



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 02 794 A1** 2004.07.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 02 794.7**
(22) Anmeldetag: **24.01.2003**
(43) Offenlegungstag: **29.07.2004**

(51) Int Cl.7: **H01J 37/02**
B81B 7/00, H01J 27/20, G03B 42/00

(71) Anmelder:
NaWoTec GmbH, 64380 Roßdorf, DE

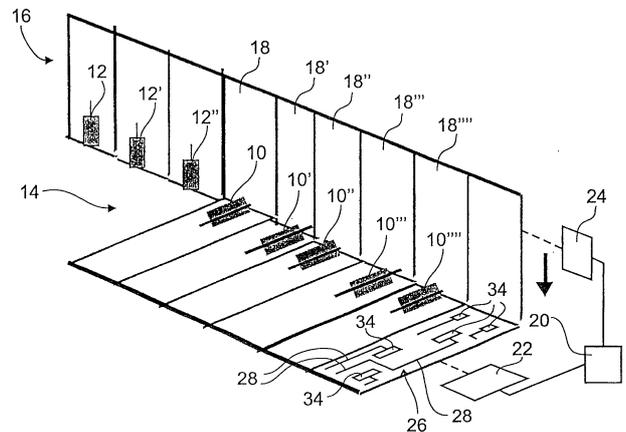
(74) Vertreter:
Puschmann & Borchert, 82041 Oberhaching

(72) Erfinder:
**Koops, Hans Wilfried Peter, Dr., 64372
Ober-Ramstadt, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen (10-10''', 12-12''), bei dem auf einem ersten Substrat (14) mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem (10-10''') mittels rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat (16) mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem (12-12'') von dem mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem (10-10''') mittels rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann eine Vielzahl von Korpuskularstrahlssystemen in relativ kurzer Zeit produziert werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen gemäß der im Anspruch 1 angegebenen Art und eine entsprechende Vorrichtung gemäß der im Anspruch 20 angegebenen Art.

[0002] Korpuskularstrahlsysteme umfassen insbesondere Elektronenstrahl- oder Ionenstrahlsysteme. Im folgenden werden beispielhaft Elektronenstrahlsysteme, deren Anwendungen und Nachteile erläutert. Dies ist jedoch nicht einschränkend zu verstehen. Vielmehr gelten die folgenden Erläuterungen ebenso für andere Korpuskularstrahlsysteme wie beispielsweise die erwähnten Ionenstrahlsysteme.

[0003] Elektronenstrahlsysteme werden beispielsweise in der Halbleitertechnologie, Nanoanalytik, Bio-Nano-Physik, Mikro-Optik und Nano-Elektronik eingesetzt. Sie können insbesondere zur Herstellung von Nanostrukturen wie zum Beispiel der Elektronenstrahl-induzierten lithographischen Nanostrukturierung von Oberflächen angewandt werden. Ionen- und Elektronenstrahlsysteme werden auch zur Reparatur von Photomasken, phasenschiebenden Photomasken und NGL-Masken für die Halbleiterindustrie verwendet. Mit Elektronenstrahlen können auch integrierte Schaltungen direkt auf einen Halbleiterwafer geschrieben und auch dort repariert werden. Vorzugsweise wird dies bei integrierten Schaltungen mit Strukturabmessungen im nm-Bereich praktiziert, wo die bisher eingesetzte Optische und Ionenstrahl-Lithographie an physikalische Grenzen stößt.

[0004] Ein Elektronenstrahlssystem umfasst eine Vielzahl von elektronischen Komponenten, wie beispielsweise eine Strahlstromstabilisierung, eine Strahlablenkung, eine Fokussierungsautomatik mit Hilfe von programmierten Sequenzen, eine Elektronenstrahl-Ablenkung und - Verstärkung und eine Sekundärelektronenstrahlverstärkung. Diese Komponenten werden bisher überwiegend in Form von Einzelplatinen mit diskreten Schaltkreisen aufgebaut, die derart programmierbar sind, dass die vorgenannten Funktionen ausgeführt werden können.

[0005] Um Elektronenstrahlsysteme zu verkleinern, ist es bekannt, Einzelelemente von Elektronenstrahlssystemen mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition aufzubauen, wie beispielsweise der Aufbau von Feldelektronenemittern, Feldemissionskathoden mit Extraktor und Fokussierlinsen sowie von Drahtlinsen für eine elektrostatische Fokussierung und Ablenkung. Die Herstellung einer elektrostatischen Miniaturlinse mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition ist beispielsweise in der DE 44 35 043 A1 beschrieben. Aus der DE 44 16 697 A1 ist es bekannt, für einen flachen Farbbildschirm parallel eine Vielzahl mikrominiaturisierter Elektronenstrahl-Emittersysteme mit Hilfe einer korpuskularstrahlinduzierten Deposition auf einem mit Leiterbahnen konventionell strukturierten Grundmaterial aufzubringen.

[0006] Zur Miniaturisierung wurden Elektronen-

strahlsysteme auch aus mechanischen Einzelteilen zusammengebaut, die aber nicht mit einer kalten Feldelektronenemission, sondern einer heißen Elektronenemission betrieben werden. Mittlerweile wurde auch damit begonnen, miniaturisierte Elektronenstrahlsäulen zu bauen. Verschiedene Forschungsgruppen beschäftigen sich auch damit, Elektronenquellen aus Kohlenstoff-Nanoröhren und anderen Emittieren, wie z.B. dotierte Siliziumspitzen mit transistorgesteuertem Emissionsstrom aufzubauen, die auf einem Halbleiterchip in einer Prozessschritfolge hergestellt werden.

[0007] Nachteilig an den vorgenannten Verfahren ist jedoch, dass die Erzeugung einer Vielzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlsystemen sehr lange dauert, d.h. eine sehr lange Produktionszeit benötigt, da jedes System einzeln sukzessive aufgebaut bzw. erzeugt wird. Nachteilig ist auch, dass die Herstellungsprozessschritte der Halbleiterfertigung so großen Toleranzen unterliegen, dass eine gleichartige Emissions-Charakteristik der Feldemitter nicht erreicht wird.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen und eine entsprechende Vorrichtung anzugeben, welche den Aufbau einer Vielzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlsystemen in relativ kurzer Zeit ermöglichen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen mit den Merkmalen nach Anspruch 1 und durch eine entsprechende Vorrichtung mit den Merkmalen nach Anspruch 20 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0010] Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht darin, eine große Anzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlsystemen durch eine Art Selbstreproduktion zu ermöglichen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass bereits erzeugte Korpuskularstrahlsysteme zum Erzeugen weiterer Korpuskularstrahlsysteme mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition eingesetzt werden.

[0011] Beispielsweise können gemäß der Erfindung mit Hilfe der Elektronenstrahl-induzierten Deposition unter Rechnerführung miniaturisierte Elektronenstrahlsysteme in großer Zahl hergestellt werden. Als Basis und Grundlage kann hierbei eine durch Lithographie in VLSI-Technik hergestellte Grundschaltung dienen, in welche hinein mit der Elektronenstrahl-induzierten Deposition die Funktionselemente für ein weiteres miniaturisiertes Elektronenstrahlssystem aufgebaut werden. Dieses miniaturisierte System wird dann, nachdem es eine Funktionsprüfung bestanden hat, weiterverwendet, um wiederum in einen ebenfalls vorher vorbereiteten Basis-Chips hinein durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition die funktionellen Elemente für ein gleichartiges Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Eine wesentliche Eigenschaft des Elektronenstrahlssystems besteht darin, einen fei-

nen Elektronenstrahl auf ein Substrat zu fokussieren und dort durch Zufuhr von organometallischen Verbindungen wiederum Strukturen durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition zu erzeugen. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Selbstreproduktion von Elektronenstrahlssystemen kann nun in einem ersten Schritt zur Verdoppelung der Anzahl von Elektronenstrahlssystemen den vorher beschriebenen Prozess nutzen, a) um eine Tochtergeneration von Elektronenstrahlssystemen zu erzeugen und b) um die „Tochter“- Elektronenstrahlssysteme zusammen mit dem „Mutter“- Elektronenstrahlssystem parallel einzusetzen, um daraufhin eine zweite Töchtergeneration von nunmehr zwei Elektronenstrahlssystemen parallel aufzubauen. Diese neu aufgebauten Elektronenstrahlssysteme werden dann wieder zu den bereits bestehenden Elektronenstrahlssystemen parallel geschaltet, wodurch vier Elektronenstrahlssysteme erhalten werden, die gemeinsam eingesetzt werden, um in vorbereitete Basis-Chips auf einem Substrat Funktionselemente von weiteren vier Elektronenstrahlssystemen parallel und gleichzeitig aufzubauen, und so fort.

[0012] Mit der Erfindung wird die Möglichkeit eröffnet, ein exponentielles Wachstum der Anzahl der Korpuskularstrahlssysteme zu erzielen. Beispielsweise werden nach fünf Generationen **32** funktionsfähige miniaturisierte Korpuskularstrahlssysteme erhalten, die erprobt und funktionsbereit sind. Nach zehn Tochtergenerationen sind bereits 1024 derartige miniaturisierte Systeme und nach 20 Tochtergenerationen 1 Mio. funktionierende Korpuskularstrahlssysteme erhalten worden. Insbesondere schaltet man die derart erzeugten Korpuskularstrahlssysteme in einen Block zusammen und setzt sie als Strahlmatrix mit z.B. bis zu 1 Mio. parallel produktiv wirkenden Korpuskularstrahlen ein, so erhält man mit Vorteil neuartige Produktionsgeräte zur Herstellung von in der Einzelherstellung zu teuren neuen Produkten. Dies wird durch die Tatsache verursacht, dass im Einzelstrahl-Herstellungsverfahren die Produkte eine hohe Herstellungszeit haben und damit hohe Herstellungskosten von z.B. mehreren Minuten und damit nur unwirtschaftlich hergestellt werden könnten. Beispiele solcher Produkte sind eine Widerstandsmatrix der Detektorelemente für eine flache Kamera für Multimedia-Anwendungen oder eine Emitter- und Extraktor-Anordnung für die Bildpunkt-Strahlungsquellen für flache Feldelementelektrodenquellen, die in Flachbildschirmen Verwendung finden, und die auch mit Vorteil in einem Hochstrom-Schalter mit niedriger Schaltspannung für die Energieübertragungstechnik Anwendung finden.

[0013] Konkret betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen, bei dem auf einem ersten Substrat mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens einen ersten Kor-

puskularstrahlssystem mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird.

[0014] Anschließend kann auf dem ersten Substrat mindestens ein weiteres erstes Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens einen zweiten Korpuskularstrahlssystem mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt werden.

[0015] Vorzugsweise werden abwechselnd erste und zweite Korpuskularstrahlssysteme von den bereits auf den Substraten existierenden zweiten bzw. ersten Korpuskularstrahlssystemen erzeugt.

[0016] Insbesondere werden ein erstes und ein zweites Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass den auf einem Substrat bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen Substrats gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

[0017] Um die für die Herstellung erforderliche Genauigkeit zu erzielen, werden die Substrate vorzugsweise von einem Rechner gesteuert positioniert.

[0018] Eine besonders hohe Positionierungsgenauigkeit ermöglichen Piezoelemente, mit denen insbesondere über einen x-y-z-Verschiebetisch die Substrate zueinander positioniert werden können. Auch mechanische Verschiebetische, die mit Linearmaßstäben in ihrer Bewegung verfolgt werden erfüllen die Präzisionsanforderung für die Platzierung der System-Komponenten.

[0019] Jedes Korpuskularstrahlssystem wird vorzugsweise nach seiner Erzeugung elektrisch getestet, um mögliche Defekte bereits während des Herstellungsprozesses zu erkennen.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf den Substraten Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente erzeugt, mit denen die erzeugten Korpuskularstrahlssysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden und angesteuert werden.

[0021] Insbesondere werden Korpuskularstrahlssysteme auf Anschlusspunkten, die auf einem Substrat vorgesehen sind, erzeugt.

[0022] Eine besonders effiziente Herstellung kann dadurch erzielt werden, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden. Insbesondere bestehen wegen der geringen Abmessungen der Systeme Abstände von weniger als 50 µm zwischen den Systemen.

[0023] Dabei werden die Zwischenräume zwischen den Systemen mit Vorteil für die elektrostatische Abschirmung der Einzelsysteme gegeneinander mit Hilfe von auf definiertem Gleichspannungs- oder Wechselspannungspotential liegenden Elektroden und Leiterbahnen verwendet.

[0024] Vorzugsweise führen erste und/oder zweite Korpuskularstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen durch, die durch Rasterung erzeugt werden, um den Produktionsprozess visuell zu überwa-

chen.

[0025] Sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls werden vorzugsweise in einem automatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlensystem kann eine individuelle Fokussierung durchgeführt.

[0026] Die Deposition wird in einer bevorzugten Ausführungsform mit ionenstrahlinduzierter Deposition durchgeführt. Alternativ dazu wird die Deposition mit Elektronenstrahlen verwendet.

[0027] Vorzugsweise erfolgt die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahlensystem mit rastersondenmikroskopischer Deposition mit Niederspannung beispielsweise von etwa 100 V bis etwa 40 kV.

[0028] Die Korpuskularstrahlensysteme werden vorzugsweise in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert.

[0029] Bis zu einer bestimmten Anzahl ist es vorteilhaft, die Korpuskularstrahlensysteme vollständig konfiguriert aufzubauen und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlensysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlensystemen einzusetzen.

[0030] Insbesondere werden Einzelkämme von Korpuskularstrahlensystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt.

[0031] Die Blöcke können hierbei gemeinsam produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

[0032] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Korpuskularstrahlensysteme mit ihren Korpuskularstrahl-Achsen etwa senkrecht zur Oberfläche des Substrats oder der Substrate angeordnet. Insbesondere umfassen die Korpuskularstrahlensysteme eine oder mehrere Feldemitter-Elektronenquelle(n) mit wenigstens einem Extraktor, welcher als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist, und einer Fokussierungslinse, welche ebenfalls als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist. Die Anordnung aus den Rundlinsen bzw. Quadrupolen ermöglicht eine Steuerung des Emissions-Stromes, die Fokussierung und die Ablenkung des Korpuskularstrahles in x-y-Richtung durch eine rechnergesteuerte Einstellung der Versorgungsspannung der Rundlinsen- bzw. Quadrupol-Elektroden.

[0033] Insbesondere kann das Rundlinsen- bzw. Quadrupolsystem durch Wahl der Spannungen an den Elektroden den Korpuskularstrahl an- und abschalten. Durch Anlegen der Ablenkspannungen an den Extraktor und die Fokussierungslinse wird zudem der Elektronenstrahl zeilenförmig gerastert, im Spiral-Raster oder mit anderen zufälligen oder gezielt gewünschten Koordinaten-Werten oder gezielt von Punkt zu Punkt bewegt.

[0034] Vorzugsweise sind um ein Korpuskularstrahlensystem Drähte, die Sekundärelektronen detektieren, und/oder Metall-Flächen angeordnet, welche die von dem Primärstrahl bzw. Korpuskularstrahl auf

dem gegenüberliegenden Substrat erzeugten Sekundärelektronen aufnehmen. Die Drähte bzw. Metall-Flächen verstärken die Sekundärelektronen in der Ausführungsform eines offenen Multipliers und führen sie einem Bildsignal-Anzeigegerät synchron zur Ablenkung oder einer Anzeige zu.

[0035] Insbesondere werden die Bildsignale und Sekundärsignale der Sekundärelektronen zur Prozeßsteuerung und Bildanzeige verwendet.

[0036] Die Strahlen der Korpuskularstrahlensysteme werden vorzugsweise zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlensysteme, Tochtersysteme oder Strahlquellen verwendet, die insbesondere auf einer in einem vorgegebenen Abstand angeordneten, über einen x-y-z-Verschiebetisch positionierbaren vorstrukturierten Halbleiterschaltung hergestellt werden. Die Halbleiterschaltung wird hierbei vorzugsweise durch Vorstrukturierung mit Anschlüssen, Depositions-Fusspunkten und Systemelektronik in Form von Halbleiterschaltungen hergestellt.

[0037] Insbesondere ist eine erzeugte neue Tochterstruktur gleichartig zur Vervielfältigung der Mutter-Anordnung ausgeführt.

[0038] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Tochterstruktur andersartig, aber ebenfalls korpuskularstrahlenspezifisch aufgebaut, um andersartige Korpuskularstrahl-Anwendungen in mehrfacher Form auf den Substraten zu erzeugen und zur Funktion zu bringen, z.B. die vom Erfinder patentierten Mikroröhren für Elektronenverstärker im THz-Bereich, für Schaltungen für Bit-Fehler-Raten Messplätze für die Telekommunikation im oberen GHz Bereich oder für Hochstrom-Elektronenquellen für die schnelle leistungsarme Schaltung von sehr hohen Strömen für die Energieverteilung.

[0039] Um die Deposition überall in gleicher Weise zu ermöglichen werden die zur Deposition erforderlichen Gase vorzugsweise zwischen gegenüber angeordneten Substraten mit ausreichend hohem Druck eingebracht.

[0040] Um zu verhindern, dass bei der Deposition auf der Tochterebene erzeugte Ionen auf der Mutterebene deponieren, und umgekehrt, wird bei der Wahl der Spannungen in den Systemen Sorge getragen, dass ein Ionenspiegel-Effekt eintritt, welcher diese Ionen von den empfindlichen Strukturen der Mutter-Ebene repsektive Tochterebene fern hält und sie durch Verwendung geeigneter Potentiale gezielt auf dafür vorgesehenen geeigneten Stellen sammelt und unschädlich macht. Solche Stellen sind zum Beispiel Linsenelektroden oder vorgefertigte Auffangflächen, die auf gegenüber dem Auftreff-Ort der Primärelektronen negativem Potential liegen.

[0041] Die Substrate werden vorzugsweise rechnergesteuert gegeneinander verschoben, so dass ebenfalls auf den Substraten befindliche und durch vorstrukturierende Lithographie und Lithographieverfahren hergestellte Teststrukturen es ermöglichen, erzeugte Tochterstrukturen oder Spezialstrukturen in ihrer Eigenschaft zu vermessen und zu kalibrieren.

[0042] Durch Verdoppelung der getesteten und gegebenenfalls durch Reparatur wieder funktionsfähig gemachten Strukturen werden diese in exponentiell wachsenden Zahlen erzeugt.

[0043] Die vielfach erzeugten Korpuskularstrahlsysteme werden vorzugsweise zur ökonomischen Herstellung von einzelnen, von in Gruppen durch Aufteilung der Flächen oder von flächigen Anordnungen derartiger Systeme eingesetzt.

[0044] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen mit einem ersten Substrat und mindestens einem zweiten Substrat, wobei sich auf dem ersten Substrat mindestens ein mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugtes erstes Korpuskularstrahlsystem befindet.

[0045] Insbesondere sind das erste und das mindestens zweite Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass den auf einem Substrat bereits existierenden Korpuskularstrahlsystemen freie Flächen des anderen Substrats gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlsysteme des einen Substrats Korpuskularstrahlsysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

[0046] In einer bevorzugten Ausführungsform zeichnet sich die Vorrichtung durch einen Rechner aus, der programmtechnisch eingerichtet ist, um die Anordnung der Substrate insbesondere über einen Verschiebetisch in x-y-z-Richtung zu steuern.

[0047] Ferner werden vorteilhafterweise Piezoelemente an den Substraten vorgesehen, um diese zueinander mit hoher Präzision elektrisch gesteuert und vermessen zu positionieren.

[0048] Während der Herstellung wird vorzugsweise die Funktionsfähigkeit der Korpuskularstrahlsysteme überprüft durch vorgesehene Testmittel, wie Bildwiedergabe, elektrische Strom- und Spannungsdetektion und Anzeige, und andere Anzeigen, die zum Testen jedes Korpuskularstrahlsystems auf den Substraten ausgebildet und elektrisch angeschlossen sind.

[0049] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das erste und zweite Substrat ein Halbleiter, insbesondere Silizium. In diesem Fall werden mittels Halbleiterherstellungsverfahren, wie diese auch zur Produktion von integrierten Schaltungen angewandt werden, elektronische Komponenten auf den Substraten für die Korpuskularstrahlsysteme erzeugt. Falls hohe Spannungen in den Korpuskularstrahlsystemen erforderlich sind, wird mit Vorteil die elektronische Steuer- und Vermessungs-Schaltung auf einem isolierenden Substrat wie Glas oder Keramik mit Halbleitertechnischen Prozessen hergestellt.

[0050] Insbesondere wird vorteilhafterweise das Substrat Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente aufweisen, mit denen Korpuskularstrahlsysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

[0051] Die Schaltungselemente sind beispielsweise insbesondere rechnergesteuerte Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler, Korpuskularstrahl-

lenverstärker, Blendenablenkverstärker, Rastergenerator, Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel, Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker, Astigmatismus-Spannungsverstärker und/oder Ablenkungsspannungsverstärker.

[0052] Typischerweise weist ein Substrat mindestens eine Fläche mit einer Breite von etwa 2 µm bis etwa 2500 µm und einer Länge von etwa 10 µm bis zu etwa 100 mm für ein Korpuskularstrahlsystem auf.

[0053] Ferner weist ein Substrat in einer bevorzugten Ausführungsform Anschlusspunkte für Korpuskularstrahlsysteme auf, beispielsweise metallisierte elektrische Kontaktpunkte zum Anschliessen von Komponenten der Korpuskularstrahlsysteme.

[0054] Vorzugsweise sind Korpuskularstrahlsysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet, was produktionstechnisch besonders vorteilhaft ist, da sich die Substrate Seite an Seite anordnen lassen und alle Korpuskularstrahlsysteme eines Substrats dann zur Erzeugung von Korpuskularstrahlsystemen auf dem gegenüberliegenden ebenfalls kammartigen Substrat gleichzeitig arbeitend eingesetzt werden. Die kammartige Anordnung unterstützt mit Vorteil die Verbindungstechnik unter Verwendung von industriell eingesetzten Platinenstecker-Buchsen zum Prüfen und Betreiben der gefertigten Elemente

[0055] In einer bevorzugten Ausführungsform sind mindestens ein erstes und mindestens ein zweites Korpuskularstrahlsystem mit Mess- und Stabilisator-schaltungen versehen, die zum Messen und Stabilisieren von Korpuskularstrahlung dienen.

[0056] Es werden ferner in einer bevorzugten Ausführungsform Schaltungselemente vorgesehen, welche die Korpuskularstrahlsysteme mit Spannung und Strom versorgen und es ermöglichen, diese mittels Speicher programmierbar einzustellen. Dies ermöglicht den Aufbau sehr flexibler, da programmierbarer Korpuskularstrahlsysteme.

[0057] Vorzugsweise sind die Korpuskularstrahlsysteme mit Mitteln versehen, die zum Ausführen eines automatisierten Prüfverfahrens ausgebildet sind, welches die Funktionsfähigkeit und Stabilität der Strahlung und der Bildaufnahme und Bildauswertung gewährleistet.

[0058] Die Korpuskularstrahlsysteme werden vorteilhafterweise mit bildanzeigenden Mitteln verbunden, die in einem Bildschirm oder Großbildschirm mit entsprechender Bildaufteilung für die einzelnen Korpuskularstrahlsysteme bestehen, so dass die Arbeit des Systems überwacht und sein Ergebnis für anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung gestellt wird.

[0059] Die bildanzeigenden Mittel weisen insbesondere dateninformationsreduzierende Routinen auf, um die Überwachung zu unterstützen und um zu gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler gespeichert werden müssen.

[0060] Vorzugsweise weisen die Korpuskularstrahlsysteme Elektronenquellen oder Gas- oder Flüssig-

keitsionenquellen auf.

[0061] Schließlich betrifft die Erfindung die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera, eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays und einer Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher, sowie andere bereits oben genannte Anwendungen.

[0062] Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen.

[0063] In der Beschreibung, in den Ansprüchen, der Zusammenfassung und in den Zeichnungen werden die in der hinten angeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet.

[0064] In den Zeichnungen bedeutet:

[0065] **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen sukzessiven Herstellung von miniaturisierten Elektronenstrahlssystemen mit Hilfe vorgefertigter Schaltkreise und Elektronenstrahl-induzierter Deposition zum Aufbau funktionaler Gruppen von Korpuskularstrahlssystemen,

[0066] **Fig. 2** eine schematische Darstellung eines einzelnen Elektronenstrahl-systems, das auf einer vorgegebenen Fläche auf einem Substrat durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition gemäß der Erfindung aufgebaut wurde,

[0067] **Fig. 3** eine Seitenansicht eines Elektronenstrahl-systems, dessen Strahlachse senkrecht zum Substrat angeordnet ist,

[0068] **Fig. 4** eine perspektivische Ansicht des in **Fig. 3** dargestellten Elektronenstrahl-systems,

[0069] **Fig. 5** die verschiedenen Potentiale im Elektronenstrahl, der von dem in den **Fig. 3** und **4** dargestellten Elektronenstrahl-system emittiert wird,

[0070] **Fig. 6** eine Draufsicht auf das in **Fig. 3** dargestellte Elektronenstrahl-system,

[0071] **Fig. 7** ein Gitter zur Ablenkkalibrierung und daneben ein mittels Elektronenstrahl-Deposition erzeugter Zylinderaufbau zur Bildung eines Faraday-Käfigs zur Strommessung, und

[0072] **Fig. 8** eine Detailansicht des in **Fig. 7** dargestellten Gitters mit den in **Fig. 7** dragestellten Zylinderaufbauten.

[0073] Im folgenden können gleiche und funktional gleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen sein.

[0074] Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist durch den Einsatz einer rechnergesteuerten Elektronenstrahl-induzierten Deposition gekennzeichnet. So kann beispielsweise in ca. 20-30 Min. auf einem vorbereiteten ersten Basis-Chip als erstes Substrat, der Stabilisierungs-, Steuer-, Auswertungs- und andere Schaltkreise aufweist, ein miniaturisiertes Elektronenstrahl-system hergestellt wer-

den. Die hierfür eingesetzte Herstellungstechnik ist eine Reparaturtechnik, welche die Korrektur und Fehlerbehebung in den deponierten Strukturen ermöglicht. Mit dieser Technik wird ein erstes Elektronenstrahl-system aufgebaut und danach durch Anlegen von erforderlichen Versorgungsspannungen eingeschaltet. Nach dem Einschalten erfolgt ein elektronischer Test des erzeugten Systems.

[0075] Die durch Deposition gefertigten Elemente des ersten Elektronenstrahl-systems wie elektrostatische Linsen und ein Abbildungssystem, das mit einer Strahlableitung und mit oder ohne einer Aperturblende ausgerüstet ist, ermöglichen eine Fokussierung mit hoher Strahlstromdichte in einem geringen Arbeitsabstand. Dadurch wird es ermöglicht, durch eine Elektronenstrahl-induzierte Deposition weitere Bauelemente von Elektronenstrahl-systemen auf einem zweiten Basis-Chip als zweites Substrat abzuscheiden.

[0076] Um ein zweites Elektronenstrahl-system aufzubauen, wird der zweite Basis-Chip durch mechanische Platzierung bzw. Anordnung gegenüber dem ersten Basis-Chip mit nm-Präzision ausgerichtet. Durch bildverarbeitende Mittel werden dann im Mix- und Match-Verfahren die Elektroden des zweiten Elektronenstrahl-systems auf Nanometer genau platziert auf dem zweiten Basis-Chip hergestellt. So wird ein eine Quelle, einen Kondensator, eventuell eine Blende, ein Ablensystem, eine Ablenklinse und einen Detektor umfassendes zweites Elektronenstrahl-system erzeugt, das in seiner Gesamtgröße zwischen 1 und 100 μm lang ist.

[0077] Dieses miniaturisierte Elektronenstrahl-system ermöglicht eine Fokussierung eines Elektronenstrahls durch die letzte Linse des Systems mit 20 bis 100 eV in einem Arbeitsabstand von einigen μm . Die Fokussierung kann dabei so fein werden wie bei einem herkömmlichen 20 kV-Elektronenstrahl-system, da Linsenfehler der elektrostatischen miniaturisierten Linsen aus leitenden Drähten sehr viel kleiner sind, als die der herkömmlichen großen elektrischen und magnetischen Linsen in einem 20 kV-Elektronenstrahl-system. Dementsprechend sind die Bildfehler um Größenordnungen kleiner. Ein derartiges miniaturisiertes Elektronenstrahl-system ermöglicht daher bei ähnlich großer Apertur eine ähnliche Auflösung wie bei einem herkömmlichen etwa 1 m großen Elektronenstrahl-system.

[0078] Die erfindungsgemäße Herstellung vieler miniaturisierter Elektronenstrahl-systeme wird mit Vorteil durch eine roboterartige Führung der Substrate, auf denen die Systeme aufgebaut werden, verbessert. Hierzu gibt es zwei unterschiedliche Verfahren.

[0079] Bei einem ersten Verfahren wird ein herkömmliches Raster-Elektronenstrahl-system verwendet, das mit einer speziellen mehrkanaligen Gaszuführung zur Lieferung von Präkursoren für die Deposition ausgerüstet ist. Das Raster-Elektronenstrahl-system erzeugt auf einem spezifischen Basis-Chip eines ersten Substrats für ein herzustellendes Elek-

tronenstrahlssystem eine Elektrodenkonfigurationen, eine Elektronenquelle, eventuell eine Blende, eine Ablenklinse und einen Detektor durch Aufwachsen in vorbereitete Anschlusspunkte des spezifischen Basis-Chips. Dieses Elektronenstrahlssystem wird nun verwendet, um auf einem weiteren vorbereiteten Basis-Chip auf gleiche Weise, nämlich durch Depositionsschreiben senkrecht zum Schreiben senkrecht zum Substrat ein zweites Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Beide Chips werden dann parallel angeordnet, mit Spannung versorgt und zu einer Doppelschreibeinheit verbunden. Mit einem derartigen Doppelsystem können zwei weitere Elektronenstrahlssysteme aufgebaut werden. Insgesamt können so 2ⁿ Elektronenstrahlssysteme bei n Systemgenerationen hergestellt werden.

[0080] Ein zweites Verfahren besteht darin, auf einem ersten, kammartigem Substrat, das eine Vielzahl von kammartig angeordneten Basis-Chips aufweist, mit einem Raster-Elektronenstrahlssystem ein erstes Elektronenstrahlssystem auf einem der Basis-Chips zu erzeugen. Dem ersten Substrat wird dann ein zweites, ähnlich kammartig ausgebildetes Substrat gegenübergestellt, genauer gesagt in einem Winkel von etwa 90° zum ersten Substrat angeordnet. Das zweite Substrat wird dann mechanisch relativ zum ersten Substrat derart bewegt, dass mittels des ersten Elektronenstrahlssystems auf dem ersten Substrat die Elektronenquelle, die Elektroden und weitere Systemfunktionselemente eines zweiten Elektronenstrahlssystems auf dem zweiten Substrat erzeugt werden.

[0081] Wenn dieses zweite „Tochter“-Elektronenstrahlssystem erzeugt ist, wird es ebenfalls wie das erste Elektronenstrahlssystem mit Strom versorgt und dazu benutzt, um auf einem zweiten Basis-Chip des ersten Substrats ein weiteres erstes Elektronenstrahlssystem aufzuschreiben, nachdem das erste Substrat mechanisch relativ zum zweiten Substrat derart angeordnet worden ist, dass dem zweiten „Tochter“-Elektronenstrahlssystem eine freie Fläche bzw. ein Basis-Chip gegenüberliegt.

[0082] Danach befinden sich auf dem ersten Substrat zwei parallel angeordnete Elektronenstrahlssysteme, die wiederum zum Erzeugen zweier zweiter Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Substrat verwendet werden. Hierzu schreiben die beiden parallelen Elektronenstrahlssysteme des ersten Substrats auf das etwa rechtwinklig zum ersten Substrat angeordnete zweite Substrat zwei weitere Systeme, so dass sich auf dem zweiten Substrat insgesamt drei Systeme befinden. Diese drei Elektronenstrahlssysteme werden wiederum dazu verwendet, auf das erste Substrat zusätzliche drei Elektronenstrahlssysteme zu erzeugen, so dass sich insgesamt fünf Systeme auf dem ersten Substrat befinden.

[0083] In Fig. 1 sind ein erstes und ein zweites Substrat **14** bzw. **16** dargestellt, auf denen sich erste bzw. zweite miniaturisierte Elektronenstrahlssysteme **10**, **10'**, **10''**, **10'''**, **10''''** bzw. **12**, **12'**, **12''** befinden. Die

beiden Substrate **14** und **16** sind kammartig ausgebildet, d.h. sie haben eine etwa rechteckförmige Ausbildung und sind in freie Flächen entsprechend Basis-Chips aufgeteilt, welche für Elektronenstrahlssysteme vorgesehen sind. Die Substrate **14** und **16** sind in einem Winkel von etwa 90° zueinander angeordnet. Ihre Position wird von einem (Steuer-)Rechner **20** kontrolliert, der Piezoelemente **22** und **24** zum exakten Ausrichten der Substrate **14** und **16** ansteuert. Damit ist eine Positionierung der Substrate **14** und **16** möglich, aber mit nm- Genauigkeit.

[0084] Die Elektronenstrahlssysteme **10-10''''** und **12-12''** wurden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren folgendermaßen erzeugt: zuerst wurde mit einem nicht dargestellten Raster-Elektronenschreiber das erste Elektronenstrahlssystem **10** auf dem ersten Substrat **14** mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition hergestellt. Anschließend wurde das zweite Substrat **16** vom Rechner **20** über das Piezoelement **24** derart zum ersten Substrat **14** ausgerichtet, dass der Basis-Chip für das zweite Elektronenstrahlssystem **12** gegenüber dem ersten Elektronenstrahlssystem **10** angeordnet war. Danach erzeugte das erste Elektronenstrahlssystem **10** das zweite Elektronenstrahlssystem **12**. Das zweite Elektronenstrahlssystem **12** wurde nach Fertigstellung in Betrieb genommen und erzeugte nach erfolgreichem Test das erste Elektronenstrahlssystem **10'** neben dem Elektronenstrahlssystem **10** auf dem ersten Substrat, nachdem der entsprechende Basis-Chip des ersten Substrats **14** gegenüber dem zweiten Elektronenstrahlssystem **12** plazierte worden war. Die beiden nebeneinander liegenden Elektronenstrahlssysteme **10** und **10'** wurden dann zum gleichzeitigen Erzeugen der Elektronenstrahlssysteme **12'** und **12''** nach entsprechender Positionierung der beiden Substrate **14** und **16** erzeugt. Schließlich deponierten die so erzeugten nebeneinander angeordneten drei Elektronenstrahlssysteme **12-12''** die Elektronenstrahlssysteme **10''-10''''** gleichzeitig. In einem nächsten Schritt werden dann die Elektronenstrahlssysteme **10-10''''** gleichzeitig fünf (nicht dargestellten) Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Substrat **16** erzeugen. Die beiden Substrate **14** und **16** sind hierfür bereits entsprechend positioniert. Die Basis-Chips bzw. freien Flächen **18-18''''** für die zu erzeugenden Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Substrat sind noch frei.

[0085] Eine weitere freie Fläche am rechten Rand des ersten Substrats **14** zeigt schematisch Schaltungselemente **26**, die für ein Elektronenstrahlssystem vorgesehen sind. Die Schaltungselemente **26** umfassen Verdrahtungselemente **28**, insbesondere Leiterbahnen, und Anschlusspunkte **34**, insbesondere freie Metallflächen. Die Anschlusspunkte **34** dienen zum Aufwachsen von Strukturen eines Elektronenstrahlssystems, beispielsweise von Linsen und Blenden.

[0086] Die Verdrahtungselemente **28** dienen zum elektrischen Verbinden von einem Elektronenstrahlssystem mit weiteren (nicht dargestellten) Schaltungselementen, beispielsweise Strom- oder Spannungs-

quellen.

[0087] In **Fig. 2** ist ein vollständiges Elektronenstrahlsystem **30** auf einer Fläche **32** eines Substrats dargestellt, wie es durch das erfindungsgemäße Verfahren auf einem Basis-Chip erzeugt wurde. Der von dem System **30** erzeugte Elektronenstrahl trifft auf ein Objekt **36**, das beispielsweise ein weiterer Basis-Chip eines Substrats sein kann, auf dem ein weiteres Elektronenstrahlsystem aufgebaut werden soll. Das Objekt **36** ist etwa in einem Winkel von 90° zum System **30** angeordnet und befindet sich etwa im Brennpunkt des Elektronenstrahls **34**.

[0088] Das dargestellte Elektronenstrahlsystem **30** umfasst einen Emitter **38** sowie ein Blenden und Linsensystem **40** mit einer Extraktor-Linse aus zwei ringförmigen Elektroden. Eine Blende ist nicht gezeigt. Diese müsste in dem Raum zwischen Extraktorlinse und Ablenklinse angeordnet sein. Wegen der Anordnung der Feldelektrodenquelle als Superspizze auf dem Emitterträger kann es ausreichend sein, die auf einen Emissionsort begrenzte Emission ohne zusätzliche Blende vollständig zu verwenden, da dies durch die kleinen Linsenfehler der Extraktorlinse ermöglicht ist, ohne die Quelle in ihrer Größe und Emittanz wesentlich zu verschlechtern. Zudem kann der Fokus des Strahls durch den Rundlinsenteil der Ablenklinse geregelt werden. Ein derartiges Elektronenstrahlsystem **30** wird dazu verwendet, ein „Tochter“-Elektronenstrahlsystem auf dem Objekt **36** mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition gemäß der Erfindung zu erzeugen.

[0089] Mit den oben beschriebenen Verfahren entsteht eine spezielle mathematische Reihe von Wachstumszahlen und von Elektronenstrahlsystemen, welche auch ähnlich dem exponentiellen Wachstum zu einer Reproduktion von vielen Elektronenstrahlsystemen führt. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass zwei funktionsfähige Substrate sukzessive mit Elektronenstrahlsystemen ergänzt aufgefüllt werden, und zum Schluss sehr schnell voll gefüllte Substrate mit Elektronenstrahlsystemen erhalten werden. Um beispielsweise 64 oder 1024 oder gar 1 Mio. von miniaturisierten Elektronenstrahlsystemen zu erhalten, können die Substrate mit ihren parallel arbeitenden Elektronenstrahlsystemen als ganzes eingesetzt werden und neue „Tochter“-Elektronenstrahlsysteme auf einem neuen Substrat gleichzeitig herstellen.

[0090] Das zweite Verfahren hat gegenüber dem ersten Verfahren den Vorteil, dass die Substrate mit Elektronenstrahlsystemen nicht in Einzelelemente zerschnitten werden müssen. Ausserdem ist mit Vorteil die Verdrahtung der Versorgungsspannungen und anderer parallel ablaufender elektrischer Steuerungsschritte mit in das Substrat bei der Herstellung integriert. Damit wird das Packaging von Einzelkomponenten vermieden und die Zuverlässigkeit der Anordnung wesentlich erhöht.

[0091] In **Fig. 3** ist ein erstes Elektronenstrahlsystem **10** auf einem ersten Substrat **14** in seitlicher An-

sicht dargestellt, dessen durch eine gestrichelte Linie angedeuteter Elektronenstrahl etwa senkrecht zum Substrat **14** verläuft. Der Elektronenstrahl des ersten Systems **10** baut auf einem zweiten Substrat **16**, das dem ersten Substrat **14** gegenüberliegt, ein zweites Elektronenstrahlsystem **12** mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition auf. Zwischen den beiden plattenförmigen Substraten **14** und **16** befindet sich ein Gas, dessen Gaspartikel **58** für die Deposition erforderlich sind. Das Gas weist einen für die Deposition ausreichend hohen Druck zwischen den Substraten **14** und **16** auf.

[0092] Das erste Elektronenstrahlsystem **10** umfasst eine feine Metallspitze als Emitter **38** für Elektronen. Weiterhin weist das erste System **10** einen ersten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden **44** und einen zweiten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden **50** und **52** auf. Die entsprechend zum Quadrupol gehörigen weiteren zwei Elektroden in der zur Zeichenebene senkrechten Ebene durch die Strahlachse sind nicht gezeichnet, werden aber in den folgenden **Fig. 4** im Schrägbild für den ersten Quadrupol und in **Fig. 6** mit ihren Fußpunkten an den Endpunkten der Anschlussleiterbahnen **43**, **44**, **46**, **48** und **50** – **56** in der Anschlussstruktur dargestellt. Der erste Quadrupol **43**, **44**, (**46**, **48** nicht gezeigt) dient als Extraktor, um die vom Emitter **38** emittierten Elektroden zu beschleunigen. Der zweite Quadrupol **50**, **52**, (**54**, **56** nicht gezeigt) ist in Richtung vom ersten zum zweiten Substrat **14** bzw. **16** hinter dem ersten Quadrupol **43**, **44** angeordnet und dient als Fokussierungslinse für den Elektronenstrahl. Mittels einer rechnergesteuerten Einstellung der Versorgungsspannung der Elektroden der beiden Quadrupole **43**, **44**, **50**, **52** wird der Emissionsstrom des Emitters **38**, die Fokussierung und Ablenkung des Elektronenstrahls in x-y-Richtung ermöglicht, wobei die x-y-Ebene etwa parallel zu den Ebenen liegt, in welchen sich die Substrate **14** und **16** befinden. **Fig. 4** zeigt das in **Fig. 3** dargestellte erste Elektronenstrahlsystem **10** in perspektivischer Ansicht. Neben den Elektroden **50**, **52**, **54**, **56** des zweiten Quadrupols ist der Emitter **38** zu erkennen. Der erste Quadrupol von **Fig. 3** ist in dieser Ansicht nicht dargestellt.

[0093] **Fig. 5** zeigt das Potential eines von einem Emitter **38** emittierten Elektronenstrahls. An der Spitze des Emitters **38** herrscht ein Potential Q1. Wenn der Elektronenstrahl aus dem Elektronenstrahlsystem austritt weist er ein Potential Q2 auf, das im Wesentlichen vom zweiten Quadrupol bestimmt wird. Der Elektronenstrahl trifft auf das zweite Substrat **16** mit einem Bremspotential auf. Diese Verzögerung der Primärelektronen bewirkt eine Beschleunigung der aus dem Substrat ausgelösten Sekundärelektronen und bremst die dort ausgelösten Ionen, so dass sie nicht die Feldemissionskathode erreichen können. In einer weiteren vorteilhaften Ausführung können die Potentialwerte Q1 und Q2 auch vertauscht sein und dennoch das Bremspotential erhalten bleiben.

[0094] In **Fig. 6** ist das Elektronenstrahlsystem **10** in Draufsicht dargestellt. In dieser Darstellung sind alle Elektroden des Systems zu erkennen. Der erste Quadrupol wird durch die Elektroden **43, 44, 46, 48** und der zweite Quadrupol durch die Elektroden **50, 52, 54, 56** gebildet. Die Ansteuerung der Elektroden ist beispielhaft für die Elektrode **48** dargestellt. Sie umfasst für die Elektrode **48** eine einstellbare Spannungsquelle **60**, die über ein Strom-Messgerät **62** mit der Erde verbunden ist. Über die einstellbare Spannungsquelle **62** kann das Potential der Elektrode **48** eingestellt werden. Die Elektroden **50, 52, 54** und **56** werden auch als Fänger für Sekundärelektronen verwendet. Alle Signale der Elektroden **50, 52, 54** und **56** werden mit einem Summierverstärker anstelle dem Einzelnen Strom-Messgerät pro Elektrode, wie bei **48** exemplarisch dargestellt, addiert und zur Bildauswertung verwendet. Damit kann der Aufbau des zweiten Elektronenstrahlsystems **12** auf dem zweiten Substrat **16** visuell überwacht werden, indem ein mit der x-y Ablenkung synchron laufender Schreibstrahl einer Bildwiedergaberöhre in seiner Helligkeit mit dem verstärkten Sekundärelektronensignal moduliert wird.

[0095] **Fig. 7** zeigt ein Gitter **64** zur Ablenkkalibrierung von Elektronenstrahlen. Dieses Gitter **64** kann auch zur Messung des Astigmatismus durch ein Moiré-Verfahren eingesetzt werden, indem die Elektronensonde unter einem sehr kleinen Winkel zur Gittersteg-Kante geführt wird und aus der Zahl der im Sekundärelektronensignal sichtbaren Querstege auf den benötigten Weg geschlossen wird, um die Sonde ganz auf den Steg zu fahren oder ganz vom Steg zu bewegen. Die Auflösung des Verfahrens ist proportional zu $1 / \text{Winkel}$ zwischen Sondenbewegungsrichtung und Gittersteg. Wie mit dem Gitter eine Messung und Kalibrierung des Astigmatismus erfolgt, ist in der Veröffentlichung „Metrology-Chip for Measurement of Diameter and Astigmatism of an Electron Beam with nm Resolution Using Moiré Amplification“, H.W.P. Koops, B.Hübner, M.Watanabe, *Microelectronic Engineering* **23** (1994) S.387-390, genauer beschrieben. Das Gitter **64**, das Quer- und Längsstäbe **66** bzw. **68** umfasst, ist auf einem Substrat angeordnet und dient im wesentlichen als Kalibriermuster und Detektorfläche zur Strommessung. Es weist den in **Fig. 7** rechts neben dem Gitter **64** dargestellten Zylinder **70** auf. Der Zylinder **70**, dessen Höhe sehr viel größer als sein Durchmesser ist, ist mittels Deposition erzeugt worden. Der Zylinder bildet einen Faraday-Käfig zur Strommessung und ist hierzu mit Leiterbahnen **72** des Gitters **64** kontaktiert.

[0096] Die in **Fig. 8** dargestellte Detailansicht des Gitters **64** zeigt, wie die Zylinder **70** im Gitter angeordnet sind.

[0097] Das Wachstum der Vielzahl von Elektronenstrahlsystemen gemäß der Erfindung ermöglicht den Einsatz vieler lokal, separat geführter Elektronenstrahlsysteme für die Fertigung mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition. Durch die Größe dieser

miniaturisierten Systeme wird eine Strahldichte im Bereich von etwa $250 \mu\text{m}$ und darunter als Strahlabstand längs eines kammförmigen Substrats erreicht. Durch Aufeinanderlegen von derartig mit Elektronenstrahlsystemen versehenen Substraten wird ein Abstand der Strahlen senkrecht zum Kamm von wiederum z.B. etwa $250 \mu\text{m}$ erreicht, bzw. der die Steuerelektronik tragenden Halbleiterdicke. Das entspricht der Dicke eines Silizium-Wafers, aus welchen die Substrate mit Basis-Chips gefertigt wurden. Diese Strahldichte von etwa $250 \times 250 \mu\text{m}$ Abstand in einer Fläche von etwa $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ ermöglicht 1440 Strahlen, die zur Herstellung von eben verteilten Bauelementen, die mit einem derartigen Rastermaß gebraucht werden, eingesetzt werden.

[0098] Beispielsweise kann die Rastermatrix zur Herstellung einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera mit Elektronenstrahl-induzierter Deposition eingesetzt und diese in Massenproduktion hergestellt werden. Eine weitere vorteilhafte Anwendung derartiger Parallelstrahl-Systeme dient der Herstellung von Flachbildschirmen mit Elektronenquellen. Die Elektronenquellen bestehen hierbei je aus Emitter und Extraktor. Damit müssen nur zwei Drahtelektroden hergestellt werden, von welchen eine eine feine Spitze hat. Dies gilt auch für die Herstellung von Linsearrays durch Elektronenstrahlbelichtung und anderen eben in einem Rastermaß geforderten Depositions- und Belichtungsstrukturen. Zum weiteren können derartige Systeme, da sie eigenständige Detektoren beinhalten, auch zum Vermessen von Strukturen in paralleler Anordnung der Elektronenstrahlen verwendet werden. Auf diese Weise kann der Durchsatz der Elektronenstrahlmesstechnik in der Halbleiterfertigung mit hoher Auflösung vervielfacht werden.

[0099] Zudem ist das Schreiben von Elektronenstrahlolithographiestrukturen mit viel höherer Schreibgeschwindigkeit mit einem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Elektronenstrahlsystem-Array möglich, da verhindert wird, dass der Gesamtstrom durch eine Optik fließt. Bei den im Raster angeordneten Elektronenstrahlsystemen fließt dagegen der Elektronenstrahlstrom durch 2^n Optiken (wenn n Generationen von Elektronenstrahlsystemen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß dem oben beschrieben ersten oder zweiten Verfahren hergestellt wurden). Dadurch kann man die Schreibzeit t auf $t/2^n$ verringern, was für die Großflächenlithographie insbesondere für Nanostrukturen von großem Vorteil ist, beispielsweise beim direkten Schreiben von Masken oder Wafer-Belichtungen für die Produktion von integrierten Schaltungen.

[0100] Eine weitere vorteilhafte Anwendung der Vielzahl von Elektronenstrahlsystemen liegt in der Speichertechnik. Dazu werden Elektronenstrahlsysteme so aufgebaut, daß sie durch Ablenkung ihres Elektronenstrahls in einem Rasterfeld von beispielsweise etwa $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ die Speicherelemente, zum Beispiel elektrische oder magnetische Speicherzellen-Elemente von etwa 30 nm Durchmesser her-

stellen und auch ansprechen können. Durch geeignete Auswertung der Strahl-Antwort in Form von rückgestreuten oder gespiegelten Elektronen kann der Speicherzelleninhalt gelesen und eine Speicherung der Information ohne die Verwendung beweglicher Teile ermöglicht werden. In der Fläche von etwa $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ können sich beispielsweise 9 Millionen Speicherzellen befinden. Mit z.B. 1000 parallel arbeitenden Elektronenstrahlssystemen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurden, wären 9 Gbit ansprechbar. Zudem kann durch die Verwendung von parallel arbeitenden Schreib- und Lesestrahlen die Datenübertragungsrate gegenüber herkömmlichen Speichersystemen wie beispielsweise DRAM-Chips oder auch Festplatten erhöht werden. Gleichzeitig wird der Einsatz mechanisch bewegter Teile vermieden, was die Zuverlässigkeit der Anordnung erhöht.

Bezugszeichenliste

10-10''''	erste Elektronenstrahlssystem
12-12''	zweite Elektronenstrahlssysteme
14	erstes Substrat
16	zweites Substrat
18-18''''	freie Flächen
20	Rechner
22, 24	Piezoelemente
26	Schaltungselemente
28	Verdrahtungselemente
30	Elektronenstrahlssystem
32	Fläche
34	Anschlusspunkte
36	Objekt
38	Emitter
40	Linsensystem
42	Extraktor-Linse
43	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
44	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
46	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
48	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
50	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
52	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
54	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
56	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
58	Gaspartikel
60	einstellbarer Spannungsquelle
62	Strom-Messgerät
64	Gitter
66	Querstäbe
68	Längsstäbe
70	Zylinder (Faraday-Käfig)
72	Leiterbahn

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen (**10-10''''**, **12-12''**), bei dem auf einem ersten Substrat (**14**) mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem (**10**) mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat (**16**) mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem (**12**) von dem mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem (**10**) mittels rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass anschliessend auf dem ersten Substrat (**14**) mindestens ein weiteres erstes Korpuskularstrahlssystem (**10'**) von dem mindestens einen zwei-

ten Korpuskularstrahlsystem (**12**) mittels rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass abwechselnd erste und zweite Korpuskularstrahlsysteme (**12'**, **12''**, **10'**, **10''**, **10'''**) von den bereits auf den Substraten (**14**, **16**) existierenden zweiten bzw. ersten Korpuskularstrahlsystemen erzeugt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Substrat (**14**, **16**) derart zueinander versetzt angeordnet werden, dass den auf einem Substrat (**14**) bereits existierenden Korpuskularstrahlsystemen (**10-10''''**) freie Flächen (**18-18''''**) des anderen Substrats (**16**) gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlsysteme (**10-10''''**) des einen Substrats (**14**) Korpuskularstrahlsysteme auf den freien Flächen (**18-18''''**) des anderen Substrats (**16**) erzeugen können.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Substrate (**14**, **16**) von einem Rechner (**20**) gesteuert positioniert werden.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Substrate (**14**, **16**) mittels Piezoelementen (**22**, **24**) zueinander positioniert werden.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Korpuskularstrahlsystem (**10-10''''**, **12-12''**) nach seiner Erzeugung elektrisch getestet wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlsystemen auf den Substraten Schaltungselemente (**26**), insbesondere Verdrahtungselemente (**28**) erzeugt werden, mit denen Korpuskularstrahlsysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Korpuskularstrahlsysteme auf Anschlusspunkten (**34**), die auf einem Substrat (**14**) vorgesehen sind, erzeugt werden.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Korpuskularstrahlsysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass erste und/oder zweite Korpuskularstrahlsysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen, die durch Rasterung

erzeugt werden, durchführen.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls in einem automatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlsystem eine individuelle Fokussierung durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Deposition mit rechnergeführter Ionenstrahl-induzierter oder Elektronenstrahl-induzierter Deposition durchgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahlsystem mit rechnergeführter rastersondenmikroskopischer Deposition mit Niederspannung von etwa 100 V bis etwa 40 kV erfolgt.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korpuskularstrahlsysteme in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert werden.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korpuskularstrahlsysteme bis zu einer bestimmten Anzahl vollständig konfiguriert aufgebaut und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlsysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlsystemen verwendet werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass Einzelkämme von Korpuskularstrahlsystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt und konfiguriert werden.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Blöcke gemeinsam produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korpuskularstrahlsysteme (siehe **Fig. 3** bis **6**) mit ihren Strahlachsen etwa senkrecht zur Oberfläche des Substrats angeordnet sind.

20. Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen (**10-10''''**, **12-12''**), mit einem ersten Substrat (**14**) und mindestens einem zweiten Substrat (**16**), wobei sich auf dem ersten Substrat (**14**) mindestens ein mittels Rechnergeführter Korpuskularstrahl-induzierter Deposition erzeugtes erstes Korpuskularstrahlsystem (**10-10''''**) befindet.

21. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das mindestens zweite Substrat (**14**, **16**) derart zueinander versetzt angeordnet sind, dass den auf einem Substrat (**14**) bereits existierenden Korpuskularstrahlsystemen (**10-10''''**) freie Flächen (**18-18''''**) des anderen Substrats (**16**) gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlsysteme (**10-10''''**) des einen Substrats (**14**) Korpuskularstrahlsysteme auf den freien Flächen (**18-18''''**) des anderen Substrats (**16**) erzeugen können.

22. Vorrichtung nach Anspruch 20, gekennzeichnet durch einen Rechner (**20**), der programmtechnisch eingerichtet ist, um die Anordnung der Substrate (**14**, **16**) zu steuern.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21, gekennzeichnet durch Piezoelemente (**22**, **24**) an den Substraten (**14**, **16**), um diese rechnergeführt und nach Bildauswertung der Abbildung der freien Fußpunkte zueinander zu positionieren.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, gekennzeichnet durch Testmittel, wie Bildwiedergabe, elektrische Strom- und Sekundärelektronendetektion und Anzeige, und andere Anzeigen, die zum Testen jedes Korpuskularstrahlsystems (**10-10''''**, **12-12''''**) auf den Substraten (**14**, **16**) ausgebildet sind.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und zweite Substrat (**14**, **16**) ein Halbleiter, insbesondere Silizium ist.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und zweite Substrat (**14**, **16**) ein Nichtleiter, insbesondere Glas, Keramik oder Quartz ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat Schaltungselemente (**26**), insbesondere Verdrahtungselemente (**28**) aufweist, mit denen Korpuskularstrahlsysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden sind.

28. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltungselemente insbesondere rechnergesteuerte Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler, Korpuskularstrahlblenkenverstärker, Blendenablenkverstärker, Rastergenerator, Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel, Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker, Astigmatismus-Spannungsverstärker und/oder Ablenkungsspannungsverstärker umfassen.

29. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltungselemente insbesondere Rechner-Bausteine wie Zentraleinheit, Re-

chen-Speicher, Puffer-Speicher, Datenspeicher, und in Hardwaregespeicherte Routinen ausführende Schaltungen sind, die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen.

30. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltungselemente die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen im Multiplex-verfahren auf die einzelnen fertigenden Korpuskularstrahlsysteme zu deren Steuerung sequentiell aufgeschaltet werden können.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat mindestens eine Fläche (**32**) mit einer Breite von etwa 2 µm bis etwa 2500 µm und einer Länge von etwa 100 µm bis zu etwa 100 mm für ein Korpuskularstrahlsystem (**30**) aufweist.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat (**14**) Anschlusspunkte (**34**) für Korpuskularstrahlsysteme aufweist.

33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass Korpuskularstrahlsysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet sind.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein erstes und mindestens ein zweites Korpuskularstrahlsystem mit Mess- und Stabilisatorschaltungen versehen sind, die zum Messen und Stabilisieren von Korpuskularstrahlung dienen.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass Schaltungselemente vorgesehen sind, welche die Korpuskularstrahlsysteme mit Spannung und Strom versorgen und mittels Speicher programmierbar und einstellbar sind.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Korpuskularstrahlsysteme mit Mitteln versehen sind, die zum Ausführen eines automatisierten Prüfverfahrens ausgebildet sind, welches die Funktionsfähigkeit und Stabilität der Strahlung und der Bildaufnahme und Bildauswertung gewährleistet.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Korpuskularstrahlsysteme mit bildanzeigenden Mitteln verbunden sind, wie einem Bildschirm oder Großbildschirm mit entsprechender Bildaufteilung für die einzelnen

Korpuskularstrahlssysteme, so dass die Arbeit des Systems überwacht und sein Ergebnis für anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung gestellt werden kann.

38. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass die bildanzeigenden Mittel dateninformationsreduzierende Routinen aufweisen, um die Überwachung zu unterstützen, und die gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler gespeichert werden müssen.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass die Korpuskularstrahlssysteme Elektronenquellen oder Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen aufweisen.

40. Verwendung eines Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18 und/oder einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 39 zur Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera, eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays, von Hochstrom-Emitter-Arrays mit niedriger Schaltspannung zur Steuerung des Stromes, von mikro-Elektronenröhren aller Arten und einer Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

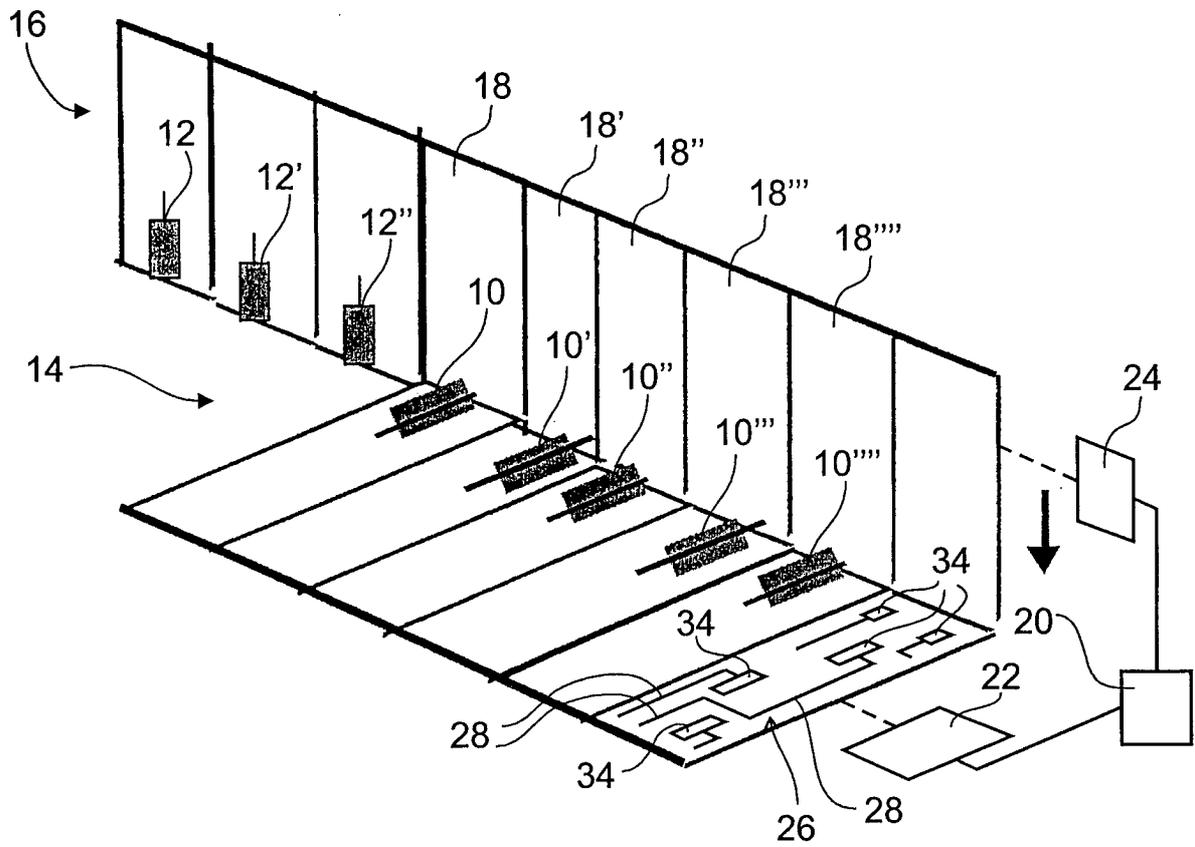


Fig. 1

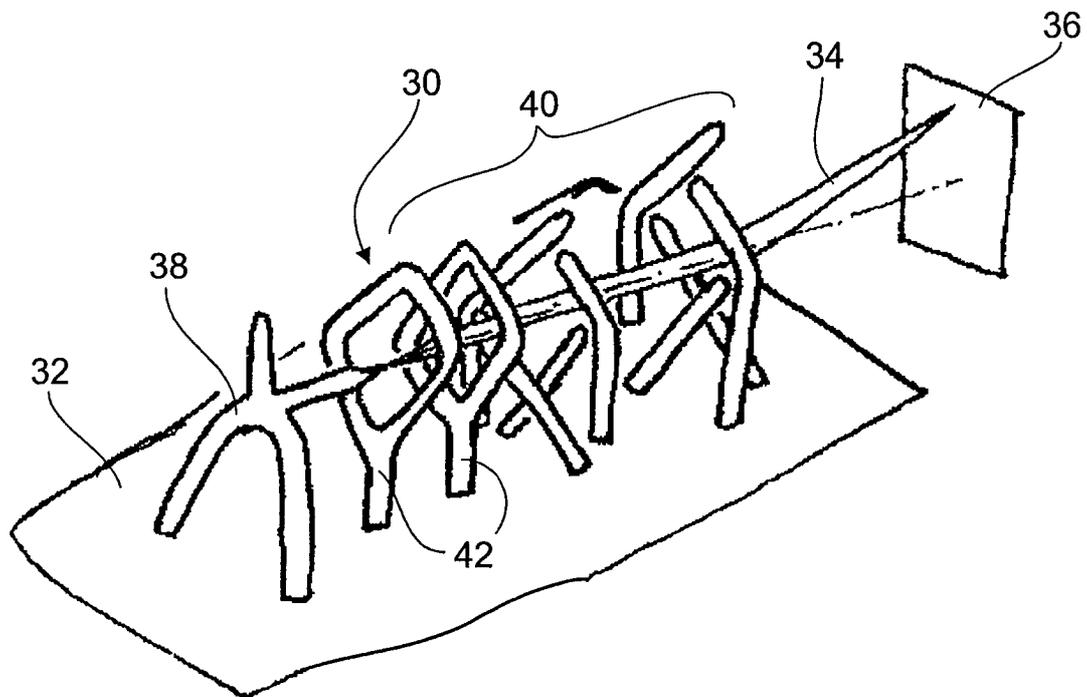


Fig. 2

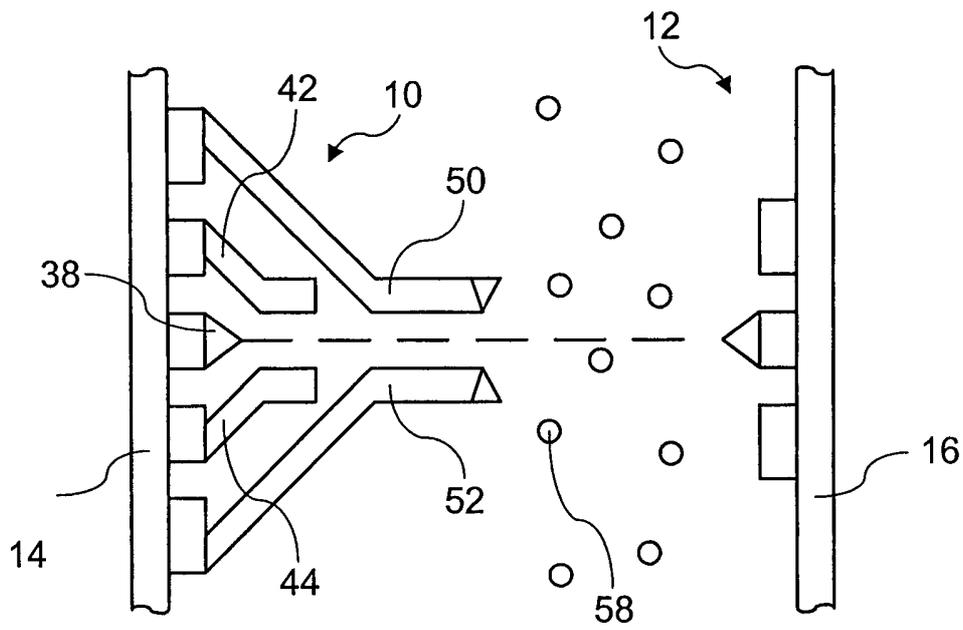


Fig. 3

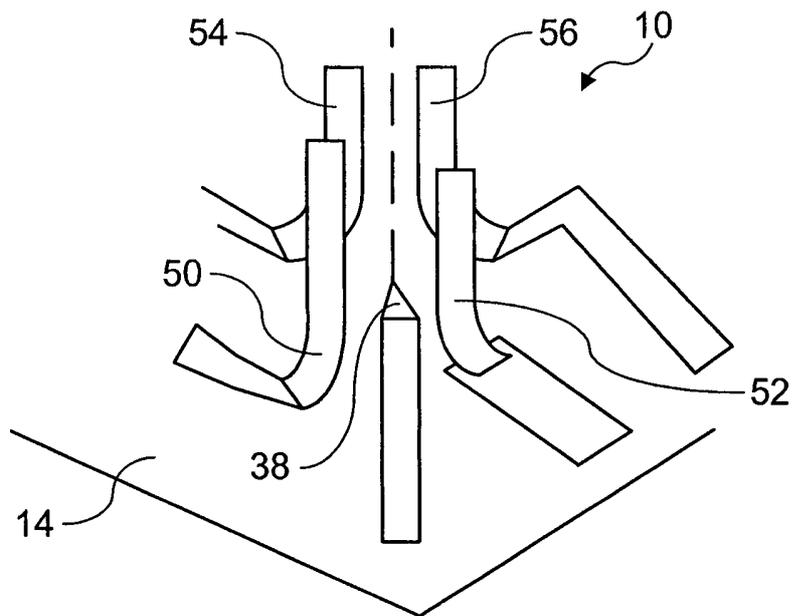


Fig. 4

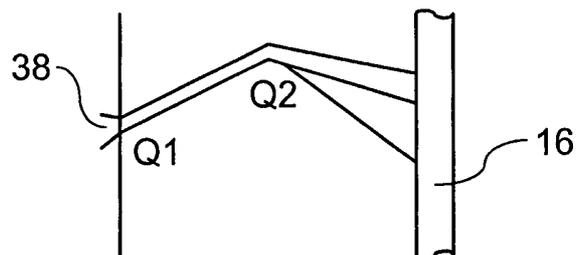


Fig. 5

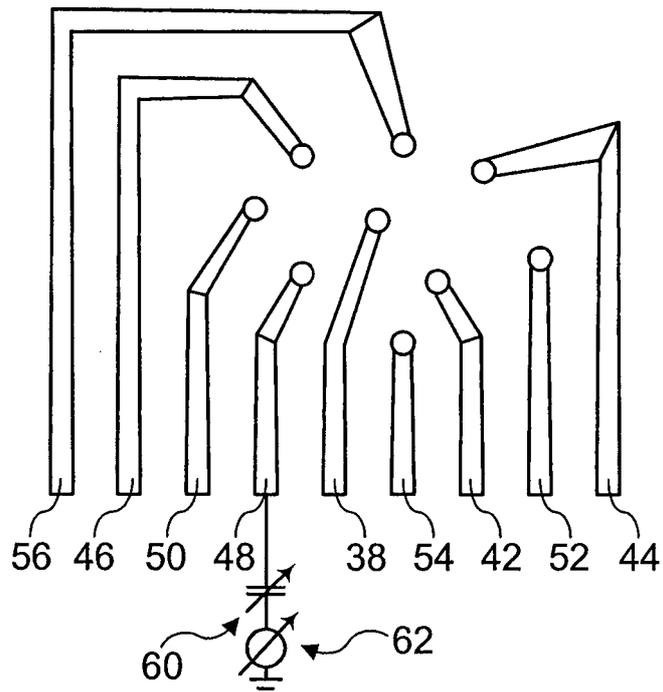


Fig. 6

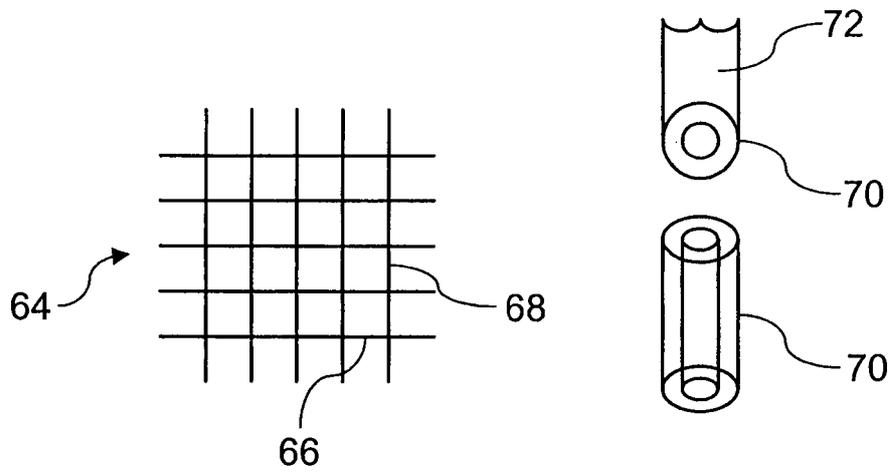


Fig. 7

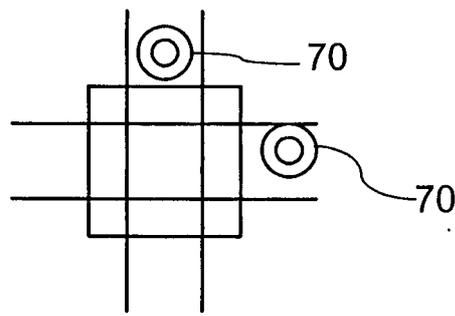


Fig. 8