



(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2015 001 235.4**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2015/032173**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2015/183734**  
(86) PCT-Anmeldetag: **22.05.2015**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **03.12.2015**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **22.12.2016**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **17.08.2023**

(51) Int Cl.: **H01J 37/05 (2006.01)**  
**H01J 49/28 (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:

**62/002,894**      **25.05.2014**    **US**  
**14/711,607**      **13.05.2015**    **US**

(72) Erfinder:

**Jiang, Xinrong, Palo Alto, Calif., US; Han, Liquan, Pleasanton, Calif., US**

(73) Patentinhaber:

**KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**siehe Folgeseiten**

(74) Vertreter:

**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,  
93049 Regensburg, DE**

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ABBILDUNG MITTELS EINES ELEKTRONENSTRAHLS UNTER VERWENDUNG EINES MONOCHROMATORS MIT DOPPELTEM WIEN-FILTER SOWIE MONOCHROMATOR**

(57) Hauptanspruch: Eine Vorrichtung zur Abbildung mit einem Elektronenstrahl, umfassend:

eine Spitze (Tip) einer Emitterquelle, die Elektronen emittiert;

eine Linse (GL) einer Elektronenkanone, die die Elektronen fokussiert, um einen Elektronenstrahl zu formen, der dahingehend parallel ist, dass der Elektronenstrahl Elektronenbahnen aufweist, die parallel sind;

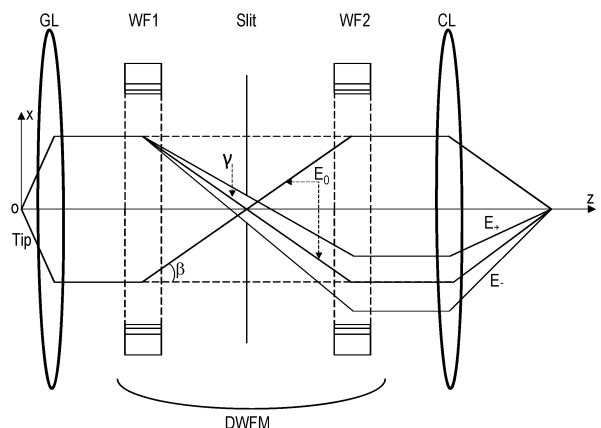
ein erster Wien-Filter (WF1), der den Elektronenstrahl in eine erste Ebene fokussiert, während der Elektronenstrahl in einer zweiten Ebene parallel bleibt;

eine Schlitzöffnung (Slit) einer Spaltblende, wobei die Schlitzöffnung (Slit) eine Breite in der ersten Ebene und eine Länge in der zweiten Ebene aufweist und wobei die Breite kleiner ist als die Länge; und

ein zweiter Wien-Filter (WF2), der den Elektronenstrahl fokussiert, um parallel in der ersten Ebene zu sein, während der Elektronenstrahl in der zweiten Ebene parallel bleibt,

wobei die Schlitzöffnung (Slit) derart positioniert ist, dass sie im gleichen Abstand zum ersten und zweiten Wien-Filter (WF1, WF2) ist, und wobei eine Fokussierungsstärke des ersten und zweiten Wien-Filters (WF1, WF2) gleich ist, wobei ein Monochromator (EFDWFM) den ersten Wien-Filter (WF1), die Schlitzöffnung (Slit) und den zwei-

ten Wien-Filter (WF2) umfasst, und wobei der Monochromator (EFDWFM) elektrisch erdfrei ist.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

**US 2012 / 0 318 978 A1**

**E. Plies et. al, The Wien filter: History, fundamentals and modern applications, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 645 (2011), S. 7 - 11**

**M. Mukai et al., The development of a 200 kV monochromated field emission electron source, Ultramicroscopy 140 (2014), S. 37 - 43**

**M. Tanaka et al., An 0.2 eV energy resolution analytical electron microscope, CONFERENCE SERIES-INSTITUTE OF PHYSICS. Vol. 165. Philadelphia; Institute of Physics; 1999, 2000**

**Y. Kawanami et al., Focused ion beam system with a four stage E×B mass filter, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 37 (1989), S. 240 - 243**

**Beschreibung**BEZUGNAHME AUF VERWANDTE ANMELDUNG  
(EN)

**[0001]** Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der provisorischen US-Patentanmeldung 62/ 002,894, eingereicht am 25. Mai 2014, deren Offenbarung hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist. Diese Priorität wird auch von der regulären US-Anmeldung 14/711,607 in Anspruch genommen, die als US 2015 / 0 340 200 A1 veröffentlicht wurde.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Gebiet der Erfindung

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Vorrichtungen und Verfahren zur Abbildung mit einem Elektronenstrahl.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0003]** Elektronenstrahlabbildungssysteme verwenden typischerweise eine Elektronenstrahlsäule, um einen Elektronenstrahl über einen Bereich einer Substratoberfläche zu scannen, um Bilddaten zu erhalten. Die vorliegende Offenbarung stellt neue und erfinderische Vorrichtungen und Verfahren zur super-hochauflösenden Abbildung mit einem Elektronenstrahl zur Verfügung.

**[0004]** Der Artikel „An 0.2 eV energy resolution analytical electron microscope“ von M. Tanaka et al. in CONFERENCE SERIES - INSTITUTE OF PHYSICS, Vol. 165, Philadelphia; Institute of Physics; 1999, 2000 beschreibt ein Elektronenmikroskop mit einem Wien-Filter-Monochromator.

**[0005]** Der Artikel „The development of a 200 kV monochromated field emission electron source“ von M. Mukai et al. in Ultramicroscopy 140 (2014), S. 37 - 43 offenbart einen Monochromator für ein Elektronenmikroskop. Der Monochromator verwendet zwei Wien-Filter mit einem dazwischen angeordneten Schlitz.

**[0006]** Der Artikel „Focused ion beam system with a four stage E×B mass filter“ von Y. Kawanami et al. in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 37 (1989), S. 240 - 243 betrifft einen vierstufigen Massenfilter in einem Ionenstrahl-system.

**[0007]** Der Artikel „The Wien filter: History, fundamentals and modern applications“ von E. Plies et al. in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 645 (2011) S. 7 - 11 diskutiert Grundlagen und Abbildungseigenschaften eines Wien-Filters.

**[0008]** Die US-Patentanmeldung US 2012 / 0 318 978 A1 beschreibt einen Monochromator für einen Strahl geladener Teilchen. Der Monochromator umfasst zwei Wien-Filter und eine dazwischen angeordnete Blende zur Strahlbegrenzung.

## ZUSAMMENFASSUNG

**[0009]** Eine Ausführungsform betrifft eine Vorrichtung zur Abbildung mit einem Elektronenstrahl, die einen ersten und einen zweiten Wien-Filter und eine dazwischenliegende Schlitzblende aufweist. Eine Spitze einer Emitterquelle emittiert Elektronen, und eine Linse einer Elektronenkanone fokussiert die Elektronen, um einen parallelen Elektronenstrahl zu formen. Der erste Wien-Filter fokussiert den Elektronenstrahl in einer ersten Ebene, während der Elektronenstrahl in einer zweiten Ebene parallel bleibt. Die Schlitzöffnung einer Schlitzblende wird verwendet, um Elektronen mit Energien außerhalb eines Energiebereichs auszufiltern. Der zweite Wien-Filter fokussiert den Elektronenstrahl, damit dieser in der ersten Ebene parallel ist, während der Elektronenstrahl in der zweiten Ebene parallel bleibt.

**[0010]** Eine weitere Ausführungsform betrifft ein Verfahren zum Abbilden unter Verwendung eines Elektronenstrahls. Elektronen werden von einer Strahlungsquelle emittiert. Die Elektronen werden mittels einer Linse einer Elektronenkanone fokussiert, um einen Elektronenstrahl zu bilden, der dahingehend parallel ist, dass der Elektronenstrahl parallele Elektronenbahnen aufweist. Der Elektronenstrahl wird durch einen ersten, eindimensionalen Wien-Filter in eine erste Überschneidung in eine erste Ebene fokussiert, während der Elektronenstrahl in einer zweiten Ebene parallel bleibt, wobei die erste Überschneidung mit einer Schlitzöffnung zusammenfällt. Die Elektronen des Elektronenstrahls mit einer Energie innerhalb eines Energiebereichs werden durch die Schlitzöffnung geleitet, während Elektronen des Elektronenstrahls mit einer Energie außerhalb des Energiebereichs gesperrt werden. Der Elektronenstrahl wird durch einen zweiten, eindimensionalen Wien-Filter fokussiert, um parallel in der ersten Ebene zu werden, während der Elektronenstrahl parallel zu der zweiten Ebene bleibt.

**[0011]** Eine weitere Ausführungsform betrifft einen Monochromator, der zwei Wien-Filter umfasst. Ein erster Wien-Filter fokussiert den Elektronenstrahl in eine erste Ebene, während der Elektronenstrahl in einer zweiten Ebene parallel bleibt. Eine Schlitzöffnung ermöglicht es Elektronen des Elektronenstrahls mit einer Energie innerhalb eines Energiebereichs zu passieren, während Elektronen des Elektronenstrahls mit einer Energie außerhalb des Energiebereichs blockiert werden. Ein zweiter Wien-Filter fokussiert den Elektronenstrahl, damit dieser in der

ersten Ebene parallel ist, während der Elektronenstrahl in der zweiten Ebene parallel bleibt.

**[0012]** Andere Ausführungsformen, Aspekte und Merkmale sind ebenfalls offenbart.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist ein Elektronenstrahlendiagramm eines Monochromators mit zwei Wien-Filtern zur Verwendung in einer Elektronenstrahlsäule.

**Fig. 2** zeigt Simulationen eines Monochromators mit zwei Wien-Filtern mit einer parallelen Elektronenstrahlbeleuchtung.

**Fig. 3** ist ein Elektronenstrahlendiagramm eines elektrisch erdfreien Monochromators mit zwei Wien-Filtern zur Verwendung in einer Elektronenstrahlsäule in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 4** ist ein Elektronenstrahlendiagramm einer Elektronenstrahlsäule, die einen Monochromator mit zwei Wien-Filtern in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung umfasst.

**Fig. 5** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Formen und Verwenden eines Elektronenstrahls mit einem Monochromator mit zwei Wien-Filtern in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung.

**Fig. 6** ist ein Diagramm der Spotgröße als Funktion des Strahlstroms, das die verbesserte Auflösung bei gleichem Strahlstrom zeigt, die gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erreicht wird.

**Fig. 7** ist eine Ansicht eines Wien-Filtern im Querschnitt, der als ein eindimensionaler Wien-Filter gemäß einer Ausführungsform der Erfindung konfiguriert sein kann.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0013]** Die Energieverteilung in einem Elektronenstrahlleiter ist ein schwieriges Hindernis für die deutliche Verbesserung der Leistung von Elektronenstrahl-Bildgebungssystemen des Standes der Technik, wie zum Beispiel bei Rasterelektronenmikroskopen (SEM) und Review-Systemen. Die Energieverteilung der Quelle beeinflusst nicht nur dominierend die Auflösung, sondern verschlechtert auch die Gleichmäßigkeit des Bildes über ein Sichtfeld (FOV), begrenzt den Neigungswinkel des Elektronenstrahls zum Sammeln der Informationen der Seitenwand von einem Seitenwandmerkmal auf einer Oberfläche eines Zielsubstrats und verschlechtert weiter die Auflösung, aufgrund eines Energiedispersionseffekts im Wien-Filter, der die Sekundärelektronen

von den Primärelektronen des einfallenden Strahls trennt.

**[0014]** Die vorliegende Offenbarung stellt eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Verfügung, um das oben erwähnte Hindernis zu überwinden. Die vorliegende Offenbarung stellt einen erdfreien Monochromator mit zwei Wien-Filtern zur Verfügung. Der Monochromator mit zwei Wien-Filtern umfasst einen ersten und zweiten, eindimensionalen Wien-Filter, und eine Schlitzeblende, die dazwischen positioniert ist.

**[0015]** **Fig. 1** ist ein Elektronenstrahlendiagramm eines Monochromators mit zwei Wien-Filtern (DWFM) zur Verwendung in einer Elektronenstrahlsäule, der nicht Teil der hierin beanspruchten Erfindung ist. Wie dargestellt, umfasst der Monochromator mit zwei Wien-Filtern zwei eindimensionale (1D) Wien-Filter (WF1 und WF2) mit einem dazwischen positionierten Schlitz (Schlitz).

**[0016]** Wie dargestellt, ist die z-Achse die optische Achse der Elektronenstrahlsäule. Die Elektronen werden von einer Emitterspitze (Tip) emittiert, die als ein Ursprung des Koordinatensystems definiert werden kann, und die emittierten Elektronen werden durch eine Linse (GL) einer Elektronenkanone zu einem parallelen Elektronenstrahl fokussiert. Der parallele Elektronenstrahl ist der einfallende Elektronenstrahl, der in den Monochromator eintritt.

**[0017]** Der einfallende Elektronenstrahl wird durch den ersten 1D Wien-Filter (WF1) empfangen. Der erste 1D Wien-Filter ist dahingehend eindimensional, dass er zur Energiefilterung eine Dimension aber nicht die andere Dimension verwendet (in diesem Fall die x-Dimension, nicht jedoch die y-Dimension). Wie in der beispielhaften Implementierung gezeigt, erzeugt WF1 ein magnetisches Feld und/oder ein elektrisches Feld, um den Elektronenstrahl mit einem Fokussierungswinkel  $\beta$  in der x-o-z Ebene (in der Ebene der Seite) zu fokussieren, aber er fokussiert den Strahl nicht in der y-o-z-Ebene (aus der Ebene der Seite heraus). Weil die Fokussierungskraft in der y-o-z-Ebene von WF1 Null ist, bleibt der Elektronenstrahl parallel, wenn nur die Geschwindigkeitskomponenten in der y-o-z-Ebene berücksichtigt werden.

**[0018]** Da die Überschneidung aufgrund der Fokussierung von WF1 nur in einer Ebene ist, kann sie als eine eindimensionale Überschneidung oder liniensegmentförmige Überschneidung bezeichnet werden. Vorteilhafterweise reduziert die eindimensionale Überschneidung des Elektronenstrahls die Elektron-Elektron-Wechselwirkungen im Vergleich zu einer Überschneidung in sowohl der x-o-z- als auch der y-o-z-Ebene (d.h. einer zweidimensionalen Über-

schneidung oder einer punktförmigen Überschneidung) erheblich.

**[0019]** Die Länge des Schlitzes in der y-Dimension kann in dieser Dimension größer sein als die Strahlbreite. Die Breite des Schlitzes in der x-Dimension kann je nach der erforderlichen Auflösung  $\Delta E$  der Energiefilterung gestaltet werden.

**[0020]** Die Spaltbreite erlaubt nur Elektronen mit einer Energie in der Nähe der Strahlenergie  $E_0$  zu passieren. Die Energieverteilung des Strahls, der durchgelassen wird, ist die Auflösung  $\Delta E$  der Energiefilterung. Daher reicht der Energiebereich der Elektronen, die durch den Schlitz passieren, von  $E = E_0 - \Delta E / 2$  bis  $E = E_0 + \Delta E / 2$ . Wie gezeigt, werden die Elektronen mit Energien unterhalb  $E_-$  durch einen Bodenabschnitt des Schlitzes blockiert, und die Elektronen mit Energien oberhalb  $E_+$  werden durch einen oberen Abschnitt des Schlitzes blockiert.

**[0021]** Weil der einfallende Elektronenstrahl in den Monochromator ein paralleler Strahl ist, ist WF1 derart konfiguriert, dass er einen großen Fokuswinkel  $\beta$  des Strahls in der x-o-z-Ebene zur Verfügung stellt, um die eindimensionale Überschneidung auf den Schlitz zu fokussieren. Die Fokussierungsstärke (und somit der Fokussierungswinkel) kann durch Steuern einer an WF1 angelegten Anregungsspannung  $V_{WF1}$  gesteuert werden.

**[0022]** Vorteilhafterweise kann bei vorgegebenem  $\Delta E$  ein Fokussierungswinkel  $\beta$ , der groß genug ist, ermöglichen, dass eine große Breite des Schlitzes möglich ist, welche erlaubt, dass der Schlitz ohne Schwierigkeit mit ausreichender Genauigkeit hergestellt werden kann. Darüber hinaus führt der Durchgang der Elektronen durch den breiteren Schlitz zu reduzierten Elektron-Elektron-Wechselwirkungen.

**[0023]** Im Gegensatz dazu kann in einem Monochromator mit zwei Wien-Filtern und einem fokussierten (d.h. nicht parallelen), einfallenden Elektronenstrahl der Fokussierungswinkel  $\beta$  wesentlich kleiner sein. Aufgrund des kleineren Fokussierungswinkels ist eine viel kleinere Breite des Schlitzes erforderlich und kann dadurch schwierig akkurat zu fertigen sein. Darüber hinaus führt der Durchgang von Elektronen durch den schmaleren Schlitz zu einer erhöhten Elektron-Elektron-Wechselwirkung.

**[0024]** Analog zum ersten 1D Wien-Filter (WF1) fokussiert der zweite 1D Wien-Filter (WF2) den energiegefilterten Elektronenstrahl in der x-o-z-Ebene, wobei der Strahl in der y-o-z Ebene nicht beeinflusst wird. Die Fokussierung durch WF2 erfolgt mit einer Fokussierungsstärke, so dass der energiegefilterte Elektronenstrahl als paralleler Elektronenstrahl in der x-o-z-Ebene (und auch in der y-o-z-Ebene) aus WF2 austritt.

**[0025]** Gemäß der Erfindung sind WF1 und WF2 sowohl mechanisch (einschließlich der Entfernung vom Schlitz) als auch elektrisch zum Schlitz symmetrisch. Als solche sind das fokussierende und ablenkende Leistungsvermögen von WF1 und WF2 gleich.

**[0026]** Wie gezeigt, kann anschließend eine Kondensorlinse (CL) den energiegefilterten Elektronenstrahl weiter fokussieren. Der Strahl kann dann durch weitere Komponenten der Elektronenstrahlsäule passieren. Diese weiteren Komponenten sind nachfolgend zum Beispiel in Bezug auf Fig. 4 beschrieben.

**[0027]** Fig. 2 zeigt Simulationen eines Monochromators mit zwei Wien-Filtern mit paralleler Elektronenstrahlbeleuchtung. Die Abbildung zeigt simulierte Pfade in der x-o-z-Ebene der Elektronen, bei Energie  $E_0$  und bei Energien oberhalb ( $E_+$ ) und unterhalb ( $E_-$ ) von  $E_0$ .

**[0028]** Wie gezeigt, sind die Pfade der einfallenden Elektronen beim Monochromator mit zwei Wien-Filtern parallel. Der erste 1D Wien-Filter (WF1) fokussiert die einfallenden Elektronen durch die Schlitzöffnung (Schlitz), so dass Elektronen mit Energien im Bereich von  $E_-$  bis  $E_+$  durch die Schlitzöffnung passieren, aber Elektronen mit Energien außerhalb dieses Bereichs durch das für Elektronen opake Material um die Schlitzöffnung herum blockiert werden. Die energiegefilterten Elektronen werden dann durch den zweiten 1D Wien-Filter (WF2) fokussiert, so dass die Pfade der aus dem Monochromator mit zwei Wien-Filtern austretenden Elektronen parallel sind.

**[0029]** Fig. 3 ist ein Elektronenstrahldiagramm eines elektrisch erdfreien Monochromators mit zwei Wien-Filtern (EFDWFM) zur Verwendung in einer Elektronenstrahlsäule in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung. Die Anordnung der zwei 1D Wien-Filter (WF1 und WF2) und der Schlitzöffnung (Schlitz) ist in Fig. 3 grundsätzlich die gleiche, wie die Anordnung in Fig. 1. Jedoch sind in der Ausführungsform der Fig. 3 die Komponenten des Monochromators mit zwei Wien-Filtern (d.h. WF1, Schlitz und WF2) elektrisch erdfrei.

**[0030]** In einer beispielhaften Implementierung, wie in Fig. 3 gezeigt, sind die Komponenten des Monochromator-Moduls von zwei leitenden Gehäusen oder Käfigen (d.h. zwei Faraday-Käfige) umgeben, die jeweils Öffnungen für die einfallenden und austretenden Elektronenstrahlen aufweisen. Das äußere der beiden leitfähigen Gehäuse kann elektrisch geerdet werden, um auf dem gleichen Spannungsniveau wie die Emitterspitze zu sein (die auch elektrisch geerdet ist). An den inneren der beiden leitfähigen Gehäuse (Käfige) kann eine erdfreie Gleichspannung ( $V_{FL}$ ) angelegt werden.

**[0031]** Die geerdeten und erdfreien Gehäuse (Käfige) in **Fig. 3** verursachen eine Abbremsung der Elektronen, wenn sie durch den ersten 1D Wien-Filter (WF1) eintreten, und eine Beschleunigung der Elektronen, wenn sie über den zweiten 1D Wien-Filter (WF2) austreten. Aufgrund der Abbremsung und Beschleunigung sind die Geschwindigkeiten der Elektronen innerhalb des EFDWFM in **Fig. 3** im Vergleich zu den Geschwindigkeiten der Elektronen innerhalb der DWFM in **Fig. 1** kleiner. Insbesondere sind die Geschwindigkeiten der Elektronen innerhalb des EFDWFM in **Fig. 3** proportional zu dem Potential  $V_a$  des Elektronenstrahls, die der erdfreien Gleichspannung  $V_{FL}$  entspricht, die gesteuert wird, um die langsamere Geschwindigkeit der Elektronen zur Verfügung zu stellen.

**[0032]** Vorteilhafterweise ermöglicht die langsamere Elektronengeschwindigkeit innerhalb des Monochromators die Verwendung eines Schlitzes mit einer größeren Breite, wodurch die Herstellung des Schlitzes und der Schutz des Schlitzes vor Aufladung oder Abbau der Formgebung wesentlich praktikabler sind. Zusätzlich reduziert die größere Breite des Schlitzes die Elektron-Elektron-Wechselwirkung in dem Monochromator-Modul.

**[0033]** **Fig. 4** ist ein Elektronenstrahl-Diagramm einer Elektronenstrahlsäule, die einen Monochromator mit zwei Wien-Filtern in Übereinstimmung mit einem Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst. Die dargestellte Säule umfasst die Emitterspitze (Tip), die Linse einer Elektronenkanone (GL), den elektrisch erdfreien Monochromator mit zwei Wien-Filtern (EFDWFM) und die Sammellinse (CL) aus **Fig. 3**. Alternativ kann der Monochromator mit zwei Wien-Filtern (DWFM) aus **Fig. 1** in die Säule anstelle des elektrisch erdfreien Monochromators mit zwei Wien-Filtern aus **Fig. 3** eingebaut werden; dies liegt jedoch außerhalb der beanspruchten Erfindung.

**[0034]** Wie in **Fig. 4** gezeigt, fokussiert die Kondensorlinse den Strahl, so dass eine Überschneidung (F) ausgebildet wird, bevor der Strahl die Objektivlinse (OL) erreicht. In diesem Fall ist die Überschneidung ein Bild der Emitterspitze, anstatt ein Bild der Spaltblende. Im Gegensatz dazu wird bei einer früheren Vorrichtung, die die Fokussierung der Strahlbeleuchtung verwendet, ein Bild der Blende, anstatt eines Bildes der Emitterspitze gebildet.

**[0035]** In der in **Fig. 4** dargestellten Elektronenstrahlsäule wählt die Linse der Elektronenkanone (GL) die Strahlströme zusammen mit der Schlitzöffnung aus. Die Kondensorlinse (CL) wählt die durch die Objektivlinse (OL) gebildete optimale numerische Apertur (NA) aus. Die optimale NA ist diejenige NA, bei der die Spotgröße des Elektronenstrahls auf dem Zielsubstrat (TGT) durch den Ausgleich der chroma-

tischen Aberration und Beugungsaberration minimiert wird.

**[0036]** Man beachte, dass im Allgemeinen die verschiedenen hierin erörterten Linsen zum Fokussieren des Elektronenstrahls Elektronenlinsen sind. Diese Linsen können als magnetische und/oder elektrostatische Linsen realisiert werden.

**[0037]** Man beachte, dass in der y-o-z-Ebene die Fokussierungsstärke von WF1 und WF2 für beide Null ist. Als solche wird der nicht beaufschlagte, parallele Strahl in der y-o-z-Ebene in die gleiche Bildebene wie der energiegefilterte, parallele Strahl in der x-o-z-Ebene fokussiert. Daher kann die numerische Apertur der Objektivlinse (OL) rotationssymmetrisch sein.

**[0038]** Die Strukturen auf dem Zielsubstrat können durch Ablenken des Elektronenstrahls und Scannen des Elektronenstrahls über die Oberfläche des Zielsubstrats untersucht oder überprüft werden. Zur Minimierung der außeraxialen Aberrationen kann ein Scanningsystem mit zwei Deflektoren verwendet werden, das einen pre-Scanner (Prescan) und einen Haupt-Scanner (Mainscan) umfasst. Das Bild der Strukturen des Zielsubstrats kann durch Sammeln der Sekundärelektronen (SE) in einem Detektor (DET) gebildet werden. Ein Wien-Filter kann zum Separieren der Sekundärelektronen (SE) von den einfallenden (primären) Elektronen verwendet werden.

**[0039]** **Fig. 5** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens 500 zum Formen und Verwenden eines Elektronenstrahls mit einem Monochromator mit zwei Wien-Filtern. Das Verfahren 500 kann zum Beispiel unter Verwendung der oben in Bezug auf die **Fig. 1** und, in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung, in Bezug auf die **Fig. 3** beschriebenen Vorrichtung durchgeführt werden.

**[0040]** Per Schritt 502 werden Elektronen aus einer Emissionsquelle für Elektronen emittiert. Die Emissionsquelle für Elektronen kann zum Beispiel eine Spitze eines Kathodenemitters mit thermischer Feldemission (TFE) sein. Andere Arten von Emissionsquellen für Elektronen können verwendet werden.

**[0041]** Per Schritt 504 können die Elektronen zu einem parallelen Elektronenstrahl mit einer Linse einer Elektronenkanone gebildet werden. Wie oben beschrieben, ist der parallele Elektronenstrahl in zwei Dimensionen parallel. Insbesondere ist er parallel sowohl in der x-o-z als auch der y-o-z Ebene.

**[0042]** Per Schritt 506 kann der Elektronenstrahl unter Verwendung eines ersten eindimensionalen Wien-Filters (WF1) fokussiert werden. Diese eindimensionale Fokussierung ist zum Beispiel oben in

Bezug auf WF1 in den **Fig. 1** und **Fig. 3** beschrieben worden. Wie in den **Fig. 1** und **Fig. 3** beschrieben, kann die eindimensionale Fokussierung des Strahls in der x-o-z Ebene erfolgen, während der Strahl in der y-o-z-Ebene parallel bleibt.

**[0043]** Per Schritt 508 wird die Energiefilterung auf den Elektronenstrahl unter Verwendung eines Schlitzes angewendet. Der Schlitz ist wie ein Liniensegment geformt, so dass er eine Breite aufweist, die viel kleiner ist als seine Länge. Wie oben beschrieben, ist der Querschnitt des Elektronenstrahls, wenn er zur Ebene des Schlitzes gelangt, ebenso wie ein Liniensegment und besitzt eine Breite, die viel kleiner ist als die Länge.

**[0044]** Die Energiefilterung findet statt, weil das Ausmaß der Ablenkung durch die Wien-Filter von der Energie (Geschwindigkeit) der Elektronen abhängt. Der Schlitz ist derart angeordnet, dass Elektronen mit Energien in einem Bereich von  $E_0 - \Delta E$  bis  $E_0 + \Delta E$  durch den Schlitz passieren können. Derweil werden Elektronen mit Energien außerhalb dieses Bereichs durch das den Schlitz umgebende Blendenmaterial blockiert.

**[0045]** Per Schritt 510 wird der Elektronenstrahl durch einen zweiten Wien-Filter (WF2) fokussiert, um einen parallelen Strahl zu formen, der aus dem Monochromator austritt. Der austretende Strahl ist in zwei Dimensionen (d.h. sowohl in der x-o-z und y-o-z Ebene) parallel. Gemäß der Erfindung sind der erste und der zweite Wien-Filter hinsichtlich der Öffnung sowohl mechanisch als auch elektrisch völlig symmetrisch, so dass die optischen Eigenschaften (Fähigkeiten zum Fokussieren und Ablenken) bei jedem Wien-Filter identisch (oder fast identisch) sind.

**[0046]** Per Schritt 512 kann eine Kondensorlinse (CL) den Elektronenstrahl fokussieren. Wie oben in Bezug auf **Fig. 4** beschrieben, kann CL den Strahl auf eine Überschneidung fokussieren und ein Bild der Emitterspitze wird an der Ebene der Überschneidung gebildet.

**[0047]** Per der Schritte 514 und 516 kann eine erste gesteuerte Ablenkung durch einen vor dem eigentlichen Scannen vorgesehenen Deflektor erfolgen und eine zweite gesteuerte Ablenkung kann durch einen für den Haupt-Scan vorgesehenen Deflektor erfolgen. Zusammen stellen die Ablenkung vor dem eigentlichen Scannen und der Haupt-Scan einen Scanvorgang des Strahls mit zwei Deflektoren zur Verfügung, um Aberrationen außerhalb der Achse zu verringern.

**[0048]** Per Schritt 518 kann der Elektronenstrahl auf einen Strahlfleck auf einer Zieloberfläche fokussiert werden. Dieser Schritt wird im Allgemeinen unter

Verwendung einer Objektivlinse (OL), wie oben in Bezug auf **Fig. 4** beschrieben, erreicht.

**[0049]** Per Schritt 519 werden Sekundärelektronen durch das Auftreffen des einfallenden Strahls auf der Zieloberfläche erzeugt. Die Sekundärelektronen werden per Schritt 520 von der Zieloberfläche (beispielsweise durch eine Extraktionselektrode und der Objektivlinse) extrahiert und dann per Schritt 522 weg von dem einfallenden Strahl unter Verwendung eines anderen (eines dritten) Wien-Filters als Strahlseparator abgelenkt. Schließlich werden die Sekundärelektronen mit einem Elektronendetektor (DET) per Schritt 524 detektiert.

**[0050]** Man beachte, dass mit diesem Verfahren 500 der Strahlfleck über die Oberfläche des Zielsubstrats gescannt werden kann. Die Daten der Sekundärelektronen werden in Verbindung mit dem Strahl-Scannen detektiert und können dann zur Erzeugung von Bilddaten, die die Strukturen auf der Zielfläche darstellen, verwendet werden.

**[0051]** **Fig. 6** ist ein Diagramm der Spotgröße als Funktion des Strahlstroms, das die verbesserte Auflösung bei gleichem Strahlstrom zeigt, die gemäß der Ausführungsform der Erfindung erreicht wird. Der Graph zeigt die Spotgröße als Funktion des Strahlstroms. Wie bis zu einem Strahlstrom BCP gezeigt, hat die Ausführungsform der Erfindung mit einem Monochromator, wie hierin beschrieben, eine kleinere Spotgröße für den gleichen Strahlstrom. Somit besitzt eine Elektronenstrahlsäule in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung einen Monochromator, wie hierin beschrieben, der vorteilhafterweise einen nutzbaren Bereich des Strahlstroms hat, der unterhalb BCP ist.

**[0052]** Ein Elektronenstrahlgerät, das einen hierin beschriebenen Monochromator mit zwei Wien-Filtern (entweder erdfrei oder nicht) verwendet, kann in verschiedenen Anwendungen verwendet werden. Diese Anwendungen umfassen, sind aber nicht beschränkt auf, Elektronenstrahl-Inspektion, Review und Metrologie auf Wafern, Masken, Vorlagen oder Leuchtdioden.

**[0053]** **Fig. 7** ist eine Querschnittsansicht eines Wien-Filters, der als ein eindimensionaler Wien-Filter gemäß einer Ausführungsform der Erfindung konfiguriert werden kann. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung konfiguriert den in **Fig. 7** dargestellten Wien-Filter als 1D Wien-Filter. Andere Implementierungen eines 1D Wien-Filters können ebenfalls verwendet werden.

**[0054]** Die Anordnung 700 kann zwei Paare von Magnetkernen (Magnetpolstücke) 702 umfassen. Ein erstes Paar von Kernen 702 kann bezüglich der x-Achse ausgerichtet sein und ein zweites Paar von

Kernen 702 kann bezüglich der y-Achse ausgerichtet sein, wobei die z-Achse die optische Achse der Elektronenstrahlsäule ist. Leitende Wien-Spulen 704 können um jeden Magnetkern 702 gewickelt sein. Die Magnetfelder entlang der x- und y-Achsen in der Anordnung 700 können steuerbar durch Einstellen des durch die Spulen 704 fließenden elektrischen Stroms eingestellt werden.

**[0055]** Zusätzlich kann die Anordnung 700 zwei Paare von zylindrisch gekrümmten, leitenden Platten 706 umfassen. Ein erstes Paar der zylindrisch gekrümmten Platten 706 kann bezüglich der x-Achse und ein zweites Paar von zylindrisch gekrümmten Platten 706 kann bezüglich der y-Achse ausgerichtet sein, wobei die z-Achse die optische Achse der Elektronenstrahlsäule ist. Wie in **Fig. 7** dargestellt, können die Platten 706 zylindrisch gekrümmt und so positioniert sein, dass sie einen freien zylindrischen Raum um die optische Achse der Säule definieren.

**[0056]** Zur Umsetzung eines 1D Wien-Filters kann elektrischer Strom durch die Spulen um das zweite Paar von Kernen 702, die bezüglich der y-Achse ausgerichtet sind, aber nicht durch die Spulen um das erste Paar von Kernen 702, die bezüglich der x-Achse ausgerichtet sind, geleitet werden. Dies führt zur Erzeugung eines Magnetfelds in der Richtung der y-Achse (d.h.  $B_y$ ), aber nicht in der Richtung der x-Achse (d.h.  $B_x = 0$ ) für Elektronen, die sich entlang der optischen Achse bewegen. Zusätzlich können an den Platten 706 Spannungen angelegt werden, um ein elektrostatisches Feld in der Richtung der x-Achse (d.h.  $E_x$ ), aber nicht in der Richtung der y-Achse (d.h.  $E_y = 0$ ) zu erzeugen, für Elektronen, die sich entlang der optischen Achse bewegen.

**[0057]** Wie weiter in **Fig. 7** dargestellt ist, können Isolatoren 708 die Platten 706 von den Magnetkernen 702 trennen. Die Isolatoren 708 können eine Krümmung aufweisen, die der zylindrischen Krümmung der Platten 706 entspricht. Die Oberflächen der Magnetkerne 702, die an den Isolatoren 708 anliegen, können auch eine der zylindrischen Krümmung der Platten 706 entsprechende zylindrische Krümmung aufweisen.

**[0058]** In der obigen Beschreibung werden zahlreiche spezifische Details zur Verfügung gestellt, um ein gründliches Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung bereitzustellen. Jedoch kann die obige Beschreibung der dargestellten Ausführungsformen der Erfindung nicht erschöpfend sein oder die Erfindung auf die genau offenbarten Formen beschränken. Ein Fachmann auf dem relevanten Gebiet wird erkennen, dass die Erfindung ohne ein oder mehrere der spezifischen Details oder mit anderen Verfahren, Komponenten usw. ausgeführt werden kann. In anderen Fällen werden allgemein bekannte Struktu-

ren oder Tätigkeiten nicht im Detail dargestellt oder beschrieben, um eine Verschleierung von Aspekten der Erfindung zu vermeiden. Obwohl spezifische Ausführungsformen und Beispiele der Erfindung hierin für illustrative Zwecke beschrieben sind, sind verschiedene äquivalente Modifikationen innerhalb des Umfangs der Erfindung, wie für Fachleute auf dem relevanten Gebiet erkennen werden, möglich.

**[0059]** Diese Modifikationen der Erfindung können im Lichte der obigen detaillierten Beschreibung vorgenommen werden. Die in den folgenden Ansprüchen verwendeten Begriffe sollten nicht dahingehend ausgelegt werden, die Erfindung auf die in der Beschreibung und den Ansprüchen offenbarten, spezifischen Ausführungsformen zu begrenzen. Vielmehr ist der Umfang der Erfindung durch die nachstehenden Ansprüche bestimmt, die in Übereinstimmung mit etablierten Lehren der Anspruchsinterpretation ausgelegt werden sollen.

### Patentansprüche

1. Eine Vorrichtung zur Abbildung mit einem Elektronenstrahl, umfassend:
  - eine Spitze (Tip) einer Emitterquelle, die Elektronen emittiert;
  - eine Linse (GL) einer Elektronenkanone, die die Elektronen fokussiert, um einen Elektronenstrahl zu formen, der dahingehend parallel ist, dass der Elektronenstrahl Elektronenbahnen aufweist, die parallel sind;
  - ein erster Wien-Filter (WF1), der den Elektronenstrahl in eine erste Ebene fokussiert, während der Elektronenstrahl in einer zweiten Ebene parallel bleibt;
  - eine Schlitzöffnung (Slit) einer Spaltblende, wobei die Schlitzöffnung (Slit) eine Breite in der ersten Ebene und eine Länge in der zweiten Ebene aufweist und wobei die Breite kleiner ist als die Länge; und
  - ein zweiter Wien-Filter (WF2), der den Elektronenstrahl fokussiert, um parallel in der ersten Ebene zu sein, während der Elektronenstrahl in der zweiten Ebene parallel bleibt, wobei die Schlitzöffnung (Slit) derart positioniert ist, dass sie im gleichen Abstand zum ersten und zweiten Wien-Filter (WF1, WF2) ist, und wobei eine Fokussierungsstärke des ersten und zweiten Wien-Filters (WF1, WF2) gleich ist, wobei ein Monochromator (EFDWFM) den ersten Wien-Filter (WF1), die Schlitzöffnung (Slit) und den zweiten Wien-Filter (WF2) umfasst, und wobei der Monochromator (EFDWFM) elektrisch erdfrei ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der erste Wien-Filter (WF1) den Elektronenstrahl auf eine erste Überschneidung in der ersten Ebene fokussiert.



3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die erste Überschneidung in der ersten Ebene innerhalb der Schlitzöffnung (Slit) liegt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Schlitzöffnung (Slit) es Elektronen mit einer Energie innerhalb eines Energiebereichs ermöglicht, zu passieren, während Elektronen mit einer Energie außerhalb des Energiebereichs blockiert werden.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der elektrisch erdfreie Monochromator (EFDWFM) durch ein äußeres, leitendes Element umgeben ist, das elektrisch geerdet ist, und durch ein inneres, leitendes Element umgeben ist, an dem eine Gleichspannung (DC) angelegt ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend:  
eine Kondensorlinse (CL), die den Elektronenstrahl auf eine zweite Überschneidung (F) fokussiert; und eine Objektivlinse (OL), die den Elektronenstrahl fokussiert, um einen Strahlfleck auf einer Oberfläche eines Zielsubstrats (TGT) zu bilden.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, ferner umfassend:  
ein Scanningsystem, um den Elektronenstrahl abzuweichen und den Strahlfleck über eine abzubildende Fläche über das Zielsubstrat (TGT) zu scannen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei das Scanningsystem umfasst:  
einen Deflektor vor dem Scannen, der den Elektronenstrahl vor der Ausbildung der zweiten Überschneidung (F) ablenkt; und einen Deflektor für das eigentliche Scannen, der den Elektronenstrahl vor dem Erreichen der Objektivlinse (OL) ablenkt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, ferner umfassend:  
einen dritten Wien-Filter, der von der Oberfläche des Zielsubstrats (TGT) ausgehende Sekundärelektronen (SE) ablenkt; und einen Detektor (DET), der die Sekundärelektronen (SE) erfasst, um Bilddaten zu erhalten.

10. Verfahren zum Abbilden unter Verwendung eines Elektronenstrahls, wobei das Verfahren umfasst:  
Emittieren von Elektronen aus einer Strahlungsquelle;  
Fokussieren der Elektronen mittels einer Linse (GL) einer Elektronenkanone, um einen Elektronenstrahl zu formen, der dahingehend parallel ist, dass der Elektronenstrahl parallele Elektronenbahnen aufweist;  
Fokussieren des Elektronenstrahls mit einem ersten Wien-Filter (WF1) in eine erste Überschneidung in

einer ersten Ebene, während der Elektronenstrahl in einer zweiten Ebene parallel bleibt, wobei die erste Überschneidung mit einer Schlitzöffnung (Slit) zusammenfällt;

Passieren der Elektronen des Elektronenstrahls mit einer Energie innerhalb eines Energiebereichs durch die Schlitzöffnung (Slit), während Elektronen des Elektronenstrahls mit einer Energie außerhalb des Energiebereichs blockiert werden; und Fokussieren des Elektronenstrahls durch einen zweiten Wien-Filter (WF2), um parallel in der ersten Ebene zu werden, während der Elektronenstrahl parallel zu der zweiten Ebene bleibt, wobei die Schlitzöffnung (Slit) derart positioniert ist, dass sie in gleichem Abstand zum ersten und zweiten Wien-Filter (WF1, WF2) ist, wobei eine Fokussierungsstärke des ersten und zweiten Wien-Filters (WF1, WF2) gleich ist, und wobei der erste Wien-Filter (WF1), die Schlitzöffnung (Slit) und der zweite Wien-Filter (WF2) elektrisch erdfrei sind.

11. Verfahren nach Anspruch 10, ferner umfassend:  
Ablenken des Elektronenstrahls durch einen Deflektor vor dem Scanvorgang;  
Fokussieren des Elektronenstrahls in eine zweite Überschneidung (F);  
Ablenken des Elektronenstrahls durch einen Deflektor für den eigentlichen Scanvorgang; und Fokussierung des Elektronenstrahls, um einen Strahlfleck auf einer Oberfläche eines Zielsubstrats (TGT) zu bilden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, ferner umfassend:  
Extrahieren von Sekundärelektronen (SE) von der Oberfläche des Zielsubstrats (TGT);  
Ablenken der Sekundärelektronen (SE) weg vom Elektronenstrahl; und Detektieren der Sekundärelektronen (SE), um Bilddaten zu erhalten.

13. Ein Monochromator (EFDWFM) aus zwei Wien-Filtern (WF1, WF2) umfasst:  
einen ersten Wien-Filter (WF1), der den Elektronenstrahl in eine erste Ebene fokussiert, während der Elektronenstrahl in einer zweiten Ebene parallel bleibt;  
eine Schlitzöffnung (Slit) einer Schlitzblende, wobei die Schlitzöffnung es Elektronen mit einer Energie innerhalb eines Energiebereichs ermöglicht, zu passieren, während Elektronen mit einer Energie außerhalb des Energiebereichs blockiert werden; und einen zweiten Wien-Filter (WF2), der den Elektronenstrahl fokussiert, um parallel in der ersten Ebene zu sein, während der Elektronenstrahl in der zweiten Ebene parallel bleibt, wobei die Schlitzöffnung (Slit) derart positioniert ist, dass sie im gleichen Abstand zum ersten und zweiten Wien-Filter (WF1, WF2) ist, wobei eine Fokussierungsstärke

des ersten und zweiten Wien-Filters (WF1, WF2) gleich ist, und wobei der Monochromator (EFDWFM) elektrisch erdfrei ist.

14. Monochromator (EFDWFM) nach Anspruch 13, wobei der erste Wien-Filter (WF1) den Elektronenstrahl zu einer ersten Überschneidung in der ersten Ebene fokussiert.

15. Monochromator (EFDWFM) nach Anspruch 14, wobei die erste Überschneidung in der ersten Ebene innerhalb der Schlitzöffnung (Slit) liegt.

16. Monochromator (EFDWFM) nach Anspruch 13, wobei der elektrisch erdfreie Monochromator (EFDWFM) durch ein äußeres, leitendes Element umgeben ist, das elektrisch geerdet ist, und durch ein inneres, leitendes Element umgeben ist, an dem eine Gleichspannung (DC) angelegt ist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen



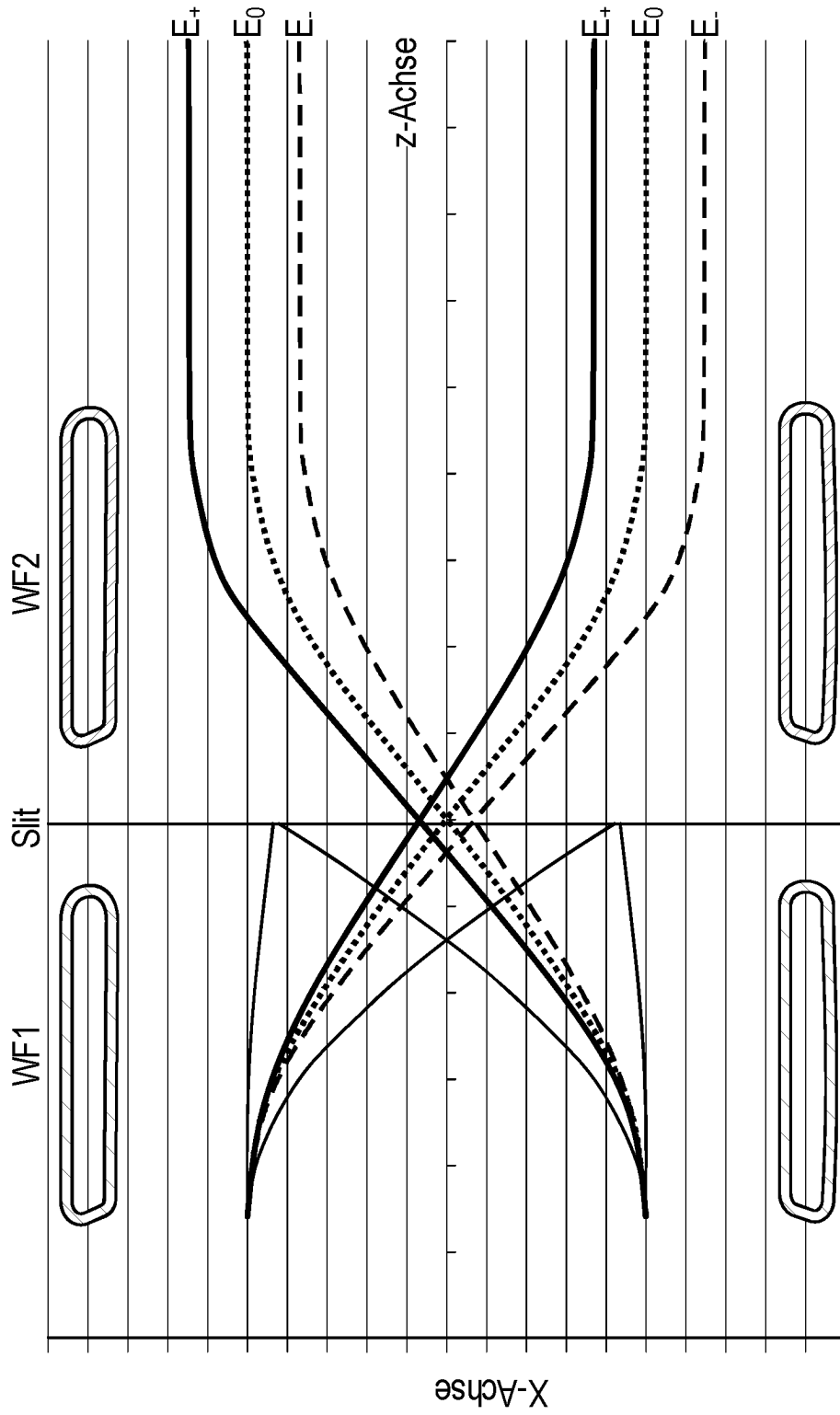


Fig. 2

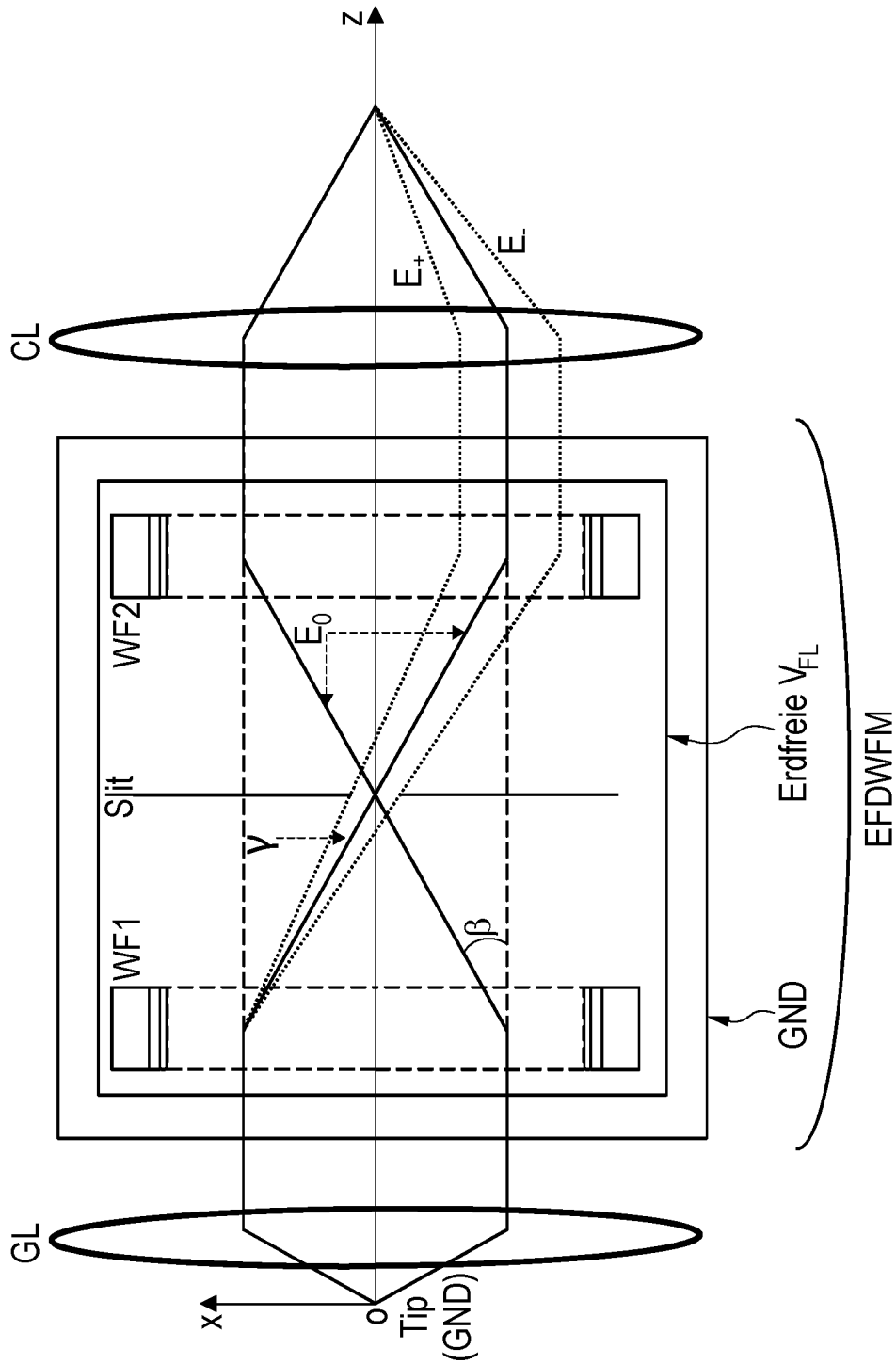


Fig. 3

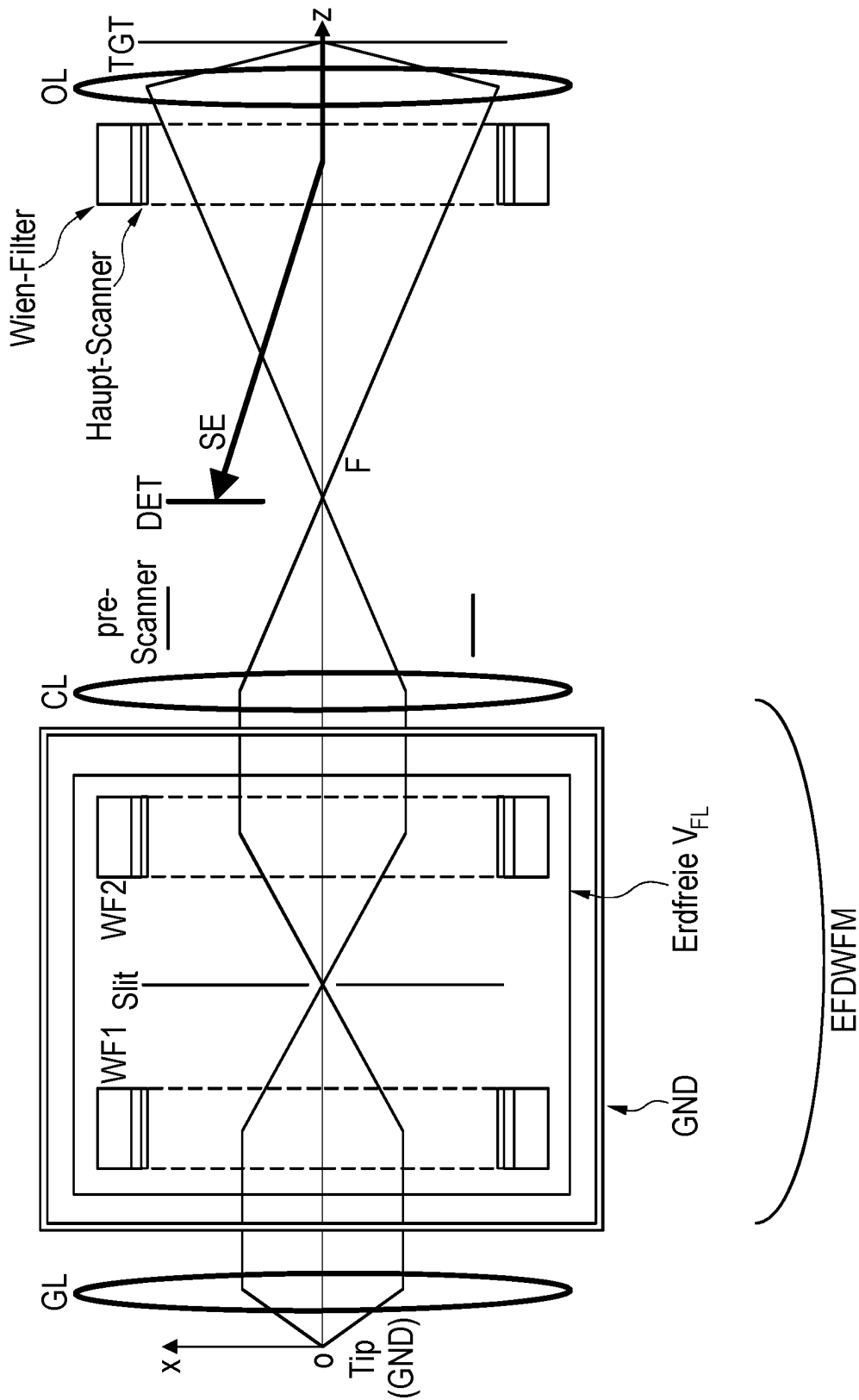


Fig. 4

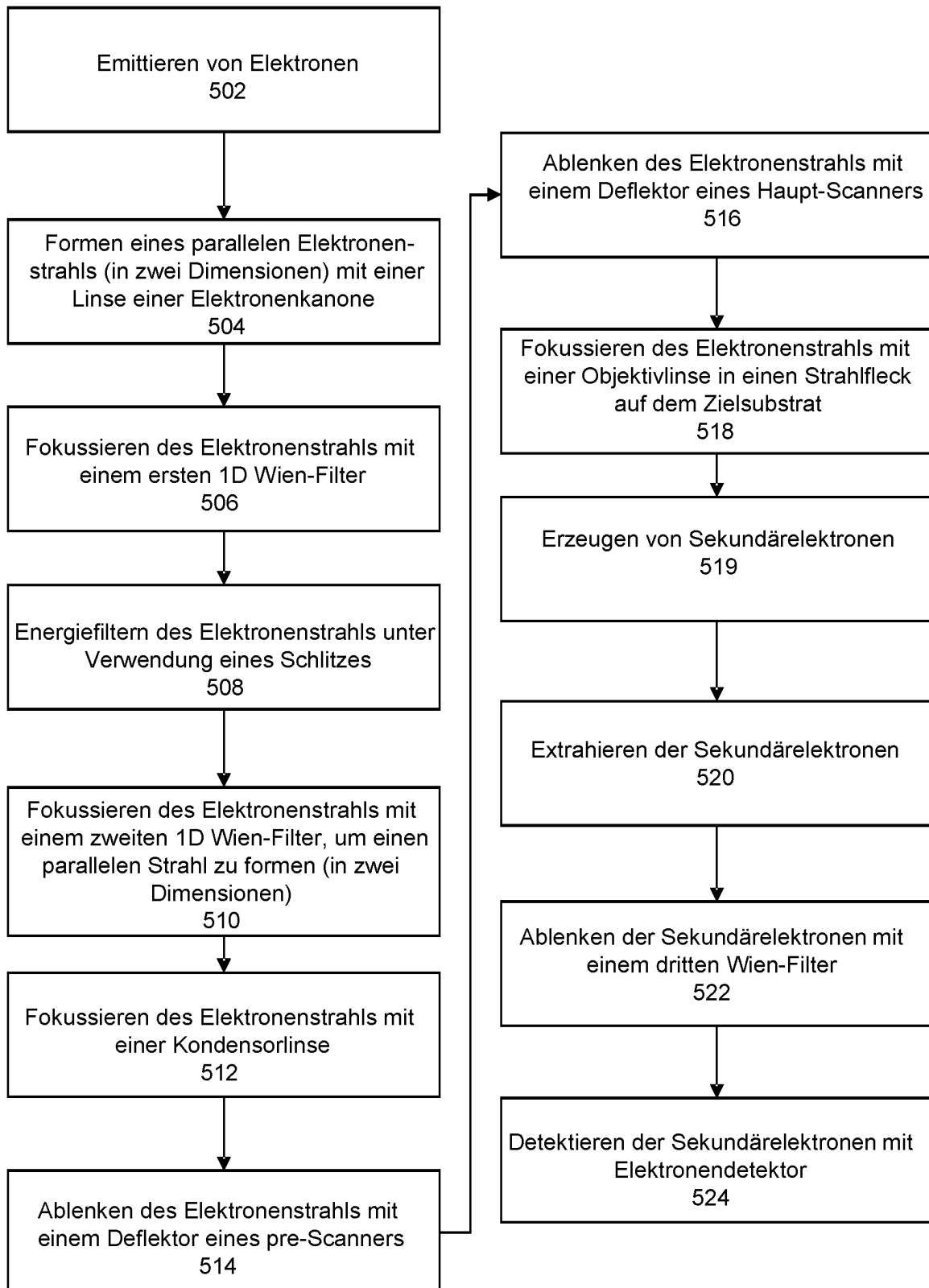


Fig. 5

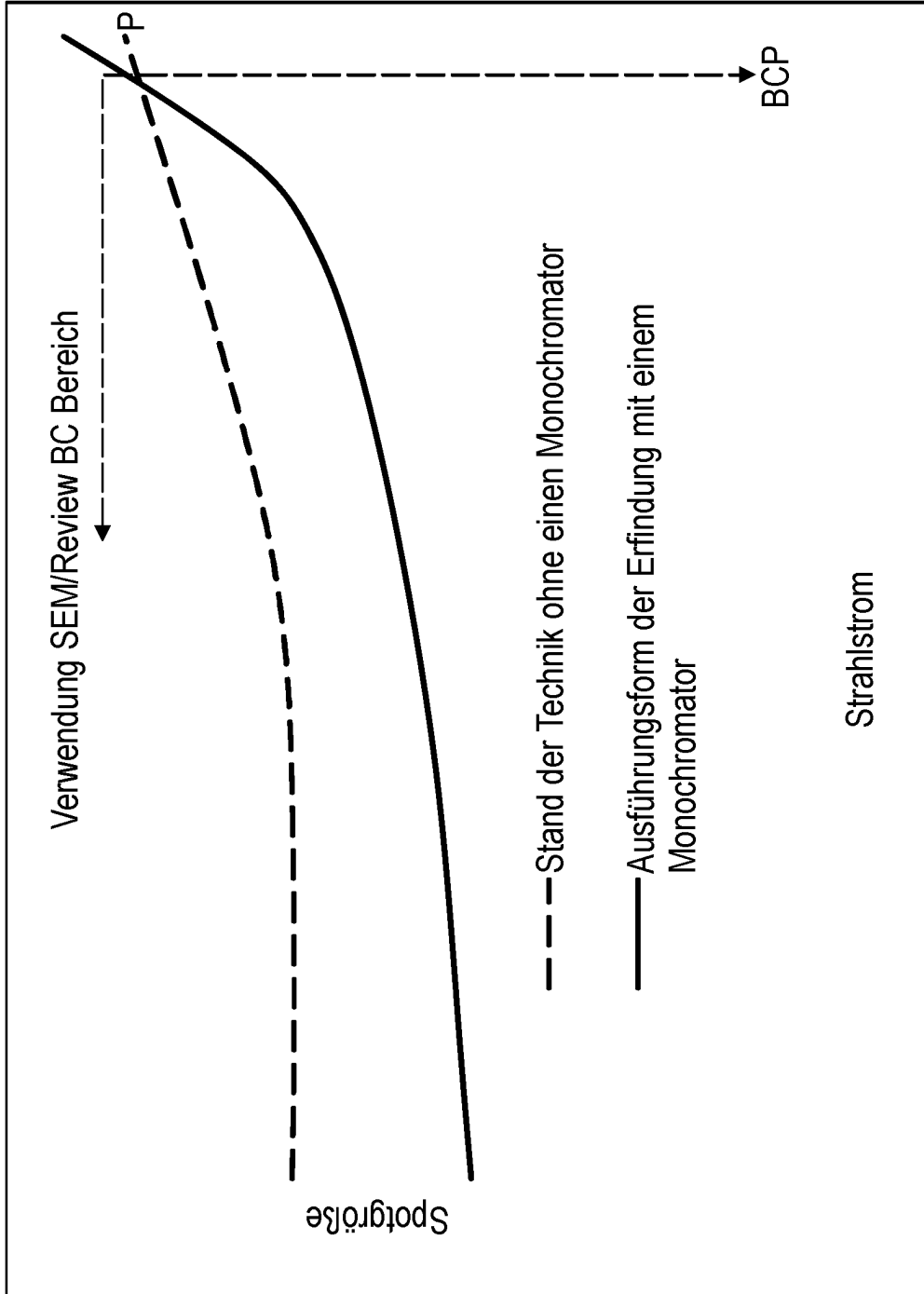


Fig. 6



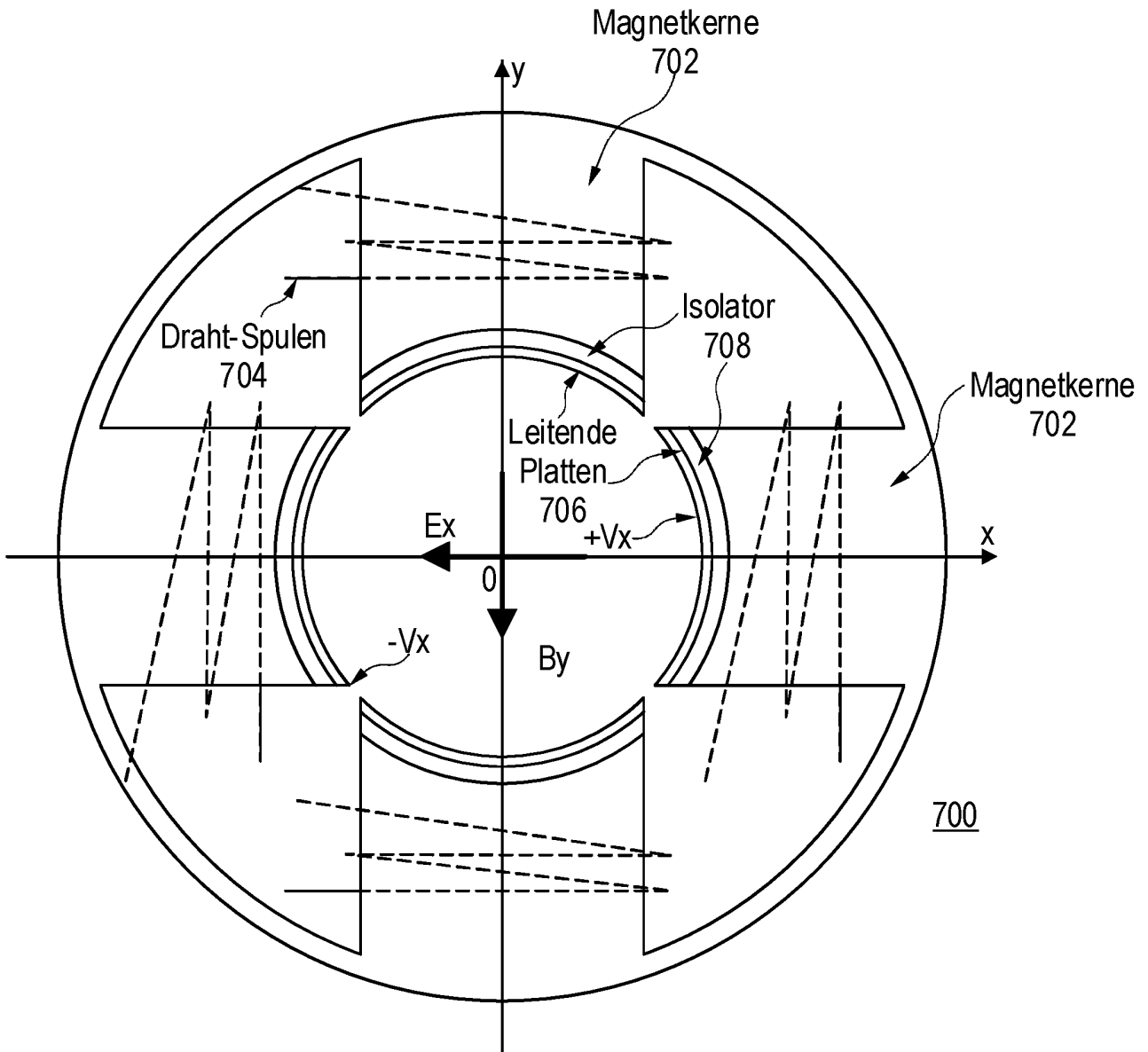


Fig. 7