



(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-Anmelddatag: 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).

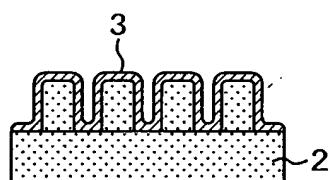
(30) Unionspriorität: 2011-241040	02.11.2011	JP	Corp, Tokyo, JP; Konomi, Mami, c/o Hitachi High-Techno. Corp., Tokyo, JP; Watanabe, Shunya, c/o Hitachi High-Techno. Corp., Tokyo, JP; Kimura, Yoshinobu, c/o Hitachi, Ltd., Tokyo, JP; Tsuno, Natsuki, c/o Hitachi, Ltd., Tokyo, JP
(73) Patentinhaber: HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION, Tokyo, JP			(56) Ermittelter Stand der Technik:
(74) Vertreter: derzeit kein Vertreter bestellt			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
(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			

(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 Dünnpfils 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**Technisches Gebiet**

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

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 elektronenmikroskopisches Verfahren sowie ein Elektronenmikroskop offenbart, bei dem vor der elektronenmikroskopischen Untersuchung eine dünne Schicht einer ionischen Flüssigkeit auf die Probenoberfläche aufgetragen wird.

Zitierte Literatur**Patentliteratur**

Patentliteratur 1: Internationale Patentveröffentlichung WO 2007/083756 A1

Patentliteratur 2: Japanische Offenlegungsschrift JP 2000/195459 A

Patentliteratur 3: US-Offenlegungsschrift US 2009/0173882 A1

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 Dünnfilmgestalt oder in einer Netzfilmgestalt bereitgestellt. Der aus dem flüssigen Medium, das eine ionische Flüssigkeit umfasst, bestehende Dünnfilm oder Netzfilm des Betrachtungsprüfkörpers wird entsprechend einer Probengestaltung 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 Dünnfilmgestalt 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 Betrachtungsüberfläche der Probe; und Formen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit zu einem Dünnfilm. 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 Dünnfilmgestalt 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 Betrachtungsüberfläche der Probe; Formen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit zu einem Dünnfilm; 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 Dünnfilm 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 Betrachtungssoberfläche 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 Dünnfilm formt.

[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 Betrachtungssoberfläche 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 Dünnfilm 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 Betrachtungsprüförpers gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[Fig. 2B] Fig. 2B ist eine Querschnittsansicht des beispielhaften Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpern.

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

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

[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 Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers zur Verwendung in der fünften Ausführungsform.

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

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

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

[Fig. 18] Fig. 18 ist ein Blockdiagramm einer beispielhaften Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers 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-

rung der vorliegenden Erfindung dar, die den Schutzumfang 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 Dünnfilms vorliegt. Fig. 1B ist eine Querschnittsansicht des Betrachtungsprüfkörpers, bei dem das flüssige Medium mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnfilms 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 Dünnfilms 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 Dünnfilms 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-tetrafluoroborat, 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, zugesetzt 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 Dünnfilms 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 elektro-optisches 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 Nachweisignal-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/us 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 Dünnfilms 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 Betrachtungsprüförpers, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnfilms 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 Betrachtungsprüförpers bedient, bei dem eine ionische Flüssigkeit auf die Probe in Gestalt eines Dünnfilms 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 Betrachtungsprüföpfer verwendet, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe in Gestalt eines Dünnfilms 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 Betrachtungsprüföpfer aufgebracht worden ist, soll beispielsweise 1 Monolayer oder mehr oder 100 Monolayers oder weniger betragen.

[0036] **Fig. 3A** zeigt eine Probe **2** und einen Betrachtungsprüföpfer, bei dem die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnfilms 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 Betrachtungsprüföpfer die ionische Flüssigkeit auf die Probe **2** in Gestalt eines Dünnfilms 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 Dünnfilms 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 Dünnfilms 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 Dünnfilms 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 Dünnfilm 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 Dünnfilms 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 Dünnfilms 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 Dünnfilms 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 elektro-optisches 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 elektro-optische 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-Analyseeinheit **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-

schleunigungsspannung 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-Analyseeinheit **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 Dünnfilm aus der ionischen Flüssigkeit und erreichen die Probe. Um somit die Anzahl der Elektronen, mit der die Probe bestrahlt wird, im Hinblick auf eine Probenbeschädigung 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 Betrachtungsprüfköpers 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 Betrachtungsprüfköpers 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 Dünnfilms 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 Betrachtungsprüfköpers beschrieben, wobei eine ionische Flüssigkeit auf eine Probe aufgetragen und anschließend zu einem Dünnfilm geformt wird. Bei dieser Ausführungsform wurde eine Photolackprobe (Resist) mit Linienrillenmuster verwendet.

[0045] **Fig. 10** ist ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfköpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Dabei handelt es sich bei der Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüfköpers 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 Rotationssteuer-Einheit **86** und eine Absaugsteuereinheit **87**. Obgleich die Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüfköpers 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 Betrachtungsprüfköpers 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 Dünnfilm geformt (Stufe 53). Bei dieser Ausführungsform wurde die ionische Flüssigkeit zu einem Dünnfilm unter Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüförpers von **Fig. 10** geformt, indem die Probenhalteeinheit 76 unter Verwendung des Probenhalteeinheits-Rotationsmechanismus 77 rotiert wurde. Die Rotationssteuereinheit 86 steuerte die Rotationsgeschwindigkeit und die Rotationszeit so, dass die Probenhalteinheit 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 Dünnfilm 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 Dünnfilms durchgeführt wird.

[0048] Schließlich wird gemäß dem Fließdiagramm von **Fig. 11** ein Bild des Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers 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 Dünnfilms 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 Stationssystem, 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 Dünnfilm 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/µs betrug, wobei sich ein hohes SN-Verhältnis des Bilds ergab.

[0053] Anschließend wurde die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit des Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers 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 Dünnfilm 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 Betrachtungsprüförpers 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 Dünnfilms 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 Betrachtungsprüförpers, bei dem eine ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Netzfilsms vorliegt. Fig. 2B ist eine Querschnittsansicht des Betrachtungsprüförpers, bei dem die ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Netzfilsms vorliegt. Bei dieser Ausführungsform wird ein elektronenmikroskopisches Verfahren unter Verwendung eines Betrachtungsprüförpers beschrieben, bei dem die ionische Flüssigkeit in Gestalt eines Netzfilsms 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 SiO₂-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 Betrachtungsprüförpers. Wie in Fig. 15A dargestellt ist, verändert sich beim Betrachtungsprüförpert 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 Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpert mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit zu messen.

Sechste Ausführungsform

[0060] Bei dieser Ausführungsform wird eine Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Die Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers für das elektronenmikroskopische Verfahren ist aus folgenden Be-standteilen gebildet: eine Probe 101, eine Probenhalteeinheit 102, die eine Probe hält, eine Antriebs-einheit 103, die die Probenhalteeinheit 102 frei nach oben und nach unten bewegt, eine Antriebssteuer-einheit 104, die die Position und die Bewegungsge-schwindigkeit der Probenhalteeinheit 102 steuert, ei-ne 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 Flüs-sigkeit 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 Herstel-lung des Betrachtungsprüförpers für das elektronen-mikroskopische Verfahren eine Konfiguration sein kann, bei der die Vorrichtung an der Probenkammer oder an der Absaugkammer eines Elektronenmikro-skops angebracht ist.

[0062] Nachstehend wird ein Verfahren zum Auftra-gen einer ionischen Flüssigkeit gemäß dieser Aus-führungsform beschrieben. Bei dieser Ausführungs-form handelt es sich bei der Probe 101 um eine SiO₂-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 Ionen-flüssigkeit-Einstelleinheit 106 eingestellt worden ist. Anschließend wird die Probenhalteeinheit 102 nach oben gezogen, wobei die Bewegungsgeschwindig-keit der Antriebseinheit 103 durch die Antriebssteue-reinheit 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 einge-stellt. Dabei wurde die ionische Flüssigkeit 105 als dünner Film aufgetragen. Anschließend wurde die Probe 101 in die Absaugkammer zur Luftspülung ge-bracht. Durch die Luftspülung wird das in der ionischen Flüssigkeit enthaltene reine Wasser verdampft

und die ionische Flüssigkeit wird zu einem Dünnfilm 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 Filmdicke des auf der Probe 101 gebildeten Dünnfilms aus der ionischen Flüssigkeit 105 100 Monolayers betrug, wobei man sich des Verfahrens zur Messung der Filmdicke gemäß der zweiten Ausführungsform bediente. Bei Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform ist es möglich, die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit auf der Probe mit hoher Genauigkeit zu steuern.

Siebte Ausführungsform

[0063] Bei dieser Ausführungsform wird eine Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Die Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers 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 Filmhalteinheit 116, die den Film 115 aus der ionischen Flüssigkeit hält, eine Antriebseinheit 117, die die Filmhalteinheit 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 Betrachtungsprüförpers 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 SiO₂-Probe mit Linienrillenmustern. Zunächst wird die Probe 111 auf die Probenhalteinheit 112 gebracht. So dann wird die Filmhalteinheit 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 Filmdicke gemäß der zweiten Ausführungsform wurde gezeigt, dass die Filmdicke der auf der Probe 111 gebildeten ionischen Flüssigkeit 1 Monolayer betrug. Bei Verwendung der Vorrichtung zur Herstellung des Betrachtungsprüförpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform ist es möglich, die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit des Beobachtungsprüförpers durch Steuerung der Temperatur der Heizvorrichtung genau zu steuern.

Achte Ausführungsform

[0066] Bei dieser Ausführungsform wird eine Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers 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 Betrachtungsprüförpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform. Die Vorrichtung zur Herstellung eines Betrachtungsprüförpers ist aus folgenden Bestandteilen gebildet: eine Probe 121, eine Probenhalteinheit 122, die die Probe hält, eine Ozonbehandlungsquelle 123, eine Ozonbehandlungsquellen-Steuereinheit 124, eine Ionenflüssigkeit-Abgabeeinheit 125, eine Abgabesteuereinheit 126, ein Antriebsmechanismus 127, der die Ionenflüssigkeit-Abgabeeinheit 125 bewegt, eine Antriebssteuereinheit 128, die die Position und die Bewegungsgeschwindigkeit der Ionenflüssigkeit-Abgabeeinheit 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 Betrachtungsprüförpers 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 abweichen den 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 Lini enrillenmustern 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 Wärmeinwirkung 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-Abgabeeinheit 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 Dünnfilm 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 Dünnfilm 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 Betrachtungsprüf körpers für ein elektronenmikroskopisches Verfahren gemäß dieser Ausführungsform ist es möglich, die Filmdicke der ionischen Flüssigkeit des Betrachtungsprüf körpers 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 Ultraviolett strahlen 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-Steuereinheit	105	Ionische Flüssigkeit oder ionische Flüssigkeit, die mit einer von der ionischen Flüssigkeit abweichenden Substanz vermischt ist
23	Nachweissignal-Verarbeitungseinheit		
24	Bilderzeugungseinheit		
25	Bildanzeigeeinheit	106	Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit
26	SEM-Steuereinheit		
27	Bedienungsinterface	107	Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit
28	Amperemeter	108	Flüssigkeitsbad
29	Substratstrom-Analysiereinheit	111	Probe
30	Pulssteuereinheit	112	Probenhalteeinheit
31	Detektorsteuereinheit	113	Heizvorrichtung
32	Probenkammer	114	Temperatursteuereinheit
72	Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit	115	Ionenflüssigkeitsfilm
73	Ionenflüssigkeit-Abgabeeinheit	116	Filmhalteeinheit
74	Probe	117	Antriebseinheit
75	Probenhalter	118	Antriebssteuereinheit
76	Probenhalteeinheit	121	Probe
77	Probenhalteeinheit-Rotationsmechanismus	122	Probenhalteeinheit
80	Ventil	123	Ozon-Anwendungsquelle
81	Absaugmechanismus	124	Ozon-Anwendungsquellen-Steuereinheit
82	Absaugkammer	125	Ionenflüssigkeit-Abgabeeinheit
84	Ionenflüssigkeit-Einstellungssteuereinheit	126	Abgabesteuereinheit
85	Abgabesteuereinheit	127	Antriebsmechanismus
86	Rotationssteuereinheit	128	Antriebssteuereinheit
87	Absaugsteuereinheit	129	Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit
91	Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute eines Fotolacks von der Beschleunigungsspannung	130, 131, 132	Fenster
92	Abhängigkeit der Sekundärelektronen-Emissionsausbeute einer ionischen Flüssigkeit von der Beschleunigungsspannung	140	Ionenflüssigkeit-Einstelleinheit
101	Probe	141	Ventil
102	Probenhalteeinheit	142	Absaugmechanismus
103	Antriebseinheit	143	Absaugkammer
104	Antriebssteuereinheit	144	Absaugsteuereinheit
		145	Heizvorrichtung
		146	Temperatursteuereinrichtung

Patentansprüche

1. Elektronenmikroskopisches Verfahren, umfassend die folgenden Schritte:

Messen (42) der Filmdicke eines flüssigen Mediums mit einem Gehalt an einer ionischen Flüssigkeit in Gestalt eines Dünnfilms 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 Dünnfilm.

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 Dünnfilm; 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 Unterstritte 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 Unterstritte 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 Dünnfilms 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.

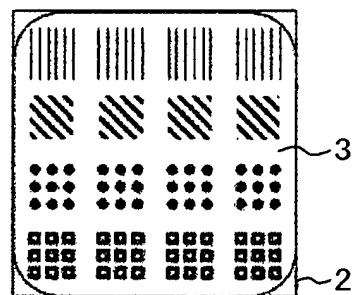
9. Elektronenmikroskop nach Anspruch 6, wobei eine Auftrageeinheit (125), die zum Auftragen des flüssigen Mediums mit einem Gehalt an der ionischen Flüssigkeit auf eine Betrachtungsfläche der Probe (17) konfiguriert ist, am Probenhalter (16) oder an der Probenkammer (32), an der die Probe gehalten wird,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

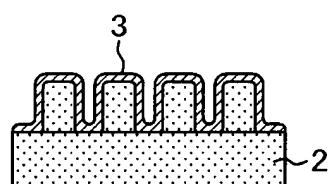
Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

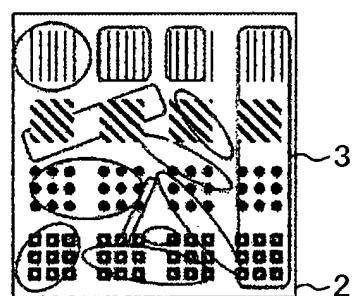
F I G . 1 A



F I G . 1 B



F I G . 2 A



F I G . 2 B

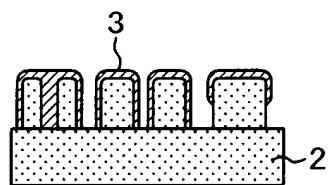


FIG. 3A

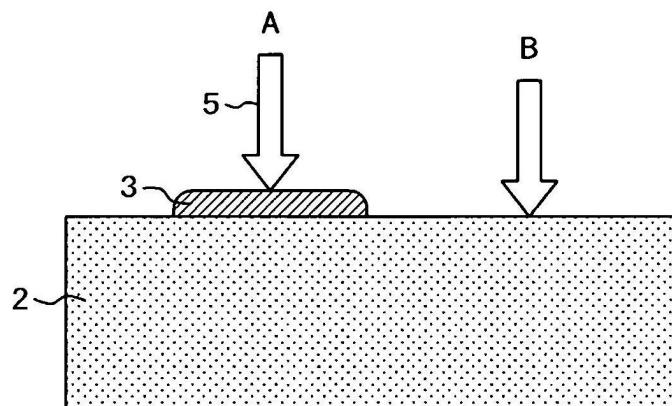
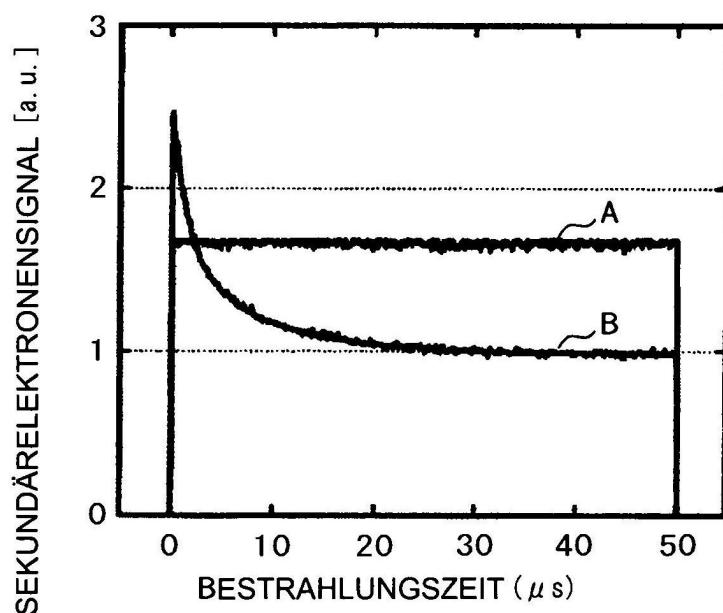
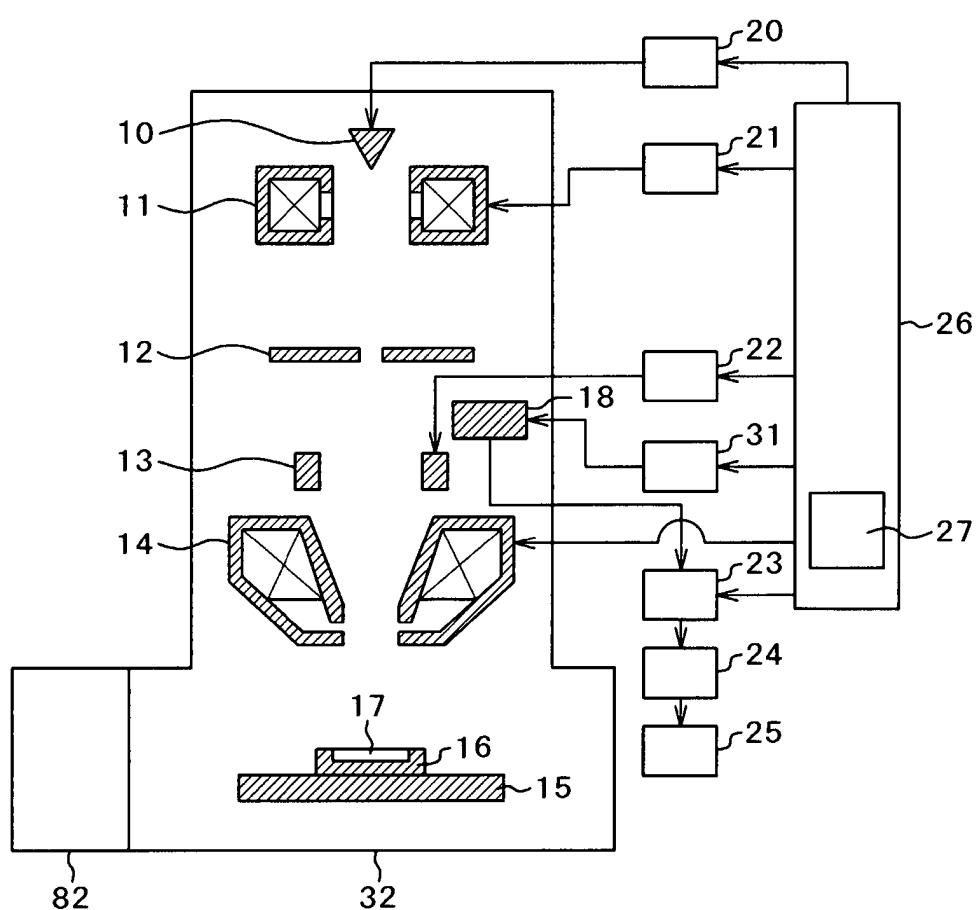


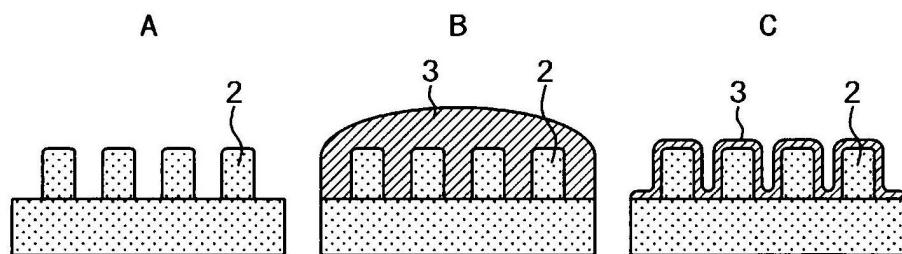
FIG. 3B



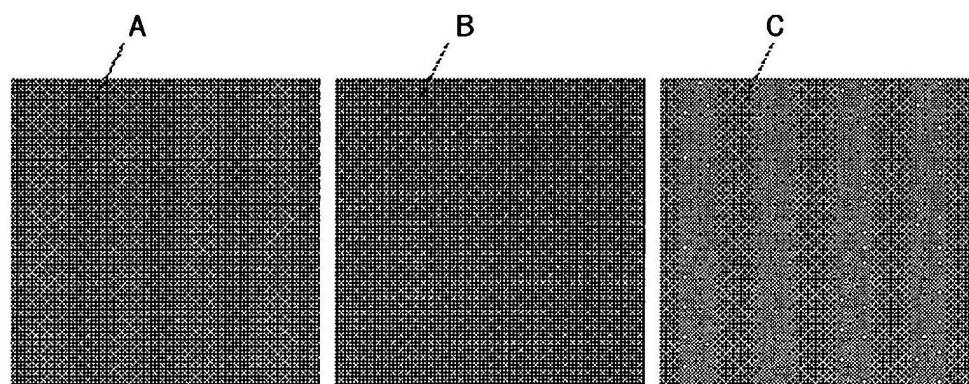
F I G . 4



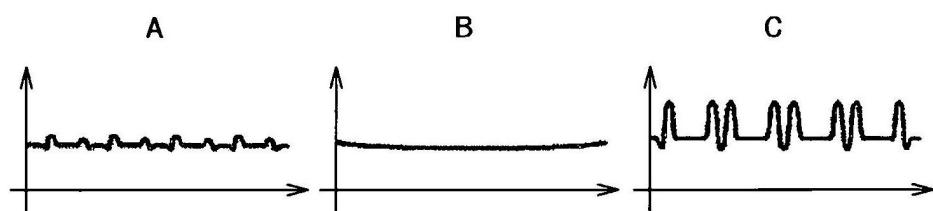
F I G . 5 A



F I G . 5 B



F I G . 5 C



F I G . 6

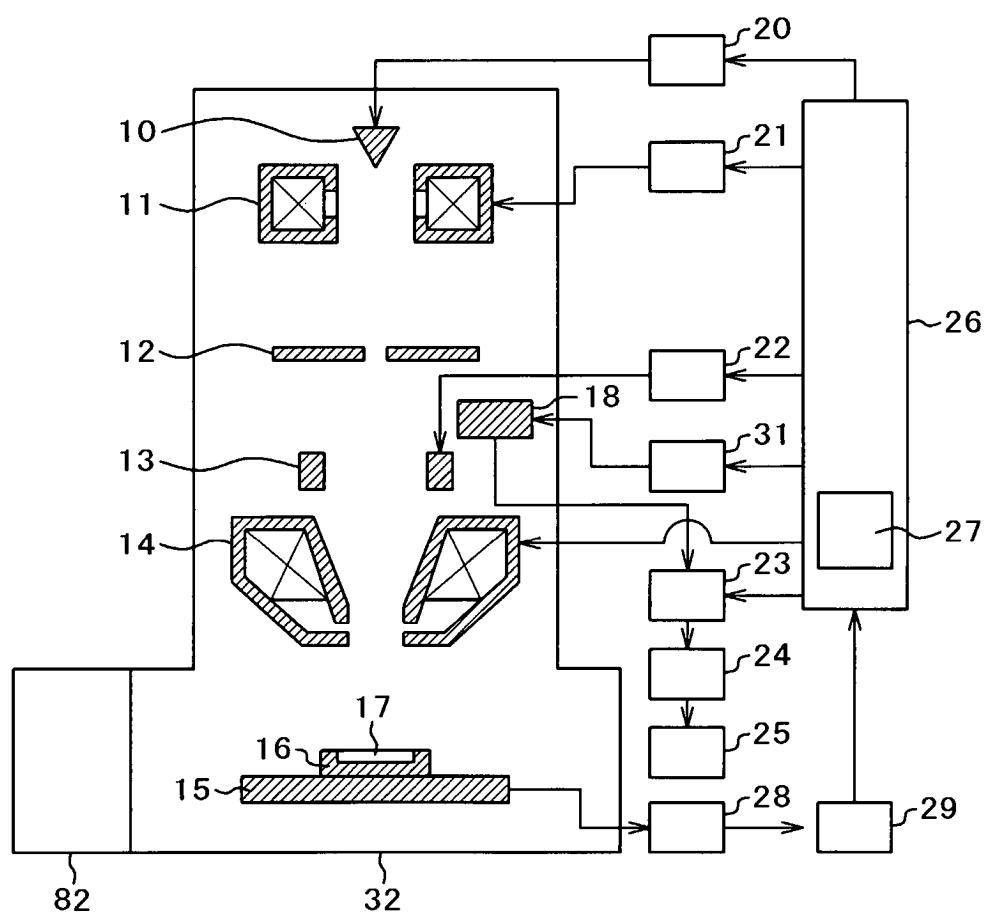
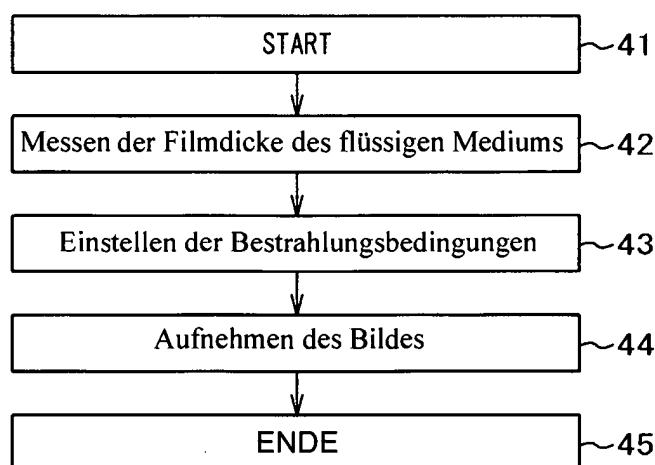
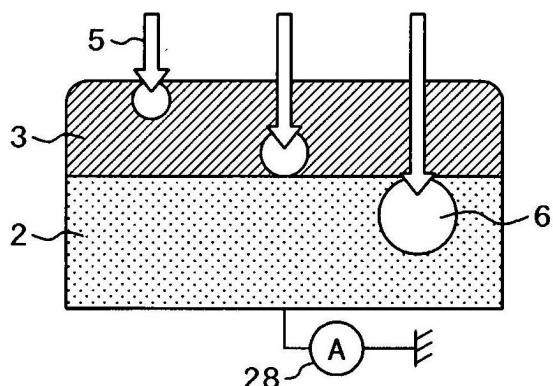


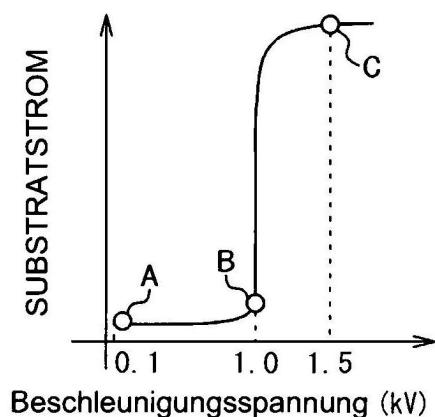
FIG. 7



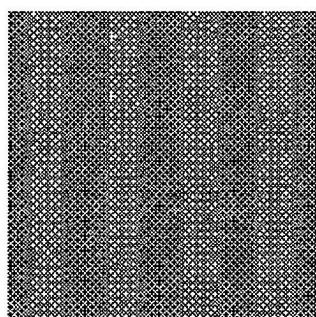
F I G . 8 A



F I G . 8 B



F I G . 9 A



F I G . 9 B

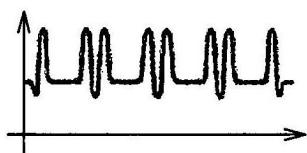


FIG. 10

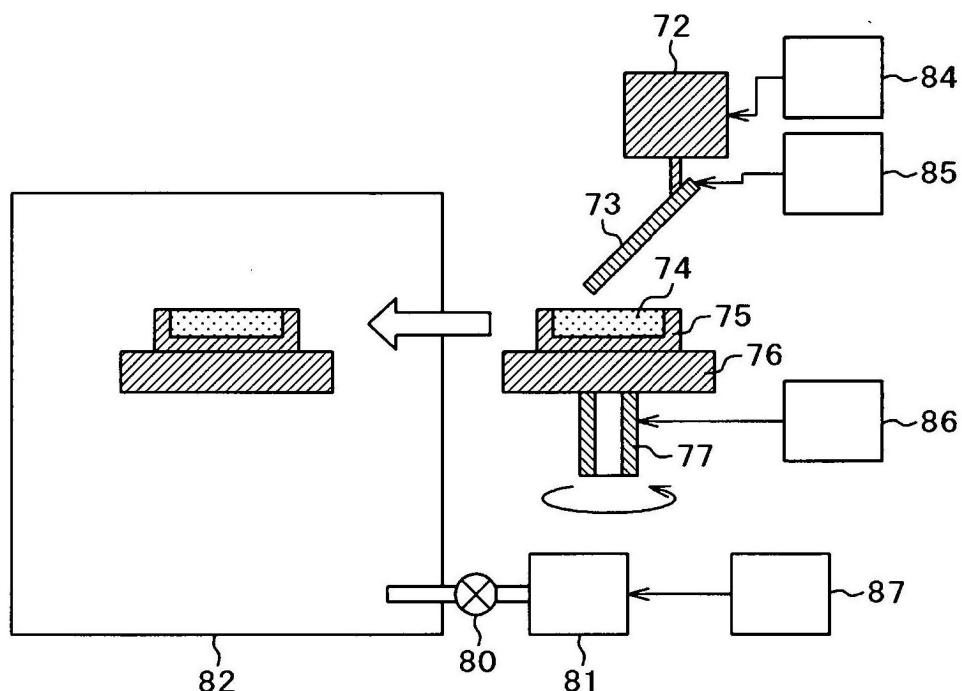


FIG. 11

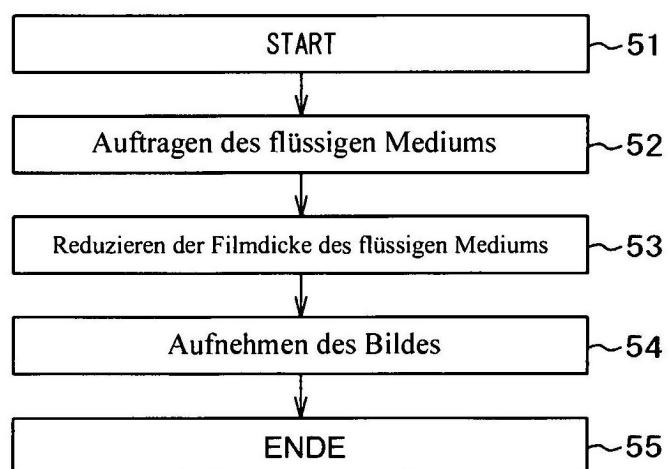


FIG. 12

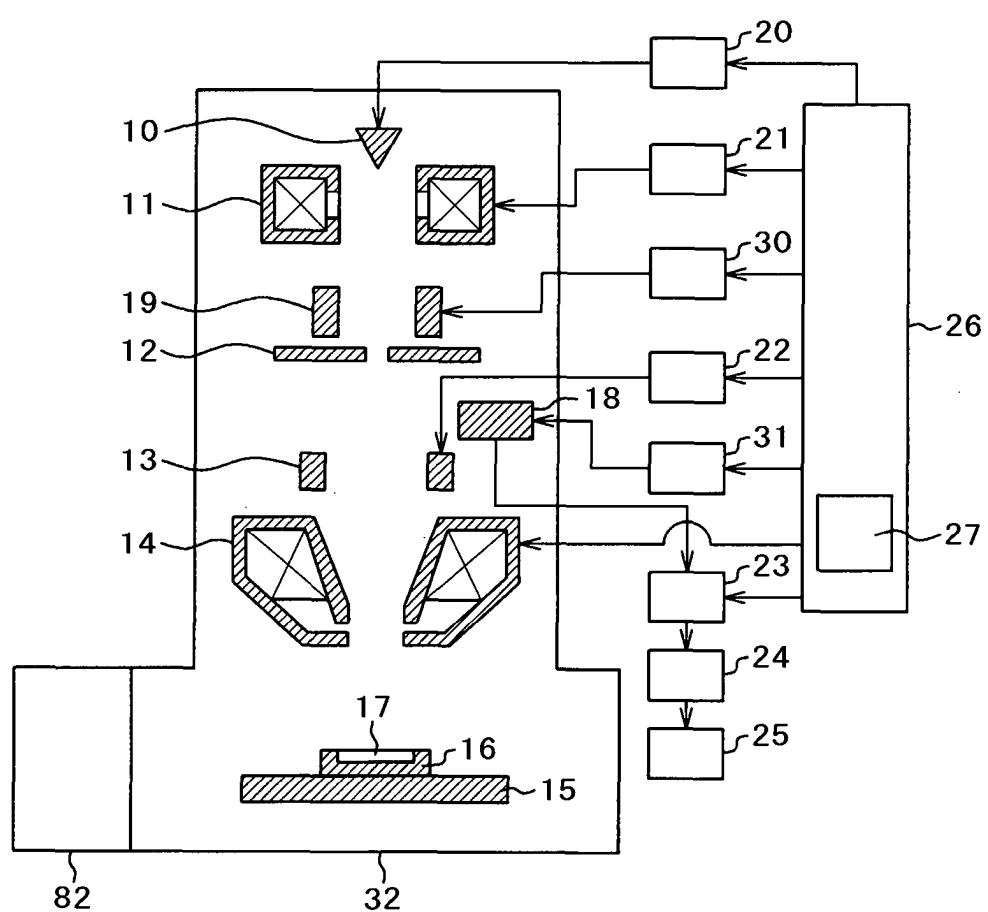


FIG. 13

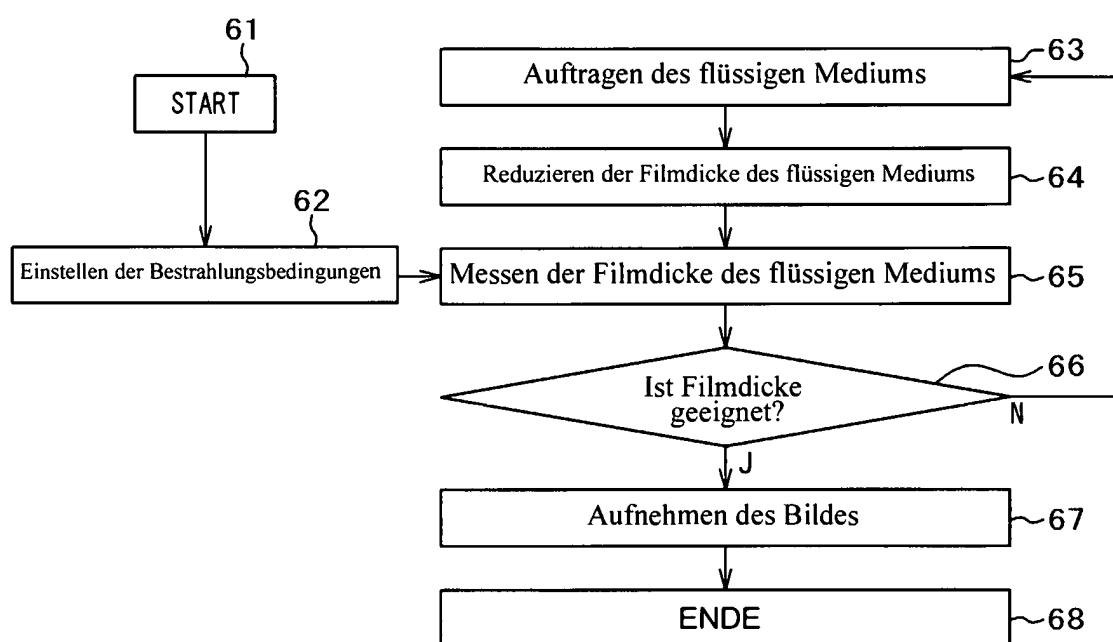


FIG. 14

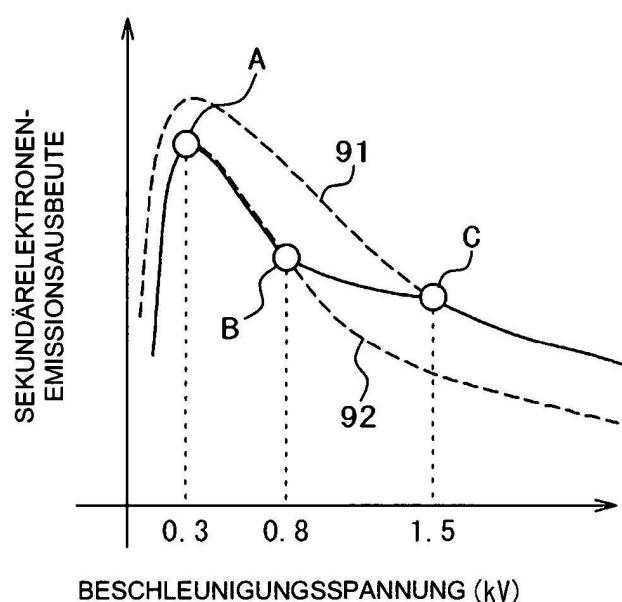
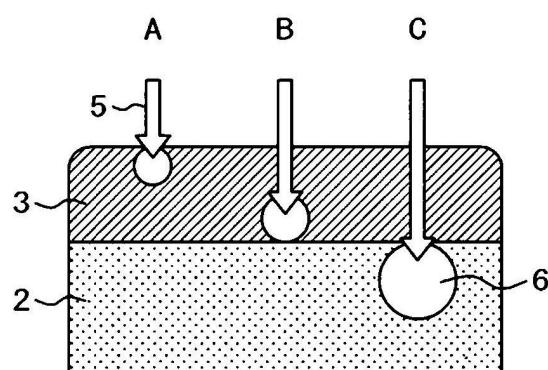


FIG. 15A

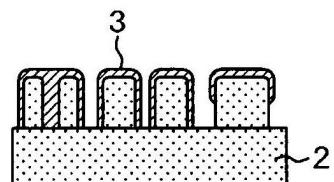


FIG. 15B

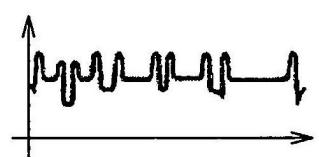


FIG. 16

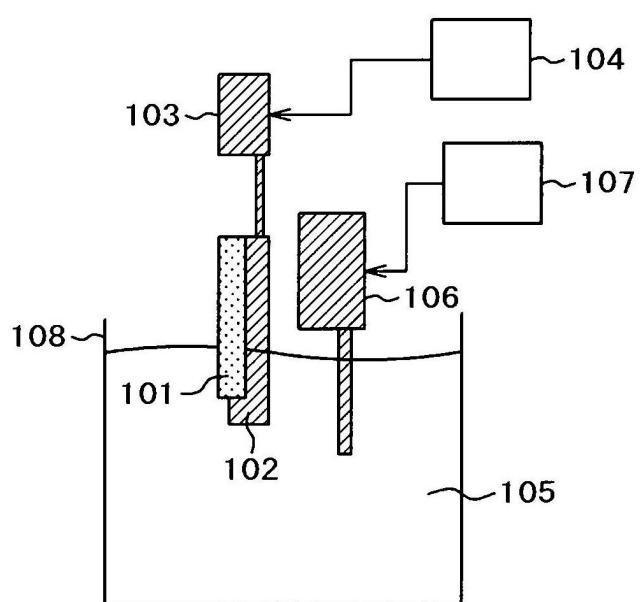


FIG. 17

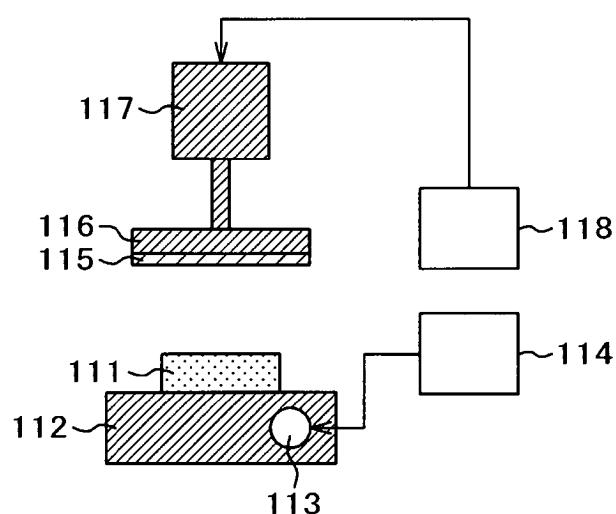


FIG. 18

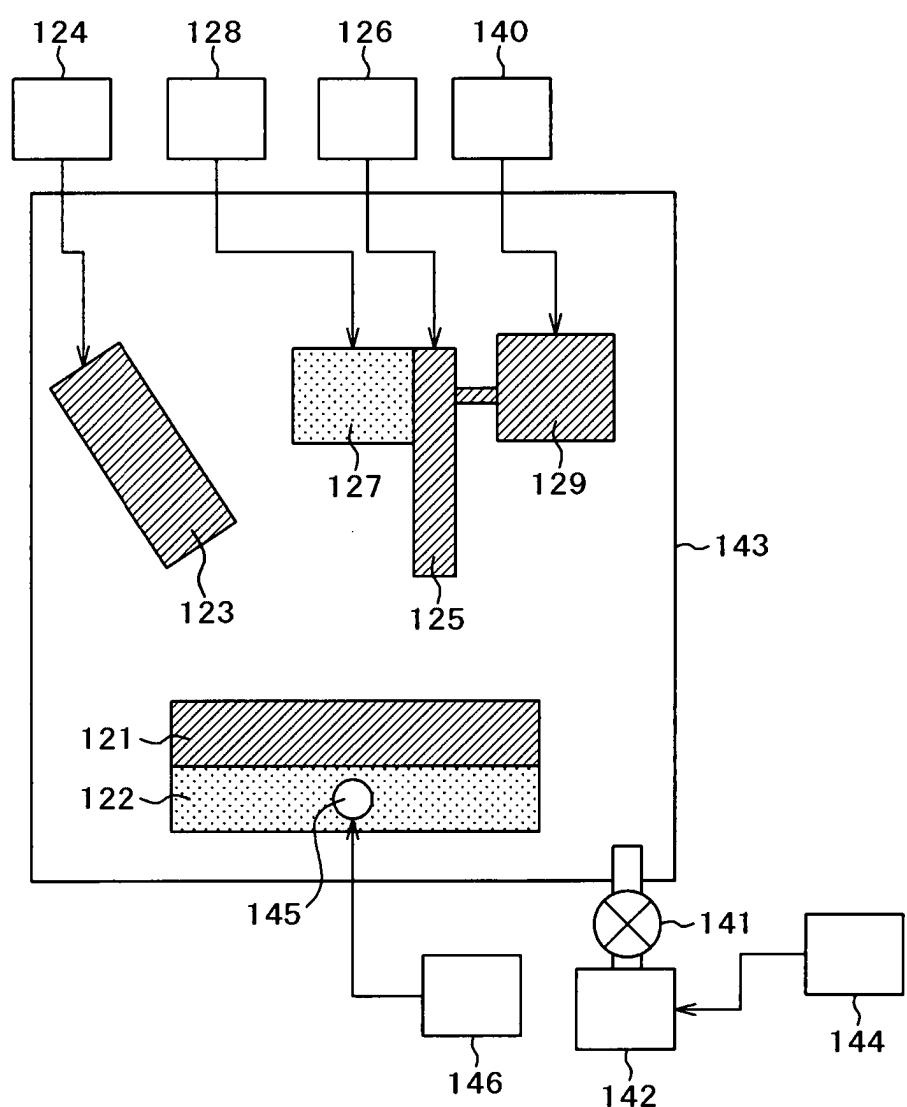


FIG. 19

