



(10) **DE 10 2020 115 183 A1** 2021.12.09

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 115 183.7**

(22) Anmeldetag: **08.06.2020**

(43) Offenlegungstag: **09.12.2021**

(51) Int Cl.: **H01J 37/09 (2006.01)**

H01J 37/26 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss MultiSEM GmbH, 73447 Oberkochen,
DE**

(74) Vertreter:

**Athene Patent Dr. Carmen Tesch-Biedermann,
81829 München, DE**

(72) Erfinder:

**Zeidler, Dirk, 73447 Oberkochen, DE; Fritz, Hans,
79286 Glottertal, DE; Müller, Ingo, 73430 Aalen,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

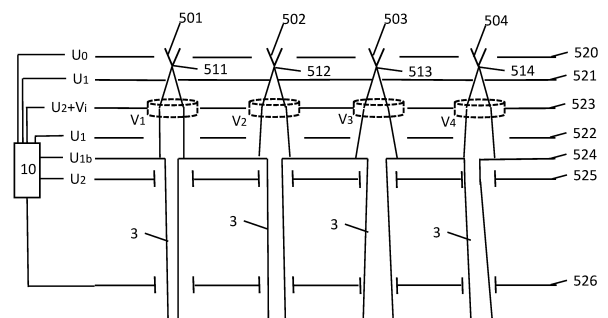
DE	10 2014 008 083	A1
US	8 384 051	B2
US	8 618 496	B2
US	2012 / 0 295 203	A1
US	2013 / 0 344 700	A1
US	2014 / 0 042 334	A1
US	2014 / 0 057 212	A1
US	2016 / 0 111 251	A1
WO	2007/ 028 595	A2

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Teilchenstrahlensystem mit Multiquellensystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung offenbart ein Teilchenstrahlensystem mit einem Multiquellensystem. Das Multiquellensystem weist ein Elektronen-Emitter-Array als Teilchen-Multiquelle auf. In diesem Multiquellensystem werden die inhomogenen Abstrahlcharakteristika der verschiedenen Emittoren durch teilchenoptische Komponenten, die mittels MEMS-Techniken herstellbar sind, korrigiert bzw. für eine nachfolgende teilchenoptische Abbildung vorkorrigiert. Ein Strahlstrom der Einzel-Teilchenstrahlen ist im Multiquellensystem einstellbar.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft Teilchenstrahl-Systeme, welche mit einer Vielzahl von Teilchenstrahlen arbeiten.

Stand der Technik

[0002] Mehrstrahl-Teilchenmikroskope können ebenso wie Einzelstrahl-Teilchenmikroskope dazu verwendet werden, Objekte auf einer mikroskopischen Skala zu analysieren. Bspw. können mittels dieser Teilchenmikroskope Bilder eines Objekts aufgenommen werden, welche eine Oberfläche des Objekts repräsentieren. Auf diese Weise kann bspw. die Struktur der Oberfläche analysiert werden. Während in einem Einzelstrahl-Teilchenmikroskop ein einziger Teilchenstrahl aus geladenen Teilchen wie bspw. Elektronen, Positronen, Myonen oder Ionen, dazu verwendet wird, das Objekt zu analysieren, wird in einem Mehrstrahl-Teilchenmikroskop eine Mehrzahl von Teilchenstrahlen dazu verwendet. Die Mehrzahl der Teilchenstrahlen, welche auch als Bündel bezeichnet wird, wird gleichzeitig auf die Oberfläche des Objekts gerichtet, wodurch verglichen mit einem Einzelstrahl-Teilchenmikroskop eine deutlich größere Fläche der Oberfläche des Objekts während eines gleichen Zeitraums abgetastet und analysiert werden kann.

[0003] Aus der WO 2005/ 024 881 A2 ist ein Vielzahl-Teilchenstrahlsystem in Form eines Elektronenmikroskopiesystems bekannt, welches mit einer Vielzahl von Elektronenstrahlen arbeitet, um ein zu untersuchendes Objekt mit einem Bündel von Elektronenstrahlen parallel abzurastern. Das Bündel von Elektronenstrahlen wird erzeugt, indem ein von einer Elektronenquelle erzeugter Elektronenstrahl auf eine Multiaperturplatte gerichtet wird, welche eine Vielzahl von Öffnungen aufweist. Ein Teil der Elektronen des Elektronenstrahls trifft auf die Multiaperturplatte und wird dort absorbiert, und ein anderer Teil des Strahls durchsetzt die Öffnungen der Multiaperturplatte, so dass im Strahlengang hinter einer jeden Öffnung ein Elektronenstrahl geformt wird, dessen Querschnitt durch den Querschnitt der Öffnung definiert ist. Weiterhin führen geeignet gewählte elektrische Felder, welche im Strahlengang vor und/ oder hinter der Multiaperturplatte bereitgestellt sind, dazu, dass eine jede Öffnung in der Multiaperturplatte als eine Linse auf den die Öffnung durchsetzenden Elektronenstrahl wirkt, so dass die Elektronenstrahlen in einer Ebene fokussiert werden, welche in einem Abstand von der Multiaperturplatte liegt. Die Ebene, in der die Foki der Elektronenstrahlen gebildet werden, wird durch eine nachfolgende Optik auf die Oberfläche des zu untersuchenden Objekts abgebildet, so dass die einzelnen Elektronenstrahlen als Pri-

märstrahlen fokussiert auf das Objekt treffen. Dort erzeugen sie von dem Objekt ausgehende Wechselwirkungsprodukte wie Rückstreuелеktronen oder Sekundärelektronen, welche zu Sekundärstrahlen geformt und von einer weiteren Optik auf einen Detektor gerichtet werden. Dort trifft ein jeder der Sekundärstrahlen auf ein separates Detektorelement, so dass die mit diesem detektierten Elektronenintensitäten Informationen zu dem Objekt an dem Ort bereitstellen, an dem der entsprechende Primärstrahl auf das Objekt trifft. Das Bündel von Primärstrahlen wird systematisch über die Oberfläche des Objekts gescannt, um in der für Rasterelektronenmikroskope üblichen Weise ein elektronenmikroskopisches Bild des Objekts zu erzeugen.

[0004] Bei dem beschriebenen Vielzahl-Teilchenstrahlsystem ist eine hohe Auflösung und ein hoher Durchsatz für eine zufriedenstellende und erfolgreiche Verwendung in der Praxis von hoher Relevanz. In diesem Zusammenhang ist es erforderlich, unter anderem die Intensität der Teilchenstrahlen einzustellen.

[0005] Die US 2017/0025241 A1 offenbart ein Mehrstrahl-Teilchenstrahlsystem, bei dem die Stromdichte in den Teilchenstrahlen variierbar ist. Konkret erfolgt hierbei eine Einstellung der Beleuchtungsdichte, bevor aus dem primären Elektronenstrahl überhaupt Multistrahlen gebildet werden. Für die Einstellung der Beleuchtungsdichte wird gemäß der US 2017/0025241 A1 ein Doppelkollimator verwendet, der in Strahlrichtung unmittelbar hinter der Elektronenquelle angeordnet ist. Durch Variation der Linsenerregungen des Doppelkollimators kann die Stromdichte der Elektronen, die die Öffnungen einer dem Doppelkollimator nachfolgenden Multiaperturplatte passieren, variiert werden.

[0006] Das oben beschriebene Mehrstrahl-Teilchenstrahlsystem stößt aber dann an seine Grenzen, wenn die Anzahl der verwendeten Teilchenstrahlen weiter erhöht wird. Um überhaupt ausreichende Strahlströme für die Einzelstrahlen zu erhalten, müssen möglichst viele Teilchen aus der Teilchenquelle verwendet werden. Dann aber gewinnt die Abstrahlcharakteristik der Teilchenquelle an Bedeutung, genauer gesagt eine Uniformität der Abstrahlcharakteristik über den gesamten verwendeten Abstrahlwinkel. Bei Verwendung von größeren Abstrahlwinkeln ist die Abstrahlcharakteristik von Teilchenquellen, z.B. von thermischen Feldemissionsquellen (TFEs), nicht mehr durchgehend gleichförmig. Entsprechend ist dann auch die Beleuchtungsdichte an einer Multiaperturplatte in einem entsprechenden Teilchenstrahl-System nicht mehr durchgehend uniform und es kommt zu größeren Variationen bei den Stromdichten in verschiedenen Einzelstrahlen. Es ist bei Mehrteilchen-Inspektionssystemen aber wiederum eine Systemanforderung, dass es zwischen den

verschiedenen Einzelstrahlen nur eine geringe Variation in den Stromstärken gibt, die typischerweise weniger als ein paar Prozent beträgt, so dass alle Einzelbildfelder des Multibildfeldes mit einer äquivalenten Anzahl von Teilchen bzw. Elektronen pro Pixel abgetastet werden. Dies ist z.B. eine Voraussetzung dafür, um Einzelbilder mit annähernd derselben Helligkeit zu erhalten.

[0007] Bei Inspektionssystemen, die mit Mehrstrahl-Teilchenstrahlssystemen arbeiten, stellt die Verwendung von Teilchenquellen mit hohen Abstrahlwinkeln und gleichzeitig hohen Anforderungen an den Strom pro Einzelstrahl aufgrund der variierenden Abstrahlcharakteristik also eine Herausforderung dar.

[0008] Es gibt auch bereits Mehrstrahl-Teilchenstrahlssysteme, die mit Multiquellen arbeiten. Auch diese Herangehensweise erhöht die Anzahl der für das Mehrstrahl-Teilchenstrahlssystem zur Verfügung stehenden Einzel-Teilchenstrahlen. Als Multiquellen sind Photokathoden und kalte Feldemissions-Arrays (engl. „cold field emitter arrays“ - „cold FEAs“) grundsätzlich bekannt. Nachteilig bei der Verwendung von Photokathoden ist allerdings, dass diese eine instabile Abstrahlcharakteristik, eine kurze Lebensdauer und eine niedrige Leuchtdichte (engl. „brightness“) aufweisen. Demgegenüber verfügen kalte Feldemissions-Arrays über eine verhältnismäßig große Leuchtdichte und eine kleine virtuelle Quellengröße. Sie können auch mittels in der Mikrostrukturtechnik üblichen Verfahren, z.B. der Kombination aus Lithographieverfahren mit nachfolgenden Ätz- und/ oder Abscheidungsverfahren, hergestellt werden (MEMS-Techniken; engl. „microelectromechanical systems“-Techniken). Allerdings ist die Abstrahlcharakteristik von kalten Feldemissions-Arrays noch immer nicht gleichförmig und es bereitet Schwierigkeiten, die einzelnen Spitzen (engl. „tips“) für die Emission mit reproduzierbaren Charakteristika und Spezifikationen herzustellen, insbesondere hinsichtlich ihrer Abstrahlcharakteristik, hinsichtlich ihres Gesamtstromes und hinsichtlich ihres virtuellen Quelldurchmessers.

Beschreibung der Erfindung

[0009] Es ist somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Teilchenstrahlssystem, das mit einer Vielzahl von Einzelstrahlen arbeitet, bereitzustellen, das auch bei einer Verwendung einer großen Anzahl von Einzelstrahlen und gleichzeitig hohem Strahlstrom für jeden Einzelstrahl eine hohe Strahl-Uniformität zwischen den Einzelstrahlen gewährleistet. Insbesondere soll das Teilchenstrahl-System auch für Mehrstrahl-Inspektionssysteme geeignet sein.

[0010] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, den Durchsatz bei einem Teilchenstrahlssystem zu erhöhen.

[0011] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, Multiquellen für Mehrstrahl-Teilchenstrahlssysteme besser nutzbar zu machen.

[0012] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, bei dem Teilchenstrahlssystem Abbildungsfehler weitestmöglich zu reduzieren.

[0013] Die Aufgabe wird gelöst durch die unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

[0014] Der Erfindung liegt dabei folgende Überlegung zugrunde: Es ist möglich, existierende Teilchen-Multiquellen, die Elektronen durch kalte Feldemission erzeugen, für Teilchenstrahl-Systeme mit hoher Auflösung und großem Durchsatz zu verwenden, wenn die quellenbedingten Inhomogenitäten in der Strahlstromdichte der Einzel-Teilchenstrahlen ausgeglichen bzw. beseitigt werden, bevor die eigentliche teilchenoptische Abbildung erfolgt. Erfindungsgemäß wird deshalb vorgeschlagen, nahe an der Multiquelle zunächst die Einzel-Teilchenstrahlen grob zu formen, wobei für die Herstellung der dabei verwendeten Linsen, Deflektoren, Stigmatoren usw. MEMS-Techniken verwendet werden können. Die eigentliche finale Strahlformung, bei der die Einzel-Teilchenstrahlen für eine teilchenoptische Abbildung hoher Auflösung gebildet werden, erfolgt im Teilchenstrahlssystem erst später. Nahe der Multiquelle ist die Energie der Einzel-Teilchenstrahlen noch verhältnismäßig niedrig und eine Beeinflussung oder Ablenkung der Einzel-Teilchenstrahlen kann mit verhältnismäßig niedrigen Spannungen oder Strömen erfolgen. Niedrige Spannungen oder Ströme sind wiederum gute Voraussetzungen für eine risikoarme Auslegung von MEMS-Vorrichtungen, bei denen verhältnismäßig hohe Anforderungen an eine Isolation von darauf befindlichen Leiterbahnen gestellt werden.

[0015] Durch diese zweistufige Formung der Einzel-Teilchenstrahlen ist es außerdem möglich, die originär von der Multiquelle ausgesendeten Einzel-Teilchenstrahlen nahe deren Quelle bereits vor-ausdünnen, was den für eine hohe Auflösung nachteiligen Coulomb-Effekt herabsetzt.

[0016] Konkret bezieht sich die Erfindung gemäß einem ersten Aspekt auf ein Teilchenstrahlssystem, das Folgendes aufweist:

ein Multiquellensystem, umfassend

- eine Teilchen-Multiquelle, die eingerichtet ist, eine Vielzahl von geladenen Einzel-Teilchenstrahlen durch Feldemission, insbesondere kalte Feldemission, zu erzeugen;
- eine erste Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von ersten Öffnungen, die von den Einzel-

Teilchenstrahlen zumindest teilweise durchsetzt werden;

- ein erstes Multi-Linsen-Array, welches eine Vielzahl von individuell einstellbaren Teilchenlinsen aufweist und welches im Strahlengang nach der ersten Multiaperturplatte derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die erste Multiaperturplatte durchsetzen, das erste Multi-Linsen-Array ebenfalls durchsetzen;

- eine zweite Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von zweiten Öffnungen, welche im Strahlengang nach dem ersten Multi-Linsen-Array derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die das erste Multi-Linsen-Array durchsetzen, auch die zweite Multiaperturplatte durchsetzen; und

- eine strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von strahlstrombegrenzenden Öffnungen, welche im Strahlengang nach der zweiten Multiaperturplatte so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen teilweise auf die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte auftreffen und dort absorbiert werden und teilweise die Öffnungen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte durchsetzen; und

- eine Steuerung, die dazu eingerichtet ist, den Teilchenlinsen des ersten Multi-Linsen-Arrays eine individuell einstellbare Erregung zuzuführen und so für jeden Einzel-Teilchenstrahl die Fokussierung der zugehörigen Teilchenlinse individuell einzustellen.

[0017] Die Teilchen-Multiquelle des Multiquellensystems erzeugt hier also Elektronen beziehungsweise emittiert Elektronenstrahlen. Die Teilchen-Multiquelle kann dabei als Elektronen-Emitter-Array ausgebildet sein, in der die einzelnen Emitter beziehungsweise Spitzen („Tips“) in einem regelmäßigen Muster angeordnet sind. Sie können zum Beispiel schachbrettartig oder in einem hexagonalen Muster angeordnet sein. Ein derartiges Elektronen-Emitter-Array kann beispielsweise mit MEMS-Technik gefertigt sein, wobei zum Beispiel Lithographieverfahren mit nachfolgenden Ätz- und/oder Abscheidungsverfahren kombiniert werden. Als Emitter der Elektronen-Emitter-Arrays eignen sich beispielsweise metallische Emitter, Silizium-basierte Emitter und/oder Kohlenstoff-Nanoröhren-basierte Emitter.

[0018] Im Multiquellensystem sind im Strahlengang nach der Teilchen-Multiquelle die erste Multiaperturplatte, das erste Multi-Linsen-Array und die zweite Multiaperturplatte in dieser Reihenfolge angeordnet. Dabei wird im Rahmen dieser Patentanmeldung durchgängig zwischen Multiaperturplatten einerseits und Multi-Linsen-Arrays andererseits unterschieden.

[0019] Bei einer Multiaperturplatte handelt es sich um eine Platte mit einer Vielzahl von Öffnungen. Da-

bei ist es möglich, dass an dieser Multiaperturplatte insgesamt eine Spannung angelegt wird. Dies kann der Fall sein, muss jedoch nicht der Fall sein. In jedem Fall liegen in einer Multiaperturplatte alle Öffnungen auf einem einheitlichen, global identischen elektrischen Potential. Bei einem Multi-Linsen-Array im Rahmen dieser Patentanmeldung handelt es sich - verglichen mit einer Multiaperturplatte - hingegen um ein komplexeres Bauteil: Ein Multi-Linsen-Array im Rahmen dieser Patentanmeldung weist eine Vielzahl im Wesentlichen parallel zueinander angeordneter Linsen auf, die jeweils individuell und unabhängig voneinander einstellbar sind, so dass die einzelnen Linsen des Multi-Linsen-Arrays voneinander verschiedene Brechkräfte haben können und diese Brechkräfte unabhängig voneinander für jede Linse individuell variiert werden können.

[0020] Ein Multi-Linsen-Array weist gemäß einer vorteilhaften Ausführungsvariante Folgendes auf:

- eine Linsen-Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von Öffnungen; und

- eine Vielzahl von Elektroden, die um die Vielzahl der Öffnungen der Linsen-Multiaperturplatte herum angeordnet sind, um den die jeweilige Öffnung durchsetzenden Einzel-Teilchenstrahl individuell zu beeinflussen.

[0021] Bei den Elektroden kann es sich zum Beispiel um Ringelektroden handeln, es sind jedoch auch andere Ausführungsvarianten möglich. Es ist zum Beispiel möglich, azimuthal unterteilte Elektroden, wie zum Beispiel einen Quadrupol oder Oktupol, mit gleichen Spannungen auf allen Elektroden zu beaufschlagen. Ferner ist es möglich, die Fokussierwirkung durch Spulen, die jede Öffnung der Linsen-Multiaperturplatte in einer zur Strahlrichtung senkrechten Ebene umschließen, zu bewerkstelligen. Für ablenkende Spulen ist dies in DE 10 2014 008 083 B4 beschrieben.

[0022] Bevorzugt sind die Öffnungen der ersten Multiaperturplatte, der zweiten Multiaperturplatte sowie des ersten Multi-Linsen-Arrays jeweils kreisförmig und die einzelnen Öffnungen sind insgesamt in einer hexagonalen Struktur angeordnet, aber auch andere Möglichkeiten der Anordnung sind möglich. Es ist möglich, die Anzahl der Öffnungen in der ersten Multiaperturplatte, der zweiten Multiaperturplatte und im ersten Multi-Linsen-Array auf die Anzahl der Einzel-Teilchenstrahlen beziehungsweise auf die Anzahl der Emitter beziehungsweise Spitzen der Teilchen-Multiquelle abzustimmen. Es ist dabei vorteilhaft, wenn die Zahl der gebildeten Einzel-Teilchenstrahlen $3n(n-1)+1$ mit einer beliebigen natürlichen Zahl n im Fall hexagonaler Anordnung beträgt. Es ist alternativ aber auch möglich, dass ausgehend von einem Emitter mehrere Einzel-Teilchenstrahlen gebildet werden. Dies kann zum Beispiel dadurch erreicht

werden, dass die erste Multiaperturplatte mehr Öffnungen besitzt, und zwar m Öffnungen pro Emitter. Dann jedoch ist es wieder vorteilhaft, dass die Anzahl der Öffnungen in der ersten Multiaperturplatte, der zweiten Multiaperturplatte und des ersten Multi-Linsen-Arrays jeweils identisch miteinander sind. Außerdem sollten die Öffnungen zentriert übereinander im Strahlengang der Einzel-Teilchenstrahlen angeordnet sein. Dabei ist es vorteilhaft, wenn der Durchmesser der Öffnungen der ersten Multiaperturplatte kleiner ist als der Durchmesser der Öffnungen des ersten Multi-Linsen-Arrays und der zweiten Multiaperturplatte. Die erste Multiaperturplatte wird - anders als das erste Multi-Linsen-Array und die zweite Multiaperturplatte - von den Einzel-Teilchenstrahlen zumindest teilweise durchsetzt, das heißt, dass die erste Multiaperturplatte auch von den Emittieren ausgesendete Elektronen blocken kann.

[0023] Eine Sequenz von Öffnungen der ersten Multiaperturplatte, des ersten Multi-Linsen-Arrays und der zweiten Multiaperturplatte bildet eine Einzellinse aus. An der ersten Multiaperturplatte und an der zweiten Multiaperturplatte liegt dabei eine im Wesentlichen identische erste Spannung U_1 an, die aber auch null sein kann. Hingegen sind die individuell einstellbaren Spannungen U_2+V_i an dem ersten Multi-Linsen-Array im Wesentlichen verschieden von der ersten Spannung U_1 . Die Notation V_i drückt dabei aus, dass die einstellbaren Spannungen um den Wert U_2 herum variieren, U_2 ist also ein Mittelwert oder Referenzwert.

[0024] Abhängig von den Erregungen der individuell einstellbaren Teilchenlinsen hat die Sequenz von Öffnungen der ersten Multiaperturplatte, des ersten Multi-Linsen-Arrays und der zweiten Multiaperturplatte eine unterschiedlich fokussierende Wirkung. Die Einzel-Teilchenstrahlen haben also nach dem Durchsetzen der Einzellinsen unterschiedliche Divergenzen und sind nach etwas Driftstrecke dann verschieden stark aufgeweitet. Diese verschieden stark aufgeweiteten Einzel-Teilchenstrahlen treffen sodann auf die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von strahlstrombegrenzenden Öffnungen. Einige Teilchen der Einzel-Teilchenstrahlen treffen teilweise auf die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte auf und werden dort absorbiert und teilweise durchsetzen sie die Öffnungen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte. Auf diese Weise kann für jeden Einzel-Teilchenstrahl innerhalb des Multiquellensystems die Strahlstromstärke individuell eingestellt werden. Es ist deshalb insbesondere möglich, unterschiedliche Abstrahlcharakteristika beziehungsweise Stromstärken der einzelnen Quellen beziehungsweise Spitzen durch diesen Einstellungsprozess auszugleichen. Auf diese Weise können somit herkömmliche Teilchen-Multiquellen auf Elektronen-Emitter-Array-Basis auch für hochauflösende Teilchenstrahlssysteme nutzbar gemacht werden.

Die finale Strahlformung der Einzel-Teilchenstrahlen für die eigentliche teilchenoptische Abbildung erfolgt erst an späterer Stelle im Teilchenstrahlensystem. Bevorzugt gilt unmittelbar nach dem Durchsetzen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte für Abweichungen δ der einzelnen Strahlströme von einem arithmetischen Mittelwert der Strahlströme folgende Relation gilt: $\delta \leq 5\%$, bevorzugt $\delta \leq 2\%$ und höchst bevorzugt $\delta \leq 1\%$.

[0025] Die Steuerung, die dazu eingerichtet ist, den Teilchenlinsen des ersten Multi-Linsen-Arrays eine individuell einstellbare Erregung zuzuführen und so für jeden Einzel-Teilchenstrahl die Fokussierung der zugehörigen Teilchenlinse individuell einzustellen, kann identisch sein mit der Steuerung für das gesamte Teilchenstrahlensystem. Dies muss aber nicht der Fall sein. Bei den einstellbaren Erregungen handelt es sich insbesondere um Spannungen und/oder Ströme.

[0026] Die Öffnungen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte sind wiederum bevorzugt zentrisch zu den Öffnungen der ersten Multiaperturplatte, des ersten Multi-Linsen-Arrays und der zweiten Multiaperturplatte ausgerichtet. Der Durchmesser der strahlstrombegrenzenden Öffnungen ist kleiner als der Öffnungsdurchmesser der zweiten Multiaperturplatte und des ersten Multi-Linsen-Arrays.

[0027] Die zweite Multiaperturplatte und die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte können auch funktional miteinander kombiniert oder zusammengefasst werden. Die zweite Multiaperturplatte und die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte sind also nicht notwendigerweise zwei voneinander getrennte Bauteile. Die bauliche Trennung hat aber elektronenoptisch Vorteile.

[0028] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Teilchenstrahlensystem des Weiteren Folgendes auf: ein final strahlformendes System, das im Strahlengang nach dem Multiquellensystem angeordnet ist und mittels dem die Einzel-Teilchenstrahlen für eine nachfolgende teilchenoptische Abbildung geformt werden. Der Begriff „final strahlformend“ deutet dabei an, dass mittels des final strahlformenden Systems die Einzel-Teilchenstrahlen geformt werden, die letztlich für die eigentlich relevante teilchenoptische Abbildung verwendet werden. Bei der finalen Strahlformung werden Parameter wie eine homogene Einzel-Teilchenstrahl-Stromdichte, Rotation, Telezentrie, (zu beseitigender) Astigmatismus etc. berücksichtigt beziehungsweise für die nachfolgende teilchenoptische Abbildung eingestellt. Aufgrund der vorgenommenen Einstellungen ist eine teilchenoptische Abbildung mit hoher Auflösung und hohem Durchsatz möglich. Auf einzelne konstruktive Bestandteile des final strahlformenden

Systems wird weiter unten im Rahmen dieser Patentanmeldung noch eingehender eingegangen.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die erste Multiaperturplatte als Extraktor-Elektrode ausgebildet; und/oder die zweite Multiaperturplatte ist als Gegenelektrode ausgebildet; und/oder die (final) strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte ist als Anode ausgebildet. Dieser Ausführungsvariante liegt die Tatsache zugrunde, dass existierende Teilchen-Multiquellen, die eine Vielzahl von geladenen Einzel-Teilchenstrahlen durch Feldemission erzeugen, ohnehin diverse Elektroden in Form von Lochplatten aufweisen. Dabei kann an der Extraktor-Elektrode und an der Gegenelektrode eine identische Spannung anliegen. An der Anode kann ebenfalls dieselbe oder eine andere Spannung wie an der Extraktor-Elektrode und/oder der Gegenelektrode anliegen.

[0030] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gilt für einen Abstand A zwischen der Teilchen-Multiquelle und der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte folgende Relation: $0,1 \text{ mm} \leq A \leq 30 \text{ mm}$, bevorzugt $0,1 \text{ mm} \leq A \leq 20 \text{ mm}$ und höchst bevorzugt $0,1 \text{ mm} \leq A \leq 10 \text{ mm}$. Die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte ist also sehr nah an der Teilchen-Multiquelle angeordnet. Dabei wird der Abstand A gemessen von der Spitze der Teilchenemitter bis hin zu der der Teilchen-Multiquelle zugewandten Oberfläche der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte. Eine Dicke des Multiquellensystems in Richtung der optischen Achse Z des Teilchenstrahlsystems beträgt demnach weniger als 30 mm , bevorzugt weniger als 20 mm und höchst bevorzugt weniger als 10 mm . Dabei kann das Multiquellensystem noch weitere Bestandteile aufweisen, die zu der Gesamtdicke beziehungsweise Gesamtausdehnung des Multiquellensystems beitragen.

[0031] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Multiquellensystem des Weiteren eine Suppressor-Elektrode auf. An dieser Elektrode liegt eine Spannung derart an, dass sie die Elektronen aus dem Quellbereich der Teilchen-Multiquelle herausdrückt.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Multiquellensystem ein zweites Multi-Linsen-Array auf, wobei das zweite Multi-Linsen-Array eine Vielzahl von individuell einstellbaren und fokussierenden Teilchenlinsen aufweist und welches im Strahlengang nach der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte derart angeordnet ist, dass die Teilchen der Einzel-Teilchenstrahlen, die die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte durchsetzen, das zweite Multi-Linsen-Array im Wesentlichen ebenfalls durchsetzen. Des Weiteren ist die Steuerung dazu eingerichtet, den Teilchenlinsen des zweiten Multi-Linsen-Arrays eine individuell einstellbare

Erregung zuzuführen und so für jeden Einzel-Teilchenstrahl die Fokussierung der zugehörigen Teilchenlinse individuell einzustellen. Das erste und das zweite Multi-Linsen-Array können insbesondere baugleich sein, dies erleichtert die Fertigung des Teilchenstrahlsystems. Das erste und das zweite Multi-Linsen-Array können jedoch auch unterschiedlich ausgestaltet sein. Im Übrigen gilt für das zweite Multi-Linsen-Array das bereits hinsichtlich des ersten Multi-Linsen-Arrays Ausgesagte. Das zweite Multi-Linsen-Array kann durch die individuell einstellbaren Erregungen die Fokallängen für die jeweiligen Einzel-Teilchenstrahlen individuell einstellen. Beim Durchsetzen des ersten Multi-Linsen-Arrays hat sich für die Einzel-Teilchenstrahlen die Fokallänge aufgrund der unterschiedlichen Linsenerregungen für die Einzel-Teilchenstrahlen leicht geändert. Diese Abweichungen können nun durch das Vorsehen des zweiten Multi-Linsen-Arrays korrigiert werden. Es ist auch möglich, mit Hilfe des zweiten Multi-Linsen-Arrays eine Bildfeldwölbungskorrektur für die nachfolgende teilchenoptische Abbildung vorzunehmen. Ist nämlich die nachfolgende Bildfeldwölbung - hervorgerufen durch die nachfolgende teilchenoptische Abbildung - bekannt, so kann diese durch eine entsprechende Erregung der Teilchenlinsen des zweiten Multi-Linsen-Arrays kompensiert werden.

[0033] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Multiquellensystem des Weiteren ein erstes Multi-Deflektor-Array auf, das von den Einzel-Teilchenstrahlen durchsetzt wird und das im Strahlengang nach der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte angeordnet ist. Dabei ist die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet, dem ersten Multi-Deflektor-Array individuell einstellbare Erregungen zuzuführen und so die Einzel-Teilchenstrahlen individuell abzulenken. Das Multi-Deflektor-Array dient dabei zum Beispiel als Richtungskorrektor für die Einzel-Teilchenstrahlen. Eine gegebenenfalls vorhandene Strahlauswanderung, die z.B. wegen nichtfluchtenden Öffnungen der Multiaperturplatte aufgrund von Fertigungstoleranzen entstehen kann, kann kompensiert werden. Der Aufbau von Multi-Deflektor-Arrays ist im Prinzip bekannt (siehe beispielsweise DE 10 2014 008 083 B9); es handelt sich bevorzugt um elektrostatische Ablenkfelder in Öffnungen des Multi-Deflektor-Arrays. Dabei können zum Beispiel azimuthal unterteilte Elektroden vorgesehen sein, die paarweise für eine entsprechende Richtungskorrektur ansteuerbar sind.

[0034] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Multiquellensystem des Weiteren ein Multi-Stigmator-Array auf, das von den Einzel-Teilchenstrahlen durchsetzt wird. Dabei ist die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet, dem Multi-Stigmator-Array eine einstellbare Erregung zuzuführen. Die Stigmatoren des Multi-Stigmator-Arrays stellen von deren Erregung abhängige Multipolfel-

der bereit, die dazu verwendet werden können, Orte und Winkel zu verändern, unter denen die Einzel-Teilchenstrahlen auf ein zu untersuchendes Objekt auftreffen. Es ist auch möglich, den Astigmatismus pro Einzel-Teilchenstrahl zu beeinflussen. Abbildungsfehler der teilchenoptischen Abbildung können korrigiert werden.

[0035] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Multiquellensystem zumindest teilweise mittels MEMS-Technik gefertigt. Es ist auch möglich, dass alle Komponenten des Multiquellensystems mittels MEMS-Technik gefertigt sind.

[0036] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Teilchen-Multiquelle mindestens einen der folgenden Emitter-Typen auf: Metallische Emitter, Silizium-basierte Emitter, Kohlenstoff-Nanoröhren-basierte Emitter.

[0037] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Teilchenstrahlensystem des Weiteren ein Magnetfelderzeugungsmittel auf, das so angeordnet ist, dass die Teilchen-Multiquelle in einem Magnetfeld angeordnet ist. Insbesondere ist dabei die Emitter-Ebene, in der sich die Spitzen der Multiquelle befinden, innerhalb eines Magnetfeldes angeordnet. Die geladenen Teilchen beziehungsweise Elektronen starten also innerhalb eines Magnetfeldes in das Teilchenstrahlensystem; sie werden sozusagen im Magnetfeld geboren. Durch eine gezielte Anordnung des Magnetfeldes relativ zu der Emitter-Ebene ist es möglich, den Elektronen eine definierte Startwinkelverteilung aufzuprägen. Ihr Startgeschwindigkeitsvektor projiziert auf die Emitter-Ebene hat also eine bestimmte Richtung, nämlich orthogonal zum jeweils anliegenden Magnetfeld. Von Vorteil ist diese Ausführungsvariante deshalb, weil sich so eine Möglichkeit bietet, Landewinkel in der Objektebene bzw. auf der Probe zu korrigieren: Grundsätzlich ist es so, dass in der Objektebene auftretende Bildfehler proportional zur bildseitigen Brennweite sind. Um eine kurze Brennweite der Objektivlinse, was zu kleineren Fehlern führt, zu erzielen, kann mit magnetischer Immersion gearbeitet werden. Dies führt aber dazu, dass die Objektebene noch innerhalb des Magnetfeldes liegt. Auf die Objektebene beziehungsweise das Objekt auftreffende Einzel-Teilchenstrahlen erfahren deswegen eine Larmordrehung, die beispielsweise proportional zum Radius R beziehungsweise dem Abstand von der optischen Achse Z ist. Die Einzel-Teilchenstrahlen verfügen also über einen Drehimpuls bezüglich der optischen Achse Z . Dieser Drehimpuls kann an der Quelle durch das Vorsehen eines entsprechend geformten Magnetfeldes kompensiert werden. So wird ein telezentrisches Landen der Einzel-Teilchenstrahlen in der Objektebene ermöglicht. Dies ist insbesondere bei der Untersuchung von sogenannten HAR-Strukturen („High Aspect Ratio Structures“) erforderlich,

bei denen das Verhältnis von Breite zu Tiefe etwa 1:100 oder mehr betragen kann.

[0038] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das durch das Magnetfelderzeugungsmittel erzeugte Magnetfeld eine Komponente senkrecht und/oder eine Komponente parallel zur Emissionsrichtung der geladenen Teilchen aus der Multiquelle auf.

[0039] Die senkrechte Komponente sorgt dabei für eine Ablenkung beziehungsweise das Aufprägen eines generalisierten Drehimpulses auf die Elektronen im Magnetfeld.

[0040] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante ist das Magnetfelderzeugungsmittel derart ausgebildet, dass eine durch das Magnetfeld hervorgerufene Startwinkelverteilung der geladenen Teilchen nach dem Austritt aus der Teilchenquelle abhängig ist vom radialen Abstand der jeweiligen Teilchenquelle zur optischen Achse des Teilchenstrahlensystems. Dies ermöglicht auf besonders vorteilhafte Weise eine Korrektur der auftretenden Larmordrehung innerhalb der Objektebene, die proportional zum Abstand r des Auftreffortes von der optischen Achse Z ist.

[0041] Die Magnetfelderzeugungsmittel können dabei ein- oder mehrteilig ausgebildet sein. Sie können zum Beispiel über Polstücke verfügen, in denen in geeigneter Weise Spulen angeordnet sind. Dabei ist es vorteilhaft, die Magnetfelderzeugungsmittel an der dem Strahlengang abgewandten Seite des Teilchenstrahlensystems anzuordnen, zum Beispiel oberhalb der Teilchen-Multiquelle oder oberhalb des gesamten Multiquellensystems.

[0042] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Teilchenstrahlensystem des Weiteren Folgendes auf:

- ein Kondensorenliniensystem, das in Richtung des Strahlenganges nach dem Multiquellensystem und vor dem final strahlformenden System angeordnet ist;
- ein Feldlinsensystem, das in Richtung des Strahlenganges nach dem final strahlformenden System angeordnet ist; und
- ein Objektivlinsensystem, das in Richtung des Strahlenganges nach dem Feldlinsensystem angeordnet ist,

wobei zwischen dem final strahlformenden System und dem Feldlinsensystem eine Zwischenbildebene gebildet ist.

[0043] Das final strahlformende System ist im Strahlengang - wie bereits ausgeführt - nach dem Multiquellensystem angeordnet und dient dazu, die Ein-

zel-Teilchenstrahlen für die nachfolgende teilchenoptische Abbildung zu formen. Die Formung der Einzel-Teilchenstrahlen mittels des final strahlformenden Systems erfolgt dabei bei verhältnismäßig hohen Energien der Einzel-Teilchenstrahlen und somit mit hoher Präzision. Diese Präzision ist mitentscheidend für die Güte der nachfolgenden teilchenoptischen Abbildung von der Zwischenbildebene auf die Objektebene. In der Zwischenbildebene liegen dabei die Bilder der Multiquellen, sie können also als virtuelle Teilchenquellen für die folgende Abbildung von der Zwischenbildebene in die Objektebene angesehen werden.

[0044] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das final strahlformende System Folgendes auf:

- eine finale Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von Öffnungen, welche so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen teilweise auf die finale Multiaperturplatte auftreffen und dort absorbiert werden und teilweise die Öffnungen der finalen Multiaperturplatte durchsetzen, und
- ein drittes Multi-Linsen-Array, welches eine Vielzahl von einstellbaren Teilchenlinsen aufweist und welches im Strahlengang nach der finalen Multiaperturplatte derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die finale Multiaperturplatte durchsetzen, das dritte Multi-Linsen-Array im Wesentlichen ebenfalls durchsetzen,

wobei die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet ist, den Teilchenlinsen des dritten Multi-Linsen-Arrays eine einstellbare Erregung zuzuführen.

[0045] Dabei ist es möglich, dass sämtliche Linsen des dritten Multi-Linsen-Arrays dieselbe Erregung erfahren, es ist aber auch möglich, dass die Linsen des Multi-Linsen-Arrays individuell verschieden erregt werden. Nur die für die teilchenoptische Abbildung geeigneten oder bestimmten Anteile der Einzel-Teilchenstrahlen durchsetzen die finale Multiaperturplatte. Mittels der finalen Multiaperturplatte werden die Einzel-Teilchenstrahlen also geometrisch geformt. Demgegenüber werden die Einzel-Teilchenstrahlen mittels des dritten Multi-Linsen-Arrays fokussiert und insbesondere auf eine Zwischenbildebene abgebildet.

[0046] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das final strahlformende System alternativ Folgendes auf:

- eine finale Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von Öffnungen, welche so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen teilweise auf die finale Multiaperturplatte auftreffen und dort absorbiert werden und teilweise die Öffnungen der finalen Multiaperturplatte durchsetzen;

eine Multi-Linsenplatte mit einer Vielzahl von Öffnungen, die im Strahlengang nach der finalen Multiaperturplatte so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die finale Multiaperturplatte durchsetzen, auch die Multi-Linsenplatte durchsetzen; und

mindestens eine erste Aperturplatte, die eine einzelne Öffnung aufweist und die im Strahlengang nach der Multi-Linsenplatte derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die Multi-Linsenplatte durchsetzen, auch die Öffnung der mindestens ersten Aperturplatte durchsetzen; und

wobei die Steuerung des Weiteren eingerichtet ist, der mindestens einen ersten Aperturplatte eine einstellbare Erregung zuzuführen. Es können auch zwei, drei, vier oder mehr Aperturplatten vorgesehen sein, denen dann jeweils von der Steuerung eine einstellbare Erregung zuführbar ist.

[0047] Bevorzugt weist das Teilchenstrahlsystem dabei des Weiteren ein zweites Multi-Deflektor-Array auf, das im Strahlengang dicht vor der finalen Multiaperturplatte angeordnet ist, wobei die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet ist, dem zweiten Multi-Deflektor-Array individuell einstellbare Erregungen zuzuführen und so die Einzel-Teilchenstrahlen individuell abzulenken.

[0048] Mit Hilfe dieser Ausführungsvariante kann der Abstand zwischen den Einzel-Teilchenstrahlen in der Zwischenbildebene beeinflusst werden. Konkret ist es durch Design der globalen elektrostatischen Elektrode(n) unterhalb der Multi-Linsenplatte möglich, eine negative Bildfeldwölbung in der Zwischenbildebene zu erzeugen. Die Größe dieser negativen Bildfeldwölbung kann so gewählt werden, dass sie eine nachfolgend auftretende (positive) Bildfeldwölbung bei der teilchenoptischen Abbildung von der Zwischenbildebene in die Objektebene genau kompensiert. Es ist dann also keine weitere Bildfeldwölbungskorrektur mehr erforderlich.

[0049] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist das Kondensorlinsen-System ein oder mehrere globale Kondensorlinsen, insbesondere einen elektrostatischen oder magnetischen Doppelkondensator, auf. Es ist aber auch möglich, dass das Kondensorlinsen-System ein Kondensorlinsen-Array mit einer Vielzahl von Öffnungen aufweist, die von den Einzel-Teilchenstrahlen durchsetzt werden. Bezüglich des Kondensorlinsen-Systems besteht also die Wahl zwischen einem globalen Linsensystem und einem Mikrolinsensystem.

[0050] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Objektivlinsensystem eine globale magnetische Objektivlinse auf. Dabei ist es so, dass sämtliche Einzel-Teilchenstrah-

len dieselbe (große) Öffnung der magnetischen Objektivlinse durchsetzen. Alternativ ist es aber auch möglich, dass das Objektivlinsensystem ein Objektivlinsen-Array mit einer Vielzahl von Öffnungen aufweist, das im Strahlengang derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen die Öffnungen des Objektivlinsen-Arrays durchsetzen. In diesem Fall ist es so, dass das Objektivlinsen-Array im Wesentlichen ein Einzellinsen-Array darstellt. Auch andere Ausführungsvarianten sind möglich. Es ist aber jedenfalls so, dass das Objektivlinsen-Array als ein Beispiel für ein Mikrolinsen-Array wiederum mit MEMS-Technik herstellbar ist. Das vorangegangene Feldlinsensystem hat eine fokussierende Wirkung auf die Einzel-Teilchenstrahlen. Das bedeutet, dass die Einzel-Teilchenstrahlen in Richtung auf das Objektivlinsensystem einen Cross-Over formen. Vorteilhafterweise liegt dieser Cross-Over vor der Objektivlinse. Wird nun ein Objektivlinsen-Array und keine globale magnetische Objektivlinse verwendet, so kann der im teilchenoptischen Strahlengang sonst notwendige Cross-Over der Einzel-Teilchenstrahlen auch entfallen. Dies hat Vorteile aufgrund des Coulomb-Effektes. Das Objektivlinsen-Array wird dabei kurz vor dem sonst vorhandenen Cross-Over der Einzel-Teilchenstrahlen angeordnet, was allerdings zur Folge hat, dass der Lochabstand in dem Objektivlinsen-Array deutlich kleiner ist als der Abstand der Einzel-Teilchenstrahlen in der Zwischenbildebene. Bevorzugt ist somit zwischen dem Feldlinsensystem und der Objektebene kein Cross-Over der Einzel-Teilchenstrahlen vorgesehen. Insbesondere ist dann im Bereich des Objektivlinsensystems kein Cross-Over vorgesehen.

[0051] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung bezieht sich diese auf ein Mehrstrahl-Teilchenmikroskop mit einem Teilchenstrahlensystem, wie dies oben in mehreren Ausführungsvarianten beschrieben worden ist. Dabei kann das Mehrstrahl-Teilchenmikroskop in an sich bekannter Weise über einen Strahlteiler verfügen, um Primär-Teilchenstrahlen von Sekundär-Teilchenstrahlen zu trennen. Des Weiteren kann es in an sich bekannter Weise über eine Detektionseinheit verfügen, die eine orts aufgelöste Detektion von Sekundär-Elektronenstrahlen ermöglicht.

[0052] Die Erfindung wird noch besser verstanden werden unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren. Dabei zeigen:

Fig. 1 zeigt ein Mehrstrahl-Teilchenmikroskop in schematischer Darstellung;

Fig. 2 zeigt ein Multiquellensystem gemäß der Erfindung in schematischer Darstellung;

Fig. 3 zeigt ein Teilchenstrahlensystem mit einem Multiquellensystem und weiteren Systemkomponenten in schematischer Darstellung;

Fig. 4 zeigt ein Teilchenstrahlensystem mit einem Multiquellensystem und mit einem Objektivlinsen-Array und weiteren Systemkomponenten in schematischer Darstellung;

Fig. 5 zeigt ein Teilchenstrahlensystem zur Richtungskorrektur von Einzel-Teilchenstrahlen;

Fig. 6 zeigt Magnetfelderzeugungsmittel oberhalb einer Teilchen-Multiquelle gemäß einem ersten Beispiel;

Fig. 7 zeigt Magnetfelderzeugungsmittel in Höhe einer Teilchen-Multiquelle gemäß einem zweiten Beispiel; und

Fig. 8 zeigt Magnetfelderzeugungsmittel oberhalb einer Teilchen-Multiquelle gemäß einem dritten Beispiel.

[0053] **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung eines Teilchenstrahlensystems **1** in Form eines Mehrstrahl-Teilchenmikroskops **1**, welches eine Vielzahl von Teilchenstrahlen einsetzt. Das Teilchenstrahlensystem **1** erzeugt eine Vielzahl von Teilchenstrahlen, welche auf ein zu untersuchendes Objekt treffen, um dort Wechselwirkungsprodukte, bspw. Sekundärelektronen, zu generieren, welche von dem Objekt ausgehen und nachfolgend detektiert werden. Das Teilchenstrahlensystem **1** ist vom Rasterelektronenmikroskop-Typ („scanning electron microscope“, SEM), welches mehrere primäre Teilchenstrahlen **3** einsetzt, die an mehreren Orten **5** auf eine Oberfläche des Objekts **7** auftreffen und dort mehrere räumlich voneinander getrennte Elektronenstrahlflecken oder Spots erzeugen. Das zu untersuchende Objekt **7** kann von einer beliebigen Art sein, bspw. ein Halbleiterwafer oder eine biologische Probe, und eine Anordnung miniaturisierter Elemente oder dergleichen umfassen. Die Oberfläche des Objekts **7** ist in einer ersten Ebene **101** (Objektebene) einer Objektivlinse **102** eines Objektivlinsensystems **100** angeordnet.

[0054] Der vergrößerte Ausschnitt I_1 der **Fig. 1** zeigt eine Draufsicht auf die Objektebene **101** mit einem regelmäßigen rechtwinkligen Feld **103** von Auftrefforten **5**, welche in der ersten Ebene **101** gebildet werden. In **Fig. 1** beträgt die Zahl der Auftrefforte 25, welche ein 5×5 -Feld **103** bilden. Die Zahl 25 an Auftrefforten ist eine aus Gründen der vereinfachten Darstellung gewählte Zahl. In der Praxis kann die Zahl an Strahlen, und damit die Zahl der Auftrefforte, wesentlich größer gewählt werden, wie bspw. 20×30 , 100×100 und dergleichen.

[0055] In der dargestellten Ausführungsform ist das Feld **103** von Auftrefforten **5** ein im Wesentlichen regelmäßiges rechtwinkliges Feld mit einem konstanten Abstand P_1 zwischen benachbarten Auftrefforten. Beispielhafte Werte des Abstands P_1 sind 1 Mikrometer, 10 Mikrometer und 40 Mikrometer. Es ist jedoch

auch möglich, dass das Feld **103** andere Symmetrien aufweist, wie bspw. eine hexagonale Symmetrie.

[0056] Ein Durchmesser der in der ersten Ebene **101** geformten Strahlflecken kann klein sein. Beispielhafte Werte dieses Durchmessers betragen 1 Nanometer, 5 Nanometer, 10 Nanometer, 100 Nanometer und 200 Nanometer. Das Fokussieren der Partikelstrahlen **3** zur Formung der Strahlflecken **5** erfolgt durch das Objektivlinsensystem **100**.

[0057] Die auf das Objekt treffenden Primärteilchen generieren Wechselwirkungsprodukte bspw. Sekundärelektronen, Rückstreuielektronen oder Primärteilchen, die aus anderweitigen Gründen eine Bewegungsumkehr erfahren haben, welche von der Oberfläche des Objekts **7** oder von der ersten Ebene **101** ausgehen. Die von der Oberfläche des Objekts **7** ausgehenden Wechselwirkungsprodukte werden durch die Objektivlinse **102** zu sekundären Teilchenstrahlen **9** geformt. Das Teilchenstrahlensystem **1** stellt einen Teilchenstrahlengang **11** bereit, um die Vielzahl sekundärer Teilchenstrahlen **9** einem Detektorsystem **200** zuzuführen. Das Detektorsystem **200** umfasst eine Teilchenoptik mit einer Projektionslinse **205**, um die sekundären Teilchenstrahlen **9** auf einen Teilchen-Multi-Detektor **209** zu richten.

[0058] Der Ausschnitt I_2 in **Fig. 1** zeigt eine Draufsicht auf die Ebene **211**, in welcher einzelne Detektionsbereiche des Teilchen-Multi-Detektors **209** liegen, auf welche die sekundären Teilchenstrahlen **9** an Orten **213** auftreffen. Die Auftrefforte **213** liegen in einem Feld **217** mit einem regelmäßigen Abstand P_2 zueinander. Beispielhafte Werte des Abstands P_2 sind 10 Mikrometer, 100 Mikrometer und 200 Mikrometer.

[0059] Die primären Teilchenstrahlen **3** werden in einer Strahlerzeugungsvorrichtung **300** erzeugt, welche wenigstens eine Teilchenquelle **301** (z.B. eine Elektronenquelle), wenigstens eine Kollimationslinse **303**, eine Multiaperturanordnung **305** und eine Feldlinse **307**, oder ein Feldlinsensystem aus mehreren Feldlinsen, umfasst. Die Teilchenquelle **301** erzeugt mindestens einen divergierenden Teilchenstrahl **309**, welcher durch die wenigstens eine Kollimationslinse **303** kollimiert oder zumindest weitgehend kollimiert wird, um einen Strahl **311** zu formen, welcher die Multiaperturanordnung **305** beleuchtet.

[0060] Der Ausschnitt I_3 in **Fig. 1** zeigt eine Draufsicht auf die Multiaperturanordnung **305**. Die Multiaperturanordnung **305** umfasst eine Multiaperturplatte **313**, welche eine Mehrzahl von darin ausgebildeten Öffnungen bzw. Aperturen **315** aufweist. Mittelpunkte **317** der Öffnungen **315** sind in einem Feld **319** angeordnet, welches auf das Feld **103** abgebildet wird, welches durch die Strahlflecken **5** in der Objektebene **101** gebildet wird. Ein Abstand P_3 der Mittelpunkte

317 der Aperturen **315** voneinander kann beispielhafte Werte von 5 Mikrometer, 100 Mikrometer und 200 Mikrometer aufweisen. Die Durchmesser D der Aperturen **315** sind kleiner als der Abstand P_3 der Mittelpunkte der Aperturen. Beispielhafte Werte der Durchmesser D sind $0,2 \times P_3$, $0,4 \times P_3$ und $0,8 \times P_3$.

[0061] Teilchen des beleuchtenden Teilchenstrahles **311** durchsetzen die Aperturen **315** und bilden Teilchenstrahlen **3**. Teilchen des beleuchtenden Strahles **311**, welche auf die Platte **313** treffen, werden durch diese abgefangen und tragen nicht zur Bildung der Teilchenstrahlen **3** bei.

[0062] Die Multiaperturanordnung **305** fokussiert aufgrund eines angelegten elektrostatischen Felds jeden der Teilchenstrahlen **3** derart, dass in einer Ebene **325** Strahlfoki **323** gebildet werden.

[0063] Alternativ können die Strahlfoki **323** virtuell sein. Ein Durchmesser der Strahlfoki **323** kann bspw. 10 Nanometer, 100 Nanometer und 1 Mikrometer betragen.

[0064] Die Feldlinse **307** und die Objektivlinse **102** stellen eine erste abbildende Teilchenoptik bereit, um die Ebene **325**, in der die Strahlfoki **323** gebildet werden, auf die erste Ebene **101** abzubilden, so dass dort ein Feld **103** von Auftrefforten **5** bzw. Strahlflecken entsteht. Soweit in der ersten Ebene eine Oberfläche des Objekts **7** angeordnet ist, werden die Strahlflecken entsprechend auf der Objektoberfläche gebildet.

[0065] Die Objektivlinse **102** und die Projektionslinsenanordnung **205** stellen eine zweite abbildende Teilchenoptik bereit, um die erste Ebene **101** auf die Detektionsebene **211** abzubilden. Die Objektivlinse **102** ist somit eine Linse, welche sowohl Teil der ersten als auch der zweiten Teilchenoptik ist, während die Feldlinse **307** nur der ersten Teilchenoptik und die Projektionslinse **205** nur der zweiten Teilchenoptik angehören.

[0066] Eine Strahlweiche **400** ist in dem Strahlengang der ersten Teilchenoptik zwischen der Multiaperturanordnung **305** und dem Objektivlinsensystem **100** angeordnet. Die Strahlweiche **400** ist auch Teil der zweiten Optik im Strahlengang zwischen dem Objektivlinsensystem **100** und dem Detektorsystem **200**.

[0067] Weitergehende Informationen zu solchen Vielstrahl-Teilchenstrahlensystemen und darin eingesetzten Komponenten, wie etwa Teilchenquellen, Multiaperturplatte und Linsen, kann aus den internationalen Patentanmeldungen WO 2005/ 024881, WO 2007/028595, WO 2007/028596, WO 2011/124352 und WO 2007/060017 und den deutschen Patentanmeldungen mit den Anmeldeummern

DE 10 2013 026 113.4 und DE 10 2013 014 976.2 erhalten werden, deren Offenbarung vollumfänglich durch in Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung aufgenommen wird.

[0068] Das Vielzahl-Teilchenstrahlsystem weist weiterhin ein Computersystem **10** auf, das sowohl zur Steuerung der einzelnen teilchenoptischen Komponenten des Vielzahl-Teilchenstrahlsystems ausgebildet ist, als auch zur Auswertung und Analyse der mit dem Multi-Detektor **209** gewonnenen Signale. Das Computersystem **10** kann dabei aus mehreren Einzelcomputern oder Komponenten aufgebaut sein. Es kann auch die erfindungsgemäße Steuerung beinhalten.

[0069] Fig. 2 zeigt ein Multiquellensystem **500** gemäß der Erfindung in schematischer Darstellung. Das Multiquellensystem **500** weist dabei eine Teilchen-Multiquelle auf, die im dargestellten Beispiel durch die Teilchenquellen **501**, **502**, **503** und **504** illustriert wird. Bei der Teilchen-Multiquelle handelt es sich um ein Elektronen-Emitter-Array, welches mit MEMS-Technik gefertigt ist. Bei den emittierten geladenen Teilchen handelt es sich um Elektronen, die beispielsweise durch Feldemission erzeugt werden. Sie bilden die Einzel-Teilchenstrahlen **3**. Die Einzel-Teilchenstrahlen **3** werden im Multiquellensystem **500** vorgeformt, da die Leuchtdichte der einzelnen Quellen **501**, **502**, **503** und **504** voneinander abweichen kann. Konkret wird die Strahlstromstärke der Einzel-Teilchenstrahlen **3** mittels des Multiquellensystems **500** eingestellt. Auch eine weitergehende (grobe oder vorläufige) Strahlformung ist möglich beziehungsweise schematisch illustriert.

[0070] Konkret verlassen die Elektronen die Spitzen der Quellen **501**, **502**, **503** und **504**, wobei die Spitzen **511**, **512**, **513** und **514** durch die Spitze des „V“ angedeutet sind.

[0071] Nach der Emission durchsetzen die Einzel-Teilchenstrahlen **3** die erste Multiaperturplatte **521**, an der im dargestellten Beispiel eine Spannung U_1 angelegt ist. Die erste Multiaperturplatte **521** dient dabei als Extraktor-Elektrode. Die Öffnungen der ersten Multiaperturplatte **521** sind dabei so gewählt, dass die erste Aperturplatte **521** Teile der emittierten Einzel-Teilchenstrahlen blockt.

[0072] Im Strahlengang nach der ersten Multiaperturplatte **521** ist ein erstes Multi-Linsen-Array **523** angeordnet. Dieses weist eine Vielzahl von individuell einstellbaren Teilchenlinsen auf, die in Fig. 2 durch die flachen Zylinder angedeutet sind. Es kann sich hierbei beispielsweise um Ringelektroden handeln. Am ersten Multi-Linsen-Array **523** liegt im gezeigten Beispiel eine Spannung $U_2 + V_i$ an. Die Teilchenlinsen des ersten Multi-Linsen-Arrays **523** können dabei über die Steuerung **10** angesteuert werden. Die

Steuerung **10** ist dazu eingerichtet, den Teilchenlinsen eine individuell einstellbare Erregung zuzuführen und so für jeden Einzel-Teilchenstrahl **3** die Fokussierung der zugehörigen Teilchenlinse individuell einzustellen. Im Strahlengang nach dem ersten Multi-Linsen-Array **523** ist eine zweite Multiaperturplatte **522** angeordnet. An dieser liegt im gezeigten Beispiel wiederum im Wesentlichen die Spannung U_1 an. Die erste Multiaperturplatte **521**, das erste Multi-Linsen-Array **523** und die zweite Multiaperturplatte **522** bilden somit eine Sequenz von Einzellinsen für die Einzel-Teilchenstrahlen **3**. Es ergibt sich insgesamt eine fokussierende Wirkung auf die Einzel-Teilchenstrahlen.

[0073] Abhängig davon, wie groß die Spannung V_i gewählt wird, ist die fokussierende Wirkung auf die Einzel-Teilchenstrahlen verschieden. Sie werden unterschiedlich fokussiert beziehungsweise unterschiedlich stark aufgeweitet. Dies erschließt sich bei der Betrachtung der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte **524**, die im Strahlengang nach der zweiten Multiaperturplatte **522** angeordnet ist. Die Öffnungen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte **524** sind vom Durchmesser her kleiner als die Öffnungen in der zweiten Multiaperturplatte **522** und im ersten Multi-Linsen-Array **523**. Im Übrigen sind aber sämtliche Platten beziehungsweise Arrays so angeordnet, dass ihre Öffnungen zentriert übereinander liegen. Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung können die zweite Multiaperturplatte **522** und die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte **524** auch funktional miteinander kombiniert oder zusammengefasst werden.

[0074] Im gezeigten Beispiel ist die Spannung V_1 so gewählt, dass die zugehörige Linse stark erregt wird beziehungsweise der Einzel-Teilchenstrahl **3** stark fokussiert wird. Er tritt dabei fast vollständig durch die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte **524** hindurch. Demgegenüber sind die zweite und vierte Linse des ersten Multi-Linsen-Arrays **523** weniger stark erregt und der hindurchtretende Einzel-Teilchenstrahl **3** ist stärker aufgeweitet. In der Konsequenz wird ein größerer Anteil der zugehörigen Einzel-Teilchenstrahlen **3** an der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte **524** geblockt. Die dritte Linse im ersten Multi-Linsen-Array **523** ist am wenigsten stark angespannt und der zugehörige Einzel-Teilchenstrahl **3** ist am stärksten aufgeweitet. Entsprechend werden hier an der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte **524** große Teile des Einzel-Teilchenstrahles **3** geblockt. Die Spannungen an den Linsen im ersten Multi-Linsen-Array **523** können gezielt nun so gewählt werden, dass die Strahlstromstärke der Einzel-Teilchenstrahlen **3** nach dem Durchtritt durch die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte **524** in etwa gleich groß ist. Auf diese Weise können die unterschiedlichen Leuchtdichten der Quellen **501**, **502**, **503** und **504** korrigiert beziehungsweise für die nachfolgende teilchenoptische Abbildung

vorkorrigiert werden. Bevorzugt gilt unmittelbar nach dem Durchsetzen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte **524** für Abweichungen δ der einzelnen Strahlströme von einem arithmetischen Mittelwert der Strahlströme folgende Relation gilt: $\delta \leq 5\%$, bevorzugt $\delta \leq 2\%$ und höchst bevorzugt $\delta \leq 1\%$.

[0075] Im Strahlengang unterhalb der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte **524** ist ein Multi-Deflektor-Array **525** vorgesehen. Dieses Multi-Deflektor-Array kann ebenfalls durch die Steuerung **10** erregt werden. Dabei ist es möglich, jede Öffnung in dem Array **525** gezielt und individuell mit einer Spannung U_2 zu beaufschlagen. Abhängig von der angelegten Spannung und der Richtung des elektrischen Feldes in dem Deflektor kann die Richtung der Einzel-Teilchenstrahlen **3** korrigiert werden. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn der Strahl **3** nicht exakt parallel zur optischen Achse **Z** (nicht dargestellt) auf die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte **524** auftrifft. Dies kann dann der Fall sein, wenn die Sequenz der Platten nicht exakt zueinander ausgerichtet ist; die Präzision bei der Ausrichtung der Platten zueinander ist in der Praxis begrenzt, was zum Beispiel zu verkippten Strahlachsen führt. Die Korrekturfunktion eines Deflektors des Multi-Deflektor-Arrays **525** ist beispielhaft für den Einzel-Teilchenstrahl **3** ganz rechts, der der Quelle **504** entstammt, dargestellt: Der Einzel-Teilchenstrahl **3** wird hier stark nach links abgelenkt.

[0076] Zusätzlich verfügt das Multiquellensystem **500** im gezeigten Beispiel über ein Multi-Stigmator-Array **526**.

[0077] Sämtliche Komponenten des Multiquellensystems **500** können in dem gezeigten Beispiel mittels der Steuerung **10** angesteuert werden. Die Steuerung **10** kann dabei identisch sein mit der Gesamtsteuerung eines Mehrstrahl-Teilchenmikroskops **1**. Es kann sich aber auch um eine separate Steuerung **10** handeln.

[0078] Die Abmessungen des Multiquellensystems **500** sind dabei in Richtung der optischen Achse **Z** (nicht eingezeichnet) verhältnismäßig klein: Die Gesamtausdehnung in Richtung der optischen Achse **Z** kann im dargestellten Beispiel weniger als 20 mm betragen.

[0079] Fig. 3 zeigt ein Teilchenstrahlensystem **1** mit einem Multiquellensystem **500** und weiteren Systemkomponenten in schematischer Darstellung. Die Strahlengänge sind stark vereinfacht dargestellt. Konkret zeigt Fig. 3 die Integration des erfindungsgemäßen Multiquellensystems **500** in bereits existierende Teilchenstrahlensysteme **1**. Mittels des Multiquellensystems **500** wird eine Vielzahl von Einzel-Teilchenstrahlen **3** erzeugt und die Einzel-Teilchenstrahlen **3** werden einer Vor-Formung unterzogen. Insbesondere

re wird dabei die unterschiedliche Leuchtdichte der Quellen **501**, **502**, **503** kompensiert. Im Strahlengang nach dem Multiquellensystem **500** ist ein Kondensorlinsen-System CL1..N angeordnet. Hierbei kann es sich um ein Mehrfach-Kondensorlinsen-System handeln. Es wäre aber auch möglich, die globalen Kondensorlinsen CL1..N durch ein Kondensorlinsen-Array zu ersetzen.

[0080] Im Strahlengang nach dem Kondensorlinsen-System CL1..N ist das final strahlformende System **600** angeordnet. Dieses ist nur schematisch und stark vereinfacht dargestellt. Es umfasst die finale Multiaperturplatte. Es kann jedoch noch weitere teilchenoptische Komponenten aufweisen, wie zum Beispiel ein drittes Multi-Linsen-Array oder ein Stigmator-Array. Wichtig ist, dass mittels des final strahlformenden Systems **600** die finale Strahlformung für die Einzel-Teilchenstrahlen **3** erfolgt, die eine Abbildung hoher Qualität erlauben. Dabei werden mittels der finalen Multiaperturplatte die Einzel-Teilchenstrahlen beschnitten und nur noch die mittig angeordneten Einzel-Teilchenstrahl-Bestandteile durchsetzen die finale Multiaperturplatte. Aberrationen, die in dem Multiquellensystem **500** bei der Strahlformung aufgetreten sind, oder die noch im weiteren Strahlengang auftreten werden, können so im weiteren Strahlengang eliminiert oder kompensiert werden. Nach dem Durchsetzen des final strahlformenden Systems **600** werden die Einzel-Teilchenstrahlen **3** in die Zwischenbildebene **325** fokussiert. Im Hinblick hierauf ist die Darstellung in Fig. 3 ebenfalls sehr stark vereinfacht, um eine entsprechende Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Die in die Zwischenbildebene **325** fokussierten Einzel-Teilchenstrahlen **3** werden dann durch die nachfolgende teilchenoptische Abbildung in die Objektebene **101** abgebildet. Dazu durchsetzen sie zunächst ein Feldlinsensystem FL1..N, von dem die Einzel-Teilchenstrahlen **3** fokussiert werden. Die Einzel-Teilchenstrahlen **3** überkreuzen sich im Cross-Over **401**, bevor sie durch die globale Objektivlinse **102**, hier eine globale magnetische Objektivlinse **102**, fokussiert und an Auftrefforten **5** auf die Probe **7** in der Objektebene **101** abgebildet werden. Von den Auftrefforten **5** gehen Sekundär-Elektronenstrahlen **9** aus, die mittels einer Strahlweiche **400** von den Primär-Strahlen **3** getrennt werden. Das Detektionssystem **200** mit einem Teilchen-Multi-Detektor **209** ist in Fig. 3 der Einfachheit halber nicht dargestellt.

[0081] Zusammengefasst zeigt Fig. 3 die Kombination des erfindungsgemäßen Multiquellensystems **500** und des final strahlformenden Systems **600** mit globalen Linsenelementen.

[0082] Fig. 4 zeigt ein weiteres Teilchenstrahlensystem **1** mit einem Multiquellensystem **500** und weiteren Systemkomponenten in schematischer Darstellung. Die Strahlengänge sind stark vereinfacht dargestellt. Gleiche Bezugszeichen in den Figuren bezeichnen

gleiche Elemente. Es wird im Folgenden nur auf die Unterschiede zwischen den **Fig. 3** und **Fig. 4** näher eingegangen. Anders als in **Fig. 3** beinhaltet **Fig. 4** ein Objektivlinsen-Array **102a**. Dieses ist schematisch dargestellt und kann beispielsweise durch ein Einzellinsen-Array realisiert sein. Anders als in **Fig. 3** weist das Teilchenstrahlsystem **1** keinen Cross-Over **401** auf. Das Objektivlinsen-Array **102a** ist im Strahlengang der Teilchen so weit oben beziehungsweise vorn angeordnet, dass das Objektivlinsen-Array **102a** vor dem (potenziellen) Cross-Over **401** angeordnet ist. Ein Verzicht auf den Cross-Over **401** hat Vorteile hinsichtlich der Unterdrückung des Coulomb-Effekts. Insgesamt zeigt **Fig. 4** also eine Kombination des erfindungsgemäßen Multiquellen-systems **500** und des final strahlformenden Systems **600** sowohl mit globalen Linsenelementen (Kondensorlinsen-System CL1..N und Feldlinsensystem FL1..N) als auch mit einem weiteren Mikrolinsensystem, das in Form des Objektivlinsen-Arrays **102a** vorliegt. Dabei kann das Objektivlinsen-Array **102a** unterschiedlich ausgestaltet sein. Es kann beispielsweise mehrere sequentielle angeordnete Multiaperturplatten umfassen, die in geeigneter Weise und insbesondere mittels der Steuerung **10** mit Spannung beaufschlagt werden. Zusätzlich oder alternativ kann das Objektivlinsen-Array **102a** ein weiteres Multi-Linsen-Array umfassen. Es ist bei der in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsvariante auch möglich, anstelle der Strahlweiche **400** in Kombination mit dem Projektionspfad zur Detektionseinheit (die beiden letzteren sind nicht dargestellt) eine Detektionseinheit im Bereich des Objektivlinsen-Arrays **102a** mit segmentierten Detektoren vorzusehen.

[0083] **Fig. 5** zeigt ein Teilchenstrahlsystem **1** zur Richtungskorrektur von Einzel-Teilchenstrahlen **3** in schematischer und stark vereinfachter Darstellung. Das Multiquellen-system **500** mit seinen Quellen **501**, **502**, **503** und **504** ist in Kombination mit dem final strahlformenden System **600** dargestellt. Das final strahlformende System **600** weist eine finale Multi-Linsenplatte **601** auf, durch die Einzel-Teilchenstrahlen **3a**, **3b**, **3c** und **3d** hindurchtreten. Oberhalb der Multi-Linsenplatte **601** ist eine finale Multiaperturplatte angeordnet (nicht dargestellt). Des Weiteren umfasst das final strahlformende System **600** Aperturplatten **620**, **630** und **640**, an denen zum Beispiel globale elektrische Felder anlegbar sind. Dadurch kann das elektrostatische Feld im Bereich des final strahlformenden Systems **600** gezielt geformt werden. Alternativ ist es auch möglich, hierfür magnetische Felder einzusetzen.

[0084] Konkret wird durch die elektromagnetischen Felder auch das Extraktionsfeld nahe der finalen Multiaperturplatte beeinflusst: Je nach Beschaltung der Elektroden **620**, **630**, **640** mit Spannungen kann das Linsenfeld in der Multi-Linsenplatte **601** unterschiedlich stark ausfallen und damit die Fokussierungswir-

kung auf die einzelnen Strahlen. Insbesondere ist es möglich, durch geeignete Spannungen an den Elektroden **620-640** das Linsenfeld im äußeren Bereich (**3a**, **3d**) schwächer fokussierend auf die einzelnen Teilchenstrahlen wirken zu lassen als im inneren Bereich (**3b**, **3c**). Es ist somit möglich, eine eventuell vorhandene Bildfeldwölbung, deren Fokussverteilung im Bildfeld den entgegengesetzten Verlauf aufweist, zu kompensieren. In diesem Fall wirkt allerdings die Feldverteilung an den Elektroden **620-640** auch verkleinernd auf die Größe des Zwischenbildes, d.h. der Strahlabstand zwischen den Strahlen in der Zwischenbildebene wird kleiner. Ein zwischen dem Multiquellen-system **500** und dem final strahlformenden System **600** angeordnetes Multi-Deflektor-Array **610** trägt dazu bei, den Strahlabstand der Einzel-Teilchenstrahlen **3a**, **3b**, **3c** und **3d** im Zwischenbild (nicht dargestellt) zu korrigieren. Im gezeigten Beispiel werden die Einzel-Teilchenstrahlen **3a** und **3b** jeweils nach links, die Einzel-Teilchenstrahlen **3c** und **3d** durch entsprechende Ansteuerung der Deflektoren im Multi-Deflektor-Array **610** nach rechts abgelenkt. Mit Hilfe dieser Ausführungsvariante kann der Abstand zwischen den Einzel-Teilchenstrahlen **3** in der Zwischenbildebene beeinflusst werden. Konkret ist es möglich, eine negative Bildfeldwölbung in der Zwischenbildebene zu erzeugen. Die Größe dieser negativen Bildfeldwölbung kann so gewählt werden, dass sie eine nachfolgend auftretende (positive) Bildfeldwölbung bei der teilchenoptischen Abbildung von der Zwischenbildebene in die Objektebene genau kompensiert. Es ist dann also keine weitere Bildfeldwölbungskorrektur mehr erforderlich.

[0085] Das Erzeugen eines Magnetfeldes im Bereich der Teilchen-Multiquelle erlaubt es, den emittierten Teilchen beziehungsweise Elektronen gezielt einen generalisierten Drehimpuls aufzuprägen, der nach dem Durchsetzen des Teilchenstrahlsystems insgesamt zu einem telezentrischen Auftreffen der Einzel-Teilchenstrahlen in der Objektebene **101** beiträgt. Es ist möglich, eine durch die magnetische Immersion im Bereich der Objektivlinse verursachte Larmordrehung zu kompensieren. Die **Fig. 6** bis **Fig. 8** zeigen hierzu einige Beispiele:

[0086] **Fig. 6a** zeigt Magnetfelderzeugungsmittel **700** zur Erzeugung eines divergenten Magnetfeldes. Dazu ist in einem um die optische Achse **Z** rotationssymmetrisch ausgebildeten Polschuh **701** eine Vielzahl von Spulenwicklungen **702** vorgesehen. Das Magnetfeld **B** ist gemäß Bezugszeichen **703** orientiert. Projiziert auf die Emitter-Ebene des Multiquellen-systems **500** verfügt das Magnetfeld **B** über eine Komponente senkrecht zur optischen Achse **Z**. Rechtwinklig zu dieser Radialrichtung erfahren emittierte Elektronen eine entsprechende Startwinkelverteilung. In **Fig. 6b** ist schematisch durch die Pfeile ein Startgeschwindigkeitsvektor projiziert auf die Emitter-Ebene dargestellt.

[0087] Fig. 7a zeigt Magnetfelderzeugungsmittel zur Erzeugung eines homogenen Magnetfeldes. Dieses Magnetfeld hat im Wesentlichen keine orthogonale Komponente zur Startrichtung der emittierten Elektronen. Eine entsprechende Startwinkelverteilung ist somit punktuell beziehungsweise nicht vorhanden (vergleiche Fig. 7b).

[0088] Fig. 8a zeigt ein weiteres Beispiel für eine Magnetfeldformung, um den emittierten Elektronen eine dezidierte Startwinkelverteilung im Magnetfeld aufzuprägen. Dargestellt sind zwei konzentrische Polschuhe 701 und 701a, die jeweils über eine Vielzahl von Spulenwicklungen 702 bzw. 702a verfügen. Die Richtung der Magnetfeldlinien ist durch 703 angedeutet. Sie sind zwischen den beiden Poltöpfen 701 und 701a gegenläufig ausgerichtet. Entsprechend ergibt sich auch eine gegenläufige Startwinkelverteilung für die ausgesendeten Elektronen (vergleiche Fig. 8b).

[0089] Ganz allgemein ist es möglich, durch das Vorsehen eines auf bestimmte Weise ausgeprägten Magnetfeldes die Startwinkelverteilung für die Elektronen bei der Emission aus den Multiquellen gezielt zu beeinflussen, um später im Teilchenstrahlsystem 1 beim Auftreffen auf ein Objekt 7 telezentrische Auftreffbedingungen sicherzustellen. Dies ermöglicht insbesondere eine gute Inspektion von HRA-Strukturen.

Bezugszeichenliste

1	Mehrstrahl-Teilchenmikroskop	301	Teilchenquelle
3	primäre Teilchenstrahlen (Einzel-Teilchenstrahlen)	303	Kondensorlinsensystem
5	Strahlflecken, Auftrefforte	305	Multiaperturanordnung
7	Objekt	313	Multiaperturplatte
9	sekundäre Teilchenstrahlen	315	Öffnungen der Multiaperturplatte
10	Computersystem, Steuerung	317	Mittelpunkte der Öffnungen
100	Objektivlinsensystem	319	Feld
101	Objektebene	307	Feldlinsensystem
102	Objektivlinse	309	divergierender Teilchenstrahl
102a	Objektivlinsen-Array	311	beleuchtender Teilchenstrahl
103	Feld	323	Strahlfoki
200	Detektorsystem	325	Zwischenbildebene
205	Projektionslinse	400	Strahlweiche
209	Teilchen-Multi-Detektor	401	Cross-Over
211	Detektionsebene	500	Multiquellensystem
213	Auftrefforte	501	erste Teilchenquelle
217	Feld	502	zweite Teilchenquelle
300	Strahlerzeugungsvorrichtung	503	dritte Teilchenquelle
		504	vierte Teilchenquelle
		511	erste Spitze
		512	zweite Spitze
		513	dritte Spitze
		514	vierte Spitze
		520	Suppressor-Elektrode
		521	erste Multiaperturplatte, Extraktor
		522	zweite Multiaperturplatte, Gegenelektrode
		523	erstes Multi-Linsen-Array
		524	strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte
		525	Multi-Deflektor-Array
		526	Multi-Stigmator-Array
		600	final strahlformendes System
		601	Multi-Linsenplatte
		602	drittes Multi-Linsen-Array
		610	Multi-Deflektor-Array
		620	Aperturplatte
		630	Aperturplatte
		640	Aperturplatte
		650	elektrische Feldlinien
		700	Magnetfelderzeugungsmittel

- 701** Polschuh
- 702** Spule
- 703** Magnetfeld
- Z** optische Achse

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

- WO 2005/024881 A2 [0003]
- US 2017/0025241 A1 [0005]
- DE 102014008083 B4 [0021]
- DE 102014008083 B9 [0033]
- WO 2005/024881 [0067]
- WO 2007/028595 [0067]
- WO 2007/028596 [0067]
- WO 2011/124352 [0067]
- WO 2007/060017 [0067]
- DE 102013026113 [0067]
- DE 102013014976 [0067]

Patentansprüche

1. Teilchenstrahlssystem, das Folgendes aufweist:
 ein Multiquellen-system, umfassend
 eine Teilchen-Multiquelle, die eingerichtet ist, eine Vielzahl von geladenen Einzel-Teilchenstrahlen durch Feldemission zu erzeugen;
 eine erste Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von ersten Öffnungen, die von den Einzel-Teilchenstrahlen zumindest teilweise durchsetzt werden;
 ein erstes Multi-Linsen-Array, welches eine Vielzahl von individuell einstellbaren Teilchenlinsen aufweist und welches im Strahlengang nach der ersten Multiaperturplatte derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die erste Multiaperturplatte durchsetzen, das erste Multi-Linsen-Array ebenfalls durchsetzen;
 eine zweite Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von zweiten Öffnungen, welche im Strahlengang nach dem ersten Multi-Linsen-Array derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die das erste Multi-Linsen-Array durchsetzen, auch die zweite Multiaperturplatte durchsetzen; und
 eine strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von strahlstrombegrenzenden Öffnungen, welche im Strahlengang nach der zweiten Multiaperturplatte so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen teilweise auf die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte auftreffen und dort absorbiert werden und teilweise die Öffnungen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte durchsetzen; und
 eine Steuerung, die dazu eingerichtet ist, den Teilchenlinsen des ersten Multi-Linsen-Arrays eine individuell einstellbare Spannung zuzuführen und so für jeden Einzel-Teilchenstrahl die Fokussierung der zugehörigen Teilchenlinse individuell einzustellen.

2. Teilchenstrahlssystem gemäß dem vorangehenden Anspruch, das des Weiteren Folgendes aufweist:
 ein final strahlformendes System, das im Strahlengang nach dem Multiquellen-system angeordnet ist und mittels dem die Einzel-Teilchenstrahlen final für eine nachfolgende optische Abbildung geformt werden.

3. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die erste Multiaperturplatte als Extraktor-Elektrode ausgebildet ist; und/oder wobei die zweite Multiaperturplatte als Gegen-elektrode ausgebildet ist; und/oder wobei die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte als Anode ausgebildet ist.

4. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,
 wobei an der ersten Multiaperturplatte und an der zweiten Multiaperturplatte eine im Wesentlichen identische erste Spannung (U_1) anliegt, und
 wobei die individuell einstellbaren Spannungen (U_2+V_i) an dem ersten Multi-Linsen-Array im Wesent-

lichen verschieden von der ersten Spannung (U_1) sind.

5. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei für einen Abstand A zwischen der Teilchen-Multiquelle und der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte gilt: $0,1 \text{ mm} \leq A \leq 30 \text{ mm}$, insbesondere $0,1 \text{ mm} \leq A \leq 20 \text{ mm}$ und/oder $0,15 \text{ mm} \leq A \leq 10 \text{ mm}$.

6. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei unmittelbar nach dem Durchsetzen der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte für Abweichungen δ der einzelnen Strahlströme von einem arithmetischen Mittelwert der Strahlströme folgende Relation gilt: $\delta \leq 5\%$, insbesondere $\delta \leq 2\%$ und/oder $\delta \leq 1\%$.

7. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Multiquellen-system des Weiteren eine Suppressor-Elektrode aufweist.

8. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,
 wobei das Multiquellen-system ein zweites Multi-Linsen-Array aufweist, wobei das zweite Multi-Linsen-Array eine Vielzahl von individuell einstellbaren und fokussierenden Teilchenlinsen aufweist und welches im Strahlengang nach der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte derart angeordnet ist, dass die Teilchen der Einzel-Teilchenstrahlen, die die strahlstrombegrenzende Multiaperturplatte durchsetzen, das zweite Multi-Linsen-Array im Wesentlichen ebenfalls durchsetzen; und
 wobei die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet ist, den Teilchenlinsen des zweiten Multi-Linsen-Arrays eine individuell einstellbare Spannung zuzuführen und so für jeden Einzel-Teilchenstrahl die Fokussierung der zugehörigen Teilchenlinse individuell einzustellen.

9. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,
 wobei das Multiquellen-system des Weiteren ein erstes Multi-Deflektor-Array aufweist, das von den Einzel-Teilchenstrahlen durchsetzt wird und das im Strahlengang nach der strahlstrombegrenzenden Multiaperturplatte angeordnet ist; und
 wobei die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet ist, dem ersten Multi-Deflektor-Array individuell einstellbare Erregungen zuzuführen und so die Einzel-Teilchenstrahlen individuell abzulenken.

10. Teilchenstrahlssystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche,
 wobei das Multiquellen-system des Weiteren ein Multi-Stigmator-Array aufweist, das von den Einzel-Teilchenstrahlen durchsetzt wird, und

wobei die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet ist, dem Multi-Stigmator-Array eine einstellbare Erregung zuzuführen.

11. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Multiquellensystem zumindest teilweise mittels MEMS-Technik gefertigt ist.

12. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Teilchen-Multiquelle mindestens einen der folgenden Emitter-Typen aufweist: metallische Emitter, Silizium-basierte Emitter, Kohlenstoff-Nanoröhren-basierte Emitter.

13. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, das des Weiteren Magnetfelderzeugungsmittel aufweist, das so angeordnet ist, dass die Teilchen-Multiquelle in einem Magnetfeld angeordnet ist.

14. Teilchenstrahlsystem gemäß dem vorangehenden Anspruch, wobei das durch das Magnetfelderzeugungsmittel erzeugte Magnetfeld eine Komponente senkrecht und/ oder eine Komponente parallel zur Emissionsrichtung der geladenen Teilchen aus der Multiquelle aufweist.

15. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 14, wobei das Magnetfelderzeugungsmittel derart ausgebildet ist, dass eine durch das Magnetfeld hervorgerufene Startwinkelverteilung der geladenen Teilchen nach dem Austritt aus der Teilchenquelle abhängig ist vom radialen Abstand der jeweiligen Teilchenquelle zur optischen Achse des Teilchenstrahlsystem.

16. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der Ansprüche 2 bis 15, das des Weiteren Folgendes aufweist:

ein Kondensorlinsen-System, das in Richtung des Strahlenganges nach dem Multiquellensystem und vor dem final strahlformenden System angeordnet ist; ein Feldlinsensystem, das in Richtung des Strahlenganges nach dem final strahlformenden System angeordnet ist; und

ein Objektivlinsensystem, das in Richtung des Strahlenganges nach dem Feldlinsensystem angeordnet ist,

wobei zwischen dem final strahlformenden System und dem Feldlinsensystem eine Zwischenbildebene gebildet ist.

17. Teilchenstrahlsystem gemäß dem vorangehenden Anspruch, wobei das final strahlformende System Folgendes aufweist:

eine finale Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von Öffnungen, welche so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen teilweise auf die finale Multiaperturplatte auftreffen und dort absorbiert werden und

teilweise die Öffnungen der finalen Multiaperturplatte durchsetzen, und

ein zweites Multi-Linsen-Array, welches eine Vielzahl von einstellbaren Teilchenlinsen aufweist und welches im Strahlengang nach der finalen Multiaperturplatte derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die finale Multiaperturplatte durchsetzen, das zweite Multi-Linsen-Array im Wesentlichen ebenfalls durchsetzen.

18. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das final strahlformende System Folgendes aufweist:

eine finale Multiaperturplatte mit einer Vielzahl von Öffnungen, welche so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen teilweise auf die finale Multiaperturplatte auftreffen und dort absorbiert werden und teilweise die Öffnungen der finalen Multiaperturplatte durchsetzen;

eine Multi-Linsenplatte mit einer Vielzahl von Öffnungen, die im Strahlengang nach der finalen Multiaperturplatte so angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die finale Multiaperturplatte durchsetzen, auch die Multi-Linsenplatte durchsetzen; und mindestens eine erste Aperturplatte, die eine einzelne Öffnung aufweist und die im Strahlengang nach der Multi-Linsenplatte derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen, die die Multi-Linsenplatte durchsetzen, auch die Öffnung der mindestens ersten Aperturplatte durchsetzen; und

wobei die Steuerung des Weiteren eingerichtet ist, der mindestens einen ersten Aperturplatte eine einstellbare Erregung zuzuführen.

19. Teilchenstrahlsystem gemäß dem vorangehenden Anspruch, das des Weiteren Folgendes aufweist:

ein zweites Multi-Deflektor-Array, das im Strahlengang dicht vor der finalen Multiaperturplatte angeordnet ist; und wobei die Steuerung des Weiteren dazu eingerichtet ist, dem zweiten Multi-Deflektor-Array individuell einstellbare Erregungen zuzuführen und so die Einzel-Teilchenstrahlen individuell abzulenken.

20. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei das Kondensorlinsensystem ein oder mehrere globale Kondensorlinsen, insbesondere einen elektrostatischen oder magnetischen Doppelkondensator, aufweist.

21. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei das Kondensorlinsensystem ein Kondensorlinsen-Array mit einer Vielzahl von Öffnungen aufweist, die von den Einzel-Teilchenstrahlen durchsetzt werden.

22. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der Ansprüche 16 bis 21, wobei das Objektivlinsensystem eine globale magnetische Objektivlinse aufweist.

23. Teilchenstrahlsystem gemäß einem der Ansprüche 16 bis 21, wobei das Objektivlinsensystem ein Objektivlinsen-Array mit einer Vielzahl von Öffnungen aufweist, das im Strahlengang derart angeordnet ist, dass die Einzel-Teilchenstrahlen die Öffnungen des Objektivlinsen-Arrays durchsetzen.

24. Teilchenstrahlsystem gemäß dem vorangehenden Anspruch, wobei zwischen dem Feldlinsensystem und der Objektebene kein Cross-Over der Einzel-Teilchenstrahlen vorgesehen ist.

25. Mehrstrahl-Teilchenmikroskop mit einem Teilchenstrahlsystem gemäß einem der vorangehenden Ansprüche.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

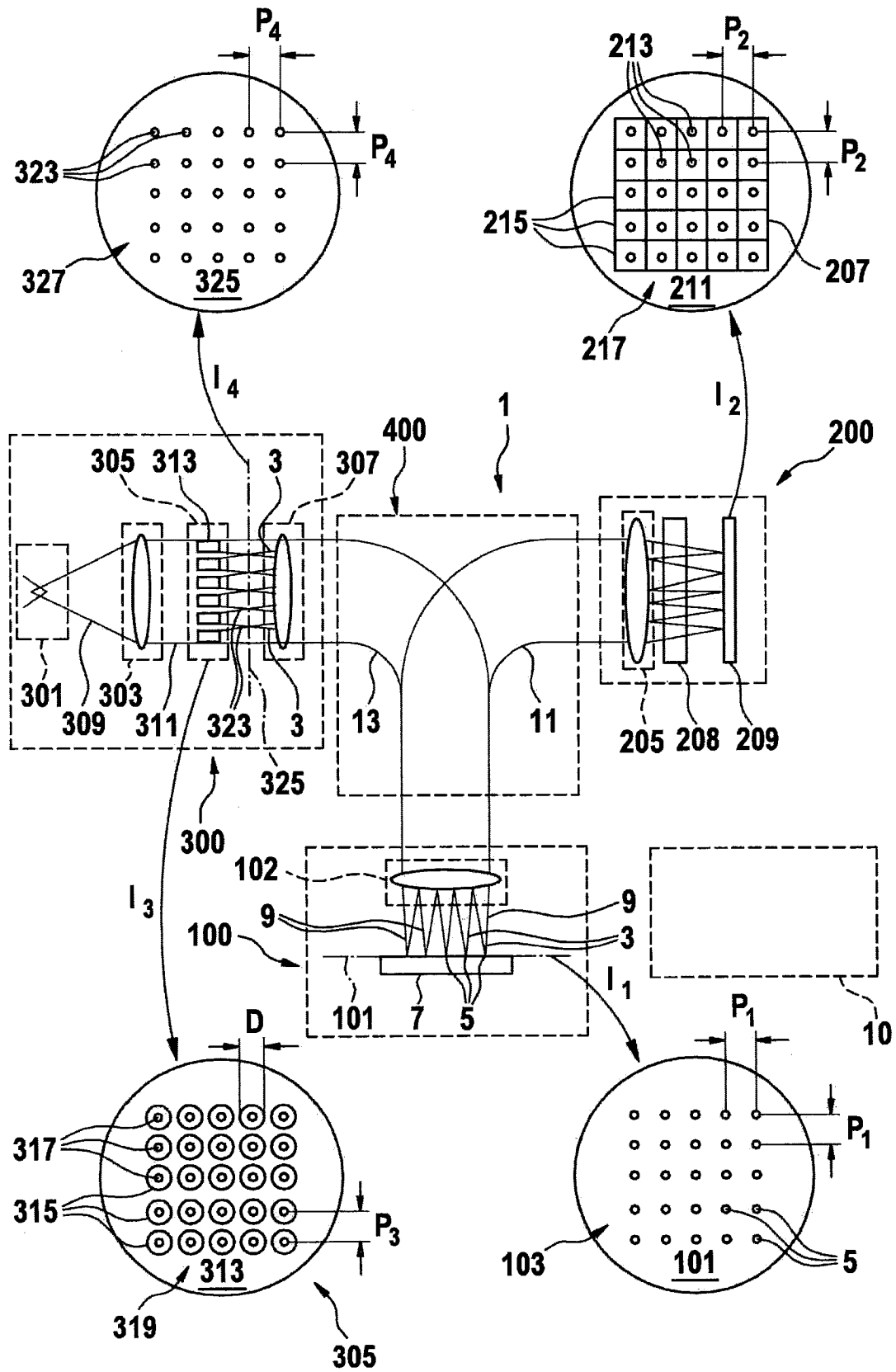


Fig. 1

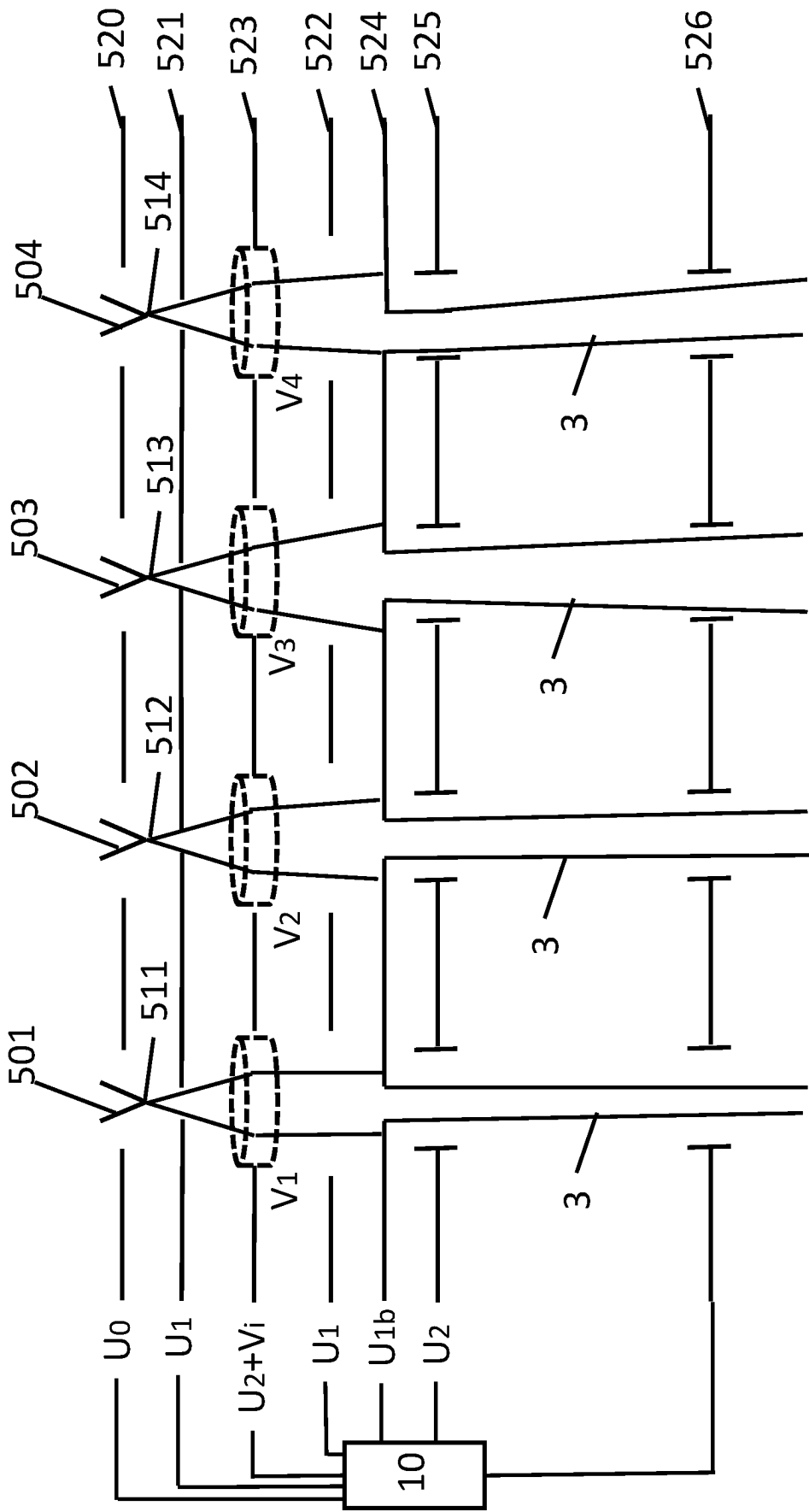


Fig. 2

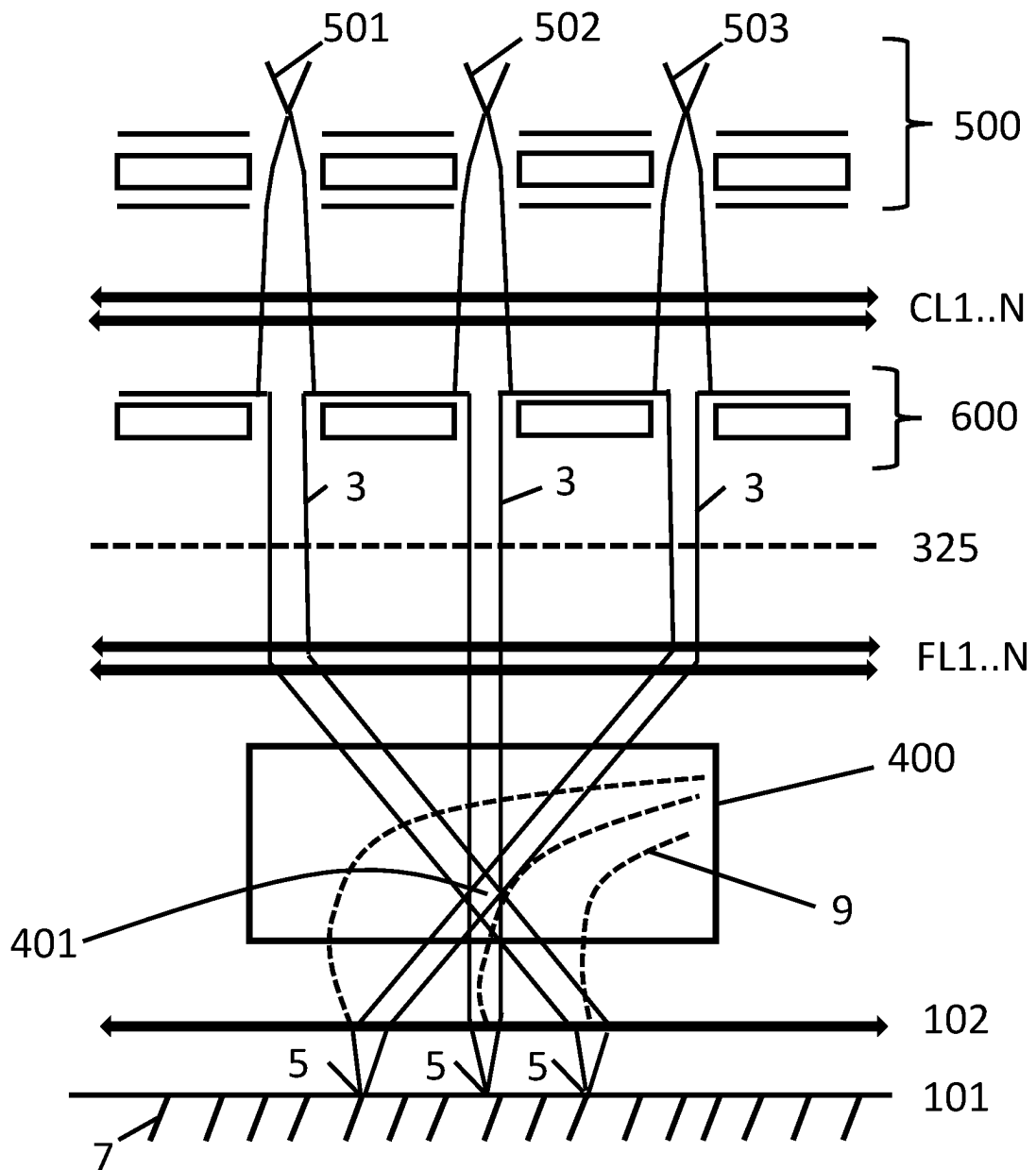


Fig. 3

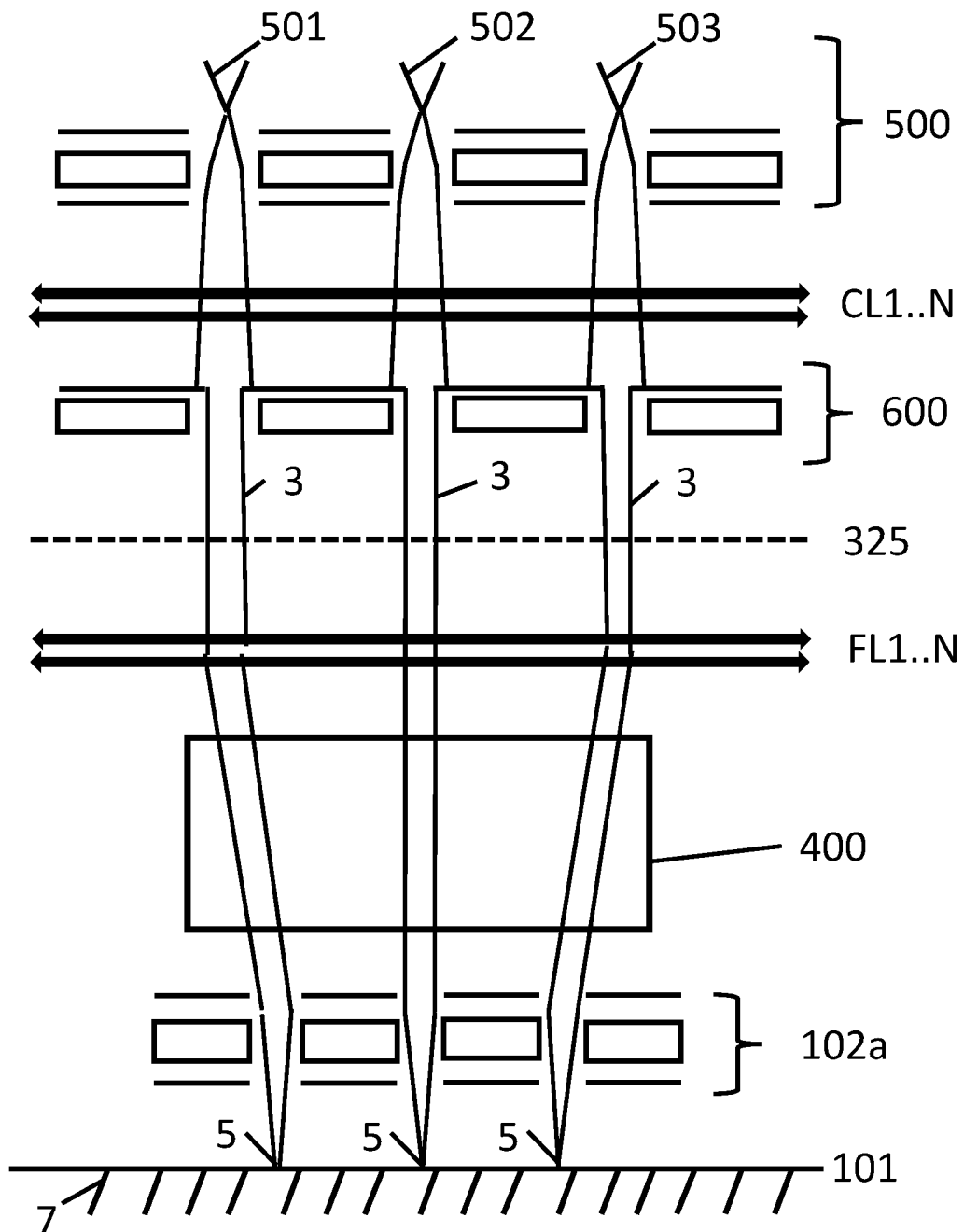


Fig. 4

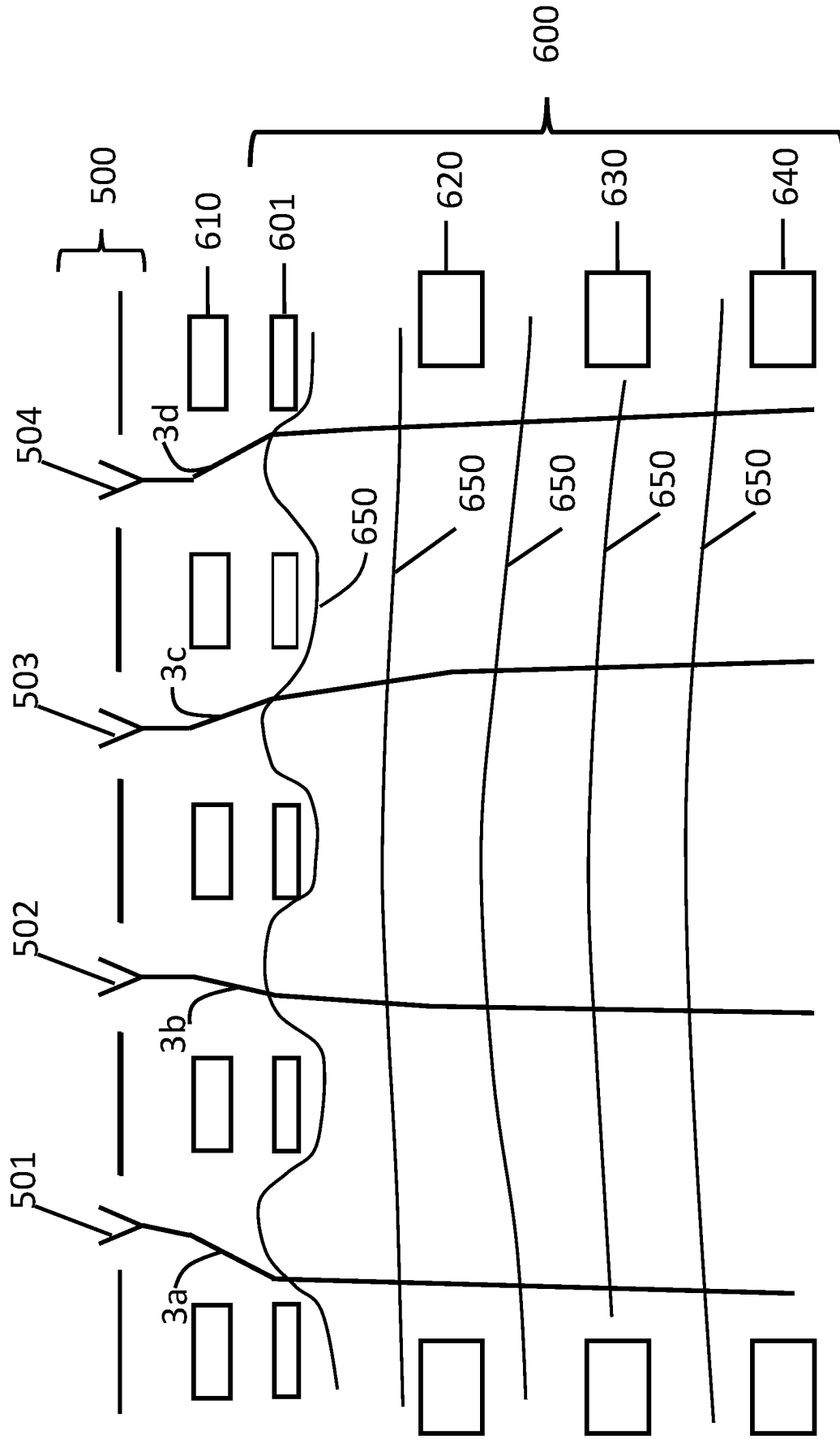
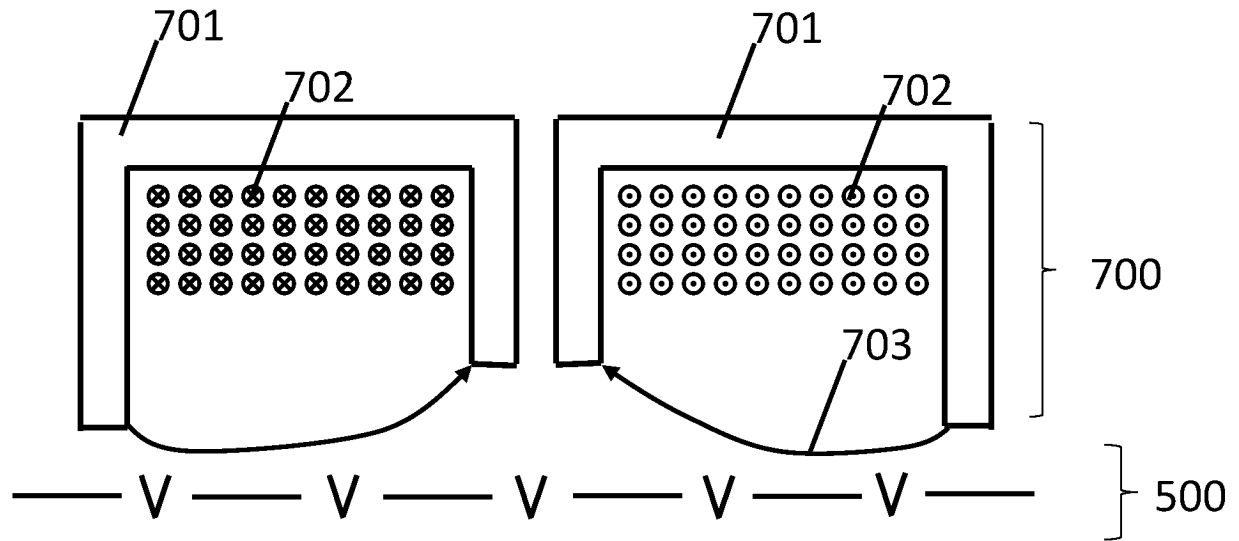
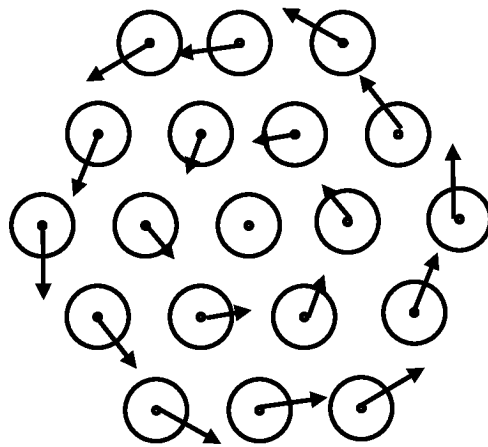


Fig. 5



a)



b)

Fig. 6

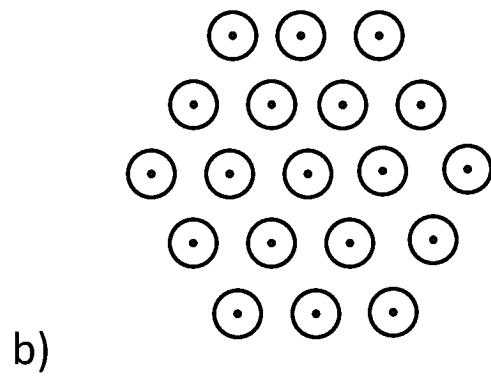
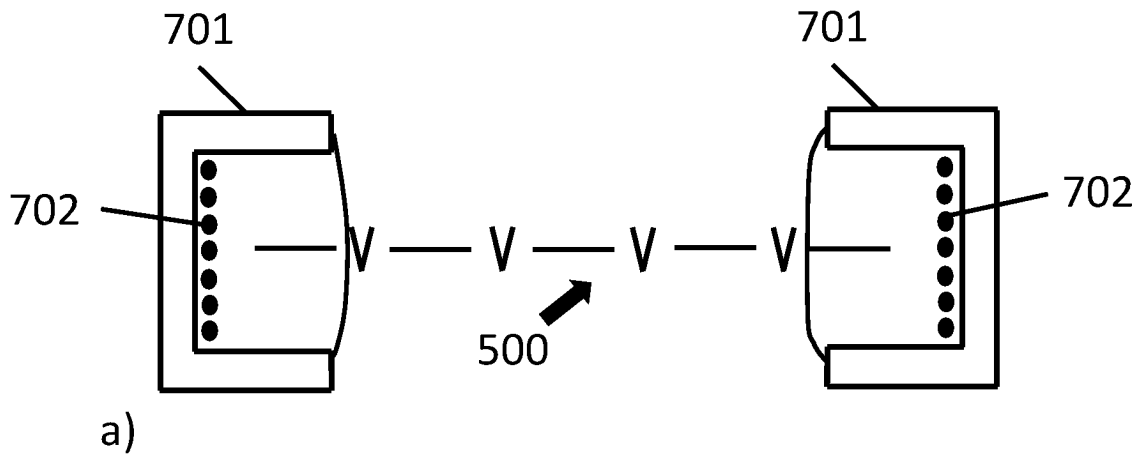
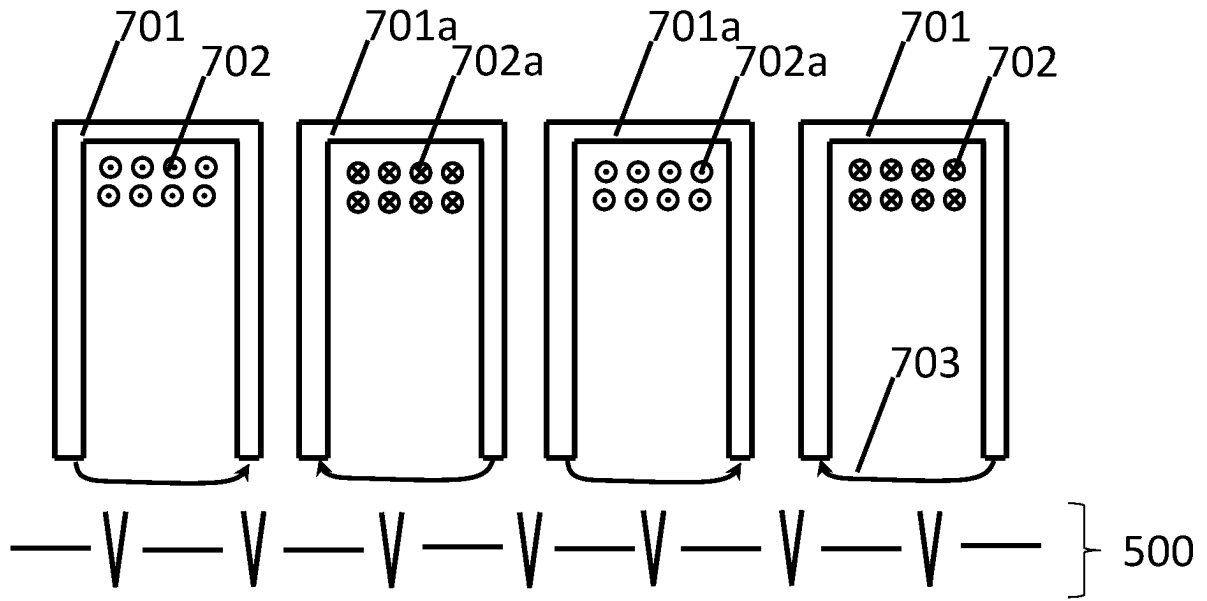
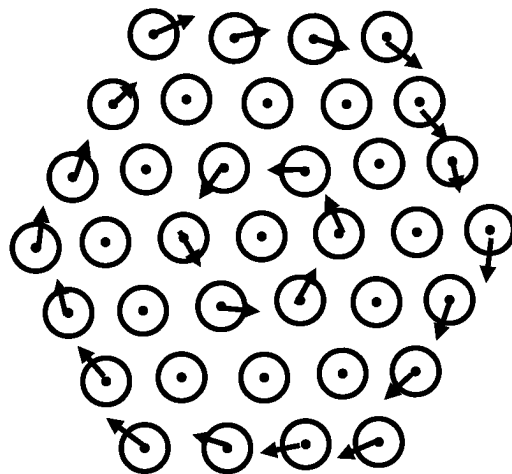


Fig. 7



a)



b)

Fig. 8