(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 693 33 184 T2** 2004.05.27

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 672 296 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **693 33 184.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US93/11662**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **94 902 485.5**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 94/013007**
(86) PCT-Anmeldetag: **02.12.1993**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **09.06.1994**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.09.1995**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **03.09.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.05.2004**

(51) Int Cl.[7]: **H01J 37/28**

(30) Unionspriorität:
984932 **03.12.1992** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
Metrologix, Santa Clara, Calif., US

(72) Erfinder:
MONAHAN, M., Kevin, Cupertino, US

(74) Vertreter:
Betten & Resch, 80333 München

(54) Bezeichnung: **ABRASTERUNGSTECHNIKEN IN PARTIKELSTRAHL-VORRICHTUNGEN ZUR MINDERUNG VON DURCH OBERFLÄCHENLADUNGSANSAMMLUNG HERVORGERUFENEN EFFEKTEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Teilchenstrahlmetrologie, bei der eine Teilchenstrahlvorrichtung wie z. B. ein Rasterelektronenmikroskop verwendet wird, um Messungen von Objekten mit kritischen Dimensionen durchzuführen, beispielsweise Wafer von integrierten Schaltungen.

Stand der Technik

[0002] Es ist bekannt, elektromagnetische Systeme in Mikroskopen wie z. B. Rasterelektronenmikroskopen (scanning electron microscopes, SEM) für Mess- und Untersuchungszwecke einzusetzen. Rasterelektronenmikroskope werden häufig anstelle herkömmlicher optischer Mikroskope für mikroelektronische Untersuchungsund Metrologieanwendungen bei der Halbleiterherstellung eingesetzt. Die Metrologiewerkzeuge werden beispielsweise häufig zur Messung von Mustern (d. h. kritischen Abmessungen) eingesetzt, die während der Herstellung auf Halbleiterwafern gebildet werden.

[0003] Die kurzen Wellenlängen von Rasterelektronenmikroskopen bieten verschiedene Vorteile gegenüber herkömmlich verwendeten optischen Mikroskopen.

[0004] Beispielsweise können Rasterelektronenmikroskope Auflösungen von ungefähr 100 Å bis 200 Å erzielen, während die Auflösungsgrenze optischer Mikroskope typischerweise ungefähr 2500 Å beträgt. Ferner bieten Rasterelektronenmikroskope eine Schärfentiefe, die mehrere Größenordnungen größer als bei optischen Mikroskopen ist. Trotz der Genauigkeit und Präzision heutiger Rasterelektronenmikroskope werden verbesserte Geräteeigenschaften und fähigkeiten benötigt, da die zu untersuchenden Parameter (beispielsweise kritische Abmessungen) in die Sub-Mikrometer-Bereiche gelangen.

[0005] Ein typisches SEM-Waferuntersuchungssystem ist beschrieben in einem Artikel mit dem Titel "Microelectronics Dimensional Metrology in the Scanning Electron Mikroscope" (Metrologie mikroelektronischer Abmessungen beim Rasterelektronenmikroskop), Teile 1 und II, Solid State Technology, von Michael T. Postek et al. (November 1986). Wie darin beschrieben, wird ein fokussierter Elektronenstrahl von Punkt zu Punkt in einem rechteckigen Rastermuster auf der Probenoberfläche gescannt. Die Beschleunigungsspannung, der Strahlstrom und der Spot-Durchmesser werden für die jeweilige Anwendung und Probenzusammensetzung optimiert.

[0006] Wenn der Rasterelektronenstrahl auf die Probenoberfläche trifft, werden zurückgestreute und/oder sekundäre Elektronen von der Probenoberfläche ausgesandt. Die Untersuchung, Analyse und Metrologie des Halbleiters erfolgt durch Erfassung der zurückgestreuten und/oder sekundären Elektronen. Eine Punkt-zu-Punkt-Darstellung der Probe wird auf einem CRT-Schirm erhalten, wenn der Elektronenstrahl kontrolliert die Probe abrastert.

[0007] Herkömmlich umfasst eine Teilchenstrahlvorrichtung wie z. B. ein in **Fig.** 1 gezeigtes Rasterelektronenmikroskop **7** eine Spannungsquelle **11**. Die Spannungsquelle **11** ist an eine Elektronenquelle **13** angeschlossen, die einen engen Strahl hoch beschleunigter Elektronen über eine Mehrzahl von Elektronenlinsen L_1, L_2 und L_3 auf eine Probenstufe **18** richtet. Der Elektronenstrahl ist durch die gestrichelte Linie **14** dargestellt. Der Elektronenstrahl kann unter Verwendung einer Autofokustechnik auf eine Waferstufe des Rasterelektronenmikroskops fokussiert werden.

[0008] Wie ferner in **Fig.** 1 gezeigt ist, sind die Elektronenquelle **13** und die Linsen L_1, L_2 und L_3 in einer zylindrischen Säule **17** aufgenommen. Die Säule **17** wird normalerweise als elektronenoptische Säule bezeichnet und enthält eine in der Zeichnung als **17A** gezeigte Kammer, die eine Probenstufe **18** umgibt und trägt. Zusammen bilden die optische Säule **17** und die Kammer **17A** das Gehäuse des Rasterelektronenmikroskops.

[0009] Ferner enthält das Rasterelektronenmikroskop **7** der **Fig.** 1 ein elektrostatisches Ablenksystem zum selektiven Scannen des Elektronenstrahls über die Probenstufe **18**. Das Ablenksystem umfasst beispielsweise vier Paare von Elektronenstrahlscanspulen, die als D_1 bis D_4 bezeichnet sind. Die Scanspulen sind innerhalb der optischen Säule **17** angeordnet, um den Elektronenstrahl auf die Oberfläche der an der Stufe **18** gehaltenen Probe zu fokussieren. Das Ablenkspulenpaar D_1 und D_2 ist an einen Sägezahnspannungsgenerator **19** angeschlossen, und das Ablenkspulenpaar D_3 und D_4 ist an einen Sägezahnspannungsgenerator **20** angeschlossen.

[0010] Die Elektronenstrahlscanspulen D_1 bis D_4 lenken den Elektronenstrahl **14** in zwei im Allgemeinen orthogonalen Richtungen ab. In der Zeichnung sind die Ablenkrichtungen als die x-Richtung bzw. die y-Richtung bezeichnet. Die x-Richtung und die y-Richtung sind typischerweise in einer Ebene, die orthogonal zur Richtung des Strahls **14** liegt, jedoch ist eine strenge Orthogonalität nicht erforderlich. Für die momentanen Zwecke kann davon ausgegangen werden, dass die Spulen D_1 und D_3 den Scanstrahl in der x-Richtung ablenken, und dass die Spulen D_2 und D_4 den Scanstrahl in der y-Richtung ablenken.

[0011] Ein Elektronenkollektor **22** ist nahe der Oberfläche einer Stufe **18** angeordnet, welche dem Strahl **14** ausgesetzt ist. Der Elektronenkollektor ist an einen Verstärker **23** angeschlossen, der einem Analog/Digital-Wandler 43 Signale zuführt, um den gesammelten Elektronenstrom in Digitalsignale umzuwandeln, die nachfolgend auf einer Videoanzeige **49** angezeigt werden können.

[0012] Im Betrieb liefern die Sägezahngeneratoren

19 und **20** den Elektronenstrahlscanspulen D_1 und D_4 derartige zeitlich variierende Spannungssignale, dass der Strahl **14** in einem vorbestimmten Scanmuster über die Probenstufe **18** abgelenkt wird. Die Sägezahngeneratoren **19** und **20** arbeiten typischerweise synchron, um den Elektronenstrahl in der x-Richtung mit einer konstanten Rate über die Stufe **18** zu führen, wobei jeder Scanstrahl in der y-Richtung abgelenkt wird, um eine Serie von im Allgemeinen parallelen Scanlinien zu bilden.

[0013] Während des Betriebs des Rasterelektronenmikroskops in **Fig.** 1 erfasst der Kollektor **22** Elektronenstromänderungen an der Stufe **18**. Während somit der Elektronenstrahl eine Probe an der Stufe **18** abrastert, erfasst der Kollektor **22** Veränderungen in der Zusammensetzung, Textur und Topographie der Probe, die Amplitudenvariationen des Elektronenstrahls hervorrufen. Mit jeder vollständigen Scansequenz kann ein Bild entsprechend Merkmalen der Probe erzeugt werden.

[0014] Herkömmliche Verfahren der Elektronenbildgebung basieren auf der Aussendung von Sekundärelektronen und haben folglich eine begrenzte Fähigkeit, Information vom Boden von Submikrometer-Kontaktlöchern und anderen Strukturen mit großem Höhe/Breite-Verhältnis zu extrahieren. Ein solches Kontaktloch mit großem Höhe/Breite-Verhältnis ist ein häufiges Merkmal von Halbleiterwafern, und ist in **Fig.** 2 gezeigt. Eine Resistschicht **31** ist verwendet worden, um ein Submikrometer-Kontaktloch in einer Oxidschicht **33** zu mustern, mit der die Oberfläche eines Wafers **35** beschichtet ist. Die Höhe h des Kontaktlochs ist beträchtlich größer als die Breite w des Kontaktlochs, so dass h/w >> 1. Typische Werte von h und w können 2,0 μm bzw. 0,5 μm sein, was ein Höhe/Breite-Verhältnis von 4 : 1 ergibt.

[0015] Die Schwierigkeit, Strukturen mit großem Höhe/Breite-Verhältnis unter Verwendung herkömmlicher Verfahren der Sekundärelektronenbildgebung abzubilden, trifft insbesondere auf Strukturen mit nahezu vertikalen Profilen zu. Wegen der isolierenden Eigenschaften von Oxid und Photoresist führt das Richten eines Primärelektronenstrahls auf die Waferstruktur zur Ansammlung einer negativen Oberflächenladung an der Oberfläche der Photoresistschicht, wie in **Fig.** 3 dargestellt ist. Wenige Volt Oberflächenpotential können das Sekundärelektronenbild stark stören, da Sekundärelektronen (SE) typischerweise mit Energien von weniger als 10 Elektronenvolt emittiert werden. In Fällen starker Aufladung, denen man üblicherweise beim Abbilden von Kontaktlöchern begegnet, kann die Sekundärelektronenemission vom Boden vollständig abgeschnitten werden. Versuche zur Kontrolle von Oberflächenfeldern waren nur teilweise wirksam und können selbst Artefakte hervorrufen, indem die Auftreffenergie des Primärelektronenstrahls verändert wird.

[0016] Die Ladungsansammlung auf Photoresiststrukturen, die die zu messenden Merkmale umgeben, ist ein üblicher Grund für Nichtlinearität und Verzerrung nicht nur im Fall von Kontaktlöchern, sondern auch im Fall von Photoresistlinien und anderen Merkmalen im Allgemeinen. Wenn, wie in **Fig.** 4a gezeigt, ein Elektronenstrahl über eine Photoresistlinie **71** gescannt wird, beginnt eine Ladungsansammlung an der Oberfläche der Photoresistlinie, wenn der Strahl die Oberfläche der Photoresistlinie kontaktiert, und wird mit einer konstanten Rate fortgesetzt, während der Strahl die Photoresistlinie überquert, so dass bis zum Zeitpunkt, an dem der Strahl die Oberfläche der Photoresistlinie verlässt, eine beträchtliche Ladungsmenge angesammelt worden ist, was zu einer Basislinienverschiebung des resultierenden Signals führt.

[0017] Herkömmliche Scantechniken haben nur zum Problem der Ladungsansammlung beigetragen. Wenn eine Messung eines Merkmals in einem Bildfeld durchzuführen ist, wird herkömmlicherweise das gesamte Bildfeld abgescannt. Beispielsweise können, wie in **Fig.** 5A gezeigt, Messungen des Kontaktlochs **73**, der isolierten Linie **75** und der dichten Linie **77** benötigt werden. Obwohl diese Merkmale nur einen Bereich des Bildfelds **79** einnehmen, wird herkömmlicherweise das gesamte Bildfeld abgescannt. Folglich tritt eine Scanansammlung auch in Gebieten auf, in denen keine Information erzeugt wird, was die Genauigkeit in denjenigen Gebieten ungünstig beeinflusst, wo Information erzeugt wird.

[0018] Im Stand der Technik wurden Kontaktlöcher wie andere Objektmerkmale rastergescannt, wie in **Fig.** 6A gezeigt. Zusätzlich zur Oberflächenaufladung hat das Rasterscannen von Kontaktlöchern einen weiteren beträchtlichen Nachteil. Um die Erfassung des Rands des Kontaktlochs zu erleichtern, sollte der "Angriffswinkel" des Teilchenstrahls am Kontaktloch idealerweise senkrecht sein. In **Fig.** 6A wird dieser ideale Angriffswinkel nur nahe dem horizontalen Radius des Kontaktlochs angenähert. Für Scans über und unter dieser Mittellinie wird der Angriffswinkel kleiner und kleiner (und somit schlechter und schlechter), während der Abstand von der Mittellinie zunimmt. Die Randerfassung wird daher schwierig.

[0019] Dementsprechend besteht ein Bedürfnis nach verbesserten Bildgebungstechniken zum Extrahieren von Information vom Boden von Submikrometer-Kontaktlöchern und anderen Strukturen mit großem Höhe/Breite-Verhältnis. Ein weiteres Bedürfnis besteht nach Verfahren zur Verringerung der Verzerrungseffekte der Basisliniendrift während des Abrasterns von Photoresiststrukturen. Allgemein besteht ein Bedürfnis nach verbesserten Rasterverfahren, die die nachteiligen Effekte der Oberflächenladungsansammlung verringern und die Genauigkeit und Linearität verbessern.

[0020] Der Artikel von Monahan et al., Proceedings of the SPIE – the international society for optical engineering, "integrated circuit metrology, inspection and process control" (Metrologie, Untersuchung und Prozesssteuerung integrierter Schaltungen), Band 14–64, 4.–5. März 1991, Seiten 2 bis 9, offenbart La-

dungseffekte bei Niedrigspannung – SEM-Metrologie; die JP 05029424A offenbart ein Verfahren zur Untersuchung einer Halbleitervorrichtung; die US 5,155,359 offenbart ein Kalibrationssystem auf atomarer Skala; die EP 0480424A offenbart ein Rasterelektronenmikroskop; die EP 0548573A offenbart ein Elektronenstrahlgerät wie z. B. ein SEM; die EP 0456219A offenbart ein elektronenoptisches Messgerät; Postek et al., Rev. of Sci.-Instr., Band 61, Nr. 6, 1990, Seiten 1648–1657, offenbart ein Mikrokanal-Plattendetektorsystem für SEM-Anwendungen; die DE 2849403A offenbart ein Verfahren zur Erfassung eines Bilds eines Objekts mit einem Elektronenstrahl.

Zusammenfassung der Erfindung

[0021] Allgemein ausgedrückt bietet die vorliegende Endung verbesserte Rasterverfahren zum Einsatz bei einem Raster-Teilchenstrahlmikroskop. Die verbesserten Rasterverfahren verringern die Effekte der Oberflächenladungsansammlung und erhöhen die Linearität und Genauigkeit. Insbesondere wird gemäß einer Ausführungsform der Erfindung die Signalverzerrung reduziert, indem man über ein Objekt entlang einer Linie in einer ersten Richtung scannt, um ein erstes Signal zu erzeugen, über das Objekt entlang der selben Linie in einer entgegengesetzten antiparallelen Richtung scannt, um ein zweites Signal zu produzieren, und das erste und das zweite Signal kombiniert. Eine Basisliniendrift wird im Wesentlichen aus dem resultierenden Signal eliminiert. In einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird die Abbildung einer im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis verstärkt durch Identifizieren eines ungefähren Zentrums der Struktur, elektrostatisches Scannen eines Teilchenstrahls entlang einer Mehrzahl von Radien der Struktur, Erfassen von Teilchen, die von der Oberfläche der untersuchten Struktur ausgesandt werden, um ein Erfassungssignal zu erzeugen, und Verwendung des Erfassungssignals zur Erstellung eines verstärkten Bilds der im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis. In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden die Effekte der Oberflächenaufladung reduziert durch Identifizieren von Merkmalen eines Objekts in einem Bild geringer Vergrößerung und diskontinuierliches Scannen eines Teilchenstrahls über das Objekt ausschließlich in Bereichen eines Bildfelds, die die interessierenden Merkmale enthalten. Der "Hintergrund" des Bildfelds wird daher nicht aufgeladen, was die Abbildung der interessierenden Merkmale verbessert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0022] Die vorliegende Erfindung kann weiter aus der nachfolgenden schriftlichen Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verstanden werden. In den Zeichnungen ist:

[0023] **Fig.** 1 eine vereinfachte Darstellung eines herkömmlichen Rasterelektronenmikroskops;

[0024] **Fig.** 2 eine Querschnittsansicht eines Kontaktlochbereichs einer Halbleiterwaferstruktur;

[0025] **Fig.** 3 eine Querschnittsansicht wie jene der **Fig.** 2, die die Effekte der Oberflächenladungsansammlung zeigt;

[0026] **Fig.** 4A eine Darstellung zur Erläuterung der Basisliniendrift als Folge der Oberflächenladungsansammlung;

[0027] **Fig.** 4B ein Diagramm zur Erläuterung der Eliminierung der Basisliniendrift, erzielt durch Scanumkehr;

[0028] **Fig.** 5A eine Darstellung zur Erläuterung eines herkömmlichen Verfahrens zum Abrastern eines Bildfelds;

[0029] **Fig.** 5B eine Darstellung zur Erläuterung des strukturierten Abrasterns ausgewählter Merkmale innerhalb des Bildfelds von 5A;

[0030] **Fig.** 6A eine Darstellung zur Erläuterung eines herkömmlichen Verfahrens zum Scannen eines Kontaktlochs;

[0031] **Fig.** 6B eine Darstellung zur Erläuterung eines radialen Scannens des Kontaktlochs;

[0032] **Fig.** 7 eine Darstellung, die ein Bild zeigt, welches durch Umkartographieren der Radialscans aus **Fig.** 6B in ein Rasterscanformat erzeugt ist;

[0033] **Fig.** 8 eine Schnittansicht einer optischen Säule eines Rasterelektronenmikroskops, bei dem die vorliegende Erfindung eingesetzt werden kann; und

[0034] **Fig.** 9 eine Schnittansicht, die Merkmale der Elektronenoptik des Rasterelektronenmikroskops aus **Fig.** 8 detaillierter zeigt.

Detallierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0035] Scantechniken zur Verwendung bei herkömmlichen Rasterelektronenmikroskopen waren durch die Verwendung einer elektromagnetischen Ablenkung eines üblicherweise in CRTs verwendeten Typs beschränkt. Elektromagnetische Ablenkung weist eine Hysteresecharakteristik auf, die eine genaue Kontrolle der Strahlposition verhindert. Die vorliegenden Scanverfahren sollen die Vorteile des hysteresefreien elektrostatischen Scannens unter Verwendung einer geeigneten elektrostatischen Ablenkvorrichtung ausnützen. Eine derartige Vorrichtung ist als ein "Oktupol" bekannt und in bestimmte Elektronenkanonengeräte eingebaut, die von FEI, Inc. hergestellt werden. Ein Oktupol kann am Besten als ein achteckiges Fass beschrieben werden, bei dem die Seiten Leiter sind, und die Scheitel Isolatoren sind (ggf. freier Raum). An jede der leitfähigen Platten sind Elektroden angeschlossen, zwischen denen Spannungen angelegt werden. Die Stärke eines resultierenden elektrischen Felds kann durch Variieren der angelegten Spannung variiert werden, und die Richtung des elektrischen Felds kann durch Variieren

der Spannungen variiert werden, die an verschiedene einander gegenüberliegende Paare von leitfähigen Platten angelegt werden.

[0036] Durch elektrostatisches Scannen können die Richtung, Länge, Verteilung und Wiederholung der Scans unabhängig voneinander kontrolliert werden, um die merkmalsabhängige Linearitätsfehlercharakteristik des Stands der Technik nahezu vollständig zu löschen. Ein derartiger merkmalsabhängiger Linearitätsfehler ist die Basisliniendrift, die in **Fig.** 4A gezeigt und vorstehend beschrieben worden ist. Wie in **Fig.** 4B gezeigt erlaubt ein hysteresefreies elektrostatisches Scannen die Durchführung einer Scanumkehr, was ein symmetrisches Bild ohne die Basislinienverzerrung sicherstellt, die bei typischen unidirektionalen Scansystemen auftritt. Während der Scanumkehr werden zwei übereinstimmende und antiparallele unidirektionale Scans durchgeführt. Während jedes unidirektionalen Scans tritt eine Basisliniendrift auf. Die in einem unidirektionalen Scan auftretende Basisliniendrift ist jedoch gleich groß wie, allerdings entgegengesetzt zur Basisliniendrift, die in dem anderen unidirektionalen Scan auftritt. Das Summieren der erfassten Signale von den zwei Scans erzeugt ein verzerrungsfreies symmetrisches Signal.

[0037] Die in **Fig.** 4B dargestellte Scanumkehr erfordert eine Kontrolle der Scanrichtung. Gemäß einer anderen vorteilhaften Scantechnik, die hier als strukturiertes Scannen bezeichnet wird, wird die Scanverteilung kontrolliert, um eine unnötige Oberflächenaufladung ausserhalb ausgewählter interessierender Bereiche zu vermeiden. Das "erschöpfende" Rasterscannen eines Bildfelds, wie es in **Fig.** 5A gezeigt ist, ist vorstehend beschrieben worden. Gemäß dem strukturierten Scannen, wie in **Fig.** 5B dargestellt, werden nur bestimmte interessierende Bereiche gescannt, was eine Oberflächenaufladung beim Scannen anderer Bereiche vermeidet. Im Beispiel der **Fig.** 5B werden ein Kontaktloch **73**, eine isolierte Linie **75** sowie eine dichte Linie **75** selektiv gescannt. Strukturiertes Scannen erhöht ferner den Systemdurchsatz bei verringerter Scanzeit.

[0038] Zur effektiven Abbildung von Kontaktlöchern mit großem Höhe/Breite-Verhältnis kann vorteilhafterweise eine Scantechnik eingesetzt werden, die sowohl die Richtung als auch die Verteilung der Scans kontrolliert. Bei dieser Technik, hier als Radialscannen bezeichnet, wird der Teilchenstrahl entlang einer Mehrzahl von Radien eines Kontaktlochs oder einer anderen im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis gescannt. Das Rasterscannen eines Kontaktlochs, wie es in **Fig.** 6A gezeigt ist, ist vorstehend beschrieben worden. Bei dem im **Fig.** 6B gezeigten Radialscannen verläuft jede Scanlinie durch das Zentrum des Kontaktlochs. Zur Vereinfachung kann jeder Scan im Zentrum des Kontaktlochs beginnen und radial nach aussen bis zu einem Punkt jenseits eines Rands des Kontaktlochs verlaufen. Andere Scanverläufe sind jedoch auch möglich. Das einzige Erfordernis ist, dass jeder Scan das ungefähre Zentrum des Kontaktlochs enthält. Radiales Scannen erzeugt eine äusserst vorteilhafte Ladungsverteilung, bei der die Ladung innerhalb des abgebildeten Kontaktlochs konzentriert wird, während eine Oberflächenaufladung vermieden wird. Da die Scanlinien im Zentrum des Kontaktlochs zusammenlaufen und mit zunehmendem Abstand vom Zentrum auseinanderlaufen, resultiert eine Ladungsdichte proportional zu 1/2 π r. Die größte Ladungsdichte tritt im Zentrum des Lochs auf, was das Abbilden des Lochbodens erleichtert.

[0039] Das Beginnen jedes Scans im Zentrum des Kontaktlochs ist insofern vorteilhaft, als es die Durchführung einer Umkartographierungsoperation ermöglicht, um eine Anzeige zu erzeugen, die die Kreisförmigkeit und Kantenrauhigkeit des Kontaktlochs angibt. Die Ergebnisse einer derartigen Umkartographierungsoperation sind in **Fig.** 7 gezeigt. Jeder Radialscan R_1, R_2 .... R_N wird in einem herkömmlichen Rasterscanmuster angezeigt, wobei jeder Radialscan ein Raster einnimmt. Bei einem perfekt glatten kreisförmigen Kontaktloch wäre die resultierende Anzeige eine gerade Linie. Abweichungen von einer geraden Linie sind ein Hinweis auf Elliptizität und/oder Kantenrauhigkeit.

[0040] Um zur Durchführung radialer Scans das Zentrum des Kontaktlochs zu identifizieren, können im Stand der Technik bekannte herkömmliche Mustererkennungstechniken auf ein Bild geringer Vergrößerung angewandt werden, das das Kontaktloch enthält.

[0041] **Fig.** 8 zeigt im Detail die Elektronensäule eines Rasterelektronenmikroskops, bei dem die vorliegende Erfindung eingesetzt werden kann. Der Elektronenstrahlweg ist durch eine vertikale strichpunktierte Linie **47** dargestellt und verläuft nach unten bis zur Waferebene **43**. Eine obere Oktupolanordnung **49** dient der Positionierung des Elektronenstrahls. Eine obere Detektoranordnung **51** nimmt den oberen Detektor auf, vorzugsweise einen Mikrokanal-Plattendetektor (mikrochannel plate detector). Eine untere Oktupolanordnung **57** dient dazu, den Elektronenstrahl hin und her über die Waferoberfläche zu scannen. Der untere Detektor liegt der Waferoberfläche gegenüber und ist vorzugsweise ein Mikrokanal-Plattendetektor.

[0042] **Fig.** 9 zeigt die vollständige Elektronenoptik eines Rasterelektronenmikroskops, bei dem die vorliegende Erfindung eingesetzt werden kann. Eine obere Säulenanordnung **60** nimmt den oberen Oktupol, die Strahlaperturanordnung **50** sowie die obere Detektoranordnung **51** auf und umfasst eine Elektronenkanonenschnittstelle **46**. Eine Magnetlinsenanordnung **70** umfasst ein Magnetlinsenpolstück **39** und eine elektrische Wicklung **41**. Ein Linsendeckel **71** ist am Polstück angebracht. Das Magnetlinsenrohr erstreckt sich in die Magnetlinsenanordnung **70** hinein. Ebenfalls innerhalb der Magnetlinsenanordnung **70** aufgenommen sind die untere Oktupolanordnung **57** und der untere Detektor.

[0043] Vorstehend wurden die Prinzipien, bevorzugten Ausführungsformen und Betriebsmodi der vorliegenden Erfindung beschrieben. Allerdings sollte die Erfindung nicht als auf die diskutierten besonderen Ausführungsformen beschränkt betrachtet werden. Vielmehr sollten die oben beschriebenen Ausführungsformen als erläuternd und nicht als beschränkend angesehen werden, und es versteht sich, dass der Fachmann Abwandlungen an den Ausführungsformen vornehmen kann, ohne den Umfang der vorliegenden Erfindung zu verlassen, wie er durch die nachfolgenden Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abrastern von Merkmalen eines Objekts bei einem Teilchenstrahl-Rastermikroskop (**49**, **51**, **57**; **60**, **70**, **71**), umfassend die folgenden Schritte:
Identifizieren von Merkmalen des Objekts durch Mustererkennung in einem zuvor aufgenommenen Bild geringer Vergrößerung; und
diskontinuierliches Scannen eines Teilchenstrahls über das Objekt, wobei der Teilchenstrahl nur in Bereichen eines Bildfelds aufgehellt wird, die die Merkmale enthalten,
wobei ein nominell kreisförmiges Loch (**73**) in einem Objekt untersucht wird, wobei das Verfahren ferner die Schritte umfaßt:
Identifizieren eines ungefähren Zentrums des nominell kreisförmigen Lochs durch Mustererkennung unter Verwendung eines vorher aufgenommenen Bilds des Objekts mit geringer Vergrößerung;
Positionieren eines Teilchenstrahls bei dem ungefähren Zentrum;
Anfängliches Scannen des Teilchenstrahls radial nach außen von dem ungefähren Zentrum bis zu einem Punkt jenseits eines Rands des nominell kreisförmigen Lochs;
Zurückführen des Teilchenstrahls zu dem ungefähren Zentrum;
anschließendes Scannen des Teilchenstrahls radial nach außen von dem ungefähren Zentrum in einer neuen Richtung bis zu einem Punkt jenseits eines Rands des nominell kreisförmigen Lochs; und
mehrmaliges Wiederholen dieser Rückführ- und anschließenden Scanschritte.

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend das Erzeugen einer Anzeige, die die Kreisförmigkeit und Kantenrauhigkeit des nominell kreisförmigen Lochs angibt, und zwar durch den folgenden weiteren Schritt:
Anzeigen von Ergebnissen von gemäß Anspruch 1 durchgeführten Radialscans (R_1, R_2 ... R_N) in einem herkömmlichen Rasterscanmuster, wobei jeder Radialscan ein Raster besetzt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Abbildung von im allgemeinen kreisförmigen Strukturen mit großem Höhe/Breite-Verhältnis verstärkt wird, umfassend die folgenden Schritte:
Erzeugen eines Teilchenstrahls;
Richten des Teilchenstrahls auf eine Oberfläche (**43**) einer untersuchten Struktur;
Scannen des Teilchenstrahls über die Oberfläche in einem Rasterscanmuster;
Erfassen von Teilchen, die von der Oberfläche ausgesandt werden, während des Scannens, um ein erstes Erfassungssignal zu erzeugen;
Erstellen eines Bilds der Oberfläche unter Verwendung des ersten Erfassungssignals;
Durchführen einer Mustererkennung an dem Bild, um ungefähr das Zentrum der im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis zu identifizieren;
Elektrostatisches Scannen des Teilchenstrahls entlang einer Mehrzahl von Radien der im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis;
während des vorhergehenden Schritts des elektrostatischen Scannens, Erfassen von Teilchen, die von der Oberfläche ausgesandt werden, um ein zweites Erfassungssignal zu erzeugen;
Verwenden des zweiten Erfassungssignals zur Herstellung eines Bilds der im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Abbildung von im allgemeinen kreisförmigen Strukturen mit großem Höhe/Breite-Verhältnis verstärkt wird, umfassend die folgenden Schritte:
Identifizieren eines ungefähren Zentrums der im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis;
Elektrostatisches Scannen eines Teilchenstrahls entlang einer Mehrzahl von Radien (R_1, R_2 ... R_N) der im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis;
während des vorhergehenden Schritts des elektrostatischen Scannens, Erfassen von Teilchen, die von der Oberfläche ausgesandt werden, welche die im Allgemeinen kreisförmige Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis enthält, um ein Erfassungssignal zu erzeugen; und
Verwenden des Erfassungssignals zur Erstellung eines Bilds der im Allgemeinen kreisförmigen Struktur mit großem Höhe/Breite-Verhältnis.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

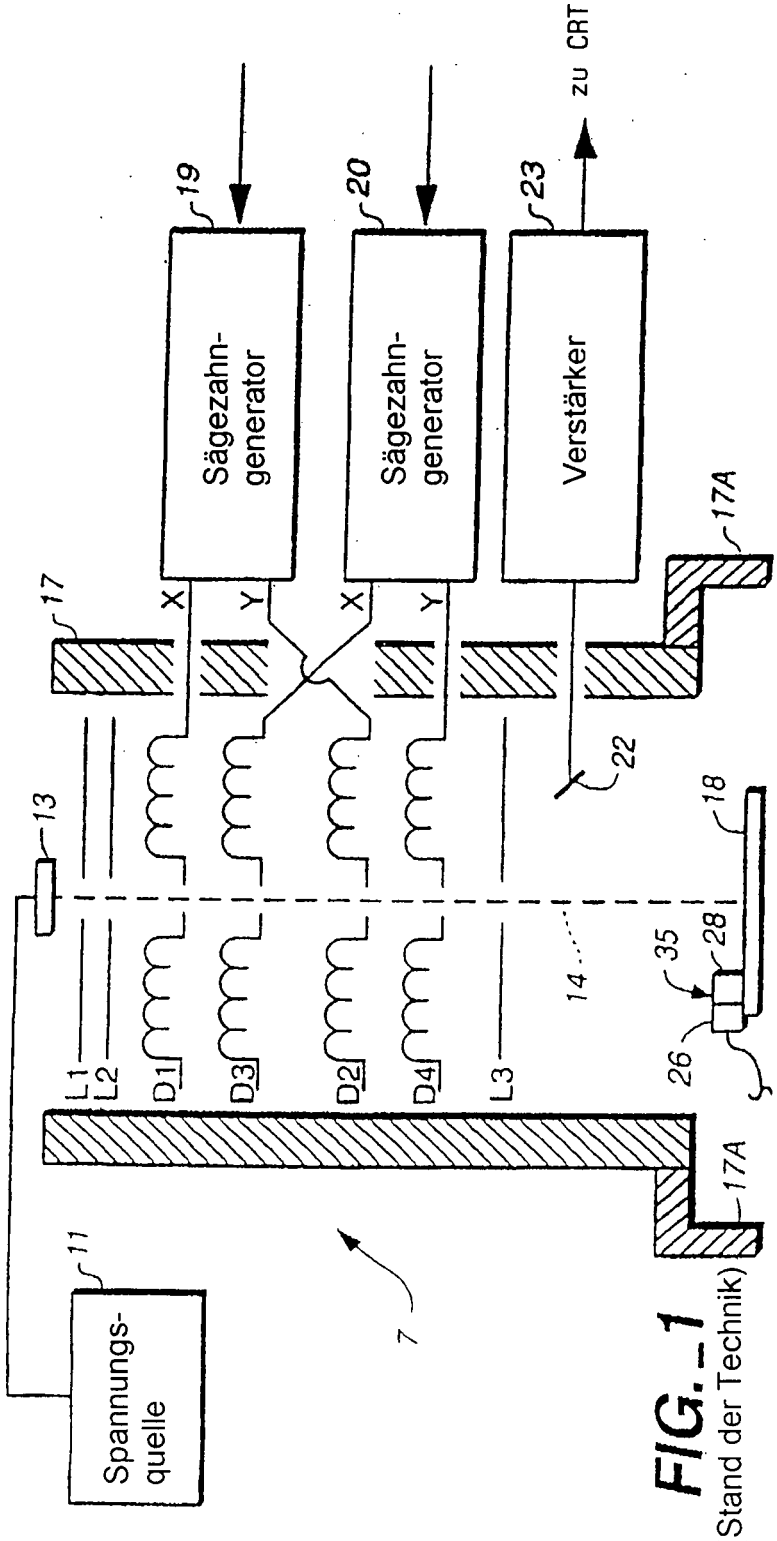


FIG._1
(Stand der Technik)

FIG._2

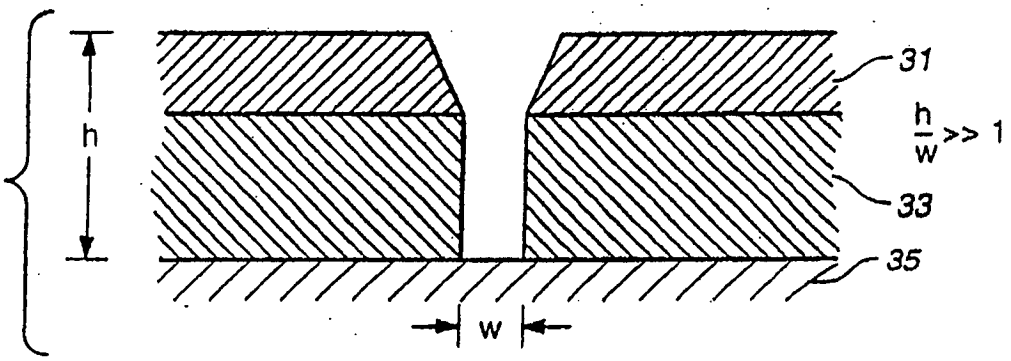
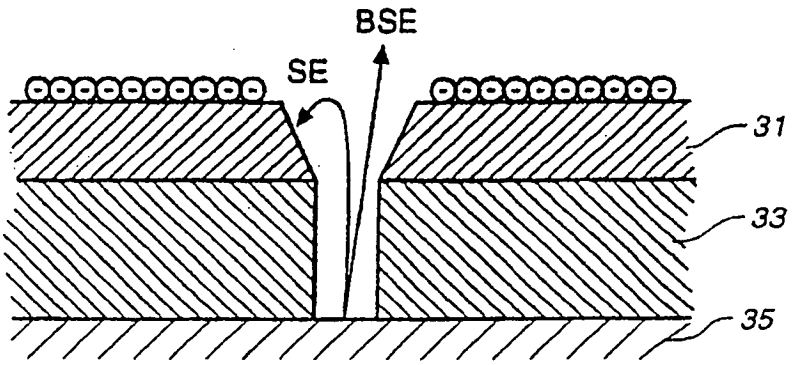


FIG._3



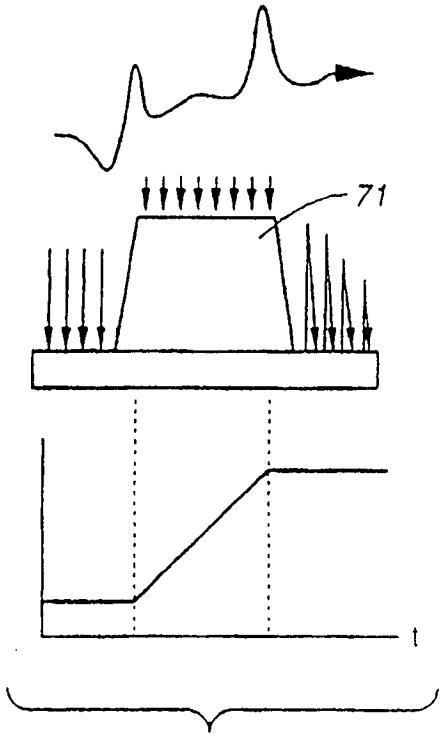


FIG._4A
(Stand der Technik)

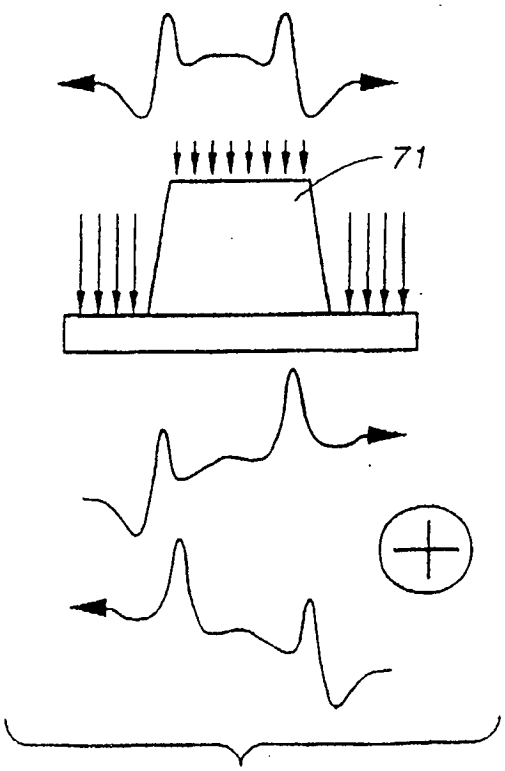


FIG._4B

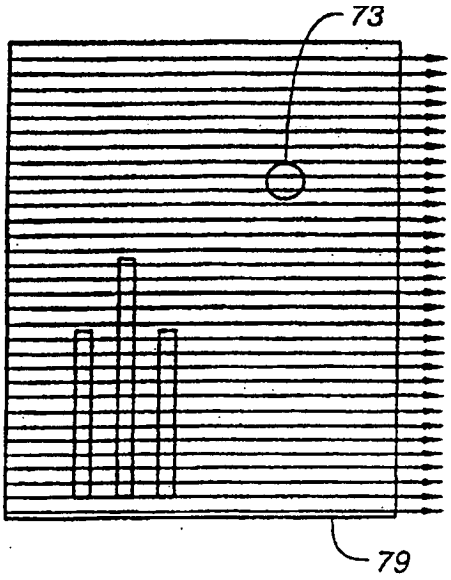


FIG._5A
(Stand der Technik)

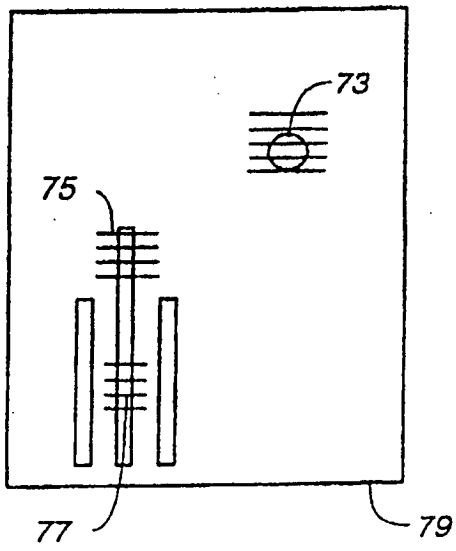


FIG._5B

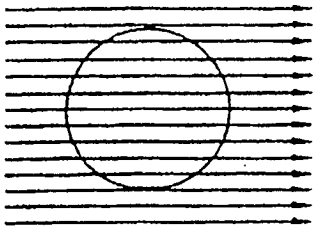


FIG._6A
(Stand der Technik)

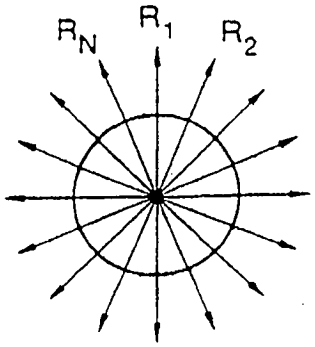


FIG._6B

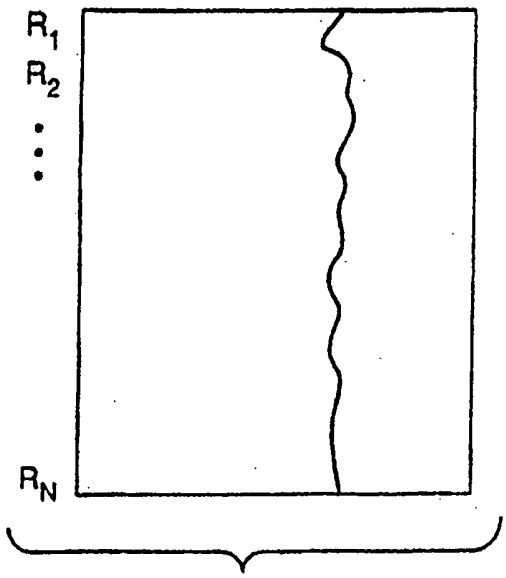


FIG._7

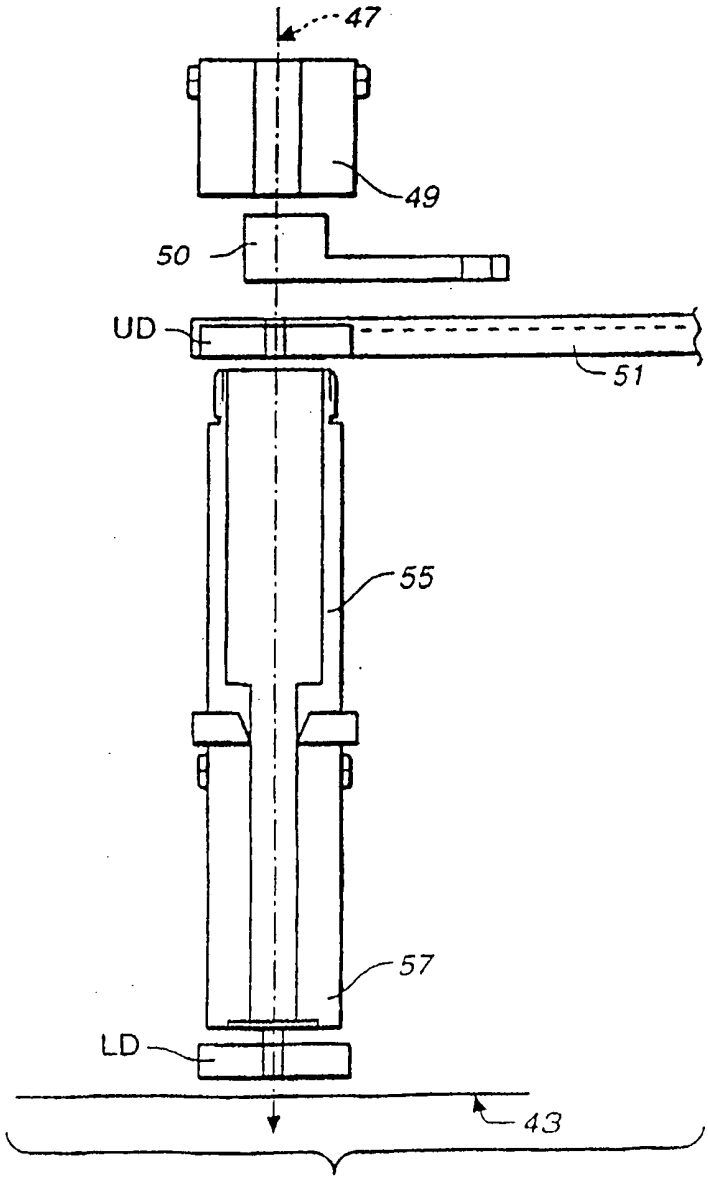


FIG._8

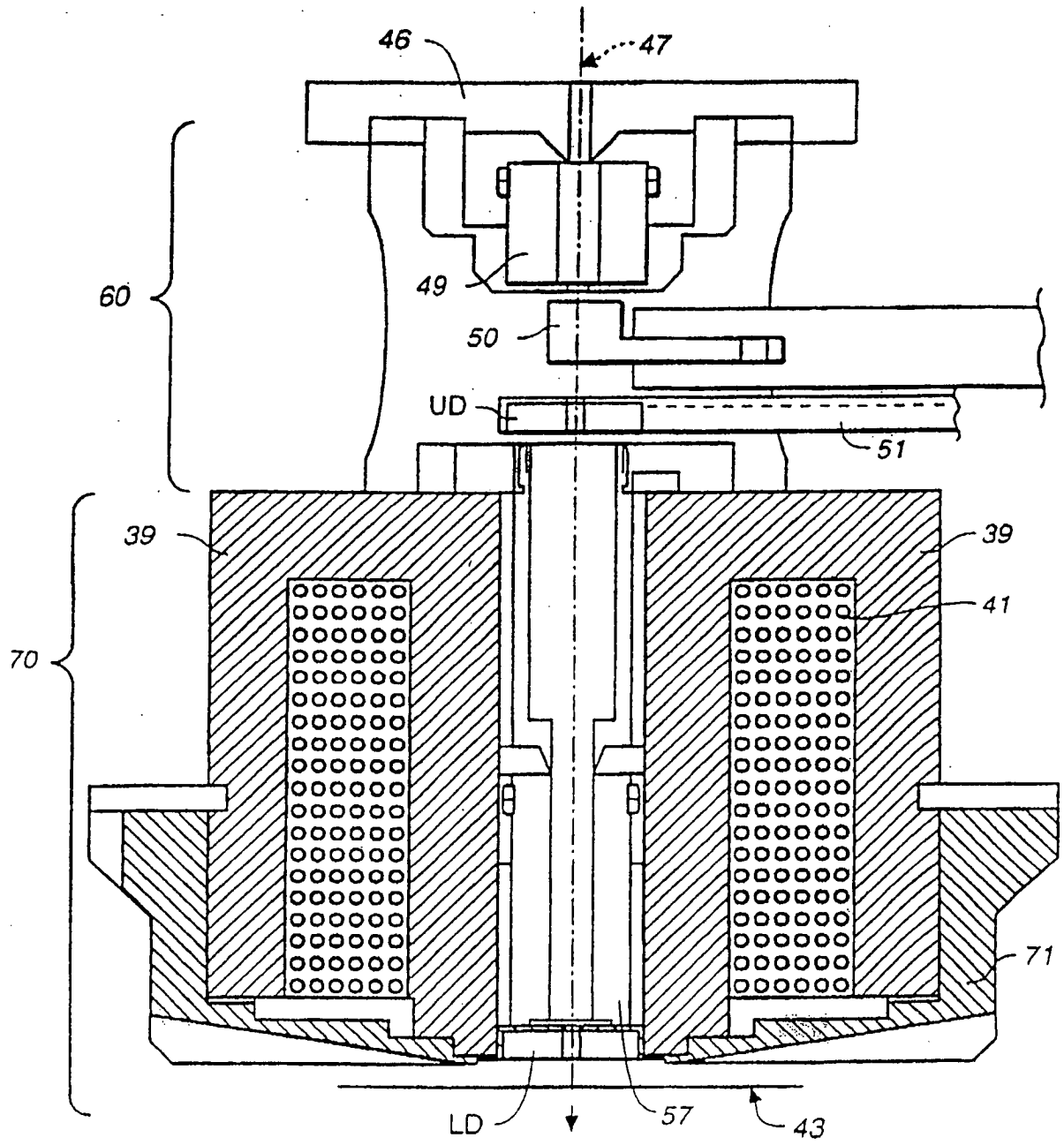


FIG._9