



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 17 507 B4** 2005.02.10

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 17 507.1**
(22) Anmeldetag: **19.04.2002**
(43) Offenlegungstag: **13.11.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **10.02.2005**

(51) Int Cl.⁷: **H01J 37/153**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
Schönhense, Gerd, Prof. Dr., 55130 Mainz, DE;
Spiecker, Heinrich, Dr., 33619 Bielefeld, DE

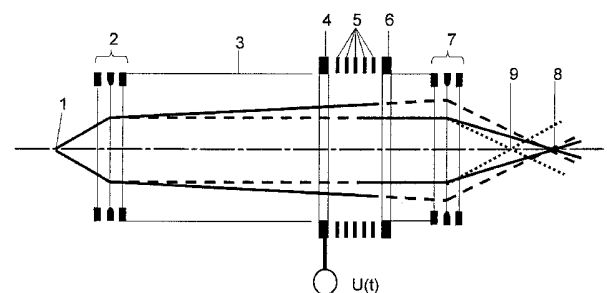
(74) Vertreter:
Walther, Walther & Hinz, 34130 Kassel

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 44 42 348 A1
US 51 96 708 A
US 23 54 287
Rev. Sci. Instr. 26 (1955) 12, 1150-7;
Scherzer, O., Optile 2 (1947) 115;
Hawkes, P.W., Kasper, E., Principles of Electron
Optics, Academic Press 1996, Bd. 2, S. 857ff;
Haider, M. et al, Nature 392 (1998) 768;
Rempfer, G.F. et al, Microscop. Microanal. 3
(1997), 14-27;
Fink, R. et al, J. of Electron Spectroscop. Relat.
Phenom. 84 (1997) 231-250;
Wiley, W.C., Mc Laren, I.H., Rev. Sci. Instr. 26
(1955) 12, 1150-1157;
Scherzer, O., Zeitschrift f. Physik 101 (1936) 593;

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur Abbildung des von einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles auf einem Detektor**

(57) Hauptanspruch: Anordnung zur achromatischen Abbildung eines von einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles auf einen Detektor, umfassend ein Abbildungssystem mit zwei teilchenoptischen Rundlinsen (2, 7), zwischen denen zur Invertierung der Energieverteilung in dem Teilchenensemble eine Anordnung (4, 5, 6) zur Erzeugung eines gepulsten, axialen elektrischen Feldes und eine dieser vorgeschaltete niederenergetische Driftstrecke (3) zur energieabhängigen axialen Aufweitung des Teilchenensembles angeordnet ist.



Beschreibung

mit Schwerpunkt bei der Energie E ist.

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung zur Abbildung des von mindestens einem Punkt einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles auf einem Detektor.

[0002] Bekannt sind sogenannte Teilchenlinsen, d. h. Linsen, bei denen geladene Teilchen, z. B. Elektronen ähnlich beeinflusst werden, wie Lichtstrahlen, die eine optische Linse passieren.

[0003] Derartige Teilchenlinsen finden Einsatz z. B. in Elektronenmikroskopen. Hierbei sind die chromatische und sphärische Aberration von Teilchen- oder Elektronenlinsen die wesentlichen auflösungsbegrenzenden Faktoren. Während der Astigmatismus auf einer Fehljustierung beruht und durch elektrische oder magnetische Stigmatoren relativ leicht kompensiert werden kann, und die Koma und Bildfeldwölbung meist von nachrangiger Bedeutung sind, sind der chromatische und der sphärische Fehler für alle Optiken aus Rundlinsen ein zentrales Problem.

[0004] Die chromatische Aberration wird durch die unterschiedliche Energie der Teilchen im Teilchenstrahl verursacht, wobei sich die Teilchen unterschiedlicher Energie nicht in einem idealen Bildpunkt treffen. Oder anders ausgedrückt: Bei der chromatischen Aberration besitzen die Teilchen eine unterschiedliche Energie und treffen aus diesem Grund an unterschiedlichen Stellen die Bildebene.

[0005] Im Gegensatz zur Lichtoptik lassen sich diese Aberrationen nicht mittels geeigneter Linsenkombination korrigieren. Der Grund dafür ist, dass, unabhängig von Typ und Geometrie der gewählten Linse, für alle teilchenoptischen Rundlinsen der sphärische Aberrationskoeffizient c_s und der chromatische Aberrationskoeffizient c_c immer positiv sind. Damit ist die Kombination von Linsen mit Koeffizienten mit wechselndem Vorzeichen in einem System aus solchen Rundlinsen prinzipiell ausgeschlossen.

[0006] Diese fundamentale Eigenschaft aller elektronenoptischen Rundlinsen ist als Scherzer-Theorem bekannt [O. Scherzer, Z. für Physik 101 (1936) 593].

[0007] Der Beitrag der chromatischen Aberration zur Gesamtauflösung einer abbildenden Optik ist gegeben durch

$$\delta_c = c_c \propto \Delta E/E$$

wobei c_c der von der Linsengeometrie und der Energie abhängige chromatische Aberrationskoeffizient, α der von der Kontrastblende akzeptierte Öffnungswinkel und $\Delta E/E$ die relative Breite der Energieverteilung der zur Abbildung gelangenden geladenen Teilchen

[0008] Scherzer [O. Scherzer, Optik 2, 115 (1947)] hat nach Auswegen aus dieser Problematik gesucht und verschiedene Möglichkeiten zur Korrektur von c_s und c_c diskutiert, einen Überblick geben Hawkes und Kasper (Principles of Electron Optics, Academic Press 1996, Band 2, S. 857ff). Voraussetzungen für die Gültigkeit des Scherzer Theorems sind: Rundlinsen, reelles Bild, statische Felder, keine Raumladung, keine Potentialsprünge. Aus diesen Randbedingungen ergeben sich diverse prinzipielle Möglichkeiten, das Theorem zu umgehen. Trotz zahlreicher Versuche mit verschiedenen Methoden war bisher nur der Einsatz von Multipolkorrektoren in der höchstaflösenden Transmissions-Elektronenmikroskopie erfolgreich [M. Haider, S. Uhlemann, E. Schwan, N. Rose, B. Kabius, K. Urban, Nature 392 (1998) 768]. Eine weitere Möglichkeit der Korrektur durch die Verwendung von Elektronenspiegeln wird erprobt (G.F. Rempfer et al., Microsc. Microanal. 3 (1997) 14; R. Fink et al., Journal of El. Spectrosc. Relat. Phenom. 84 (1997) 231]. Diese Verfahren stellen extrem hohe Ansprüche an die mechanische Bau Genauigkeit und die Strom- bzw. Spannungsstabilität der Elektronik. Auch der Justieraufwand ist sehr groß, besonders im Fall des nichtlinearen Strahlenganges bei der Lösung mit Elektronenspiegel.

[0009] Von mehreren Autoren wurde die Anwendung von sogenannten Hochfrequenzlinsen diskutiert und z. T. erprobt (Hawkes und Kasper, wie oben, S. 872), bei denen die Linse durch einen Mikrowellen-Resonator gebildet wird oder ein solcher in eine Linse integriert wird. Es zeigte sich, dass die Phasenbedingung (Beziehung zwischen der Phase der Mikrowelle und der Elektronen beim Eintreten des Elektronenpulses in den Resonator) und die Verweilzeit im Resonator eine dominierende Rolle spielen. Keiner der Vorschläge im Zusammenhang mit Hochfrequenzlinsen konnte bisher mit praktischem Erfolg realisiert werden.

[0010] Aus der US 5,196,708 A ist eine Teilchenquelle bekannt, mittels derer ein gepulster Teilchenstrahl erzeugt wird, wobei die jeweils einem Puls entsprechenden Teilchen in einem sogenannten buncher einem synchron zu den Pulsen angelegten pulsierenden elektrischen Feld unterworfen werden, das eine Beschleunigung der die Elektrode zuletzt durchlaufenden und damit insbesondere der langsamsten Partikel bewirkt. Diese Beschleunigung führt zu einer erwünschten Verkürzung der axialen Ausdehnung der Partikelformation. Letzteres lässt sich zur Abbildung mit reduziertem Farbfehler nutzen. Dieser Energie-Fokussierungseffekt mittels eines axialen und gepulsten elektrischen Feldes ist auch aus der Flugzeit-Massenspektroskopie bekannt (vgl. Rev. Sci. In-

str. 26(1955)12, 1150-7 (Wiley, W.C.;K McLaren, I.H.) Abschnitt Time-Lag Energy Focusing, S. 1154). Die Verringerung von Laufzeiteffekten durch gepulste Felder lässt sich auch zur Verbesserung der Massenauflösung eines Flugzeit-Massenspektrometers nutzen, (DE 44 23 348 A1). Diese Verfahren bewirken eine zeitliche und räumliche Kompression des Teilchenensembles am Zielort (bunching effect in Druckschrift der US 5,196,708 A).

Aufgabenstellung

[0011] Das der Erfindung zu Grunde liegende Ziel besteht in einer energieabhängigen axialen Aufweitung des Teilchenensembles, um eine achromatische Abbildung zu erreichen.

[0012] Eine erfindungsgemäße Anordnung zur Abbildung des von einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles auf einen Detektor, bei der die chromatische Aberration minimiert ist, umfasst nach einer ersten Variante ein Abbildungssystem mit einer teilchenoptischen Rundlinsenoptik, wobei ein Teil der Optik (Driftstrecke) durch eine schnell schaltbare Spannung derart ansteuerbar ist, dass die Geschwindigkeit der einzelnen Teilchen des Teilchenensembles derart beeinflusst wird bzw. ansteuerbar ist, dass die von einem Punkt der Probe ausgehenden Teilchenbahnen in nahezu einem Punkt die Bildebene schneiden und so der chromatische Fehler der Abbildung reduziert wird. Bei dieser Überlegung wird davon ausgegangen, dass die schnellsten Teilchen bei Erreichen des Endes der Driftstrecke durch das schnell eingeschaltete elektrische Feld nicht mehr beeinflusst werden. Die langsameren Teilchen werden hingegen beim Durchlaufen der Rundlinsenoptik durch das Anlegen einer geeigneten Spannung nachbeschleunigt, wobei der Energiegewinn proportional zum lokalen Potential beim Einschalten der Beschleunigungsspannung ist. Das heißt, dass der Energiegewinn umso höher ist, je langsamer das Teilchen auf seinem Weg durch die Rundlinsenoptik war. Die Energieverteilung des Teilchenensembles kann durch Einschalten eines Potentials invertiert werden. Das heißt, dass die Teilchen am Beginn des Ensembles die unveränderte Energie aufweisen, jedoch die Teilchen in der Mitte des Ensembles eine neue Energie besitzen, die höher ist, als die Ursprungsenergie, und die Teilchen am Ende des Ensembles eine noch höhere Energie aufweisen, als die ursprünglich schnellsten Teilchen des Ensembles.

[0013] Wenn nunmehr die ursprünglich schnellsten Teilchen ihre Geschwindigkeit bzw. Energie beibehalten, die Teilchen mit der mittleren Energie nachbeschleunigt werden, auf eine Energie, die über der der ursprünglich schnellsten Teilchen liegt, und die langsamsten Teilchen ebenfalls derart beschleunigt werden, dass ihre Energie noch weiter oberhalb der der ursprünglich schnellsten Teilchen liegt, kann z. B. der

chromatische Fehler der nachfolgenden Rundlinsenoptik die chromatischen Fehler der vorausgehenden Optik ausgleichen. Die Teilchen werden in einem gemeinsamen Bildpunkt vereinigt, mithin ergibt sich eine chromatisch scharfe Abbildung, da sich alle Teilchenbahnen im idealen Bildpunkt treffen. Hieraus wird erkennbar, dass die Spannung innerhalb eines Zeitraumes zu schalten ist, innerhalb dessen sich das Teilchenensemble im schaltbaren Bereich am Ende der Driftstrecke befindet.

[0014] Weitere vorteilhafte Merkmale sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0015] Nach einer besonderen Ausführungsform zu dieser ersten Variante ist vorgesehen, dass die Teilchen innerhalb des Teilchenensembles durch eine Gegenspannung abgebremst werden, wobei in einer nachgeordneten, niederenergetischen Driftstrecke, sich der Abstand zwischen den einzelnen Teilchen zueinander erhöht. Durch die Abbremsung der Teilchen durch die Anlegung einer Gegenspannung wird erreicht, dass die Teilchen zwar noch unterschiedlich schnell sind, jedoch auf einem insgesamt niedrigeren Geschwindigkeitsniveau. Diese unterschiedlichen Geschwindigkeiten der einzelnen Teilchen auf diesem niedrigen Geschwindigkeitsniveau bewirkt, dass in der niederenergetischen Driftstrecke sich die Teilchen mit verschiedenen Energien weiter voneinander entfernen. Nach der Driftstrecke werden die entsprechenden Teilchen in ihrer Energie bzw. Geschwindigkeit derart angehoben, dass die langsameren Teilchen gegenüber den schnelleren Teilchen derart beschleunigt werden, dass alle Teilchenbahnen sich in einem gemeinsamen Bildpunkt vereinigen, und so eine scharfe Abbildung erzeugen, wie dies bereits oben beschrieben wurde.

[0016] Nach einer zweiten Variante ist eine Anordnung zur Abbildung des von mindestens einem von mehreren Punkten einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles vorgesehen, umfassend ein Abbildungssystem mit einer teilchenoptischen Rundlinsenoptik, wobei die Rundlinsenoptik eine niederenergetische Driftstrecke aufweist, um den räumlichen und zeitlichen Abstand der Teilchen des Teilchenensembles mit verschiedenen Energien zueinander zu vergrößern, wobei bei Passieren der Rundlinsenoptik durch die Teilchen, die Brechkraft der Rundlinsenoptik hinter der Driftstrecke zu jedem Zeitpunkt so angepasst wird, dass die Brennweite für alle Teilchenenergien gleich ist. Des weiteren ist hierbei vorgesehen, dass die Rundlinsenoptik derart angesteuert wird, dass alle Teilchenenergien des Ensembles mit identischem Vergrößerungsmaßstab auf einem Bildschirm abgebildet werden.

[0017] Weitere vorteilhafte Merkmale zu dieser zweiten Variante sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0018] Die Abbildung der Teilchen bzw. des Teilchenensembles erfolgt auf einem Detektor. Ein solcher Detektor kann einen Leuchtschirm umfassen, das Bild wird z. B. durch eine CCD-Kamera erfasst. Alternativ besteht die Möglichkeit, den Detektor derart auszubilden, dass die Teilchen einzeln erfasst werden, und zwar insbesondere hinsichtlich des Ortes und der Zeit des Auftreffens der Teilchen auf dem Detektor. Dies bringt eine ganze Reihe von Vorteilen mit sich; so besteht insbesondere die Möglichkeit einer energieaufgelösten Abbildung der einzelnen Teilchen bzw. es besteht die Möglichkeit der Abbildung einzelner Teilchenenergien, wobei die einzelnen Abbildungen im Maßstab aneinander angeglichen werden können, so dass ein randscharfes Gesamtbild entsteht. Dabei sollen die zueinander maßstäblichen Abbildungen bei verschiedenen Energien aufeinander zur Deckung gebracht werden, was gegebenenfalls durch Stauchung, Streckung oder Drehung der Abbildungen oder Verschiebung mittels geeigneter Bilderfassungssoftware erfolgen kann. Damit können auch Einflüsse von Störfeldern kompensiert werden.

[0019] Besonders vorteilhaft ist die Anwendung der Varianten in einer Anordnung zur Abbildung des von einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles in einem Elektronen- bzw. auch einem Ionenmikroskop oder in Optiken für die Projektionslithographie.

[0020] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen beispielhaft näher erläutert.

[0021] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung des Korrektors;

[0022] Fig. 2 a–c zeigen den Inverter der Energieverteilung mit dem transmittierten Teilchenensemble zu drei verschiedenen Zeiten;

[0023] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung der Energie-Ortsverteilung der Teilchen innerhalb der Rundlinsenoptik bzw. eines Mikroskopes;

[0024] Eine bevorzugte Ausführungsart des erfindungsgemässen chromatischen Korrektors nutzt aus, dass sich mittels einer geeigneten Elektrodenanordnung und einer schnell schaltbaren Spannung eine Inversion der Energieverteilung der Teilchen realisieren lässt. Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau dieser Ausführungsart. Die Teilchen mit der Sollenergie E_0 werden von dem Linsensystem so abgelenkt, dass der Fokus in der korrekten Bildebene liegt. Ohne Korrektur werden die Teilchen mit höherer Energie von den Rundlinsen zu schwach abgelenkt, so dass ihr Fokus, d. h. die Bildebene, zu höheren z-Werten verschoben ist. Der zugehörige chromatische Fehlerkoeffizient c_c ist folglich immer positiv. Im Gegensatz zur Lichtoptik lässt sich aus diesem Grunde kein achromatisches teilchenoptisches Linsensystem aus Rundlinsen bauen.

[0025] In Fig. 1 ist der Inverter, bestehend aus den Elektroden 4, 5 und 6, zwischen Linse 2, Driftrohr 3 und Linse 7 eingesetzt. Das Prinzip des Inverters nutzt aus, dass ein Teilchenensemble mit einer Energiebreite ΔE in einem niederenergetischen Driftbereich 3 in Folge der verschiedenen Geschwindigkeiten der Teilchen auseinanderläuft (Dispersion). Diese Dispersion ist linear in der Geschwindigkeit, d. h. quadratisch in der Energie ($E = mv^2/2$). Nach Durchlaufen des Driftbereiches haben die Teilchen eine räumliche Verteilung, wie in Fig. 2a dargestellt ist. Die schnellsten Teilchen 10 mit Energie E_0 begrenzen das Ensemble in Flugrichtung, eine mittlere Energie entspricht den Teilchen 11 und die langsamsten Teilchen 12 mit Energie $E_0 - \Delta E$ definieren das Ende des Ensembles. In dieser durch die Dispersion entstandenen räumlichen Konfiguration treten die Teilchen durch die Bohrung in der Eintrittselektrode 4 in den erfindungsgemässen Inverter ein. Zum Schaltzeitpunkt $t = t_s$ liegt das Ensemble vollständig im Inverter, wie in Fig. 2b gezeigt ist. In diesem Moment wird die Spannung $U(t)$ an der Eintrittselektrode 4 schnell um den Betrag ΔU verändert, d. h. zu negativen Werten (für Elektronen) bzw. positiven Werten (für positiv geladene Ionen) verschoben. Dadurch baut sich das elektrische Feld F auf. Seine Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit kann im Vergleich mit den hier relevanten Zeiten vernachlässigt werden. Eine genauere Betrachtung ergibt, dass eine axiale Änderung eines elektrischen Feldes mit einem ringförmigen magnetischen Feld einhergeht. Dieses bewirkt aber im Gegensatz zu magnetostatischen Linsen keine energieabhängige Bildrotation, was zum Vorteil des Korrektors auch bei extrem hochfrequentem Einsatz ist.

[0026] Rechnungen zeigen, dass bei schnell geschalteten elektrostatischen Linsen eine zusätzliche Linsenwirkung auf Grund des induzierten magnetischen Ringfeldes entsteht. Diese Linsenwirkung ist allerdings bei typischen Schaltzeiten und Geometrien gegenüber der elektrostatischen Linseneinwirkung zu vernachlässigen.

[0027] Die schnellsten Teilchen 10, die im in Fig. 2b gezeigten Beispiel das Zentrum der Austrittselektrode 6 erreicht hatten, werden durch das elektrische Feld nicht mehr beeinflusst. Dagegen werden die langsameren Teilchen 11 und 12 beim Durchlaufen der restlichen Strecke des Inverters nachbeschleunigt, wobei ihr Energiegewinn durch das lokale Potential beim Einschalten der Beschleunigungsspannung definiert ist. Für das gezeigte Beispiel sei $\Delta U = 2 \Delta E/e$. In diesem Fall werden die langsamsten Teilchen 12, die zum Zeitpunkt $t = t_s$ die Ebene der Eintrittselektrode 4 erreicht hatten, um den Energiebetrag $2 \Delta E$ angehoben, da sie das volle beschleunigende Feld durchlaufen müssen. Entsprechend werden die mittleren Teilchen 11 um einen geringeren Energiebetrag beschleunigt, da sie nur die halbe Länge des Beschleunigungsfeldes durchlaufen müssen.

Nach Austritt aus dem Inverter, **Fig. 2c**, ist die Energieverteilung folglich invertiert. Die Teilchen am Beginn des Bündels **10** haben die unveränderte Energie E_0 , die Teilchen in der Mitte des Bündels **11** haben jedoch eine höhere Energie und die Teilchen am Ende des Bündels **12** die neue Energie $E_0 + \Delta E$.

[0028] Durch die Variation des Spannungshubes ΔU lässt sich erreichen, dass die neue Energieverteilung hinter der Beschleunigungsstrecke nicht symmetrisch zur Energie E_0 invertiert wurde, d. h. die neue Energie der Teilchen **12** beträgt $E_0 + x\Delta E$. Dieser Fall kann für die gewählte Konfiguration vorteilhaft sein. Ebenso ist das gezeigte Beispiel, in dem das Teilchenensemble zur Zeit $t = t_s$ den gesamten Inverter ausfüllt (**Fig. 2b**) keine zwingende Forderung des Verfahrens. Das Prinzip ist jedoch immer, dass die anfangs langsamsten Teilchen **12** nach Durchlaufen des Inverters zu den schnellsten Teilchen geworden sind. Die Elektrodenanordnung **5** dient zur Randfeldkorrektur. In der für elektrostatische Beschleuniger gebräuchlichen Weise definieren diese Elektroden den gewünschten Spannungsabfall, indem sie z. B. durch eine Widerstandskette untereinander und an den Enden der Beschleunigungsstrecke mit den Elektroden **4** und **6** verbunden sind. Das beschleunigende Feld kann in einfachster Ausführung parabolisch sein. Es kann aber auch durch geeignet geformte Elektroden und durch die Wahl des Spannungsanstiegs von dieser einfachen Bauform abweichen, um dadurch bessere teilchenoptische Eigenschaften zu erzielen. Für die prinzipielle Funktionsweise des Inverters der Energieverteilung ist die genaue Form des Feldes nicht von Bedeutung.

[0029] **Fig. 1** zeigt den Einsatz des erfindungsgemässen chromatischen Korrektors in einem teilchenoptischen System aus zwei Sammellinsen **2** und **7**. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird das vom Gegenstandspunkt **1** ausgehende Teilchenensemble durch die erste Linse **2** annähernd in einen Parallelstrahl umgewandelt, welcher in der Driftstrecke **3** infolge der Energiebreite ΔE räumlich auseinanderläuft, dann den aus Eintrittselektrode **4**, Korrektorelektroden **5** und Austrittselektrode **6** bestehenden Inverter durchläuft, welcher zum Zeitpunkt $t = t_s$ geschaltet wird und zuletzt durch die zweite Linse **7** in den Bildpunkt **8** fokussiert wird. Infolge der chromatischen Aberration der ersten Linse **2** werden die niederenergetischen Teilchen (gestrichelte Bahnen) stärker gebrochen als die hochenergetischen Teilchen (durchgezogene Bahnen). Durch die oben beschriebene Inversion der Energieverteilung der Teilchen beim Durchlaufen des Inverters werden die anfänglich niederenergetischen Teilchen zu den hochenergetischen Teilchen, angedeutet durch Vertauschung der durchgezogenen und gestrichelten Bahnen. Die zweite Linse **7** wirkt auf Grund der chromatischen Aberration wieder auf die niederenergetischen Teilchen stärker brechend, so dass nun der

chromatische Fehler der ersten Linse **2** aufgehoben wird. Alle Strahlen vereinigen sich Idealerweise im Bildpunkt **8**. Bei ausgeschaltetem Korrektor bleiben dagegen die innen verlaufenden Bahnen den niederenergetischen Teilchen zugeordnet und die zweite Linse **7** wirkt auf diese Teilchen nochmals stärker brechend, es resultieren die gepunkteten Bahnen. In der Summe der Linse **2** und Linse **7** ergibt sich ohne Korrektor eine deutliche chromatische Aberration (Bildpunkte **8** und **9**) und keine Aberration bei eingeschaltetem Korrektor (nur **8**).

[0030] **Fig. 3** erläutert diese Ausführungsform des Korrektors anhand eines schematischen Diagramms zur Energie-Ortsverteilung. Das von der Probe **13** emittierte Teilchenensemble wird von der Rundlinsoptik **14** transportiert, in der Verzögerungsstrecke **15** retardiert und läuft in der Driftstrecke **16** räumlich auseinander, so dass das Ensemble **21** im schaltbaren Teil **17** der Driftstrecke **16** entlang der z-Achse (parabolisch) auseinander gezogen ist.

[0031] Das Schalten der Beschleunigungsstrecke **17** hebt den niederenergetischen Teil des Teilchenensembles so an, dass eine Inversion der Energieverteilung resultiert (siehe Verteilung **22**). Der nachfolgende Teil der Abbildungsoptik **18** nutzt diese Inversion zur Korrektur der chromatischen Aberration aus, so dass sich auf dem Detektor **19** ein scharfes Bild ergibt.

Bezugszeichenliste

1	Gegenstandspunkt
2	erste Linse
3	Driftstrecke
4	Eintrittselektrode des Inverters der Energieverteilung
5	Korrektorelektroden des Inverters der Energieverteilung
6	Austrittselektrode des Inverters der Energieverteilung
7	zweite Linse
8	Bildpunkt aller Teilchen bei eingeschaltetem Korrektor
9	Bildpunkt der langsamen Teilchen bei ausgeschaltetem Korrektor
10	Teilchen mit maximaler Energie vor Eintritt in den Korrektor
11	Teilchen mit mittlerer Energie vor Eintritt in den Korrektor
12	Teilchen mit geringster Energie vor Eintritt in den Korrektor
13	Position der Probe
14	Erste Abbildungsoptik
15	Abbremsoptik
16	niederenergetische Driftstrecke

- 17 schnell schaltbarer Teil der Driftstrecke (Inverter)
- 18 Zweite Abbildungsoptik
- 19 Position des Detektors (Bildebene)
- 20 Energie-Ortsverteilung der Teilchen an der Probe
- 21 Energie-Ortsverteilung der Teilchen vor der Inversion
- 22 Energie-Ortsverteilung der Teilchen nach der Inversion
U(t) gepulste Spannung

Patentansprüche

1. Anordnung zur achromatischen Abbildung eines von einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles auf einen Detektor, umfassend ein Abbildungssystem mit zwei teilchenoptischen Rundlinsen (2, 7), zwischen denen zur Invertierung der Energieverteilung in dem Teilchenensemble eine Anordnung (4, 5, 6) zur Erzeugung eines gepulsten, axialen elektrischen Feldes und eine dieser vorgeschaltete niederenergetische Driftstrecke (3) zur energieabhängigen axialen Aufweitung des Teilchenensembles angeordnet ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilchen innerhalb des Teilchenensembles vor Eintritt in die Driftstrecke durch eine Gegenspannung abgebremst werden.

3. Anordnung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverteilung des Teilchenensembles durch eine schnell schaltbare Spannung invertiert wird.

4. Anordnung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverteilung des Teilchenensembles durch eine schnell schaltbare Spannung bis auf einen Skalierungsfaktor invertiert wird.

5. Anordnung zur achromatischen Abbildung eines von einer Probe gepulst emittierten Teilchenensembles auf einen Detektor, umfassend ein Abbildungssystem mit mindestens einer teilchenoptischen Rundlinse (7) mit einer dieser vorgeschalteten niederenergetischen Driftstrecke (3) zur energieabhängigen axialen Aufweitung des Teilchenensembles, wobei die Brennweite der Rundlinse (7) während des Durchlaufs des Teilchenensembles durch diese so angepasst wird, dass für alle Teilchenenergien eine scharfe Abbildung erfolgt.

6. Anordnung nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Rundlinsenoptik derart angesteuert wird, dass alle Teilchenenergien des Ensembles mit identischem Vergrößerungsmaßstab auf, einem Bildschirm abgebildet werden.

7. Anordnung nach Anspruch 6 dadurch gekenn-

zeichnet, dass die Abbildungen verschiedener Teilchenenergien getrennt aufgezeichnet und mittels numerischer Verfahren maßstäblich aneinander angepasst werden und zur Deckung gebracht werden.

8. Anordnung nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor einen Leuchtschirm umfasst.

9. Anordnung nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor ein Zeitfenster aus dem zur Abbildung gelangenden Teilchenensemble selektiert, um die Pulslänge so einzuschränken, dass die Fehler korrigierbar sind.

10. Anordnung nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor den Ort und die Zeit des Auftreffens der Teilchen einzeln erfasst.

11. Anordnung nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor eine CCD-Kamera ist.

12. Anordnung nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilchen Elektronen oder Ionen sind.

13. Gerät nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung Teil eines Elektronenmikroskops, eines Ionenmikroskops oder eines Geräts für die Projektionslithographie ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

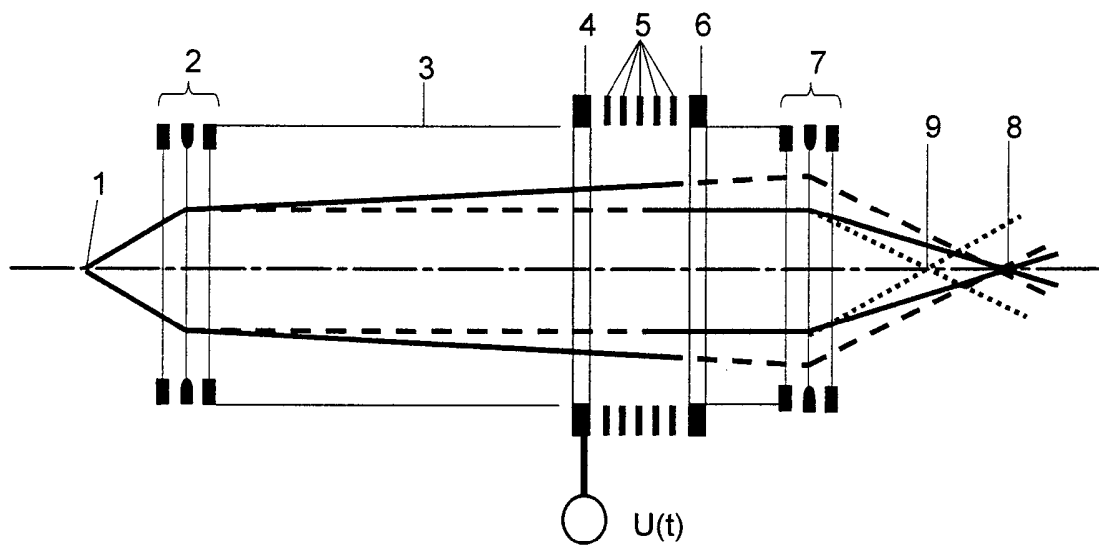


Fig. 1

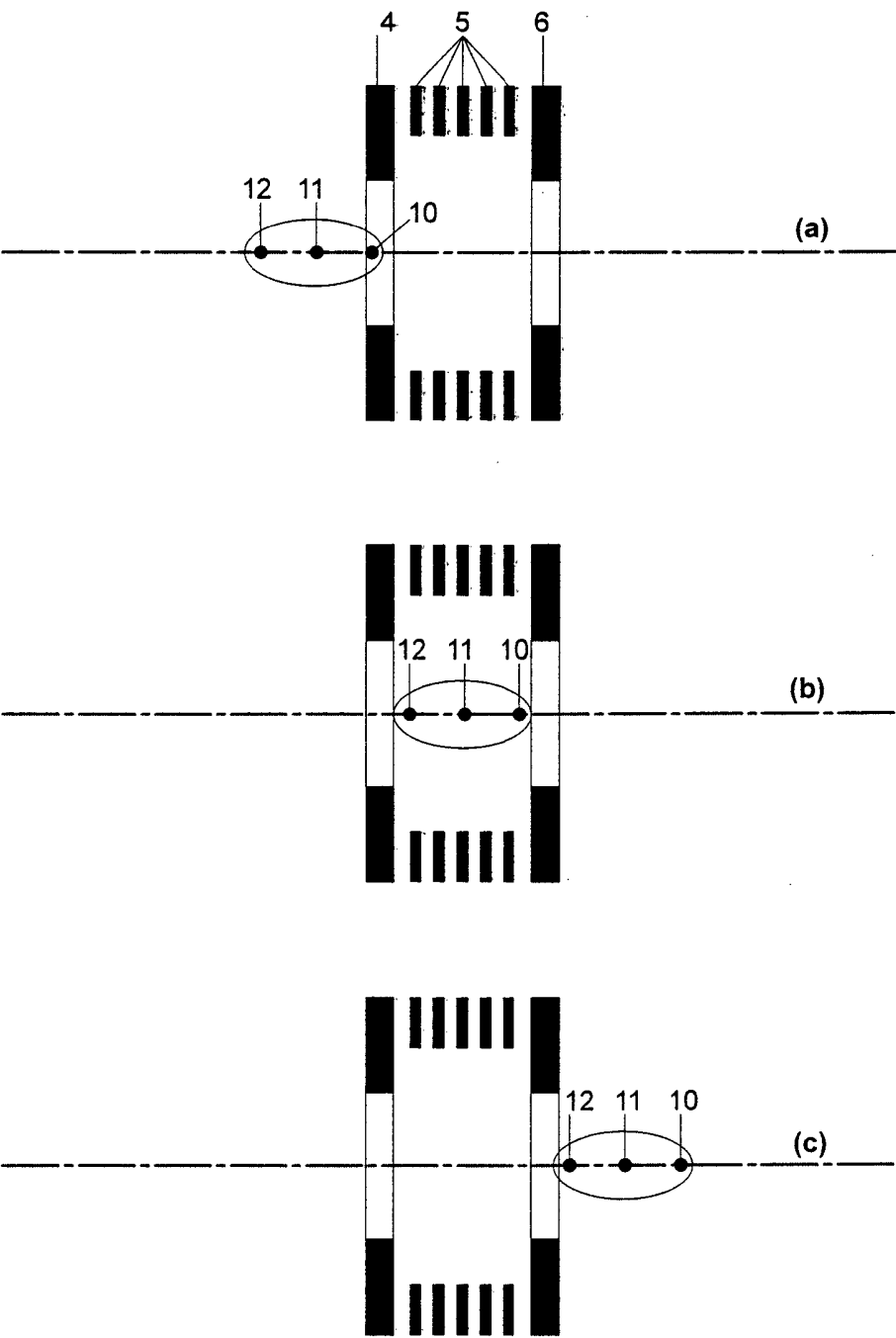


Fig. 2

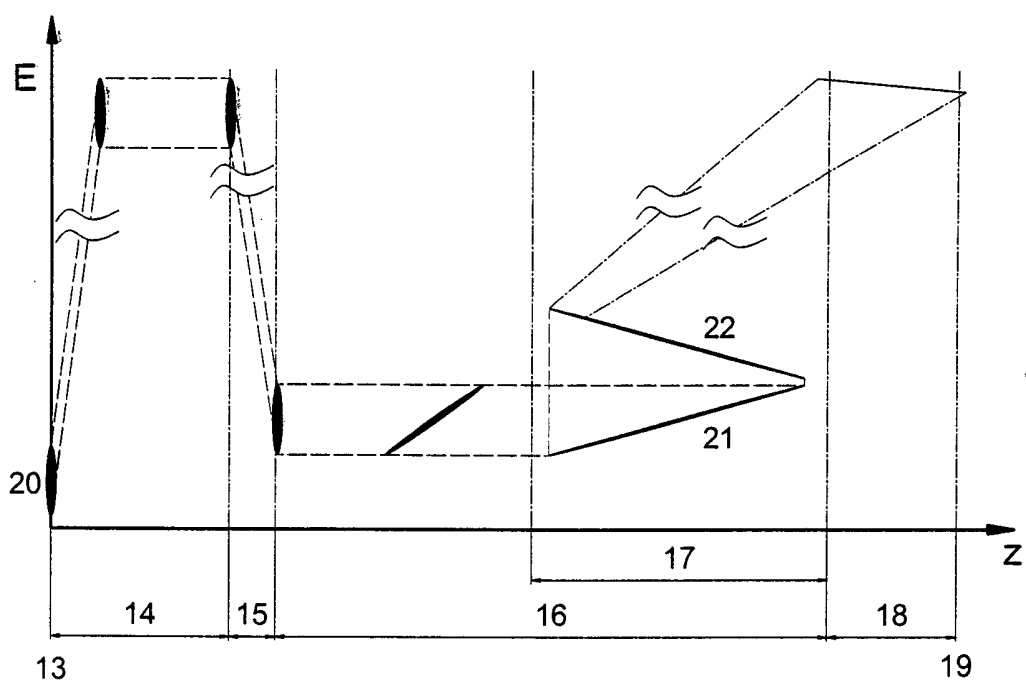


Fig. 3