



(10) **DE 11 2012 005 293 B4** 2021.08.05

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2012 005 293.5**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2012/083043**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2013/103090**  
(86) PCT-Anmeldetag: **20.12.2012**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **11.07.2013**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **04.09.2014**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **05.08.2021**

(51) Int Cl.: **H01J 37/147** (2006.01)  
**H01J 37/21** (2006.01)  
**H01J 37/22** (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:  
**2012-001617 06.01.2012 JP**

(73) Patentinhaber:  
**Hitachi High-Tech Corporation, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:  
**Strehl Schübel-Hopf & Partner mbB**  
**Patentanwälte European Patent Attorneys, 80538**  
**München, DE**

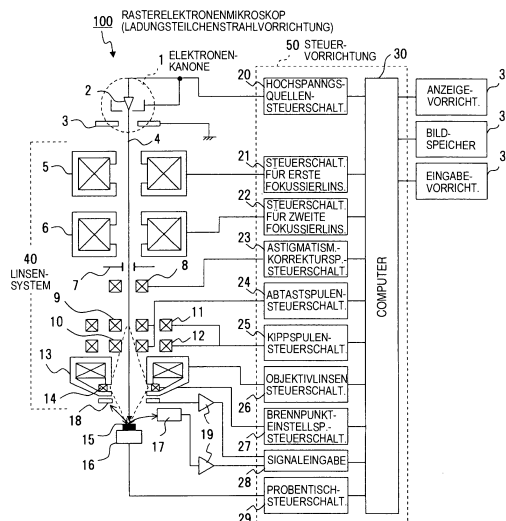
(72) Erfinder:  
**Kotake, Wataru, c/o Hitachi High-Tech. Corp.,**  
**Tokyo, JP; Kawamata, Shigeru, c/o Hitachi High-**  
**Tech. Corp., Tokyo, JP; Ito, Sukehiro, c/o Hitachi**  
**High-Techno. Corp., Tokyo, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**DE 11 2010 002 918 T5**  
**US 2009 / 0 322 973 A1**

(54) Bezeichnung: **Ladungsteilchenstrahlvorrichtung und Anzeigeverfahren für eine geneigte Abbildung**

(57) Hauptanspruch: Ladungsteilchenstrahlvorrichtung (100) mit  
einer Ladungsteilchenquelle (1);  
einer Anzahl von elektronischen Linsen (5, 6) zum Fokussieren des primären Ladungsteilchenstrahls (4), der von der Ladungsteilchenquelle (1) emittiert wird;  
einer Objektivlinse (13);  
einer Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuereinrichtung (9, 10) zum Steuern der Auslenkung des primären Ladungsteilchenstrahls (4) derart, dass, wenn der fokussierte primäre Ladungsteilchenstrahl (4) auf die Oberfläche einer Probe (15) eingestrahlt wird, der Einstrahlpunkt davon die Oberfläche der Probe (15) zweidimensional abtastet;  
einer Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) zum Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) beim Einstrahlen des primären Ladungsteilchenstrahls (4) auf die Probe (15);  
einer Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (14; 51, 52) zum Durchführen einer Einstellung derart, dass die Position des Brennpunkts beim Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) durch die Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) mit der Position des Brennpunkts für eine nicht gekippte Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) übereinstimmt;  
einem Ladungsteilchendetektor (17, 18) zum Erfassen der von der Probe (15) bei der Einstrahlung des primären La-

dungsteilchenstrahls (4) auf die Probe (15) emittierten Ladungsteilchen; und  
einer Steuervorrichtung (50) zum Erzeugen einer Abbildung der Oberfläche der Probe (15) auf der Basis des vom Ladungsteilchendetektor ...



**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Ladungsteilchenstrahlvorrichtung und ein Anzeigeverfahren für eine gekippte Abbildung, bei der ein gekippter primärer Ladungsteilchenstrahl auf eine Probe eingestrahlt wird, um eine gekippte Abbildung zu erhalten und anzuzeigen.

**STAND DER TECHNIK**

**[0002]** Bisher wurde bei einer Ladungsteilchenstrahlvorrichtung, zum Beispiel einem Rasterelektronenmikroskop, ein Probenstück nach rechts und links gekippt, um für das rechte Auge und das linke Auge jeweils eine gekippte Abbildung zu erhalten und eine 3D-Abbildung (stereoskopische Abbildung) nach dem Überkreuzverfahren, dem Parallelverfahren oder dem Anaglyphverfahren mit rot-blauen Gläsern anzuzeigen. Um die nach links und rechts gekippte Abbildung als Quelle für die 3D-Abbildung zu erhalten, wurde auch bereits statt der mechanischen Steuerung zum Kippen des Probenstückes eine elektromagnetische Steuerung zum Kippen des auf die Probe eingestrahlten Ladungsteilchenstrahls ausgeführt.

**[0003]** Zum Beispiel beschreiben die Patent-Druckschriften 1 und 2 einen Prozess zum Erhalten von Abbildungen aus unterschiedlichen Winkeln durch Kippen eines Ladungsteilchenstrahls. Das heißt, dass der Ladungsteilchenstrahl so gesteuert wird, dass er außerhalb der Achse der Objektivlinse einfällt und durch die Fokussierungswirkung der Objektivlinse gekippt werden kann.

**[0004]** Die Patent-Druckschriften 3 und 4 beschreiben eine Einstellvorrichtung zum Einstellen des optischen Systems bei einem gekippten Ladungsteilchenstrahl. Zum Beispiel beschreibt die Patent-Druckschrift 3 einen Prozess, bei dem eine nicht gekippte Abbildung (eine Abbildung von oben) aufgenommen wird und in ein Muster umgewandelt wird; danach, wenn die gekippte Abbildung aufgenommen wird, erfolgt zwischen der gekippten Abbildung und dem Muster eine Musteranpassung, und dadurch eine Abbildungsanpassung und eine Astigmatismuskorrektur und die Fokuseinstellung auszuführen. Die Patent-Druckschrift 4 beschreibt eine Technik, bei der eine Kombination aus einer Anzahl von Linsen und das Verhalten des Ladungsteilchenstrahls bei der Einstrahlung außerhalb der Achse der Objektivlinse analytisch untersucht und die bei der gekippten Einstrahlung des Ladungsteilchenstrahl auftretende Aberration durch optische Bauteile vollständig beseitigt wird.

**[0005]** Die Patent-Druckschrift 5 beschreibt eine Technik, bei der das Verkippen des Ladungsteilchenstrahls zeilenweise so gesteuert wird, dass gleichzeitig die nach links gekippte und die nach rechts gekippte Abbildung erhalten wird. Die erhaltenen nach links und rechts gekippten Abbildungen werden an einer 3D-Anzeigevorrichtung angezeigt, um eine 3D-Betrachtung zu ermöglichen.

**LISTE DER ZITIERTEN DRUCKSCHRIFTEN****PATENT-DRUCKSCHRIFTEN**

Patent-Druckschrift 1: JP S55 48610 U

Patent-Druckschrift 2: JP H02 33843 A

Patent-Druckschrift 3: JP 2005 310602 A

Patent-Druckschrift 4: JP 2006 012664 A

Patent-Druckschrift 5: JP 2010 009907 A (Auch veröffentlicht als US 2009/0322973 A1, von der die zweiteilige Form des vorliegenden Anspruchs 1 ausgeht.)

DE 11 2010 002 918 T5 zeigt ein weiteres Beispiel eines herkömmlichen Rasterelektronenmikroskops.

**ZUSAMMENFASSENDE  
DARSTELLUNG DER ERFINDUNG****TECHNISCHES PROBLEM**

**[0006]** Bei einem herkömmlichen Rasterelektronenmikroskop und dergleichen werden im Allgemeinen ein oder zwei Anzeigebereiche der Abbildung an der Anzeigevorrichtung angezeigt. Bei zwei Anzeigebereichen wird daher bisher in den beiden Anzeigebereichen die nach links gekippte und die nach rechts gekippte Abbildung angezeigt, oder es wird eine von den nach links und rechts gekippten Abbildungen und die durch Bearbeiten der nach links und rechts gekippten Abbildungen erhaltene 3D-Abbildung (zum Beispiel eine Anaglyphabbildung) angezeigt. Bei einem Anzeigebereich wird nur eine der Abbildungen angezeigt, entweder eine der nach links und rechts gekippten Abbildungen oder die daraus erhaltene 3D-Abbildung.

**[0007]** In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass in den Patent-Druckschriften 1 bis 5 nicht genau angegeben wird, wie die nach links und rechts gekippten Abbildungen mit der daraus erhaltenen 3D-Abbildung zu kombinieren sind. Und im gesamten, nicht auf die Patent-Druckschriften 1 bis 5 beschränkten Stand der Technik ist kein Vorgang angegeben, mit dem gleichzeitig nach rechts und links gekippte Abbildungen und eine nicht gekippte Abbildung erhalten und angezeigt werden können.

**[0008]** Im Allgemeinen ist es einfach, zuerst eine nicht gekippte Abbildung aufzunehmen und anzuzeigen und dann die nach rechts und links gekippten Abbildungen und die daraus erhaltene 3D-Abbildung anzuzeigen. Wenn es jedoch erforderlich ist, gleichzeitig eine nicht gekippte Abbildung und eine nach rechts oder links gekippte Abbildung aufzunehmen und anzuzeigen, ergibt sich das Problem, dass es herkömmlich aufgrund des Unterschieds in der Position des Brennpunkts in den beiden Abbildungen nicht möglich ist, gleichzeitig für beide Fälle eine scharfe Abbildung zu erhalten. Mit „gleichzeitig“ ist hier „gleichzeitig“ im Sinne des Betrachters gemeint, so dass zum Beispiel ein Zeitunterschied von etwa einer Sekunde auch noch als „gleichzeitig“ angesehen wird.

**[0009]** Hinsichtlich dieses Problems beim Stand der Technik ist die vorliegende Erfindung darauf gerichtet, eine Ladungsteilchenstrahlvorrichtung und ein Anzeigeverfahren für eine gekippte Abbildung zu schaffen, bei dem fast gleichzeitig eine scharf abgebildete nicht gekippte Abbildung und eine scharf abgebildete gekippte Abbildung erhalten und fast gleichzeitig angezeigt werden können.

#### LÖSUNG FÜR DAS PROBLEM

**[0010]** Die erfindungsgemäße Ladungsteilchenstrahlvorrichtung und das zugehörige Anzeigeverfahren sind in den vorliegenden Ansprüchen definiert. Gemäß einem Beispiel umfasst eine Ladungsteilchenstrahlvorrichtung eine Ladungsteilchenquelle; eine Anzahl von elektronischen Linsen zum Fokussieren des primären Ladungsteilchenstrahls, der von der Ladungsteilchenquelle emittiert wird; eine Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuereinrichtung zum Steuern der Auslenkung des primären Ladungsteilchenstrahls derart, dass, wenn der fokussierte primäre Ladungsteilchenstrahl auf die Oberfläche einer Probe eingestrahlt wird, der Einstrahlpunkt davon die Oberfläche der Probe zweidimensional abtastet; eine Einstrahlachsen-Kippeinrichtung zum Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls beim Einstrahlen des primären Ladungsteilchenstrahls auf die Probe; eine Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung zum Durchführen einer Einstellung derart, dass die Position des Brennpunkts beim Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls durch die Einstrahlachsen-Kippeinrichtung mit der Position des Brennpunkts für eine nicht gekippte Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls übereinstimmt; einen Ladungsteilchendetektor zum Erfassen der von der Probe bei der Einstrahlung des primären Ladungsteilchenstrahls auf die Probe emittierten Ladungsteilchen; und eine Steuervorrichtung zum Erzeugen einer Abbildung der Oberfläche der Probe auf der Basis des vom Ladungsteilchendetektor erfassten Signals.

**[0011]** Die erfindungsgemäße Ladungsteilchenstrahlvorrichtung ist dadurch charakterisiert, dass die Steuervorrichtung über die Einstrahlachsen-Kippeinrichtung bewirkt, dass die Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls jedesmal dann nach links gekippt, nicht gekippt oder nach rechts gekippt wird, wenn die Steuervorrichtung über die Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuereinrichtung bewirkt, dass der primäre Ladungsteilchenstrahl die Oberfläche der Probe für eine Abtastzeile abtastet; und dass die Steuervorrichtung bei einer Änderung der Einstrahlachse über die Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung die Position des Brennpunkts des primären Ladungsteilchenstrahls entsprechend dem Kippzustand der Einstrahlachse einstellt, um eine nach links gekippte Abbildung, eine nicht gekippte Abbildung oder eine nach rechts gekippte Abbildung der Oberfläche der Probe für die eine Abtastzeile zu erhalten und um gleichzeitig die nach links gekippte Abbildung, die nicht gekippte Abbildung und die nach rechts gekippte Abbildung in Verbindung mit den bis zu diesem Zeitpunkt erhaltenen Abtastzeilen an ein und derselben Anzeigevorrichtung anzuzeigen.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird jedesmal dann, wenn der primäre Ladungsteilchenstrahl eine Abtastzeile abtastet, abwechselnd die Abbildung der einen Abtastzeile für eine nach links gekippte Abbildung, eine nicht gekippte Abbildung und eine nach rechts gekippte Abbildung aufgenommen und angezeigt. Der Unterschied in der Anzeigezeit zwischen der nach links gekippten Abbildung, der nicht gekippten Abbildung und der nach rechts gekippten Abbildung ist daher gleich der Abtastzeit für eine Abtastzeile, so dass zumindest für den Benutzer die nach links gekippte Abbildung, die nicht gekippte Abbildung und die nach rechts gekippte Abbildung fast gleichzeitig erhalten und fast gleichzeitig angezeigt werden.

**[0013]** Dabei erfolgt die Einstellung der Position des Brennpunkts für die gekippten Abbildungen und die nicht gekippte Abbildung durch die Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (Brennpunkt-Einstellspule) fast gleichzeitig. Sowohl die nach links gekippte Abbildung, die nicht gekippte Abbildung als auch die nach rechts gekippte Abbildung der einen Abtastzeile ist daher eine scharfe Abbildung.

#### VORTEILHAFTE AUSWIRKUNGEN DER ERFINDUNG

**[0014]** Mit der vorliegenden Erfindung werden eine Ladungsteilchenstrahlvorrichtung und ein Anzeigeverfahren für eine gekippte Abbildung erhalten, mit der bzw. mit dem nahezu gleichzeitig eine scharfe nicht gekippte Abbildung und eine scharfe gekippte Abbildung erhalten werden können, die so aussehen, als ob sie fast gleichzeitig angezeigt werden.

## Figurenliste

**Fig. 1** zeigt ein Beispiel für den allgemeinen Aufbau eines Rasterelektronenmikroskops (einer Ladungsteilchenstrahlvorrichtung) bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 2** zeigt ein Beispiel für die Aufteilung eines Abbildungs-Anzeigebildschirms an einer Anzeigevorrichtung des Rasterelektronenmikroskops bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 3** zeigt schematisch die Beziehung zwischen einer Anzahl von Brennebenen und den Strahldurchmessern in den einzelnen Brennebenen des primären Elektronenstrahls bei einer nicht gekippten Betrachtung.

**Fig. 4** zeigt schematisch die Beziehung zwischen einer Anzahl von Brennebenen und den Strahlumrissen in den einzelnen Brennebenen des primären Elektronenstrahls bei einer gekippten Betrachtung.

**Fig. 5A** zeigt schematisch ein Beispiel für die Auslenkung und die Abtaststeuerung des primären Elektronenstrahls, wenn bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gleichzeitig eine nicht gekippte Abbildung und eine gekippte Abbildung erhalten werden. Die **Fig. 5A** zeigt dabei ein Beispiel für die Abtastzeilen bei der Abtastung der Oberfläche einer Probe mit dem primären Elektronenstrahl.

**Fig. 5B** zeigt schematisch ein Beispiel für die Auslenkung und die Abtaststeuerung des primären Elektronenstrahls, wenn bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gleichzeitig eine nicht gekippte Abbildung und eine gekippte Abbildung erhalten werden. Die **Fig. 5B** zeigt dabei ein Beispiel für ein Kippspulen-Steuersignal und ein Abtastspulen-Steuersignal in jedem Betrachtungsmodus.

**Fig. 6** zeigt ein Beispiel für die Anzeige des Abbildungs-Einstellprozesses in einem graphischen Einstell-Benutzerinterfacebereich des Abbildungs-Anzeigebildschirms zur Einstellung durch den Benutzer.

**Fig. 7A** zeigt ein anderes Beispiel für ein graphisches Einstell-Benutzerinterface für Steuerparameter, das im graphischen Einstell-Benutzerinterfacebereich angezeigt wird.

**Fig. 7B** zeigt ein anderes Beispiel für ein graphisches Einstell-Benutzerinterface für Steuerparameter, das im graphischen Einstell-Benutzerinterfacebereich angezeigt wird.

**Fig. 8** ist ein Flussdiagramm für ein Beispiel eines Prozessablaufs bei dem Hauptprozess, der von der Steuervorrichtung bei der Einstellung in den Schritten S01 bis S03 des in der **Fig. 6** ge-

zeigten Abbildungseinstellungsvorgangs ausgeführt wird.

**Fig. 9** ist eine Darstellung eines Beispiels für eine nach links gekippte Abbildung, eine nach rechts gekippte Abbildung, eine nicht gekippte Abbildung und eine 3D-Abbildung, wie sie mit einem Rasterelektronenmikroskop bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung tatsächlich erhalten werden.

**Fig. 10** zeigt ein Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer Brennpunkt-Einstelleinrichtung für eine gekippte Betrachtung bei einer zweiten Variante der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 11** zeigt ein Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer Brennpunkt-Einstelleinrichtung für eine gekippte Betrachtung bei einer dritten Variante der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 12** zeigt ein Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer Brennpunkt-Einstelleinrichtung für eine gekippte Betrachtung bei einer vierten Variante der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

## BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0015]** Anhand der beiliegenden Zeichnungen wird nun eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung genauer beschrieben.

**[0016]** Die **Fig. 1** zeigt ein Beispiel für den allgemeinen Aufbau eines Rasterelektronenmikroskops (einer Ladungsteilchenstrahlvorrichtung) bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Rasterelektronenmikroskop **100** ist ein repräsentatives Beispiel für eine Ladungsteilchenstrahlvorrichtung; in der folgenden Beschreibung wird angenommen, dass die Ladungsteilchenstrahlvorrichtung das Rasterelektronenmikroskop **100** ist.

**[0017]** Bei dem Rasterelektronenmikroskop **100** bilden eine Kathode **2** und eine Anode **3** eine Elektronenkanone **1** als Ladungsteilchenquelle (Elektronenquelle). Wenn zwischen die Kathode **2** und die Anode **3** eine von einer Hochspannungsquellen-Steuerschaltung **20** gesteuerte hohe Spannung angelegt wird, wird von der Kathode **2** als primärer Ladungsteilchenstrahl ein primärer Elektronenstrahl **4** emittiert. Der von der Kathode **2** emittierte primäre Elektronenstrahl **4** wird von einer Beschleunigungsanode (nicht gezeigt) beschleunigt und in ein Linsensystem **40** mit einer ersten Fokussierlinse **5**, einer zweiten Fokussierlinse **6** und einer Objektivlinse **13** eingeführt.

**[0018]** Der in das Linsensystem **40** eingeführte primäre Elektronenstrahl **4** wird beim Durchlaufen der

ersten Fokussierlinse **5** und der zweiten Fokussierlinse **6** fokussiert. Die erste Fokussierlinse **5** und die zweite Fokussierlinse **6** werden von einer Steuerschaltung **21** für die erste Fokussierlinse und einer Steuerschaltung **22** für die zweite Fokussierlinse gesteuert. Daraufhin wird der unnötige Anteil des primären Elektronenstrahls **4** an einer Blendenplatte **7** entfernt. Anschließend wird der Strahl **4** in eine Astigmatismus-Korrekturspule **8** eingeführt, die von einer Astigmatismuskorrekturspulen-Steuerschaltung **23** gesteuert wird.

**[0019]** Nach dem Durchlaufen der von der Astigmatismuskorrekturspulen-Steuerschaltung **23** gesteuerten Astigmatismus-Korrekturspule **8** läuft der primäre Elektronenstrahl **4** weiter durch obere und untere Abtastspulen **9** und **10**, die von einer Abtastspulen-Steuerschaltung **24** gesteuert werden, und durch obere und untere Kippspulen **11** und **12**, die von einer Kippspulen-Steuerschaltung **25** gesteuert werden, und wird in die Objektivlinse **13** eingeführt, die von einer Objektivlinsen-Steuerschaltung **26** gesteuert wird.

**[0020]** Der primäre Elektronenstrahl **4** wird beim Durchlaufen der Objektivlinse **13** weiter fokussiert und auf die Oberfläche einer Probe **15** eingestrahlt, die auf einem Probentisch **16** angebracht ist. Der Probentisch **16** wird von einer Probentisch-Steuerschaltung **29** gesteuert und kann nicht nur eine Bewegung in der x-, y- und z-Richtung ausführen, sondern auch die Proben-Anbringungsfläche drehen und kippen. Dabei ist die x-y-Ebene in der Regel eine horizontale Ebene und die z-Richtung die Richtung senkrecht zu der horizontalen Ebene.

**[0021]** Der primäre Elektronenstrahl **4** nimmt beim Durchlaufen der Abtastspulen **9** und **10** die von Abtastspulen-Steuersignalen (einem horizontalen Auslenksignal, einem vertikalen Auslenksignal und dergleichen), die den Abtastspulen **9** und **10** zugeführt werden, erzeugten elektromagnetischen Kräfte auf und wird dadurch in der x- und der y-Richtung ausgelenkt; im Ergebnis tastet der Einstrahlpunkt des primären Elektronenstrahls **4** auf der Oberfläche der Probe **15** die Oberfläche der Probe **15** zweidimensional ab. Auch nimmt der primäre Elektronenstrahl **4** beim Durchlaufen der Kippspulen **11** und **12** die von Kippspulen-Steuersignalen, die den Kippspulen **11** und **12** zugeführt werden, erzeugten elektromagnetischen Kräfte auf und wird entsprechend ausgelenkt.

**[0022]** An der Objektivlinse **13** ist eine Brennpunkt-Einstellspule **14** angebracht, die von einer Brennpunkt-Einstellspulen-Steuerschaltung **27** gesteuert wird. Gewöhnlich wird die Brennpunkt-Einstellspule **14** für eine automatische Brennpunkteinstellung verwendet. Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat die Brennpunkt-Einstellspule **14** dage-

gen die Funktion, die Position des Brennpunktes bei einem gekippten primären Elektronenstrahl **4** mit der Position des Brennpunktes bei einem nicht gekippten primären Elektronenstrahl **4** zusammenzubringen. Diese Funktion wird später noch genauer beschrieben.

**[0023]** Bei der Einstrahlung des primären Elektronenstrahls **4** auf die Oberfläche der Probe **15** werden von der Einstrahlstelle Sekundärelektronen und reflektierte Elektronen emittiert. Die emittierten Sekundärelektronen und reflektierten Elektronen werden von einem Sekundärelektronendetektor **17** und einem Detektor **18** für reflektierte Elektronen erfasst. Die Signale von den Detektoren werden in einem Signalverstärker **19** verstärkt und über eine Signaleingabeschaltung **28** von einem Computer **30** aufgenommen.

**[0024]** Die vom Computer **30** aufgenommenen Detektorsignale für die Sekundärelektronen und die reflektierten Elektronen werden wie erforderlich für Abbildungen bearbeitet und in einem Bildspeicher **32** als Abbildungen der Oberfläche der Probe **15** gespeichert sowie an einer Anzeigevorrichtung **31** angezeigt.

**[0025]** Der Computer **30** ist das zentrale Element einer Steuervorrichtung **50**. Der Computer **30** ist mit der Hochspannungsquellen-Steuerschaltung **20**, der Steuerschaltung **21** für die erste Fokussierlinse, der Steuerschaltung **22** für die zweite Fokussierlinse, der Astigmatismuskorrekturspulen-Steuerschaltung **23**, der Abtastspulen-Steuerschaltung **24**, der Kippspulen-Steuerschaltung **25**, der Objektivlinsen-Steuerschaltung **26**, der Brennpunkt-Einstellspulen-Steuerschaltung **27**, der Signaleingabeschaltung **28** und der Probentisch-Steuerschaltung **29** verbunden, die weitere Elemente der Steuervorrichtung **50** sind, und steuert alle diese Steuerschaltungen.

**[0026]** Mit dem Computer **30** sind des Weiteren eine Eingabevorrichtung **33** wie eine Tastatur, eine Maus oder eine Rollkugel verbunden, so dass der Benutzer über die Eingabevorrichtung **33** die Bedingungen für die Aufnahme einer Abbildung (zum Beispiel die Beschleunigungsspannung, die Abtastgeschwindigkeit und den Kippwinkel bei der Erstellung einer gekippten Abbildung mit dem primären Elektronenstrahl **4**) festlegen kann.

**[0027]** Bei der vorliegenden Ausführungsform wird eine nach links gekippte oder nach rechts gekippte Abbildung der Oberfläche der Probe **15** nicht durch mechanisches Kippen des Probentisches **16**, auf dem die Probe angebracht ist, nach links oder rechts erhalten, sondern die nach links oder rechts gekippte Abbildung der Oberfläche der Probe **15** wird dadurch erhalten, dass die Anregungsströme für die Kippspulen **11** und **12** entsprechend gesteuert werden, um

den auf die Oberfläche der Probe **15** eingestrahlten primären Elektronenstrahl **4** nach links und rechts zu kippen. Die Einzelheiten darüber werden später noch beschrieben.

**[0028]** Die **Fig. 2** zeigt beispielhaft die Ausgestaltung eines Abbildungsanzeigebildschirms an der Anzeigevorrichtung **31** des Rasterelektronenmikroskops **100** bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in der **Fig. 2** gezeigt, umfasst der Abbildungsanzeigebildschirm **310** der Anzeigevorrichtung **31** vier Abbildungsanzeigebereiche **311** und einen graphischen Einstellbenutzerinterfacebereich (Einstell-GUI-Bereich) **312**.

**[0029]** In diesen vier Abbildungsanzeigebereichen **311** werden jeweils eine nach links gekippte **Abb. 311a**, eine nach rechts gekippte **Abb. 311b**, eine nicht gekippte **Abb. 311c** und eine 3D-Abbildung **311d** angezeigt. Im Einstell-GUI-Bereich **312** werden dem Benutzer verschiedene Informationen und Schaltflächen für die Einstellungen bei der Aufnahme dieser Abbildungen angezeigt, etwa für die Fokussierung.

**[0030]** Bei der vorliegenden Ausführungsform werden für jede Abtastzeile die Abbildungen angezeigt, während die Abbildungsdaten für eine Zeile der nach links gekippten **Abb. 311a**, der nach rechts gekippten **Abb. 311b** oder der nicht gekippten **Abb. 311c** aufgenommen werden. Folglich werden die die nach links gekippte **Abb. 311a**, die nach rechts gekippte **Abb. 311b** und die nicht gekippte **Abb. 311c** fast gleichzeitig erhalten und fast gleichzeitig angezeigt. Der Zeitunterschied dazwischen entspricht der Abtastzeit für eine Zeile. Die 3D-Abbildung **311d**, etwa eine Anaglyph-Abbildung, wird mit einer Verzögerung angezeigt, die ihrer Erstellungszeit entspricht; diese Erstellungszeit beträgt eine Sekunde oder weniger. Auch die 3D-Abbildung **311d** wird also fast gleichzeitig angezeigt. Die Einzelheiten davon werden später noch beschrieben.

**[0031]** Die **Fig. 3** zeigt schematisch die Beziehung zwischen einer Anzahl von Brennebenen und den Strahldurchmessern in den einzelnen Brennebenen für den primären Elektronenstrahl **4** bei einer nicht gekippten Betrachtung. Wie in der **Fig. 3** gezeigt, läuft der primäre Elektronenstrahl **4** bei der nicht gekippten Betrachtung nach der Ausführung der Abtast- und Auslenksteuerung für den primären Elektronenstrahl **4** durch die Abtastspulen **9** und **10** ziemlich genau durch die Mitte der Objektivlinse **13** und wird im Wesentlichen senkrecht auf die Oberfläche der Probe **15** eingestrahlt.

**[0032]** Bei einer Korrektur des Astigmatismus wird in der Brennebene **41** die Strahlform **44** ausgebildet, die die höchste Auflösung ergibt.

**[0033]** Der Strahldurchmesser der Strahlform **45** in der Brennebene **42**, die näher an der Objektivlinse **13** liegt als die Brennebene **41**, ist größer als der Strahldurchmesser der Strahlform **44**. Der Strahldurchmesser der Strahlform **46** in der Brennebene **43**, die noch näher an der Objektivlinse **13** liegt als die Brennebene **42**, ist noch größer als der Strahldurchmesser der Strahlform **45**. Mit größer werdendem Strahldurchmesser verringert sich die Auflösung der erhaltenen Abbildung entsprechend.

**[0034]** Die **Fig. 4** zeigt schematisch die Beziehung zwischen einer Anzahl von Brennebenen und den Strahlumrissen in den einzelnen Brennebenen für den primären Elektronenstrahl **4** bei einer gekippten Betrachtung. Wie in der **Fig. 4** gezeigt, erfolgt bei einer gekippten Betrachtung die Abtast- und Auslenksteuerung für den primären Elektronenstrahl **4** durch die Abtastspulen **9** und **10**, und außerdem erfolgt für den primären Elektronenstrahl **4** die Kippsteuerung durch die Kippspulen **11** und **12**. Als Folge davon läuft der primäre Elektronenstrahl **4** außerhalb der Mittelachse durch die Objektivlinse **13** und wird schräg von oben links oder oben rechts auf die Oberfläche (zum Beispiel die Brennebenen **41**, **42**, **43**) der Probe **15** eingestrahlt.

**[0035]** Im Allgemeinen erfolgt, nachdem die Brennpunkteinstellung bei der nicht gekippten Betrachtung durchgeführt wurde, die nach links gekippte oder nach rechts gekippte Betrachtung, ohne dass die Betriebsbedingungen (etwa der Anregungsstrom) für die Objektivlinse **13** und die Brennpunkt-Einstellspule **14** geändert werden. Die Position des Brennpunkts des von der Objektivlinse **13** fokussierten primären Elektronenstrahls **4** verschiebt sich dabei relativ zur Brennebene **41** bei der nicht gekippten Betrachtung (siehe die **Fig. 3**) zur Seite der Objektivlinse **13**.

**[0036]** Bei einer gekippten Betrachtung wird in der Brennebene **42** die Strahlform **48** ausgebildet, während in den Brennebenen **41** und **43** (siehe die **Fig. 3**) die Strahlformen **47** und **49** ausgebildet werden. Die Auflösung der erhaltenen Abbildung ist für die Strahlform **48** hoch und für die Strahlformen **47** und **49** niedrig.

**[0037]** Aus der Beschreibung der **Fig. 3** und **Fig. 4** ergibt sich, wenn die gekippte Betrachtung nach der nicht gekippten Betrachtung erfolgt oder wenn die nicht gekippte Betrachtung nach der gekippten Betrachtung erfolgt, dass es zum Erhalten einer Abbildung mit möglichst hoher Auflösung erforderlich ist, bei der Modenumschaltung zwischen der nicht gekippten Betrachtung und der gekippten Betrachtung die Steuerparameter für das Linsensystem **40**, etwa die Brennpunkteinstellung, zu verändern.

**[0038]** Die **Fig. 5A** und **Fig. 5B** zeigen schematisch ein Beispiel für die Auslenk- und Abtaststeuerung des

primären Elektronenstrahls **4**, wenn bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gleichzeitig eine nicht gekippte Abbildung und eine gekippte Abbildung erhalten werden. Die **Fig. 5A** zeigt ein Beispiel für die Abtastzeilen, wenn der primäre Elektronenstrahl **4** die Oberfläche einer Probe **15** abtastet, und die **Fig. 5B** zeigt ein Beispiel für das Kippspulen-Steuersignal und das Abtastspulen-Steuersignal in jedem Betrachtungsmodus. Bei der Beschreibung der **Fig. 5A** und **Fig. 5B** und in der nachfolgenden Beschreibung bezeichnet das Symbol L einen Linkskipp-Betrachtungsmodus zum Erhalten einer nach links gekippten Abbildung, das Symbol T einen nicht gekippten Betrachtungsmodus zum Erhalten einer nicht gekippten Abbildung und das Symbol R einen Rechtskipp-Betrachtungsmodus zum Erhalten einer nach rechts gekippten Abbildung.

**[0039]** Bei der vorliegenden Ausführungsform nimmt die Steuervorrichtung **50** (siehe die **Fig. 1**) die nach links gekippte Abbildung, die nicht gekippte Abbildung und die nach rechts gekippte Abbildung unter Änderung des Betrachtungsmodus jedesmal dann auf, wenn sie den primären Elektronenstrahl **4** veranlasst, eine Abtastzeile abzutasten. Das heißt, dass wie in der **Fig. 5A** gezeigt bei der Änderung des Betrachtungsmodus von L → T → R eine Abtastzeile einmal in jedem Betrachtungsmodus abgetastet wird und dreimal insgesamt. Diese Abtastung wird wiederholt unter zeilenweisem Vorrücken für alle Abtastzeilen eines Bildes ausgeführt. In der **Fig. 5A** werden die drei Abtastvorgänge für eine Abtastzeile durch drei horizontal verlaufende Pfeile angezeigt, die etwas voneinander entfernt sind.

**[0040]** Zur Durchführung der Abtastung durch den primären Elektronenstrahl **4** wie in der **Fig. 5A** gezeigt führt die Steuervorrichtung **50** ein Kippspulen-Steuersignal **251** (siehe **Fig. 5B**), das sich synchron zur Änderung des Betrachtungsmodus **250** (L, T, R) verändert, über die Kippspulen-Steuerschaltung **25** den Kippspulen **11** und **12** zu. Synchron zur Änderung des Betrachtungsmodus **250** (L, T, R) führt die Steuervorrichtung **50** außerdem ein Abtastspulen-Steuersignal **241** für die horizontale Auslenksteuerung über die Abtastspulen-Steuerschaltung **24** den Abtastspulen **9** und **10** zu; darüberhinaus führt sie synchron zur Änderung des Betrachtungsmodus **250** von R nach L (das heißt zur Beendigung der drei Abtastvorgänge) ein Abtastspulen-Steuersignal **242** (siehe die **Fig. 5B**) für die vertikale Auslenksteuerung zu.

**[0041]** Um gleichzeitig die nicht gekippte Abbildung und die gekippte Abbildung zu erhalten, ist es erforderlich, dass die Steuervorrichtung **50** neben der oben beschriebenen Steuerung der Kippspulen **11** und **12** und der Abtastspulen **9** und **10** auch noch eine Steuerung zur Änderung der Position des Brennpunkts ausführt. Wie in Verbindung mit den **Fig. 3**

und **Fig. 4** beschrieben, unterscheidet sich die Position des Brennpunkts im nicht gekippten Betrachtungsmodus und im gekippten Betrachtungsmodus, wenn die Steuerparameter (Anregungsströme) für die Objektivlinse **13** und die Brennpunkt-Einstellspule **14** gleich bleiben. Um in beiden Moden Abbildungen mit einer besseren Auflösung zu erhalten, müssen die Positionen der Brennpunkte in jeder der beiden Moden gleich sein.

**[0042]** Wenn bei der vorliegenden Ausführungsform eine nicht gekippte Abbildung aufgenommen wird (im folgenden als nicht gekippter Betrachtungsmodus bezeichnet), erfolgt die Fokussierung durch die Objektivlinse **13**; wenn eine gekippte Abbildung aufgenommen wird (im folgenden als gekippter Betrachtungsmodus bezeichnet), wird bei unveränderter Position der Probe **15** und unverändertem Anregungsstrom der Objektivlinse **13** der Anregungsstrom für die Brennpunkt-Einstellspule **14** verändert, damit die Position des Brennpunkts im gekippten Betrachtungsmodus die gleiche ist wie im nicht gekippten Betrachtungsmodus.

**[0043]** Wenn der Betrachtungsmodus **250** vom gekippten Betrachtungsmodus zum nicht gekippten Betrachtungsmodus oder vom nicht gekippten Betrachtungsmodus zum gekippten Betrachtungsmodus wechselt, kann so die Steuervorrichtung **50** dafür sorgen, dass die Position des Brennpunkts im nicht gekippten Betrachtungsmodus gleich der im gekippten Betrachtungsmodus ist, wozu die Steuervorrichtung **50** nur den der Brennpunkt-Einstellspule **14** zugeführten Anregungsstrom über die Brennpunkt-Einstellspulen-Steuerschaltung **27** zu ändern braucht.

**[0044]** Die Position des Brennpunkts und der Anregungsstrom der Objektivlinse **13** im nicht gekippten Betrachtungsmodus und der Anregungsstrom der Brennpunkt-Einstellspule **14** im gekippten Betrachtungsmodus werden vorab eingestellt. Der Einstellvorgang wird nun als nächstes genau beschrieben.

**[0045]** Wie beschrieben beruht bei der vorliegenden Beschreibung die Steuerung durch die Steuervorrichtung **50** auf den Steuerparametern (den Anregungsströmen) für die Objektivlinse **13** und die Brennpunkt-Einstellspule **14** im nicht gekippten Betrachtungsmodus, und im gekippten Betrachtungsmodus werden die Steuerparameter der Brennpunkt-Einstellspule **14** verändert (dies trifft auch auf die folgende Beschreibung zu). Ohne durch die Erläuterung eingeschränkt zu sein, kann die Steuerung durch die Steuervorrichtung **50** jedoch auch auf den Steuerparametern für die Objektivlinse **13** und die Brennpunkt-Einstellspule **14** im nach links gekippten (oder nach rechts gekippten) Betrachtungsmodus beruhen, wobei dann die Steuerparameter für die Brennpunkt-Einstellspule **14** im nicht gekippten Betrachtungsmodus oder im nach

links gekippten (oder nach rechts gekippten) Betrachtungsmodus geändert werden.

**[0046]** Die **Fig. 6** zeigt ein Beispiel für eine Anzeige im Einstell-GUI-Bereich **312** des Abbildungsanzeigebildschirms **310** für den Einstellvorgang durch den Benutzer. Die **Fig. 7A** und **Fig. 7B** zeigen andere Beispiele für eine Steuerparametereinstellung im Einstell-GUI-Bereich **312**.

**[0047]** Das in der **Fig. 6** gezeigte Abbildungseinstellverfahren **3121** stellt einen Vorgang zum Einstellen der Prozesse dar und wird vorab vom Benutzer ausgeführt, damit gleichzeitig eine nicht gekippte Abbildung und eine gekippte Abbildung erhalten werden können, und soll die vom Benutzer auszuführenden Einstellvorgänge erleichtern.

**[0048]** Zum Beispiel wird im Abbildungseinstellverfahren **3121** der Schritt, in dem der Benutzer gerade eine Einstellung vornimmt, in einem Weiß-Schwarz-Umkehrmodus dargestellt. Im Einstell-GUI-Bereich **312** wird außerdem in der Nähe des Bereichs, in dem das Abbildungseinstellverfahren **3121** angezeigt wird, ein Benutzerunterstützungsbereich **3122** angezeigt. Im Benutzerunterstützungsbereich **3122** werden Erläuterungen über die Einstellungen in dem Schritt (der im Weiß-Schwarz-Umkehrmodus dargestellt ist) angezeigt, für den gerade die Einstellung erfolgt. Der Benutzerunterstützungsbereich **3122** enthält außerdem ein Eingabekästchen **3123**, eine Eingabeschaltfläche **3124** und einen Schieber **3125**, wie sie in den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** dargestellt sind, damit der Benutzer Daten eingeben kann.

**[0049]** Es erfolgt nun eine Beschreibung des Inhalts des Fensters für das Abbildungseinstellverfahren **3121**. Zuerst führt der Benutzer eine Brennpunkteinstellung für die nicht gekippte Abbildung aus (Schritt S01). Die Vorgänge dafür sind die gleichen wie bei der Brennpunkteinstellung für eine Abbildung, die mit einem allgemeinen Rasterelektronenmikroskop aufgenommen wird; dabei nimmt die Steuervorrichtung **50** die verschiedenen Steuerparameter (zum Beispiel die Beschleunigungsspannung und den Anregungsstrom für die Objektivlinse **13**) für die Elektronenkanone **1** und das Linsensystem **40** auf, wobei die Parameter das Endergebnis der Brennpunkteinstellung durch den Benutzer darstellen.

**[0050]** Dann legt der Benutzer den Kippwinkel für den primären Elektronenstrahl **4** fest (Schritt S02). Dabei zeigt die Steuervorrichtung **50** im Benutzerunterstützungsbereich **3122** das Eingabekästchen **3123** und dergleichen an, damit der Benutzer einen Kippwinkel eingeben kann. Wenn der Benutzer einen Kippwinkel direkt in das Eingabekästchen **3123** eingibt oder aus einem aufklappenden Menü einen Wert auswählt und eingibt, nimmt die Steuervorrichtung **50** den in das Eingabekästchen **3123** eingegebenen nu-

merischen Wert als Kippwinkel für den primären Elektronenstrahl **4** auf.

**[0051]** Der Kippwinkel ist der Winkel ( $\omega_1$ ; siehe die **Fig. 4**) zwischen dem auf die Oberfläche der Probe **15** eingestrahlten primären Elektronenstrahl **4** und der Mittelachse der Objektivlinse bei einer gekippten Betrachtung und entspricht dem Einfallswinkel bei der Einstrahlung des primären Elektronenstrahls **4** auf die Oberfläche der Probe **15**. Der Einfallswinkel bei der Einstrahlung auf die Oberfläche der Probe **15** bei der nicht gekippten Betrachtung ist  $0^\circ$  (das heißt, dass der primäre Elektronenstrahl **4** vertikal auf die Oberfläche der Probe **15** eingestrahlt wird, die horizontal auf dem Probenstisch **16** angeordnet ist). Zwischen einer nicht gekippten Betrachtung und einer gekippten Betrachtung werden die Position und der Kippwinkel der Probe **15** nicht verändert.

**[0052]** In der **Fig. 6** wird der Kippwinkel über das Eingabekästchen **3123** in die Steuervorrichtung **50** eingegeben; er kann jedoch auch über die Schaltfläche **3124** oder den Schieber **3125**, die in den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** gezeigt sind, in die Steuervorrichtung **50** eingegeben werden. Bei der Anzeige der Schaltfläche **3124** und dergleichen ist die Einheit des Kippwinkels nicht auf  $1,0^\circ$  begrenzt, sondern kann auch ein kleinerer Winkel wie  $0,1^\circ$  oder  $0,5^\circ$  sein oder ein größerer Winkel wie  $2^\circ$ .

**[0053]** Die Steuervorrichtung **50** berechnet dann auf der Basis des eingegebenen Kippwinkels die Anregungsströme für die Kippspulen **11** und **12** und führt die berechneten Anregungsströme den Kippspulen **11** und **12** zu. Dadurch wird der primäre Elektronenstrahl **4** gekippt und der gekippte Betrachtungsmodus ausgeführt.

**[0054]** Danach führt der Benutzer die Brennpunkteinstellung für die gekippte Abbildung aus (Schritt S03). Dabei sind die vom Benutzer ausgeführten Vorgänge im Wesentlichen die gleichen wie bei der Brennpunkteinstellung für die nicht gekippte Abbildung im Schritt S01. Bei der Brennpunkteinstellung im vorliegenden Schritt werden die Position und der Kippwinkel der Probe **15** nicht geändert. Die Brennpunkteinstellung im Schritt S03 ist daher eine Einstellung unter Verwendung der Brennpunkt-Einstellspule **14**, und die Steuervorrichtung **50** nimmt der Anregungsstrom und dergleichen für die Brennpunkt-Einstellspule **14** auf, der bei der Brennpunkteinstellung bestimmt wurde.

**[0055]** In den Schritten S01 bis S03 wird die Hauptverarbeitung, die von der Steuervorrichtung **50** ausgeführt wird, das heißt der Computer **30** genauer anhand der **Fig. 8** beschrieben.

**[0056]** Dann führt der Benutzer die Astigmatismuseinstellung der gekippten Abbildung durch (S04). Da



im gekippten Betrachtungsmodus ein Astigmatismus auftritt, korrigiert der Benutzer den Astigmatismus und stellt ihn ein. Außerdem führt der Benutzer die Positionszusammenführung für die nach links gekippte und die nach rechts gekippte Abbildung durch (S05). Wenn für die 3D-Betrachtung mehrere Methoden möglich sind, wählt der Benutzer das 3D-Betrachtungsverfahren, etwa das Anaglyph-Verfahren aus (Schritt S06).

**[0057]** Bei dem vom Benutzer durchgeführten Abbildungseinstellverfahren der **Fig. 6** müssen die Einstellungen in den Schritten S03 bis S05 nicht notwendigerweise in der angegebenen Reihenfolge erfolgen, der Benutzer kann die Reihenfolge der Einstellungen auch beliebig ändern.

**[0058]** Schließlich speichert die Benutzer die bei dem Vorgang bis zum Schritt S06 eingestellten Bedingungen (Schritt S07). Das heißt, dass der Benutzer veranlasst, dass die bis zu diesem Punkt eingestellten Bedingungen (die verschiedenen Steuerparameter (die verschiedenen Steuerspannungen und Steuerströme), die von der Steuervorrichtung **50** an die Elektronenkanone **1** und das Linsensystem **40** ausgegeben werden) in einer Speichervorrichtung des Computers **30** gespeichert werden.

**[0059]** Die **Fig. 8** ist ein Flussdiagramm für ein Beispiel für den Hauptprozess, der von der Steuervorrichtung **50** bei der Einstellung in den Schritten S01 bis S03 des Abbildungseinstellverfahrens **3121** der **Fig. 6** ausgeführt wird und zeigt den Prozessablauf bis zur Aufnahme der ersten Abbildung für die gekippte Abbildung, die erforderlich ist, damit der Benutzer mit der Brennpunkteinstellung für die gekippte Abbildung im Schritt S03 beginnen kann.

**[0060]** Zuerst führt der Benutzer die Brennpunkteinstellung für die nicht gekippte Abbildung aus, wobei die Steuervorrichtung **50** zur Unterstützung der Brennpunkteinstellung verschiedene Einstell-GUIs anzeigt und Informationen für die Brennpunkteinstellung zur Bestimmung des optimalen Brennpunkts für die nicht gekippte Abbildung aufnimmt (zum Beispiel verschiedene Steuerparameter wie die Beschleunigungsspannung ( $V_1$ )) (Schritt S11). Dann wird der Steuervorrichtung **50** als wichtigster Steuerparameter für die Brennpunkteinstellung der Anregungsstrom ( $I_{obj}$ ) für die Objektivlinse **13** zugeführt (Schritt S12).

**[0061]** Dann berechnet die Steuervorrichtung **50** den sphärischen Aberrationskoeffizient ( $C_s$ ) unter Verwendung des zugeführten Anregungsstroms ( $I_{obj}$ ) für die Objektivlinse **13** und des folgenden Ausdrucks (1) (Schritt S13). Eine Beschreibung der Einzelheiten über den Funktionsausdruck  $F_1(I_{obj})$  im Ausdruck (1) wird hier vermieden.

$$C_s = F_1(I_{obj}) \quad (1).$$

**[0062]** Der sphärische Aberrationskoeffizient ( $C_s$ ) der Objektivlinse kann auch ohne den Ausdruck (1) durch Bezug auf eine Steuertabelle erhalten werden, die vorab für die jeweiligen Beschleunigungsspannungen ( $V_1$ ) und Anregungsströme ( $I_{obj}$ ) aufgenommen wurde.

**[0063]** Dann legt der Benutzer den Kippwinkel über das Eingabekästchen **3123** (**Fig. 6**; siehe den Benutzerunterstützungsbereich **3122**) fest, und die Steuervorrichtung **50** nimmt den eingegebenen Kippwinkel auf ( $\omega_1$ ; Schritt S14).

**[0064]** Dann berechnet die Steuervorrichtung **50** die Anregungsströme der Kippspulen **11** und **12** für den eingegebenen Kippwinkel ( $\omega_1$ ; Schritt S14) und führt bei der gekippten Betrachtung die berechneten Anregungsströme den Kippspulen **11** und **12** zu (Schritt S16). Bei der gekippten Betrachtung ist die Mittelachse des eingestrahlten primären Elektronenstrahls **4** entsprechend aus der Mittelachse der Objektivlinse **13** gekippt.

**[0065]** Dann berechnet die Steuervorrichtung **50** die Brennebenen-Änderungsgröße ( $\Delta Z_f$ , Schritt S17). Die Brennebenen-Änderungsgröße ( $\Delta Z_f$ ) ist, wie anhand der **Fig. 3** und **Fig. 4** beschrieben wurde, das Ausmaß der Verschiebung bei der Verschiebung der optimalen Brennebene zwischen der nicht gekippten Betrachtung und der gekippten Betrachtung; sie wird im allgemeinen von dem Ausdruck (2) angegeben, der den sphärischen Aberrationskoeffizient ( $C_s$ ) der Objektivlinse **13** und den Winkel zwischen dem primären Elektronenstrahl **4** und der Mittelachse der Objektivlinse **13**, das heißt den Kippwinkel auf der Probe ( $\omega_1$ ) enthält:

$$\Delta Z_f = C_s \times \omega_1^2 \quad (2).$$

Die Steuervorrichtung **50** berechnet dann den Anregungsstrom ( $I_f$ ) für die Brennpunkt-Einstellspule **14** anhand des Ausdrucks (5), der weiter unten angegeben ist (Schritt S18).

**[0066]** Die Anregungseinstellgröße ( $\Delta E_{xf}$ ) für die Brennpunkt-Einstellspule **14** wird unter Verwendung der Brennebenen-Änderungsgröße ( $\Delta Z_f$ ) durch den Ausdruck (3) angegeben. Eine Beschreibung des Funktionsausdrucks  $G(\Delta Z_f)$  im Ausdruck (3) wird hier vermieden.

$$\Delta E_{xf} = G(\Delta Z_f) \quad (3).$$

Die Anregungseinstellgröße ( $\Delta E_{xf}$ ) für die Brennpunkt-Einstellspule **14** wird unter Verwendung der

Anregungseinstellgröße ( $\Delta E_{xf}$ ), der Anzahl von Windungen ( $N_f$ ) und der Beschleunigungsspannung ( $V_1$ ) der Brennpunkt-Einstellspule **14** auch durch den folgenden Ausdruck (4) angegeben:

$$\Delta E_{xf} = \frac{N_f \cdot I_f}{\sqrt{V_1}} \quad (4).$$

Auf der Basis der Ausdrücke (3) und (4) wird der Anregungsstrom ( $I_f$ ) für die Brennpunkt-Einstellspule **14** durch den folgenden Ausdruck (5) angegeben:

$$I_f = \frac{\Delta E_{xf} \cdot \sqrt{V_1}}{N_f} = \frac{G(\Delta Z_f) \cdot \sqrt{V_1}}{N_f} \quad (5).$$

Der Anregungsstrom ( $I_f$ ) für die Brennpunkt-Einstellspule **14** wird hier aus dem Ausdruck (5) berechnet; der Anregungsstrom ( $I_f$ ) für die Brennpunkt-Einstellspule **14** kann jedoch auch durch Bezug auf eine Steuertabelle erhalten werden, die vorab für die Beschleunigungsspannung ( $V_1$ ) und die Brennebenen-Änderungsgröße ( $\Delta Z_f$ ) erstellt wurde.

[0067] Dann führt die Steuervorrichtung **50** der Brennpunkt-Einstellspule **14** den aus dem Ausdruck (5) berechneten Anregungsstrom ( $I_f$ ) für die Brennpunkt-Einstellspule **14** bei gekippter Betrachtung zu (Schritt S19).

[0068] Durch den obigen Vorgang wird die Brennpunkteinstellung für die gekippte Betrachtung automatisch vom Computer **30** durchgeführt. Da die Brennpunkteinstellung automatisch erfolgte, ist der Benutzer nicht notwendigerweise damit zufrieden; die unter dieser Bedingung erhaltene gekippte Abbildung wird daher als erste Abbildung für die Brennpunkteinstellung bei der gekippten Abbildung verwendet, die daraufhin vom Benutzer durchgeführt wird.

[0069] Die Fig. 9 zeigt ein Beispiel für eine nach links gekippte Abb. 311a, eine nach rechts gekippte Abb. 311b, eine nicht gekippte Abb. 311c und eine 3D-Abbildung 311d, wie sie tatsächlich mit dem Rasterelektronenmikroskop **100** bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erhalten wird.

[0070] Wie beschrieben werden bei der vorliegenden Ausführungsform, wenn der Benutzer oder die Steuervorrichtung **50** das Brennpunkteinstellverfahren der Fig. 6 und Fig. 8 für die nicht gekippte Abbildung und die gekippte Abbildung ausführt, die nach links gekippte Abb. 311a, die nach rechts gekippte Abb. 311b, die nicht gekippte Abb. 311c und die 3D-Abbildung 311d der Fig. 9 fast gleichzeitig erhalten und fast gleichzeitig in einem Zustand angezeigt, in dem alle Abbildung scharf sind.

[0071] Dies ist möglich, weil, wenn die Steuervorrichtung **50** eine Umschaltung zwischen dem nicht gekippten Betrachtungsmodus und dem gekippten Betrachtungsmodus durchführt, auch sofort eine Brennpunkteinstellung erfolgt, wobei nur der Anregungsstrom für die Brennpunkt-Einstellspule **14** geändert wird und der Anregungsstrom für die Objektivlinse **13** unverändert bleibt. Da die Objektivlinse **13** einen Eisenkern enthält, ist die Ansprechzeit bei der Brennpunkteinstellung aufgrund der Hysterese lang, während, da die Brennpunkt-Einstellspule **14** keinen Eisenkern enthält, deren Ansprechzeit bei der Brennpunkteinstellung kurz ist. Bei der vorliegenden Ausführungsform kann somit die Brennweite nahezu sofort dem nicht gekippten Betrachtungsmodus bzw. dem gekippten Betrachtungsmodus angepasst werden, so dass es möglich ist, die Umschaltung zwischen dem nicht gekippten Betrachtungsmodus und dem gekippten Betrachtungsmodus bei jeder Abtastzeile durchzuführen.

(Erstes Variationsbeispiel der Ausführungsform)

[0072] Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird, wie in den Fig. 5A und Fig. 5B gezeigt, die Betrachtungsmodusänderung von L → T → R bei jeder Abtastung einer Abtastzeile durchgeführt. Es ist jedoch auch möglich, die Änderung nicht bei jeder Abtastung einer Abtastzeile, sondern die Betrachtungsmodusänderung von L → T → R jedesmal dann durchzuführen, wenn ein Bild der Abbildung (zum Beispiel nach 512 Abtastzeilen für eine Bildschirmdarstellung) erhalten wird. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, jede Abtastzeile dreimal abzutasten.

(Zweites Variationsbeispiel der Ausführungsform)

[0073] Die Fig. 10 zeigt ein Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer Brennpunkt-Einstelleinrichtung für die gekippte Betrachtung bei einer zweiten Variante der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und der ersten Variante davon wird die Brennpunkt-Einstellspule **14** als Brennpunkt-Einstelleinrichtung für die gekippte Betrachtung verwendet; bei der zweiten Variante sind dagegen anstatt der Brennpunkt-Einstellspule **14** wie in der Fig. 10 gezeigt elektrostatische Linsen **51** und **52** in der Nähe der Objektivlinse **13** angebracht, die als Brennpunkt-Einstelleinrichtung verwendet werden.

[0074] Auch bei dieser Anordnung kann die Betrachtungsmodusänderung von L nach T nach R jedesmal beim Abtasten einer Abtastzeile für das Bild erfolgen.

(Drittes Variationsbeispiel der Ausführungsform)

[0075] Die Fig. 11 zeigt ein Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer Brennpunkt-Einstelleinrichtung für die gekippte Betrachtung bei einer dritten Varian-

te der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und der ersten Variante davon ist die Brennpunkt-Einstellspule **14**, die als Brennpunkt-Einstelleinrichtung für die gekippte Betrachtung verwendet wird, in der Nähe eines Magnetpols der Objektivlinse **13** angeordnet; die Position ist jedoch nicht auf die Nähe eines Magnetpols beschränkt, sondern die Brennpunkt-Einstellspule **14** kann auch wie in der **Fig. 11** gezeigt in der Nähe der Unterseite der Objektivlinse **13** angeordnet sein. Hinsichtlich des zweiten Variationsbeispiels können anstatt der Brennpunkt-Einstellspule **14** die elektrostatischen Linsen **51**, **52** in der Nähe der Unterseite der Objektivlinse **13** angebracht sein.

(Viertes Variationsbeispiel der Ausführungsform)

**[0076]** Die **Fig. 12** zeigt ein Beispiel für den prinzipiellen Aufbau einer Brennpunkt-Einstelleinrichtung für die gekippte Betrachtung bei einer vierten Variante der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und der ersten Variante davon ist die Brennpunkt-Einstellspule **14**, die als Brennpunkt-Einstelleinrichtung für die gekippte Betrachtung verwendet wird, in der Nähe eines Magnetpols der Objektivlinse **13** angeordnet; die Position ist jedoch nicht auf die Nähe eines Magnetpols beschränkt, sondern die Brennpunkt-Einstellspule **14** kann auch wie in der **Fig. 12** gezeigt an einer Stelle auf der Seite der Elektronenkanone **1** relativ zu der Objektivlinse **13** angeordnet sein. Hinsichtlich der zweiten Variante können anstatt der Brennpunkt-Einstellspule **14** die elektrostatischen Linsen **51**, **52** an einer Stelle auf der Seite der Elektronenkanone **1** relativ zu der Objektivlinse **13** angebracht sein.

**[0077]** Die vorliegende Erfindung wurde zwar anhand einer Ausführungsform beschrieben, sie ist jedoch nicht auf die Ausführungsform beschränkt, sondern kann innerhalb des Umfangs der anhängenden Patentansprüche für die vorliegende Erfindung abgeändert und modifiziert werden.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Elektronenkanone
<b>2</b>	Kathode
<b>3</b>	Anode
<b>4</b>	Primärer Elektronenstrahl
<b>5</b>	Erste Fokussierlinse
<b>6</b>	Zweite Fokussierlinse
<b>7</b>	Blendenplatte
<b>8</b>	Astigmatismus-Korrekturspule

<b>9, 10</b>	Abtastspule (Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuer Einrichtung)
<b>11, 12</b>	Kippspule (Einstrahlachsen-Kippeinrichtung)
<b>13</b>	Objektivlinse
<b>14</b>	Brennpunkt-Einstellspule (Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung)
<b>15</b>	Probe
<b>16</b>	Probentisch
<b>17</b>	Sekundärelektronendetektor (Ladungsteilchendetektor)
<b>18</b>	Detektor für reflektierte Elektronen (Ladungsteilchendetektor)
<b>19</b>	Signalverstärker
<b>20</b>	Hochspannungsquellen-Steuerungsschaltung
<b>21</b>	Steuerungsschaltung für erste Fokussierlinse
<b>22</b>	Steuerungsschaltung für zweite Fokussierlinse
<b>23</b>	Astigmatismuskorrekturspulen-Steuerungsschaltung
<b>24</b>	Abtastspulen-Steuerungsschaltung
<b>25</b>	Kippspulen-Steuerungsschaltung
<b>26</b>	Objektivlinsen-Steuerungsschaltung
<b>27</b>	Brennpunkt-Einstellspulen-Steuerungsschaltung
<b>28</b>	Signaleingabeschaltung
<b>29</b>	Probentisch-Steuerungsschaltung
<b>30</b>	Computer
<b>31</b>	Anzeigevorrichtung
<b>32</b>	Bildspeicher
<b>33</b>	Eingabevorrichtung
<b>40</b>	Linsensystem
<b>50</b>	Steuervorrichtung
<b>51</b>	Elektrostatische Linse
<b>52</b>	Elektrostatische Linse
<b>100</b>	Rasterelektronenmikroskop (Ladungsteilchenstrahlvorrichtung)
<b>241</b>	Abtastspulen-Steuersignal (Horizontales Auslenksignal)
<b>242</b>	Abtastspulen-Steuersignal (Vertikales Auslenksignal)
<b>250</b>	Betrachtungsmodus
<b>251</b>	Kippspulen-Steuersignal

<b>310</b>	Abbildungsanzeigebildschirm
<b>311</b>	Abbildungsanzeigebereich
<b>311a</b>	Nach links gekippte Abbildung
<b>311b</b>	Nach rechts gekippte Abbildung
<b>311c</b>	Nicht gekippte Abbildung
<b>311d</b>	3D-Abbildung
<b>312</b>	Einstell-GUI-Bereich
<b>3121</b>	Abbildungseinstellverfahren
<b>3122</b>	Benutzerunterstützungsbereich
<b>3123</b>	Eingabekästchen
<b>3124</b>	Eingabeschaltfläche
<b>3125</b>	Schieber

### Patentansprüche

1. Ladungsteilchenstrahlvorrichtung (100) mit einer Ladungsteilchenquelle (1);  
 einer Anzahl von elektronischen Linsen (5, 6) zum Fokussieren des primären Ladungsteilchenstrahls (4), der von der Ladungsteilchenquelle (1) emittiert wird;  
 einer Objektivlinse (13);  
 einer Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuereinrichtung (9, 10) zum Steuern der Auslenkung des primären Ladungsteilchenstrahls (4) derart, dass, wenn der fokussierte primäre Ladungsteilchenstrahl (4) auf die Oberfläche einer Probe (15) eingestrahlt wird, der Einstrahlpunkt davon die Oberfläche der Probe (15) zweidimensional abtastet;  
 einer Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) zum Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) beim Einstrahlen des primären Ladungsteilchenstrahls (4) auf die Probe (15);  
 einer Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (14; 51, 52) zum Durchführen einer Einstellung derart, dass die Position des Brennpunkts beim Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) durch die Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) mit der Position des Brennpunkts für eine nicht gekippte Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) übereinstimmt;  
 einem Ladungsteilchendetektor (17, 18) zum Erfassen der von der Probe (15) bei der Einstrahlung des primären Ladungsteilchenstrahls (4) auf die Probe (15) emittierten Ladungsteilchen; und  
 einer Steuervorrichtung (50) zum Erzeugen einer Abbildung der Oberfläche der Probe (15) auf der Basis des vom Ladungsteilchendetektor (17, 18) erfassten Signals,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
 die Steuervorrichtung (50) über die Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) den primären Ladungsteilchenstrahl (4) so steuert, dass dieser die gleiche Abtastzeile als eine Abtastzeile auf der Oberfläche der Probe (15) drei Mal abtastet, wobei die Einstrahlach-

se des primären Ladungsteilchenstrahls (4) in der Abfolge der drei Abtastungen mittels der Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuereinrichtung (9, 10) nach links gekippt, nicht gekippt und nach rechts gekippt wird;  
 die Steuervorrichtung (50) bei einer Änderung der Einstrahlachse über die Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (14; 51, 52) die Position des Brennpunkts des primären Ladungsteilchenstrahls (4) entsprechend dem nach links gekippten Zustand, dem nicht gekippten Zustand oder dem nach rechts gekippten Zustand der Einstrahlachse einstellt, um eine auf die Oberfläche der Probe (15) fokussierte nach links gekippte Abbildung, eine auf die Oberfläche der Probe (15) fokussierte nicht gekippte Abbildung und eine auf die Oberfläche der Probe (15) fokussierte nach rechts gekippte Abbildung für die eine Abtastzeile zu erhalten und um gleichzeitig die nach links gekippte fokussierte Abbildung, die nicht gekippte fokussierte Abbildung und die nach rechts gekippte fokussierte Abbildung in Verbindung mit den bis zu diesem Zeitpunkt erhaltenen Abtastzeilen an ein und derselben Anzeigevorrichtung anzuzeigen; und  
 die Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (14; 51, 52) an der Objektivlinse (13) oder relativ zu der Objektivlinse (13) auf der Seite der Ladungsteilchenquelle (1) angeordnet ist und elektrostatische Linsen (51, 52) oder eine Spule (14) enthält, die keinen Metallkern aus einem magnetischen Material enthält.

2. Ladungsteilchenstrahlvorrichtung (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuervorrichtung (50) unter Verwendung der nach links gekippten fokussierten Abbildung und der nach rechts gekippten fokussierten Abbildung eine fokussierte 3D-Abbildung erzeugt und gleichzeitig an ein und derselben Anzeigevorrichtung die erzeugte fokussierte 3D-Abbildung, die nach links gekippte fokussierte Abbildung, die nach rechts gekippte fokussierte Abbildung und die nicht gekippte fokussierte Abbildung anzeigt.

3. Anzeigeverfahren für eine gekippte Abbildung für eine Ladungsteilchenstrahlvorrichtung (100) mit einer Ladungsteilchenquelle (1);  
 einer Anzahl von elektronischen Linsen (5, 6) zum Fokussieren des primären Ladungsteilchenstrahls (4), der von der Ladungsteilchenquelle (1) emittiert wird;  
 einer Objektivlinse (13);  
 einer Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuereinrichtung (9, 10) zum Steuern der Auslenkung des primären Ladungsteilchenstrahls (4) derart, dass, wenn der fokussierte primäre Ladungsteilchenstrahl (4) auf die Oberfläche einer Probe (15) eingestrahlt wird, der Einstrahlpunkt davon die Oberfläche der Probe (15) zweidimensional abtastet;  
 einer Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) zum Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteil-

chenstrahls (4) beim Einstrahlen des primären Ladungsteilchenstrahls (4) auf die Probe (15); einer Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (14; 51, 52) zum Durchführen einer Einstellung derart, dass die Position des Brennpunkts beim Kippen der Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) durch die Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) mit der Position des Brennpunkts für eine nicht gekippte Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) übereinstimmt; einem Ladungsteilchendetektor (17, 18) zum Erfassen der von der Probe (15) bei der Einstrahlung des primären Ladungsteilchenstrahls (4) auf die Probe (15) emittierten Ladungsteilchen; und einer Steuervorrichtung (50) zum Erzeugen einer Abbildung der Oberfläche der Probe (15) auf der Basis des vom Ladungsteilchendetektor (17, 18) erfassten Signals,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

die Steuervorrichtung (50) über die Einstrahlachsen-Kippeinrichtung (11, 12) den primären Ladungsteilchenstrahl (4) so steuert, dass dieser die gleiche Abtastzeile als eine Abtastzeile auf der Oberfläche der Probe (15) drei Mal abtastet, wobei die Einstrahlachse des primären Ladungsteilchenstrahls (4) in der Abfolge der drei Abtastungen mittels der Ladungsteilchenstrahl-Abtast-Steuereinrichtung (9, 10) nach links gekippt, nicht gekippt und nach rechts gekippt wird;

die Steuervorrichtung (50) bei einer Änderung der Einstrahlachse über die Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (14; 51, 52) die Position des Brennpunkts des primären Ladungsteilchenstrahls (4) entsprechend dem nach links gekippten Zustand, dem nicht gekippten Zustand oder dem nach rechts gekippten Zustand der Einstrahlachse einstellt, um eine auf die Oberfläche der Probe (15) fokussierte nach links gekippte Abbildung, eine auf die Oberfläche der Probe (15) fokussierte nicht gekippte Abbildung und eine auf die Oberfläche der Probe (15) fokussierte nach rechts gekippte Abbildung für die eine Abtastzeile zu erhalten und um gleichzeitig die nach links gekippte fokussierte Abbildung, die nicht gekippte fokussierte Abbildung und die nach rechts gekippte fokussierte Abbildung in Verbindung mit den bis zu diesem Zeitpunkt erhaltenen Abtastzeilen an ein und derselben Anzeigevorrichtung anzuzeigen; und die Brennpunktpositions-Einstelleinrichtung (14; 51, 52) an der Objektivlinse (13) oder relativ zu der Objektivlinse (13) auf der Seite der Ladungsteilchenquelle (1) angeordnet ist und elektrostatische Linsen (51, 52) oder eine Spule (14) enthält, die keinen Metallkern aus einem magnetischen Material enthält.

zeitig an ein und derselben Anzeigevorrichtung die erzeugte fokussierte 3D-Abbildung zusammen mit der nach links gekippten fokussierten Abbildung, der nach rechts gekippten fokussierten Abbildung und der nicht gekippten fokussierten Abbildung anzeigt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

4. Anzeigeverfahren für eine gekippte Abbildung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuervorrichtung (50) unter Verwendung der nach links gekippten fokussierten Abbildung und der nach rechts gekippten fokussierten Abbildung eine fokussierte 3D-Abbildung erzeugt und gleich-

## Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

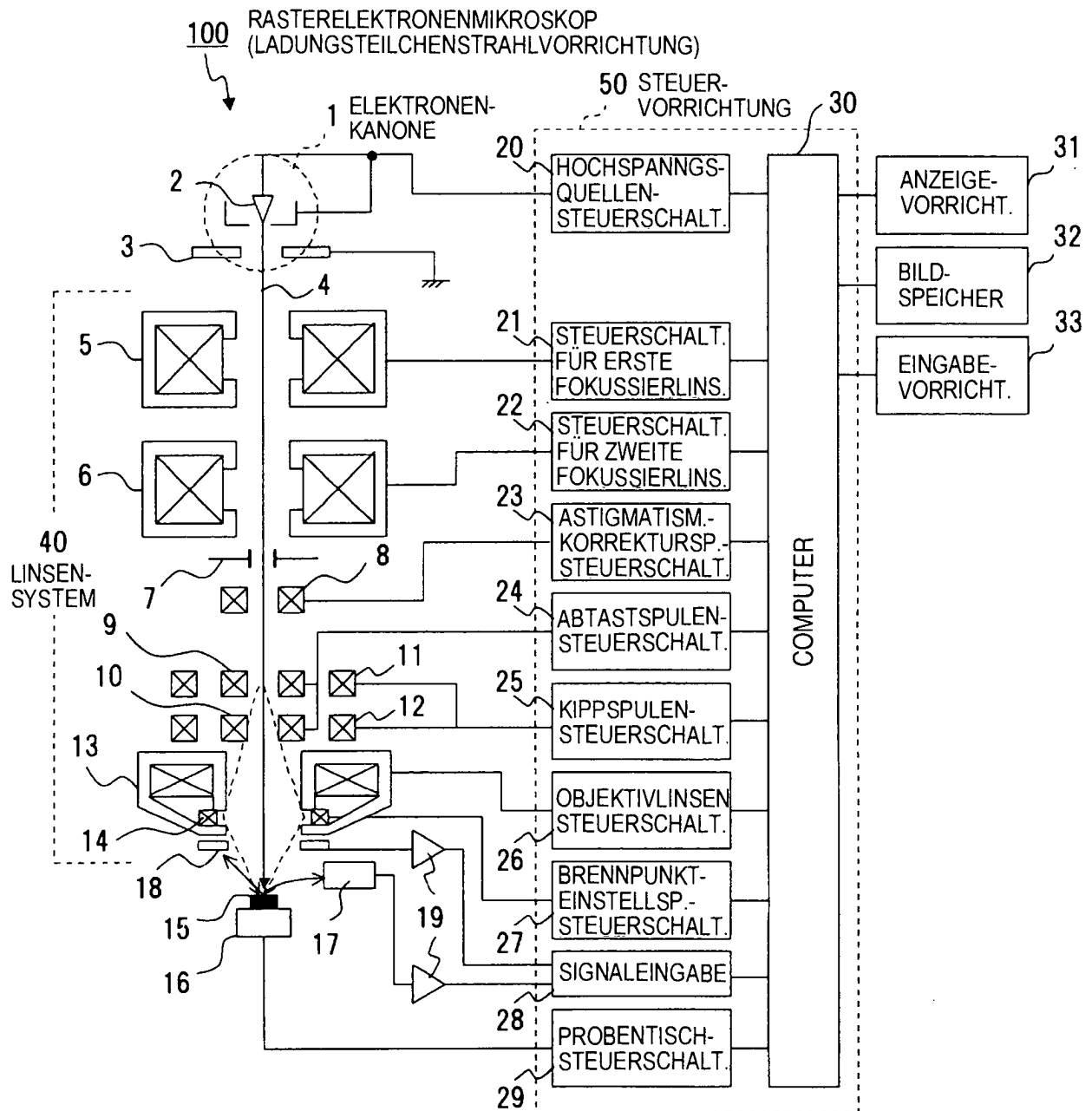


FIG. 2

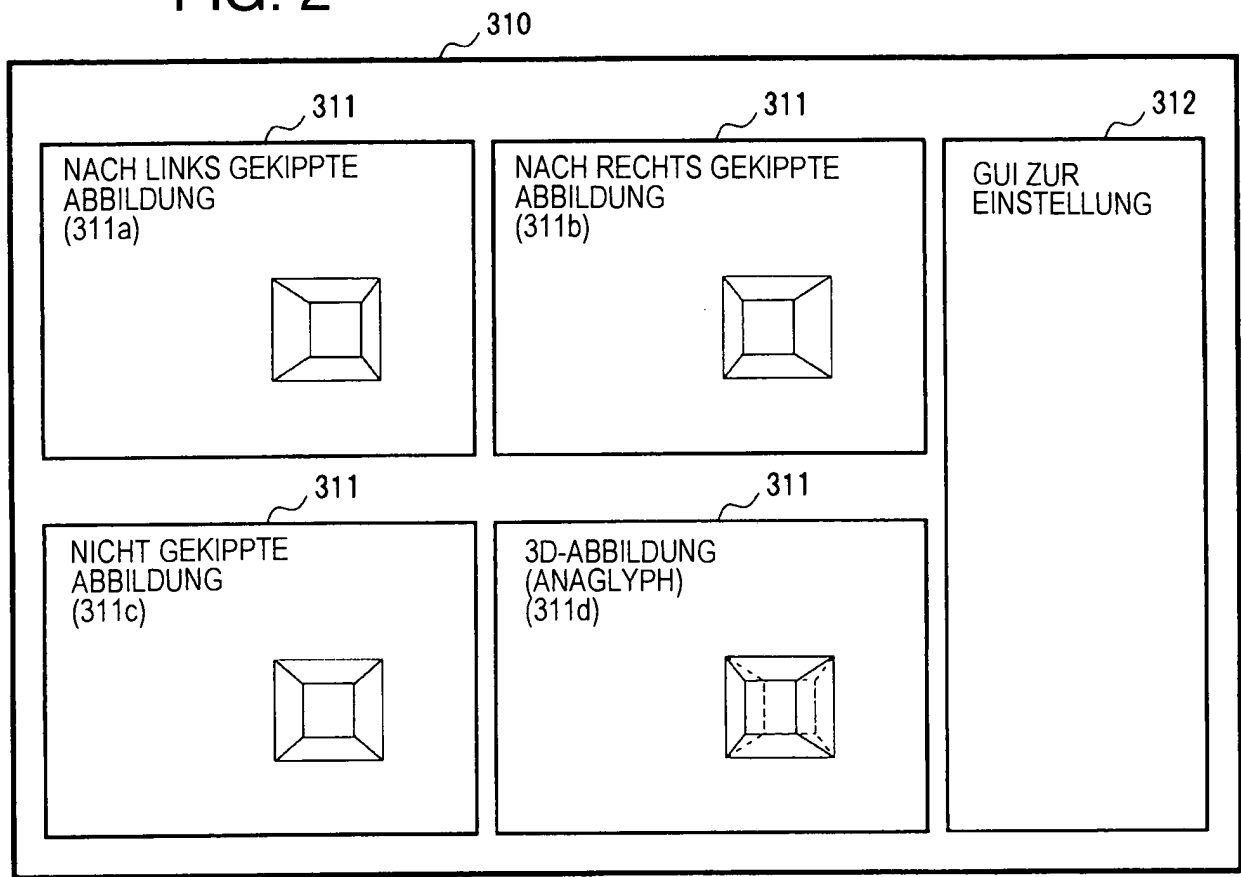


FIG. 3

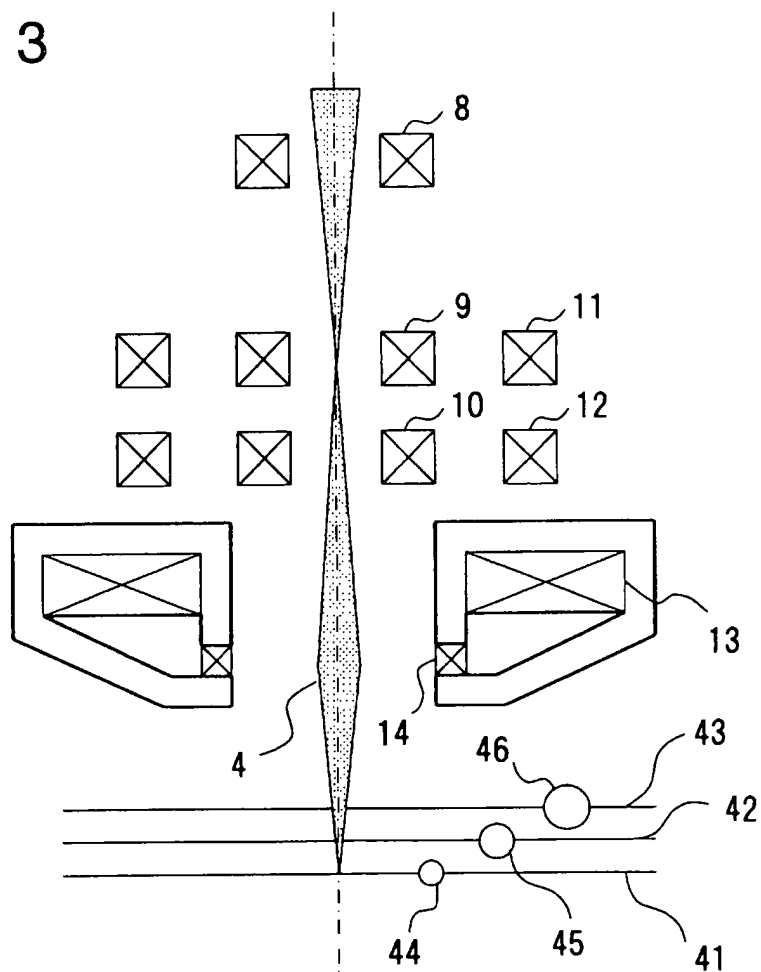


FIG. 4

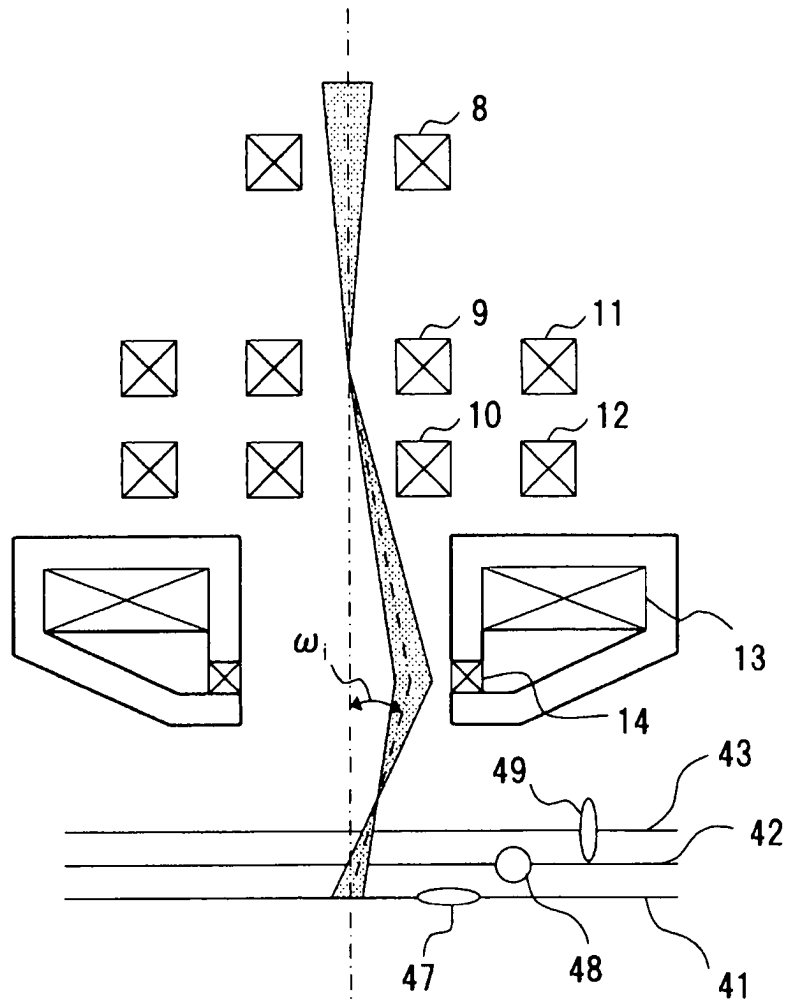


FIG. 5A

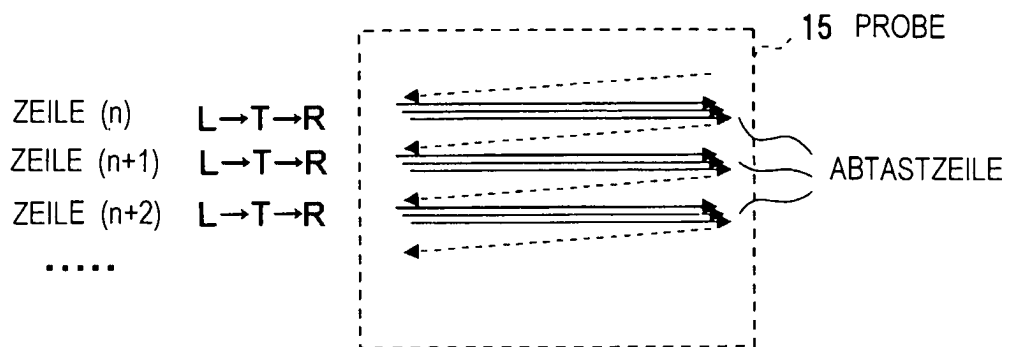




FIG. 5B

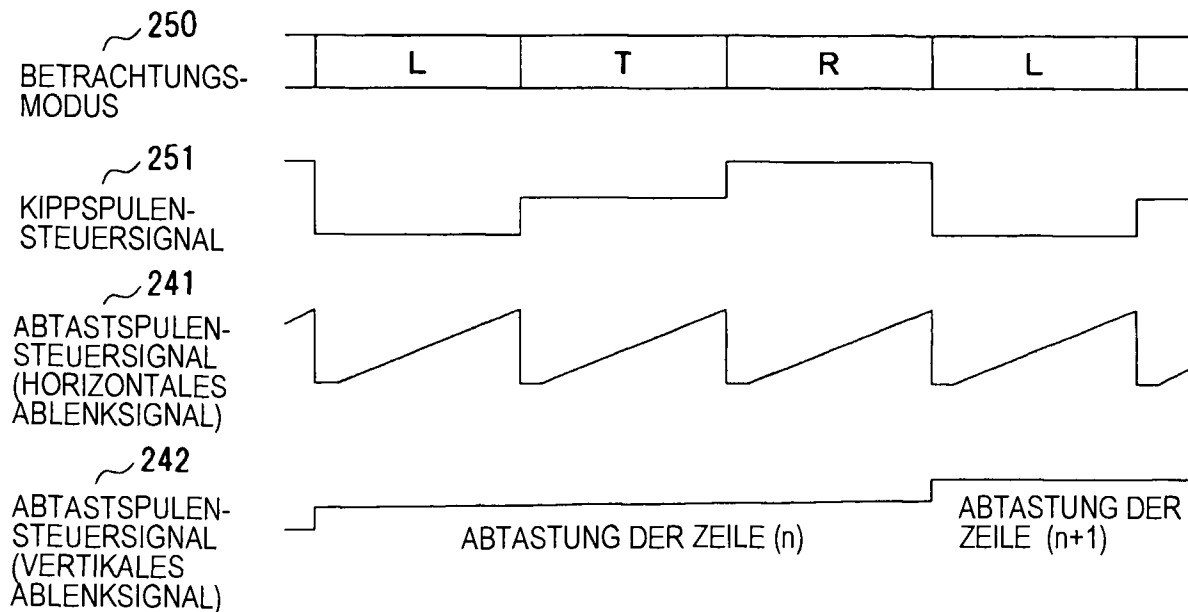


FIG. 6

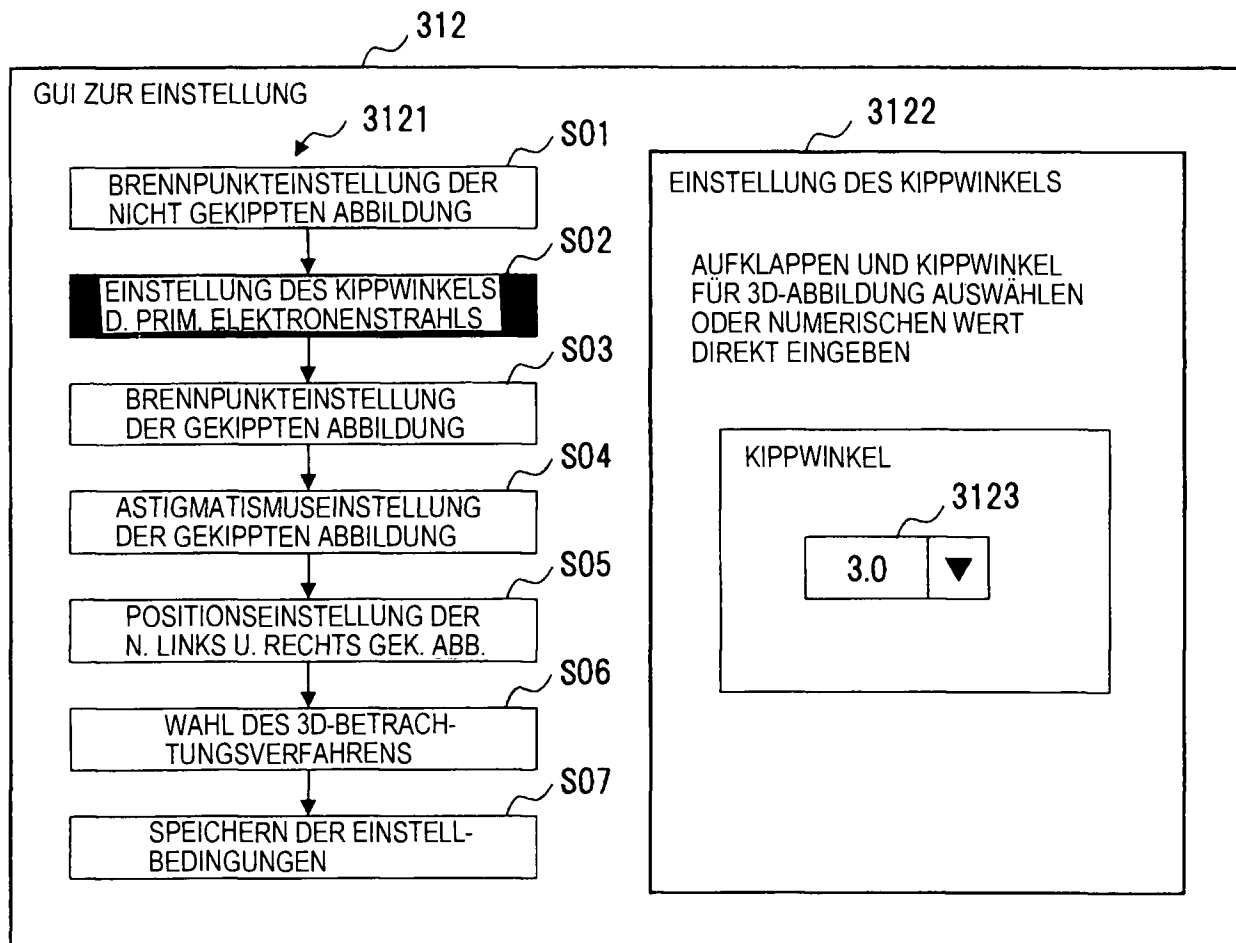


FIG. 7A

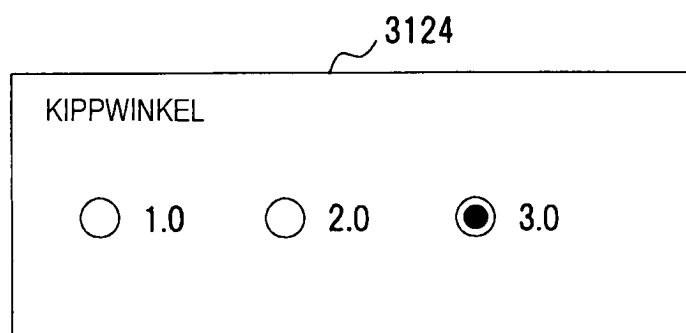


FIG. 7B

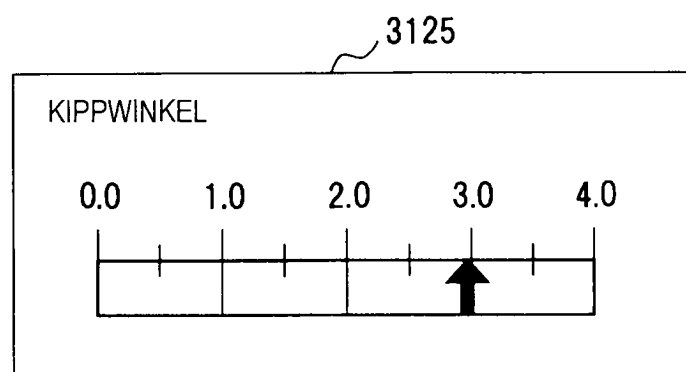


FIG. 8

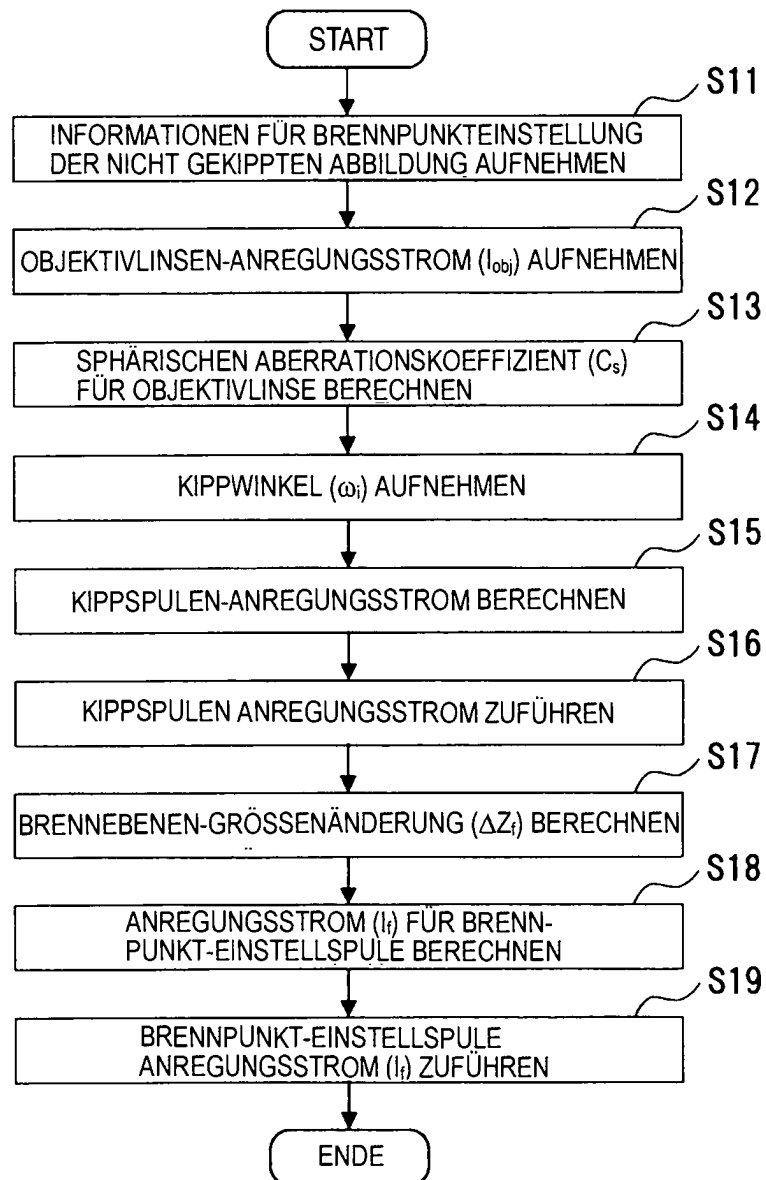


FIG. 9

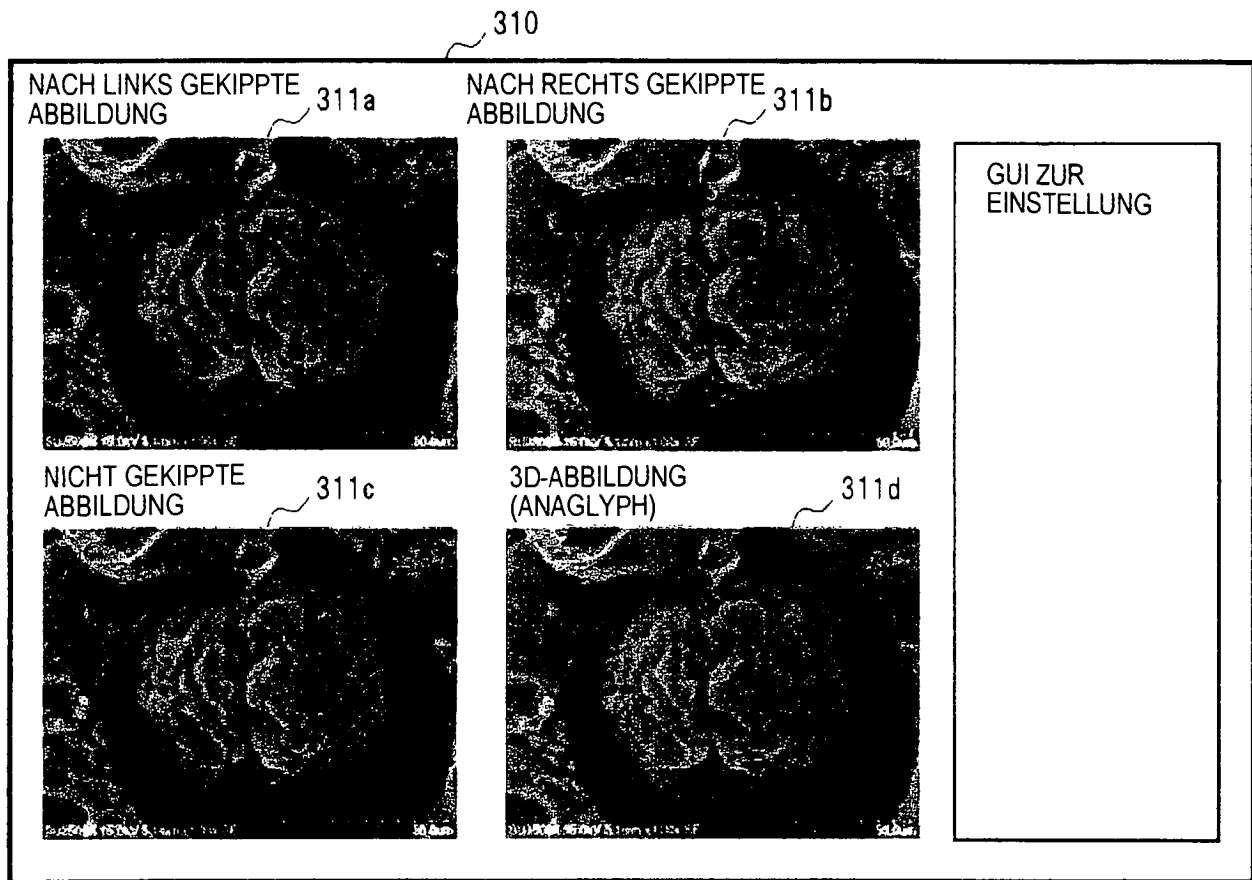


FIG. 10

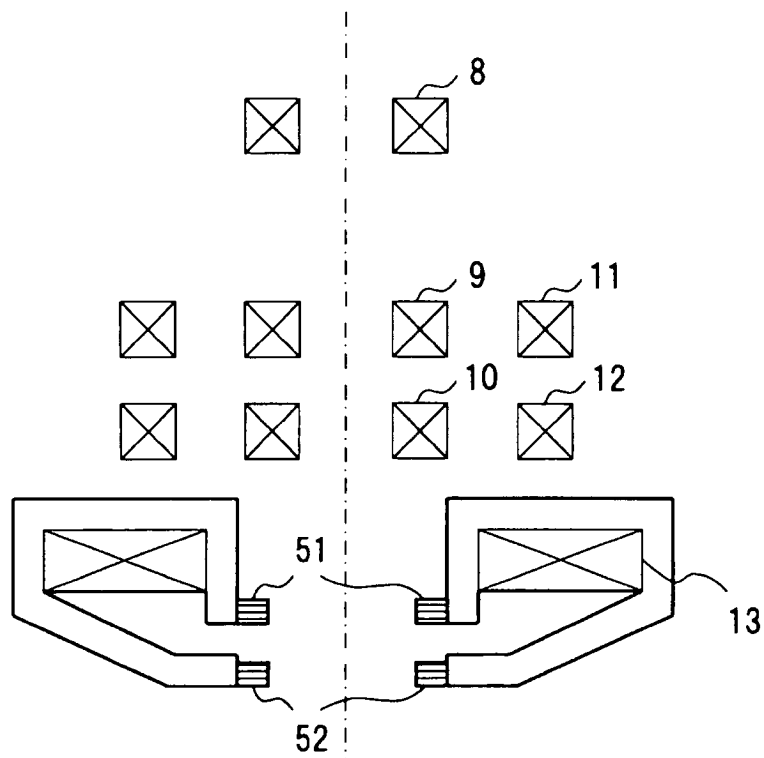


FIG. 11

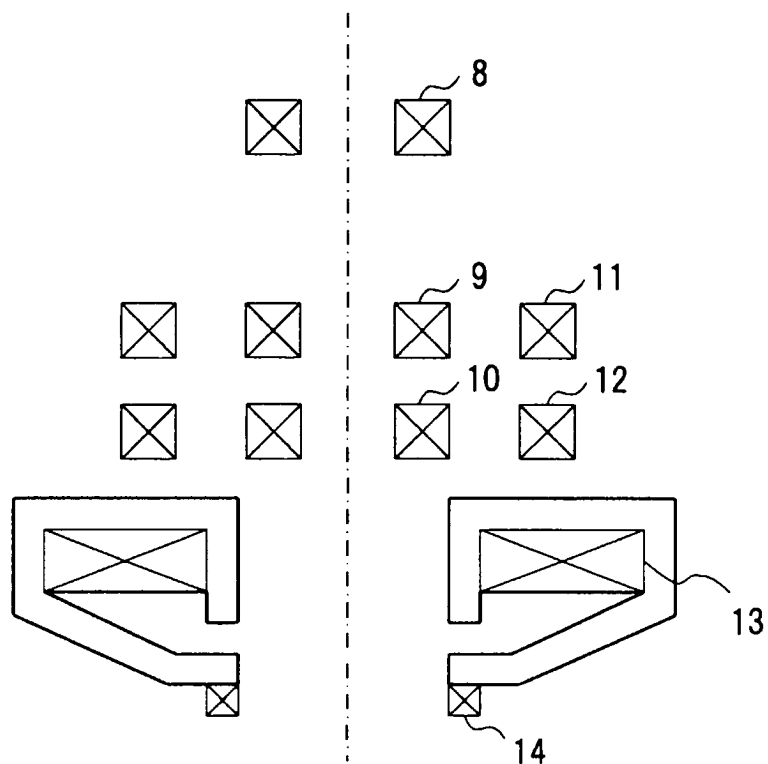


FIG. 12

