Probe **1** angeordnet. Der Abstand der zweiten Ablenkstufe zu der ersten Ablenkstufe ist größer als der Abstand von der zweiten Ablenkstufe zu der Probe (vorzugsweise kleiner 10 cm). Die zweite Ablenkstufe **16a, b** ist auf der Achse der Elektronenquelle **5** angeordnet. Der Aufbau und die Steuerung der Ablenkstufen sind als solche bekannt, so dass weitere Einzelheiten dieser Komponenten hier nicht beschrieben werden.

[0028] Der Strahl- oder Strahlungsweg des Elektronenstrahls **7** zwischen dem Elektronenemitter und den Ablenkstufen wird mit einem Gehäuse abgeschirmt. Das Gehäuse ist ein vakuumdichter Schlauch (oder Rohr) **14**, der die Elektronenquellentteile von der Vakuumkammer isoliert. Zwischen dem Emitter **5** und dem Gehäuse ist eine kleine Apertur **10** (0.5 bis 2 mm) eingefügt. Zum Verringern des Effekts von Magnetfeldern kann der Schlauch **14** aus magnetisch abschirmendem Material hergestellt sein, oder ein magnetisch abschirmender Schlauch (oder ein Rohr) **15** kann zugefügt sein. Bei dieser Ausführungsform dient das Gehäuse der mechanischen Verbindung der Elektronenquelle **5** mit der Vakuumkammer **2**.

[0029] Ein zweiter Pumpanschluss **12** ist zum diffe-

rentiellen Pumpen des Innenraumes des Gehäuses vorgesehen. Die Pumpanschlüsse **11, 12** sind mit mindestens einer Pumpeinrichtung, z.B. einer Vakuumpumpe verbunden.

[0030] An dem abgewandten Ende des Gehäuses ist eine Austrittsapertur **13** an oder nahe der zweiten Ablenkstufe vorgesehen. Die Austrittsapertur **13** kann eine kleine Fläche zum differentiellen Pumpen oder eine größere Fläche aufweisen, falls ein differentielles Pumpen nicht erforderlich ist.

[0031] Die Anordnung von [Fig. 1](#), welche die Elektronenquelle **5**, eine Probenhalterung zum Tragen der Probe **1** und den Detektor **20** umfasst, repräsentiert ein RHEED-Messsystem gemäß der Erfindung. Weitere Teile, wie z.B. eine Steuerschaltung, sind nicht gezeigt.

[0032] Der Strahlweg ist in [Fig. 2](#) gezeigt, wo die Winkel aus Klarheitsgründen überhöht sind. Anstatt einem axialen Weg durch das System zu folgen, wird der Strahl zweifach abgelenkt, bevor er die Apertur **13** verlässt. Der Elektronenstrahl wird erst unter Verwendung der Ablenkstufe **6a, b** von der optischen Achse abgelenkt. Der Strahl, der sich zwischen den zwei Ablenkstufen bewegt, wird von der Achse weggedehnt. Die Ablenkstufe **16a, b**, die nahe der Apertur **13** angeordnet ist, biegt den Strahl zurück hin zur Achse. Die Ablenkstärken von **16a, b** und **6a, b** sind derart justiert, dass der Strahl durch die Apertur **13** austritt. Der Strahl wird dann in Bezug auf die Achse des Schlauches geneigt. Die Neigung kann in Abhängigkeit von den Justierungen der Ablenkungen in den X und Y-Richtungen in alle Richtungen auftreten.

[0033] Typische experimentelle Werte sind die folgenden:

Abstand zwischen der Apertur 13 und der Probe 1 :	20 mm bis 60 mm.
Aperturdurchmesser:	50 µm bis 1 mm (wenn differentielles Pumpen verwendet wird)
Maximaler Neigungswinkel des Strahls:	5° bis 20°.

[0034] Diese Gestaltung erlaubt die Justierung des Einfallswinkels allein durch eine elektrische Steuerung.

[0035] [Fig. 3](#) illustriert eine Ausführungsform der Erfindung mit einer schlitzförmigen Apertur. Der Auftreffpunkt des Elektronenstrahls auf die Probe wird sich durch eine Änderung des Einfallswinkels bewegen. Dies muss nicht eine ernsthafte Beschränkung sein, es sei denn die Probe weist eine geringe Größe auf oder der Nutzer möchte einen bestimmten Punkt auf der Probe analysieren. Die Verwendung einer

schlitzförmigen anstelle einer kleinformatigen Apertur eröffnet die Möglichkeit, sowohl den Einfallswinkel zu ändern, als auch den Strahl auf einem festen Punkt zu halten. [Fig. 3](#) zeigt schematisch die Gestaltung der Apertur. Die lange Seite des Schlitzes **13** ist senkrecht zu der Probenoberfläche ausgerichtet. Wird ein Abstand von dem Schlitz zu der Probe von 50 mm angenommen, so ermöglicht ein Schlitz mit einer Länge von 5 mm ein Variationsbereich von ungefähr 6°.

[0036] Da der Schlitz einer Fläche aufweist, die größer als die einer kleinen Apertur ist, könnte die Wirksamkeit des differentiellen Pumpens verringert sein. Ein bevorzugter Wert ist eine Schlitzgröße von 5 mm·0.1 mm. Diese Fläche kann noch für Drucke bis zu 100 mTorr in der Kammer verwendet werden.

[0037] Die Apertur **13** kann mit einer dünnen Folie abgedeckt sein, die in der Lage ist, den Elektronenstrahl durchzulassen. Die Folie stellt einen vakuumdichten Verschluss des Quellenvolumens gegenüber der Vakuumkammer dar. Ein Material mit einer leichten Atomzahl sollte verwendet werden, um die Absorption und die Streuung des Hochenergie-Elektronenstrahls zu begrenzen. Eine Aluminium-, Magnesium-, Silizium- oder Kohlenstoffolie mit einer Dicke unterhalb von 1 µm ist bevorzugt. Die Strahldurchlässigkeit bei 40 keV ist weitgehend oberhalb von 95%.

[0038] Die Quelle und die angeschlossenen Rohre können unter gutem Vakuum gehalten werden, wobei eine kleine Pumpe verwendet wird, die wesentlich kleiner als diejenige ist, welche für das differentielle Pumpsystem verwendet wird. Selbst wenn die Folie Mikrolöcher oder ähnliche Schäden aufweist, wird das Pumpen um Größenordnungen leichter. Die Abschirmung der inneren Quellenteile wird in der selben Weise verwendet.

[0039] Die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) illustrieren eine Ausführungsform der Erfindung mit einer weiteren Strahlablenkung in der Vakuumkammer. Diese Ausführungsform ermöglicht die Variation des Einfallswinkels, während der selbe Fleck auf der Probe erhalten wird und eine kleinere Apertur verwendet wird. Sie kann auch magnetische Felder innerhalb der Vakuumkammer kompensieren.

[0040] Eine dritte Ablenkstufe **17a, b** ist vor der Apertur auf der Seite der Vakuumkammer **2** angebracht. Der wie vorher abgelenkte Strahl wird unter Verwendung der dritten Ablenkstufe **17a, b** hin zu der Probe rückorientiert. Ablenkungen werden derart justiert, dass der Strahl auf einen festen Fleck auf der Probe trifft. Diese Gestaltung stellt die beste Flexibilität bereit und ist für die höchsten Kammerdrucke und/oder für eine große Vakuumkammer **2** bevorzugt, wo die exakte Position der Probe in Bezug auf die Achse des Montageflansches nicht genau be-

kannt sein kann.

[0041] Die zusätzliche Ablenkstufe **17a, b** kann auch verwendet werden, um magnetische Felder zwischen der Austrittsapertur **13** und der Probe **1** zu kompensieren: jedes restliche Magnetfeld, das in den Raum zwischen der Austrittsapertur **13** und der Probe **1** austritt, wird die Probenwege krümmen. Die Ablenkung **17** wird verwendet, um diese Drift zu kompensieren.

[0042] Gemäß einer modifizierten Ausführungsform kann die Erfindung in einer Umgebung erhöhten Druckes und/oder unter Bedingungen mit einem hohem Materialfluss angewendet werden (Doppelanwendungen des Systems). Wenn sie unter guten Vakuumbedingungen in der Kammer (unterhalb 10⁻⁶ Torr) verwendet wird, schützt sie sehr wirksam die Elektronenquelle gegen Kontaminationen durch hohe Materialflüsse, die zum Aufwachsen innerhalb der Vakuumkammer verwendet werden. Ein typischer Aufbau ist in [Fig. 6](#) gezeigt. Die Aperturen sind vergrößert oder sogar entfernt, und die Quelle erfordert nicht ein differentielles Pumpen. Das Gehäuse **14, 15** (Schlauchaufbau) wird einen sehr wirksamen Schutz gegen den Fluss von Materialien hin zur Elektronenquelle bereitstellen.

[0043] Zusätzliche Pumplöcher **19** können verwendet werden, um die Elektronenquelle gegenüber der Kammer besser abzupumpen, während der Kontaminationsfluss sehr niedrig gehalten werden kann.

[0044] Die Erfindung kann mit den folgenden weiteren Modifikationen realisiert werden.

- Für den besten Betrieb sollte die Ablenkung in zwei zueinander senkrechten Richtungen X und Y unter Verwendung getrennter Ablenkstufen betätigt werden, die als **6a** und **6b**, **16a** und **16b**, **17a** und **17b** bezeichnet sind. Da jedoch die Orientierung senkrecht zu der Probenoberfläche am meisten Bedeutung hat, könnte eine unidirektionale Gestaltung verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Ablenkstufen korrekt in Bezug auf die Oberfläche orientiert sind.
- Die Ablenkstufen **6a, b**, **16a, b** und **17a, b** können innerhalb oder außerhalb des Vakuumgehäuses (Rohr) angeordnet sein.
- Eine magnetische Abschirmung ist gemäß der Erfindung vorgesehen. Die Abschirmung kann ein Schlauch sein, der aus einem magnetisch abschirmenden Material hergestellt ist, das innerhalb oder außerhalb des Vakuumrohres **14** zugefügt ist. Alternativ kann das Vakuumrohr selbst aus einem magnetisch abschirmenden Material hergestellt sein. Die Ablenkstufe **16a, b** muss innerhalb der magnetischen Abschirmung angeordnet sein. Die externe Ablenkstufe **17a, b** kann entweder innerhalb oder außerhalb der Abschirmung angeordnet sein.

– Die Aperturen **13** und **10** müssen nicht eine Kreisform aufweisen, sondern können jede Form und Dicke aufweisen, sobald ein nutzbarer Elektronenstrahl übertragen wird.

[0045] Mit einer erfindungsgemäßen Elektronenquelle wurden die folgenden speziellen Ergebnisse erhalten. Das doppeldifferentielle Pumpsystem wurde getestet und bei Drucken bis zu 1 Torr in der Kammer betrieben. Dieser Wert ist der höchste Druck, der bisher erreicht wurde. Das System ist sehr genau, stabil und überraschend einfach zu justieren.

[0046] Die Ausführungsform gemäß **Fig. 6** wurde in einem Produktionsgerät getestet. Die Stabilität der Strahlposition auf der Probe ist bei einem Abstand von 600 mm zwischen dem Flansch **3** und der Probe **1** besser als 30 µm und somit wesentlich besser als bei der Verwendung mechanischer Justierungen.

Patentansprüche

1. Elektronenstrahleinrichtung (**100**), insbesondere für ein RHEED-Messsystem, die umfasst:

- einen Elektronenemitter (**5**) zum Erzeugen eines Elektronenstrahls (**7**),
- eine erste Ablenkungsstufe (**6a,b**) zum Strahlen des Elektronenstrahls auf eine Probe (**1**), und
- eine zweite Ablenkstufe (**16a,b**), die zwischen der ersten Ablenkstufe (**6a,b**) und der Probe (**1**) angeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die zweite Ablenkstufe (**16a,b**) nahe der Probe (**1**) angeordnet ist, so dass ein Abstand von der zweiten Ablenkstufe zu der ersten Ablenkstufe größer als ein Abstand von der zweiten Ablenkstufe zu der Probe ist,
- die zweite Ablenkstufe (**16a,b**) für eine Strahlorientierungskorrektur eingerichtet ist, wobei
- die Elektronenstrahleinrichtung (**100**) ferner ein Gehäuse (**14**) umfasst, das sich von der ersten Ablenkstufe (**6a,b**) zu der zweiten Ablenkstufe (**16a,b**) erstreckt, wobei das Gehäuse mit einem Material, das magnetische Felder abschirmt, hergestellt oder beschichtet ist.

2. Elektronenstrahleinrichtung gemäß Anspruch 1, bei der der innere Raum des Gehäuses mit einer Pumpeinrichtung verbunden ist, die dazu eingerichtet ist, den inneren Raum des Gehäuses zu evakuieren.

3. Elektronenstrahleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei eine Apertur (**13**) an oder nahe der zweiten Ablenkstufe vorgesehen ist.

4. Elektronenstrahleinrichtung gemäß Anspruch 3, bei der die Apertur (**13**) eine Punktform oder eine Schlitzform aufweist.

5. Elektronenstrahleinrichtung gemäß einem der

vorhergehenden Ansprüche, wobei eine dritte Ablenkstufe (**17a,b**) zwischen der zweiten Ablenkstufe (**16a,b**) und der Probe (**1**) vorgesehen ist.

6. Elektronenstrahleinrichtung gemäß Anspruch 5, wobei die Apertur (**13**) zwischen den zweiten und dritten Ablenkstufen (**16a,b**, **17a,b**) vorgesehen ist.

7. Elektronenstrahleinrichtung gemäß einem der Ansprüche 5 bis 6, wobei die Apertur mit einer Folie bedeckt ist, die in der Lage ist, den Elektronenstrahl durchzulassen.

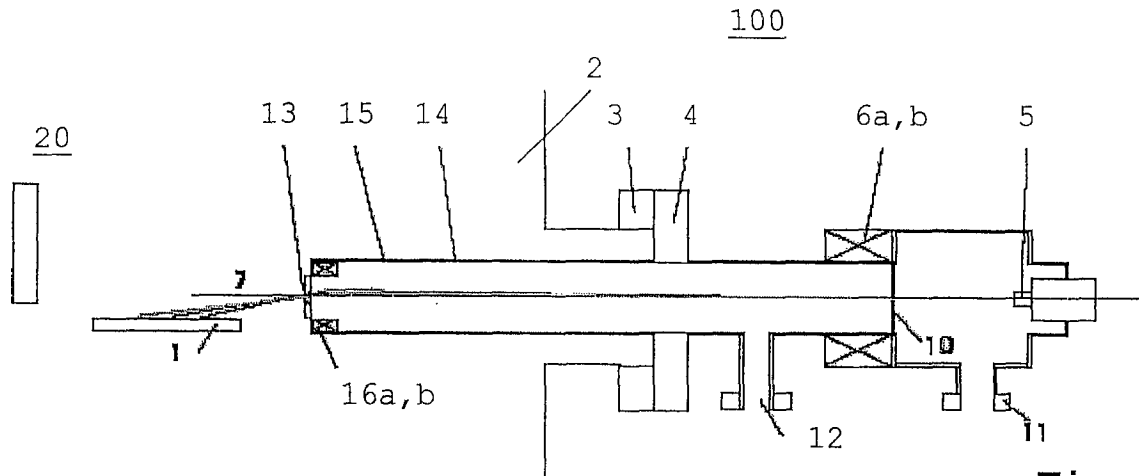
8. RHEED-Messsystem, das eine Elektronenstrahleinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, einen Probenhalter zum Tragen einer Probe, die untersucht werden soll, und eine Detektoreinrichtung zum Detektieren gebeugter Elektronen umfasst.

9. RHEED-Messsystem gemäß Anspruch 8, wobei der Probenhalter in einer Vakuumkammer angeordnet ist.

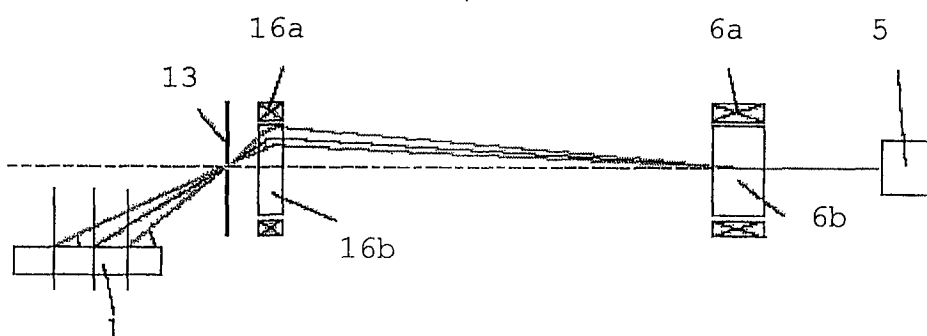
10. RHEED-Messsystem gemäß Anspruch 8, das eine Elektronenstrahleinrichtung gemäß Anspruch 7 umfasst, wobei der Probenhalter unter Atmosphärendruck angeordnet ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

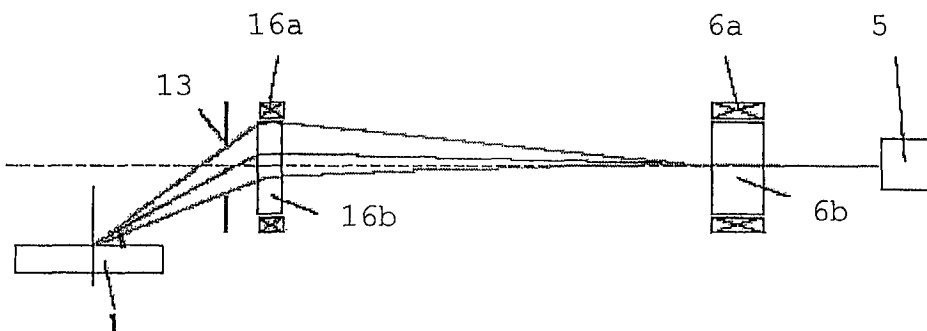
Anhängende Zeichnungen



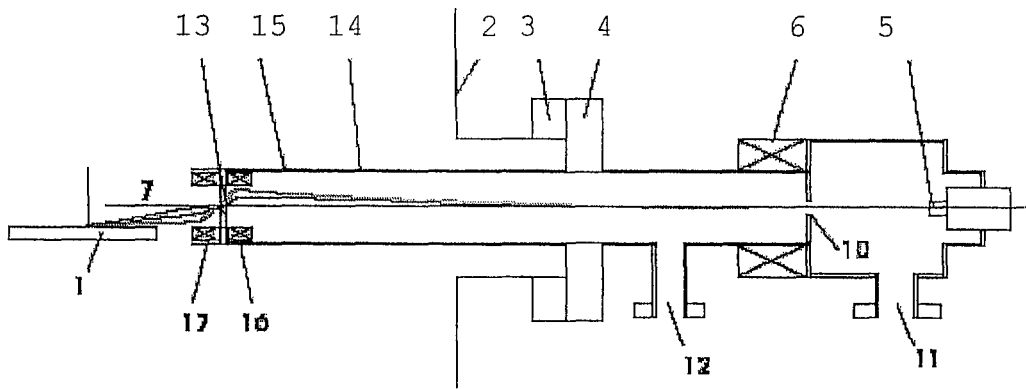
Figur 1



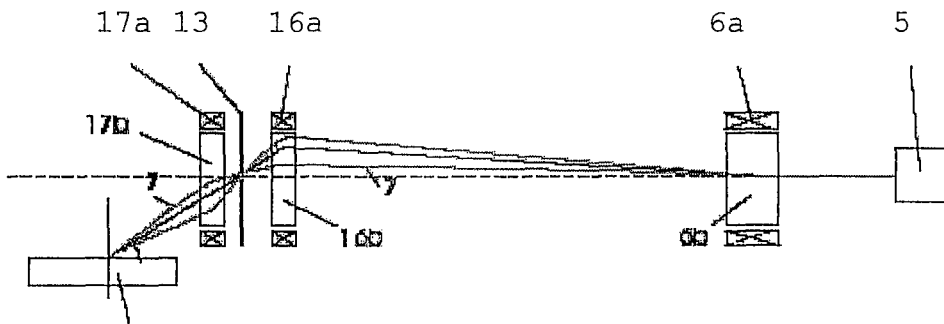
Figur 2



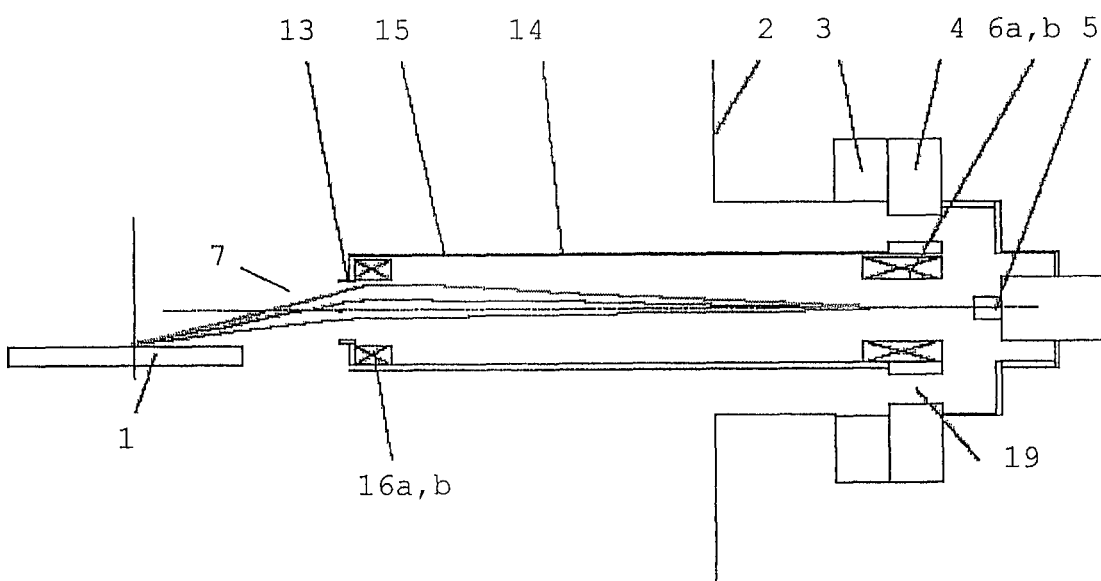
Figur 3



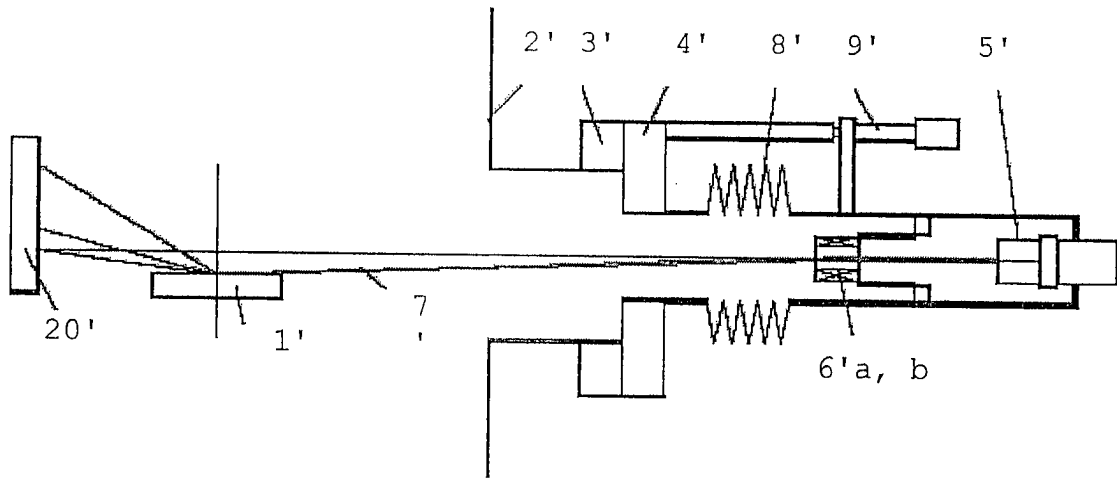
Figur 4



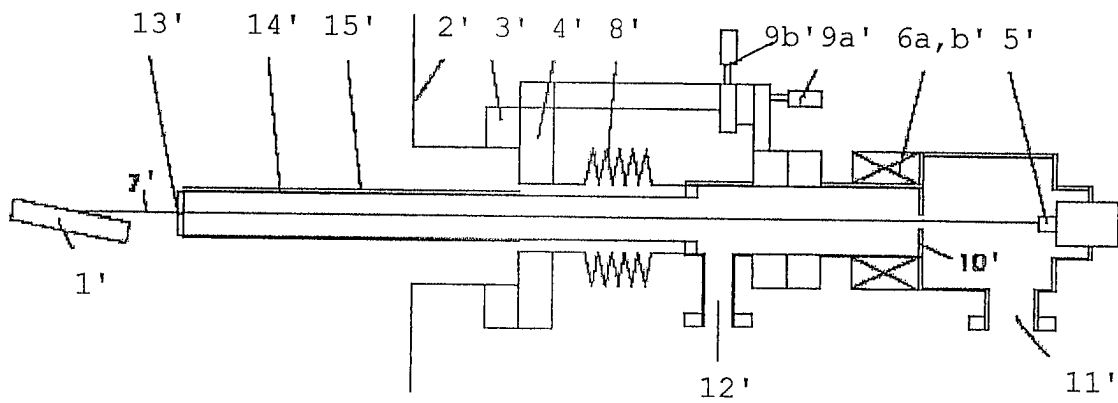
Figur 5



Figur 6



Figur 7
(STAND DER TECHNIK)



Figur 8
(STAND DER TECHNIK)