



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 601 22 379 T2 2007.08.09

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 348 227 B1

(51) Int Cl.⁸: H01J 37/317 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 601 22 379.9

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US01/50343

(96) Europäisches Aktenzeichen: 01 988 402.2

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2002/052608

(86) PCT-Anmeldetag: 26.12.2001

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 04.07.2002

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 01.10.2003

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 16.08.2006

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 09.08.2007

(30) Unionspriorität:

258280 P 26.12.2000 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:

Epion Corp., Billerica, Mass., US

(72) Erfinder:

MACK, c/o Epion Corporation, Michael E.,
Billerica, MA 01821, US; LIBBY, c/o Epion
Corporation, Bruce K., Billerica, MA 01821, US

(74) Vertreter:

Vossius & Partner, 81675 München

(54) Bezeichnung: LADUNGSKONTROLL- UND DOSIMETRIESYSTEM SOWIE VERFAHREN FÜR EINEN GAS-CLUSTER-IONENSTRahl

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 eingelebt, 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**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein die Dosimetrie und Werkstückneutralisierung für eine Ionenstrahlbearbeitung von Werkstücken und insbesondere die Dosimetrie und Werkstückneutralisierung für eine Gascluster-Ionenstrahl-(GCIB)-Bearbeitung.

[0002] Die Verwendung eines GCIB zum Ätzen, Reinigen und Glätten der Oberflächen verschiedener Materialien ist in der Technik bekannt (siehe z.B. US-Patent 5,814,194 von Deguchi et al., „Substrate Surface Treatment Method“, 1998). Mittel zum Erzeugen und Beschleunigen solcher GCIBs sind auch in der Deguchi-Referenzliteratur beschrieben. Es ist ebenso bekannt (US-Patent 5,459,326 von Yamada „Method for Surface Treatment with Extra-Low-Speed Ion Beam“, 1995), dass Atome in einem Clusterion individuell nicht genügend Energie haben (in der Größenordnung von nur ein paar Elektronenvolt), um signifikant in eine Oberfläche einzudringen, um die Restschäden unter der Oberfläche zu verursachen, die gewöhnlich mit den anderen Ionenstrahlbearbeitungstypen assoziiert sind, in denen individuelle Ionen Energien in der Größenordnung von tausenden von Elektronenvolt haben. Trotzdem können die Clusterionen an sich energetisch genug sein (einige tausend Elektronenvolt), um Oberflächen wirksam zu ätzen, zu glätten oder zu reinigen, die von Yamada & Matsuo (in „Cluster ion beam processing“, Matl. Science in Semiconductor Processing I, (1998), S. 27-41) gezeigt wird.

[0003] Da GCIBs ionisierte Partikel enthalten, die elektrische Ladung führen, ist ein Maß für die Bearbeitungsdosis, die ein Werkstück erhält, die Menge an Ladung (Ampere-Sekunden), die pro Flächeneinheit des Werkstücks empfangen werden, z.B. in Ampere-Sekunden pro Quadratzentimeter gemessen. Für isolierende, teilisolierende oder halbleitende Werkstücke kann Ionenstrahlbearbeitung ein Laden des Werkstücks induzieren, das eine Ionenstrahlbearbeitung erfährt. Ein Vorteil der GCIB-Bearbeitung gegenüber herkömmlicheren Ionenstrahlprozessen ist, dass aufgrund des relativ großen Masse-Ladung-Verhältnisses der Clusterionen im Vergleich zu herkömmlichen atomaren oder molekularen Ionen eine Bearbeitung häufig mit weniger Ladungsübertragung auf das Werkstück bewirkt werden kann. Trotzdem ist Werkstückladung weiterhin ein Anliegen und es werden Mittel benötigt, um den Grad einer solchen Ladung bei der GCIB-Bearbeitung von Werkstücken zu reduzieren.

[0004] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung und Verfahren zum Messen und Regeln der von einem Werkstück empfange-

nen Bearbeitungsdosis bereitzustellen.

[0005] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, die Ladungsmenge oder die Oberflächenladung zu messen und zu regeln, die von einem Werkstück bei einer GCIB-Bearbeitung empfangen wird oder werden kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Die oben dargelegten sowie weitere und andere Aufgaben und Vorteile der Erfindung werden mit den nachfolgend beschriebenen Ausgestaltungen der Erfindung erzielt.

[0007] Eine Gascluster-Ionenstrahlbearbeitungsvorrichtung behandelt ein Werkstück mit einem Gascluster-Ionenstrahl, um eine Oberflächenmodifizierung wie Glätten, Ätzen, Reinigen, Beschichten usw. zu bewirken. Es ist ein Neutralisierer vorgesehen, um Oberflächenladung des Werkstücks durch den GCIB zu reduzieren. Mit einem einzelnen Faradayschen-Käfig-Sensor wird der GCIB-Strom zur Dosimetrie- und Abtastungleichförmigkeitssteuerung gemessen und auch der Grad an Oberflächenladung werden gemessen und geregelt, der bei der Bearbeitung in dem Werkstück induziert werden kann.

[0008] Um eine gleichförmige Bearbeitung zu gewährleisten, werden mittels mechanischer X-Y-Abtastung des Werkstücks relativ zum GCIB die Strahleffekte über die Oberfläche oder das Werkstück verteilt. Der mechanische Abtastmechanismus bewegt das Werkstück in einem orthogonalen Rastermuster wenigstens einmal in jedem Bearbeitungszyklus durch den GCIB und auch aus dem Strahl heraus. Zu diesem Zeitpunkt wird der GCIB-Strom von einem elektronengebremsten Faradayschen Käfig gemessen. Mit einer verbesserten Umschalt- und Steuertechnik kann der Faradaysche Käfig jedoch auch zum Messen des Gesamtstroms im Hinblick auf Werkstückladung verwendet werden und kann somit ein Ladungsneutralisierungssystem steuern oder eine Anzeige und einen Alarm und/oder eine Verriegelung darstellen, um einen unerwünschten Werkstückladezustand anzuzeigen. Um dieses Ladestrommerfassungsmerkmal bereitzustellen, wird die Bremsspannung auf dem Vorspannungsring des Faradayschen Käfigs weggenommen. So können Elektronen sowie Gascluster-Ionen von dem Faradayschen Käfig erfasst werden. Das Messen der Ladung kann dann durch Messen des Nettostroms im Faradayschen Käfig erzielt werden.

[0009] Zur Vermittlung eines besseren Verständnisses der vorliegenden Erfindung in Verbindung mit anderen und weiteren Aufgaben davon wird nunmehr auf die Begleitzzeichnungen und die ausführliche Beschreibung Bezug genommen und ihr Umfang wird in den beiliegenden Ansprüchen dargelegt.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0010] [Fig. 1](#) ist ein Schema, das die Grundelemente einer GCIB-Bearbeitungsvorrichtung des Standes der Technik zeigt, die einen elektrostatisch abgetasteten Strahl verwendet;

[0011] [Fig. 2](#) ist ein Schema, das die Grundelemente einer GCIB-Bearbeitungsvorrichtung der vorliegenden Erfindung zeigt, die ein mechanisches Abtasten eines Werkstücks zum Verteilen des Effekts eines GCIB über eine Oberfläche eines Werkstücks verwendet;

[0012] [Fig. 3](#) ist ein Schema eines GCIB-Bearbeitungssystems mit Ladesteuerung und Dosismessung und Steuerverbesserungen der vorliegenden Erfindung;

[0013] [Fig. 4A](#) ist eine normale Ansicht des Werkstückhalters der vorliegenden Erfindung mit angebrachtem Werkstück;

[0014] [Fig. 4B](#) ist eine normale Ansicht des Werkstückhalters der vorliegenden Erfindung, die die Beziehung eines GCIB-Abtastmusters relativ zu Werkstückhalter und Werkstück zeigt; und

[0015] [Fig. 5](#) stellt ein Schema von Details der Dosimetrie- und Abtaststeuerteile der vorliegenden Erfindung dar.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVOR-ZUGTEN AUSGESTALTUNGEN

[0016] [Fig. 1](#) zeigt ein Schema der Grundelemente einer typischen Konfiguration für einen GCIB-Prozessor **100** einer in der Technik bekannten Form und kann wie folgt beschrieben werden: ein Unterdruckbehälter **102** ist in drei miteinander in Verbindung stehende Kammern unterteilt, nämlich eine Quellkammer **104**, eine Ionisierungs-/Beschleunigungskammer **106** und eine Bearbeitungskammer **108**. Die drei Kammern werden jeweils mit den Vakuumpumpensystemen **146a**, **146b** und **146c** auf geeignete Betriebsdrücke evakuiert. Ein kondensierbares Quellgas **112** (z.B. Argon oder N₂) wird unter Druck aus einer Gasvorratsflasche **111** durch ein Gasdosierventil **113** und die Gaszuführungsrohre **114** in die Stagnationskammer **116** eingelassen und durch eine geeignet geformte Düse **110** in den erheblich tieferen Unterdruck ausgestoßen. Es kommt zu einem Überschallgasstrom **118**. Kühlung, die von der Ausdehnung im Strom resultiert, hat zur Folge, dass ein Teil des Gasstrahls **118** zu Clustern kondensiert, die jeweils aus mehreren bis zu mehreren tausend schwach gebundenen Atomen oder Molekülen bestehen. Eine Gassicherheit **120** scheidet die Gasmoleküle, die nicht zu einem Clusterstrahl kondensiert sind, von dem Clusterstrahl teilweise ab, um

den Druck in den nachgeschalteten Regionen minimal zu halten, wo solche höheren Drücke schädlich wären (z.B. Ionisierer **122**, Hochspannungselektroden **126** und Prozesskammer **108**). Geeignete kondensierbare Quellgase **112** beinhalten, sind aber nicht unbedingt begrenzt auf Argon, Stickstoff, Kohlendioxid, Sauerstoff und andere Gase.

[0017] Nach dem Bilden des Gascluster enthaltenen Überschallgasstrahls **118** werden die Cluster in einem Ionisierer **122** ionisiert. Der Ionisierer **122** ist typischerweise ein Elektronenstoßionisierer, der Thermoelektronen von einem oder mehreren Glühfädchen **124** erzeugt und die Elektronen beschleunigt und sie so richtet, dass sie mit den Gasclustern in dem Gasstrahl **118** kollidieren, wo der Strahl durch den Ionisierer **122** passiert. Der Elektronenstoß stößt Elektronen aus den Clustern aus und bewirkt, dass ein Teil der Cluster positiv ionisiert wird. Ein Satz von geeignet vorgespannten Hochspannungselektroden **126** extrahiert die Clusterionen aus dem Ionisierer, bildet einen Strahl und beschleunigt sie dann auf eine gewünschte Energie (typischerweise von 1 keV bis zu mehreren Dutzend keV) und bündelt sie zu einem GCIB **128**. Die Fadenstromversorgung **136** erzeugt eine Spannung V_F zum Erhitzen des Ionisiererfadens **124**. Die Anodenstromversorgung **134** erzeugt eine Spannung V_A zum Beschleunigen von aus dem Faden **124** emittierten Thermoelektronen, um zu bewirken, dass sie den das Cluster enthaltenden Gasstrahl **118** zum Erzeugen von Ionen ausstrahlen. Die Extraktionsstromversorgung **138** erzeugt eine Spannung V_E zum Vorspannen einer Hochspannungselektrode zum Extrahieren von Ionen aus der Ionisierungsregion des Ionisierers **122** und zum Bilden eines GCIB **128**. Die Beschleunigerstromversorgung **140** erzeugt die Spannung V_{ACC} zum Vorspannen einer Hochspannungselektrode in Bezug auf den Ionisierer **122**, was eine GCIB-Gesamtbeschleunigungsenergie von gleich V_{ACC} Elektronenvolt (eV) ergibt. Eine oder mehrere Linsenstromversorgungen (es sind z.B. **142** und **144** dargestellt) können vorgesehen werden, um Hochspannungselektroden mit Potentialen (V_{L1} und V_{L2} z.B.) zum Bündeln des GCIB **128** vorzuspannen.

[0018] Ein Werkstück **152**, das ein Halbleiterwafer oder ein anderes durch GCIB-Bearbeitung zu bearbeitendes Werkstück sein kann, wird von einem Werkstückhalter **150** gehalten, der im Pfad des GCIB **128** angeordnet ist. Da die meisten Anwendungen die Bearbeitung großer Werkstücke mit räumlich gleichförmigen Ergebnissen vorsehen, ist ein Abtastsystem wünschenswert, um den GCIB **128** gleichmäßig über große Bereiche abzutasten, um räumlich homogene Ergebnisse zu erzielen. Es können zwei Paare von orthogonal orientierten elektrostatischen Abtastplatten **130** und **132** verwendet werden, um ein Raster oder ein anderes Abtastmuster über die gewünschte Bearbeitungsfläche zu erzeugen. Wenn

eine Strahlenabtastung durchgeführt wird, dann wird der GCIB **128** in einen abgetasteten GCIB **148** konvertiert, der die gesamte Oberfläche des Werkstücks **152** abtastet.

[0019] [Fig. 2](#) zeigt ein Schema der Grundelemente einer verbesserten Konfiguration für einen mechanischen GCIB-Abtastprozessor **200**, der das Werkstück mit einer mechanischen Abtasttechnik relativ zum GCIB abtastet. Die GCIB-Bildung ist im Wesentlichen wie in [Fig. 1](#) gezeigt, aber im mechanischen GCIB-Abtastprozessor **200** von [Fig. 2](#) ist der GCIB **128** stationär (nicht abgetastet) und das Werkstück **152** wird mechanisch durch den GCIB **128** abgetastet, um die Effekte des GCIB **128** über eine Oberfläche des Werkstücks **152** zu verteilen. Ein X-Scan-Stellglied **202** erzeugt eine Linearbewegung des Werkstückhalters **150** in der Richtung der X-Scan-Bewegung **208** (in die und aus der Ebene des Papiers). Ein Y-Scan-Stellglied **204** erzeugt eine Linearbewegung des Werkstückhalters **150** in der Richtung der Y-Scan-Bewegung **210**, die orthogonal zur X-Scan-Bewegung **208** ist. Die Kombination aus X-Scan- und Y-Scan-Bewegungen bewegt das vom Werkstückhalter **150** gehaltene Werkstück **152** in einer rasterähnlichen Abtastbewegung durch den GCIB **128**, um eine gleichförmige Bestrahlung einer Oberfläche des Werkstücks **152** durch den GCIB **128** für eine gleichförmige Bearbeitung des Werkstücks **152** zu bewirken. Der Werkstückhalter **150** ordnet das Werkstück in einem Winkel mit Bezug auf die Achse des GCIB **128** an, so dass der GCIB **128** einen Strahleneinfallsinkel **206** in Bezug auf die Oberfläche des Werkstücks **152** hat. Der Strahleneinfallsinkel **206** kann 90 Grad oder ein anderer Winkel sein, vorzugsweise 90 Grad oder nahe 90 Grad. Während der Y-Abtastung bewegt sich das vom Werkstückhalter **150** gehaltene Werkstück **152** von der gezeigten Position in die Alternativposition „A“, die jeweils von den Bezugsziffern **152A** und **150A** angezeigt wird. Man beachte, dass das Werkstück **152** bei der Bewegung zwischen den beiden Positionen durch den GCIB **128** abgetastet und in beiden Endpositionen vollständig aus dem Pfad des GCIB **128** hinaus bewegt (überabgetastet) wird. Obwohl dies in [Fig. 2](#) nicht ausdrücklich dargestellt ist, so erfolgt ein ähnliches Abtasten und Überabtasten auch in der orthogonalen X-Scan-Bewegungsrichtung **208** (in die und aus der Ebene des Papiers), wie später bei der Erörterung von [Fig. 4B](#) erläutert wird.

[0020] [Fig. 3](#) zeigt das verbesserte GCIB-Verarbeitungssystem **300** der vorliegenden Erfindung. Ein GCIB-Erzeugungssystem **302** ist schematisch als Block zusammengefasst. Das GCIB-Erzeugungssystem **302** kann eine beliebige aus einer Reihe verschiedener GCIB-Quellen mit Funktionen ähnlich denen der Komponenten sein, die in der Quellkammer **104** und der Ionisierungs-/Beschleunigungskammer **106** des mechanischen GCIB-Abtastprozessors **200**

von [Fig. 2](#) dargestellt sind. Wieder mit Bezug auf [Fig. 3](#), der GCIB **128** wird vom GCIB-Erzeugungssystem **302** erzeugt. Anordnung und Funktion von Werkstück **152**, Werkstückhalter **150**, X-Scan-Stellglied **202** und Y-Scan-Stellglied **204** sind alle wie für den mechanischen GCIB-Abtastprozessor **200** von [Fig. 2](#) beschrieben. Ein Neutralisierer **310** ordnet einen oder mehrere thermionische Fäden (es sind beispielsweise zwei, jedoch nicht einschränkend, als erster Faden **312** und zweiter Faden **314** dargestellt, die radial um den und parallel zu dem GCIB **128** angeordnet sind) in der Nähe des Pfades des GCIB **128** an. Der Neutralisierer **310** wurde zwar beispielsweise als thermionischer Neutralisierer dargestellt, es wird jedoch erkannt, dass auch andere Neutralisierertypen im Rahmen der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommen können, unter der Voraussetzung, dass der Neutralisierer so gesteuert werden kann, dass er den Elektronenausstoß zur Neutralisation erhöhen oder verringern kann. Solche in der Ionenstrahltechnik bekannten alternativen Neutralisierer beinhalten, sind aber nicht beschränkt auf, Accel-Decel-Elektronenkanonen und verschiedene Plasmavorrichtungen wie z.B. einen Elektronenplasmafluter. Im vorliegenden Beispiel eines thermionischen Neutralisierers **310** erzeugt eine regulierbare Neutralisiererstromversorgung **346** mit Steuersignaleingang **358** einen regelbaren Fadenstrom **318**, mit I_F symbolisiert, zum Erhitzen der Fäden **312** und **314** durch die Leitungen **326** und **328**. Einige Thermoelektronen **336**, die von den erhielten thermionischen Fäden **312** und **314** emittiert wurden, werden an die positive Raumladung des positiv geladenen GCIB **128** angezogen und fließen am GCIB **128** entlang, reduzieren die Raumladung des GCIB **128** und versorgen das Werkstück **152** mit Elektronen, um deren positive Ladung durch den GCIB **128** durch Neutralisieren positiver Ladungen zu reduzieren, die ansonsten auf dem Werkstück **152** akkumulieren könnten. Ein die Öffnung **332** definierender GCIB definiert den GCIB **128**, um das Ausmaß des GCIB **128** unterhalb der den GCIB definierenden Öffnung **332** zu begrenzen, um zu gewährleisten, dass das gesamte Ausmaß des GCIB **128** durch die GCIB-Sensoröffnung **338** in einen Faradayschen Käfig **306** passieren kann. Der Faradaysche Käfig **306** hat eine Bremselektrode **308** und ein geerdetes Gehäuse **304** und ist im Pfad des GCIB **128** unterhalb der den GCIB definierenden Öffnung **332** und der GCIB-Sensoröffnung **338** angeordnet, um Sensorstrom **342**, als I_S symbolisiert, zwecks Messung zu erfassen.

[0021] Ein erster einpoliger Umschalter **322** mit einer mit „C“ gekennzeichneten Ladungsmessposition und einer mit „D“ gekennzeichneten Dosimetriemessposition verbindet den Sensorstrom **342** regulierbar entweder mit dem Widerstand **330** über die Leitung **316** oder durch die Leitung **354** mit dem Erfassungseingangs **360** des Dosimetrie- und Scanner-Steuersystems **500**. Der Widerstand **330** kann

beispielsweise einen Wert von 1 Megaohm haben.

[0022] Ein zweiter einpoliger Umschalter **320** mit einer mit „C“ gekennzeichneten Ladungsmessposition und einer mit „D“ gekennzeichneten Dosimetriemessposition verbindet die Bremselektrode **308** regulierbar mit der Bremsstromversorgung **344** oder mit Masse.

[0023] Die Schalter **320** und **322** sind gruppiert und werden gemeinsam von der Schaltsteuerung **324** zwecks gleichzeitiger Betätigung gesteuert. Die Schalter **320** und **322** werden beide in die Position „C“ oder beide in die Position „D“ umgeschaltet.

[0024] Wenn eine Dosimetriemessung erforderlich ist, dann werden beide Schalter **320** und **322** in die Position „D“ geschaltet. Somit ist der Sensorstrom **342** (I_S) mit dem Dosimetrie- und Scanner-Steuersystem **500** verbunden, und die Bremselektrode **308** ist mit der Bremsstromversorgung **344** verbunden und dadurch mit einem elektrischen Potential, der Bremsspannung V_s , die beispielsweise 1500 Volt haben kann, negativ vorgespannt. Wenn die Bremselektrode **308** negativ vorgespannt ist, dann verhüten sie den Ein- oder Austritt von Elektronen in den/aus dem Faradayschen Käfig **306** und der Sensorstrom **342** (I_S) ist ein Maß für den GCIB-Strom.

[0025] Wenn eine Messung des ungefähren Werkstückladestroms erforderlich ist, dann werden beide Schalter **320** und **322** in die Position „C“ geschaltet. Somit ist der Sensorstrom **342** (I_S) durch die Leitung **316** mit dem Widerstand **330** sowie mit dem nichtinvertierenden Eingang des Verstärkers **348** verbunden; auch die Bremselektrode **308** ist mit Masse verbunden und ist ohne Vorspannung. Wenn die Bremselektrode **308** vorspannungslos ist, dann lässt sie den Ein- oder Austritt von Elektronen in den/aus dem Faradayschen Käfig **306** zu und der Sensorstrom **342** (I_S) ist ein Maß für den GCIB-Strom plus Elektronenströme, die in den und aus dem Faradayschen Käfig **306** fließen. Diese Summe von GCIB- und Elektronenströmen ist näherungsweise der gesamte zum Laden eines Werkstücks zur Verfügung stehende Strom. Der Verstärker **348** hat einen nichtinvertierenden Eingang mit hoher Eingangsimpedanz und verstärkt den Spannungsabfall über den Widerstand **330** aufgrund der Tatsache, dass der Sensorstrom **342** (I_S) durch den Widerstand **330** zu Masse fließt. Der Verstärker **348** hat einen Verstärkungsfaktor A_1 und gibt ein Ladungssignal S_C aus, das proportional zum verfügbaren Werkstückladestrom ist. Die Leitung **340** verbindet das Ladungssignal S_C mit dem Ladungssignaleingang **348** des Ladungsalarmsystems **350** und mit dem Abtastsignaleingang **366** des Verfolgen-Halten-Moduls **364**. Das Ladungsalarmsystem **350** hat einen Alarmausgang **386** und erzeugt ein Alarmsignal S_A am Alarmausgang **386**, wenn die Größe von S_C einen voreingestellten Wert überschreitet, der zu-

vor experimentell als für das Werkstück **152** schädlich ermittelt wurde. Die Leitung **352** verbindet das Alarmsignal S_A vom Alarmausgang **386** des Ladungsalarmsystems **350** mit dem Alarmsignaleingang **362** des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500**. Das Ladungsalarmsystem **350** kann bei Bedarf auch hörbare und/oder sichtbare Alarmanzeigen erzeugen, wenn es ein Alarmsystem S_A erzeugt, um einen menschlichen Gerätebediener darüber in Kenntnis zu setzen, dass ein möglicher Werkstückzustand vorliegt. Das Verfolgen-Halten-Modul **364** hat einen Verfolgen/Halten-Befehlseingang **370** zum Empfangen eines Verfolgen/Halten-Signals $S_{T/H}$ durch die Leitung **374** vom Verfolgen/Halten-Befehlausgang **376** des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500**, um zu bewirken, dass das Verfolgen-Halten-Modul **364** das Signal S_C regelbar verfolgt oder hält. Der verfolgte oder gehaltene Wert von Signal S_C wird als Verfolgen/Halten-Ladesignal S_{CH} am Verfolgen-Halten-Ausgang **368** des Verfolgen-Halten-Moduls **364** ausgegeben. Die Leitung **372** verbindet das Verfolgen/Halten-Ladesignal S_{CH} mit dem Steuereingang **358** der Neutralisiererstromversorgung **346** und dem Anzeigegerät **356**. Als Reaktion auf eine Zunahme des Signals S_{CH} am Steuereingang **358** erzeugt die Neutralisiererstromversorgung **346** einen zunehmenden Fadenstrom **318** (I_F) in thermionischen Fäden **312** und **314**, was zu einer höheren thermionischen Emission von Thermoelektronen **336** mit der entsprechender zunehmender Verfügbarkeit von Elektronen führt, um die Raumladung des GCIB **128** zu neutralisieren und den zur Werkstückladung zur Verfügung stehenden Nettostrom zu reduzieren. Das Anzeigegerät **356** gibt eine Anzeige für die Größe des Verfolgen/Halten-Ladesignals S_{CH} , was eine Anzeige des zum Laden des Werkstücks **152** verfügbaren Stroms gibt. Das Dosimetrie- und Scannersteuersystem **500** hat Scannersteuerausgänge **378** zum Ausgeben von Scannersteuersignalen auf dem Kabel **334** zum Steuern des X-Scan-Stellglieds **202** und des Y-Scan-Stellglieds **204**. Das Dosimetrie- und Scannersteuersystem **500** hat auch einen Schaltsteuerausgang **380** zum Ausgeben eines C/D-Schaltsteuersignals $S_{C/D}$ durch die Leitung **382** zur Schaltsteuerung **324**. Die Funktionen des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500** werden nachfolgend bei der Erörterung von [Fig. 5](#) erläutert.

[0026] [Fig. 4A](#) ist eine normale Ansicht **400** des Werkstückhalters **150** der vorliegenden Erfindung mit angebrachtem Werkstück **152**. Der Werkstückhalter **150** kann das Werkstück **152** durch elektrostatische Anziehung (ein elektrostatischer Chuck) oder durch Schwerkraft oder mit einer Klammer oder einer anderen Anordnung in seiner Position am Werkstückhalter **150** halten. Ein erster Haltebolzen **402** und ein zweiter Haltebolzen **404** können bei Bedarf verwendet werden, um das Werkstück **152** am Werkstückhalter zu halten.

[0027] [Fig. 4B](#) ist eine normale Ansicht 450 des Werkstückhalters 150 der vorliegenden Erfindung, die die Beziehung eines Abtastpfades 452 (durch einen punktierten geschlängelten Pfad angedeutet) eines GCIB 128 (wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt) relativ zum Werkstückhalter 150 und zu einem Werkstück 152 zeigt. Für die Zwecke dieser Figur und dieser Erörterung sei angenommen, dass der Strahleneinfallsinkel 206 wie in [Fig. 2](#) definiert 90 Grad beträgt, aber die Erfindung ist nicht auf einen Strahleneinfallsinkel 206 von 90 Grad begrenzt. Der Werkstückhalter 150 hat einen unteren Rand 468. Der Abtastpfad 452 repräsentiert den Pfad, über den die Mitte des GCIB relativ zum Werkstückhalter und zum Werkstück 152 verläuft, während der Werkstückhalter vom X-Scan-Stellglied 202 und vom Y-Scan-Stellglied 204 (beide wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt) bei der GCIB-Bearbeitung des Werkstücks mechanisch durch den GCIB 128 abgetastet wird. Eine Vorabposition 454 repräsentiert die Position der Mitte des GCIB 128 vor Bearbeitungsbeginn. Die Startposition 456 repräsentiert die Position der Mitte des GCIB 128 zu Beginn einer gesteuerten Bearbeitung. Die Fertigposition 466 repräsentiert die Position der Mitte des GCIB 128 am Schluss oder Ende der Bearbeitung. Die Vorabposition 454 kann sich von der Startposition 456 wie in [Fig. 4B](#) gezeigt unterscheiden, oder die Startposition 456 kann als die Vorabposition dienen. Die punktierten Kreise 458a, 458b, 458c und 458d repräsentieren die Hüllkurve der Projektion der GCIB-Hülle (Strahlenspunkt genannt) in der Ebene der Frontfläche des Werkstückhalters 150. Der GCIB 128 führt eine vollständige Überabtastung des Werkstücks 152 auf allen Seiten durch. Am unteren Rand 468 des Werkstückhalters 150 entlang führt der GCIB 128 ebenfalls eine vollständige Überabtastung des unteren Randes 468 des Werkstückhalters 150 durch. Zwischen der Startposition 456 und der Fertigposition 466 deckt der Abtastpfad 452 einen Abtastbereich $A_s = D_x \times D_y$ ab, wobei D_x und D_y jeweils durch die Bezugsziffern 460 und 462 angedeutet werden. Zwischen der Startposition 456 und der Fertigposition 466 führt der Abtastpfad 452 der Mitte des GCIB 128 eine vorbestimmte Anzahl N von Durchgängen über den Werkstückhalter 150 in der Y-Achsenrichtung durch. Jeder der N Durchgänge hat eine Länge 462 (D_y). In [Fig. 4B](#) ist N nur beispielhaft als 34 Durchgänge angegeben, was nicht begrenzend ist. Der Wert von N ist nicht besonders kritisch und kann so gewählt werden, dass eine ausreichende Überlappung von aufeinander folgenden Abtastdurchgängen erfolgt, die zu einem ausreichenden Grad an Gleichförmigkeit für eine Bearbeitung durch den GCIB führt. Im Allgemeinen erfordern kleinere Strahlendurchmesser und größere Werkstücke größere Werte von N, um eine gute Bearbeitungsgleichförmigkeit zu erzielen. An den Y-Positionsenden jedes der N Durchgänge des Abtastpfades 452 bewegt sich der Pfad (relativ zum Werkstückhalter 150) in der X-Achsen-Richtung durch ein X-Achsen-Distanzinkre-

krement 470 I_x , wobei $I_x = D_x/(N - 1)$ ist, wobei D_x die Länge 460 ist.

[0028] Die Geschwindigkeit V_y der Y-Richtungsabtastung wird so geregelt, dass sie bei jedem der N Durchgänge in der Y-Achsenrichtung im Wesentlichen konstant ist. Somit hat die Zeit pro Abtastdurchgang in Y-Achsenrichtung einen konstanten Wert T_y und die Gesamtzeit der N Y-Richtungsabtastungen beträgt $T_s = N \times T_y$ und die Y-Scan-Bewegungsgeschwindigkeit wird durch $V_y = (N \times D_y)/T_s$ ausgedrückt. An den Y-Positionsenden in der Nähe des unteren Randes 468 des Werkstückhalters 150 jedes der N Durchgänge des Abtastpfades 452 führt der Abtastpfad X-Achsen-Distanzinkremente 464_i, 464_{i+1}, 464_{i+2}, ... 464_n aus, wobei $n = (N/2) - 1$ ist. Die X-Richtung-Abtastgeschwindigkeit V_x in der Richtung der X-Bewegungskremente ist nicht besonders wichtig und wird im Hinblick auf Einfachheit des Designs gewählt, da der GCIB 128 bei X-Scan-Bewegungen aufgrund der Überabtastung immer abseits vom Werkstück 152 ist. In allen Fällen, wenn sich die Mitte des GCIB 128 an der Vorabposition 454 oder an der Startposition 456 oder an der Fertigposition 466 oder an einem beliebigen der X-Achsen-Distanzinkremente 464 in der Nähe des unteren Randes 468 des Werkstückhalters 150 befindet, wird der gesamte Strahlenspunkt des GCIB 128 über den unteren Rand 468 des Werkstückhalters 150 hinaus abgetastet und der GCIB 128 passiert stromabwärts vom Werkstückhalter 150 und tritt in den Faradayschen Käfig 306 ein (wie in [Fig. 3](#) gezeigt) ein. Zu diesen Zeitpunkten sammelt der Faradaysche Käfig 306 Sensorstrom 342 I_s zwecks Messung. Zu allen diesen Zeiten kann der Sensorstrom 342 I_s zum Messen des Strahlstroms des GCIB 128 I_b oder des Gesamtstroms I_t (einschließlich Elektronen) verwendet werden, die zum Laden des Werkstücks zur Verfügung stehen, je nach der „D“- oder „C“-Positionswahl der Schalter 320 und 322, wie in [Fig. 3](#) gezeigt und oben beschrieben wurde. Eine vollständige Überabtastung des Werkstücks 152 auf allen Seiten ist zwar die bevorzugte Ausgestaltung zum Erzielen einer gleichförmigen Verarbeitung des gesamten Werkstücks 152, aber es wird erkannt, dass es lediglich notwendig ist, das Werkstück 152 und den Werkstückhalter 150 an wenigstens einer Stelle überabzutasten, um die vorliegende Erfindung zu praktizieren. Zu Erläuterungszwecken wurde der Abtastpfad 452 als schlängelförmiger Pfad dargestellt, mit einem Strahlenweg in der X-Scan- und Y-Scan-Richtung, der einen insgesamt rechteckigen Abtastbereich A_s beschreibt. Man wird erkennen, dass die Erfindung nicht auf den oben beschriebenen Abtastpfad 452 begrenzt ist. Es können andere zweiachsige Abtastpfade, die Abtastmuster des Bereichs A_s beschreiben, die durch konstante oder veränderliche Geschwindigkeiten in den beiden Achsen generiert werden und rechteckige oder nicht rechteckige Abtastbereiche erzeugen, selbst mit spiralförmigen Mustern, zur Anwendung kommen, unter

der Voraussetzung, dass das Muster wenigstens eine vollständige Überabtastung beinhaltet, so dass der gesamte Strahlenpunkt des GCIB **128** über einen Rand des Werkstückhalters **150** hinaus abgetastet wird und in den Faradayschen Käfig **306** zwecks Messung eintritt.

[0029] [Fig. 5](#) zeigt ein Schema von Details des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500** von [Fig. 3](#). Gemäß [Fig. 5](#) hat das Dosimetrie- und Scannersteuersystem **500** einen Erfassungseingang **360** zum Empfangen von Sensorstrom **342** I_s auf der Leitung **354**. Bei Dosimetriemessungen ist, wenn die Schalter **320** und **322** auf ihre jeweiligen „D“-Positionen eingestellt sind, I_s ein Maß für den Strom I_B des GCIB **128**. Der Sensorstrom **342** I_s wird durch die Leitung **354** mit dem Widerstand **518** sowie mit dem nichtinvertierenden Eingang des Verstärkers **502** verbunden. Der Widerstand **518** kann einen Wert von beispielsweise 1 Megaohm haben, was aber nicht begrenzend ist. Der Verstärker **502** hat einen nichtinvertierenden Eingang mit hoher Eingangsimpedanz und verstärkt den Spannungsabfall über den Widerstand **518** aufgrund der Tatsache, dass der Sensorstrom **342** ($I_s = I_B$) durch den Widerstand **518** zu Masse fließt. Der Verstärker **502** hat einen Verstärkerfaktor A_2 und gibt ein Dosimetriesignal S_D aus, das proportional zum Strahlenstrom I_B des GCIB **128** ist. Die Leitung **520** verbindet das Dosimetriesignal S_D mit dem Dosimetreeingang **508** der Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** und auch mit dem Anzeigegerät **504**. Das Anzeigegerät **504** gibt die Größe des Strahlenstroms I_B des GCIB **128** an.

[0030] Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** hat einen Alarmeingang **510** zum Empfangen eines Alarmsignals S_A auf der Leitung **352** durch den Alarmsignaleingang **362** des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500**.

[0031] Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** hat einen Verfolgen/Halten-Signalausgang **514** zum Ausgeben eines Verfolgen/Halten-Signals S_{TH} auf der Leitung **374** durch den Verfolgen/Halten-Befehlausgang **376** des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500**.

[0032] Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** hat einen C/D-Schaltsteuerausgang **516** zum Ausgeben eines C/D-Schaltsteuersignals S_{CD} auf der Leitung **382** durch den Schaltsteuerausgang **380** des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500**.

[0033] Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** hat einen Scannersteuerausgangsbus **512** zum Ausgeben von Scannersteuersignalen auf dem Kabel **334** durch Scannersteuerausgänge **378** des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500**.

[0034] Man wird erkennen, dass die Dosimet-

rie-/Abtaststeuerung **506** bei Bedarf ein gemeinsam genutzter Teil der Funktionen und Vorrichtungen eines Mikroprozessorsystems oder Mikrocomputers oder einer Universalsteuerung sein kann, das/der/die auch andere Funktionen des GCIB-Bearbeitungssystems **300** steuert.

[0035] Beim Betrieb wird vor dem Einleiten der GCIB-Bearbeitung eines Werkstücks **152** ein GCIB **128** im GCIB-Bearbeitungssystem **300** gebildet, wobei sich der Werkstückhalter **150** in der Vorabposition **454** befindet. Demgemäß passiert der GCIB **128** in den Faradayschen Käfig **306**. Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** gibt ein Signal $S_{C/D}$ aus, um zu bewirken, dass die Schaltsteuerung **324** die Schalter **320** und **322** in die Ladungsmessposition „C“ einstellt. Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** gibt ein Verfolgen/Halten-Signal S_{TH} aus, um zu bewirken, dass der Verfolgen/Halten-Ausgang **368** des Verfolgen-Halten-Moduls **364** das Ladesignal S_C verfolgt. Demgemäß empfangen das Anzeigegerät **356** und die Neutralisiererstromversorgung **346** S_{CH} , das S_C verfolgt. Eine negative Feedback-Schleife wird durch die Emission von Thermoelktronen **336** geschlossen. Der Sensorstrom **342** I_s wird durch das Feedback minimal gehalten. Wenn das System ordnungsgemäß funktioniert, dann wird das Ladesignal S_C minimiert und das Ladealarmsystem **350** gibt kein(en) Alarm oder Alarmsignal S_A aus. Nach einer Zeitverzögerung, die ausreicht, damit sich das S_C -Signal einschwingen kann (typischerweise ein bis mehrere Sekunden), testet die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** das Alarmsignal S_A am Alarmeingang **510**, um sicherzustellen, dass der zum Laden des Werkstücks **152** zur Verfügung stehende Gesamtstrom auf einem sicheren Niveau ist. Wenn die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** festgestellt hat, dass kein Alarmsignal S_A vorliegt, dann gibt sie ein Verfolgen/Halten-Signal S_{TH} aus, um zu bewirken, dass der Verfolgen/Halten-Ausgang **368** des Verfolgen-Halten-Moduls **364** das Verfolgen/Halten-Ladesignal S_{CH} für die Dauer der GCIB-Bearbeitung des Werkstücks **152** festhält.

[0036] Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** gibt als Nächstes ein Signal $S_{C/D}$ aus, um zu bewirken, dass die Schaltsteuerung **324** die Schalter **320** und **322** in die Dosimetrieposition „D“ stellt. Demgemäß empfängt der Dosimetreeingang **508** der Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** das Dosimetriesignal S_D . Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung misst den Wert des Dosimetriesignals S_D (in Ampere Strahlenstrom I_B typischerweise ein paar Mikroampere bis zu mehreren tausend Mikroampere). Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** hat eine zuvor gespeicherte, vorbestimmte, benötigte Bearbeitungsdosis D_P (in A-Sekunden pro Flächeneinheit gemessen) für die GCIB-Bearbeitung des Werkstücks **152**, um den gewünschten Bearbeitungseffekt zu erzielen. Andere Prozessparameter wie die Anzahl von Abtastdurchgängen N , X- und Y-Scan-Distanzen D_X und D_Y sind ebenfalls vorbe-

stimmt und zuvor in der Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** gespeichert. Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** berechnet die Gesamtabtastzeit T_s und die Abtastgeschwindigkeit V_Y gemäß:

$$A_s = D_x \times D_y$$

$$T_s = (D_p \times A_s) / I_B$$

$$V_Y = (N \times D_y) / T_s$$

[0037] Die Dosimetrie-/Abtaststeuerung **506** sendet dann Signale durch den Scannersteuerungsausgangsbus **512** durch Scannersteuerausgänge **378** durch Kabel **334**, um zu bewirken, dass das X-Scan-Stellglied **202** und das Y-Scan-Stellglied **204** gesteuerte X-Scan-Bewegungen und Y-Scan-Bewegungen mit regulierten Geschwindigkeiten erzeugen, zunächst von der Vorabposition **454** zur Startposition **456**, dann über den Abtastpfad **452** zur Fertigposition **466**. Jede Y-Scan-Bewegung erfolgt mit einer geregelten Y-Scan-Geschwindigkeit V_Y . Der Abtastpfad **452** (siehe [Fig. 4B](#)) wird erzeugt. Nach dem Erreichen der Fertigposition **466** ist die Bearbeitung des Werkstücks **152** abgeschlossen und die Bearbeitungsdosis D_p wurde gleichmäßig auf das gesamte Werkstück **152** und mit minimierter Ladung des Werkstücks **152** appliziert.

[0038] Die Erfindung wurde zwar mit Bezug auf verschiedene Ausgestaltungen beschrieben, aber es ist zu verstehen, dass diese Erfindung auch auf eine Reihe verschiedener weiterer und anderer Ausgestaltungen im Rahmen der beiliegenden Ansprüche anwendbar ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (**200**), die einen Gascluster-Ionenstrahl (**128**) zum Bearbeiten einer Oberfläche eines Werkstücks (**152**) verwendet, wobei die Vorrichtung Folgendes umfasst:
 einen Unterdruckbehälter (**102**);
 eine Gascluster-Ionenstrahlenquelle (**118**) innerhalb des Unterdruckbehälters (**102**) zum Erzeugen eines Gascluster-Ionenstrahls (**128**) mit einem Strahlenstrom;
 einen Beschleuniger (**126**) zum Beschleunigen des Gascluster-Ionenstrahls (**128**) über eine Bahn;
 Werkstückhaltemittel (**150**) zum Halten des Werkstücks (**152**) für die Gascluster-Ionenstrahlbearbeitung;
dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (**200**) ferner Folgendes umfasst:
 steuerbare Bewegungsmittel (**202**, **204**) zum selektiven Abtasten des genannten Werkstückhaltemittels (**150**) und des Werkstücks (**152**) durch den genannten Gascluster-Ionenstrahl (**128**) an einer Stelle entlang der genannten Bahn zwischen dem genannten Beschleuniger (**126**) und einem Strommessmittel,

das entlang der genannten Bahn angeordnet ist, und zum selektiven Entfernen des Werkstückhaltemittels (**150**) und des Werkstücks (**152**) von der genannten Gascluster-Ionenstrahlbahn;

Steuermittel (**500**) zum Erzeugen von Signalen zu den genannten steuerbaren Bewegungsmitteln (**202**, **204**) zum Abtasten des Werkstücks (**152**) und zum Entfernen des Werkstücks (**152**) und des Werkstückhaltemittels (**150**) von der genannten Gascluster-Ionenstrahlbahn, damit der genannte Strahlenstrom gemessen werden kann, wobei das genannte Steuermittel (**500**) solche Signale wenigstens teilweise als Reaktion auf wenigstens ein Strommesssignal (**342**) erzeugt, das von dem Strommessmittel (**338**) erfasst wurde; und

wobei das genannte Strommessmittel (**338**) wenigstens zwei steuerbare Betriebsarten zum Erfassen des Sensorstrommesssignals (**342**) aufweist, wobei eine (D) der genannten Betriebsarten selektiv ein Abtastsignal des Gascluster-Ionenstrahls und eine andere (C) der genannten Betriebsarten selektiv ein Abtastsignal des gesamten zum Laden des Werkstücks (**152**) verfügbaren Stroms misst, wobei das genannte Steuermittel (**500**) Steuersignale zum Auswählen zwischen den beiden Betriebsarten (C, D) bereitstellt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das genannte wenigstens eine Strommesssignal (**342**) ein Abtastsignal des genannten Gascluster-Ionenstrahlenstroms repräsentiert, der gemessen wird, während das Werkstück (**152**) und der genannte Werkstückhalter (**150**) von der genannten Gascluster-Ionenstrahlbahn entfernt werden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei das genannte Steuermittel (**500**) ferner als Reaktion auf das wenigstens eine Strommesssignal (**242**), das ein Abtastsignal des genannten Gascluster-Ionenstrahlenstroms repräsentiert, Folgendes umfasst:

- (a) Ausgangssignale (**512**) zum Steuern des Abtastens des Werkstücks (**152**); oder
- (b) Ausgangssignale (**376**) zum Regeln einer Dosis des genannten Gascluster-Ionenstrahls (**128**), der bei der Bearbeitung auf das Werkstück (**152**) appliziert wird.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1-3, die ferner einen steuerbaren Neutralisierer (**310**) zum Erzeugen von Elektronen (**336**) umfasst, um
 (a) Raumladung in dem genannten Gascluster-Ionenstrahl (**128**) oder
 (b) elektrische Ladung des Werkstücks (**152**) zu reduzieren.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner einen steuerbaren Neutralisierer (**310**) umfasst, um als Reaktion auf Steuersignale, die von dem Steuermittel (**500**) ausgegeben werden, das mit wenigstens einem Strommesssignal assoziiert ist, das den gesam-

ten verfügbaren Strom repräsentiert, den zum elektrischen Laden des Werkstücks (152) zur Verfügung stehenden Gesamtstrom auf ein vorbestimmtes sicheres Niveau zur Bearbeitung zu reduzieren.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das genannte Steuermittel (500) ferner Mittel umfasst, um zu ermitteln, ob wenigstens ein den verfügbaren Gesamtstrom repräsentierendes Strommessignal ein vorbestimmtes sicheres Niveau zur Bearbeitung übersteigt, und Mittel zum Verhindern der Bearbeitung des Werkstücks (152), wenn der genannte Gesamtstrom das vorbestimmte sichere Niveau für die genannte Bearbeitung übersteigt.

7. Verfahren zum Bearbeiten der Oberfläche eines Werkstücks (152) mit einem Gascluster-Ionenstrahl, das die folgenden Schritte umfasst:

Bilden eines Gascluster-Ionenstrahls in einem Unterdruckbehälter (102), wobei der genannte Gascluster-Ionenstrahl einen Gascluster-Ionenstrahlstrom hat;

Beschleunigen des genannten Gascluster-Ionenstrahls über eine Bahn;

steuerbares Heraushalten des Werkstücks (152) für eine Gascluster-Ionenstrahlbearbeitung aus der Bahn des genannten Gascluster-Ionenstrahls;

Bereitstellen eines Strommessmittels (338) mit wenigstens zwei (C, D) steuerbaren Betriebsarten, eine (D) der genannten Betriebsarten zum selektiven Messen eines Abtastsignals des Gascluster-Ionenstrahlstroms und eine andere (C) der genannten Betriebsarten zum selektiven Messen eines Abtastsignals des zum Laden des Werkstücks (152) zur Verfügung stehenden Gesamtstroms;

Auswählen der genannten Betriebsart zum Messen eines Stromabtastsignals in Bezug auf die Bearbeitung des Werkstücks (152);

Messen, wenigstens einmal, des Stromabtastsignals; Bewegen, wenigstens einmal, des Werkstücks (152) in die Bahn des genannten Gascluster-Ionenstrahls (128) zur Bearbeitung; und

Steuern der Bearbeitung des Werkstücks (152) unter Verwendung vom genannten wenigstens einen Messwert des Stromabtastsignals.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem das genannte Stromabtastsignal ein Abtastsignal des Gascluster-Ionenstrahlenstroms ist; wobei der Steuerschritt das Regeln einer Dosis des genannten auf das Werkstück (152) applizierten Gascluster-Ionenstrahls umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das genannte Stromabtastsignal ein Abtastsignal des zum Laden des Werkstücks (152) zur Verfügung stehenden Gesamtstroms ist; und wobei der Steuerschritt die Verwendung des genannten Abtastsignals des genannten zur Verfügung stehenden Gesamtstroms als Basis zum Reduzieren des zum Laden des Werk-

stücks (152) zur Verfügung stehenden genannten Gesamtstroms auf ein vorbestimmtes sicheres Niveau umfasst.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

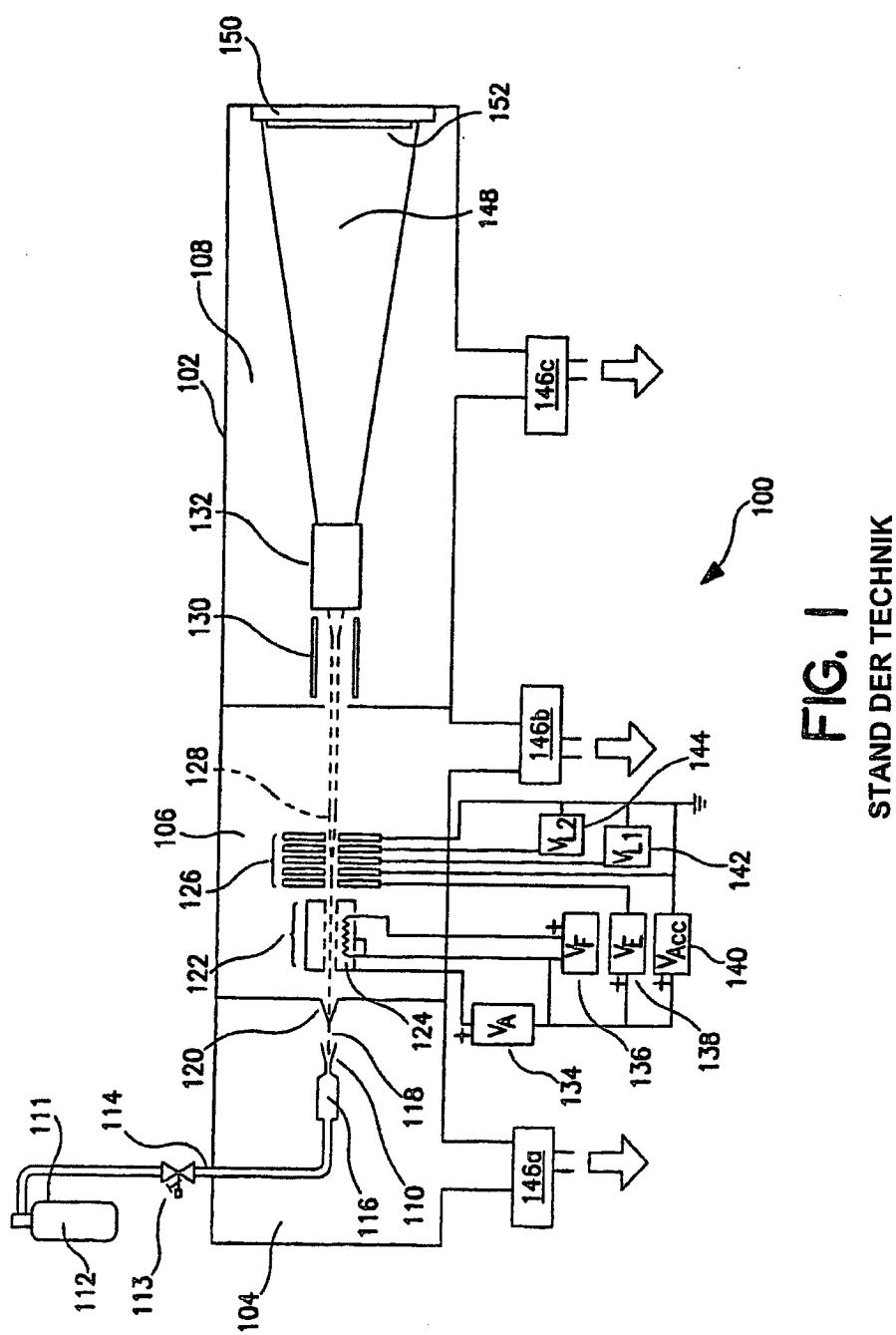


FIG. I

STAND DER TECHNIK

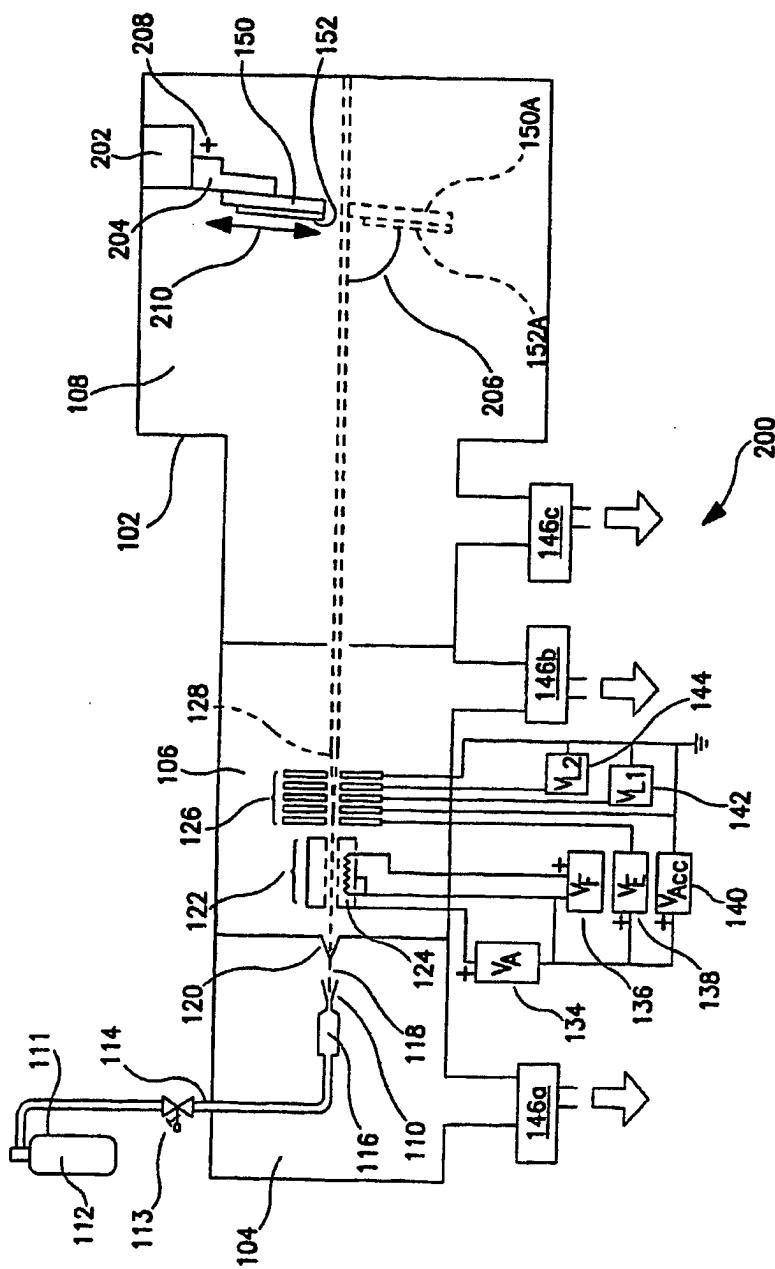
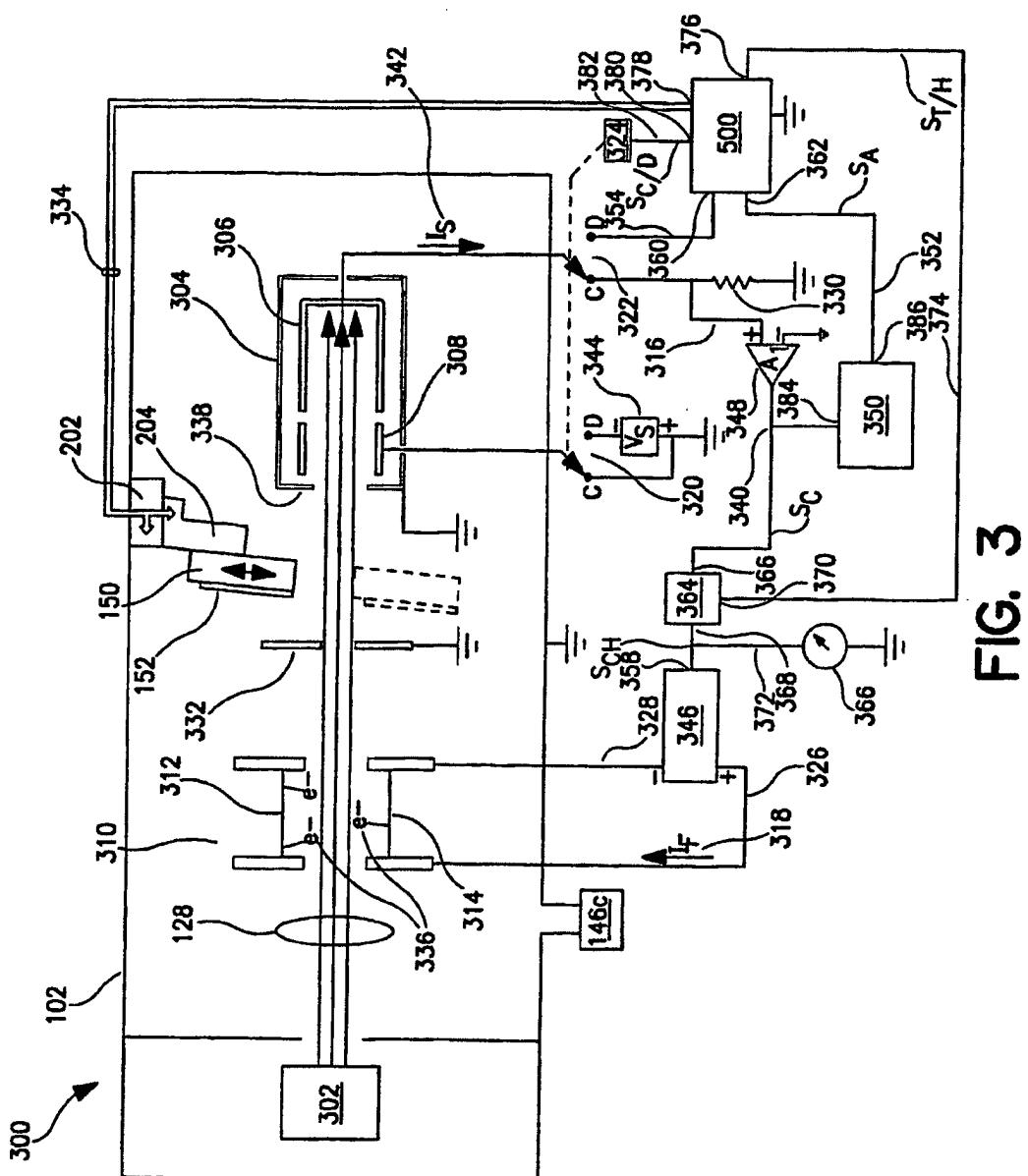


FIG. 2

**FIG. 3**

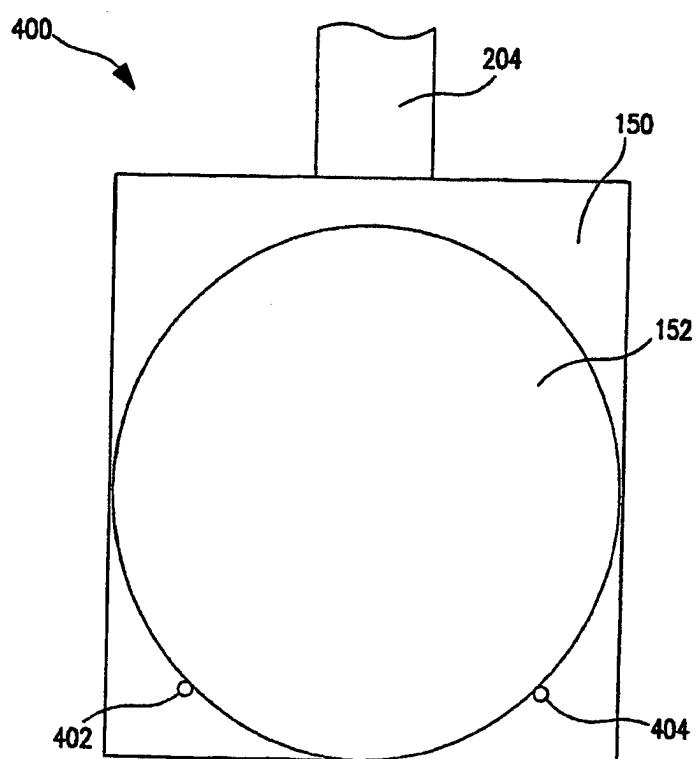


FIG. 4A

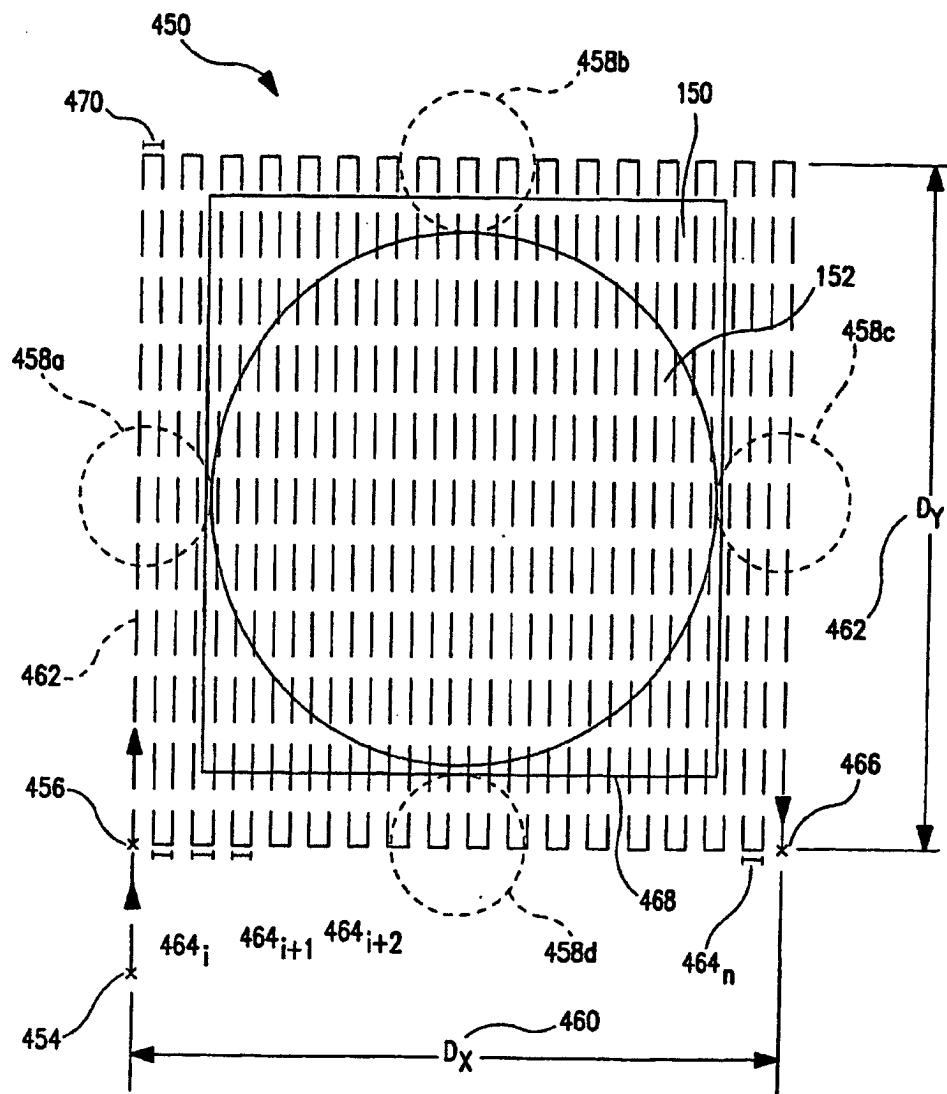


FIG. 4B

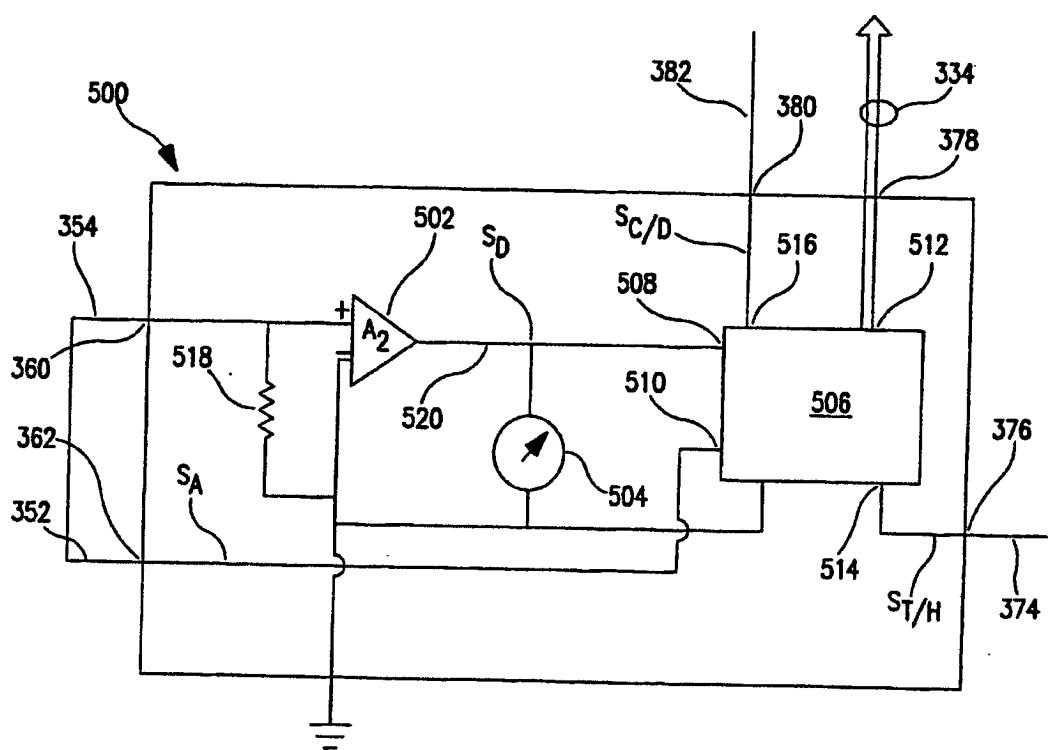


FIG. 5