



(10) **DE 11 2011 103 986 B4** 2022.02.10

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 103 986.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2011/062701**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/075182**
(86) PCT-Anmeldetag: **30.11.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **07.06.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **29.08.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **10.02.2022**

(51) Int Cl.: **H01J 37/26 (2006.01)**
H01J 37/06 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
12/958,174 **01.12.2010** **US**

(73) Patentinhaber:
KLA-TENCOR CORPORATION, Milpitas, Calif., US

(74) Vertreter:
**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,
93049 Regensburg, DE**

(72) Erfinder:
**Marian, Mankos, Palo Alto, Calif., US; Han, Liquan,
Pleasanton, Calif., US; Jiang, Xinrong, Palo Alto,
Calif., US; Runyon, Rex, Fremont, Calif., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 32 607	A1
DE	693 05 463	T2
US	2003 / 0 201 391	A1
US	2009 / 0 184 255	A1

(54) Bezeichnung: **ELEKTRONENSTRAHLSÄULE, VERFAHREN ZUR BENUTZUNG DER
ELEKTRONENSTRAHLSÄULE, VORRICHTUNG UND ELEKTRONENKANONE**

(57) Hauptanspruch: Eine Elektronenstrahlsäule (300) umfasst:

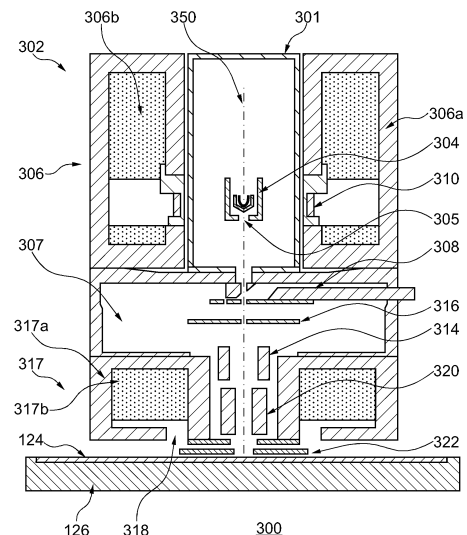
eine erste Vakuumkammer (301) mit einer Öffnung, die entlang einer optischen Achse (350) positioniert ist, so dass die Öffnung ein ursprünglicher Elektronenstrahl (502) auf dem Weg in der Säule (300) nach unten passiert; eine Elektronenquelle (304), die in der ersten Vakuumkammer (301) angeordnet ist, wobei die Elektronenquelle (304) eine Kathode zum Emittieren von Elektronen umfasst und wobei eine Anode derart konfiguriert ist, dass die emittierten Elektronen durch eine Öffnung der Anode beschleunigbar sind;

eine strahlbegrenzende Blende (303), die derart ausgebildet ist, dass ein begrenzter Winkelbereich der emittierten Elektronen die strahlbegrenzende Blende (303) passiert; Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms, die unterschiedliche Größen aufweisen, so dass unterschiedliche Strahlströme auswählbar sind;

eine magnetische Immersionslinse (306), die außerhalb der ersten Vakuumkammer (301) ausgebildet ist, wobei die magnetische Immersionslinse (306) derart ausgebildet ist, dass die Elektronenquelle (304) in ein magnetisches Feld eintaucht, um die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl zu fokussieren;

eine zweite Vakuumkammer (307) mit einer Öffnung, die bezüglich der Öffnung in der ersten Vakuumkammer

(301) ausgerichtet ist, um den originären Elektronenstrahl (502) aus der Elektronenkanone (302) zu empfangen; ein Schieberventil, das schließbar ist, um die erste Vakuumkammer (301) gegenüber ...



Beschreibung**Figurenliste****HINTERGRUND**

Technisches Gebiet

[0001] Die gegenwärtige Erfindung bezieht sich im Wesentlichen auf das Gebiet der Produktion bzw. Herstellung von Halbleitern und verwandten Technologien. Im Besonderen bezieht sich die gegenwärtige Erfindung auf eine Elektronenstrahlsäule und ein Verfahren zur Benutzung der Elektronenstrahlsäule bei der automatischen Inspektion und anderer Anwendungen.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Automatische Elektronenstrahlinspektionssysteme benutzen typischerweise eine Elektronenstrahlsäule, um einen Elektronenstrahl über ein Gebiet der Oberfläche des Substrats zu scannen und Bilddaten zu erhalten. Die gegenwärtige Beschreibung stellt eine neue und erfinderische Elektronenstrahlsäule für die automatische Elektronenstrahlinspektion und anderen Anwendungen zur Verfügung.

[0003] Die Offenlegungsschrift DE 100 32 607 A1 beschreibt ein Teilchenstrahlgerät, das eine im Ultrahochvakuum zu betreibende Teilchenquelle und eine Präparationskammer aufweist, die mit Drücken vom Hochvakuum bis mindestens 1 hPa betreibbar ist, wobei zwischen dem Ultrahochvakuumbereich der Teilchenquelle und der Probenkammer genau zwei weitere Zwischendruckbereiche vorgesehen sind.

[0004] Die Patentanmeldung US 2003/0201391 A1 betrifft ein Verfahren zur Inspektion einer Schaltungsstruktur mit einem Rasterelektronenmikroskop.

[0005] Die Übersetzung DE 693 05 463 T2 der europäischen Patentschrift EP 0 585 840 B1 betrifft eine Immersionsmagnetfeld-Feldemissionselektronenkanone mit Vakuumbehälter, der eine Zentrumsachse aufweist. Über eine Kathode wird ein Elektronenstrahl erzeugt und in Zusammenarbeit mit einer Anode beschleunigt. Eine elektrostatische Linse fokussiert den Elektronenstrahl auf die Zentrumsachse. Einer durch die elektrostatische Linse verursachten Aberration wird durch ein Magnetfeld entgegengewirkt, welches durch eine Magnetfelderzeugungsvorrichtung generiert wird, die um den Elektronenstrahlpfad herum angeordnet ist.

[0006] Die Patentanmeldung US 2009/0184255 A1 betrifft die Inspektion einer Probe mit einem Strahl geladener Teilchen.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt einer Elektronenstrahlsäule für ein automatisches Inspektionssystem, gemäß dem Stand der Technik.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Elektronenstrahlströme während des Betriebs der Elektronenstrahlsäule aus **Fig. 1**.

Fig. 3 ist ein Querschnitt einer Elektronenstrahlsäule, der eine Ausführungsform der Erfindung beinhaltet.

Fig. 4 ist eine schematische Darstellung der Elektronenstrahlströme während des Betriebs der Elektronenstrahlsäule aus **Fig. 3**.

Fig. 5 und **Fig. 6** zeigen Querschnitte einer Implementierung eines kombinierten Mechanismus für ein Schiebeventil, bzw. Blenden zur Auswahl des Strahlstroms gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Eine Ausführungsform der Erfindung bezieht sich auf eine Elektronenstrahlsäule. Die Säule umfasst eine erste Vakuumkammer, eine Elektronenquelle, eine strahlbegrenzende Blende, eine magnetische Immersionslinse, eine zweite Vakuumkammer, ein Schiebeventil, eine Objektivlinse und eine steuerbare Ablenkeinrichtung, die mehrere Deflektoren umfasst. Die erste Vakuumkammer hat eine Öffnung ausgebildet, die entlang der optischen Achse positioniert ist, um einen primären Elektronenstrahl durchzulassen, welcher sich nach unten in der Säule bewegt. Eine Quelle, die Elektronen emittiert, ist innerhalb einer ersten Vakuumkammer positioniert. Eine strahlbegrenzende Blende ist derart ausgestaltet, dass lediglich ein begrenzter Winkelbereich der emittierten Elektronen durchgelassen wird. Eine magnetische Immersionslinse ist außerhalb der ersten Vakuumkammer positioniert und derart ausgestaltet, dass die Elektronenquelle in ein magnetisches Feld eintaucht, so dass die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl fokussiert werden. Eine Objektivlinse ist derart ausgebildet, dass der originäre Elektronenstrahl auf einen Strahlfleck auf der Oberfläche des Substrats fokussiert wird, um Streuelektronen vom Strahlfleck aus zu erzeugen. Eine steuerbare Ablenkeinrichtung, welche aus mehreren Deflektoren besteht, ist derart ausgebildet, dass der Strahlfleck über eine Fläche auf der Substratoberfläche gesannt wird.

[0008] Eine andere Ausführungsform der Erfindung bezieht sich auf die Benutzung einer Elektronenstrahlsäule. Elektronen werden von einer Kathode einer Elektronenquelle emittiert und die emittierten Elektronen werden durch eine Öffnung der Anode der Elektronenquelle beschleunigt. Ein begrenzter

Winkelbereich der emittierten Elektronen tritt durch eine strahlbegrenzende Blende. Die Elektronenquelle taucht in ein magnetisches Feld ein, so dass die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl fokussiert werden, welcher sich nach unten entlang der optischen Achse der Säule bewegt. Der originäre Elektronenstrahl tritt von einer ersten Vakuumkammer durch eine Öffnung in eine zweite Vakuumkammer über. Der originäre Elektronenstrahl wird auf einen Strahlfleck auf der Substratoberfläche mittels einer Objektivlinse fokussiert.

[0009] Eine andere Ausführungsform der Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung, welche mindestens eine erste Vakuumkammer, eine Elektronenquelle, eine strahlbegrenzende Blende, eine Linse der Elektronenkanone, eine zweite Vakuumkammer, ein Schieberventil, eine Objektivlinse, eine steuerbare Ablenkeinrichtung, einen Wien-Filter und einen Detektor umfasst. Die erste Vakuumkammer hat eine Öffnung ausgebildet, die entlang der optischen Achse positioniert ist, so dass sich ein originärer Elektronenstrahl entlang der Säule nach unten bewegen kann. Die Elektronenquelle umfasst eine Kathode, die zum Emittieren von Elektronen ausgebildet ist. Eine Anode dient zur Beschleunigung der Elektronen, die durch eine Öffnung der Anode austreten. Die strahlbegrenzende Blende ist derart ausgebildet, dass ein begrenzter Winkelbereich der emittierten Elektronen durch die strahlbegrenzende Apertur tritt. Die Linse der Elektronenkanone ist derart ausgebildet, dass die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl fokussiert werden. Die zweite Vakuumkammer hat eine Öffnung ausgebildet, die in Bezug auf die Öffnung in der ersten Vakuumkammer so ausgerichtet ist, dass hiermit der originäre Elektronenstrahl von der Elektronenkanone empfangen werden kann. Das Schieberventil kann geschlossen werden, um die erste Vakuumkammer gegenüber der zweiten Vakuumkammer abzuriegeln. Die Blenden zur Auswahl des Strahlstroms sind mit unterschiedlichen Größen ausgebildet, so dass unterschiedliche Strahlströme ausgewählt werden können. Das Schieberventil und die Blenden zur Auswahl des Strahlstroms sind in einem kombinierten Mechanismus eingebaut bzw. integriert. Die Objektivlinse ist derart ausgebildet, dass der originäre Elektronenstrahl auf einen Strahlfleck auf der Oberfläche des Substrats fokussiert werden kann, um dort aus dem Strahlfleck Streuelektronen zu erzeugen. Die steuerbare Ablenkeinrichtung ist derart ausgebildet, dass der Strahlfleck über ein Gebiet auf der Oberfläche des Substrats gescannt werden kann. Der Wien-Filter ist in einem Spalt der Objektivlinse positioniert und derart ausgestaltet, dass er Streuelektronen von der optischen Achse ablenkt. Der Detektor ist derart ausgebildet, dass er die gestreuten Elektronen empfangen und detektieren kann.

[0010] Eine andere Ausführungsform der Erfindung bezieht sich auf eine Elektronenkanone, welche mindestens eine Vakuumkammer, eine Elektronenquelle, eine magnetische Immersionslinse und einen Strahlausrichter umfasst. Die Vakuumkammer hat eine Öffnung ausgebildet, die entlang der optischen Achse positioniert ist, so dass ein originärer Elektronenstrahl durch die Öffnung hindurchtreten und entlang der optischen Achse in der Elektronenstrahlsäule sich nach unten bewegen kann. Die Elektronenquelle ist innerhalb der Vakuumkammer angeordnet. Die Elektronenquelle umfasst eine Kathode, die Elektronen emittiert und eine Anode, welche zur Beschleunigung der emittierten Elektronen durch eine Öffnung der Anode ausgebildet ist. Die magnetische Immersionslinse ist außerhalb der ersten Vakuumkammer angeordnet und ist derart ausgebildet, dass die Elektronenquelle in ein magnetisches Feld eintaucht und die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl fokussiert werden. Der Strahlausrichter ist in einen Spalt des Polschuhs der magnetischen Immersionslinse integriert.

[0011] Andere Ausführungsformen, Aspekte und Merkmale der Erfindung sind ebenfalls offenbart.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0012] Fig. 1 zeigt einen Querschnitt einer Elektronenstrahlsäule 100 gemäß dem Stand der Technik, die für ein automatisches Inspektionssystem ausgestaltet ist. Die in Fig. 2 gezeigte Darstellung, offenbart die Elektronenstrahlströme während des Betriebs der bisherigen Elektronenstrahlsäule aus Fig. 1. Die Elektronenstrahlsäule 100 umfasst neben anderen Bauteilen eine Elektronenkanone 102, ein Schieberventil 108, einen Strahlausrichter 110, eine Ablenkeinrichtung 114 (Deflektoren), einen Detektor 116, eine Objektivlinse 117 und einen bewegbaren Tisch 126, der einen Halbleiterwafer (oder ein anderes Substrat) 124 trägt.

[0013] Die Elektronenkanone 102 ist in einer Kammer 101 für die Elektronenkanone untergebracht. Die Elektronenkanone umfasst eine Elektronenquelle 104, eine strahlbegrenzende Blende 105 und eine Linse 106 der Elektronenkanone. Die Elektronenquelle 104 umfasst eine Kathode und eine Anode. Die Kathode emittiert Elektronen, die durch eine Öffnung in der Anode beschleunigt werden und somit einen Elektronenstrahl bilden (der emittierte Elektronenstrom I_e , 202 ist in Fig. 2 dargestellt). Die strahlbegrenzende Blende 105 begrenzt den Winkel des emittierten Strahls und die Linse 106 der Elektronenkanone fokussiert den austretenden und resultierenden Strahl (der Strom des durch die strahlbegrenzende Blende 105 hindurchtretenden Strahls kann als maximaler Strahlstrom $I_{b,max}$ 204 bezeichnet werden und ist in Fig. 2 dargestellt). Die Linse 106

der Elektronenkanone ist im Allgemeinen unterhalb der strahlbegrenzenden Blende 105 angeordnet und ist typischerweise als elektrostatische Linse ausgebildet. Es ist ebenso möglich, diese Linse als magnetische Linse auszubilden. Das Schieberventil 108 ist in einer Ventilkammer 107 untergebracht. Das Schieberventil 108 ist derart ausgebildet, dass es sich entweder offen oder in einer geschlossenen Position befindet. Für den Fall, dass das Schieberventil 108 geschlossen ist, ist die Kammer 101 der Elektronenkanone von der Hauptkammer 109 abgetrennt. Wenn das Schieberventil 108 offen ist, können die Elektronen durch die Ventilkammer 107 zu der Hauptkammer 109 gelangen.

[0014] In der Hauptkammer 109 ist ein Strahlausrichter 110 vorgesehen, der einen elektrostatisch steuerbaren Deflektor verwendet, um den Strahl entlang der optischen Achse der Säule auszurichten. Die Strahlstrom begrenzende Blende 112 ist unterhalb des Strahlausrichters 110 angeordnet. Die Strahlstrom begrenzende Blende 112 kann ein Mechanismus mit mehreren auswählbaren Blendengrößen sein (der Strom des Strahls, welcher durch die Strahlstrom begrenzende Blende 112 tritt, ist als ausgewählter Strahlstrom I_b 206 bezeichnet und in **Fig. 2** dargestellt).

[0015] Die Ablenkeinrichtung 114 (Deflektoren) ist als steuerbare elektrostatische Ablenkeinrichtung ausgebildet. Zum Beispiel ist die Ablenkeinrichtung 114 (Deflektoren) derart ausgebildet, dass der Strahl in kontrollierter Art und Weise in der X-Richtung und der Y-Richtung (die optische Achse ist in der Z-Richtung ausgerichtet) abgelenkt wird, so dass der Strahl über ein Bildfeld auf der Oberfläche des Wafers 124 abgelenkt wird. Der Detektor 116 ist unterhalb der Ablenkeinrichtung 114 angeordnet. Der originäre Strahl (sich in Richtung des Wafers 124 bewegend) tritt durch eine Öffnung im Detektor 106 und gelangt zur Objektivlinse 117.

[0016] Die Objektivlinse 117 ist typischerweise als elektromagnetische Linse ausgebildet, die einen Polschuh 117a und eine leitende Spule 117b umfasst. Ein Wien-Filter 120 ist innerhalb der Objektivlinse 117 vorgesehen. Eine elektrostatische Linse 122 ist unterhalb der Objektivlinse 117 vorgesehen. Die Objektivlinse 117 fokussiert den originären Elektronenstrahl (welcher durch den Wien-Filter 120 hindurchtritt) auf einen Fleck auf der Oberfläche des Wafers 124 (oder einem anderen Zielsubstrat). Mittels der Ablenkeinrichtung 114 (Deflektoren) wird der Fleck über ein Bildfeld auf der Oberfläche des Wafers 124 gescannt. Der Wafer 124 kann auf einem beweglichen Tisch 126 gehalten werden, so dass damit jede beliebige Stelle auf der Oberfläche des Wafers 124 oder die gesamte Oberfläche des Wafers 124 inspiziert werden kann.

[0017] Das Auftreffen des originären Elektronenstrahls auf der Oberfläche des Wafers 124 führt zur Emission von sekundär- und/oder rückgestreuten Elektronen. Diese sekundären und/oder rückgestreuten Elektronen werden nachfolgend als gestreute Elektronen bezeichnet. Die gestreuten Elektronen werden mittels der elektrostatischen Linse extrahiert und bewegen sich somit nach oben durch die Säule. Der Wien-Filter 120 lenkt die gestreuten Elektronen ab, so dass deren Trajektorie unter einem Winkel in Bezug auf die optische Achse der Säule verläuft. Die von der optischen Achse weggestreuten Elektronen treffen auf den Detektor 116 und generieren somit ein Detektionssignal.

[0018] **Fig. 3** zeigt einen Querschnitt einer Elektronenstrahlsäule 300, gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. In **Fig. 4** sind die Elektronenströme gezeigt während des Betriebs der erfindungsgemäßen Elektronenstrahlsäule aus **Fig. 3**. Die Elektronenstrahlsäule 300 umfasst eine Elektronenkanone 302 mit magnetischer Immersion, einen Strahlausrichter 310, der in der Elektronenkanone 302 integriert ist, einen Mechanismus 308, der ein Schieberventil und Blenden zur Auswahl des Strahlstroms integriert hat, eine tief eintauchende Immersionsobjektivlinse 317 und andere Komponenten.

[0019] Die Elektronenkanone 302 mit magnetischer Immersion umfasst eine Elektronenquelle 304, eine strahlbegrenzende Blende 305 und eine magnetische Immersionslinse 306. Die Elektronenquelle 304 umfasst eine Kathode und eine Anode. Die Kathode emittiert Elektronen, die durch eine Öffnung in der Anode beschleunigt werden, um einen Elektronenstrahl zu formen (der emittierte Strahlstrom I_e 402 ist in **Fig. 4** dargestellt). Die strahlbegrenzende Blende 305 begrenzt den Winkel des emittierten Strahls (der Strom des Strahls, welcher durch die strahlbegrenzende Blende 305 tritt, ist als maximaler Strahlstrom I_{bmax} 404, wie in **Fig. 4** dargestellt, bezeichnet).

[0020] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umfasst die magnetische Immersionslinse 306 einen Polschuh 306a und eine Spule 306b der Elektronenkanone. Die Elektronenquelle ist innerhalb der Kammer 301 für die Elektronenkanone positioniert, wohingegen die magnetische Immersionslinse 306 derart ausgestaltet ist, dass sie außerhalb der Kammer 301 für die Elektronenkanone vorgesehen ist. Desweiteren ist die Elektronenquelle 304 derart positioniert, dass sie innerhalb eines Magnetfelds eintaucht, das von der magnetischen Immersionslinse 306 gebildet ist.

[0021] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist ein Strahlausrichter 310 Teil der Elektronenkanone 302 mit magnetischer Immersion. Der Strahlausrichter 310 umfasst z. B. einen magnetischen Deflektor,

der derart steuerbar ist, dass der Strahl in Bezug auf die optische Achse 350 der Elektronenstrahlsäule 300 ausgerichtet werden kann.

[0022] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein kombinierter Mechanismus 308 für das Schieberventil und die strahlstrombegrenzenden Blenden ausgestaltet. Eine beispielhafte Ausgestaltung des kombinierten Mechanismus 308 ist in Bezug auf die **Fig. 5** und **Fig. 6** weiter unten beschrieben. Für den Fall, dass der kombinierte Mechanismus 308 als geschlossenes Schieberventil ausgebildet ist, ist die Kammer 301 der Elektronenkanone von der Ventil-/Detektorkammer 307 getrennt. Für den Fall, dass der kombinierte Mechanismus 308 als eine den Strahlstrom auswählende Blende ausgebildet ist, wird eine auswählbare Größe der Blende benutzt, um einen ausgewählten Strahlstrom zur Verfügung zu stellen (der Strahlstrom, welcher durch eine den Strahlstrom begrenzende Blende hindurchtritt, ist als ausgewählter Strahlstrom I_b 406 in **Fig. 4** bezeichnet).

[0023] Gemäß eines weiteren Aspekts der Erfindung schließt eine einzige Vakuumkammer (Ventil-/Detektorkammer 307) sowohl das Schieberventil (auf dem kombinierten Mechanismus 308) und den Detektor 316 ein. In anderen Worten ausgedrückt, gibt es für das Schieberventil keine separate Kammer. Der Detektor 316 kann unterhalb des kombinierten Mechanismus 308 angeordnet sein. Der originäre Strahl (bewegt sich in Richtung des Wafers 144) tritt durch eine Öffnung in den Detektor 316 und gelangt somit zur Objektivlinse 317.

[0024] Die Ablenkeinrichtung 314 (mehrere Deflektoren) ist um die optische Achse 350 angeordnet und derart positioniert, dass ein oberer Abschnitt innerhalb der Ventil-/Detektorkammer 307 und ein unterer Abschnitt innerhalb der Objektivlinse 317 liegt. Die Ablenkeinrichtung 314 kann aus steuerbaren elektrostatischen Deflektoren gebildet sein, wobei die Ablenkeinrichtung 314 derart gestaltet ist, dass der Strahl kontrolliert in X- und Y-Richtung (wobei die optische Achse in der Z-Richtung angeordnet ist) abgelenkt wird, so dass der Strahl über ein Bildfeld auf der Oberfläche des Wafers 124 in einer rasterartigen Art und Weise gescannt wird.

[0025] Die Objektivlinse ist z. B. als tief eintauchende Immersionslinse 317 ausgebildet, so dass der Wafer (Substrat) 124 in ein Magnetfeld eintaucht, welches durch die Linse erzeugt wird. Der Polschuh 317a des Objektivs ist derart ausgebildet, dass dessen Spalt 318 in Richtung des Wafers 124 (und nicht zur optischen Achse 350) hinweist. Ein Strom wird durch eine leitende Spule 317b innerhalb des Polschuhs 317a des Objektivs geführt, wodurch das erzeugte Magnetfeld aus dem Spalt 318 austritt, so dass der Wafer 124 in das Magnetfeld eintaucht.

[0026] Der Wien-Filter 320 kann innerhalb der Objektivlinse 317 angeordnet sein und eine elektrostatische Linse 322 kann ferner unterhalb der Objektivlinse 317 vorgesehen sein. Die tief eintauchende Immersions-Objektivlinse 317 fokussiert den originären Strahl (welcher durch den Wien-Filter 320 hindurchtritt) auf einen Fleck auf der Oberfläche des Wafers 124 (oder einem anderen Substrat). Der Fleck wird über ein Bildfeld mittels einer steuerbaren Ablenkung, welche durch die Ablenkeinrichtung 314 erzeugt wird, abgelenkt. Der Wafer 124 kann auf einem beweglichen Tisch 126 gehalten werden, so dass es möglich ist, jeden Bereich oder alle Bereiche auf der Oberfläche des Wafers 124 zu inspizieren.

[0027] Das Auftreffen des originären Strahls auf der Oberfläche des Wafers 124 verursacht die Emission von sekundär- und/oder zurückgestreuten Elektronen. Diese sekundären und/oder zurückgestreuten Elektronen werden im Nachhinein als gestreute Elektronen bezeichnet. Die gestreuten Elektronen werden mittels einer elektrostatischen Linse 322 extrahiert und nach oben durch die Säule geführt. Der Wien-Filter 320 lenkt die gestreuten Elektronen ab, so dass deren Trajektorie unter einem Winkel in Bezug auf die optische Achse 350 der Säule ausgerichtet ist. Diese von der optischen Achse 350 weggestreuten Elektronen treffen auf den Detektor 316, um dort ein Detektionssignal zu erzeugen.

[0028] Wie aus **Fig. 4** zu erkennen ist, ist der Abstand entlang der optischen Achse 350 von der strahlbegrenzenden Blende bis zu den Blenden zur Auswahl des Strahlstroms erfindungsgemäß ein Drittel bis ein Viertel des Abstandes entlang der optischen Achse von den Blenden zur Auswahl des Strahlstroms zu der Oberfläche des Substrats. Dies ist im Gegensatz zu der in **Fig. 2** gezeigten Darstellung, bei der der Abstand entlang der optischen Achse von der strahlbegrenzenden Blende zu den Blenden zur Auswahl des Strahlstroms etwa der Gleiche ist, wie der Abstand entlang der optischen Achse von den Blenden zur Auswahl des Strahlstroms, bis zur Oberfläche des Substrats.

[0029] **Fig. 5** und **Fig. 6** sind Querschnitte der Implementierung des kombinierten Mechanismus 308 für ein Schieberventil / eine strahlbegrenzende Blende gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Wie gezeigt, ist der kombinierte Mechanismus 308 in einem oberen Bereich der Ventil-/Detektorkammer 307 vorgesehen. Der kombinierte Mechanismus 308 ist unterhalb einer Öffnung 503 entlang der optischen Achse 350 ausgehend von der Kammer 301 der Elektronenkanone vorgesehen. Der kombinierte Mechanismus 308 umfasst eine bewegliche Blenden- / Ventilstange 504.

[0030] Wie in **Fig. 5** dargestellt ist, kann die bewegliche Blenden- / Ventilstange 504 derart gesetzt oder

positioniert werden, dass eine der auswählbaren Blenden 506 direkt unterhalb der Öffnung 503 positioniert wird. In diesem Fall wird der originäre Elektronenstrahl 502 durch die ausgewählte Blende begrenzt, so dass der ausgewählte Strahlstrom I_p 406 durch die Öffnung tritt (wohingegen der übrige Teil des maximalen Strahlstroms I_{bmax} 404 geblockt wird).

[0031] Wie in **Fig. 6** gezeigt, kann der bewegliche Blenden- / Ventilschieber 504 in einer Seitwärts- und einer Aufwärtsbewegung 602 bewegt werden, so dass das Schieberventil geschlossen ist. Die Aufwärtsbewegung drückt einen massiven Abschnitt des beweglichen Blenden- / Ventilschiebers 504 gegen einen O-Ring 508, der um die Öffnung 503 herum angeordnet ist. Dadurch wird der originäre Elektronenstrahl 502 blockiert und eine Vakuumdichtung wird zwischen der Kammer 301 der Elektronenkanone und der Ventil-/Detektorkammer 307 erzeugt.

Schlussfolgerung

[0032] Der Durchsatz von Inspektionssystemen mittels eines Elektronenstrahls ist im Allgemeinen durch Aberrationen und Elektronwechselwirkungen beschränkt. Konventionelle elektrostatische Elektronenkanonen und konventionelle Objektivlinsen für eine Elektronenstrahlsäule haben sphärische und chromatische Aberrationen. Diese Aberrationen sind eine bedeutende Quelle für eine Bildunschärfe der gesamten Säule bei bestimmten Säulenbedingungen, im Besonderen für Bedingungen mit hohem Strahlstrom.

[0033] Es ist von besonderem Vorteil, dass durch die Verwendung der Vorrichtung und des beschriebenen Verfahrens gemäß den Ausführungsformen der Erfindung, der Durchsatz einer Vorrichtung zur Elektroneninspektion deutlich erhöht werden kann. Im Besonderen wird eine innovative Elektronenstrahlsäule zur Verfügung gestellt, welche eine Länge (entlang der optischen Achse) besitzt, die deutlich geringer ist, als die Längen von Elektronenstrahlsäulen, gemäß dem Stand der Technik. Die hierin beschriebene reduzierte Länge der Elektronenstrahlsäule ermöglicht es, dass der Elektronenstrahl einen kürzeren Weg von der Quelle zum Wafer zurücklegt. Dies führt zu einer reduzierten Elektronwechselwirkung und reduziert somit die Unschärfe in den Bilddaten.

[0034] Die oben gezeigten Figuren sind nicht notwendigerweise skaliert und nicht derart zu verstehen, dass sie die gegenwärtige Erfindung beschränken. In der obigen Beschreibung ist eine Vielzahl von Details offenbart, um ein deutliches Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung zur Verfügung zu stellen. Jedoch ist die obige Beschreibung der darge-

stellten Ausführungsbeispiele der Erfindung als nicht abschließend zu betrachten oder als Beschränkung der gegenwärtigen Erfindung aufzufassen. Ein für das relevante technische Gebiet zuständiger Fachmann wird erkennen, dass die Erfindung mit einem oder mehreren spezifischen Details durchgeführt werden kann, oder dass andere Methoden oder Komponenten verwendet werden können. Ebenso wurden bekannte Strukturen oder Verfahrensschritte nicht weiter im Detail beschrieben, um nicht die Merkmale der Erfindung zu verwässern. Da spezifische Ausführungsformen und Beispiele für die Erfindung zur Darstellung beschrieben worden sind, können Abwandlungen und Modifikationen durchgeführt werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen, was ein Fachmann sofort erkennen wird.

[0035] Diese Abwandlungen und Modifikationen können für die Erfindung im Lichte der obigen Beschreibung durchgeführt werden. Die Begriffe, welche in den nachfolgenden Ansprüchen verwendet werden, sollen nicht als beschränkend für die Erfindung aufgefasst werden. Ebenso soll die Erfindung nicht auf spezifische Ausführungsformen, wie diese in den Ansprüchen offenbar sind, beschränkt werden. Der Schutzzumfang der Erfindung ist durch die nachstehenden Ansprüche bestimmt, welche gemäß der wohl bekannten Lehre zur Interpretation der Ansprüche geschrieben worden sind.

Patentansprüche

1. Eine Elektronenstrahlsäule (300) umfasst:
 - eine erste Vakuumkammer (301) mit einer Öffnung, die entlang einer optischen Achse (350) positioniert ist, so dass die Öffnung ein ursprünglicher Elektronenstrahl (502) auf dem Weg in der Säule (300) nach unten passiert;
 - eine Elektronenquelle (304), die in der ersten Vakuumkammer (301) angeordnet ist, wobei die Elektronenquelle (304) eine Kathode zum Emittieren von Elektronen umfasst und wobei eine Anode derart konfiguriert ist, dass die emittierten Elektronen durch eine Öffnung der Anode beschleunigbar sind;
 - eine strahlbegrenzende Blende (303), die derart ausgebildet ist, dass ein begrenzter Winkelbereich der emittierten Elektronen die strahlbegrenzende Blende (303) passiert;
 - Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms, die unterschiedliche Größen aufweisen, so dass unterschiedliche Strahlströme auswählbar sind;
 - eine magnetische Immersionslinse (306), die außerhalb der ersten Vakuumkammer (301) ausgebildet, wobei die magnetische Immersionslinse (306) derart ausgebildet ist, dass die Elektronenquelle (304) in ein magnetisches Feld eintaucht, um die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl zu fokussieren;
 - eine zweite Vakuumkammer (307) mit einer Öffnung, die bezüglich der Öffnung in der ersten

Vakuumkammer (301) ausgerichtet ist, um den originären Elektronenstrahl (502) aus der Elektronenkanone (302) zu empfangen;
 ein Schieberventil, das schließbar ist, um die erste Vakuumkammer (301) gegenüber der zweiten Vakuumkammer (307) abzudichten;
 eine Objektivlinse (317), die derart ausgebildet ist, um den originären Elektronenstrahl (502) in einem Strahlfleck auf einer Substratoberfläche (124) zu fokussieren, so dass Streuelektronen vom Strahlfleck aus erzeugbar sind; und
 eine steuerbare Ablenkeinrichtung (314), die derart ausgebildet ist, dass der Strahlfleck über ein Gebiet der Substratoberfläche (124) scannbar ist;
dadurch gekennzeichnet, dass
 ein Abstand entlang der optischen Achse (350) von der strahlbegrenzenden Blende (303) zu den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms ein Drittel bis zu einem Viertel eines Abstands entlang der optischen Achse (350) von den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms zu der Substratoberfläche (124) beträgt.

2. Elektronenstrahlsäule (300) nach Anspruch 1, wobei die steuerbare Ablenkeinrichtung (314) zum Teil in der zweiten Vakuumkammer (307) und zum Teil in einem Spalt (318) der Objektivlinse (317) positioniert ist.

3. Elektronenstrahlsäule (300) nach Anspruch 1, wobei ein Wien-Filter (320), welches im Spalt (318) der im Spalt (318) der Objektivlinse (317) positioniert und derart ausgestaltet ist, um die gestreuten Elektronen von der optischen Achse (350) abzulenken, und ein Detektor (316), der zum Empfang und zur Detektion der gestreuten Elektronen ausgestaltet ist, vorgesehen sind.

4. Elektronenstrahlsäule (300) nach Anspruch 3, wobei das Schieberventil und der Detektor (316) innerhalb der zweiten Kammer (307) angeordnet sind.

5. Elektronenstrahlsäule (300) nach Anspruch 1, wobei das Schieberventil und die Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms in einem gemeinsamen Mechanismus integriert sind.

6. Elektronenstrahlsäule (300) nach Anspruch 1, wobei ein magnetischer Strahlausrichter (310) in der Elektronenkanone (302) mit magnetischer Immersion integriert ist.

7. Ein Verfahren zur Verwendung einer Elektronenstrahlsäule (300), wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
 dass Elektronen von einer Kathode emittiert werden;
 dass die emittierten Elektronen durch eine Öffnung in der Anode beschleunigt werden;
 dass ein begrenzter Winkelbereich der emittierten

Elektronen durch eine strahlbegrenzende Blende (303) hindurchtritt;
 dass ein Strahlstrom mittels Blenden (308) unterschiedlicher Größe zur Auswahl unterschiedlicher Strahlströme ausgewählt wird, wobei ein Abstand entlang der optischen Achse (350) von der strahlbegrenzenden Blende (303) zu den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms ein Drittel bis zu einem Viertel eines Abstands entlang der optischen Achse (350) von den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms zu einer Substratoberfläche (124) beträgt;
 dass die Elektronenquelle (302) in ein magnetisches Feld eingetaucht wird, so dass die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl (502) fokussiert werden, der sich in der optischen Achse (350) der Elektronenstrahlsäule (300) nach unten bewegt;
 dass der originäre Elektronenstrahl (502) von einer ersten Vakuumkammer (301) durch eine Öffnung in eine zweite Vakuumkammer (307) überführt wird; und
 dass der originäre Elektronenstrahl (502) in einem Strahlfleck mittels der Objektivlinse (317) auf eine Substratoberfläche fokussiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die weiteren Schritte:
 Erzeugen von gestreuten Elektronen vom Strahlfleck; und
 Führen des Strahlflecks über eine Fläche der Substratoberfläche (124) mittels einer Ablenkeinrichtung (314), wobei die steuerbare Ablenkeinrichtung (314) zum Teil in der zweiten Vakuumkammer (307) und zum Teil in einem Spalt (318) der Objektivlinse (317) positioniert ist, vorgesehen sind.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die weiteren Schritte:
 Ablenken der gestreuten Elektronen von der optischen Achse (350) mittels eines Wien-Filters (320), welches in einem Spalt (318) der Objektivlinse (317) angeordnet ist; und
 Detektieren der gestreuten Elektronen, vorgesehen sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Schieberventil und der Detektor (316) in der zweiten Kammer (307) angeordnet sind.

11. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Blenden zur Auswahl unterschiedlicher Strahlströme in einem gemeinsamen Mechanismus integriert sind.

12. Eine Vorrichtung (300) umfasst:
 eine erste Vakuumkammer (301) mit einer Öffnung, die entlang einer optischen Ache (350) positioniert ist, so dass die Öffnung ein ursprünglicher Elektronenstrahl (502) auf dem Weg in der Säule (300) nach unten passiert;

eine Elektronenquelle (304), die in einer ersten Vakuumkammer (301) angeordnet ist, wobei die Elektronenquelle (304) eine Kathode zum Emittieren von Elektronen umfasst und wobei eine Anode derart konfiguriert ist, dass die emittierten Elektronen durch eine Öffnung der Anode beschleunigbar sind; eine strahlbegrenzende Blende (303), die derart ausgebildet ist, dass ein begrenzter Winkelbereich der emittierten Elektronen die strahlbegrenzende Blende (303) passiert;

eine Linse (304) der Elektronenkanone (302), die derart ausgebildet ist, dass die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl (502) fokussierbar sind;

eine zweite Vakuumkammer (307) mit einer Öffnung, die bezüglich der Öffnung in der ersten Vakuumkammer (301) ausgerichtet ist, um den originären Elektronenstrahl (502) aus der Elektronenkanone (302) zu empfangen;

ein Schieberventil, das schließbar ist, um die erste Vakuumkammer (301) gegenüber der zweiten Vakuumkammer (307) abzudichten;

Blenden (308) unterschiedlicher Größen zur Auswahl unterschiedlicher Strahlströme, wobei das Schieberventil und die Blenden (308) zur Auswahl unterschiedlicher Strahlströme in einem gemeinsamen Mechanismus integriert sind;

eine Objektivlinse (317), die derart ausgebildet ist, um den originären Elektronenstrahl (502) in einem Strahlfleck auf einer Substratoberfläche (124) zu fokussieren, so dass Streuelektronen vom Strahlfleck aus erzeugbar sind;

eine steuerbare Ablenkeinrichtung (314), die derart ausgebildet ist, dass der Strahlfleck über ein Gebiet der Substratoberfläche (124) scannbar ist;

ein Wien-Filter (320), welches im Spalt (318) der Objektivlinse (317) positioniert und derart ausgestaltet ist, um die gestreuten Elektronen von der optischen Achse (350) abzulenken; und

einen Detektor (316), der zum Empfang und zur Detektion der gestreuten Elektronen ausgestaltet ist;

dadurch gekennzeichnet, dass ein Abstand entlang der optischen Achse (350) von der strahlbegrenzenden Blende (303) zu den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms ein Drittel bis zu einem Viertel eines Abstands entlang der optischen Achse (350) von den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms zu der Substratoberfläche (124) beträgt.

13. Vorrichtung (300) nach Anspruch 12, wobei die steuerbare Ablenkeinrichtung (314) zum Teil in der zweiten Vakuumkammer (307) und zum Teil in einem Spalt (318) der Objektivlinse (317) positioniert ist.

14. Eine Elektronenkanone (302) umfasst: eine Vakuumkammer (301) mit einer Öffnung, die entlang einer optischen Achse (350) angeordnet ist, so dass ein originärer Elektronenstrahl (502)

nach unten entlang der Elektronenstrahlsäule (300) bewegbar ist;

eine Elektronenquelle (304), die in der Vakuumkammer (301) positioniert ist, wobei die Elektronenquelle (304) eine Kathode zum Emittieren von Elektronen und eine Anode zum Beschleunigen der Elektronen durch eine Öffnung der Anode umfasst;

eine magnetische Immersionslinse (306), die außerhalb der ersten Vakuumkammer (301) angeordnet ist, die derart ausgestaltet ist, dass die Elektronenquelle (304) in ein Magnetfeld eintauchbar ist und die emittierten Elektronen in einen originären Elektronenstrahl (502) fokussierbar sind;

einen magnetischen Strahlausrichter (310), der in einen Spalt eines Pohlschuhs der magnetischen Immersionslinse (306) integriert ist;

eine strahlbegrenzende Blende (303), die derart ausgebildet ist, dass ein begrenzter Winkelbereich der emittierten Elektronen die strahlbegrenzende Blende (303) passiert; und

Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms, die unterschiedliche Größen aufweisen, so dass unterschiedliche Strahlströme auswählbar sind;

dadurch gekennzeichnet, dass ein Abstand entlang der optischen Achse (350) von der strahlbegrenzenden Blende (303) zu den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms ein Drittel bis zu einem Viertel eines Abstands entlang der optischen Achse (350) von den Blenden (308) zur Auswahl des Strahlstroms zu einer Substratoberfläche (124) beträgt.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

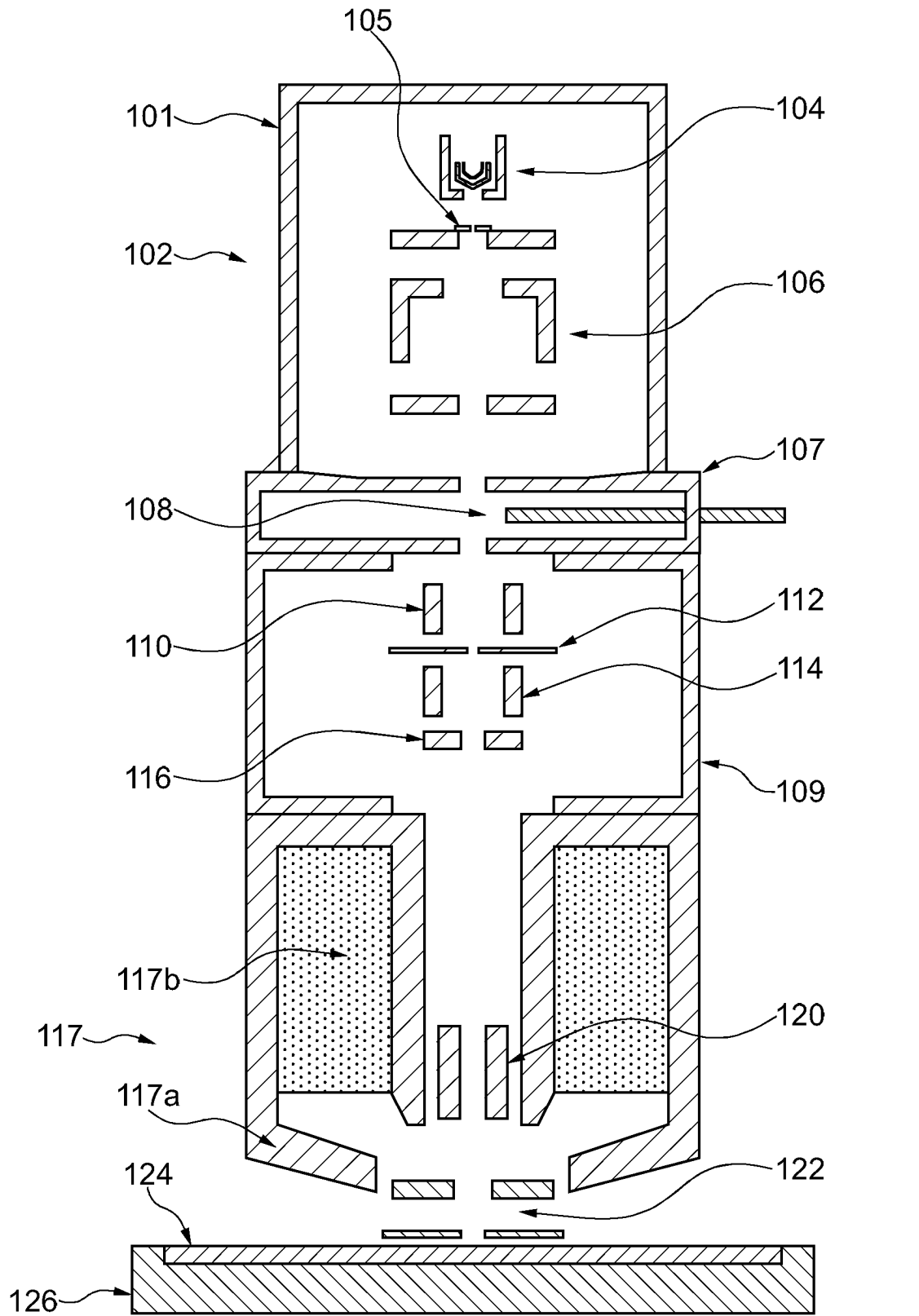


Fig. 1

100

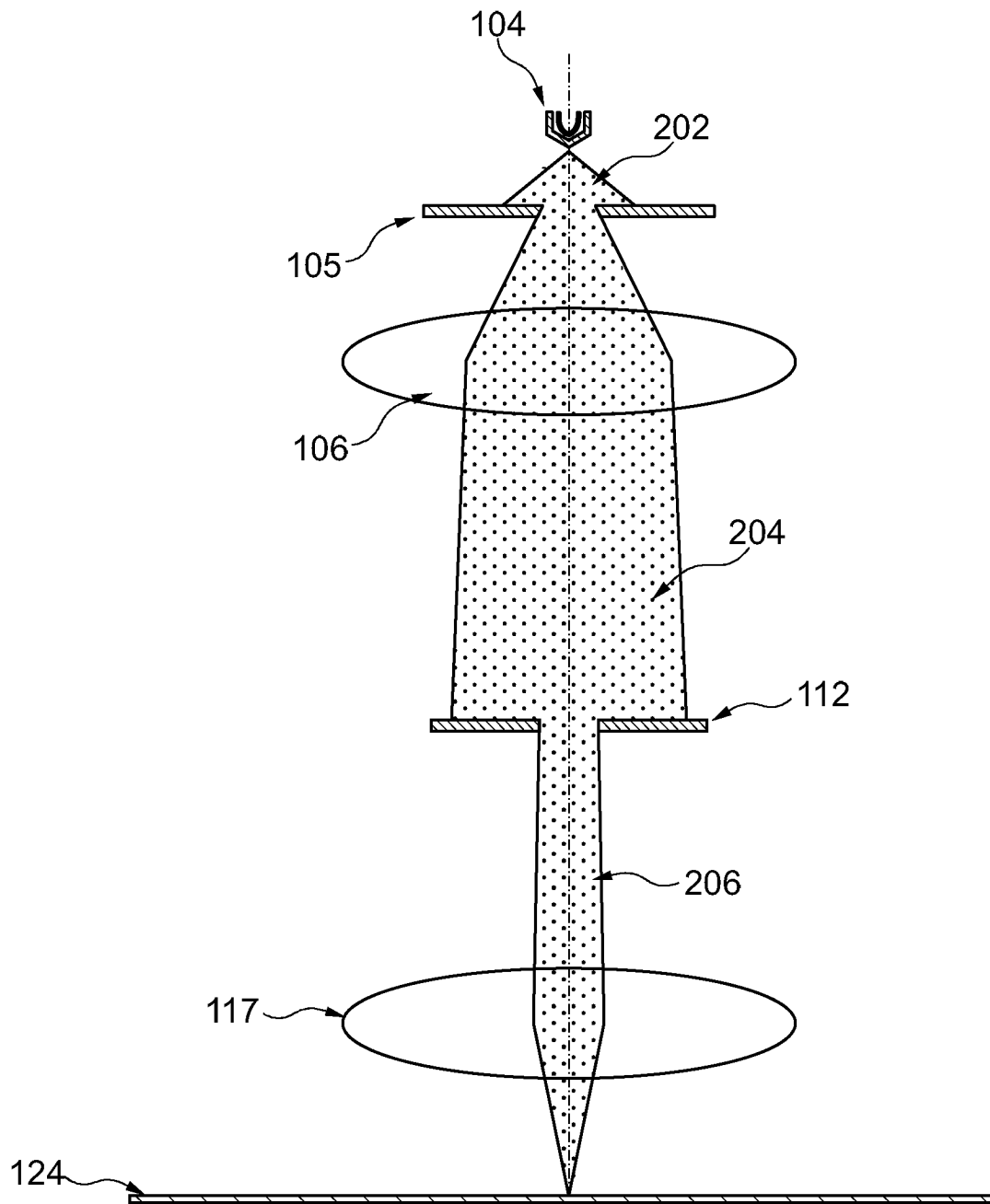


Fig. 2

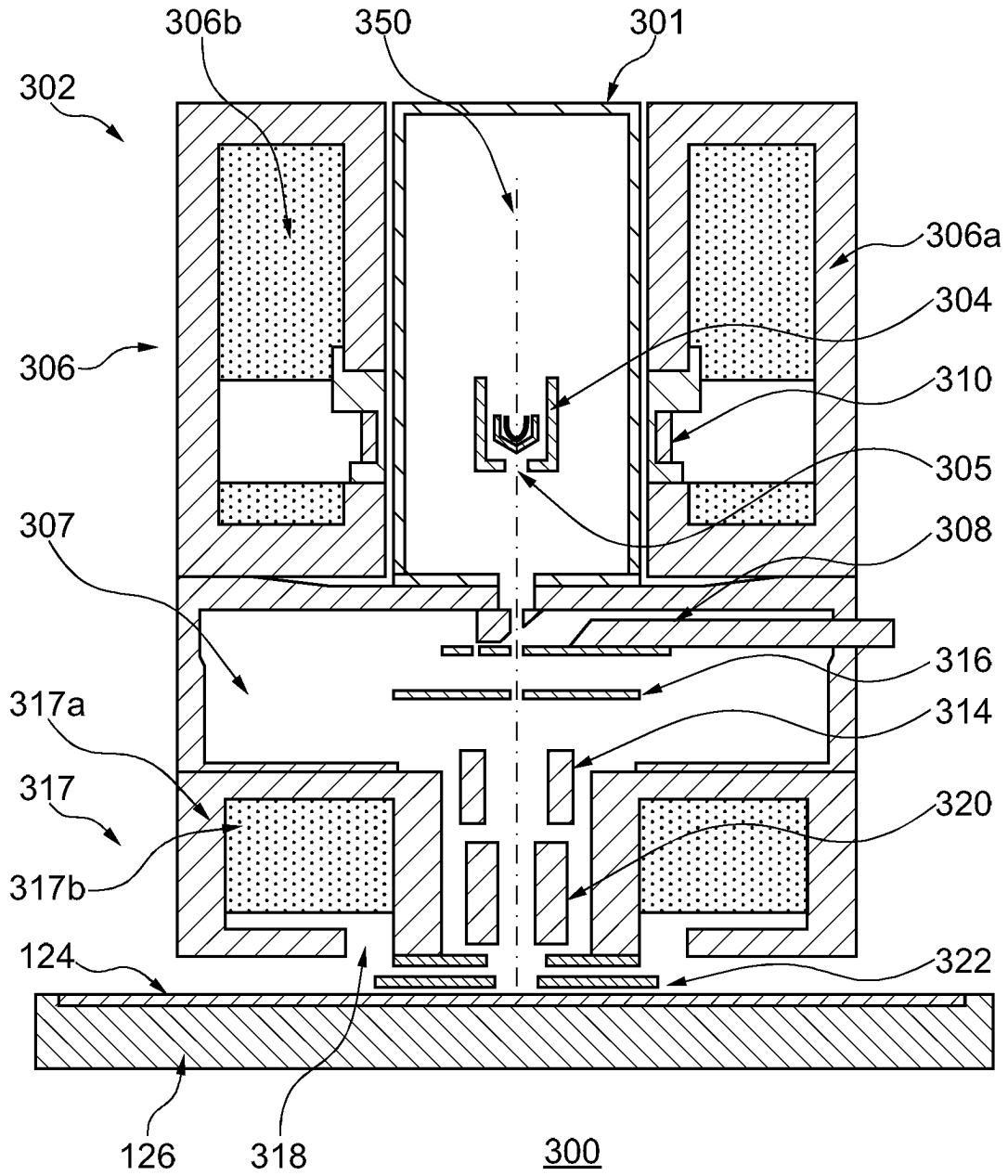


Fig. 3

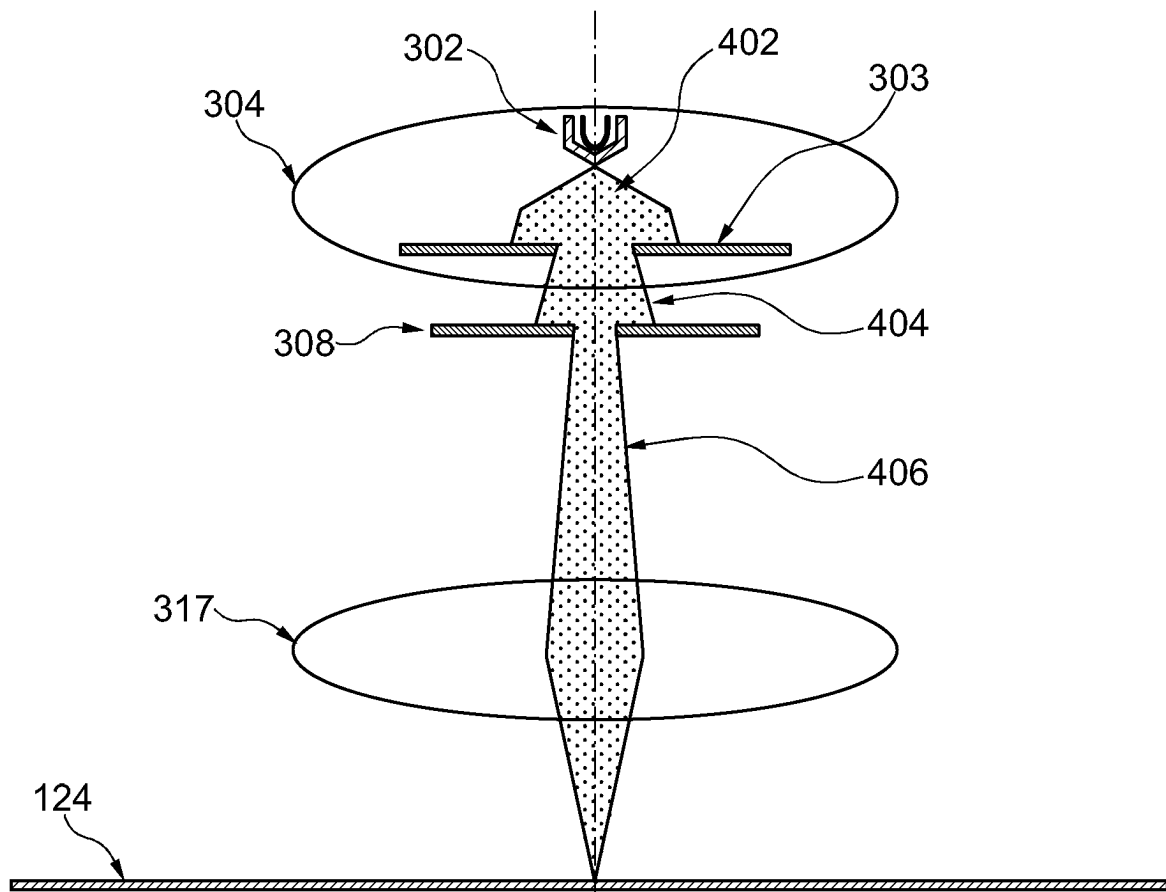


Fig. 4

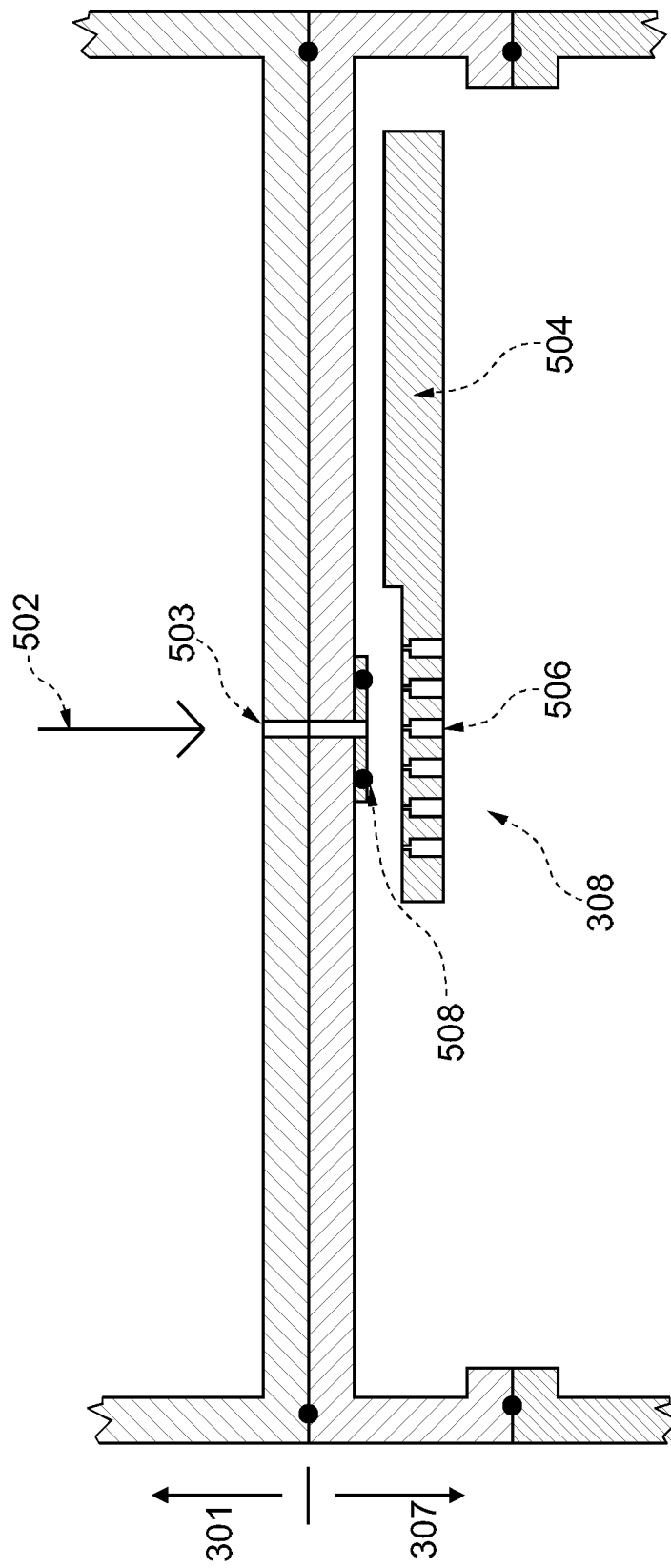


Fig. 5

