(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2020 007 220 T5** 2023.03.09

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/018782**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 007 220.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/027993**
(86) PCT-Anmeldetag: **20.07.2020**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.01.2022**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **09.03.2023**

(51) Int Cl.: ***H01J 37/05*** (2006.01)
***H01J 37/12*** (2006.01)

(71) Anmelder:
**Hitachi High-Tech Corporation, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:
**MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE**

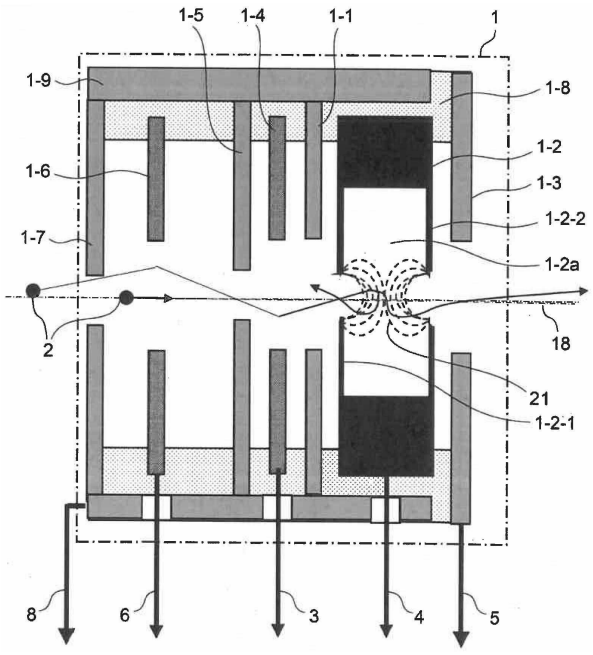
(72) Erfinder:
**Honda, Kazuhiro, Tokyo, JP; Ito, Hiroyuki, Tokyo, JP; Doi, Takashi, Tokyo, JP; Matsunaga, Soichiro, Tokyo, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Energiefilter, Energieanalyseeinrichtung und Ladungsträgerstrahleinrichtung, die damit versehen ist**

(57) Zusammenfassung: Eine Verzögerungselektrode eines Energiefilters umfasst Folgendes: ein Elektrodenpaar, das eine Öffnung aufweist; und einen Hohlraumabschnitt, der in Bezug auf das Zentrum der Öffnung, das die optische Achse bildet, rotationssymmetrisch vorgesehen ist. Spannungen mit elektrischen Potentialen, die im Wesentlichen dieselben wie die eines Ladungsträgerstrahls sind, werden an die beiden Seiten der Verzögerungselektrode unabhängig angelegt. Wenn ein elektrisches Feld in den Hohlraumabschnitt vorsteht, der in der Verzögerungselektrode vorgesehen ist, wird ein Sattelpunkt, der dasselbe elektrische Potential wie einfallende Ladungsträger aufweist, in der Verzögerungselektrode gebildet. Der Sattelpunkt wirkt als ein Hochpassfilter für einfallende Ladungsträger bei einer Energieauflösung von 1 mV oder weniger. Durch Analysieren von Ladungsträgern, die nach Energie getrennt wurden, ist es möglich, das Energiespektrum und ΔE bei der hohen Auflösung von 1 mV oder weniger zu messen. Zusätzlich ist es durch Verursachen mit einer Elektronenlinse, dass der gemäß der Energie getrennte Ladungsträgerstrahl an der Probenoberfläche konvergiert und abtastet, möglich, ein SEM/STEM-Bild mit einer hohen Auflösung zu erhalten (siehe Fig. 3).



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf ein Energiefilter, eine Energieanalyseeinrichtung und eine Ladungsträgerstrahlvorrichtung, die das Energiefilter enthält.

### Technischer Hintergrund

**[0002]** Einrichtungen, die Probeninformationen durch Bestrahlen einer Probe mit Ladungsträgern analysieren oder abbilden, enthalten z. B. ein Rasterelektronenmikroskop (das im Folgenden als SEM bezeichnet wird) und ein Transmissionselektronenmikroskop (das im Folgenden als TEM bezeichnet wird). Die Leistungsfähigkeit der Einrichtung ist hauptsächlich durch Eigenschaften eines Ladungsträgerstrahls, der von einer Ladungsträgerquelle abgestrahlt wird, bestimmt und ein Beispiel davon ist die Energiedispersion (im Folgenden ΔE: wird auch als Energieauflösung bezeichnet. Energiedispersion bezieht sich auf ein Phänomen, bei dem die Energie variiert, und Energieauflösung gibt Eigenschaften der Einrichtung an) des Ladungsträgerstrahls. Wenn ΔE groß ist, tritt eine Strahlunschärfe als chromatische Aberration auf, wenn der Ladungsträgerstrahl durch eine Elektronenlinse fokussiert wird. Deshalb wurden Ladungsträgerquellen mit kleinem ΔE und Elektronenlinsen mit geringer Aberration, die die chromatische Aberration verringern, entwickelt. Da ΔE aufgrund von Wärme zunimmt, wurden eine Kaltkathodenelektronenquelle, die eine Ladungsträgerquelle bei Raumtemperatur betreibt, und eine Aberrationskorrekturlinse, die eine chromatische Aberration elektronisch korrigiert, entwickelt. Allerdings sind diese stabilen Betriebsbedingungen schwerwiegend und es wird schwierig, ein kleineres ΔE, das heute erforderlich ist, stabil zu erhalten.

**[0003]** Als eine weitere Technik existiert eine Technik zum Gestalten eines Ladungsträgerstrahls, der von einer Ladungsträgerquelle abgestrahlt wird, derart, dass er auf ein Energiefilter fällt, und Bilden eines gemäß der Energie getrennten Ladungsträgerstrahls. Beispiele der Technik enthalten das Wienfilter und das Omegafilter.Diese kombinieren ein Magnetfeld und ein elektrisches Feld, um Energiedispersionsbahnen von Ladungsträgern auf einer optischen Achse zu erzeugen. Die optische Achse ist gerade oder gekrümmt und kombiniert ein Magnetfeld und ein elektrisches Feld. Deshalb ist eine Einrichtungskonfiguration kompliziert und sie ist nicht immer einfach zu verwenden. Deshalb wurde vom Standpunkt der Einfachheit herkömmlicherweise ein Energiefilter des Verzögerungstyps verwendet.

**[0004]** **Fig. 1** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Energiefilters des Verzögerungstyps des verwandten Gebiets veranschaulicht. Ein Energiefilter besitzt eine Verzögerungselektrode in einem Zentrum und die Verzögerungselektrode ist zwischen Elektroden desselben Potentials auf beiden Seiten in einer optischen Achse angeordnet. Eine Spannung, die dasselbe Potential wie einfallende Ladungsträger aufweist, wird an die Elektroden angelegt, die auf beiden Seiten der optischen Achse angeordnet sind. Eine Spannung, die sich der Energie der Ladungsträger widersetzt, wird an die Verzögerungselektrode angelegt. Diese Elektroden wirken als ein Hochpassfilter, das lediglich Ladungsträgern mit einer Energie, die größer als eine Sollspannung ist, die von der Verzögerungsstromversorgung eingestellt wird, ermöglicht, zu passieren. Deshalb arbeitet das Energiefilter des Verzögerungstyps nicht als ein Bandpassfilter ähnlich dem Wienfilter und dem Omegafilter. Somit ist eine Struktur einfach, obwohl die Verwendungen verschieden sind. Außerdem kann das Energiefilter des Verzögerungstyps ein Energiespektrum durch Abtasten einer Verzögerungsspannung und Differenzieren eines gemessenen Übertragungsstroms mit der Verzögerungsspannung einfach erhalten.

### Entgegenhaltungsliste

#### Patentliteratur

PTL 1: US2010/0187436A

PTL 2: US8,803,102B

PTL 3: JP2009-289748A

#### Nichtpatentliteratur

**[0005]** NPL 1: ‚Evaluation of electron energy spread in CsBr based photocathodes', J. Vac. Sci. Technol. B 26(6), Nov./Dez. 2008

**[0006]** NPL 2: ‚Performance computations for a high-resolution retarding field electron energy analyzer with a simple electrode configuration', J. Phys. D: Appl. Phys., 14(1981) 769-78

## Zusammenfassung der Erfindung

### Technisches Problem

**[0007]** Allerdings weist, obwohl ein Wert der Energieauflösung des Energiefilters des Verzögerungstyps auf der optischen Achse extrem klein ist (hohe Auflösung (gut) = kleiner Auflösungswert), dann, wenn die Potentialverteilung von der optischen Achse abweicht, sie einen Gradienten auf und verschlechtert sich somit die Energieauflösung rasch (nimmt die Auflösung zu). Als Ergebnis ist es extrem schwierig, die Energieauflösung (z. B. ΔE = ~1 mV) zu erreichen, die heute erforderlich ist. Deshalb müssen einfallende Ladungsträger auf das Energiefilter senkrecht einfallen und muss die Ladungsträgerquelle weit genug vom Energiefilter entfernt positioniert sein. Deshalb besteht das Problem, dass die Einrichtung riesig wird, und die Strommenge, die einfallen kann, extrem klein wird, was in einer langen Messungszeit resultiert. Außerdem besteht, da ein Energiedispersionspunkt auf einen Punkt auf der optischen Achse fokussiert wird, auch das Problem, dass eine Dichte von Ladungsträgern nahe null Energie zunimmt und die Energiedispersion aufgrund des Coulomb-Effekts zunimmt. Darüber hinaus wird in einer Linse des Verzögerungstyps ein Brennpunkt natürlich in der Nähe eines Öffnungsabschnitts gebildet, jedoch werden, wenn der Brennpunkt und der Energiedispersionspunkt (der Nullpotentialpunkt) nahe beieinander liegen, Einfallsbedingungen schwerwiegend, wie oben beschrieben ist. Durch Verdicken der Verzögerungselektrode kann eine Entfernung zwischen dem Brennpunkt und dem Energiedispersionspunkt etwas erhöht werden, jedoch besteht das Problem, dass die Ladungsträger beginnen, mit einer Innenwand der Elektrode zusammenzustoßen, was eine Verunreinigung einer Wandoberfläche verursacht und die Energieauflösung vermindert.

**[0008]** Im Hinblick auf derartige Umstände schlägt die vorliegende Offenbarung eine Technik vor, um ein kompaktes Energiefilter hoher Auflösung (das die Energiedispersion in einem Filter erhöht) zu realisieren, das die Energiedispersion eines Ladungsträgerstrahls, der von einer Ladungsträgerquelle abgestrahlt wird, verringert.

### Lösung des Problems

**[0009]** Als ein Mittel zum Lösen der Probleme, die oben beschrieben sind, schlägt die vorliegende Offenbarung ein Energiefilter vor, das die Energiedispersion ΔE eines Ladungsträgerstrahls, der von einer Ladungsträgerquelle abgestrahlt wird, unterdrückt, wobei das Energiefilter Folgendes enthält:

eine Verzögerungselektrode, die ein Einzelblendenelektrodenpaar mit einem Öffnungsabschnitt und einen Hohlraumabschnitt, der einen Radius aufweist, der größer als ein Radius des Öffnungsabschnitts ist, wobei der Hohlraum um ein Zentrum des Öffnungsabschnitts als eine optische Achse rotationssymmetrisch ist, aufweist,

eine erste Elektrode, die vor der Verzögerungselektrode vorgesehen ist, und

eine zweite Elektrode, die hinter der Verzögerungselektrode vorgesehen ist.

**[0010]** Ferner werden Merkmale, die mit der vorliegenden Offenbarung in Beziehung stehen, aus der Beschreibung der Spezifikation und der begleitenden Zeichnungen deutlich. Zusätzlich werden die Aspekte der vorliegenden Offenbarung mittels der Elemente und Kombinationen von verschiedenen Elementen und Aspekten der genauen Beschreibung, die folgt, und der Ansprüche, die folgen, gelöst und erreicht.

**[0011]** Selbstverständlich sind die Beschreibungen in dieser Spezifikation lediglich typische Beispiele und begrenzen den Umfang von Ansprüchen oder Anwendungsbeispielen der vorliegenden Offenbarung in keiner Weise.

### Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

**[0012]** Gemäß der Technik der vorliegenden Offenbarung können ein kleines Energiefilter hoher Auflösung (vergrößern einer Energiedispersion im Filter), das die Energiedispersion eines Ladungsträgerstrahls, der von einer Ladungsträgerquelle abgestrahlt wird, verringert, und eine Energieanalyseeinrichtung oder eine Ladungsträgerstrahlvorrichtung, die mit dem Energiefilter ausgestattet ist, realisiert werden.

Figurenliste

[**Fig. 1**] **Fig. 1** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Energiefilters des Verzögerungstyps des verwandten Gebiets veranschaulicht.

[**Fig. 2**] **Fig. 2** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Ladungsträgerstrahlsystems 30 gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht.

[**Fig. 3**] **Fig. 3** ist eine Querschnittansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Energiefilters 1 gemäß der Ausführungsform veranschaulicht.

[**Fig. 4A**] **Fig. 4A** ist eine Ansicht, die einen Fall veranschaulicht, in dem elektrische Felder auf beiden Seiten einer Verzögerungselektrode 1-2 gleich sind.

[**Fig. 4B**] **Fig. 4B** ist eine Ansicht, die einen Fall veranschaulicht, in dem die elektrischen Felder auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 verschieden sind.

[**Fig. 4C**] **Fig. 4C** ist eine Ansicht, die eine Potentialverteilung und eine Elektronenbahn veranschaulicht, wenn die elektrischen Felder auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 gleich sind.

[**Fig. 4D**] **Fig. 4D** ist eine Ansicht, die die Potentialverteilung und die Elektronenbahn veranschaulicht, wenn die elektrischen Felder auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 verschieden sind.

[**Fig. 5A**] **Fig. 5A** ist eine schematische Ansicht, die eine Bahn eines Ladungsträgers a2-1, der in der Nähe eines Energiedispersionspunkts 21 passiert, im Energiefilter des verwandten Gebiets (**Fig. 1**) veranschaulicht.

[**Fig. 5B**] **Fig. 5B** ist eine schematische Ansicht, die eine Bahn eines Ladungsträgers b2-2, der in der Nähe eines Energiedispersionspunkts 21 passiert, im Energiefilter 1 der Ausführungsform veranschaulicht.

[**Fig. 6A**] **Fig. 6A** ist eine Ansicht, die eine Bahn eines Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der parallel zu der Verzögerungselektrode 1-2, die einen Elektrodenhohlraum 1-2a aufweist, einfällt.

[**Fig. 6B**] **Fig. 6B** ist eine Ansicht, die eine Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der parallel zu der Verzögerungselektrode 1-2, die den Elektrodenhohlraum 1-2a nicht aufweist, einfällt.

[**Fig. 6C**] **Fig. 6C** ist eine Ansicht, die eine Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der parallel zu der Verzögerungselektrode 1-2, die eine geringe Dicke aufweist und den Elektrodenhohlraum 1-2a nicht aufweist, einfällt.

[**Fig. 6D**] **Fig. 6D** ist eine Ansicht, die eine Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der derart einfällt, dass er zu einem Brennpunkt a20-1 konvergiert, der in einer Umgebung der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist, die den Elektrodenhohlraum 1-2a aufweist.

[**Fig. 6E**] **Fig. 6E** ist eine Ansicht, die eine Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der derart einfällt, dass er zu dem Brennpunkt a20-1 konvergiert, der in der Nähe der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist, die den Elektrodenhohlraum 1-2a nicht aufweist.

[**Fig. 6F**] **Fig. 6F** ist eine Ansicht, die eine Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, derart, dass sie zu dem Brennpunkt a20-1 konvergiert, der in der Nähe der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist, die eine geringe Dicke aufweist und den Elektrodenhohlraum 1-2a nicht aufweist.

[**Fig. 7**] **Fig. 7** ist eine Ansicht, die ein Beispiel eines Potentials auf Achse veranschaulicht, wenn 0 [V] an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist, wenn der Ladungsträger 2 ein Elektronenstrahl ist.

[**Fig. 8**] **Fig. 8** ist eine Ansicht, die eine Bahn eines Ladungsträgerstrahls 10 von einer Ladungsträgerquelle 9 zu einem Ausgang des Energiefilters 1 in der Ausführungsform veranschaulicht (wenn der Elektrodenhohlraum 1-2a in der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist).

[**Fig. 9A**] **Fig. 9A** ist eine Ansicht, die ein Berechnungsbeispiel einer Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, wenn 3000 V an eine zweite Elektrode 1-5, die vor der Verzögerungselektrode 1-2 angeordnet ist, angelegt werden und 1500 V an eine Beschleunigungselektrode 1-3, die hinter der Verzögerungselektrode 1-2 angeordnet ist, angelegt werden.

[**Fig. 9B**] **Fig. 9B** ist eine Ansicht, die ein Berechnungsbeispiel der Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, wenn 3000 V an die zweite Elektrode 1-5 angelegt werden und 3000 V an die Beschleunigungselektrode 1-3 angelegt werden.

[**Fig. 10A**] **Fig. 10A** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, wenn der Ladungsträger 2 parallel mit einem Einfallsversatz im Bereich von 1,5 µm bis 2,0 µm von einer optischen Achse 18 einfällt.

[**Fig. 10B**] **Fig. 10B** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgerstrahls 10 veranschaulicht, wenn der Ladungsträger 2 parallel mit einem Einfallsversatz im Bereich von 0,15 µm bis 0,20 µm von der optischen Achse 18 einfällt.

[**Fig. 11**] **Fig. 11** ist eine Ansicht, die einen Fall veranschaulicht, in dem eine Brennweite f einer Einzelblendenelektrode auf einer Eingangsseite der Verzögerungselektrode 1-2 zu f gesetzt wird, der Brennpunkt a20-1 stromaufwärts der Verzögerungselektrode 1-2 durch einen Brennpunkt f gesetzt wird und ein Elektron in einem Winkel einfällt, um auf dem Brennpunkt a20-1 zu konvergieren.

[**Fig. 12**] **Fig. 12** ist eine Ansicht, die eine Positionsbeziehung und angelegte Spannungen der zweiten Elektrode 1-5, einer Einzelblendenlinse und der Beschleunigungselektrode 1-3 veranschaulicht.

[**Fig. 13**] **Fig. 13** ist ein Graph, der Änderungen eines Werts $G = \Phi_z(z = 0)/\Phi 1$ in Bezug auf D/R veranschaulicht.

[**Fig. 14A**] **Fig. 14A** ist eine Ansicht, die einen Betrieb eines Bandpassfilters veranschaulicht, wenn eine Kaltkathodenelektronenquelle als die Ladungsträgerquelle angenommen wird.

[**Fig. 14B**] **Fig. 14B** ist eine Ansicht, die den Betrieb des Bandpassfilters veranschaulicht, wenn eine Schottky-Elektronenquelle als die Ladungsträgerquelle angenommen wird.

[**Fig. 15A**] **Fig. 15A** ist eine Ansicht, die eine Beziehung zwischen dem Strom $I_p$ ($V_r$) und dem Differential $dI_p(V_r)/dV_r$ von $I_p(V_r)$ in Bezug auf $V_r$ veranschaulicht.

[**Fig. 15B**] **Fig. 15B** ist eine Ansicht, die eine Form (ein Beispiel) einer Übertragungsfunktion $f(V_r| E)$ veranschaulicht.

[**Fig. 16**] **Fig. 16** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Umfangsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2 gemäß der Ausführungsform veranschaulicht.

[**Fig. 17**] **Fig. 17** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel des Energiefilters 1 gemäß der Ausführungsform veranschaulicht.

[**Fig. 18**] **Fig. 18** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel einer Ladungsträgerstrahlvorrichtung veranschaulicht, die das Energiefilter 1 gemäß der Ausführungsform enthält.

## Beschreibung der Ausführungsformen

**[0013]** Eine Ausführungsform bezieht sich auf eine Technik zum Analysieren oder Abbilden von Probeninformationen durch Bestrahlen einer Probenoberfläche mit einem Ladungsträgerstrahl, der von einer Ladungsträgerquelle unter Verwendung einer Elektronenlinse abgestrahlt wird.

**[0014]** In einer Ladungsträgerstrahlvorrichtung ist es gewünscht, die Energiedispersion eines Ladungsträgerstrahls zu verringern (die Energieauflösung zu erhöhen (einen Wert der Energieauflösung zu verringern)), jedoch ist es dafür nötig, die Energiedispersion in einem Energiefilter zu erhöhen. Um die Energiedispersion im Energiefilter zu erhöhen, muss die Größe des Energiefilters erhöht werden. Allerdings ist in der Ausführungsform, wie oben beschrieben ist, eines der Probleme, die Größe des Energiefilters zu verringern. Deshalb ist in der Ausführungsform ein Hohlraum in einer Verzögerungselektrode des Energiefilters vorgesehen, um die Größe des Energiefilters zu verringern und die Energiedispersion im Energiefilter zu erhöhen.

**[0015]** Die Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung wird unten unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben. In den begleitenden Zeichnungen können funktionell identische Elemente mit denselben Zahlzeichen gekennzeichnet sein. Ferner kann in den Zeichnungen, die in der folgenden Ausführungsform verwendet werden, selbst eine Draufsicht schraffiert sein, um die Zeichnung leichter nachvollziehbar zu gestalten. Obwohl die begleitenden Zeichnungen eine bestimmte Ausführungsform und ein bestimmtes Implementierungsbeispiel in Übereinstimmung mit den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung zeigen, dienen sie jedoch zum Verständnis der vorliegenden Offenbarung und werden in keiner Weise verwendet, um die Interpretation der vorliegenden Offenbarung einzuschränken. Die Beschreibung in dieser Spezifikation ist lediglich beispielhaft und ist nicht dazu vorgesehen, den Umfang von Ansprüchen oder die Anwendung dieser Offenbarung in irgendeiner Art zu begrenzen.

**[0016]** Obwohl die Ausführungsform ausreichend detailliert beschrieben ist, um Fachleuten zu ermöglichen, die vorliegende Offenbarung zu praktizieren, sind jedoch selbstverständlich weitere Implementierungen und Formen möglich und sind Änderungen der Konfiguration und der Struktur und eine Ersetzung verschiedener Elemente möglich, ohne vom Umfang und Gedanken der vorliegenden Offenbarung abzuweichen. Deshalb sollte die folgende Beschreibung nicht als dies beschränkend ausgelegt werden.

**[0017]** Ferner ist in der Beschreibung der Ausführungsform unten ein Beispiel beschrieben, in dem die Technik der vorliegenden Offenbarung auf ein Ladungsträgerstrahlsystem angewendet wird, das durch ein Ladungsträgermikroskop des Rastertyps unter Verwendung eines Ladungsträgerstrahls und eines Computersystems konfiguriert ist. Beispiele der Ladungsträgermikroskope des Rastertyps enthalten ein Rasterelektronenmikroskop (SEM) unter Verwendung von Elektronenstrahleri und ein Rasterionenmikroskop unter Verwendung von Ionenstrahlen. Beispiele eines Elektronenmikroskops des Rastertyps enthalten eine Untersuchungseinrichtung unter Verwendung eines Elektronenmikroskops des Rastertyps, eine Überprüfungseinrichtung, ein allgemein verwendbares Elektronenmikroskop des Rastertyps und eine Probenverarbeitungseinrichtung und eine Probenanalyseeinrichtung, die mit Elektronenmikroskopen des Rastertyps ausgestattet sind, und die vorliegende Offenbarung ist auch auf diese Einrichtungen anwendbar. Allerdings sollte diese Ausführungsform nicht einschränkend interpretiert werden und kann die vorliegende Offenbarung z. B. auf Ladungsträgerstrahlvorrichtungen unter Verwendung von Ladungsträgerstrahlen wie z. B. Elektronenstrahlen und Ionenstrahlen und allgemeine Beobachtungsvorrichtungen angewendet werden.

**[0018]** In den Funktionen, Operationen, Prozessen und Abläufen der unten beschriebenen Ausführungsform werden jedes Element und jeder Prozess hauptsächlich mit „Computersystem“, „Steuereinrichtung“ und „ΔE-Messungssteuereinheit“ als Gegenstände (Operationsgegenstände) bezeichnet, jedoch kann die Beschreibung mit „Ladungsträgerstrahlsystem“ als der Gegenstand (der Operationsgegenstand) vorgenommen werden.

Konfigurationsbeispiel des Ladungsträgerstrahlsystems

**[0019]** **Fig. 2** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Ladungsträgerstrahlsystems 30 gemäß der Ausführungsform veranschaulicht. Das Ladungsträgerstrahlsystem 30 ist eine Einrichtung, die Informationen einer Probe 14 durch Fokussieren eines Ladungsträgerstrahls auf eine Oberfläche der Probe 14 unter Verwendung einer Elektronenlinse und Detektieren einer Sekundärladungsträger, die von der Probe 14 erhalten werden, analysiert oder abbildet.

**[0020]** Das Ladungsträgerstrahlsystem 30 enthält eine Ladungsträgerquelle 9, eine Blende 11 zum Beschränken eines Strahldurchmessers eines Ladungsträgerstrahls 10, der von der Ladungsträgerquelle 9 abgestrahlt wird, einen Faraday-Käfig 15 und ein Amperemeter 16 zum Messen des Strombetrags des Ladungsträgerstrahls 10, mindestens eine Elektronenlinse 12 und Objektivlinse 13 zum Fokussieren des Ladungsträgerstrahls 10 auf die Probe 14, ein Energiefilter 1 zum Trennen der Energie des Ladungsträgerstrahls 10, der von der Ladungsträgerquelle 9 auf einer optischen Achse 18 zwischen der Ladungsträgerquelle 9 und der Blende 11 abgestrahlt wird, eine ΔE-Messungssteuereinheit 17, die ΔE auf der Grundlage von Stromwerten, die vom Faraday-Käfig 15 und dem Amperemeter 16 gemessen werden, berechnet, einen Sekundärelektronendetektor 34 zum Detektieren von Sekundärelektronen, die von der Probe 14 durch Bestrahlung mit dem Ladungsträgerstrahl 10 erhalten werden, einen Rückstreuungselektronendetektor 33 zum Detektieren von rückgestreuten Elektronen, die von der Probe 14 durch Bestrahlung mit dem Ladungsträgerstrahl 10 erhalten werden, eine Steuereinrichtung 32, die jede Komponente, die oben beschrieben ist, steuert, eine Speichereinrichtung (einen Arbeitsspeicher) 36 und eine Eingabe/Ausgabe-Einrichtung 37. Ein Computersystem ist durch die Steuereinrichtung 32 und die ΔE-Messungssteuereinheit 17 konfiguriert.

**[0021]** Eine Spannung 7 wird von einer ersten Beschleunigungsstromversorgung (die nicht dargestellt ist) an die Ladungsträgerquelle 9 angelegt und eine Extraktionsstromversorgung (die nicht dargestellt ist) ist an der Ausgangsspannung der ersten Beschleunigungsstromversorgung installiert und ferner ist das Energiefilter 1 an einer Ausgangsspannung 8 der Extraktionsstromversorgung installiert. Das Energiefilter 1 arbeitet als ein Hochpassfilter für den einfallenden Ladungsträgerstrahl 10 und gibt einen gemäß der Energie getrennten Ladungsträgerstrahl 10 aus. Der gemäß der Energie getrennte Ladungsträgerstrahl 10 fällt auf den Faraday-Käfig 15 ein, nachdem der Strahldurchmesser durch die Blende 11 beschränkt worden ist. Dann misst das Amperemeter 16, das mit dem Faraday-Käfig 15 verbunden ist, den Strombetrag des Ladungsträgerstrahls 10, der einer Energietrennung unterliegt. Außerdem steuert die ΔE-Messungssteuereinheit 17 die Spannung, die an eine Verzögerungselektrode 1-2 (die in **Fig. 2** veranschaulicht ist), die das Energiefilter 1 bildet, angelegt wird, mittels einer Verzögerungsstromversorgung 4 auf der Grundlage des gemessenen Strombetrags,

wodurch Einstellungen derart vorgenommen werden, dass ΔE des Ladungsträgerstrahls, der das Energiefilter 1 passiert, minimiert wird.

**[0022]** Nachdem das Energiefilter 1 eingestellt worden ist, entfernt ein Antriebsabschnitt (der nicht dargestellt ist) den Faraday-Käfig 15 von der optischen Achse 18. Dann wird der Ladungsträgerstrahl 10, der durch das Energiefilter 1 gemäß der Energie getrennt worden ist, mittels der Elektronenlinse 12 und der Objektivlinse 13 auf die Probe 14, die stromabwärts angeordnet ist, fokussiert. Ein Wert ΔE der Energieauflösung des gemäß der Energie getrennten Ladungsträgerstrahls ist kleiner, als bevor er auf das Energiefilter 1 eingefallen ist, und der Strahldurchmesser des Ladungsträgerstrahls 10, der auf die Probe 14 fokussiert ist, wird kleiner.

**[0023]** Im Ladungsträgerstrahlsystem 30 ist ein Deflektor (der nicht dargestellt ist) auf der optischen Achse 18 angeordnet (z. B. um die Elektronenlinse und die Objektivlinse 13 angeordnet). Die Steuereinrichtung 32 tastet den Ladungsträgerstrahl 10 über der Probe 14 unter Verwendung des Deflektors ab. Der Sekundärelektronendetektor 34 und der Rückstreuungselektronendetektor 33 detektieren Sekundärelektronen und rückgestreute Elektronen, die von der Probe 14 erhalten werden, synchron mit dem Abtasten des Ladungsträgerstrahls 10 über der Probe 14. Die Steuereinrichtung 32 erzeugt ein Bild mit hoher räumlicher Auflösung durch Durchführen einer Signalverarbeitung an diesen Detektionssignalen. Ferner gibt die Steuereinrichtung 32 z. B. das erzeugte Bild zur Eingabe/AusgabeEinrichtung 37 aus und zeichnet eine Reihe von Daten und Informationen, die der oben beschriebenen Signalverarbeitung zugeordnet sind, in der Speichereinrichtung 36 auf.

Konfigurationsbeispiel des Energiefilters 1

**[0024]** **Fig. 3** ist eine Querschnittansicht, die ein Konfigurationsbeispiel des Energiefilters 1 veranschaulicht. Das Energiefilter 1 enthält die Verzögerungselektrode 1-2, eine Beschleunigungselektrode 1-3, eine erste Elektrode 1-1, eine erste Fokussierungselektrode 1-4, eine zweite Elektrode 1-5, eine zweite Fokussierungselektrode 1-6, eine dritte Elektrode 1-7 und ein Elektrodenhaltematerial 1-8, die rotationssymmetrisch (weil es eine Querschnittansicht ist, sind sie in **Fig. 3** symmetrisch mit der optischen Achse) um die optische Achse 18 angeordnet sind. Das Elektrodenhaltematerial 1-8 ist aus einem Isolator hergestellt und hält die Verzögerungselektrode 1-2, die Beschleunigungselektrode 1-3, die erste Elektrode 1-1, die erste Fokussierungselektrode 1-4, die zweite Elektrode 1-5, die zweite Fokussierungselektrode 1-6 und die dritte Elektrode 1-7.

**[0025]** Die erste Elektrode 1-1, die zweite Elektrode 1-5 und die dritte Elektrode 1-7 sind mit einem Schirm 1-9 verbunden und weisen dasselbe Potential auf. Der Schirm 1-9 ist aus einem Material (z. B. Permalloy) mit hoher magnetischer Permeabilität hergestellt und schirmt externe magnetische Streufelder ab. Ähnlich können die erste Elektrode 1-1, die zweite Elektrode 1-5 und die dritte Elektrode 1-7 auch aus einem Material (z. B. Permalloy) mit hoher magnetischer Permeabilität hergestellt sein. Die erste Fokussierungselektrode 1-4 ist von den weiteren Elektroden isoliert und bildet zusammen mit der ersten Elektrode 1-1 und der zweiten Elektrode 1-5 eine elektrostatische Linse. Ähnlich ist auch die zweite Fokussierungselektrode 1-6 von den weiteren Elektroden isoliert und bildet zusammen mit der zweiten Elektrode 1-5 und der dritten Elektrode 1-7 eine elektrostatische Linse. Jede Elektrode ist scheibenförmig und besitzt ein Loch in einem Mittelabschnitt. Ferner ist das Elektrodenhaltematerial 1-8 in einer zylindrischen Form konfiguriert und hält jede Elektrode im Inneren.

**[0026]** Die Verzögerungselektrode 1-2 ist rotationssymmetrisch um die optische Achse 18 mit einem Hohlraum (Elektrodenhohlraum 1-2a) versehen. Einzelblendenelektroden 1-2-1 und 1-2-2 sind auf beiden Seiten des Elektrodenhohlraums 1-2a gebildet und der Durchmesser der Einzelblendenelektroden kann auf beiden Seiten gleich oder verschieden sein. Ein Sattelpunkt, der als ein Energiedispersionspunkt (eine Dispersionsoberfläche) 21 dient, ist durch Gestalten des Verzögerungsfelds und des Beschleunigungsfelds in Kontakt im Elektrodenhohlraum 1-2a gebildet. Die Position des Sattelpunkts, der als ein Energiedispersionspunkt 21 dient, variiert abhängig von den Durchmessern der zwei Einzelblendenelektroden 1-2-1 und 1-2-2, die auf beiden Seiten den Elektrodenhohlraum 1-2a bilden, und der Stärke der elektrischen Felder, die auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet sind. Die Stärke der elektrischen Felder, die auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet sind, kann gleich oder verschieden sein.

Potentialverteilung und Elektronenbahn im Elektrodenhohlraum 1-2a der Verzögerungselektrode 1-2

**[0027]** **Fig. 4A** ist eine Ansicht, die einen Fall veranschaulicht, in dem die elektrischen Felder auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 gleich sind. **Fig. 4B** ist eine Ansicht, die einen Fall veranschaulicht, in

dem die elektrischen Felder auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 verschieden sind. **Fig. 4C** ist eine Ansicht, die die Potentialverteilung und die Elektronenbahn veranschaulicht, wenn die elektrischen Felder auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 gleich sind. **Fig. 4D** ist eine Ansicht, die die Potentialverteilung und die Elektronenbahn veranschaulicht, wenn die elektrischen Felder auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 verschieden sind. Zusätzlich ändert sich die Funktion als ein Energiefilter nicht, selbst wenn der Einzelblendenelektrodendurchmesser asymmetrisch ist oder die Stärke des elektrischen Feldes asymmetrisch ist. In der folgenden Beschreibung wird angenommen, dass die Durchmesser der zwei Einzelblendenelektroden gleich sind und die Stärken des elektrischen Feldes auf beiden Seiten auch gleich sind.

**[0028]** Da der Energiedispersionspunkt 21 ferner als der Eingang des Energiefilters 1 (im Elektrodenhohlraum 1-2a) angeordnet ist, besitzt er eine große Querschnittfläche zum Durchleiten von Ladungsträgern desselben Potentials oder mehr und kann die Energieauflösung verbessern.

**[0029]** **Fig. 5A** ist eine schematische Ansicht, die eine Bahn eines Ladungsträgers a2-1, der in der Nähe des Energiedispersionspunkts 21 passiert, im Energiefilter des verwandten Gebiets (**Fig. 1**) veranschaulicht. **Fig. 5B** ist eine schematische Ansicht, die eine Bahn eines Ladungsträgers b2-2, der in der Nähe des Energiedispersionspunkts 21 passiert, im Energiefilter 1 der Ausführungsform veranschaulicht. Äquipotentiallinien a19-1 in **Fig. 5A** sind die Äquipotentialverteilung, wenn (ein Beispiel des verwandten Gebiets) die Dicke der Verzögerungselektrode 1-2 dünn ist und der Elektrodenhohlraum 1-2a nicht gebildet ist. Diese Äquipotentialverteilung ist in der Nähe eines Eingangsöffnungsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet. Andererseits sind Äquipotentiallinien b19-2 in **Fig. 5B** die Äquipotentialverteilung, wenn (die Ausführungsform) der Elektrodenhohlraum 1-2a in der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist. Diese Äquipotentialverteilung ist in einem Abschnitt (annähernd im Mittelabschnitt der Verzögerungselektrode 1-2) fern vom Eingangsöffnungsabschnitt der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet.

**[0030]** Sowohl im Beispiel des verwandten Gebiets als auch der Ausführungsform verursacht das Verzögerungspotential, das an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist, dass der Ladungsträger 2 (der Ladungsträger a2-1 und der Ladungsträger b2-2) einen Brennpunkt a20-1 in der Nähe des Eingangsöffnungsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2 aufweist. Wenn der Elektrodenhohlraum 1-2a nicht vorgesehen ist (**Fig. 5A**), ist der Energiedispersionspunkt 21 in der Nähe des Brennpunkts a20-1 gebildet und sind außerdem die Äquipotentiallinien a19-1 beim Energiedispersionspunkt 21 dicht. Deshalb können, wenn der Ladungsträgerstrahl a2-1 weg von der optischen Achse 18 einfällt, die Ladungsträger, die durch die Äquipotentiallinie a19-1 abgestoßen werden, nicht stromabwärts passieren und können lediglich einfallende Ladungsträger, die nicht von der optischen Achse 18 abweichen, stromabwärts (den Ausgang des Energiefilters 1) passieren. Andererseits ist, falls der Elektrodenhohlraum 1-2a (**Fig. 5B**) vorliegt, der Energiedispersionspunkt 21 in einer Entfernung eines Brennpunkts a20-2 gebildet und ist außerdem die Äquipotentiallinie b19-2 beim Energiedispersionspunkt 21 grob und dicht. Deshalb kann selbst dann, wenn der Ladungsträgerstrahl b2-2 weg von der optischen Achse 18 einfällt, er stromabwärts passieren, ohne durch die Äquipotentiallinie b19-2 abgestoßen zu werden.

Berechriungsergebnisbeispiel der Bahn eines Ladungsträgers 2, der auf die Verzögerungselektrode 1-2 einfällt

**[0031]** **Fig. 6A** bis **Fig. 6F** sind Ansichten, die Berechnungsergebnisbeispiele der Bahn des Ladungsträgers 2, der auf der Verzögerungselektrode 1-2 einfällt, veranschaulichen. **Fig. 6A** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der parallel zu der Verzögerungselektrode 1-2, die den Elektrodenhohlraum 1-2a aufweist, einfällt. **Fig. 6B** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der parallel zu der Verzögerungselektrode 1-2, die den Elektrodenhohlraum 1-2a nicht aufweist, einfällt. **Fig. 6C** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der parallel zu der Verzögerungselektrode 1-2, die eine geringe Dicke aufweist und den Elektrodenhohlraum 1-2a nicht aufweist, einfällt. **Fig. 6D** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der derart einfällt, dass er zu einem Brennpunkt a20-1 konvergiert, der in der Nähe der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist, die den Elektrodenhohlraum 1-2a aufweist. **Fig. 6E** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der derart einfällt, dass er zu dem Brennpunkt a20-1 konvergiert, der in der Nähe der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist, die den Elektrodenhohlraum 1-2a nicht aufweist. **Fig. 6F** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, der derart einfällt, dass er zu dem Brennpunkt a20-1 konvergiert, der in der Nähe der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist, die eine geringe Dicke aufweist und den Elektrodenhohlraum 1-2ä nicht aufweist. In jedem Fall ist der Öffnungsdurchmesser der Verzögerungselektrode 1-2 gleich.

**[0032]** Im Falle eines parallelen Einfalls ist der Ladungsträger 2 von der optischen Achse 18 um im Bereich von 0,1 µm bis 5 µm versetzt und ist die Einfallsenergie des Ladungsträgers 2 gleich 3000,001 V. im Falle eines fokussierten Einfalls ist der Brennpunkt a20-1 derart gebildet, dass er 32 µm von der stromaufwärts liegenden Seite (der Eingangsseite der Verzögerungselektrode 1-2) der Verzögerungselektrode 1-2 entfernt ist, und wird der Winkel zum Brennpunkt a20-1 im Bereich von 0,5 mrad bis 7,8 mrad variiert und werden ferner die Einfallsenergien der Ladungsträger 2 zu 3000,001 V und 3000,01 V gesetzt.

**[0033]** Eine Spannung wird derart an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt, dass der Ladungsträger 2 von 3000,000 V, der parallel zur optischen Achse 18 einfällt, für jede Einfallsbedingung (im Bereich von 0,1µm bis 5 µm Versatz von der optischen Achse 18 für parallelen Einfall, im Bereich von 0,5 mrad bis 7,8 mrad Winkel zum Brennpunkt a20-1 für fokussierten Einfall) abgestoßen wird. Das heißt, eine Spannung, die annähernd dasselbe Potential wie die Spannung aufweist, die an die Ladungsträgerquelle 9 angelegt ist, wird an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt, um die beschleunigte Energie aufzuheben. Da normalerweise ein Versatz zwischen dem Potential, das an die Verzögerungselektrode angelegt ist, und dem Potential auf der optischen Achse vorliegt, wird eine negative Spannung (negativer Polarität) angelegt, wenn der Ladungsträgerstrahl ein Elektronenstrahl oder ein negativer Ionenstrahl (z. B. ein $B_2$-Ionenstrahl, ein H-Ionenstrahl) ist, und wird eine positive Spannung (positiver Polarität) angelegt, wenn der Ladungsträgerstrahl ein positiver Ionenstrahl (z. B. ein $Ga^+$-Ionenstrahl, ein $Ne^{+\cdot}$-Ionenstrahl, ein $He^+$-Ionenstrahl) ist.

**[0034]** Wie aus den Berechnungsergebnissen von **Fig. 6A** bis **Fig. 6F** ersichtlich ist, kann dann, wenn der Elektrodenhohlraum 1-2a in der Verzögerungselektrode 1-2 vorgesehen ist, die Energiedispersion im Energiefilter 1 erhöht werden. Als Ergebnis ist es möglich, die Energiedispersion des ausgegebenen Ladungsträgerstrahls zu verringern.

Potential auf der optischen Achse und Bedingung zum Durchleiten eines Ladungsträgers 2 durch die Verzögerungselektrode

**[0035]** **Fig. 7**. ist eine Ansicht, die ein Beispiel eines Potentials auf Achse veranschaulicht, wenn 0 [V] an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt wird, wenn der Ladungsträger 2 ein Elektronenstrahl ist. Selbst wenn 0 [V] an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist, interferieren die elektrischen Felder, die auf beiden Seiten der Verzögerungselektrode 1-2 vorhanden sind, miteinander, was einen Versatzes des Potentials auf Achse verursacht. In **Fig. 7** ist Φ(0,0) V ein Versatz.

[Tabelle 1]

| Bedingungen, unter denen Ladungsträger mit ΔE = 1 mV passieren können | Paralleler Einfall Zulässiger Achsenversatz von optischer Achse | Fokussierter Einfall Konvergenz zulässiger Konvergenzwinkel bei 32 µm auf stromaufwärts liegender Seite der Verzögerungselektrode |
|---|---|---|
| (a) Elektrode mit Elektrodenhohlraum | ≤ 2,4 µm | ≤ 7,8 mrad |
| (b) Elektrode ohne Elektrodenhohlraum | ≤ 0,4 µm | ≤ 2,2 mrad |
| (c) Kein Elektrodenhohlraum und dünne Elektrode | ≤ 0,3 µm | ≤ 0,5 mrad |

**[0036]** Tabelle 1 ist eine Tabelle, die Berechnungsergebnisbeispiele einer Einfallsbedingung veranschaulicht, unter der der Ladungsträger 2 mit einer Energiedifferenz von 1 mV die Verzögerungselektrode 1-2 passieren kann. im Falle eines parallelen Einfalls kann, wie in Tabelle 1(a) veranschaulicht ist, dann, wenn der Elektrodenhohlraum 1-2 vorgesehen ist, der Ladungsträgerstrahl 10 gemäß der Energie mit einer Energieauflösung ΔE = 1 mV gewählt werden, selbst unter einer Einfallsbedingung (2,4 µm Versatz), die einen Versatz von der optischen Achse 18 um das sechs- bis acht-Fache im Vergleich zum Fall ohne den Elektrodenhohlraum 1-2 aufweist.

**[0037]** Wie in **Fig. 6C** und Tabelle 1(c) veranschaulicht ist, ist ersichtlich, dass, wenn eine dünne Verzögerungselektrode des verwandten Gebiets verwendet wird, die Energieauflösung ΔE = ~1 mV nicht gemessen werden kann, sofern nicht die Einfallsbedingung parallel zur optischen Achse 18 mit einem Versatz von 0,3 µm oder weniger ist. Zusätzlich kann, wie in **Fig. 6E** und Tabelle 1(b) veranschaulicht ist, durch Setzen der Einfallsbedingung zu einer konvergierenden Einfallsbedingung der maximale zulässige Einfallswinkel zu 2,2 mrad oder weniger verringert werden, wenn die Dicke dick ist, jedoch der Elektrodenhohlraum 1-2 nicht vor-

gesehen ist. Ferner kann, wie in **Fig. 6D** und Tabelle 1(b) veranschaulicht ist, der maximale zulässige Einfallswinkel 7,8 mrad sein, wenn der Elektrodenhohlraum 1-2 vorgesehen ist. Allerdings kann, wie in **Fig. 6C** und Tabelle 1(c) veranschaulicht ist, für die dünne Elektrode eine geringe Verbesserung erzielt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Entfernung zwischen dem Brennpunkt a20-1 und dem Energiedispersionspunkt 21 kurz ist, wie in **Fig. 5A** und **Fig. 5B** veranschaulicht ist.

**[0038]** Wie in **Fig. 6B** und Tabelle 1(b) und **Fig. 6E** und Tabelle 1(b) veranschaulicht ist, stößt dann, wenn der Elektrodenhohlraum 1-2a nicht vorgesehen ist, selbst mit dem parallelen Einfall oder dem fokussierten Einfall, der Ladungsträger 2 mit einer Innenwand der Verzögerungselektrode 1-2 zusammen und kann die Verzögerungselektrode 1-2 nicht passieren. Insbesondere werden die Energien der Ladungsträger 2 für fokussierten Einfall zu 3000,001 V und 3000,01 V gesetzt. Wie in **Fig. 6D** veranschaulicht ist, können, wenn der Elektrodenhohlraum 1-2 vorgesehen ist, Elektronen mit jeder Energie passieren, jedoch wären Elektronen mit einer Energie von 3000,1 V mit der Wand zusammengestoßen, wenn der Elektrodenhohlraum 1-2 nicht vorgesehen wäre, wie in **Fig. 6E** veranschaulicht ist. Deshalb muss, um Elektronen mit gleichförmiger Energie zu detektieren, der Einfallswinkel beschränkt sein und der maximale Einfallswinkel beträgt 2,2 mrad.

Anordnungsbedingung der ersten Fokussierungselektrode 1-4

**[0039] Fig. 8** ist eine Ansicht, die eine Bahn des Ladungsträgerstrahls 10 von der Ladungsträgerquelle 9 zum Ausgang des Energiefilters 1 in der Ausführungsform veranschaulicht (wenn der Elektrodenhohlraum 1-2a in der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist).

**[0040]** In **Fig. 8** wird an die dritte Elektrode 1-7 eine Spannung (z. B. einige kV) zum Extrahieren des Ladungsträgerstrahls 10 von der Ladungsträgerquelle 9 angelegt und sie arbeitet als eine Extraktionselektrode. Der Ladungsträgerstrahl 10, der von der Ladungsträgerquelle 9 abgestrahlt wird, wird durch eine Beschränkgungsblende (die nicht dargestellt ist), die an der dritten Elektrode 1-7 angebracht ist, beschränkt und lediglich ein Teil des Ladungsträgerstrahls 10 wird stromabwärts weitergeleitet. Der weitergeleitete Ladungsträgerstrahl 10 besitzt aufgrund der Spannung (z. B. einige hundert V), die an die zweite Fokussierungselektrode 1-6 angelegt wird, einen Brennpunkt zwischen der zweiten Elektrode 1-5 und der ersten Fokussierungselektrode 1-4. Dann besitzt der Ladungsträgerstrahl 10 den Brennpunkt a20-1 in der Nähe des Eingangsöffnungsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2 aufgrund einer Spannung (z. B. einige hundert V), die an die erste Fokussierungselektrode 1-4 angelegt wird. Die Fokussierungswirkung ist nicht nur die Fokussierungswirkung durch die Spannung, die an die erste Fokussierungselektrode 1-4 angelegt ist, sondern auch die Linsenwirkung des verzögernden elektrischen Feldes, das zwischen der ersten Elektrode 1-1 und der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist. Nachdem sie den Brennpunkt a20-1 passiert haben, werden die Ladungsträger, die den Ladungsträgerstrahl 10 bilden, bei dem Energiedispersionspunkt 21 gemäß ihre Energien und Einfallsbedingungen dispergiert.

**[0041]** Wie in **Fig. 6A** bis **Fig. 6F** und Tabelle 1 veranschaulicht ist, variiert die Energieauflösung des Energiefilters 1 einfach abhängig von den Bedingungen des Einfalls auf die Verzögerungselektrode 1-2. Die Fokussierungslinse, die die erste Elektrode 1-1, die erste Fokussierungselektrode 1-4 und die zweite Elektrode 1-5, die in **Fig. 3** und **Fig. 8** veranschaulicht sind, enthält, ist ein Mittel zum Stabilisieren des Einfallsbedingung des Ladungsträgerstrahls 10 auf die Verzögerungselektrode 1-2 und steuert den Einfallswinkel gemäß der erforderlichen Energieauflösung. Ferner ist, wie in **Fig. 5A** bis **Fig. 6F** veranschaulicht ist, die die Energieauflösung umso höher, je kleiner der Einfallswinkel ist. Deshalb ist die erste Fokussierungselektrode 1-4 zwischen einer Entfernung L1a, die die Entfernung zwischen dem Brennpunkt zwischen der zweiten Elektrode 1-5 und der ersten Fokussierungselektrode 1-4 und dem Zentrum der ersten Fokussierungselektrode 1-4 ist, und einer Entfernung L1b, die die Entfernung zwischen dem Zentrum der ersten Fokussierungselektrode 1-4 und dem Brennpunkt a20-1, der im Eingangsöffnungsabschnitt der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet ist, ist, angeordnet, derart, dass $L1a < L1b$ erfüllt ist, so dass die Winkelvergrößerung der Fokussierungslinse, die die erste Elektrode 1-1, die erste Fokussierungselektrode 1-4 und die zweite Elektrode 1-5 enthält, klein wird.

Differenz der Bahn eines Ladungsträgers 2 aufgrund der Differenz der Spannung, die an zweite Elektrode 1-5 angelegt wird

**[0042] Fig. 9** eine Ansicht ist, die Differenzen der Bahnen der Ladungsträger 2 aufgrund Differenzen der Spannungen veranschaulicht, die an die zweite Elektrode 1-5 angelegt werden. **Fig. 9A** ist eine Ansicht, die ein Berechnungsbeispiel der Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, wenn 3000 V an die zweite Elektrode 1-5, die vor der Verzögerungselektrode 1-2 angeordnet ist, angelegt werden und 1500 V an die

Beschleunigungselektrode 1-3, die hinter der Verzögerungselektrode 1-2 angeordnet ist, angelegt werden. **Fig. 9B** ist eine Ansicht, die ein Berechnungsbeispiel der Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, wenn 3000 V an die zweite Elektrode 1-5 angelegt werden und 3000 V an die Beschleunigungselektrode 1-3 angelegt werden. im Hinblick auf die Einfallsbedingungen der Ladungsträger 2 fallen beide mit einem Versatzbetrag von der optischen Achse 18 im Bereich von 1,5 µm bis 2,0 µm parallel ein und sind die Energien der Ladungsträger 2 3000,000 V, 3000,001 V, 3000,010 V und 3000,100 V. Ferner wird die Verzögerungselektrode 1-2 derart eingestellt, dass sie die Ladungsträger 2, die eine Energie von 3000,000 V aufweisen, abstößt.

**[0043]** Wie in **Fig. 9A** veranschaulicht ist, passieren, wenn 1500 V an die Beschleunigungselektrode 1-3 angelegt sind, lediglich Ladungsträger von 3000,100 V. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Ladungsträger 2 das Potential, das der Energie entspricht, nicht überschreiten können, sofern sie nicht eine bestimmte Energie oder mehr aufweisen. Andererseits werden, wie in **Fig. 9B** veranschaulicht ist, dann, wenn 3000 V an die Beschleunigungselektrode 1-3 angelegt werden, alle Ladungsträger 2 von 3000,001 V oder mehr passieren. Deshalb ist ersichtlich, dass das Energiefilter 1 eine Energieauflösung (Elektronen, die ursprünglich eine Energie von 3 kV aufweisen, in Einheiten von 1 mV, trennt) von 1 mV aufweist.

**[0044]** Ferner sind, wie in **Fig. 9B** veranschaulicht ist, Äquipotentialverteilungen des verzögernden elektrischen Feldes und des beschleunigenden elektrischen Feldes um das Zentrum der Verzögerungselektrode 1-2 im Elektrodenhohlraum 1-2a in der Verzögerungselektrode 1-2 symmetrisch gebildet. Deshalb werden die Ladungsträger 2, die auf die Verzögerungselektrode 1-2 einfallen, selbst nach einem Annehmen einer Energiedispersion im Elektrodenhohlraum 1-2a einer Fokussierungswirkung unterworfen. Die Ladungsträger 2, die den Energiedispersionspunkt 21 passieren, bilden einen Brennpunkt b20-2 in der Nähe des Ausgangsöffnungsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2. Der Durchmesser des Ladungsträgerstrahls, der bei dem Brennpunkt b20-2 gebildet wird, ist aufgrund von Aberration etwas verschwommen, ist jedoch klein genug, als eine Ladungsträgerquelle verwendet zu werden. Ferner konvergieren, wie in **Fig. 9B** veranschaulicht ist, Ladungsträger mit höherer Energie bei dem Brennpunkt b20-2, nachdem sie im Elektrodenhohlraum 1-2a von der optischen Achse 18 abgewichen sind. Deshalb weichen die Ladungsträger 2, die den Brennpunkt b20-2 passiert haben, umso mehr ab, je höher ihre Energie ist.

Differenz der Bahn des Ladungsträgers 2 aufgrund der Differenz im Einfallsversatz von der optischen Achse

**[0045]** **Fig. 10A** und **Fig. 10B** sind Ansichten, die die Differenzen der Bahnen der Ladungsträger 2 aufgrund der Differenzen des Einfallsversatzes von der optischen Achse veranschaulichen. **Fig. 10A** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgers 2 veranschaulicht, wenn der Ladungsträger 2 parallel mit dem Einfallsversatz im Bereich von 1,5 µm bis 2,0 µm von der optischen Achse 18 einfällt. Die Energie des Ladungsträgers 2 wird zu 3000,000 V, 3000,001 V, 3000,010 V und 3000,100 V gesetzt und der Bahn des Ladungsträgerstrahls 10 nach dem Durchlaufen der Verzögerungselektrode 1-2 wird berechnet. Ferner nimmt der Ladungsträgerstrahl 10 eine Strahlungsbahn mit dem Brennpunkt b20-2 als ein heller Punkt und der Spannung, die an die Beschleunigungselektrode 1-3 angelegt ist, und ist ersichtlich, dass der Emissionswinkel umso größer ist, je höher die Energie der Ladungsträger 2 ist.

**[0046]** **Fig. 10B** ist eine Ansicht, die die Bahn des Ladungsträgerstrahls 10 veranschaulicht, wenn der Ladungsträger 2 mit einem Einfallsversatz im Bereich von 0,15 µm bis 0,20 µm von der optischen Achse 18 parallel einfällt. Ähnlich zu **Fig. 10A** ist der Emissionswinkel umso größer, je höher die Energie der Ladungsträger 2 ist, jedoch ist der Umfang der Zunahme gering. Deshalb ändert sich der Emissionswinkel der Energie abhängig vom Einfallswinkel der Ladungsträger 2. Mit anderen Worten wirkt das Energiefilter 1 als ein Hochpassfilter mit hoher Energieauflösung, jedoch begrenzt die Blende 11 den Strahldurchmesser und wirkt als ein Tiefpassfilter mit einer etwas niedrigeren Energieauflösung in Bezug auf die Energie. Dann kann ein Bandpassfilter durch Kombinieren des Hochpassfilters und des Tiefpassfilters gebildet werden.

Beziehung zwischen dem Brennpunkt f einer Einzelblendenelektrode und dem Radius R einer Einzelblendenelektrode

**[0047]** in **Fig. 9A** bis **Fig. 10B** ist die Einfallsbedingung der Ladungsträger 2, die auf die Verzögerungselektrode 1-2 einfallen, parallel. Allerdings ist die Einfallsbedingung nicht auf parallel beschränkt und kann der Brennpunkt a20-1 in der Nähe des Eingangs der Verzögerungselektrode 1-2 gebildet werden und kann der Fokuseinfall in einem Winkel durchgeführt werden, um zum Brennpunkt a20-1 zu konvergieren. **Fig. 11** ist eine Ansicht, die einen Fall veranschaulicht, in dem eine Brennweite der Einzelblendenelektrode auf der Eingangsseite der Verzögerungselektrode 1-2 zu f gesetzt wird, der Brennpunkt a20-1 stromaufwärts der Verzö-

gerungselektrode 1-2 durch einen Brennpunkt f gesetzt wird und ein Elektron in einem Winkel einfällt, um zum Brennpunkt a20-1 zu konvergieren. in diesem Fall bewegen sich Elektronen parallel zu einer z-Achse (einer optischen Achse) im Elektrodenhohlraum 1-2a der Verzögerungselektrode 1-2. Allerdings nehmen Elektronen mit kleinen Energien die Energiedispersion im Elektrodenhohlraum 1-2a an und werden bei einem Sattelpunkt nach, der im Elektrodenhohlraum 1-2a gebildet ist, gemäß der Energie getrennt.

**[0048]** Hier kann die Brennweite f der Einzelblendenlinse als die folgende Gleichung (1), als Davisson-Calbick-Gleichung ausgedrückt werden. **Fig. 12** ist eine Ansicht, die die Positionsbeziehung und die angelegten Spannungen der zweiten Elektrode 1-5, der Einzelblendenlinse und der Beschleunigungselektrode 1-3 veranschaulicht.
[Gleichung 1]

$$f = \frac{4\phi_z(z=0)}{E_1 - E_2} \qquad (1)$$

**[0049]** Hier repräsentiert $\Phi_z$ das Potential auf Achse und repräsentiert z = 0 eine zentrale Position der Einzelblendenlinse. Unter der Annahme, dass das Potential der zweiten Elektrode 1-5 Φ1 kV ist und des Potentials der Beschleunigungselektrode 1-3 0 kV ist, ist ein elektrisches Feld E1, das zwischen der zweiten Elektrode 1-5 und einer Einzelblendenlinse (einer Einzelblendenelektrode in einer vorhergehenden Stufe) erzeugt wird, Φ1/L und ist ein elektrisches Feld E2, das zwischen einer Einzelblendenlinse (einer Einzelblendenelektrode in einer nachfolgenden Stufe) und der Beschleunigungselektrode 1-3 erzeugt wird, null. Dann wird Gleichung (1) die folgende Gleichung (2).
[Gleichung 2]

$$f = 4\frac{\phi_z(z=0)}{\phi_1}L \qquad (2)$$

**[0050]** Andererseits ist, wenn die Ausdehnung des Systems bestimmt wird, Φ(z = 0) = G * Φ1 erfüllt (G = Φz (z = 0)/Φ1) und kann als f = 4G * L ausgedrückt werden (G ist ein Koeffizient). Wenn 4G * L numerisch berechnet wird, wird 4G * L = 0,64R erfüllt. Wenn eine Entfernung (eine Breite der Verzögerungselektrode 1-2: eine Elektrodenbreite) zwischen der Eingangsseite und der Ausgangsseite der Verzögerungselektrode 1-2 zu D gesetzt wird, hängt, wenn die Ausdehnung der Verzögerungselektrode 1-2 D/R ≥ 5 ist, die Brennweite f nicht von der Ausdehnung des Systems ab, sondern lediglich von einem Radius R der Einzelblendenelektrode, und kann als f = λR ausgedrückt werden, λ = 0,64 ± 0,05 (λ: dimensionsloser Koeffizient). Hier ist 0,05 ein Zahlenwert, der eine empirische Differenz (einen Fehler) zwischen Einrichtungen angibt.

**[0051]** **Fig. 13** ist ein Graph, der Änderungen des Werts von G = Φz(z = 0)/Φ1 in Bezug auf D/R veranschaulicht. Aus **Fig. 13** ist ersichtlich, dass dann, wenn D/R ≥ 5, der Wert von G zu 0,64 konvergiert, ungeachtet des jeweiligen Werts einer Elektrodenbreite D der Verzögerungselektrode 1-2, eines Öffnungsradius R der Verzögerungselektrode 1-2 und einer Entfernung L zwischen der Verzögerungselektrode 1-2 und der zweiten Elektrode 1-5. Deshalb ist, wenn G = 0,64, die Brennweite f der Einzelblendenlinse stabil ohne Fluktuation.

Betrieb des Bandpassfilters

**[0052]** **Fig. 14A** und **Fig. 14B** sind Ansichten, die den Betrieb des Energiefilters 1 als ein Bandpassfilter veranschaulichen. In **Fig. 14A** und **Fig. 14B** gibt eine horizontale Achse E die Energie an und gibt eine vertikale Achse die Anzahl von Ladungsträgern im Ladungsträgerstrahl 10, der auf ‚1' normiert ist, an. **Fig. 14A** ist eine Ansicht, die den Betrieb des Bandpassfilters veranschaulicht, wenn eine Kaltkathodenelektronenquelle als die Ladungsträgerquelle angenommen wird. in diesem Fall besitzt das Energiespektrum der Kaltkathodenelektronenquelle eine Form (Da(E)), wobei das Energiespektrum auf der Seite hoher Energie steil abnimmt und sich auf der Seite niedriger Energie sanft abschwächt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Kaltkathodenelektronenquelle bei Raumtemperatur arbeitet und Elektronen auf dem Fermi-Niveau abgestrahlt werden, ohne gestreut zu werden, weil sie die Energiebarriere durch den Tunneleffekt passieren, und Elektronen mit niedrigeren Energien abgestrahlt werden, nachdem sie gestreut worden sind.

**[0053]** Ferner kann, wie in **Fig. 14A** veranschaulicht ist, ein Hochpassfilter 22 auf der Grundlage des Energiefilters 1, da es eine hohe Energieauflösung besitzt, Elektronen auf der steilen Niedrigenergieseite abschirmen. Andererseits besitzt ein Tiefpassfilter 23 auf der Grundlage der Blende 11 eine ein wenig geringe Energieauflösung, wie oben beschrieben ist. Allerdings kann, wie in **Fig. 14A** veranschaulicht ist, da das Energiespektrum auf der Seite hoher Energie der Kaltkathodenelektronenquelle steil ist, wenn das Hoch-

passfilter 22 zu der Energie eingestellt wird, die sich steil ändert, selbst in einem Bereich (weil das Tiefpassfilter 23 durch die Blende 11 gebildet ist, existiert ein Nichtarbeitsbereich im Steigungsabschnitt des Tiefpassfilters 23) in dem das Tiefpassfilter 23 nicht arbeitet, ungeachtet des Vorliegens oder des Fehlens des Tiefpassfilters das Energiespektrum Da(E) in ein Energiespektrum Da * (E) mit einem kleinen ΔE (Δεa) umgesetzt werden.

**[0054] Fig. 14B** ist eine Ansicht, die den Betrieb des Bandpassfilters veranschaulicht, wenn eine Schottky-Elektronenquelle als die Ladungsträgerquelle angenommen wird. Da die Schottky-Elektronenquelle zu etwa 1800 K erhitzt wird, ist ihr Energiespektrum Db(E) breiter als das der Kaltkathodenelektronenquelle. Mit einem breiten Energiespektrum, wie in **Fig. 14B** veranschaulicht ist, arbeitet das Tiefpassfilter 23 auch auf der Seite hoher Energie und kann das Energiespektrum Db(E) in ein Energiespektrum Db * (E) mit einem kleinen ΔE (Δεb) umgesetzt werden.

Betrieb der Energieanalyseeinrichtung

**[0055]** Wenn die Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls 10, der von der Ladungsträgerquelle 9 abgestrahlt wird, unter Verwendung einer Energieanalyseeinrichtung 31 (siehe **Fig. 2**), die das Energiefilter 1 enthält, gemessen wird, wird die Blende 11 von der optischen Achse 18 (unter Verwendung eines Antriebsabschnitts, der nicht veranschaulicht ist) entfernt und wird der Faraday-Käfig 15 (unter Verwendung eines Antriebsabschnitts, der nicht veranschaulicht ist) auf der optischen Achse 18 angeordnet. Dann steuert die ΔE-Messungssteuereinheit 17 eine Spannung 6 einer zweiten Fokussierungsstromversorgung, die an die zweite Fokussierungselektrode 1-6 angelegt ist, eine Spannung 3 einer ersten Fokussierungsstromversorgung, die an die erste Fokussierungselektrode 1-4 angelegt ist, eine Spannung 4 der Verzögerungsstromversorgung, die an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist, und eine Spannung 5 einer Beschleunigungsstromversorgung, die an die Beschleunigungselektrode 1-3 angelegt ist, zu geeigneten Werten, derart, dass der Ladungsträgerstrahl 10 die oben erwähnte Bedingung (siehe Tabelle 1) eines Einfalls auf das Energiefilter 1 erfüllt.

Betrieb einer ΔE-Messungssteuereinheit 17

**[0056]** Hier werden der Betrieb und die Wirkung der ΔE-Messungssteuereinheit 17 genau beschrieben. Wie in **Fig. 2** veranschaulicht ist, wird die Ausgangsspannung 8 (einige kV) der Extraktionsstromversorgung an die dritte Elektrode 1-7 angelegt (siehe **Fig. 3**). Zum Beispiel wird an die Ladungsträgerquelle 9 die Spannung 7 (-3000,000 V) von der ersten Beschleunigungsstromversorgung angelegt. +3000,000 V wird an die dritte Elektrode 1-7 als die Ausgangsspannung 8 der Extraktionsstromversorgung angelegt. In diesem Fall erreicht das GND-Potential von der Ladungsträgerquelle 9 gesehen ein Potential von +3000,000 V. Ferner ist auch die Energie des Ladungsträgerstrahls 10, der durch die Ausgangsspannung 8 (+3000,000 V) der Extraktionsstromversorgung extrahiert wird, von der Ladungsträgerquelle 9 gesehen +3000,000 V. Deshalb werden, wenn eine geeignete Spannung $V_r$ an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt wird und eine Potentialsperre von - 3000,000 V bei der optischen Achse 18 in der Nähe des Zentrums des Elektrodenhohlraums 1-2a gebildet ist, die Ladungsträger 2 mit Energien, die kleiner als +3000,000 V sind, alle durch die Potentialsperre abgestoßen.

**[0057]** Da der Ladungsträgerstrahl 10, der das Energiefilter 1 passiert hat, gerade zu dem Faraday-Käfig 15 läuft, der dasselbe Potential wie das Energiefilter 1 aufweist, wird der Ladungsträgerstrahl 10 vollständig durch den Faraday-Käfig 15 detektiert. Deshalb wird ein Strom Ip(Vr), der durch den Faraday-Käfig 15 detektiert wird, eine Funktion der Spannung Vr, die an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist, und wird durch Gleichung (3) ausgedrückt.
[Gleichung 3]

$$I_p(V_r) = \int_E D(E) \otimes f(V_r|E)\,dE = \int_E D(E) f(E - V_r)\,dE \qquad (3)$$

**[0058]** In Gleichung (3) gibt D(E) das Energiespektrum des Ladungsträgerstrahls 10 an, der von der Ladungsträgerquelle 9 abgestrahlt wird, und gibt f(Vr|E) das Transmissionsmaß des Ladungsträgerstrahls 10 an, der das Energiefilter 1 passiert, wenn die Energie des Ladungsträgers 2 E ist und die Spannung Vr an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist. Wie in Gleichung (1) veranschaulicht ist, ist der Strom Ip(Vr) durch die Faltung von D(E) und f(Vr | E) repräsentiert.

**[0059] Fig. 15A** ist eine Ansicht, die die Beziehung zwischen dem Strom Ip(Vr) und dem Differenzial dIp (Vr)/dVr von Ip(Vr) in Bezug auf Vr veranschaulicht. Aus **Fig. 15A**, ist ersichtlich, dass der Ladungsträger-

strahl 10 vollständig durch das Energiefilter 1 übertragen wird, wenn die Verzögerungsspannung Vr für den Ladungsträgerstrahl 10 mit der Energie E klein ist, jedoch dann, wenn die Verzögerungsspannung Vr sich einen bestimmten Wert nähert, ein Teil des Ladungsträgerstrahls 10 nicht weitergeleitet werden kann, und über einem bestimmten Wert der gesamte Ladungsträgerstrahl 10 abgestoßen wird. Die folgende Gleichung (4) ist eine Gleichung, die die Differenzierung von Ip(Vr) zeigt.
[Gleichung 4]

$$\frac{dI_p(V_r)}{dV_r} = D_\varepsilon(E) = \mathrm{D(E)}\Big|_{|\varepsilon|\to 0} \qquad (4)$$

**[0060]** Die Differenzierung von Ip(Vr) zeigt die Energieverteilung Dε(E) der Ladungsträger, jedoch hängt die Form der Energieverteilung Dε(E) von der Form der Übertragungsfunktion f(Vr| E) ab.

**[0061]** **Fig. 15B** ist eine Ansicht, die die Form (ein Beispiel) der Übertragungsfunktion f(Vr| E) veranschaulicht. Gemäß **Fig. 15B** ist ersichtlich, dass die Übertragungsfunktion f(Vr| E) f(Vr| E) = 1 ist, wenn die Energie E ausreichend kleiner als Vr ist, sich jedoch in der Nähe von Vr abschwächt und f(Vr| E) = 0 ist, wenn die Energie E ausreichend größer als Vr ist. Ferner wird das beobachtete Energiespektrum Dε(E) durch die Magnitude der Dämpfungsbreite ε in der Nähe von Vr bestimmt. Wie in Gleichung (4) veranschaulicht ist, ist Dε(E) gleich dem Energiespektrum D(E) des Ladungsträgerstrahls 10, wenn die Dämpfungsbreite ε ausreichend klein ist. Deshalb ist, um das Energiespektrum D(E) des Ladungsträgerstrahls 10 genau zu messen, das Energiefilter 1 mit der kleinen Dämpfungsbreite ε erforderlich.

**[0062]** Die Dämpfungsbreite ε des Energiefilters 1 gemäß der Ausführungsform ist sehr klein, da |ε| < 1 mV, und das gemessene Energiespektrum Dε(E) kann als Dε(E) = D(E) betrachtet werden.

**[0063]** Die Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls 10 kann durch die Gesamtbreite bei der Hälfte des Maximums des Energiespektrums Dε(E) oder D(E) repräsentiert werden. Unter der Annahme, dass die Gesamtbreite bei der Hälfte des Maximums von Dε(E) die Energiedispersion ΔE ist, kann die ΔE-Messungssteuereinheit 17 die Energiedispersion ΔE durch Abtasten der Spannung Vr, die an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist, und Berechnen von Dε(E) aus den Gleichungen (3) und (4) bestimmen.

**[0064]** Wenn die Blende 11 bei der optischen Achse 18 nicht eingesetzt ist, kann die berechnete Energiedispersion ΔE als die Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls 10, der von der Ladungsträgerquelle 9 abgestrahlt wird, betrachtet werden. Andererseits wird, wenn die Blende 11 bei der optischen Achse 18 eingesetzt ist, der Ladungsträgerstrahl, der die Blende 11 passiert, auf der Seite hoher Energie durch die Blende 11 teilweise beschränkt, was in einem kleineren Wert der Energie ΔE resultiert.

**[0065]** Wie oben beschrieben ist, misst die ΔE-Messungssteuereinheit 17 die Energiedispersion ΔE gemäß der Prozedur, die oben beschrieben ist, und stellt die Spannung Vr, die an die Verzögerungselektrode 1-2 angelegt ist, derart ein, dass der Wert der Energiedispersion ΔE minimiert wird. Die Vr, bei der der Wert der Energiedispersion ΔE minimiert ist, liegt in der Nähe der Vr, bei der der Differenzwert von Ip, der in Gleichung (4) gezeigt ist, maximiert ist, oder bei dem Wendepunkt. Deshalb kann die Vr zu einem Wert, der den Differenzwert von Ip maximiert, oder zu einem Wert, der ein Wendepunkt ist, gesetzt werden.

Konfigurationsbeispiel des Umfangsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2

**[0066]** **Fig. 16** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Umfangsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2 gemäß der Ausführungsform veranschaulicht. Obwohl die Verzögerungselektrode 1-2 in **Fig. 2** und dergleichen auch veranschaulicht ist, wird hier lediglich die Konfiguration des Umfangsabschnitts der Verzögerungselektrode 1-2 aus der Energieanalyseeinrichtung 31 entnommen und erneut beschrieben.

**[0067]** Der Verzögerungselektrodenumfangsabschnitt enthält die Verzögerungselektrode 1-2, die Beschleunigungselektrode 1-3 und die erste Elektrode 1-1, die um die optische Achse 18 rotationssymmetrisch angeordnet sind. Die Verzögerungselektrode 1-2, die Beschleunigungselektrode 1-3 und die erste Elektrode 1-1 sind jeweils aus einem scheibenförmigen Element gebildet, das eine vorgegebene Breite aufweist.

**[0068]** Die Verzögerungselektrode 1-2, die Beschleunigungselektrode 1-3 und die erste Elektrode 1-1 werden durch das isolierende Elektrodenhaltematerial 1-8 gehalten. Die erste Elektrode 1-1 ist mit dem Schirm 1-9 verbunden und besitzt dasselbe Potential. Der Schirm 1-9 ist aus einem Material (z. B. Permalloy) mit hoher magnetischer Permeabilität hergestellt und schirmt externe magnetische Streufelder ab. Ähnlich kann

die erste Elektrode 1-1 auch aus einem Material (z. B. Permalloy) mit hoher magnetischer Permeabilität hergestellt sein.

**[0069]** Die Verzögerungselektrode 1-2 besitzt einen Hohlraum (einen Elektrodenhohlraum 1-2a), der um die optische Achse 18 rotationssymmetrisch ist. Mehrere Elektronenlinsen sind zwischen der Ladungsträgerquelle 9 und der Verzögerungselektrode 1-2 vorgesehen (siehe **Fig. 2**) und der Ladungsträgerstrahl 10, der von der Ladungsträgerquelle 9 abgestrahlt wird, fällt auf das Energiefilter 1.

Konfigurationsbeispiel des Energiefilters 1

**[0070]** **Fig. 17** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel des Energiefilters 1 gemäß der Ausführungsform veranschaulicht. Obwohl das Energiefilter 1 auch in **Fig. 2** und dergleichen veranschaulicht ist, wird hier lediglich die Konfiguration des Energiefilters 1 aus der Energieanalyseeinrichtung 31 entnommen und erneut beschrieben.

**[0071]** Das Energiefilter 1 enthält die Verzögerungselektrode 1-2, die Beschleunigungselektrode 1-3, die erste Elektrode 1-1, die erste Fokussierungselektrode 1-4 und die zweite Elektrode 1-5, die um die optische Achse 18 rotationssymmetrisch sind. Die Verzögerungselektrode 1-2, die Beschleunigungselektrode 1-3, die erste Elektrode 1-1, die erste Fokussierungselektrode 1-4 und die zweite Elektrode 1-5 werden durch das isolierende Elektrodenhaltematerial 1-8 gehalten. Die erste Elektrode 1-1 und die zweite Elektrode 1-5 sind mit dem Schirm 1-9 verbunden und besitzen dasselbe Potential. Der Schirm 1-9 ist aus einem Material (z. B. Permalloy) mit hoher magnetischer Permeabilität hergestellt und schirmt externe magnetische Streufelder ab. Ähnlich können die erste Elektrode 1-1 und die zweite Elektrode 1-5 auch aus einem Material (z. B. Permalloy) mit hoher magnetischer Permeabilität hergestellt sein.

**[0072]** Die Verzögerungselektrode 1-2 besitzt einen Hohlraum (einen Elektrodenhohlraum 1-2a), der um die optische Achse 18 rotationssymmetrisch ist. Mehrere Elektronenlinsen sind zwischen der Ladungsträgerquelle 9 und dem Energiefilter 1 (siehe **Fig. 2**) vorgesehen und der Ladungsträgerstrahl 10, der von der Ladungsträgerquelle 9 abgestrahlt wird, fällt auf das Energiefilter 1 ein.

Konfigurationsbeispiel der Ladungsträgerstrahlvorrichtung mit dem Energiefilter 1

**[0073]** **Fig. 18** ist eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel einer Ladungsträgerstrahlvorrichtung veranschaulicht, die das Energiefilter 1 gemäß der Ausführungsform enthält.

**[0074]** Die Ladungsträgerstrahlvorrichtung in **Fig. 18** detektiert ein Sekundärelektron 25, das von der Probe 14 durch Bestrahlen der Probe 14 mit dem Ladungsträgerstrahl 10 abgestrahlt wird. Der Ladungsträgerstrahl 10, der von einer Ladungsträgerquelle (die nicht dargestellt ist) abgestrahlt wird, wird durch eine Elektronenlinse (die nicht dargestellt ist) auf die Probe 14 fokussiert. Das Sekundärelektron 25, das von der Probe 14 abgestrahlt wird, fällt mittels einer Eingangslinse 26 auf das Energiefilter 1. Die Ladungsträger, die durch das Energiefilter 1 gemäß der Energie gewählt wurden, werden durch den Sekundärelektronendetektor 24 detektiert. Eine Ausrichteinrichtung 27 ist zwischen der Eingangslinse 26 und dem Energiefilter 1 angeordnet und die Sekundärelektronen 25 werden abgelenkt, um die Einfallsbedingung (siehe Tabelle 1) des Energiefilters 1 zu erfüllen. Der Ladungsträgerstrahl 10, der auf die Probe 14 einfällt, wird an der Probe 14 durch einen Deflektor (der nicht dargestellt ist) abgetastet und schließlich durch den Sekundärelektronendetektor 24 synchron detektiert. Dies ermöglicht, ein gemäß der Energie gewähltes Sekundärelektronenbild zu erhalten.

Zusammenfassung der Ausführungsform

**[0075]** (i) Gemäß dem Energiefilter der Ausführungsform kann ΔE des Ladungsträgerstrahls, der von der Ladungsträgerquelle, die einen großen Wert der Energiedispersiori ΔE aufweist, abgestrahlt wird, verringert werden und kann somit ein Ladungsträgerstrahl mit einem verringert ΔE an der Probe durch die Elektronenlinse enger fokussiert werden. Ferner kann ein Ladungsträgerstrahl mit einem kleinen ΔE gebildet werden, ohne die Größe der Vorrichtung zu erhöhen. Außerdem kann das ΔE des Ladungsträgerstrahls mit einer hohen Energieauflösung (z. B. ΔE = -einige mV) gemessen werden und kann die Leistungsfähigkeit der Ladungsträgerquelle bewertet werden. Zusätzlich stoßen, da die Verzögerungselektrode einen Hohlraum besitzt, die gemäß der Energie verteilten Ladungsträger nicht mit einer Innenwand der Verzögerungselektrode zusammen. Somit wird die Innenwand nicht verunreinigt und kann das elektrische Feld im Verzögerungselektrodenhohlraum stabil aufrechterhalten werden. Es ist keine Änderung der Energieauflösung im Zeitablauf vorhanden.

**[0076]** (ii) Insbesondere ist im Energiefilter gemäß der Ausführungsform ein Hohlraumabschnitt, der einen Radius aufweist, der größer als der Radius R des Öffnungsabschnitts ist, in einer Verzögerungselektrode mit einem Einzelblendenelektrodenpaar, das einen Öffnungsabschnitt aufweist, vorgesehen. Durch Bereitstellen eines derartigen Hohlraumabschnitts in der Verzögerungselektrode ist es möglich, die Energiedispersion des Ladungsträgerstrahls im Energiefilter zu erhöhen. Als Ergebnis ist es möglich, die Energiedispersion des Ladungsträgerstrahls, der vom Energiefilter ausgegeben wird, zu verringern (die Energieauflösung zu erhöhen (einen Wert der Energieauflösung zu verringern)). Ferner kann durch Schaffen eines derartigen Hohlraumabschnitts der Raum in der Verzögerungselektrode erhöht werden, ohne die Größe der Verzögerungselektrode zu erhöhen, und somit ist es möglich, die Größe des Energiefilters selbst und letztendlich die Größe der Energieanalyseeinrichtung und der Ladungsträgerstrahlvorrichtung zu verringern.

**[0077]** Unter der Annahme, dass die Breite der Verzögerungselektrode in der Richtung der optischen Achse D ist, ist die Verzögerungselektrode konfiguriert, eine Beziehung von $D/R \geq 5$ aufzuweisen. Auf diese Weise wird die Beziehung zwischen dem Brennpunkt f der Einzelblendenelektrode, die auf der Eingangsseite des Ladungsträgerstrahls im Einzelblendenelektrodenpaar der Verzögerungselektrode angeordnet ist, und dem Radius R des Öffnungsabschnitts durch die folgende Gleichung (5) ausgedrückt.
[Gleichung 5]

$$f = \lambda R, \lambda = 0,64 \pm 0,05 (\lambda : \text{dimensionsloser Koeffizient}) \quad (5)$$

**[0078]** Das heißt, der Brennpunkt f der Einzelblendenelektrode ist ein Wert, der lediglich durch den Radius R des Öffnungsabschnitts bestimmt ist, ohne vom Wert der Breite D der Verzögerungselektrode abzuhängen. In diesem Fall steht das elektrische Feld, das durch Anlegen von vorgegebenen Potentialen an die erste Elektrode (die stromaufwärts liegende Seite) und die zweite Elektrode (die stromabwärts liegende Seite), die vor und hinter der Verzögerungselektrode angeordnet sind, erzeugt wird, in den Hohlraumabschnitt der Verzögerungselektrode vor und wird ein Sattelpunkt (ein Energiedispersionspunkt) des Potentials, das sich der Energie des Ladungsträgerstrahls widersetzt, gebildet. Außerdem wirkt das Energiefilter als ein Hochpassfilter mit hoher Energieauflösung, das eine Energiewahl des Ladungsträgerstrahls in der Nähe der optischen Achse, die den Sattelpunkt schneidet, durchführt.

**[0079]** Das Energiefilter besitzt ein Fokussierungslinsensystem, das mehrere Fokussierungslinsen enthält. Das Fokussierungslinsensystem enthält mindestens zwei Stufen von Fokussierungslinsen und besitzt einen zwischenliegenden Brennpunkt zwischen den zwei Stufen von Fokussierungslinsen. Von den zwei Stufen von Fokussierungslinsen bildet die Fokussierungslinse (die zweite Fokussierungselektrode 1-6) auf der stromaufwärts liegenden Seite, die näher bei der Ladungsträgerquelle angeordnet ist, ein Verringerungssystem, das die Ladungsträgerquelle als einen Objektpunkt und einen zwischenliegenden Brennpunkt als einen Bildpunkt aufweist. Andererseits bildet von den zwei Stufen von Fokussierungslinsen die Fokussierungslinse (die erste Fokussierungselektrode 1-4) auf der stromabwärts liegenden Seite, die entfernt von der Ladungsträgerquelle angeordnet ist, ein Vergrößerungssystem, das einen zwischenliegenden Brennpunkt als einen Objektpunkt und einen Brennpunkt, der in der Nähe des Eingangs der Verzögerungselektrode gebildet ist, als einen Bildpunkt aufweist. In diesem Fall ist die stromabwärts liegende Fokussierungslinse (die erste Fokussierungselektrode 1-4) derart angeordnet, dass die Beziehung zwischen der Entfernung L1a zwischen dem zwischenliegenden Brennpunkt und der stromabwärts liegenden Fokussierungslinse und die Entfernung L1b zwischen der stromabwärts liegenden Fokussierungslinse und dem Brennpunkt des Fokussierungslinsensystems $L1a < L1b$ erfüllt. Dies ermöglicht, die Winkelvergrößerung des Fokussierungslinsensystems zu verringern, wodurch der Einfallswinkel des Ladungsträgerstrahls zur Verzögerungselektrode verringert wird. Als Ergebnis ist es möglich, die Energieauflösung des Ladungsträgerstrahls zu erhöhen.

**[0080]** Die Spannung, die an die erste Elektrode (die erste Elektrode 1-1) angelegt wird, ist gleich der Beschleunigungsspannung des Ladungsträgerstrahls eingestellt, jedoch kann die Spannung, die an die zweite Elektrode (die Beschleunigungselektrode 1-3) angelegt ist, veränderlich sein. Durch Steuern der Spannung, die an die zweite Elektrode angelegt ist, ist es möglich, ein Energiefilter zu realisieren, das den Ladungsträgerstrahl mit einer Auflösung von 1 mV trennt.

**[0081]** (iii) Das Energiefilter kann in eine Energieanalyseeinrichtung aufgenommen werden. In diesem Fall enthält die Energieanalyseeinrichtung zusätzlich zu einem Energiefilter einen Faraday-Käfig, der hinter dem Energiefilter angeordnet ist, ein Amperemeter, das den Strombetrag des Ladungsträgerstrahls, der in den Faraday-Käfig fließt, misst, und eine ΔE-Messungssteuereinheit, die den Wert der Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls auf der Grundlage des Strombetrags berechnet. Dann führt die ΔE-Messungssteuereinheit einen Prozess des Messens des Differenzwerts von dem Strombetrag Ip(Vr), der durch das Ampere-

meter gemessen wird, wenn die Spannung Vr an die Verzögerungselektrode angelegt ist, und einen Prozess des Berechnens der Gesamtbreite bei der Hälfte des Maximums des Spektrums, die durch den Differenzwert des Strombetrags Ip(Vr) in Bezug auf die Spannung Vr angegeben wird, als den Wert der Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls aus und legt die Spannung Vr, bei der der Differenzwert des Strombetrags Ip (Vr) maximiert wird, oder die Spannung Vr, bei der der Strombetrag Ip(Vr) bei einem Wendepunkt ist, an die Verzögerungselektrode an.

**[0082]** (iv) Das Energiefilter oder die Energieanalyseeinrichtung gemäß der Ausführungsform kann auf eine Ladungsträgerstrahlvorrichtung wie z. B. SEM, TEM, STEM, AUGER, FIB, PEEM und LEEM angewendet werden.

**[0083]** (iv) Obwohl die Ausführungsformen oben beschrieben sind, werden diese Ausführungsformen als Beispiele präsentiert und sind nicht dazu vorgesehen, den Umfang der Ansprüche, die unten präsentiert werden, zu beschränken. Diese neuen Ausführungsformen können in verschiedenen weiteren Formen implementiert werden und verschiedene Auslassungen, Ersetzungen und Abwandlungen können vorgenommen werden, ohne vom Gedanken der Technik der vorliegenden Offenbarung abzuweichen. Diese Ausführungsformen und ihre Abwandlungen sind im technischen Umfang und Hauptinhalt der vorliegenden Offenbarung enthalten und sind im Umfang einer Erfindung, die in den Ansprüchen und ihren Entsprechungen beschrieben ist, enthalten.

Bezugszeichenliste

| | |
|---|---|
| 1 | Energiefilter |
| 1-1 | Erste Elektrode |
| 1-2 | Verzögerungselektrode |
| 1-3 | Beschleunigungselektrode |
| 1-4 | Erste Fokussierungselektrode |
| 1-5 | Zweite Elektrode |
| 1-6 | Zweite Fokussierungselektrode |
| 1-7 | Dritte Elektrode |
| 1-8 | Elektrodenhaltematerial |
| 2 | Ladungsträger |
| 2-1 | Ladungsträger a |
| 2-2 | Ladungsträger b |
| 3 | Spannung der ersten Fokussierungsstromversorgung |
| 4 | Spannung der Verzögerungsstromversorgung |
| 5 | Spannung der zweiten Beschleunigungsstromversorgung |
| 6 | Spannung der zweiten Fokussierungsstromversorgung |
| 7 | Spannung der ersten Beschleunigungsstromversorgung |
| 8 | Ausgangsspannung der Extraktionsstromversorgung |
| 9 | Ladungsträgerquelle |
| 10 | Ladungsträgerstrahl |
| 11 | Blende |
| 12 | Elektronenlinse |
| 13 | Objektivlinse |
| 14 | Probe |
| 15 | Faraday-Käfig |
| 16 | Amperemeter |

| | |
|---|---|
| 17 | ΔE-Messungssteuereinheit |
| 18 | Optische Achse |
| 19 | Äquipotentiallinie |
| 19-1 | Äquipotentiallinie a |
| 19-2 | Äquipotentiallinie b |
| 20 | Brennpunkt |
| 20-1 | Brennpunkt a |
| 20-2 | Brennpunkt b |
| 21 | Energiedispersionspunkt |
| 22 | Hochpassfilter |
| 23 | Tiefpassfilter |
| 24, 34 | Sekundärelektronendetektor |
| 25 | Sekundärelektron |
| 26 | Eingangslinse |
| 27 | Ausrichteinrichtung |
| 30 | Ladungsträgerstrahlsystem |
| 31 | Energieanalyseeinrichtung |
| 32 | Steuereinrichtung |
| 33 | Rückstreuungselektronendetektor |
| 35 | Computersystem |
| 36 | Speichereinrichtungen |
| 37 | Eingabe/Ausgabe-Einrichtung |

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 20100187436 A [0004]
- JP 2009289748 A [0004]

**Patentansprüche**

1. Energiefilter, das die Energiedispersion ΔE eines Ladungsträgerstrahls, der von einer Ladungsträgerquelle abgestrahlt wird, unterdrückt, wobei das Energiefilter Folgendes umfasst:
eine Verzögerungselektrode mit einem Einzelblendenelektrodenpaar, das einen Öffnungsabschnitt aufweist, und einem Hohlraumabschnitt, der einen Radius besitzt, der größer als ein Radius des Öffnungsabschnitts ist, wobei der Hohlraum um ein Zentrum des Öffnungsabschnitts, das eine optische Achse bildet, rotationssymmetrisch ist;
eine erste Elektrode, die vor der Verzögerungselektrode vorgesehen ist; und
eine zweite Elektrode, die hinter der Verzögerungselektrode vorgesehen ist.

2. Energiefilter nach Anspruch 1, wobei dann, wenn eine Breite der Verzögerungselektrode in einer Richtung der optischen Achse D ist und ein Radius des Öffnungsabschnitts R ist, die Verzögerungselektrode eine Beziehung von $D/R \geq 5$ aufweist.

3. Energiefilter nach Anspruch 1, wobei ein elektrisches Feld, das durch Anlegen eines vorgegebenen Potentials jeweils an die erstes Elektrode und die zweite Elektrode erzeugt wird, in den Hohlraumabschnitt vorsteht und ein Sattelpunkt des Potentials, das sich der Energie des Ladungsträgerstrahls widersetzt, gebildet ist.

4. Energiefilter nach Anspruch 3, wobei das Energiefilter als ein Hochpassfilter wirkt, das eine Energiewahl des Ladungsträgerstrahls in einer Umgebung der optischen Achse, die den Sattelpunkt schneidet, durchführt.

5. Energiefilter nach Anspruch 1, das ferner Folgendes umfasst:
ein Fokussierungslinsensystem, das zwischen der Ladungsträgerquelle und der ersten Elektrode angeordnet ist und einen Brennpunkt des Ladungsträgerstrahls in der Nähe eines Eingangs der Verzögerungselektrode bildet.

6. Energiefilter nach Anspruch 5, wobei der Ladungsträgerstrahl, der den Brennpunkt passiert, in den Hohlraumabschnitt der Verzögerungselektrode parallel zur optischen Achse einfällt.

7. Energiefilter nach Anspruch 5, wobei das Fokussierungslinsensystem ein Vergrößerungssystem ist, das die Ladungsträgerquelle als einen Objektpunkt und den Brennpunkt als einen Bildpunkt aufweist.

8. Energiefilter nach Anspruch 5, wobei
das Fokussierungslinsensystem mindestens zwei Stufen von Fokussierungslinsen enthält und einen zwischenliegenden Brennpunkt zwischen den zwei Stufen von Fokussierungslinsen aufweist,
die Fokussierungslinse auf einer stromaufwärts liegenden Seite, die näher bei der Ladungsträgerquelle der zwei Stufen von Fokussierungslinsen angeordnet ist, ein Verringerungssystem bildet, das die Ladungsträgerquelle als einen Objektpunkt und den zwischenliegenden Brennpunkt als einen Bildpunkt aufweist, und
die Fokussierungslinse auf einer stromabwärts liegenden Seite, die entfernt von der Ladungsträgerquelle der zwei Stufen von Fokussierungslinsen angeordnet ist, ein Vergrößerungssystem bildet, das den zwischenliegenden Brennpunkt als einen Objektpunkt und den Brennpunkt, der in der Nähe des Eingangs der Verzögerungselektrode gebildet ist, als einen Bildpunkt aufweist.

9. Energiefilter nach Anspruch 2, wobei eine Beziehung zwischen einem Brennpunkt f einer Einzelblendenelektrode, die auf einer Eingangsseite des Ladungsträgerstrahls im Einzelblendenelektrodenpaar angeordnet ist, und einem Radius R des Öffnungsabschnitts als $f = \lambda R$, $\lambda = 0{,}64 \pm 0{,}05$ ausgedrückt wird.

10. Energiefilter nach Anspruch 5, das ferner Folgendes umfasst:
ein Haltematerial, das das Fokussierungslinsensystem, die Verzögerungselektrode, die erste Elektrode und die zweite Elektrode mit einem Isolator hält; und
ein Schirmelement, das ein externes magnetisches Streufeld abschirmt.

11. Energiefilter nach Anspruch 10, wobei das Schirmelement aus einem Magnetmaterial hergestellt ist, das eine hohe magnetische Permeabilität aufweist und mit einer Elektrode verbunden ist, die das Fokussierungslinsensystem bildet.

12. Energiefilter nach Anspruch 1, wobei
eine Spannung, die an die erste Elektrode angelegt ist, gleich einer Beschleunigungsspannung des Ladungsträgerstrahls ist und
eine Spannung, die an die zweite Elektrode angelegt ist, veränderlich ist.

13. Energieanalyseeinrichtung, die Folgendes umfasst:
das Energiefilter nach Anspruch 1;
einen Faraday-Käfig, der hinter dem Energiefilter angeordnet ist;
ein Amperemeter, das einen Strombetrag eines Ladungsträgerstrahls, der in den Faraday-Käfig fließt, misst; und
eine ΔE-Messungssteuereinheit, die einen Wert der Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls auf der Grundlage des Strombetrags berechnet, wobei
die ΔE-Messungssteuereinheit Folgendes ausführt:
einen Prozess des Messens eines Differenzwerts von einem Strombetrag Ip(Vr), der durch das Amperemeter gemessen wird, wenn eine Spannung Vr an die Verzögerungselektrode angelegt ist, und
einen Prozess des Berechnens einer Gesamtbreite bei der Hälfte des Maximums eines Spektrums, die durch einen Differenzwert des Strombetrags Ip(Vr) angegeben ist, in Bezug auf die Spannung Vr als einen Wert der Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls.

14. Energieanalyseeinrichtung nach Anspruch 13, wobei die ΔE-Messungssteuereinheit an die Verzögerungselektrode eine Spannung Vr, bei der der Differenzwert des Strombetrags Ip(Vr) maximiert ist, oder eine Spannung Vr, bei der der Strombetrag Ip(Vr) bei einem Wendepunkt ist, anlegt.

15. Ladungsträgerstrahlvorrichtung, die eine Probe mit einem Ladungsträgerstrahl bestrahlt und Informationen über die Probe erfasst, wobei die Ladungsträgerstrahlvorrichtung Folgendes umfasst:
das Energiefilter nach Anspruch 1;
eine Ladungsträgerquelle, die vor dem Energiefilter angeordnet ist; und
eine Stromversorgung, die eine Spannung zum Extrahieren eines Ladungsträgers aus der Ladungsträgerquelle an eine vorderste Elektrode, die das Energiefilter bildet, anlegt.

16. Ladungsträgerstrahlvorrichtung nach Anspruch 15, die ferner Folgendes umfasst:
eine Elektronenlinse, die hinter dem Energiefilter zum Fokussieren des Ladungsträgerstrahls auf die Probe angeordnet ist.

17. Ladungsträgerstrahlvorrichtung nach Anspruch 16, die ferner Folgendes umfasst:
eine Blende, die zwischen dem Energiefilter und der Elektronenlinse angeordnet ist, wobei
die Blende einen Brennpunkt in der Nähe eines Ausgangs des Energiefilters aufweist und einen Teil der Ladungsträger, die eine Energie auf einer Seite hoher Energie des Ladungsträgerstrahls, der das Energiefilter passiert, aufweisen, durch Beschränken eines Emissionswinkels der Ladungsträger, die vom Brennpunkt abgestrahlt werden, begrenzt.

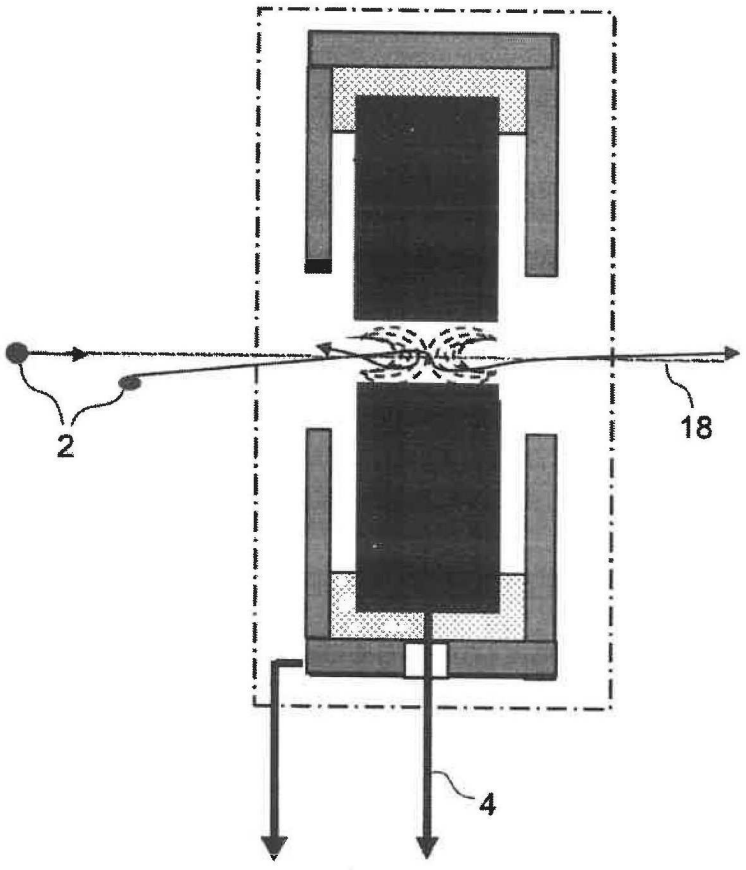
18. Ladungsträgerstrahlvorrichtung nach Anspruch 17, die Folgendes umfasst:
eine Blende, die hinter dem Energiefilter angeordnet ist;
einen Faraday-Käfig, der hinter der Blende angeordnet ist;
ein Amperemeter zum Messen eines Strombetrags eines Ladungsträgerstrahls, der in den Faraday-Käfig fließt;
eine ΔE-Messungssteuereinheit, die einen Wert der Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls auf der Grundlage des Strombetrags berechnet; und
einen Antriebsabschnitt, der eine Position des Faraday-Käfigs bewegt, wobei die ΔE-Messungssteuereinheit Folgendes ausführt:
einen Prozess des Messens eines Differenzwerts von einem Strombetrag Ip(Vr), der durch das Amperemeter gemessen wird, wenn eine Spannung Vr an die Verzögerungselektrode angelegt ist,
einen Prozess des Berechnens einer Gesamtbreite bei der Hälfte des Maximums eines Spektrums, die durch den Differenzwert des Strombetrags Ip(Vr) angegeben ist, in Bezug auf die Spannung Vr als einen Wert der Energiedispersion ΔE des Ladungsträgerstrahls, und
einen Prozess des Anlegens an die Verzögerungselektrode einer Spannung Vr, bei der der Differenzwert des Strombetrags Ip(Vr) maximiert ist, oder einer Spannung Vr, bei der der Strombetrag Ip(Vr) bei einem Wendepunkt ist, und
der Antriebsabschnitt nach dem Anlegen der Spannung Vr an die Verzögerungselektrode den Faraday-Käfig von der optischen Achse entfernt.

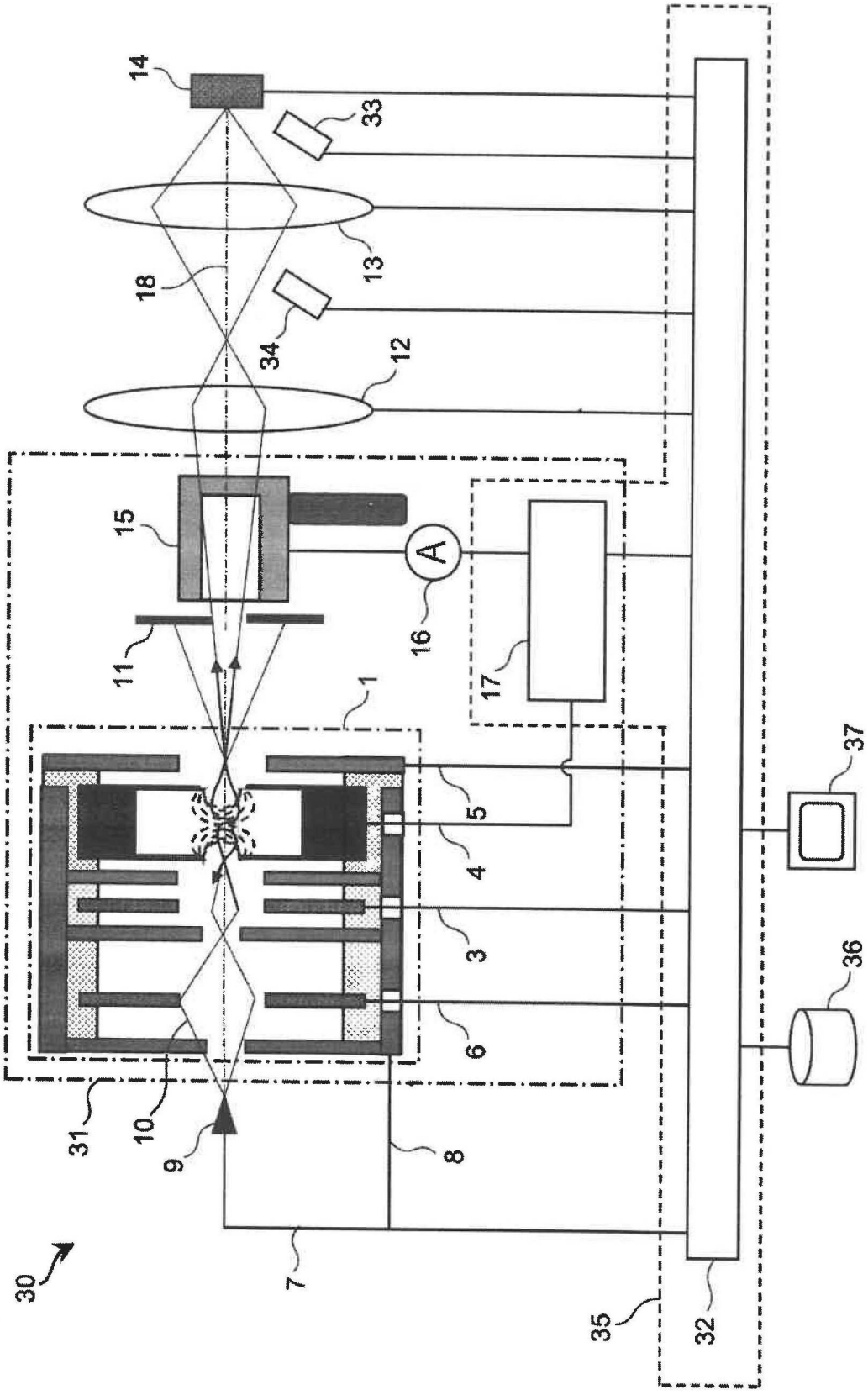
19. Ladungsträgerstrahlvorrichtung nach Anspruch 15, die ferner Folgendes umfasst:
eine Eingangslinse zum Sammeln von Ladungsträgern, die von der Probe abgestrahlt werden; und
einen Ladungsträgerdetektor, der einen Ladungsträger detektiert, wobei
das Energiefilter eine Energiewahl der Ladungsträger, die durch die Eingangslinse gesammelt wurden, durchführt, und
der Ladungsträgerdetektor die Ladungsträger detektiert, die durch das Energiefilter gewählt wurden.

Es folgen 19 Seiten Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

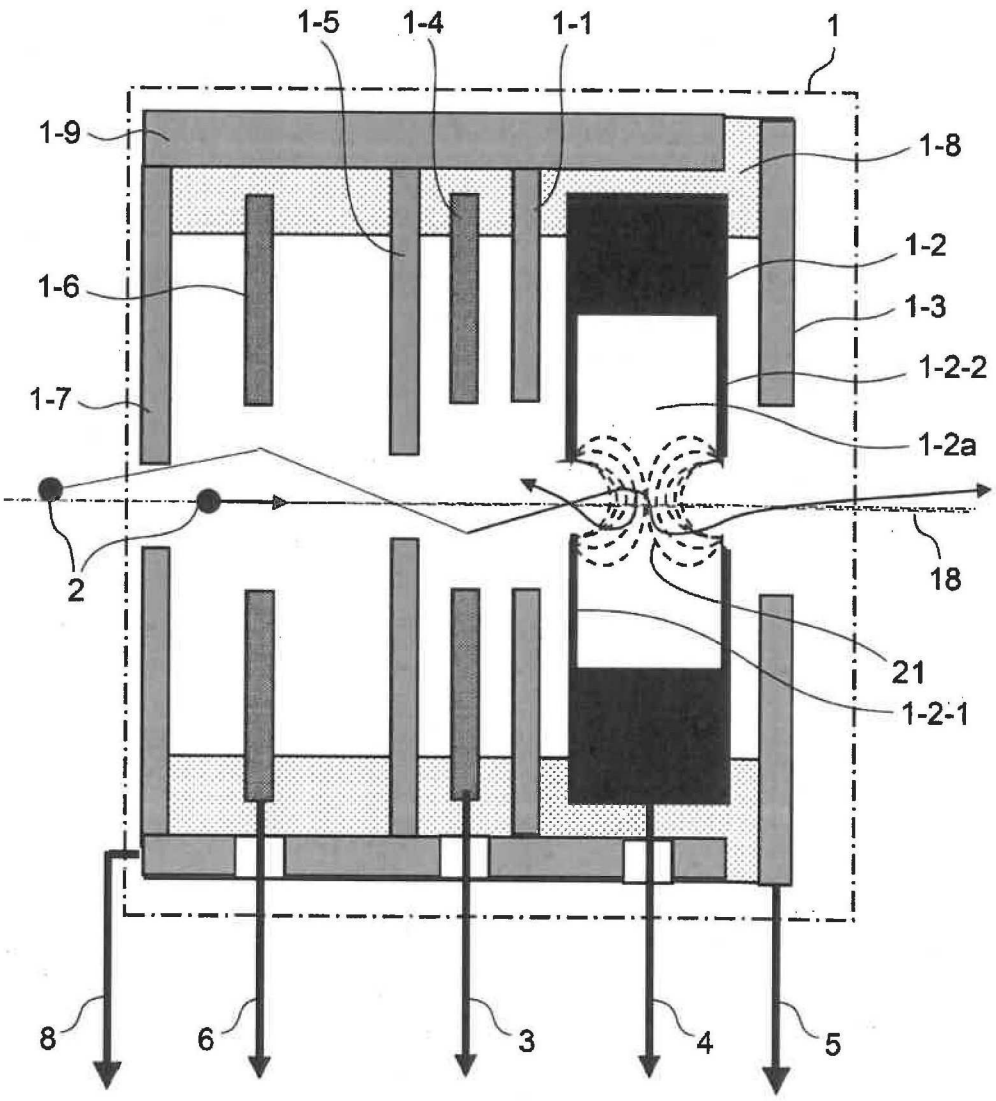
[FIG. 1]



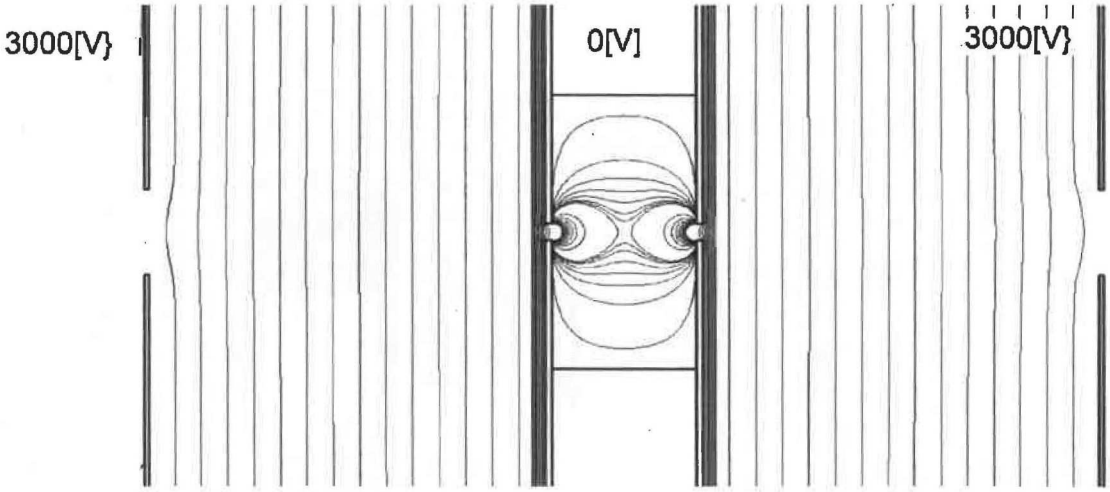



[FIG. 2]

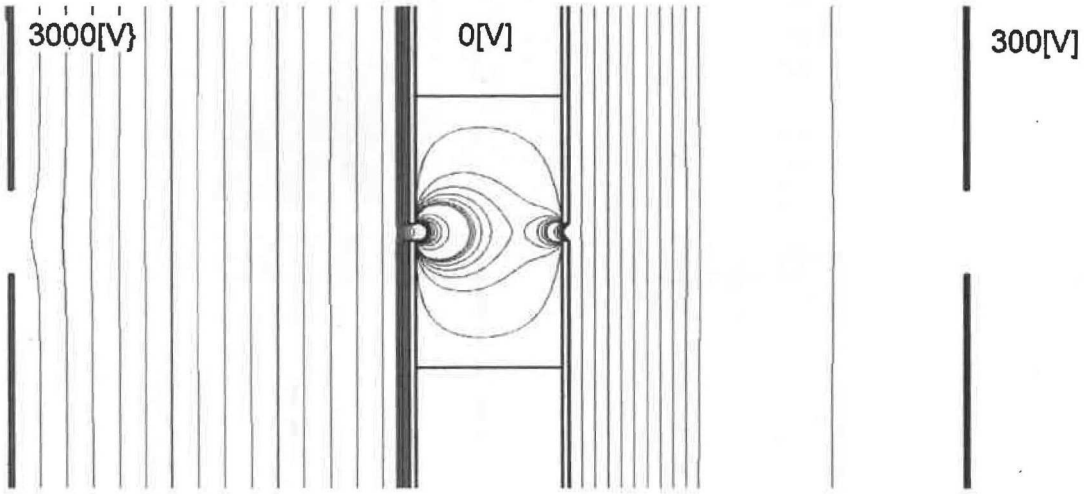
[FIG. 3]



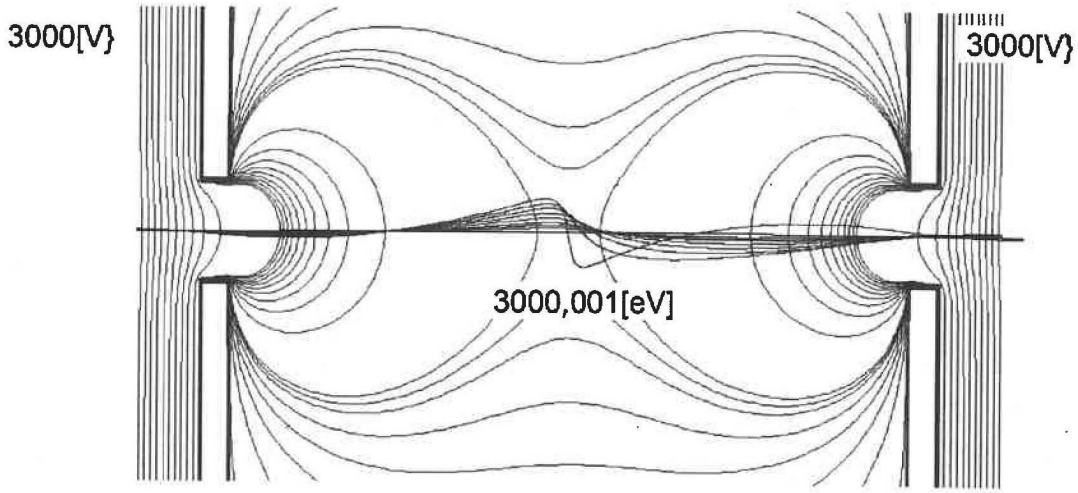
[FIG. 4A]



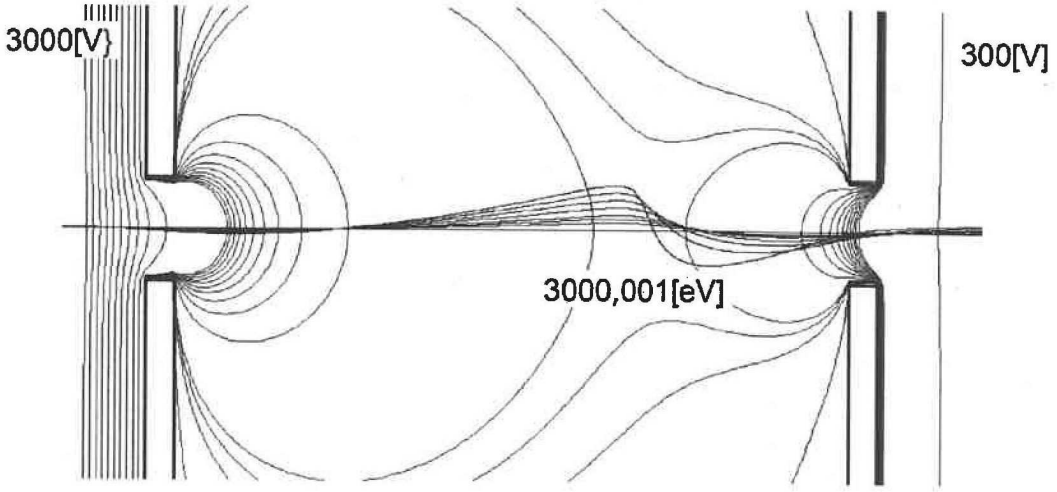

[FIG. 4B]



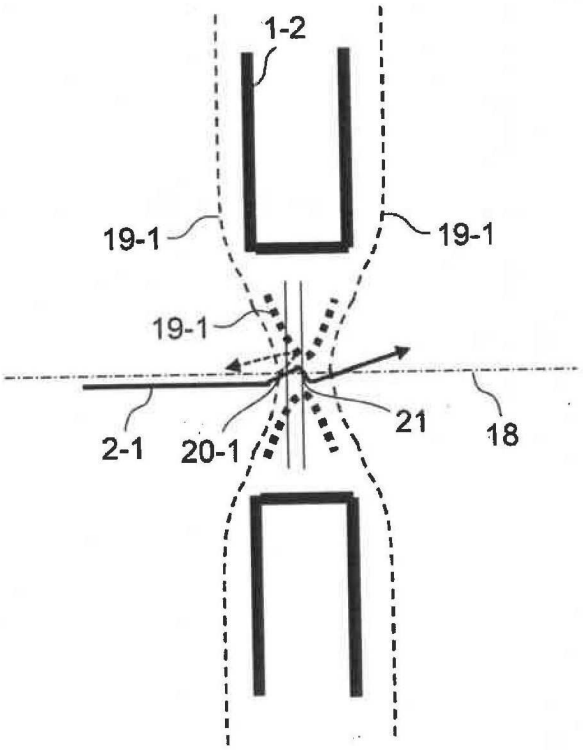
[FIG. 4C]



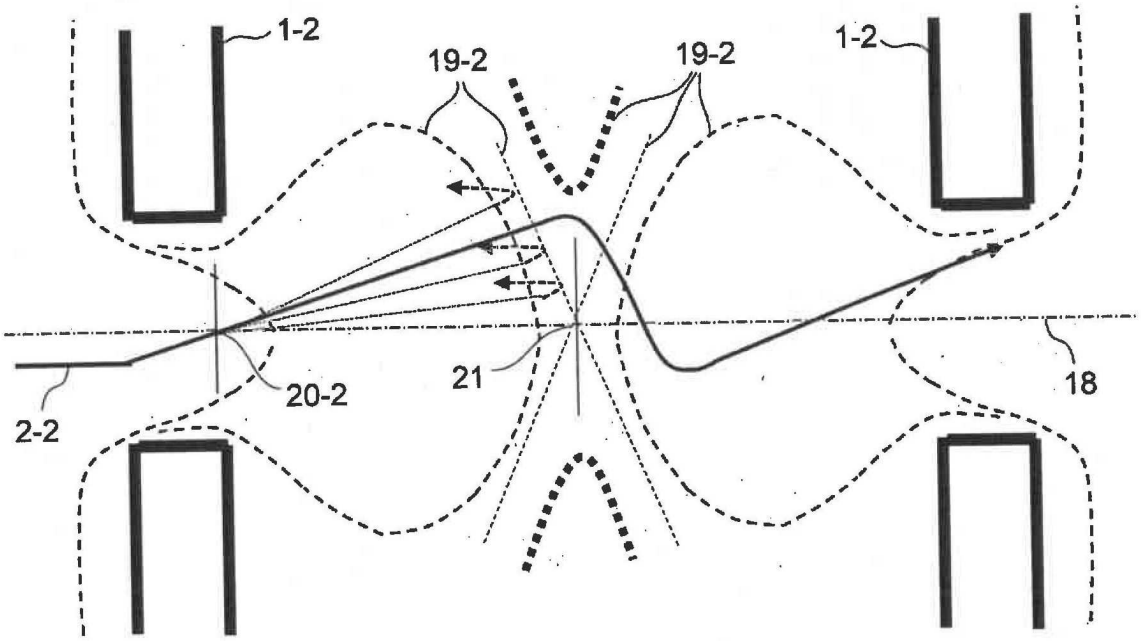

[FIG. 4D]



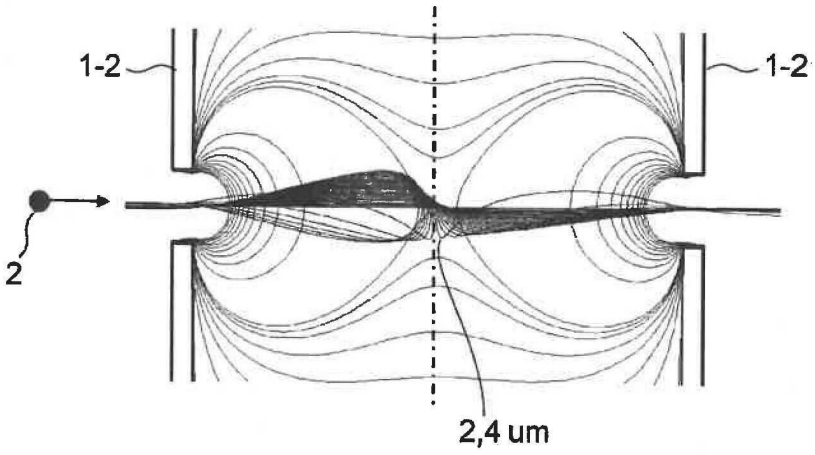
[FIG. 5A]



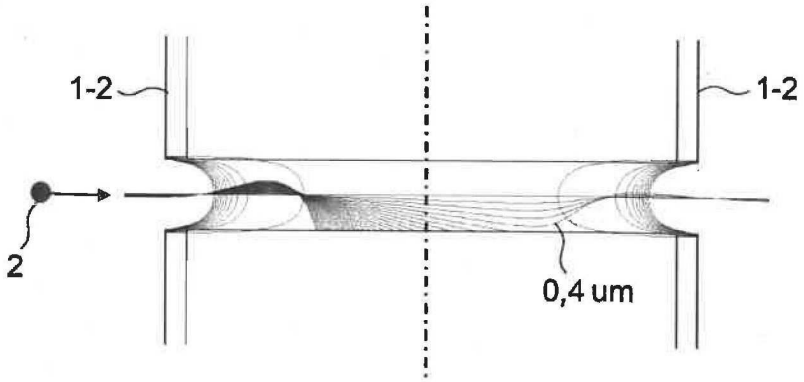

[FIG. 5B]



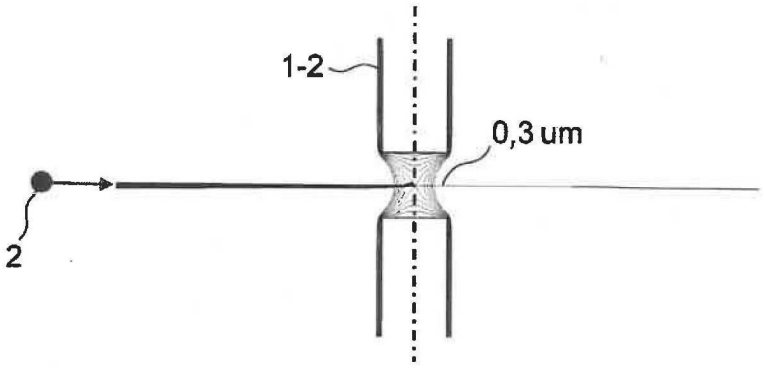
[FIG. 6A]



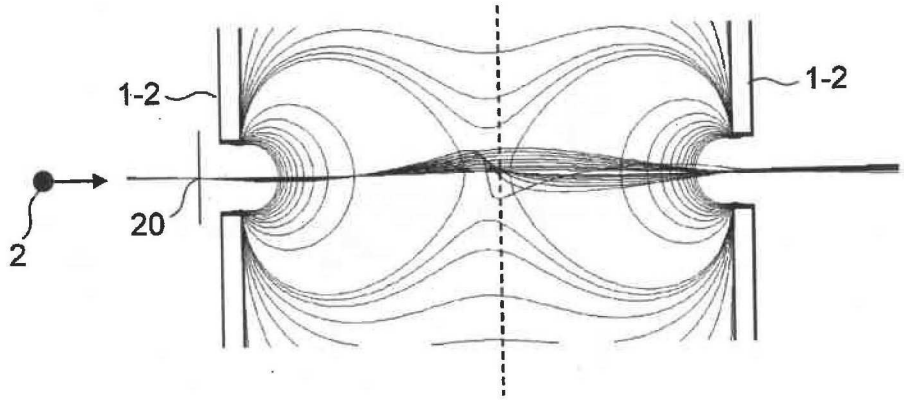

[FIG. 6B]



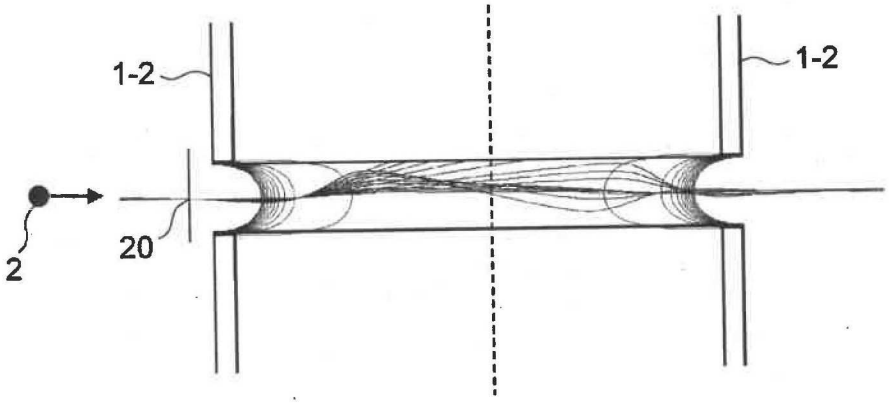

[FIG. 6C]



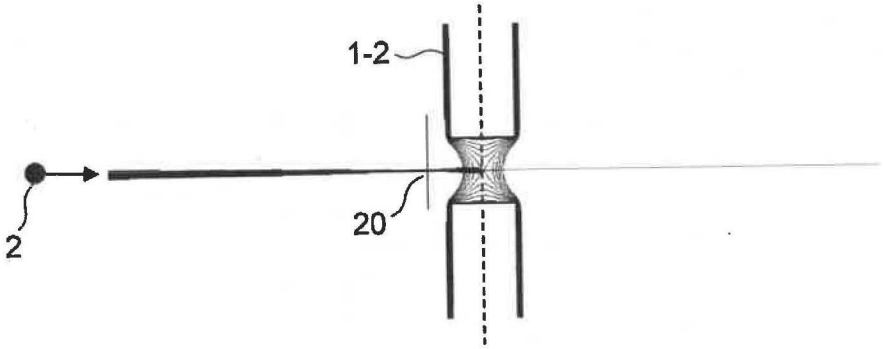
[FIG. 6D]



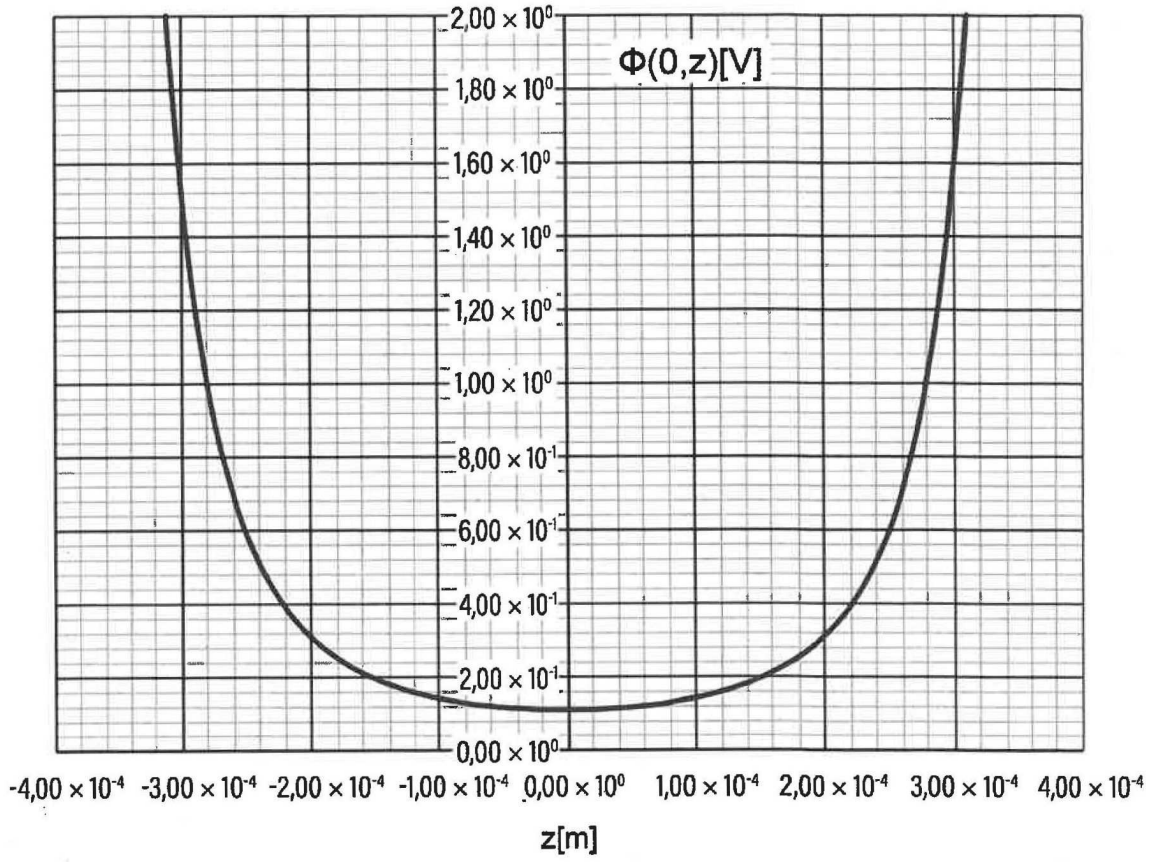

[FIG. 6E]



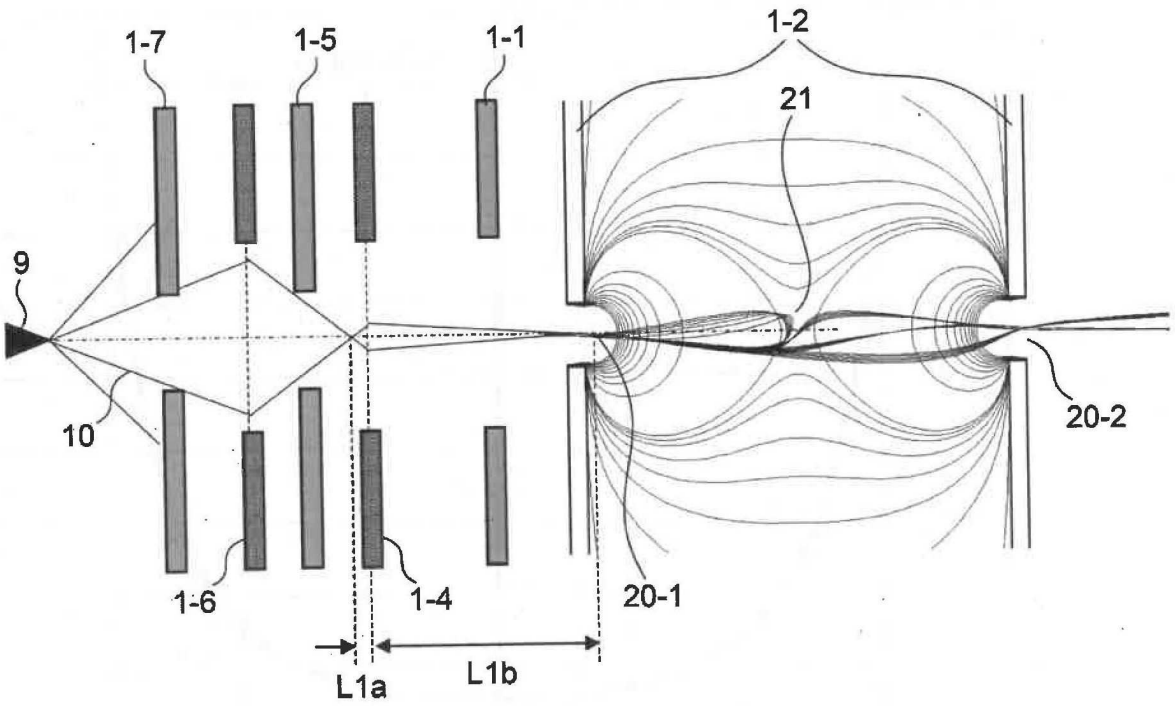

[FIG. 6F]



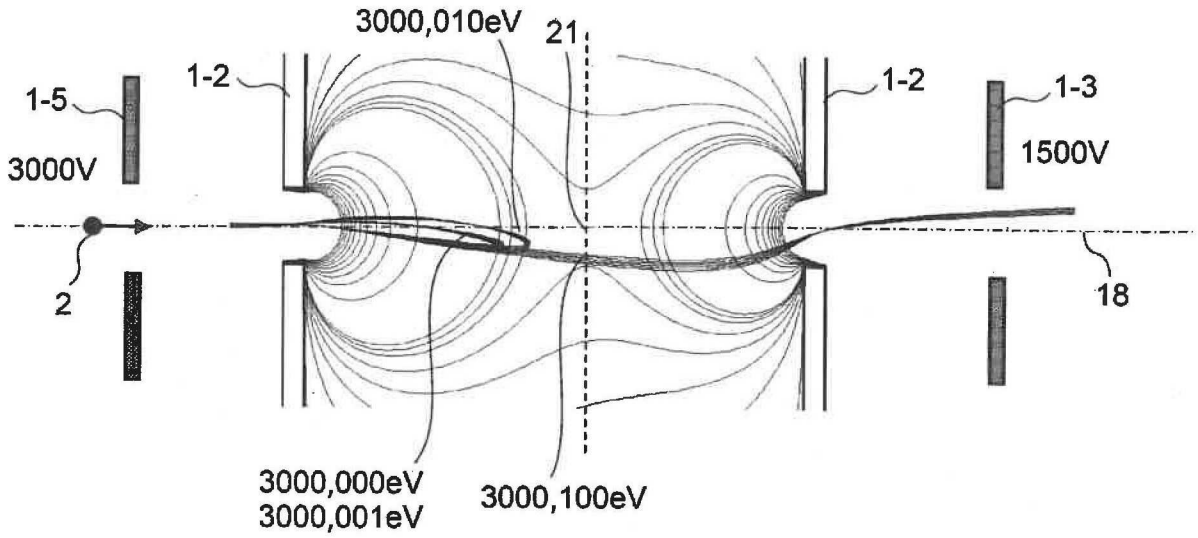
[FIG. 7]


Φ(0,z)[V]
2,00 × 10⁰
1,80 × 10⁰
1,60 × 10⁰
1,40 × 10⁰
1,20 × 10⁰
1,00 × 10⁰
8,00 × 10⁻¹
6,00 × 10⁻¹
4,00 × 10⁻¹
2,00 × 10⁻¹
0,00 × 10⁰
-4,00 × 10⁻⁴
-3,00 × 10⁻⁴
-2,00 × 10⁻⁴
-1,00 × 10⁻⁴
0,00 × 10⁰
1,00 × 10⁻⁴
2,00 × 10⁻⁴
3,00 × 10⁻⁴
4,00 × 10⁻⁴
z[m]

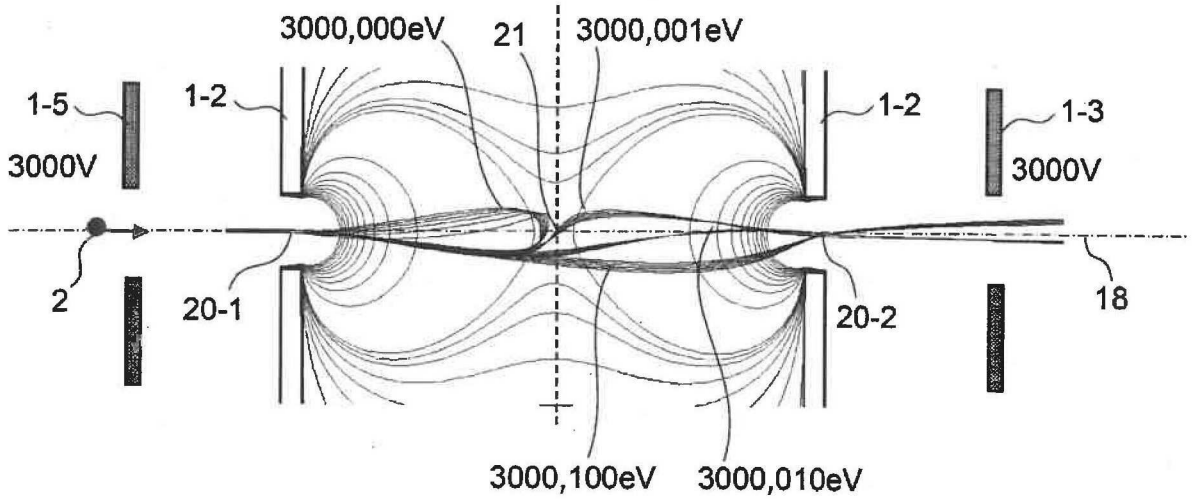
[FIG. 8]



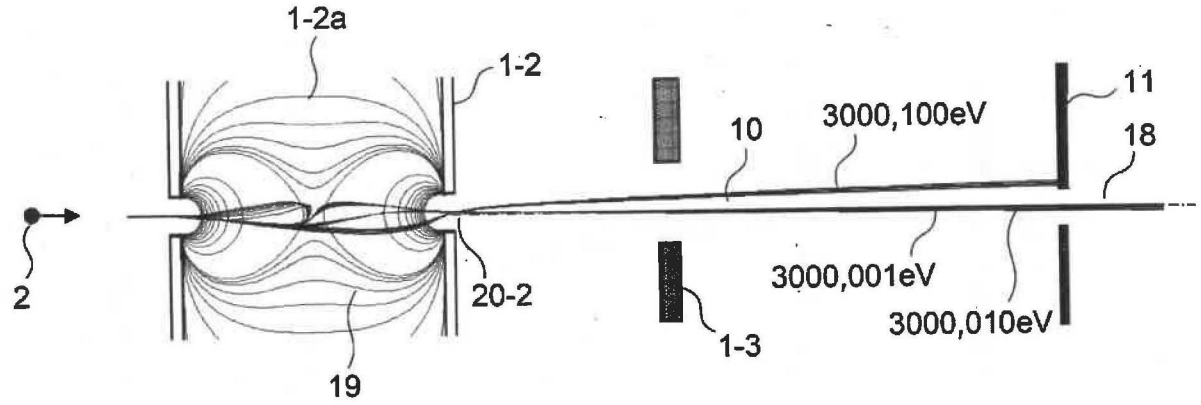
[FIG. 9A]


3000,010eV
21
1-2
1-2
1-3
1-5
3000V
1500V
2
18
3000,000eV
3000,001eV
3000,100eV

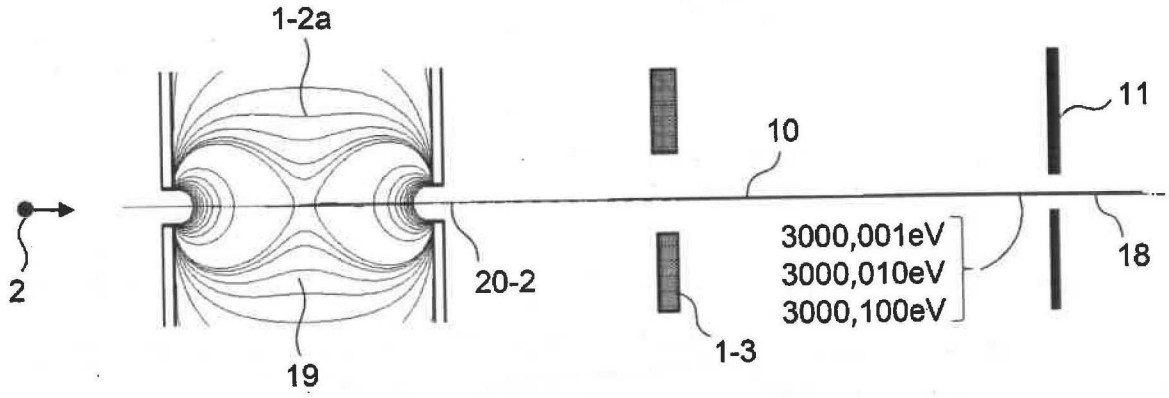
[FIG. 9B]


3000,000eV
21
3000,001eV
1-2
1-2
1-3
1-5
3000V
3000V
2
20-1
20-2
18
3000,100eV
3000,010eV

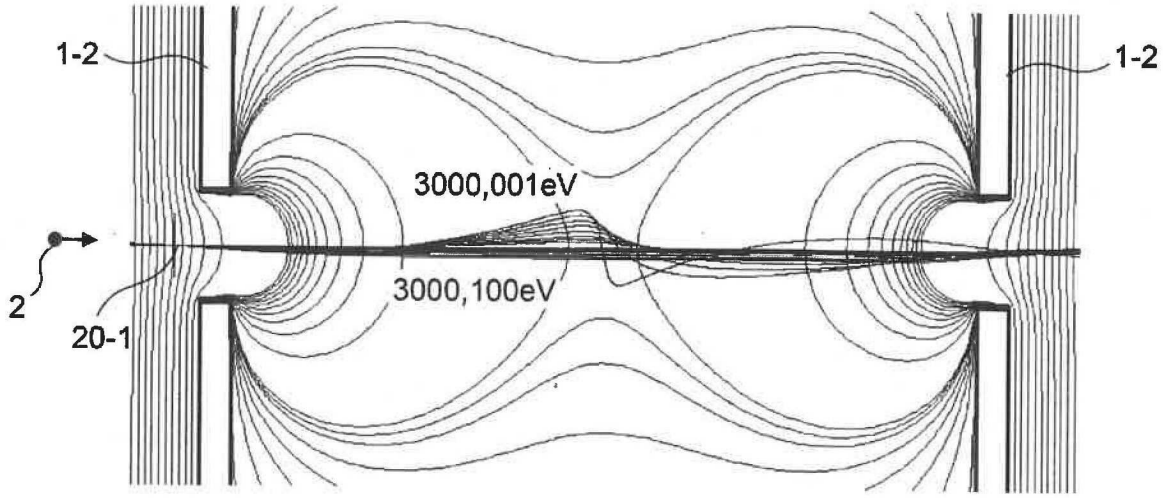
[FIG. 10A]



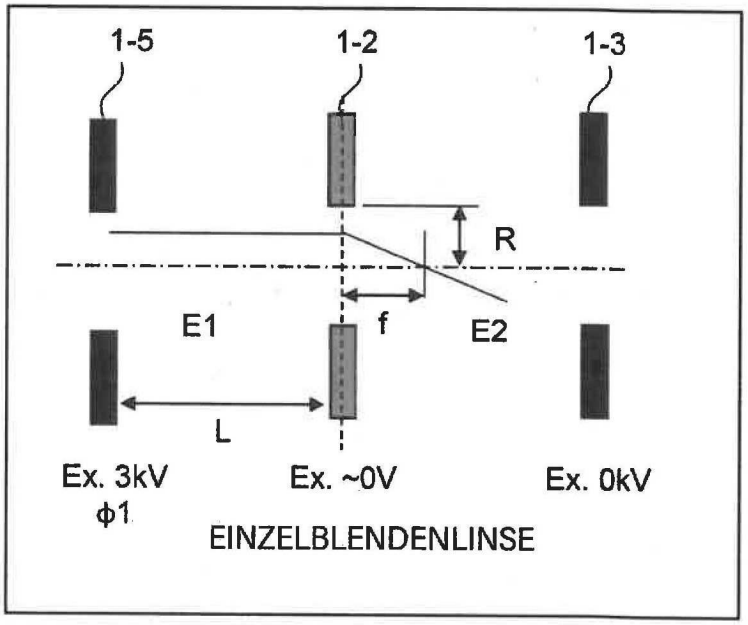

[FIG. 10B]



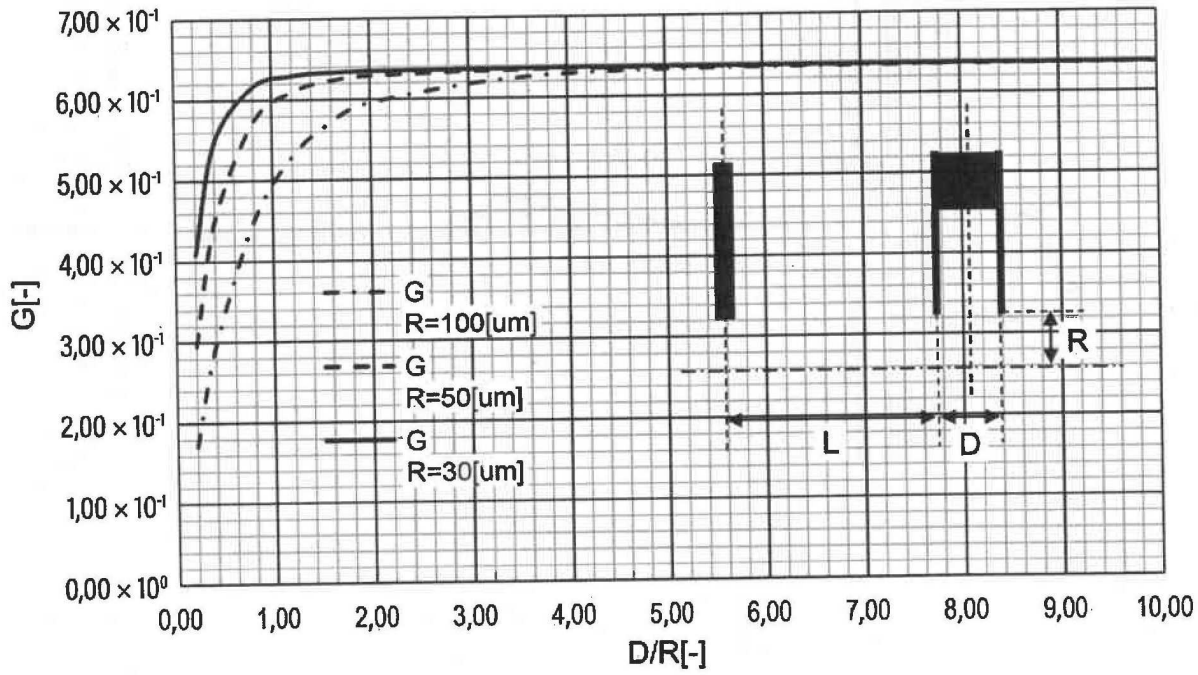
[FIG. 11]


1-2
1-2
3000,001eV
3000,100eV
2
20-1

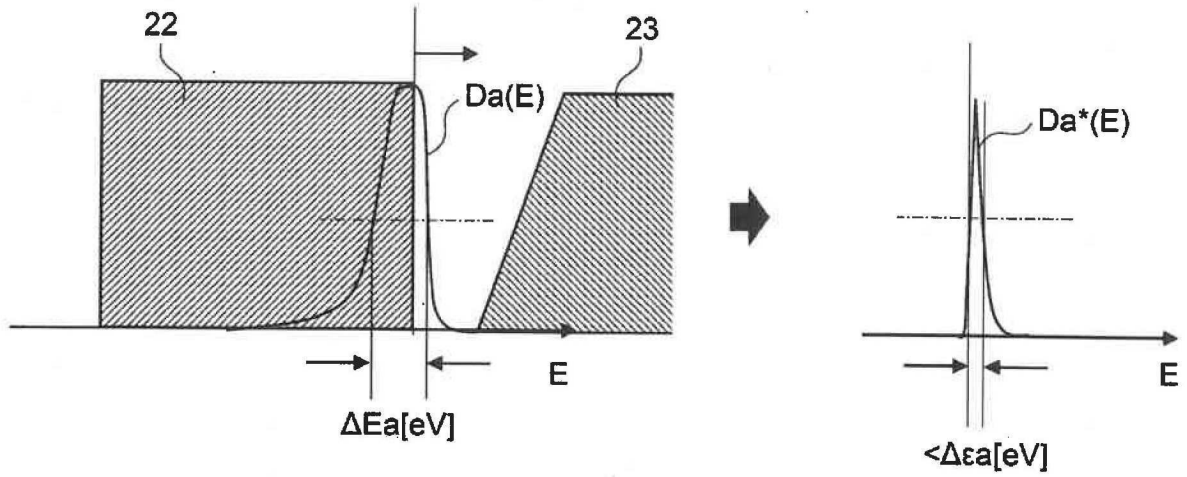
[FIG. 12]


1-5
1-2
1-3
R
E1
f
E2
L
Ex. 3kV
ϕ1
Ex. ~0V
Ex. 0kV
EINZELBLENDENLINSE

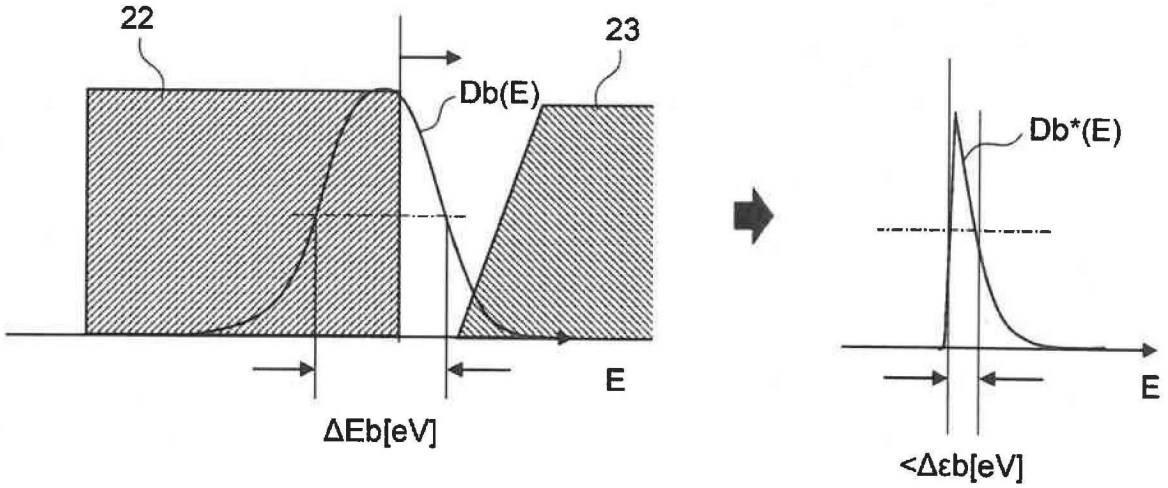
[FIG. 13]


7,00 × 10⁻¹
6,00 × 10⁻¹
5,00 × 10⁻¹
4,00 × 10⁻¹
3,00 × 10⁻¹
2,00 × 10⁻¹
1,00 × 10⁻¹
0,00 × 10⁰
G[-]
G
R=100[um]
G
R=50[um]
G
R=30[um]
L
D
R
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00
D/R[-]

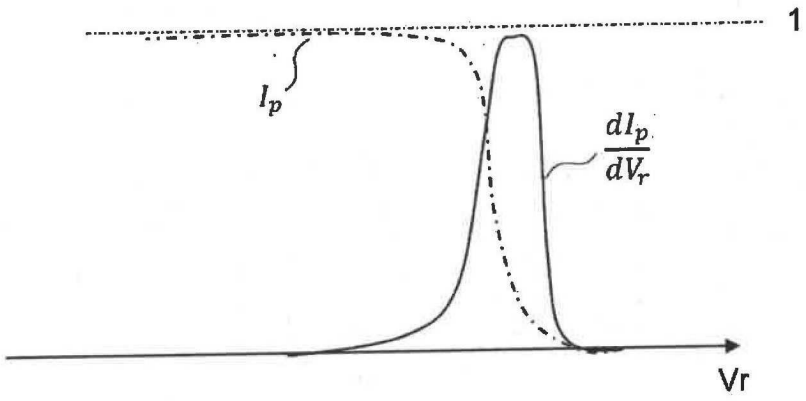
[FIG. 14A]



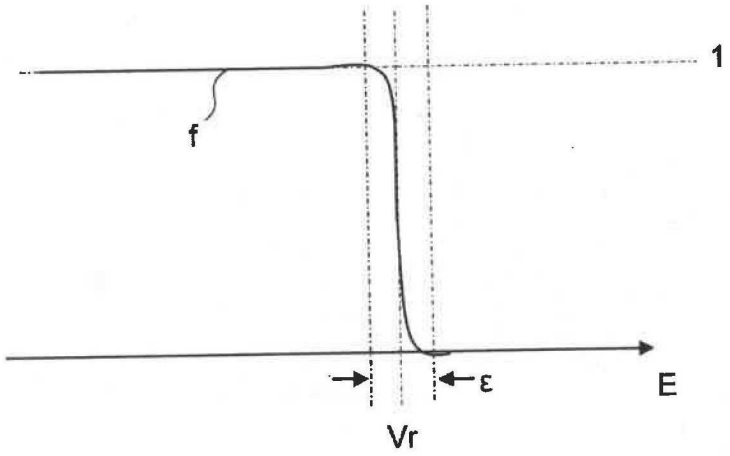

[FIG. 14B]



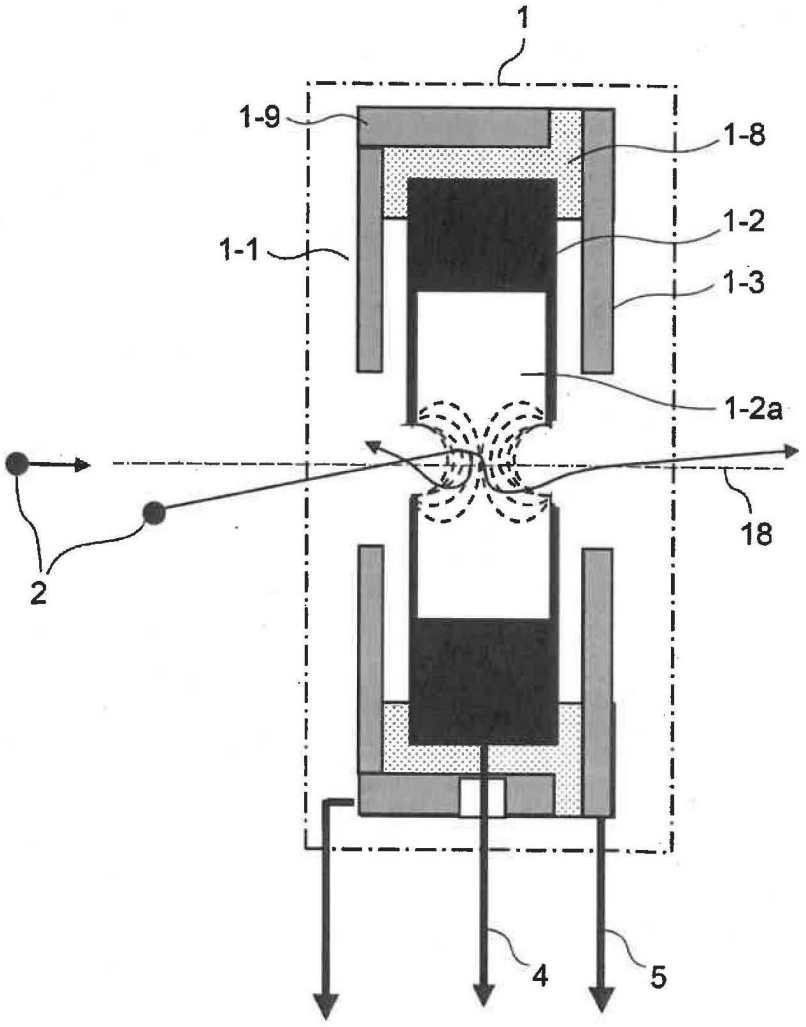
[FIG. 15A]



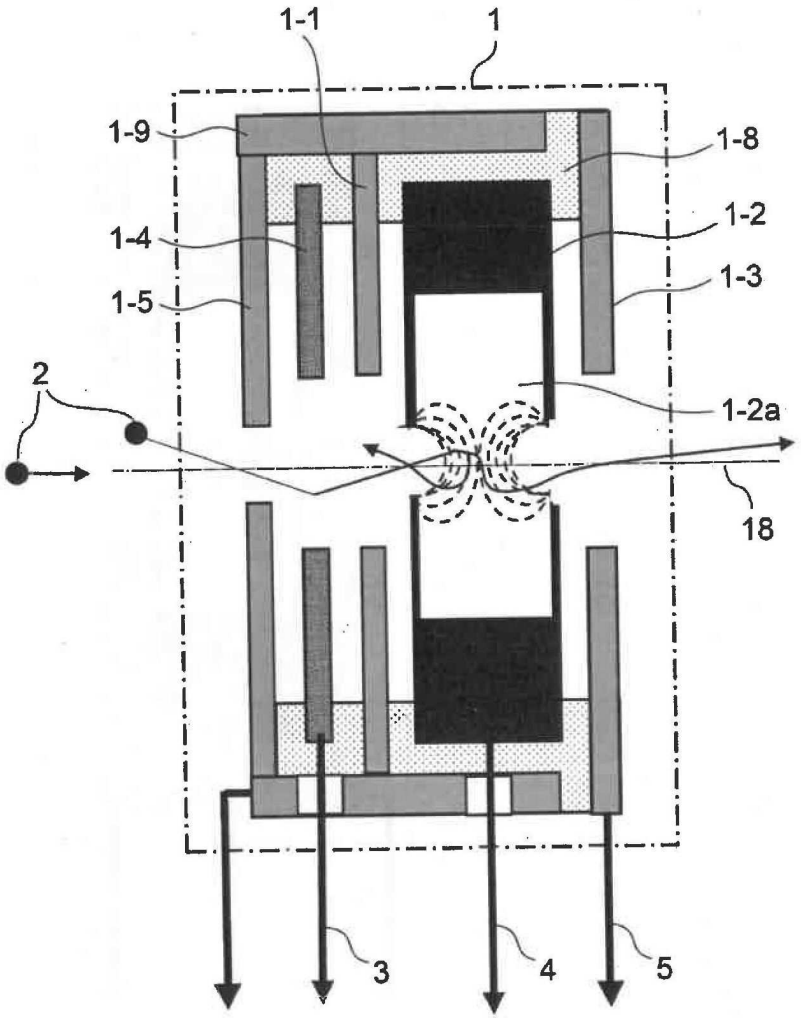

[FIG. 15B]



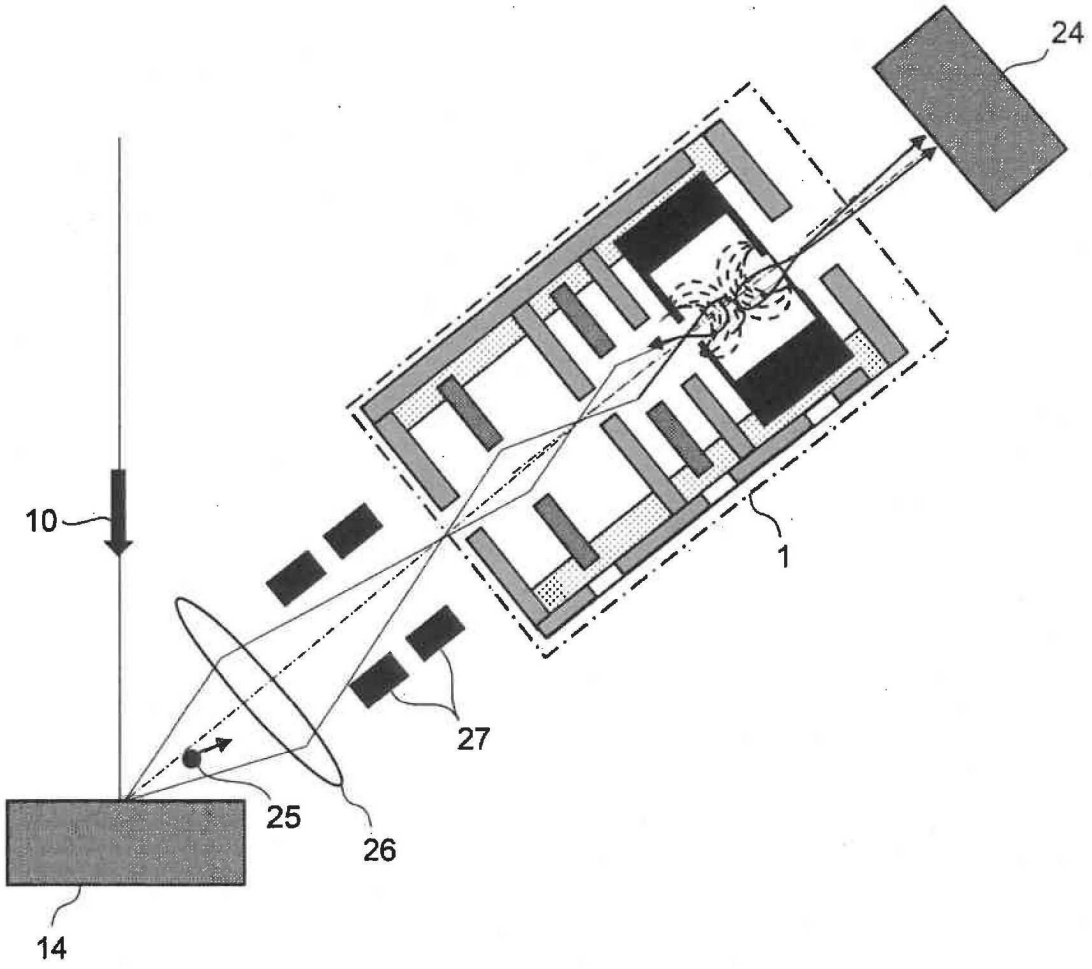
[FIG. 16]



[FIG. 17]



[FIG. 18]




 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.