



(10) **DE 11 2012 004 204 B4** 2020.08.13

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2012 004 204.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2012/076704**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2013/065475**
(86) PCT-Anmeldetag: **16.10.2012**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **10.05.2013**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **11.09.2014**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **13.08.2020**

(51) Int Cl.: **G01N 1/28** (2006.01)
G01B 15/02 (2006.01)
H01J 37/20 (2006.01)
H01J 37/28 (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).

(30) Unionspriorität:
2011-241040 **02.11.2011** **JP**

(73) Patentinhaber:
HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION,
Tokyo, JP

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:
Miwa, Takefumi, c/o Hitachi, Ltd., Tokyo, JP; Ose,
Yoichi, c/o Hitachi High-Techno. Corp., Tokyo, JP;
Nakazawa, Eiko, c/o Hitachi High-Technologies

Corp, Tokyo, JP; Konomi, Mami, c/o Hitachi High-
Techno. Corp., Tokyo, JP; Watanabe, Shunya, c/
o Hitachi High-Techno. Corp., Tokyo, JP; Kimura,
Yoshinobu, c/o Hitachi, Ltd., Tokyo, JP; Tsuno,
Natsuki, c/o Hitachi, Ltd., Tokyo, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

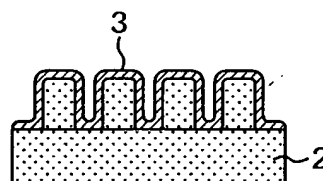
DE	11 2011 103 384	T5
US	2009 / 0 173 882	A1
US	2011 / 0 057 100	A1
JP	2011- 124 162	A
JP	2010- 25 656	A

(54) Bezeichnung: **Elektronenmikroskopisches Verfahren und Elektronenmikroskop**

(57) Hauptanspruch: Elektronenmikroskopisches Verfahren, umfassend die folgenden Schritte:

Messen (42) der Filmdicke eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms oder in Gestalt eines Netzfils auf einer Probe (17);

Steuern (43) der Bestrahlungsbedingungen mit Primärelektronen auf der Basis der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit; und Durchführen (44) einer Bestrahlung mit Primärelektronen unter den Strahlungsbedingungen für die Primärelektronen und Abbilden einer Form der Probe.



Beschreibung**Zitierte Literatur****Technisches Gebiet****Patentliteratur**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Mikroskopietechnik, mit der eine Probenoberflächen-Topologie unter Verwendung von Elektronen betrachtet wird.

Patentliteratur 1: Internationale Patentveröffentlichung WO 2007/083756 A1

Patentliteratur 2: Japanische Offenlegungsschrift JP 2000/195459 A

Patentliteratur 3: US-Offenlegungsschrift US 2009/0173882 A1

Technischer Hintergrund

[0002] Als Betrachtungsvorrichtung zur Vergrößerung einer Probenoberflächen-Topologie stehen Elektronenmikroskope zur Verfügung. Nachstehend wird die Arbeitsweise eines Rasterelektronenmikroskops (nachstehend als SEM abgekürzt) dargelegt. Primärelektronen, die durch eine an eine Elektronenquelle angelegte Spannung beschleunigt werden, werden auf eine Elektronenlinse fokussiert und mit den fokussierten Primärelektronen wird eine Probe unter Verwendung einer Ablenkvorrichtung abgetastet. Sekundärelektronen, die von der Probe durch Bestrahlung mit den Primärelektronen emittiert werden, werden an einem Detektor erfasst. Sekundärelektronen-Signale werden in Synchronisation mit Abtastsignalen zur Erzeugung eines Bilds erfasst. Die Menge der von der Probe emittierten Sekundärelektronen variiert je nach der Probenoberflächen-Topologie.

[0003] Für den Fall, dass es sich bei einer Probe um einen Isolator handelt, wird die Probenoberfläche unvermeidlicherweise aufgrund der Bestrahlung mit Elektronen aufgeladen. Die Ladung aufgrund der Bestrahlung mit Elektronen verursacht einen Drift des betrachteten Bilds, wodurch beispielsweise eine Bildstörung entsteht.

[0004] Es ist ein Verfahren bekannt, das sich mit einer durch Aufladung verursachten Bildstörung befasst. Dabei wird die Probenoberfläche mit einem elektrischen Leiter beschichtet. Metalle, wie Gold und Platin, werden als elektrischer Leiter verwendet. Außerdem beschreibt die Patentliteratur 1 ein Verfahren, bei dem eine unter Vakuum kaum flüchtige ionische Flüssigkeit auf eine Probe aufgebracht wird, um auf der der Elektronenstrahlung unterzogenen Oberfläche für elektrische Leitfähigkeit zu sorgen. Ferner beschreibt die Patentliteratur 2 ein Niederenergie-SEM, das eine stabile Betrachtung unter Verwendung von Niederenergie-Elektronen auch bei Aufladung ermöglichen kann.

[0005] In der Patentliteratur 3 werden eine elektronenmikroskopische Verfahren sowie ein Elektronenmikroskop offenbart, bei dem vor der elektronenmikroskopischen Untersuchung eine dünne Schicht einer ionischen Flüssigkeit auf die Probenoberfläche aufgetragen wird.

Zusammenfassende Darstellung der Erfindung**Technisches Problem**

[0006] Derzeit bedient man sich zur Betrachtung und Messung der Topologie einer Probenoberfläche mit einem hochauflösenden SEM eines Niederenergie-SEM. Jedoch kommt es selbst bei Verwendung von Niederenergie-Elektronen zur Aufladung der Probenoberfläche. Somit stellt in einem Fall, bei dem es sich bei der Probenoberflächen-Topologie um eine Mikrostruktur handelt, eine Bildstörung aufgrund von Aufladung, zum Beispiel ein Kontrastverlust am Randbereich, ein Problem dar. Sofern ein Metallfilm auf eine Isolatorprobe aufgebracht wird, um eine Bildstörung bei einem Niederenergie-SEM zu unterdrücken, überlagert ein Kontrast, der durch die Korngrenze des Metallfilms verursacht wird, den Formkontrast der Probe. Wenn ferner eine ionische Flüssigkeit auf die der Elektronenbestrahlung unterzogenen Oberfläche aufgebracht wird, wird die gesamte Musteroberfläche mit der ionischen Flüssigkeit gefüllt, so dass es nicht möglich ist, die Probenoberflächen-Topologie unter Verwendung eines Niederenergie-SEM zu betrachten.

[0007] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Betrachtungsprüfkörper für ein elektronenmikroskopisches Verfahren, ein elektronenmikroskopisches Verfahren, ein Elektronenmikroskop und eine Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers, die sich mit den vorgenannten Problemen befassen, bereitzustellen und eine Bildstörung aufgrund von Aufladung zu unterdrücken.

Lösung der Aufgabe

[0008] Zur Lösung der vorgenannten Aufgabe wird erfindungsgemäß an einem Betrachtungsprüfkörper für ein elektronenmikroskopisches Verfahren ein flüssiges Medium, das eine ionische Flüssigkeit umfasst, an einer Probe in einer Dünnschichtgestalt oder in einer Netzschichtgestalt bereitgestellt. Der aus dem flüssigen Medium, das eine ionische Flüssigkeit umfasst, bestehende Dünnschicht oder Netzschicht des Betrachtungsprüfkörpers wird entsprechend einer Probengestalt schichtförmig aufgetragen, wobei der Film entweder entlang der Probenoberflächen-Topologie ver-

läuft oder ein Niederenergie-Primärelektron die Filmdicke passieren kann, so dass sich ein klarer Randkontrast erzielen lässt.

[0009] Beim erfindungsgemäßen Betrachtungsprüfkörper handelt es sich bei der Filmdicke in einem Bereich, auf den das flüssige Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit aufgebracht wird, um eine oder mehrere Monolayers und um 100 Monolayers oder weniger. Eine Monolayer bedeutet die Dicke einer einzigen Molekülschicht einer ionischen Flüssigkeit.

[0010] Ferner umfasst ein erfindungsgemäßes elektronenmikroskopisches Verfahren die folgenden Stufen: Messen der Filmdicke eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit in einer Dünnschichtgestalt oder in einer Netzfilmgestalt auf einer Probe; und Steuern der Bestrahlungsbedingungen für ein Primärelektron auf der Basis der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit. Gemäß diesem Verfahren lassen sich die Bestrahlungsbedingungen für das Primärelektron entsprechend der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit so steuern, dass der Randkontrast verbessert wird.

[0011] Ferner umfasst das erfindungsgemäße elektronenmikroskopische Verfahren die folgenden Stufen: Auftragen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf eine Betrachtungsoberfläche der Probe; und Formen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit zu einem Dünnschichtfilm. Im Allgemeinen hängt der Filmzustand des aufgetragenen flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit vom Typ der ionischen Flüssigkeit und vom Material oder der Gestalt der Probe ab. Gemäß diesem Verfahren lässt sich die Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit je nach dem Typ der ionischen Flüssigkeit oder der Probe steuern.

[0012] Beim erfindungsgemäßen elektronenmikroskopischen Verfahren wird ein Betrachtungsprüfkörper so verwendet, dass das flüssige Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit auf der Probe in Dünnschichtgestalt oder in Netzfilmgestalt vorliegt.

[0013] Beim erfindungsgemäßen elektronenmikroskopischen Verfahren können die folgenden Stufen mehrmals durchgeführt werden: Aufbringen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit auf die Betrachtungsoberfläche der Probe; Formen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit zu einem Dünnschichtfilm; und Messen der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit.

Gemäß diesem Verfahren kann das flüssige Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit Schritt für Schritt verarbeitet werden, bis das flüssige Medium eine vorgegebene Filmdicke aufweist, so dass die Steuerbarkeit der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit verbessert wird.

[0014] Beim erfindungsgemäßen elektronenmikroskopischen Verfahren kann es sich bei der Stufe der Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit um die Stufe der Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit aufgrund einer Abhängigkeit der Primärelektronen-Beschleunigungsspannung von einer Sekundärelektronen-Emissionsausbeute handeln, die unter Verwendung eines gepulsten Primärelektrons analysiert werden kann. Gemäß diesem Verfahren kann die Beschleunigungsspannung, bei der ein Primärelektron den Dünnschichtfilm des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit passiert, aufgrund einer Veränderung der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute in Bezug auf die Beschleunigungsspannung analysiert werden und die Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit kann aufgrund der Reichweite des Primärelektrons bei der Beschleunigungsspannung analysiert werden.

[0015] Beim erfindungsgemäßen elektronenmikroskopischen Verfahren kann die Stufe der Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit die Stufe der Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit aufgrund einer Abhängigkeit der Primärelektronen-Beschleunigungsspannung eines Substratstroms unter der Primärelektronen-Bestrahlung umfassen. Dabei wird ein Verdrängungsstrom, der aufgrund der gespeicherten elektrischen Ladungen dann auftritt, wenn ein Primärelektron zu der Probe gelangt, als Substratstrom gemessen. Gemäß diesem Verfahren kann die Beschleunigungsspannung, bei der das Primärelektron einen Film aus dem flüssigen Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit passiert, durch eine Veränderung des Substratstroms in Bezug zur Beschleunigungsspannung analysiert werden, und die Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit kann aus der Reichweite des Primärelektrons bei der Beschleunigungsspannung analysiert werden.

[0016] Ferner umfasst ein erfindungsgemäßes Elektronenmikroskop Folgendes: eine Elektronenquelle, die so konfiguriert ist, dass sie ein Primärelektron emittiert; einen Probenhalter, der so konfiguriert ist, dass er eine Probe hält; eine Absaugkammer, an der der Probenhalter platziert wird, und die so konfiguriert ist, dass Luft abgesaugt wird; ein Linsensys-

tem, das zur Fokussierung des Primärelektrons auf die Probe konfiguriert ist; eine Ablenkvorrichtung, die zur Primärelektronen-Abtastung konfiguriert ist; einen Detektor, der zum Erfassen eines Sekundärelektrons, das aus der Probe durch das Primärelektron emittiert wird, konfiguriert ist; eine Bilderzeugungseinheit, die zur Erzeugung eines Bilds unter Verwendung des Sekundärelektrons konfiguriert ist; eine Probenkammer, an der der Probenhalter platziert wird; ein Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf der Probe konfiguriert ist; und eine Strahlungsbedingungen-Steuereinheit für das Primärelektron auf der Basis der Filmdicke des flüssigen Mediums auf der Probe.

[0017] Beim erfindungsgemäßen Elektronenmikroskop kann der Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit konfiguriert ist, Folgendes umfassen: eine Pulsbildungseinheit, die zur Bildung eines Pulselektrons so konfiguriert ist, dass das Primärelektron gepulst wird; eine Sekundärelektronen-Signalanalysiereinheit, die zur Analyse der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute von einem Sekundärelektronen-Signal so konfiguriert ist, dass ein von der Probe durch das Pulselektron emittiertes Sekundärelektron am Detektor erfasst wird; und eine Sekundärelektronen-Emissionsausbeute-Analysiereinheit, die zur Analyse der Beschleunigungsspannung, bei der das Primärelektron den Film des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit passiert, aufgrund der Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung von der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute und zur Analyse der Filmdicke aufgrund der Reichweite des Primärelektrons bei der Beschleunigungsspannung konfiguriert ist.

[0018] Ferner kann beim erfindungsgemäßen Elektronenmikroskop der Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit konfiguriert ist, Folgendes umfassen: eine Substratstrom-Messeinheit, die zur Messung eines Substratstroms, der induziert wird, wenn das Primärelektron zur Probe gelangt, konfiguriert ist; und eine Substratstrom-Analysiereinheit, die zur Analyse der Beschleunigungsspannung, bei der das Primärelektron einen Film aus dem flüssigen Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit passiert, aufgrund der Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung vom Substratstrom und zur Messung der Filmdicke aufgrund der Reichweite des passierenden Primärelektrons konfiguriert ist.

[0019] Beim erfindungsgemäßen Elektronenmikroskop kann am Probenhalter oder der Probenkammer, an der die Probe gehalten wird, eine Auftrageeinheit vorgesehen sein, die zum Aufbringen des flüssigen

Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf die Betrachtungsoberfläche der Probe konfiguriert ist.

[0020] Ferner kann beim erfindungsgemäßen Elektronenmikroskop am Probenhalter oder an der Probenkammer, an der die Probe gehalten wird, ein Mechanismus enthalten sein, der so konfiguriert ist, dass er das flüssige Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf der Probe zu einem Dünnschichtformt.

[0021] Ferner umfasst eine Betrachtungsprüfkörper-Herstellungsvorrichtung, mit der der erfindungsgemäße Betrachtungsprüfkörper hergestellt wird, Folgendes: eine Absaugkammer; einen Absaugmechanismus; eine Auftrageeinheit, die zum Aufbringen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf eine Betrachtungsfläche einer Probe konfiguriert ist; einen Mechanismus, der so konfiguriert ist, dass das flüssige Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf der Probe zu einem Dünnschicht ausgebildet wird; und einen Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit konfiguriert ist.

[0022] Der Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit konfiguriert ist, kann Folgendes umfassen: eine Elektronenquelle, die zur Emission eines Primärelektrons konfiguriert ist; eine Substratstrom-Messeinheit, die zur Messung eines Substratstroms konfiguriert ist, der induziert wird, wenn die Probe mit dem Primärelektron bestrahlt wird; und eine Substratstrom-Analysiereinheit, die zum Analysieren der Abhängigkeit der Primärelektronen-Beschleunigungsspannung vom Substratstrom konfiguriert ist.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0023] Mit dem Betrachtungsprüfkörper, dem elektronenmikroskopischen Verfahren, dem Elektronenmikroskop und der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfkörpers gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, eine Aufladung aufgrund von Primärelektronen zu unterdrücken, einen klaren Randkontrast des Betrachtungsprüfkörpers zu erhalten und mit hoher Genauigkeit die Probenoberflächen-Topologie zu messen.

Figurenliste

[Fig. 1A] Fig. 1A ist eine Draufsicht eines beispielhaften Betrachtungsprüfkörpers gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 1B] Fig. 1B ist eine Querschnittsansicht des beispielhaften Betrachtungsprüfkörpers gemäß

der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 2A] Fig. 2A ist eine Draufsicht eines beispielhaften Betrachtungsprüfkörpers gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 2B] Fig. 2B ist eine Querschnittsansicht des beispielhaften Betrachtungsprüfkörpers gemäß der fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 3A] Fig. 3A erläutert das Vorliegen oder Fehlen eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit auf einer Probe.

[Fig. 3B] Fig. 3B ist ein Diagramm zur Darstellung der im Laufe der Zeit auftretenden Variationen der Sekundärelektronen-Signale entsprechend dem Vorliegen oder Fehlen eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit auf einer Probe.

[Fig. 4] Fig. 4 ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Elektronenmikroskops gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 5A] Fig. 5A zeigt die Querschnittstrukturen von Betrachtungsprüfkörpern.

[Fig. 5B] Fig. 5B zeigt SEM-Bilder der Betrachtungsprüfkörper.

[Fig. 5C] Fig. 5C ist ein Diagramm zur Darstellung der Profile der Bildhelligkeit der Betrachtungsprüfkörper.

[Fig. 6] Fig. 6 ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Elektronenmikroskops gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 7] Fig. 7 ist ein beispielhaftes Fließdiagramm eines elektronenmikroskopischen Verfahrens gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 8A] Fig. 8A zeigt die Beziehung zwischen der Beschleunigungsspannung und der Reichweite von Primärelektronen gemäß der zweiten Ausführungsform.

[Fig. 8B] Fig. 8B zeigt die Beziehung zwischen der Beschleunigungsspannung von Primärelektronen und dem Substratstrom gemäß der zweiten Ausführungsform.

[Fig. 9A] Fig. 9A zeigt ein SEM-Bild, das mit einem elektronenmikroskopischen Verfahren gemäß der zweiten Ausführungsform erhalten worden ist.

[Fig. 9B] Fig. 9B zeigt das Profil der Bildhelligkeit, das mit dem elektronenmikroskopischen

Verfahren gemäß der zweiten Ausführungsform erhalten wird.

[Fig. 10] Fig. 10 ist ein Blockdiagramm einer beispielhaften Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 11] Fig. 11 ist ein beispielhaftes Fließdiagramm eines elektronenmikroskopischen Verfahrens gemäß der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 12] Fig. 12 ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Elektronenmikroskops gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 13] Fig. 13 ist ein Fließdiagramm eines elektronenmikroskopischen Verfahrens gemäß der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 14] Fig. 14 zeigt die Beziehung zwischen der Beschleunigungsspannung von Primärelektronen und der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute.

[Fig. 15A] Fig. 15A zeigt die Struktur eines Betrachtungsprüfkörpers zur Verwendung in der fünften Ausführungsform.

[Fig. 15B] Fig. 15B zeigt das Profil der Bildhelligkeit des Betrachtungsprüfkörpers zur Verwendung in der fünften Ausführungsform.

[Fig. 16] Fig. 16 ist ein Blockdiagramm einer beispielhaften Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 17] Fig. 17 ist ein Blockdiagramm einer beispielhaften Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 18] Fig. 18 ist ein Blockdiagramm einer beispielhaften Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 19] Fig. 19 ist eine Darstellung einer beispielhaften GUI zur Einstellung der Bestrahlungsbedingungen für Primärelektronen gemäß der vorliegenden Erfindung.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0024] Nachstehend werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Die Ausführungsformen stellen jedoch lediglich Beispiele zur Durchfüh-

lung der vorliegenden Erfindung dar, die den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung nicht beschränken.

Erste Ausführungsform

[0025] Fig. 1A ist eine Draufsicht eines Betrachtungsprüfkörpers, bei dem ein flüssiges Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit auf einer Probe in Gestalt eines Dünnsfilms vorliegt. Fig. 1B ist eine Querschnittsansicht des Betrachtungsprüfkörpers, bei dem das flüssige Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms vorliegt. Bei einer Probe 2 handelt es sich um eine Probe mit Rillenmustern. Beim flüssigen Medium 3 mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit handelt es sich um eine ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms auf den Rillenmustern. Für diese Ausführungsform wird ein elektronenmikroskopisches Verfahren unter Verwendung des Betrachtungsprüfkörpers beschrieben, bei dem sich das flüssige Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit auf der Probe in Gestalt eines Dünnsfilms befindet, wie in Fig. 1 dargestellt ist. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der ionischen Flüssigkeit zur erfindungsgemäßen Verwendung beispielsweise um 1-Butyl-3-methylimidazolium-tetrafluorborat, 1-Ethyl-3-methylimidazolium-bis-(trifluormethylsulfonyl)-imid und 1-Butyl-3-methylimidazolium-bis-(trifluormethylsulfonyl)-imid handelt. Bei dieser Ausführungsform wurde ein flüssiges Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit verwendet, wobei die ionische Flüssigkeit mit reinem Wasser auf 10% verdünnt war. Bei dieser Ausführungsform wurde die ionische Flüssigkeit mit reinem Wasser vermischt. Jedoch kann beispielsweise auch mit Ethanol, Methanol, Aceton und Hexan vermischt werden. Außerdem können der ionischen Flüssigkeit feine Teilchen, deren Sekundärelektronen-Emissionsausbeute sich von der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute der ionischen Flüssigkeit unterscheidet, zugemischt werden, um einen klaren Bildkontrast zu erzielen. Unter der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute ist ein Wert zu verstehen, der sich ergibt, wenn man die Anzahl der emittierten Sekundärelektronen durch die Anzahl der zur Bestrahlung herangezogenen Primärelektronen dividiert. Unter dem flüssigen Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit ist ein flüssiges Medium zu verstehen, das eine ionische Flüssigkeit und eine von der ionischen Flüssigkeit abweichende Substanz umfasst. Nachstehend bezieht sich der Ausdruck „ionische Flüssigkeit“ auf eine ionische Flüssigkeit oder auf ein flüssiges Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit.

[0026] Fig. 5A zeigt Querschnittstrukturen der in dieser Ausführungsform verwendeten Betrachtungsprüfkörper. Bei dieser Ausführungsform handelt es sich bei der Probe 2 um eine SiO₂-Probe mit Linienril-

lenmustern. A in Fig. 5A zeigt die Probe 2, auf die keine ionische Flüssigkeit aufgebracht ist. B in Fig. 5A zeigt einen Betrachtungsprüfkörper, bei dem eine ionische Flüssigkeit auf die Probe 2 unter Verwendung einer Mikropipette aufgetropft worden ist. C in Fig. 5A zeigt einen Betrachtungsprüfkörper, bei dem eine ionische Flüssigkeit auf die Probe 2 in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist, wobei das Auftragen der ionischen Flüssigkeit auf die Probe 2 unter Verwendung einer Tauchbeschichtungsvorrichtung vorgenommen worden ist.

[0027] Fig. 4 ist ein Blockdiagramm eines Elektronenmikroskops gemäß dieser Ausführungsform. Das Elektronenmikroskop umfasst Folgendes: ein elektrooptisches System, ein Stationssystem, ein Steuersystem, ein Bildbearbeitungssystem, ein Bedienungsinterface 27, eine Probenkammer 32 und eine Absaugkammer 82. Das elektrooptische System umfasst Folgendes: eine Elektronenquelle 10, eine Kondensorlinse 11, ein Diaphragma 12, eine Ablenkvorrichtung 13, eine Objektivlinse 14 und einen Detektor 18. Das Stationssystem umfasst Folgendes: eine Probenstation 15, einen Probenhalter 16 und eine Probe 17. Das Steuersystem umfasst Folgendes: eine Elektronenquellen-Steuereinheit 20, eine Kondensorlinse-Steuereinheit 21, eine Ablenkungssignal-Steuereinheit 22, eine Detektor-Steuereinheit 31 und eine SEM-Steuereinheit 26. Das Bildbearbeitungssystem umfasst Folgendes: eine Nachweissignal-Bearbeitungseinheit 23, eine Bilderzeugungseinheit 24 und eine Bildanzeigeeinheit 25.

[0028] Folgende Bestrahlungsbedingungen werden in dieser Ausführungsform gesteuert: die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen, der Bestrahlungsstrom und die Primärelektronen-Abtastgeschwindigkeit. Die Beschleunigungsspannung wird unter Verwendung einer an die Elektronenquelle 10 angelegten Spannung durch die Elektronenquellen-Steuereinheit 20 gesteuert. Der Bestrahlungsstrom wird unter Verwendung eines an die Kondensorlinse 11 angelegten Anregungsstroms durch die Kondensorlinse-Steuereinheit 21 gesteuert. Außerdem wird die Abtastgeschwindigkeit durch ein Ablenkungssignal aus der Ablenkungssignal-Steuereinheit 22 an die Ablenkungsvorrichtung 13 gesteuert.

[0029] Fig. 5B zeigt SEM-Bilder, die bei einer Beschleunigungsspannung von 1,0 kV, einem Bestrahlungsstrom von 8 pA und einer Primärelektronen-Abtastgeschwindigkeit von 300 nm/μs aufgenommen worden sind. A in Fig. 5B ist ein SEM-Bild der Probe 2, auf die keine ionische Flüssigkeit aufgebracht worden ist, wobei dunkle Musterbereiche entstehen, was auf eine Aufladung zurückzuführen ist, die eine dunkle Tönung hervorruft. Andererseits ist B in Fig. 5B ein SEM-Bild des Betrachtungsprüfkörpers, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe 2 unter Verwendung der Mikropipette aufgetropft worden

ist. Für den Fall der Auftragung der ionischen Flüssigkeit unter Verwendung der Mikropipette nimmt die ionische Flüssigkeit nicht die Gestalt eines Dünnsfilms an und primäre Elektronen können die ionische Flüssigkeit nicht passieren. Somit gelingt es nicht, Muster zu erkennen. **C** in **Fig. 5B** ist ein SEM-Bild des Betrachtungsprüfkörpers, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist. Eine dunkle Tönung in den Musterbereichen wird unterdrückt und Muster lassen sich erkennen.

[0030] **Fig. 5C** zeigt die Profile der Bildhelligkeit bei Analyse in Querrichtung zu den Rillenmustern. Ein Bereich, der die maximale Bildhelligkeit zeigt, entspricht dem Randbereich einer Rille. Bei **A** in **Fig. 5C** ist das Signal des maximalen Bereiches, der dem Randbereich entspricht, schwach und der Randkontrast ist gering. Ferner ist bei **B** in **Fig. 5C** das Profil des Randbereiches schwer zu erkennen. Andererseits ist bei **C** in **Fig. 5C** das Signal des maximalen Bereiches stark und es wird ein klarer Randkontrast erhalten. Gemäß dem elektronenmikroskopischen Verfahren nach dieser Ausführungsform ist es möglich, einen die Probengestalt wiedergebenden Randkontrast zu verbessern, indem man sich des Betrachtungsprüfkörpers bedient, bei dem eine ionische Flüssigkeit auf die Probe in Gestalt eines Dünnsfilms aufgetragen ist.

Zweite Ausführungsform

[0031] Bei dieser Ausführungsform wird ein elektronenmikroskopisches Verfahren beschrieben, bei dem die Filmdicke einer ionischen Flüssigkeit gemessen wird und die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen auf der Grundlage der gemessenen Filmdicke gesteuert werden. Bei dieser Ausführungsform wurde der Betrachtungsprüfkörper verwendet, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe in Gestalt eines Dünnsfilms gemäß **C** von **Fig. 5A** (bei der ersten Ausführungsform dargestellt) vorliegt.

[0032] Unter Berücksichtigung der Filmdicke der ionischen Flüssigkeit und der Reichweite der Niederenergie-Primärelektronen werden die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen gesteuert. Dabei bedeutet die Reichweite der Elektronen die Länge, mit der Elektronen in das Innere einer Substanz gelangen. Gemäß den Angaben in der Literaturstelle K. Kanaya, S. Okayama, J. Phys. D. Appl. Phys., Bd. 5 (1972), S. 43), wird die Reichweite R (μm) der Primärelektronen durch die Gleichung 1 angegeben.

$$R = \frac{0.0276(\text{eV})^{5/3} A}{\rho^{8/9} Z} \quad [\text{Gleichung 1}]$$

[0033] ρ (g/cm^3) ist die Dichte einer Substanz, die von Elektronen passiert wird, Z ist die Ordnungs-

zahl, A (g/mol) bedeutet das Atomgewicht, V (kV) bedeutet die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen und e bedeutet die elektrische Elementarladung. Gleichung 1 gibt an, dass die Reichweite der Primärelektronen von der Beschleunigungsspannung der Primärelektronen sowie von der Dichte einer Substanz und deren Atomgewicht abhängt. Da die Dicke einer einzelnen Molekülschicht einer ionischen Flüssigkeit von der Dichte und dem Molekulargewicht der ionischen Flüssigkeit abhängt, kann die Reichweite der Primärelektronen durch eine Monolayer in einer Einheit der Dicke einer einzigen Molekülschicht (nachstehend wird die Dicke einer einzigen Molekülschicht als Monolayer bezeichnet) vorgeschrieben werden. Es ist wichtig, die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen auf der Basis der Reichweite der Primärelektronen, die von einer Monolayer und der Filmdicke der ionischen Flüssigkeit vorgeschrieben wird, einzustellen. Ferner ist es selbst dann, wenn die Bestrahlungsbedingungen festgelegt werden und die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit eingestellt werden kann, wichtig, die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit unter Berücksichtigung der Reichweite der Primärelektronen einzustellen.

[0034] Die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen liegt beispielsweise in einem Spannungsbereich von 0,1 bis 1,5 kV. Bei der in dieser Ausführungsform verwendeten ionischen Flüssigkeit handelt es sich bei der Beschleunigungsspannung der Primärelektronen, die eine Filmdicke von 100 Monolayers passieren, um eine Spannung von 1,5 kV und die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen, die durch die Filmdicke von einer Monolayer gehen, beträgt 0,1 kV. Bei Bestimmung aufgrund der Dichte, des Molekulargewichts und der Zusammensetzung wies eine Monolayer einer typischen ionischen Flüssigkeit eine Dicke von 1 nm auf.

[0035] Die Filmdicke eines Bereiches, auf die das flüssige Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf den Betrachtungsprüfkörper aufgebracht worden ist, soll beispielsweise 1 Monolayer oder mehr oder 100 Monolayers oder weniger betragen.

[0036] **Fig. 3A** zeigt eine Probe **2** und einen Betrachtungsprüfkörper, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist. Bei dieser Ausführungsform handelt es sich bei der Probe **2** um einen Isolator. Ferner zeigt **Fig. 3B** die zeitlichen Veränderungen der Sekundärelektronen-Signale, die imitiert werden, wenn die Probe **2** mit Niederenergie-Primärelektronen bestrahlt wird und beim Betrachtungsprüfkörper die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist. Wie bei **B** in **Fig. 3B** dargestellt, werden bei Bestrahlung der Probe **2** mit Niederenergie-Primärelektronen eine Anzahl von Sekun-

därelektronen emittiert, die größer als die Anzahl der zur Bestrahlung herangezogenen Primärelektronen ist. Die Probenoberfläche wird positiv aufgeladen. Da dabei die Menge der emittierten Sekundärelektronen aufgrund der positiv aufgeladenen Oberfläche verringert wird, wird das Sekundärelektronen-Signal unmittelbar nach der Bestrahlung mit den Primärelektronen abgeschwächt. Auf der anderen Seite wird gemäß Darstellung unter **A** in **Fig. 3A** bei dem Betrachtungsprüfkörper, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist, aufgrund der Unterdrückung der Aufladung im Primärelektronen-Bestrahlungsbereich das Sekundärelektronen-Signal bei Bestrahlung mit den Primärelektronen nicht abgeschwächt und es ergibt sich ein konstanter Wert. Somit wird gezeigt, dass in dem Fall, bei dem die ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist, eine Unterdrückung der Aufladung bewirkt wird.

[0037] In den **Fig. 5B** und **Fig. 5C** stellen **A**, **B** und **C** die Bilder und die Profile der Bildhelligkeit dar, wobei die mit Mustern versehene Probe **2**, der Betrachtungsprüfkörper mit einer ionischen Flüssigkeit auf der Probe **2** und der Betrachtungsprüfkörper, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist, unter Verwendung von Niederenergie-Primärelektronen betrachtet werden. Wie unter **A** in **Fig. 5B** dargestellt, zeigt es sich, dass dann, wenn keine ionische Flüssigkeit vorhanden ist, der Musterbereich aufgrund der aufgeladenen Oberfläche einen geringen Kontrast aufweist. Wie unter **B** in **Fig. 5B** dargestellt, ist der Musterbereich dann, wenn die ionische Flüssigkeit nicht als Dünnsfilm aufgebracht ist, mit der ionischen Flüssigkeit gefüllt und der Randkontrast entfällt. Wie unter **C** in **Fig. 5B** dargestellt, wird dann, wenn die ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms aufgebracht ist, ein starker Kontrast im Musterbereich erhalten. Ferner wird gemäß Darstellung unter **A** in **Fig. 5C** dann, wenn keine ionische Flüssigkeit vorhanden ist, das Signal des Randbereiches aufgrund der aufgeladenen Probe verringert und das Profil der Bildhelligkeit ist asymmetrisch. Andererseits ist gemäß Darstellung unter **C** in **Fig. 5C** dann, wenn die ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms vorliegt, das Profil der Bildhelligkeit symmetrisch und es wird ein Kontrast erhalten, bei dem der Randbereich der Probe **2** stärker hervorgehoben ist. Wenn der Betrachtungsprüfkörper eine ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms auf der Probe enthält, ergibt sich ein Randkontrast der Probe **2** selbst dann, wenn Niederenergieelektronen verwendet werden, während der Effekt der Unterdrückung der Aufladung gewährleistet ist.

[0038] **Fig. 6** ist ein Blockdiagramm eines Elektronenmikroskops gemäß dieser Ausführungsform. Das Elektronenmikroskop umfasst Folgendes: ein elektrooptisches System, ein Stationssystem, ein Steuersystem, ein Bildbearbeitungssystem, ein Bedie-

nungsinterface **27**, eine Probenkammer **32**, eine Absaugkammer **82** und ein Substratstrom-Messsystem. Beim Substratstrom handelt es sich um einen elektrischen Strom, der durch Bestrahlung mit Primärelektronen vom Betrachtungsprüfkörper zum Stationssystem (ein Probenhalter **16**) fließt. Das elektrooptische System umfasst Folgendes: eine Elektronenquelle **10**, eine Kondensorlinse **11**, ein Diaphragma **12**, eine Ablenkvorrichtung **13**, eine Objektivlinse **14** und einen Detektor **18**. Das Stationssystem umfasst Folgendes: eine Probenstation **15**, den Probenhalter **16** und eine Probe **17**. Das Steuersystem umfasst Folgendes: eine Elektronenquellen-Steuereinheit **20**, eine Kondensorlinsen-Steuereinheit **21**, eine Ablenkungssignal-Steuereinheit **22**, eine Detektor-Steuereinheit **31** und eine SEM-Steuereinheit **26**. Das Bildbearbeitungssystem umfasst Folgendes: eine Nachweissignal-Bearbeitungseinheit **23**, eine Bilderzeugungseinheit **24** und eine Bildanzeigeeinheit **25**. Das Substratstrom-Messsystem umfasst Folgendes: ein Amperemeter **28** und eine Substratstrom-Analysiereinheit **29**.

[0039] **Fig. 7** ist ein Fließdiagramm des elektronenmikroskopischen Verfahrens. Das elektronenmikroskopische Verfahren gemäß dieser Ausführungsform wird nachstehend unter Bezugnahme auf das Fließdiagramm von **Fig. 7** beschrieben. Zunächst wird die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit des Betrachtungsprüfkörpers gemessen (Stufe **42**). Bei dieser Ausführungsform wurde ein Substratstrom unter der Bestrahlung mit Primärelektronen unter Verwendung des in **Fig. 6** dargestellten Elektronenmikroskops gemessen und die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit wurde analysiert. Dabei kann ein Verschiebungsstrom, der durch auf der Probe unter der Bestrahlung mit Primärelektronen gespeicherte elektrische Ladungen induziert wird, als Substratstrom gemessen werden. Zunächst steuert die Elektronenquellen-Steuereinheit **20** die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen unter Verwendung der an die Elektronenquelle **10** angelegten Spannung und verändert die Beschleunigungsspannung. Substratströme bei den einzelnen Beschleunigungsspannungen werden mit dem Amperemeter **28** gemessen. **Fig. 8A** ist eine schematische Darstellung der Beziehung zwischen der Beschleunigungsspannung und der Reichweite der Primärelektronen. Wenn die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen gemäß Darstellung bei **A**, **B** und **C** erhöht wird, nimmt die Reichweite eines Primärelektrons **5** zu. Wenn die Reichweite des Primärelektrons der Filmdicke eines flüssigen Mediums **3** mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit entspricht oder größer ist (**C** in **Fig. 8A**), erreicht das Primärelektron die Probe **2** und elektrische Ladungen werden auf der Probe gespeichert. Dabei tritt aufgrund der gespeicherten Ladungen ein Verschiebungsstrom auf, der als Substratstrom gemessen werden kann. **Fig. 8B** zeigt die Veränderungen im Substratstrom, wenn die Be-

beschleunigungsspannung der Primärelektronen von 0,1 kV auf 1,5 kV verändert wird. In **Fig. 8B** ist dargestellt, dass der Substratstrom bei einer Beschleunigungsspannung von 1,0 kV plötzlich ansteigt. Die Beschleunigungsspannung beim plötzlichen Anstieg des Substratstroms ist eine Beschleunigungsspannung, bei der das Primärelektron die Filmdicke passiert. Bei Analyse der Reichweite durch Gleichung 1 ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass die Reichweite bei einer Beschleunigungsspannung von 1,0 kV 60 Monolayers beträgt, dass die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit 60 Monolayers beträgt. Die Verfahrensstufe der Analyse der Abhängigkeit des Substratstroms von der Beschleunigungsspannung, die in dieser Ausführungsform beschrieben wird, wird in der Substratstrom-Analysiereinheit **29** durchgeführt. Die Filmdicke lässt sich automatisch erhalten.

[0040] Sodann werden die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen auf der Grundlage der Filmdicke unter Bezugnahme auf das Fließdiagramm in **Fig. 7** gesteuert (Stufe **43**). Um bei dieser Ausführungsform Sekundärelektronen aus der Probe zu erfassen, wurde die Beschleunigungsspannung auf einen Wert von 1,2 kV eingestellt, so dass die Reichweite der Primärelektronen mehr als 60 Monolayers betrug. Dabei passieren die Primärelektronen den Dünnsfilm aus der ionischen Flüssigkeit und erreichen die Probe. Um somit die Anzahl der Elektronen, mit der die Probe bestrahlt wird, im Hinblick auf eine Probeschädigung zu begrenzen, wurde der Bestrahlungsstrom auf 5 pA eingestellt und die Abtastgeschwindigkeit wurde auf 300 nm/μs eingestellt.

[0041] Schließlich wird ein Bild unter den für die Primärelektronen eingestellten Strahlungsbedingungen auf der Grundlage des Fließdiagramms von **Fig. 7** aufgenommen. Das Bild wird an der Bildanzeigeeinheit **25** dargestellt (Stufe **44**).

[0042] **Fig. 19** ist ein graphisches Benutzerinterface (nachstehend als GUI bezeichnet), das die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen gemäß dieser Ausführungsform festsetzt. Das GUI in **Fig. 19** wird auf dem Monitor des Bedienungsinterface **27** angezeigt. In einem Fenster **130** werden Informationen über eine Probe und eine ionische Flüssigkeit angezeigt, die in die SEM-Steuereinheit **26** eingegeben werden. Im Fenster **131** werden die Abhängigkeit des Substratstroms des Betrachtungsprüfkörpers von der Beschleunigungsspannung und die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit angezeigt. Im Fenster **132** werden die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen entsprechend der Filmdicke der ionischen Flüssigkeit angezeigt.

[0043] **Fig. 9A** ist ein bei Betrachtung des Betrachtungsprüfkörpers erhaltenes Bild und **Fig. 9B** zeigt das Profil der Bildhelligkeit bei Analyse in Querrichtung zum Rillenmuster gemäß dieser Ausführungs-

form. Der maximale Wert der Bildhelligkeit, der den Randbereich des Musters wiedergibt, ist groß und es lässt sich ein klarer Randkontrast erzielen. Gemäß dem elektronenmikroskopischen Verfahren dieser Ausführungsform wird die Filmdicke des Dünnsfilms aus der ionischen Flüssigkeit gemessen und die optimalen Bestrahlungsbedingungen lassen sich so einstellen, dass es möglich ist, den Randkontrast, der die Probengestalt angibt, zu verbessern.

Dritte Ausführungsform

[0044] Bei dieser Ausführungsform wird ein elektronenmikroskopisches Verfahren unter Verwendung eines Betrachtungsprüfkörpers beschrieben, wobei eine ionische Flüssigkeit auf eine Probe aufgetragen und anschließend zu einem Dünnsfilm geformt wird. Bei dieser Ausführungsform wurde eine Photolackprobe (Resist) mit Linienrillenmuster verwendet.

[0045] **Fig. 10** ist ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Dabei handelt es sich bei der Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers um eine Vorrichtung, mit der eine ionische Flüssigkeit auf eine Probe aufgetragen wird und ein Betrachtungsprüfkörper hergestellt wird. Die Vorrichtung umfasst Folgendes: eine Ionenflüssigkeit-Einstellungseinheit **72**, die eine ionische Flüssigkeit mit einer Substanz, die sich von der ionischen Flüssigkeit unterscheidet, vermischt, eine Ionenflüssigkeit-Abgabeeinheit **73**, eine Probe **74**, einen Probenhalter **75**, eine Probenhalteeinheit **76**, einen Probenhalteeinheits-Rotationsmechanismus **77**, ein Ventil **80**, einen Absaugmechanismus **81**, eine Absaugkammer **82** und ein Steuersystem. Das Steuersystem ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Ionenflüssigkeit-Einstellungssteuereinheit **84**, eine Abgabe-Steuereinheit **85**, eine Rotationssteuereinheit **86** und eine Absaugsteuereinheit **87**. Obgleich die Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren einen Bestandteil eines Elektronenmikroskops bildet, kann die Vorrichtung auch vom Elektronenmikroskop unabhängig vorliegen. Ein Elektronenmikroskop gemäß dieser Ausführungsform weist eine ähnliche Konfiguration wie das Mikroskop von **Fig. 4** auf.

[0046] **Fig. 11** ist ein Fließdiagramm für das elektronenmikroskopische Verfahren. Das elektronenmikroskopische Verfahren gemäß dieser Ausführungsform wird nachstehend unter Bezugnahme auf das Fließdiagramm von **Fig. 11** beschrieben. Zunächst wird eine ionische Flüssigkeit auf die Probe **74** aufgetragen (Stufe **52**). Bei dieser Ausführungsform wurde die ionische Flüssigkeit unter Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfkörpers von **Fig. 10** aufgetragen. Zunächst wird eine ionische Flüssigkeit, die an der Ionenflüssigkeit-Ein-

stellungseinheit 72 eingestellt worden ist, durch die Abgabe-Steuereinheit **85** gesteuert und von der Abgabeeinheit **73** abgegeben und auf die Probe **74** aufgetragen. Bei dieser Ausführungsform wurde reines Wasser als Lösungsmittel in die ionische Flüssigkeit eingemischt. Die ionische Flüssigkeit, deren Viskosität **20** mPa·s betrug, wurde auf die Probe abgegeben.

[0047] Anschließend wird auf der Basis des Fließdiagramms von **Fig. 11** die aufgetragene ionische Flüssigkeit zu einem Dünnsfilm geformt (Stufe **53**). Bei dieser Ausführungsform wurde die ionische Flüssigkeit zu einem Dünnsfilm unter Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfkörpers von **Fig. 10** geformt, indem die Probenhalteeinheit **76** unter Verwendung des Probenhalte-einheits-Rotationsmechanismus **77** rotiert wurde. Die Rotationssteuereinheit **86** steuerte die Rotationsgeschwindigkeit und die Rotationszeit so, dass die Probenhalteeinheit **76** **10** Sekunden mit 500 U/min und anschließend 60 Sekunden mit 3.000 U/min rotiert wurde. Anschließend wurde die Probe **74** zum Absaugen unter Vakuum in die Absaugkammer **82** gebracht. Wenn die ionische Flüssigkeit eine Substanz enthält, die unter Vakuum verdampft wird, wird die unter Vakuum verdampfende Substanz durch Absaugen unter Vakuum verdampft, so dass die ionische Flüssigkeit zu einem Dünnsfilm geformt werden kann. Bei dieser Ausführungsform wurde der Vakuumabsaugvorgang so lange durchgeführt, bis der Druck der Absaugkammer **82** einen Wert von 1×10^{-4} Pa erreicht hatte, was fast dem gleichen Vakuum wie bei der elektronenmikroskopischen Betrachtung entspricht. Dabei wird in dieser Ausführungsform die ionische Flüssigkeit aufgetragen und anschließend der Vakuumabsaugvorgang durchgeführt. Es ist jedoch auch möglich, dass eine ionische Flüssigkeit unter einem Vakuum aufgetragen wird und anschließend der Vorgang zur Bildung des Dünnsfilms durchgeführt wird.

[0048] Schließlich wird gemäß dem Fließdiagramm von **Fig. 11** ein Bild des Betrachtungsprüfkörpers aufgenommen (Stufe **54**). Bei dieser Ausführungsform beträgt die Beschleunigungsspannung der Primärelektronen 0,1 kV, der elektrische Strom 5 pA und die Abtastgeschwindigkeit 200 nm/μs.

[0049] Das bei Betrachtung des gemäß dieser Ausführungsform hergestellten Betrachtungsprüfkörpers erhaltene Bild ist ähnlich dem Bild **C** von **Fig. 5B** und das Profil der Bildhelligkeit bei Analyse in Querrichtung zum Rillenmuster ist ähnlich dem Profil **C** von **Fig. 5C**. Der maximale Wert der Bildhelligkeit, der den Randbereich des Musters angibt, ist hoch und es lässt sich ein klarer Randkontrast erhalten. Mit dem elektronenmikroskopischen Verfahren gemäß dieser Ausführungsform lässt sich die Filmdicke des Dünnsfilms aus der ionischen Flüssigkeit steuern und es lässt sich ein Bild so erhalten, dass es möglich ist,

den Randkontrast, der die Probengestalt angibt, zu verbessern.

Vierte Ausführungsform

[0050] In dieser Ausführungsform wird ein elektronenmikroskopisches Verfahren beschrieben, bei dem die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen eingestellt werden und die Feststellung getroffen wird, ob die Filmdicke für die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen geeignet ist. Anschließend wird ein Bild aufgenommen. Bei dieser Ausführungsform wurde der in der dritten Ausführungsform beschriebene Betrachtungsprüfkörper verwendet.

[0051] **Fig. 12** ist ein Blockdiagramm eines Elektronenmikroskops gemäß dieser Ausführungsform. Das Elektronenmikroskop ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: ein elektrooptisches System, ein Stationsystem, ein Steuersystem, ein Bildbearbeitungssystem, ein Bedienungsinterface **27**, eine Probenkammer **32** und eine Absaugkammer **82**. Das elektrooptische System ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Elektronenquelle **10**, eine Kondensorlinse **11**, ein Diaphragma **12**, eine Ablenkvorrichtung **13**, eine Objektivlinse **14**, ein Detektor **18** und eine Pulsbildungseinheit **19**. Das Stationssystem ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Probenstation **15**, ein Probenhalter **16** und eine Probe **17**. Das Steuersystem ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Elektronenquellen-Steuereinheit **20**, eine Kondensorlinsen-Steuereinheit **21**, eine Ablenkungssignal-Steuereinheit **22**, eine Detektorsteuereinheit **31**, eine SEM-Steuereinheit **26** und eine Pulssteuereinheit **30**. Das Bildbearbeitungssystem ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Nachweissignal-Bearbeitungseinheit **23**, eine Bilderzeugungseinheit **24** und eine Bildanzeigeeinheit **25**.

[0052] **Fig. 13** ist ein Fließdiagramm des elektronenmikroskopischen Verfahrens. Nachstehend wird das elektronenmikroskopische Verfahren gemäß dieser Ausführungsform unter Bezugnahme auf das Fließdiagramm von **Fig. 13** beschrieben. Zunächst werden die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen eingestellt (Stufe **62**). Bei dieser Ausführungsform wird das elektronenmikroskopische Verfahren unter Verwendung des Elektronenmikroskops von **Fig. 12** durchgeführt. Dabei wurde bezüglich der Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen eine Beschleunigungsspannung von 0,3 kV angewandt, bei der die Sekundärelektronen-Emissionsausbeute hoch ist. Um zu verhindern, dass die Probe aufgrund einer direkten Bestrahlung eines Fotolacks mit Primärelektronen beschädigt wird, wird bei dieser Ausführungsform ein Dünnsfilm so gebildet, dass die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit dicker ist als die Reichweite der Primärelektronen bei einer Spannung von 0,3 keV und der Film aus der ionischen Flüssigkeit die Probenoberflächen-Topologie wiedergibt.

Da dabei die Primärelektronen den Film aus der ionischen Flüssigkeit nicht passieren, wurden die Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen so gesteuert, dass der Bestrahlungsstrom 20 pA betrug und die Abtastgeschwindigkeit 100 nm/ μ s betrug, wobei sich ein hohes SN-Verhältnis des Bilds ergab.

[0053] Anschließend wurde die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit des Betrachtungsprüfkörpers auf der Grundlage des Fließschemas von **Fig. 13** gemessen (Stufe **65**). Bei dem in dieser Ausführungsform verwendeten Betrachtungsprüfkörper handelt es sich um den in der dritten Ausführungsform beschriebenen Betrachtungsprüfkörper. Bei dieser Ausführungsform wurde die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit durch Messen der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute unter Verwendung von Pulselektronen mit dem Elektronenmikroskop von **Fig. 12** analysiert. Nachstehend wird ein Verfahren zum Messen der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute beschrieben. Bei Bestrahlung mit Niederenergie-Primärelektronen wird der Isolator positiv aufgeladen und die Anzahl der zu emittierenden Sekundärelektronen verringert sich. Wenn die Anzahl der Strahlungsprimärelektronen an die Anzahl der emittierten Sekundärelektronen angepasst wird, ergibt sich eine Emission von Sekundärelektronen in einem stationären Zustand. Mit anderen Worten, die Sekundärelektronen-Emissionsausbeute von 1 entspricht der Stärke des Sekundärelektronen-Signals, bei dem die an der Pulsbildungseinheit **19** gebildeten Pulselektronen ihre Strahlung bewirken, und Sekundärelektronen, die am Detektor **18** erfasst werden, werden unter der Bestrahlung mit den Primärelektronen verringert und erreichen einen stationären Zustand. Die Stärke des Sekundärelektronen-Signals bei der Bestrahlung mit Primärelektronen wird durch die Stärke des Sekundärelektronen-Signals im stationären Zustand dividiert und man erhält die Sekundärelektronen-Emissionsausbeute.

[0054] **Fig. 14** zeigt für den in dieser Ausführungsform verwendeten Betrachtungsprüfkörper die Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute von der Beschleunigungsspannung. Da es bei dieser Ausführungsform notwendig ist, die Sekundärelektronen-Emissionsausbeute der ionischen Flüssigkeit mit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute des Fotolacks zu vergleichen, wurde die Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute von der Beschleunigungsspannung für die ionische Flüssigkeit und den Fotolack in eine Datenbank eingegeben. **Fig. 14** zeigt die Sekundärelektronen-Emissionsausbeute des Betrachtungsprüfkörpers sowie die Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute **91** von der Beschleunigungsspannung für den Fotolack und die Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute **92** von der Beschleunigungsspannung für die ionische Flüssigkeit, die aus der Datenbank abgerufen wurden. Die Se-

kundärelektronen-Emissionsausbeute des Betrachtungsprüfkörpers wurde mit der Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute **92** von der Beschleunigungsspannung für die ionische Flüssigkeit bei einer Beschleunigungsspannung von 0,8 kV oder weniger abgestimmt und stimmte fast vollständig mit der Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute **91** von der Beschleunigungsspannung für den Fotolack bei einer Beschleunigungsspannung von 1,5 kV oder mehr überein. Auf der anderen Seite nimmt bei einer Beschleunigungsspannung im Bereich von 0,8 kV bis 1,5 kV die Sekundärelektronen-Emissionsausbeute des Betrachtungsprüfkörpers den Medianwert zwischen der Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute **92** von der Beschleunigungsspannung für die ionische Flüssigkeit und der Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute **91** von der Beschleunigungsspannung für den Fotolack an. Somit kann aus **Fig. 14** festgestellt werden, dass die ionische Flüssigkeit bei einer Beschleunigungsspannung von 0,8 kV passiert wird. Infolgedessen beträgt bei Analyse der Reichweite gemäß Gleichung 1 aufgrund der Tatsache, dass die Reichweite bei einer Beschleunigungsspannung von 0,8 kV 50 Monolayers beträgt, die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit **50** Monolayers. Dabei beträgt bei der in dieser Ausführungsform verwendeten ionischen Flüssigkeit die Dicke von 1 Monolayer 0,5 nm.

[0055] Anschließend wurde festgestellt, ob die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit auf der Grundlage des Fließdiagramms von **Fig. 13** geeignet war (Stufe **66**). Da die Reichweite bei einer Spannung von 0,3 kV, d.h. der Beschleunigungsspannung gemäß dieser Ausführungsform, 20 Monolayers betrug und die bei dieser Ausführungsform gemessene Filmdicke **50** Monolayers oder weniger betrug, wurde festgestellt, dass die Filmdicke geeignet war. Dabei wurden für den Fall, dass die Filmdicke dünner als 20 Monolayers war, erneut ionische Flüssigkeit aufgetragen, die ionische Flüssigkeit zu einem Dünnsfilm verarbeitet, die Filmdecke gemessen (Stufen **63**, **64** und **65**) und die Vorgänge wiederholt, bis eine vorgegebene Filmdicke erreicht war.

[0056] Schließlich wird auf der Grundlage des Fließdiagramms von **Fig. 13** ein Bild unter den Bestrahlungsbedingungen für die Primärelektronen aufgenommen und dieses Bild wird in der Bildanzeigeeinheit **25** angezeigt (Stufe **67**).

[0057] Das durch Betrachtung des gemäß dieser Ausführungsform hergestellten Betrachtungsprüfkörpers erhaltene Bild ist ähnlich dem von **Fig. 9A** und das Profil der Bildhelligkeit bei Analyse in Querrichtung zum Rillenmuster ist ähnlich dem in **Fig. 9B**. Der maximale Wert der Bildhelligkeit, der den Randbereich des Musters angibt, ist hoch und es lässt sich ein klarer Randkontrast erhalten. Beim elektro-

nenmikroskopischen Verfahren gemäß dieser Ausführungsform lässt sich die Filmdicke des Dünnsfilms aus der ionischen Flüssigkeit mit hoher Genauigkeit steuern, so dass der Randkontrast, der die Proben-gestalt wiedergibt, sich verbessern lässt.

Fünfte Ausführungsform

[0058] Fig. 2A ist eine Draufsicht eines Betrachtungsprüfkörpers, bei dem eine ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Netzfilms vorliegt. Fig. 2B ist eine Querschnittsansicht des Betrachtungsprüfkörpers, bei dem die ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Netzfilms vorliegt. Bei dieser Ausführungsform wird ein elektronenmikroskopisches Verfahren unter Verwendung eines Betrachtungsprüfkörpers beschrieben, bei dem die ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Netzfilms vorliegt, wie in Fig. 2B dargestellt ist. Bei dieser Ausführungsform wurde die in Fig. 12 dargestellte Konfiguration des Elektronenmikroskops verwendet. Außerdem wurde bei dieser Ausführungsform eine SiO_2 -Probe mit Rillenmustern mit unterschiedlichen Abständen und Größen verwendet. Es wurde eine hydrophobe ionische Flüssigkeit verwendet und unter Verwendung einer Tauchbeschichtungsvorrichtung auf die Oberfläche des Probenmusters aufgetragen. Da die Benetzbarkeit zwischen der ionischen Flüssigkeit und der Probe je nach dem Musterabstand und der Mustergröße der Probe variiert, unterscheidet sich der Zustand eines Films aus einer ionischen Flüssigkeit für einzelne Muster.

[0059] Fig. 15A zeigt die Struktur des bei dieser Ausführungsform verwendeten Betrachtungsprüfkörpers. Wie in Fig. 15A dargestellt ist, verändert sich beim Betrachtungsprüfkörper der Zustand eines Films aus einer ionischen Flüssigkeit in Abhängigkeit vom Musterabstand und der Mustergröße der Probe. Fig. 15B zeigt das Profil der Bildhelligkeit bei Analyse in Querrichtung zum Rillenmuster eines SEM-Bilds dieses Betrachtungsprüfkörpers bei Aufnahme bei einer Beschleunigungsspannung von 1,0 kV, einem elektrischen Bestrahlungsstrom von 8 pA und einer Abtastgeschwindigkeit von 300 nm/ μs . Wie in Fig. 15B dargestellt, wurden Kontraste festgestellt, die dem Musterabstand und der Mustergröße der Probe entsprachen. Mit dem elektronenmikroskopischen Verfahren gemäß dieser Ausführungsform ist es möglich, mit hoher Genauigkeit die Probengestalt am Betrachtungsprüfkörper mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit zu messen.

Sechste Ausführungsform

[0060] Bei dieser Ausführungsform wird eine Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren beschrieben, wobei die Vorrichtung eine Konfiguration aufweist, die sich von der Konfiguration beim

Verfahren gemäß der dritten Ausführungsform unterscheidet.

[0061] Fig. 16 ist ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Die Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für das elektronenmikroskopische Verfahren ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Probe 101, eine Probenhalteeinheit 102, die eine Probe hält, eine Antriebseinheit 103, die die Probenhalteeinheit 102 frei nach oben und nach unten bewegt, eine Antriebssteuer-einheit 104, die die Position und die Bewegungsgeschwindigkeit der Probenhalteeinheit 102 steuert, eine Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit 106, die eine ionische Flüssigkeit oder eine ionische Flüssigkeit 105, die mit einer von der ionischen Flüssigkeit abweichenden Substanz vermischt ist, in ein Flüssigkeitsbad 108 füllt, und eine Ionenflüssigkeit-Einstellsteuereinheit 107, die die Einstellung der ionischen Flüssigkeit oder der ionischen Flüssigkeit 105, die mit einer von der ionischen Flüssigkeit abweichenden Substanz vermischt ist, steuert. Es ist festzustellen, dass die Konfiguration der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfkörpers für das elektronenmikroskopische Verfahren eine Konfiguration sein kann, bei der die Vorrichtung an der Probenkammer oder an der Absaugkammer eines Elektronenmikroskops angebracht ist.

[0062] Nachstehend wird ein Verfahren zum Auftragen einer ionischen Flüssigkeit gemäß dieser Ausführungsform beschrieben. Bei dieser Ausführungsform handelt es sich bei der Probe 101 um eine SiO_2 -Probe mit Linienrillenmustern und bei der ionischen Flüssigkeit 105 um 1-Butyl-3-methylimidazolium-bis-(trifluormethylsulfonyl)-imid mit einem Gehalt an 95% reinem Wasser. Zunächst wird die Probe 101 auf die Probenhalteeinheit 102 gelegt. Die Probenhalteeinheit 102 wird abgesenkt und die Probe 101 wird in das Flüssigkeitsbad 108 gebracht, das mit der ionischen Flüssigkeit gefüllt ist, die vorher mit der Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit 106 eingestellt worden ist. Anschließend wird die Probenhalteeinheit 102 nach oben gezogen, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit der Antriebseinheit 103 durch die Antriebssteuereinheit 104 gesteuert wird. Die ionische Flüssigkeit 105 wird dadurch auf die Probe 101 aufgebracht. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Antriebseinheit 103 wird so gesteuert, dass die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit 105 gesteuert werden kann. Bei dieser Ausführungsform wurde die Geschwindigkeit, mit der die Probenhalteeinheit 102 aus dem Flüssigkeitsbad 108 nach oben gezogen wurde, auf 5 cm/min eingestellt. Dabei wurde die ionische Flüssigkeit 105 als dünner Film aufgetragen. Anschließend wurde die Probe 101 in die Absaugkammer zur Luftspülung gebracht. Durch die Luftspülung wird das in der ionischen Flüssigkeit enthaltene reine Wasser verdampft

und die ionische Flüssigkeit wird zu einem Dünnschicht geformt. Bei dieser Ausführungsform wurde die Vakuumabsaugung durchgeführt, bis der Druck der Absaugkammer einen Wert von 2×10^{-2} Pa erreicht hatte. Es ließ sich zeigen, dass die Filmsdicke des auf der Probe **101** gebildeten Dünnschichts aus der ionischen Flüssigkeit **105 100** Monolayers betrug, wobei man sich des Verfahrens zur Messung der Filmsdicke gemäß der zweiten Ausführungsform bediente. Bei Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform ist es möglich, die Filmsdicke der ionischen Flüssigkeit auf der Probe mit hoher Genauigkeit zu steuern.

Siebte Ausführungsform

[0063] Bei dieser Ausführungsform wird eine Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren beschrieben, wobei es sich um eine weitere Konfiguration handelt, die sich von der Konfiguration beim Verfahren der dritten Ausführungsform unterscheidet.

[0064] Fig. 17 ist ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Die Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Probe **111**, eine Probenhalteeinheit **112**, die die Probe **111** hält, eine Heizvorrichtung **113**, eine Temperatursteuereinheit **114**, ein Film aus einer ionischen Flüssigkeit **115**, eine Filmhalteeinheit **116**, die den Film **115** aus der ionischen Flüssigkeit hält, eine Antriebseinheit **117**, die die Filmhalteeinheit **116** bewegt, und eine Antriebssteuereinheit **118**. Dabei handelt es sich beim Film aus der ionischen Flüssigkeit um eine ionische Flüssigkeit in Gestalt einer Platte oder in Gestalt eines Films. Es ist festzustellen, dass die Konfiguration der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren eine Konfiguration sein kann, bei der die Vorrichtung am Probenhalter, der Probenkammer oder der Absaugkammer eines Elektronenmikroskops angebracht ist.

[0065] Nachstehend wird ein Verfahren zum Auftragen einer ionischen Flüssigkeit gemäß dieser Ausführungsform beschrieben. Bei dieser Ausführungsform handelt es sich bei der Probe **111** um eine SiO_2 -Probe mit Linienrillenmustern. Zunächst wird die Probe **111** auf die Probenhalteeinheit **112** gebracht. Sodann wird die Filmhalteeinheit **116** abgesenkt, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit der Antriebseinheit **117** durch die Antriebssteuereinheit **118** gesteuert wird. Die ionische Flüssigkeit **115** wird in innigen Kontakt mit der Probe **111** gebracht. Die Temperatur der Heizvorrichtung **113** wird durch die Temperatur-

steuereinheit **114** entsprechend dem Typ der Probe **111** und dem Typ des Films **115** aus der ionischen Flüssigkeit gesteuert. Eine ionische Flüssigkeit wird auf die Probe **111** aufgebracht. Da sich die Viskosität der ionischen Flüssigkeit bei einer hohen Temperatur verringert, kann die ionische Flüssigkeit auf die Probe aufgetragen werden. Bei dieser Ausführungsform wurde die Temperatur der Heizvorrichtung auf 60°C eingestellt und die ionische Flüssigkeit wurde auf die Probe **111** aufgetragen, indem der Film **115** aus der ionischen Flüssigkeit in innigen Kontakt mit der Probe **111** gebracht wurde. Durch das Verfahren zur Messung der Filmsdicke gemäß der zweiten Ausführungsform wurde gezeigt, dass die Filmsdicke der auf der Probe **111** gebildeten ionischen Flüssigkeit **1** Monolayer betrug. Bei Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform ist es möglich, die Filmsdicke der ionischen Flüssigkeit des Beobachtungsprüfkörpers durch Steuerung der Temperatur der Heizvorrichtung genau zu steuern.

Achte Ausführungsform

[0066] Bei dieser Ausführungsform wird eine Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren beschrieben, wobei die Ausführungsform eine von dem in der dritten Ausführungsform beschriebenen Verfahren abweichende Konfiguration aufweist. Fig. 18 ist ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Die Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Probe **121**, eine Probenhalteeinheit **122**, die die Probe hält, eine Ozonbehandlungsquelle **123**, eine Ozonbehandlungsquellen-Steuereinheit **124**, eine Ionenflüssigkeit-Abgabereinheit **125**, eine Abgabesteuereinheit **126**, ein Antriebsmechanismus **127**, der die Ionenflüssigkeit-Abgabereinheit **125** bewegt, eine Antriebssteuereinheit **128**, die die Position und die Bewegungsgeschwindigkeit der Ionenflüssigkeit-Abgabereinheit **125** steuert, eine Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit **129**, die eine ionische Flüssigkeit mit einer von der ionischen Flüssigkeit abweichenden Substanz vermischt, eine Ionenflüssigkeit-Einstellsteuereinheit **140**, die die Einstellung der ionischen Flüssigkeit steuert, ein Ventil **141**, ein Absaugmechanismus **142**, eine Absaugkammer **143**, eine Absaugsteuereinheit **144**, eine Heizvorrichtung **145** und eine Temperatursteuereinheit **146**. Es ist festzustellen, dass die Konfiguration für die Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren eine Konfiguration sein kann, bei der die Vorrichtung an der Probenkammer oder der Absaugkammer eines Elektronenmikroskops angebracht ist.

[0067] Nachstehend wird ein Verfahren zum Auftragen einer ionischen Flüssigkeit gemäß dieser Ausführungsform beschrieben. Zunächst wird eine ionische Flüssigkeit oder eine ionische Flüssigkeit, die mit einer von der ionischen Flüssigkeit abweichenden Substanz vermischt ist, an der Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit 129 vorher entsprechend der Probe **121** hergestellt. Da bei dieser Ausführungsform es sich bei der Probe **121** um eine SiO₂-Probe mit Linierrillenmustern handelt, wurde reines Wasser mit 1-Butyl-3-methylimidazolium-tetrafluorborat zur Erzielung einer Flüssigkeit mit einer Konzentration von 1% vermischt. Anschließend werden die Auftragebedingungen für die Ozon-Auftragequelle **123** durch die Ozon-Auftragequellen-Steuereinheit **124** je nach dem Typ der Probe **121** und der ionischen Flüssigkeit gesteuert. Ozon wird auf die Probe **121**, die sich auf der Probenhalteeinheit **122** befindet, aufgebracht. Da das aufgebrachte Ozon den Oberflächenzustand der Probe **121** verbessert, wird die Benetzbarkeit mit der Flüssigkeit verändert. Bei dieser Ausführungsform wurde Ozon 1 Sekunde lang auf die Probe **121** aufgebracht. Anschließend wird die Menge der abgegebenen ionischen Flüssigkeit mit der Abgabesteuereinheit **126** gesteuert und die ionische Flüssigkeit wird aufgetragen. Bei dieser Ausführungsform wurde die ionische Flüssigkeit durch ein Tintenstrahlverfahren abgegeben. Um außerdem zu verhindern, dass das Lösungsmittel der ionischen Flüssigkeit mit einer Konzentration von 1% aufgrund der Wärmeeinwirkung vor der Abgabe verdampft, wurde die ionische Flüssigkeit durch ein Piezoverfahren und nicht durch ein thermisches Verfahren abgegeben. Die Menge der pro Entladung abgegebenen ionischen Flüssigkeit hängt vom Düsendurchmesser und der angelegten Spannung ab und kann im Femtoliter- bis Mikroliter-Bereich gesteuert werden. Bei dieser Ausführungsform wurde die Menge pro Entladung auf 2 Picoliter eingestellt. Da die ionische Flüssigkeit in Verbindung mit der Verdampfung des Lösungsmittels koagulierte, wenn die Anzahl der Entladungen **1.000** oder mehr betrug, wurde die Anzahl der Entladungen pro Stelle auf 500 eingestellt. Anschließend wird gleichermaßen der Antriebsmechanismus **127** durch die Antriebssteuereinheit **128** gesteuert, die Ionenflüssigkeit-Abgabereinheit 125 wird bewegt und die ionische Flüssigkeit wird aufgetragen. Beim Auftragen der ionischen Flüssigkeit oder nach dem Auftragen der ionischen Flüssigkeit wird die Temperatur der Heizvorrichtung **145** durch die Temperatursteuereinheit **146** gesteuert und die Temperatur der Probe **121** wird je nach dem Typ der Probe, dem Typ der ionischen Flüssigkeit und der Entladungsmenge eingestellt. Die Temperatur der Probe **121** wird eingestellt, um die Benetzbarkeit zwischen der Probe und der ionischen Flüssigkeit zu verändern, so dass es möglich ist, einen Zustand zu erreichen, bei dem die Form der aufzutragenden ionischen Flüssigkeit so beschaffen ist, dass sie in vorteilhafter Weise einen Dünnschicht bildet. Bei dieser Ausführungsform wurde

die Temperatur der Probe **121** beim Auftragen der ionischen Flüssigkeit auf 40°C eingestellt. Anschließend wird der Absaugmechanismus **142** durch die Absaugsteuereinheit **144** gesteuert und die Absaugkammer **143** wird einem Vakuumabsaugvorgang unterworfen. Wenn die ionische Flüssigkeit eine Substanz enthält, die unter Vakuum verdampft, unterliegt die Substanz unter dem Vakuum einer Verdampfung durch die Vakuumabsaugung, so dass die ionische Flüssigkeit einen Dünnschicht bilden kann. Bei dieser Ausführungsform wurde der Vakuumabsaugvorgang durchgeführt, bis der Druck der Absaugkammer **143** einen Wert von 1×10^{-4} Pa erreichte, was fast die gleiche Vakuumstärke wie bei der elektronenmikroskopischen Betrachtung darstellt. Reines Wasser wurde verdampft. Bei Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfkörpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform ist es möglich, die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit des Betrachtungsprüfkörpers sehr genau zu steuern, indem man die Ozon-Anwendungsbedingungen, die Einstellung der ionischen Flüssigkeit, die Menge der abgegebenen ionischen Flüssigkeit, die Temperatur der Probe und die Luftspülung steuert. Es ist festzuhalten, dass bei dieser Ausführungsform Ozon aufgebracht wird. Es kann jedoch auch eine Einwirkung mit Ultraviolettstrahlen oder Plasma vorgenommen werden.

Bezugszeichenliste

2	Probe
3	Flüssiges Medium mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit
5	Primärelektron
6	Bereich, in den ein Primärelektron gelangt
10	Elektronenquelle
11	Kondensorlinse
12	Diaphragma
13	Ablenkvorrichtung
14	Objektivlinse
15	Probenstation
16	Probenhalter
17	Probe
18	Detektor
19	Pulsbildungseinheit
20	Elektronenquellen-Steuereinheit
21	Kondensorlinse-Steuereinheit

22	Ablenkungssignal-Steuer- einheit	105	Ionische Flüssigkeit oder ionische Flüssigkeit, die mit einer von der ioni- schen Flüssigkeit abwei- chenden Substanz ver- mischt ist
23	Nachweissignal-Verarbei- tungseinheit		
24	Bilderzeugungseinheit		
25	Bildanzeigeeinheit	106	Ionenflüssigkeit-Einstell- einheit
26	SEM-Steuereinheit		
27	Bedienungsinterface	107	Ionenflüssigkeit-Einstell- steuereinheit
28	Amperemeter	108	Flüssigkeitsbad
29	Substratstrom-Analysier- einheit	111	Probe
30	Pulssteuereinheit	112	Probenhalteeinheit
31	Detektorsteuereinheit	113	Heizvorrichtung
32	Probenkammer	114	Temperatursteuereinheit
72	Ionenflüssigkeit-Einstell- einheit	115	Ionenflüssigkeitsfilm
		116	Filmhalteeinheit
73	Ionenflüssigkeit-Abgabe- einheit	117	Antriebseinheit
		118	Antriebssteuereinheit
74	Probe	121	Probe
75	Probenhalter	122	Probenhalteeinheit
76	Probenhalteeinheit	123	Ozon-Anwendungsquelle
77	Probenhalteeinheit-Rotati- onsmechanismus	124	Ozon-Anwendungsquel- len-Steuereinheit
80	Ventil	125	Ionenflüssigkeit-Abgabe- einheit
81	Absaugmechanismus		
82	Absaugkammer	126	Abgabesteuereinheit
84	Ionenflüssigkeit-Einstel- lungssteuereinheit	127	Antriebsmechanismus
		128	Antriebssteuereinheit
85	Abgabesteuereinheit	129	Ionenflüssigkeit-Einstell- einheit
86	Rotationssteuereinheit		
87	Absaugsteuereinheit	130, 131, 132	Fenster
91	Abhängigkeit der Sekun- därelektronen-Emissions- ausbeute eines Fotolacks von der Beschleunigungs- spannung	140	Ionenflüssigkeit-Einstell- steuereinheit
		141	Ventil
		142	Absaugmechanismus
92	Abhängigkeit der Sekun- därelektronen-Emissions- ausbeute einer ionischen Flüssigkeit von der Be- schleunigungsspannung	143	Absaugkammer
		144	Absaugsteuereinheit
		145	Heizvorrichtung
		146	Temperatursteuereinrich- tung
101	Probe		
102	Probenhalteeinheit		
103	Antriebseinheit		
104	Antriebssteuereinheit		

Patentansprüche

1. Elektronenmikroskopisches Verfahren, umfas-
send die folgenden Schritte:

Messen (42) der Filmdicke eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms oder in Gestalt eines Netzfilms auf einer Probe (17);

Steuern (43) der Bestrahlungsbedingungen mit Primärelektronen auf der Basis der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit; und

Durchführen (44) einer Bestrahlung mit Primärelektronen unter den Strahlungsbedingungen für die Primärelektronen und Abbilden einer Form der Probe.

2. Elektronenmikroskopisches Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend die folgenden Schritte:

Auftragen (52) des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf eine Betrachtungsoberfläche der Probe (17); und

Formen (53) des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf der Probe zu einem Dünnsfilm.

3. Elektronenmikroskopisches Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Verfahren die mehrfache Durchführung der folgenden Schritte umfasst:

Auftragen (63) des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf die Betrachtungsoberfläche der Probe (17);

Formen (64) des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf der Probe zu einem Dünnsfilm; und

Messen (65) der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit.

4. Elektronenmikroskopisches Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt (42) des Messens der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit die folgenden Unter-schritte umfasst:

Bestrahlen einer Betrachtungsoberfläche der Probe (17) mit Pulselektronen;

Erfassen eines von den Pulselektronen emittierten Sekundärelektronen-signals; und

Analysieren der Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute von der Primärelektronen-Beschleunigungsspannung aus dem Sekundärelektronensignal.

5. Elektronenmikroskopisches Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt (42) des Messens der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit die folgenden Unter-schritte umfasst:

Messen eines Substratstroms, der induziert wird, wenn eine Betrachtungsoberfläche der Probe (17) mit Primärelektronen bestrahlt wird; und

Analysieren der Abhängigkeit des gemessenen Substratstroms von der Primärelektronen-Beschleunigungsspannung.

6. Elektronenmikroskop, umfassend:

eine Elektronenquelle (10), die zur Emission von Primärelektronen konfiguriert ist;

einen Probenhalter (16), der zum Halten einer Probe (17) konfiguriert ist;

eine Absaugkammer (82), an der der Probenhalter angebracht ist und die zum Absaugen von Luft konfiguriert ist;

ein Linsensystem (11, 14), das zur Fokussierung der Primärelektronen auf die Probe konfiguriert ist;

eine Ablenkvorrichtung (13), die zum Abtasten der Primärelektronen konfiguriert ist;

einen Detektor (18), der zum Erfassen von von der Probe durch die Primärelektronen emittierten Sekundärelektronen konfiguriert ist;

eine Bilderzeugungseinheit (24), die zur Erzeugung eines Bilds unter Verwendung der Sekundärelektronen konfiguriert ist;

eine Probenkammer (32), an der der Probenhalter platziert wird;

einen Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnsfilms oder in Gestalt eines Netzfilms auf der Probe konfiguriert ist; und

eine Strahlungsbedingungen-Steuereinheit (26) für die Primärelektronen auf der Basis der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf der Probe.

7. Elektronenmikroskop nach Anspruch 6, wobei der Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit konfiguriert ist, Folgendes umfasst:

eine Pulsbildungseinheit (19), die zur Bildung von Pulselektronen so konfiguriert ist, dass die Primärelektronen gepulst werden;

eine Sekundärelektronen-Signalanalysiereinheit, die zum Analysieren einer Sekundärelektronen-Emissionsausbeute aus einem von der Probe (17) durch die Pulselektronen emittierten Sekundärelektronensignal konfiguriert ist; und

eine Sekundärelektronen-Emissionsausbeute-Analysiereinheit, die zum Analysieren der Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute von der Primärelektronen-Beschleunigungsspannung konfiguriert ist.

8. Elektronenmikroskop nach Anspruch 6, wobei der Messmechanismus, der zur Messung der Filmdicke des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit konfiguriert ist, Folgendes umfasst:

eine Substratstrom-Messeinheit (28), die zur Messung eines Substratstroms konfiguriert ist, der induziert wird, wenn die Probe (17) mit den Primärelektronen bestrahlt wird; und

eine Substratstrom-Analysiereinheit (29), die zum Analysieren der Abhängigkeit des Substratstroms

von der Primärelektronen-Beschleunigungsspannung konfiguriert ist.

9. Elektronenmikroskop nach Anspruch 6, wobei eine Auftrageinheit (125), die zum Auftragen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf eine Betrachtungsoberfläche der Probe (17) konfiguriert ist, am Probenhalter (16) oder an der Probenkammer (32), an der die Probe gehalten wird, enthalten ist.

10. Elektronenmikroskop nach Anspruch 9, wobei ein Mechanismus, der zur Bildung des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit, die auf die Probe (17) aufgetragen wird, zu einem Dünnfilm konfiguriert ist, am Probenhalter (16) oder der Probenkammer (32), wo die Probe gehalten wird, enthalten ist.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

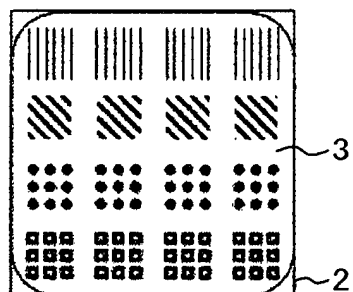


FIG. 1B

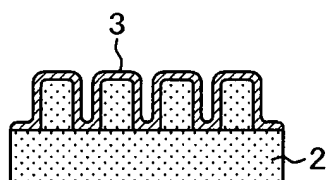


FIG. 2A

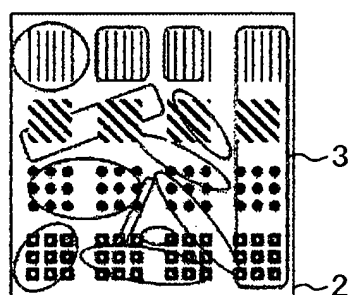


FIG. 2B

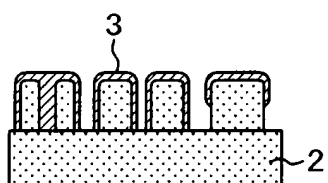


FIG. 3A

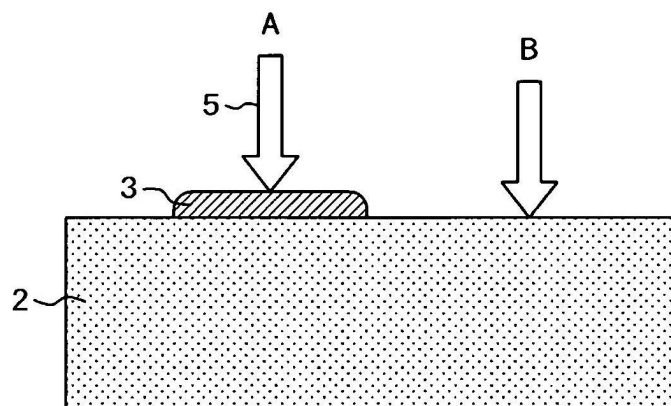


FIG. 3B

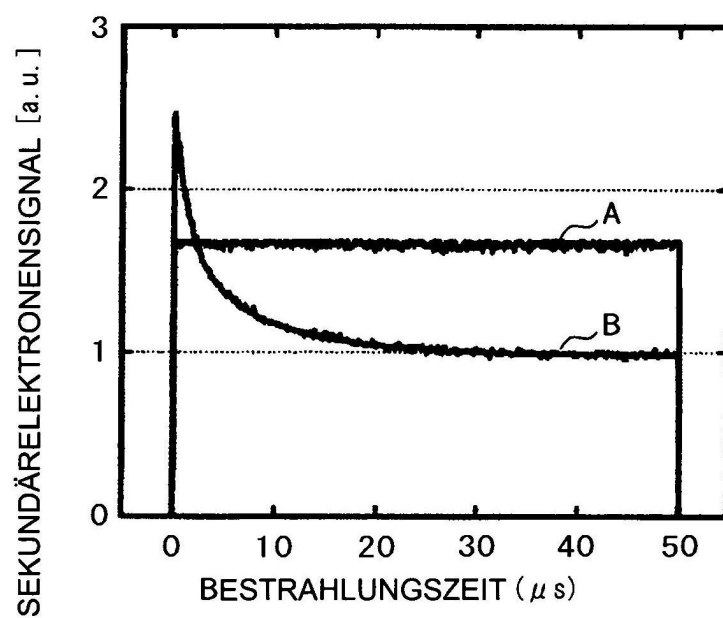


FIG. 4

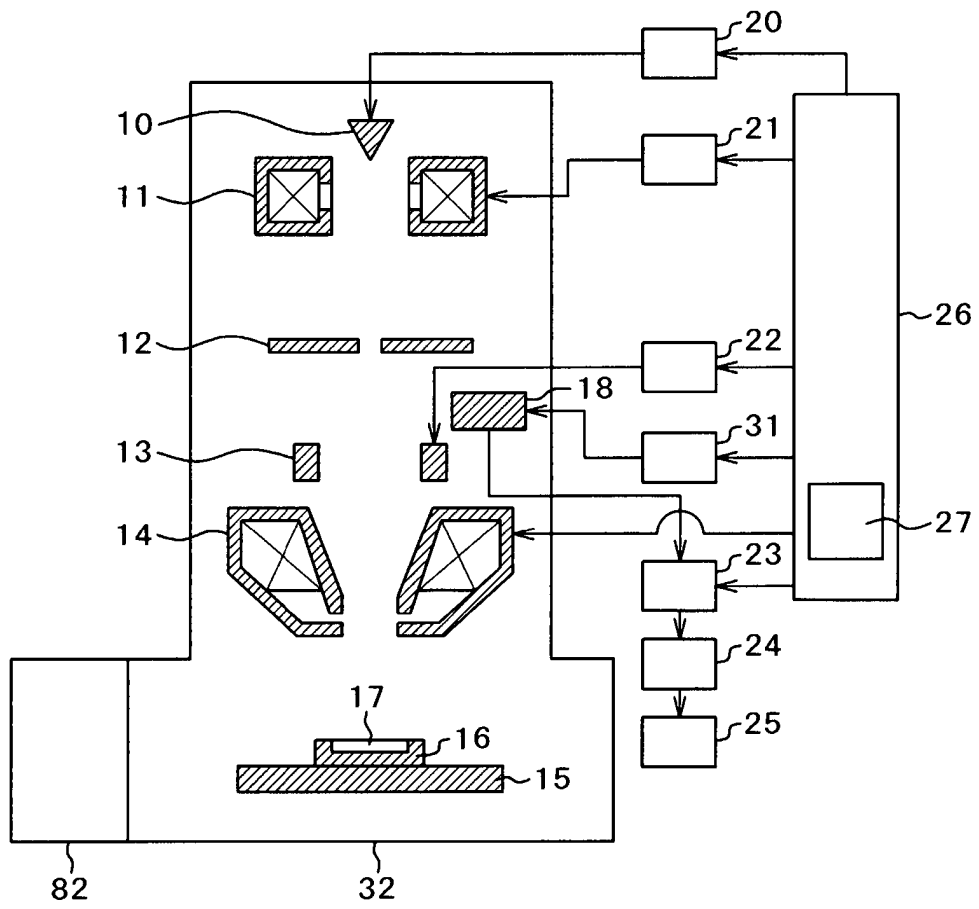


FIG. 5A

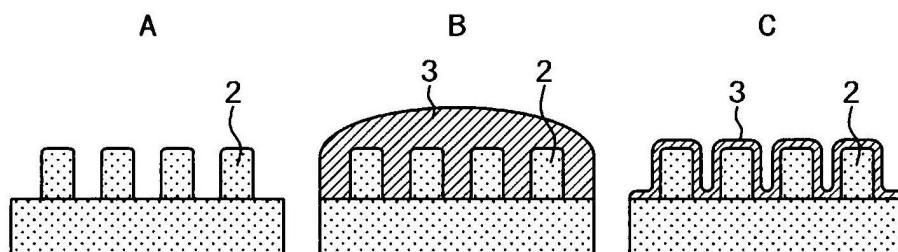


FIG. 5B

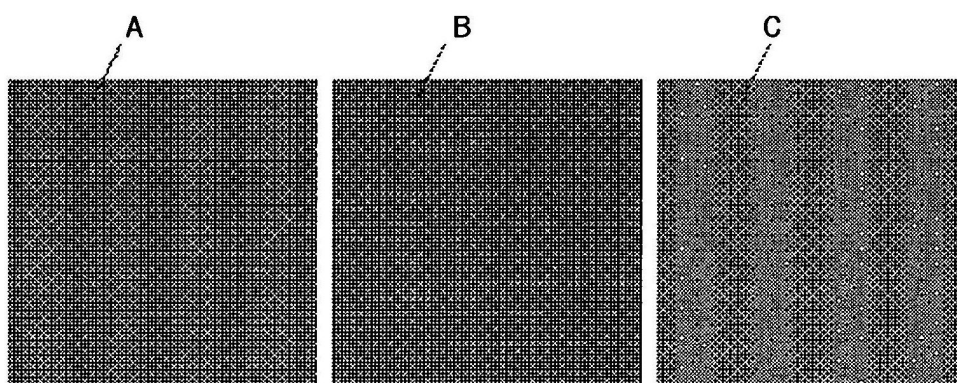


FIG. 5C

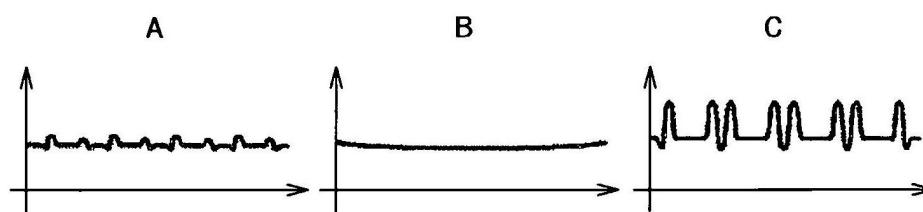


FIG. 6

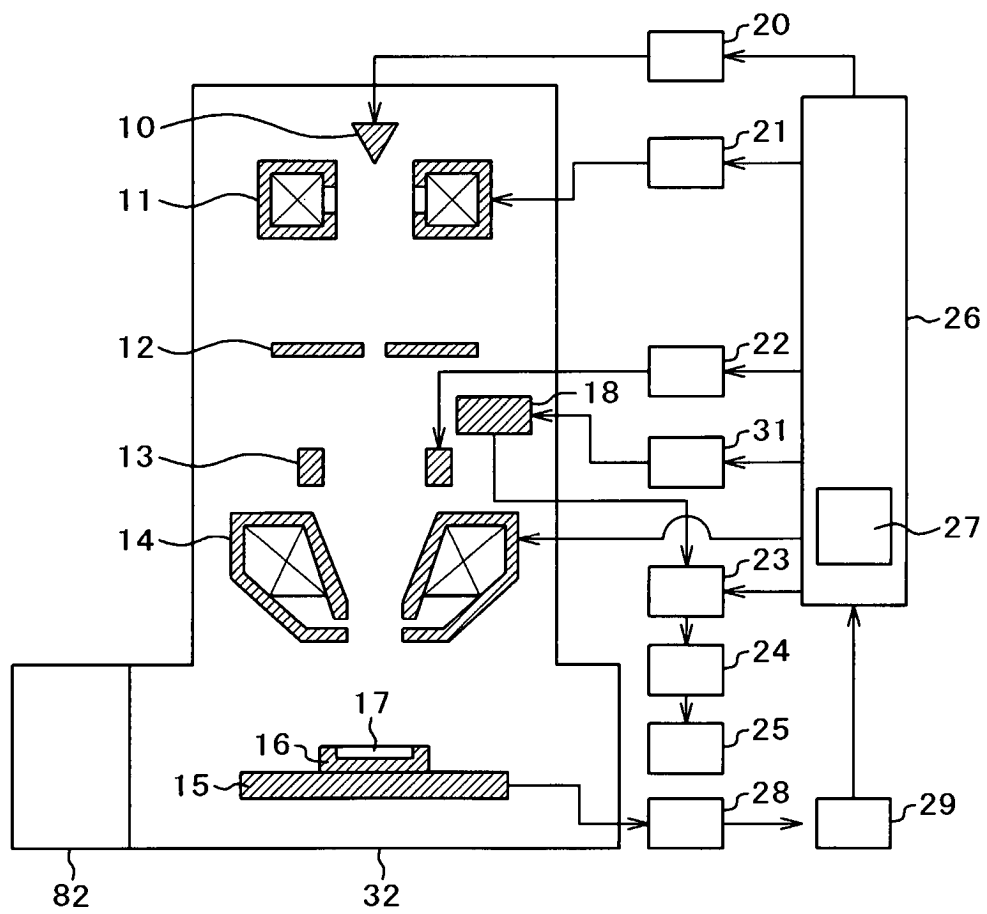


FIG. 7

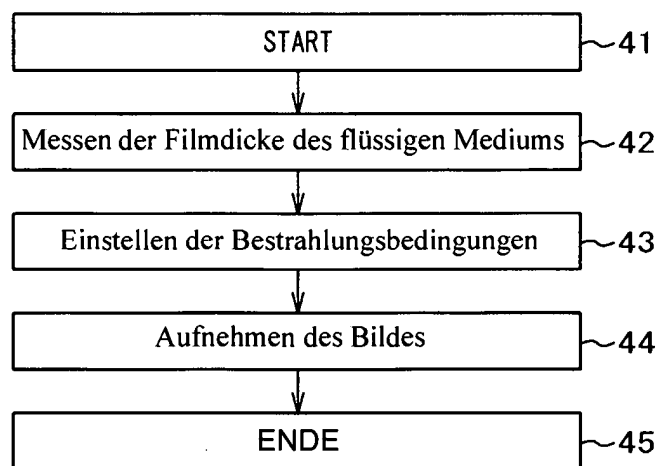


FIG. 8A

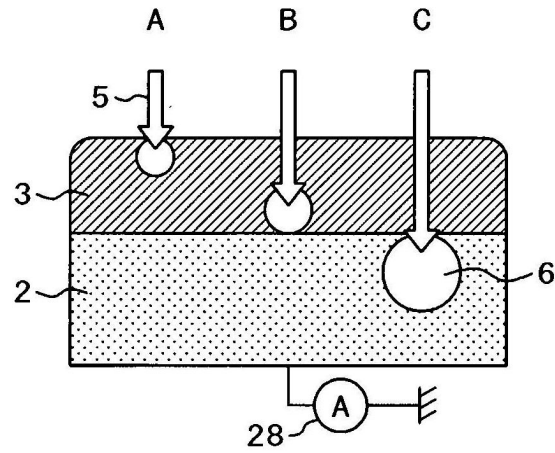


FIG. 8B

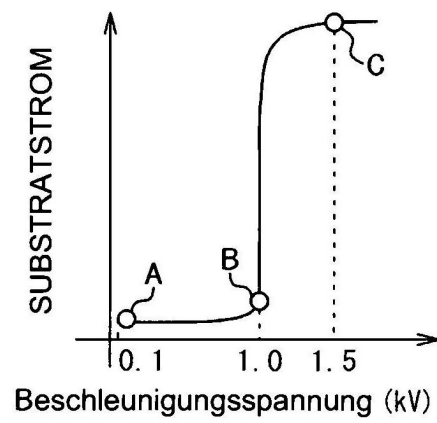


FIG. 9A

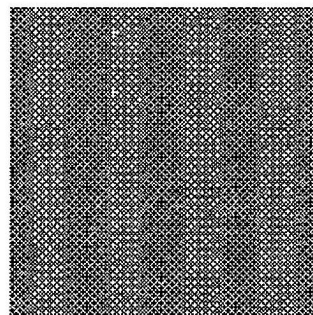


FIG. 9B

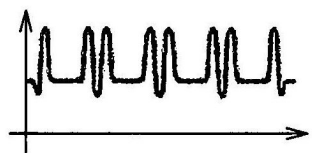


FIG. 10

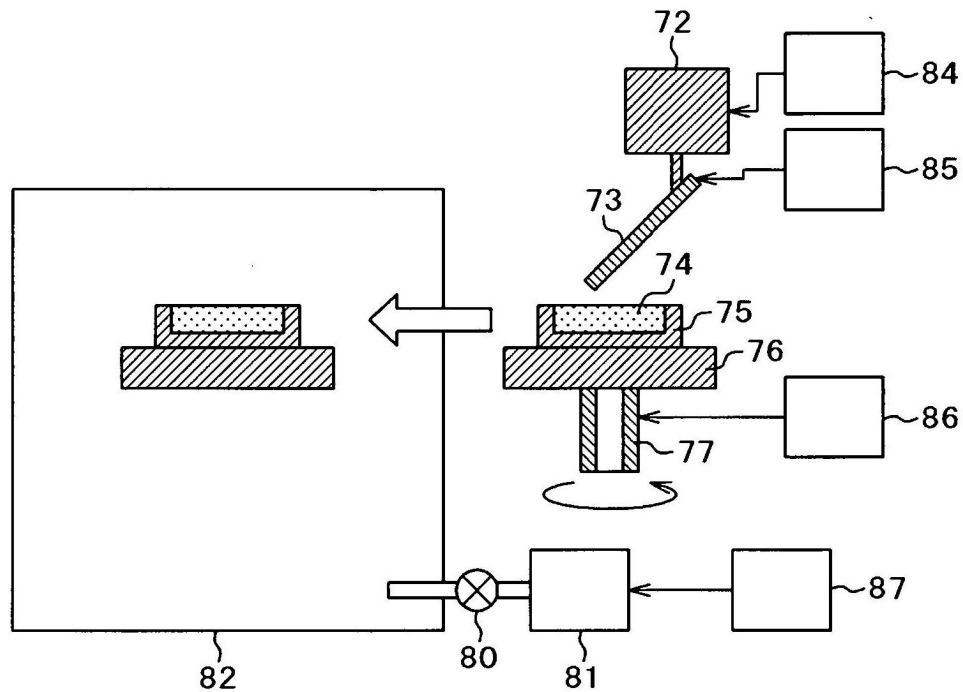


FIG. 11

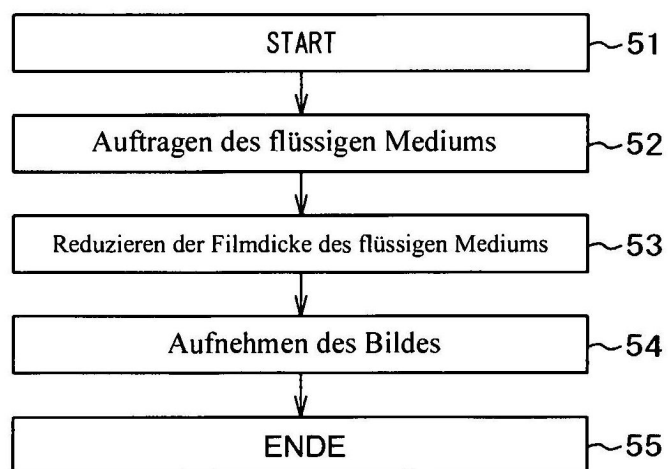


FIG. 12

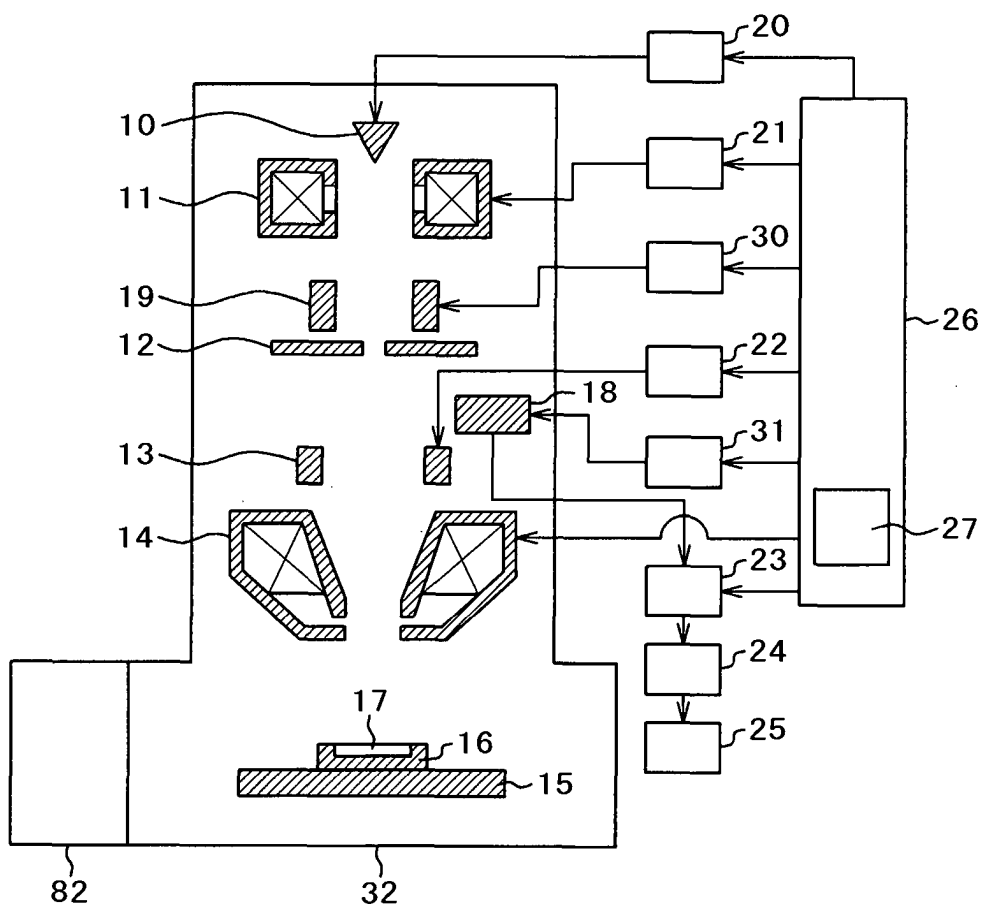


FIG. 13

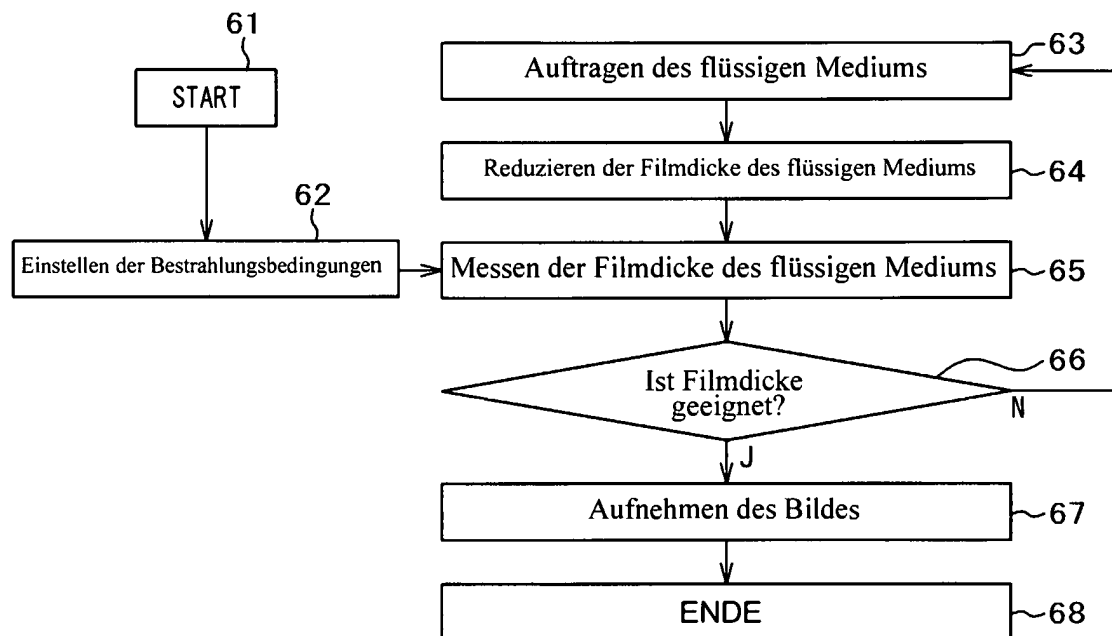


FIG. 14

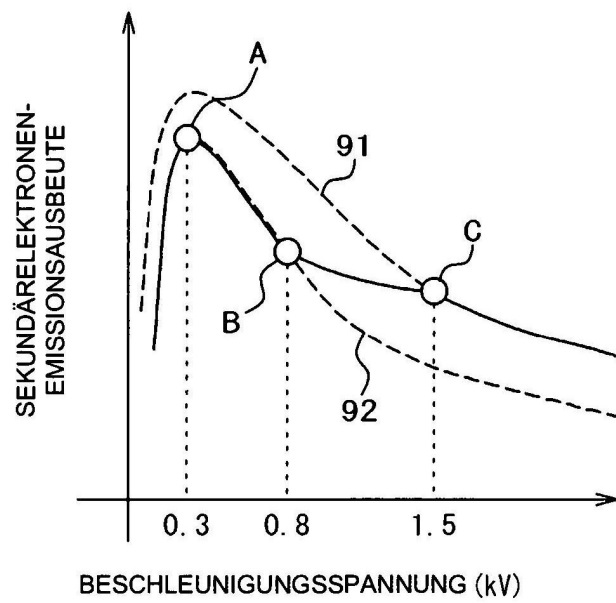
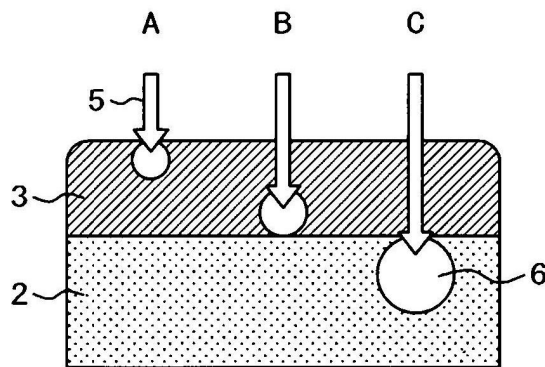


FIG. 15A

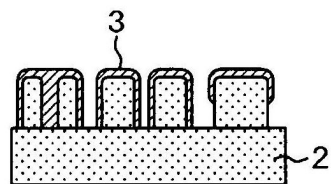


FIG. 15B

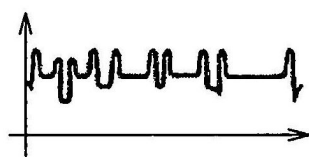


FIG. 16

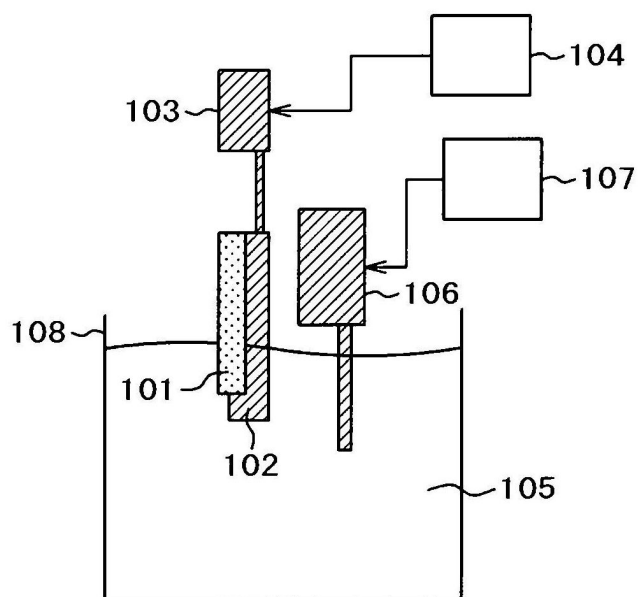


FIG. 17

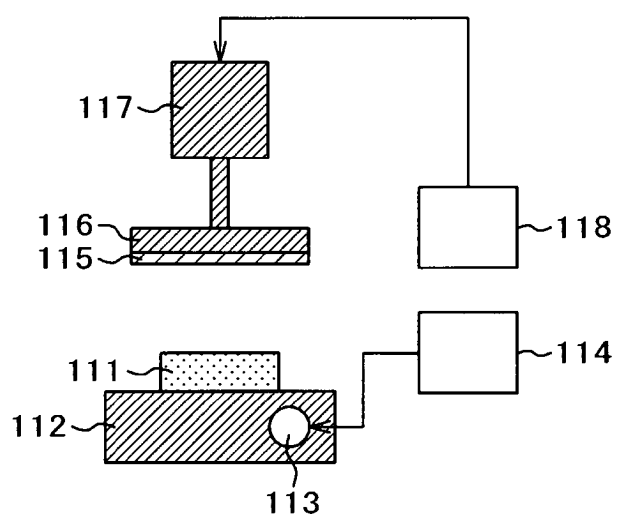


FIG. 18

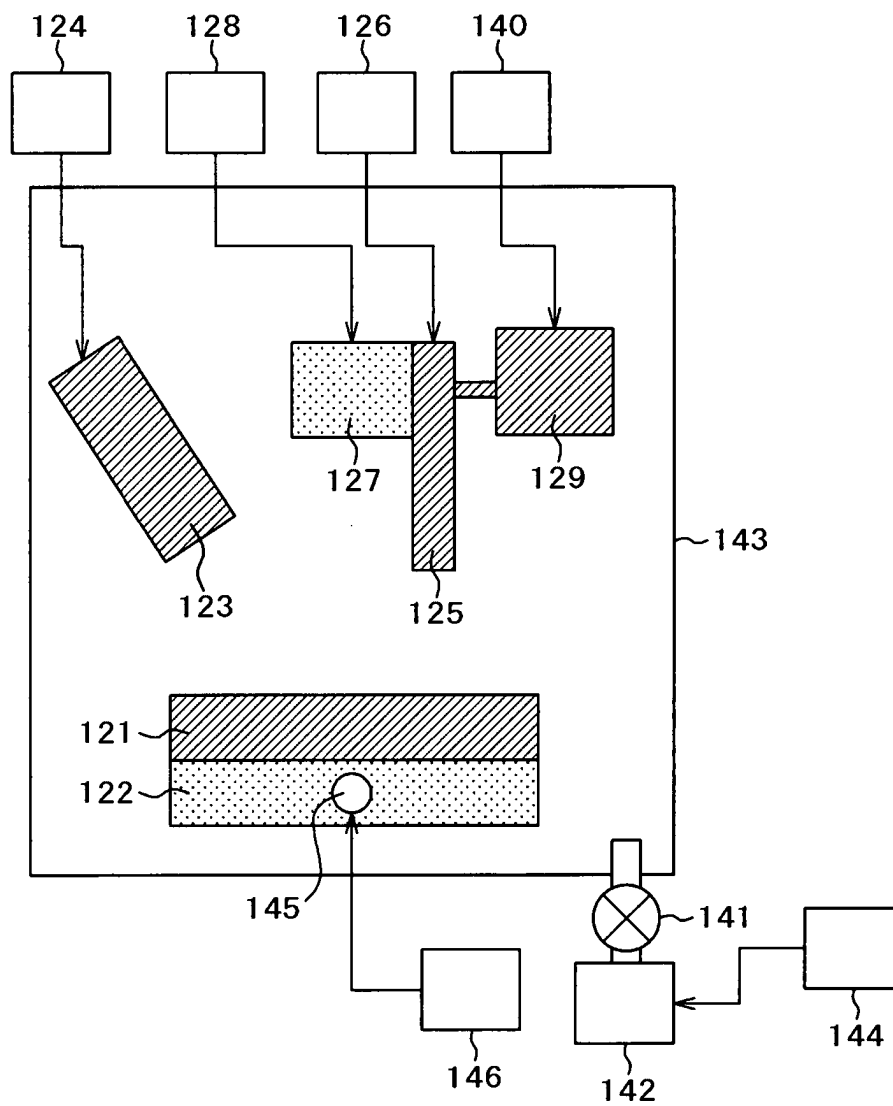


FIG. 19

