



(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.<sup>8</sup>: **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 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**

**[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 empfangenen

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 Faradayscher-Käfig-Sensor wird der GCIB-Strom zur Dosimetrie- und Abtastungsgleichförmigkeitssteuerung 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 Strahleneffekte 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 hinaus. 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 Ladestromerfassungsmerkmal 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 Begleitzeichnungen 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 BEVORZUGTEN 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 Quellschleuse **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  $N_2$ ) wird unter Druck aus einer Gasvorratsflasche **111** durch ein Gasdosierventil **113** und die Gaszuführungsröhre **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 Gasskimmeröffnung **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 enthaltenden Überschallgasstrahls **118** werden die Cluster in einem Ionisierer **122** ionisiert. Der Ionisierer **122** ist typischerweise ein Elektronenstoßionisierer, der Thermoelektronen von einem oder mehreren Glühfäden **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 Ionisiererefadens **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** gleichförmig 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 Strahleneinfallswinkel **206** in Bezug auf die Oberfläche des Werkstücks **152** hat. Der Strahleneinfallswinkel **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 Bezugswerten **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 (überabtastet) 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 erhitzten 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 Dosimetrie-messposition 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 Dosimetrie-messposition verbindet die Bremsselektrode **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 Bremsselektrode **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 Bremsselektrode **308** negativ vorgespannt ist, dann verhütet 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 Bremsselektrode **308** ist mit Masse verbunden und ist ohne Vorspannung. Wenn die Bremsselektrode **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 Werkstückladezustand 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-Befehlsausgang **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 Strahleneinfallswinkel **206** wie in **Fig. 2** definiert 90 Grad beträgt, aber die Erfindung ist nicht auf einen Strahleneinfallswinkel **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 (Strahlenpunkt 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 Bezugswerte **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 Bearbeitungs-gleichförmigkeit 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-Distanzin-

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**, **464**<sub>i+1</sub>, **464**<sub>i+2</sub>, ... **464**<sub>n</sub> aus, wobei  $n = (N/2) - 1$  ist. Die X-Richtung-Abtastgeschwindigkeit  $V_X$  in der Richtung der X-Bewegungsinkremente 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 Strahlenpunkt 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 Strahlenstroms 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 schlangenförmiger 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 Dosimetrieingang **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  $S_{T/H}$  auf der Leitung **374** durch den Verfolgen/Halten-Befehlsausgang **376** des Dosimetrie- und Scannersteuersystems **500**.

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

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

**[0034]** Man wird erkennen, dass die Dosimetrie-/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  $S_{T/H}$  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 Thermoelektronen **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  $S_{T/H}$  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 Dosimetrieingang **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 Scannersteuerungsbus **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;

Werkstückhalter (**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 Werkstückhaltermittels (**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 Werkstückhaltermittels (**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 Werkstückhaltermittels (**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-Ionenstrahlstroms 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-Ionenstrahlstroms 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 (**342**), das ein Abtastsignal des genannten Gascluster-Ionenstrahlstroms 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.

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

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das genannte Steuermittel (**500**) ferner Mittel umfasst, um zu ermitteln, ob wenigstens ein den verfügbaren Gesamtstrom repräsentierendes Strommesssignal 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-Ionenstrahlstroms 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-

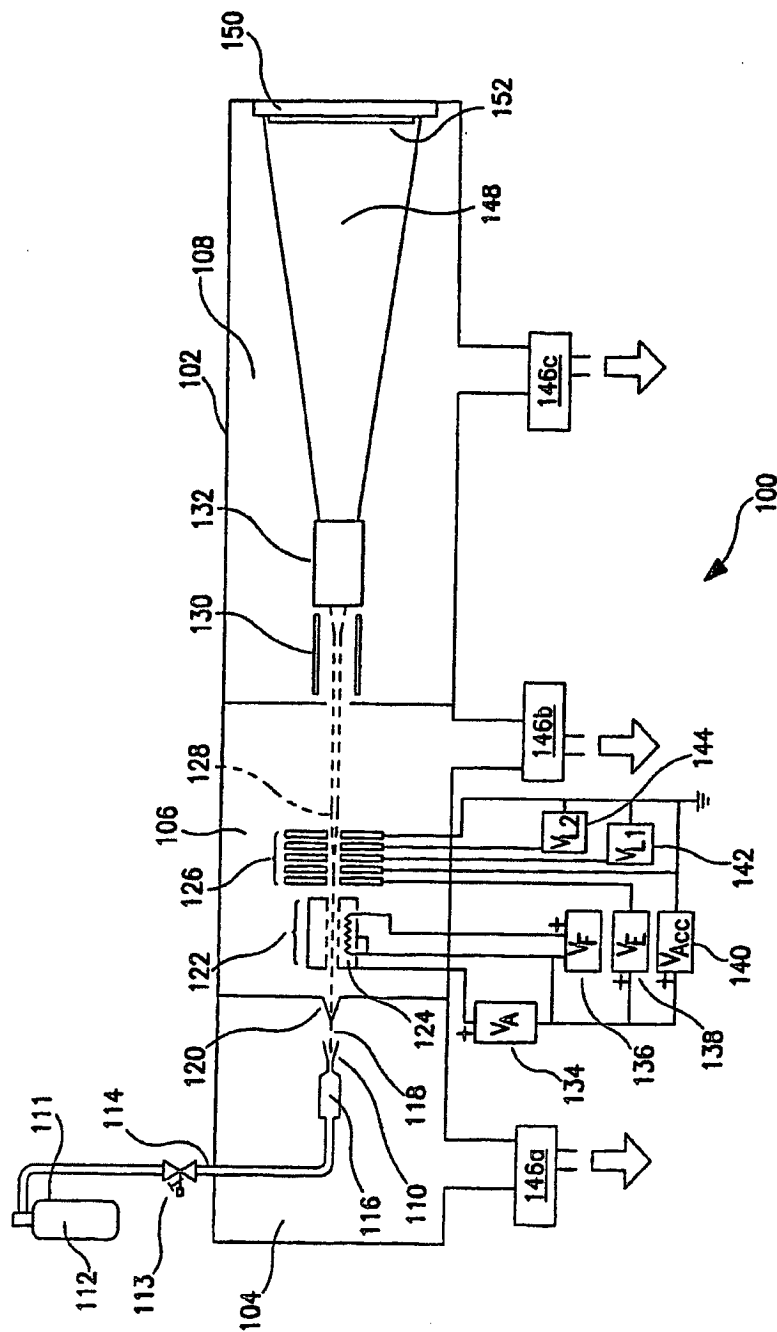


FIG. 1

STAND DER TECHNIK

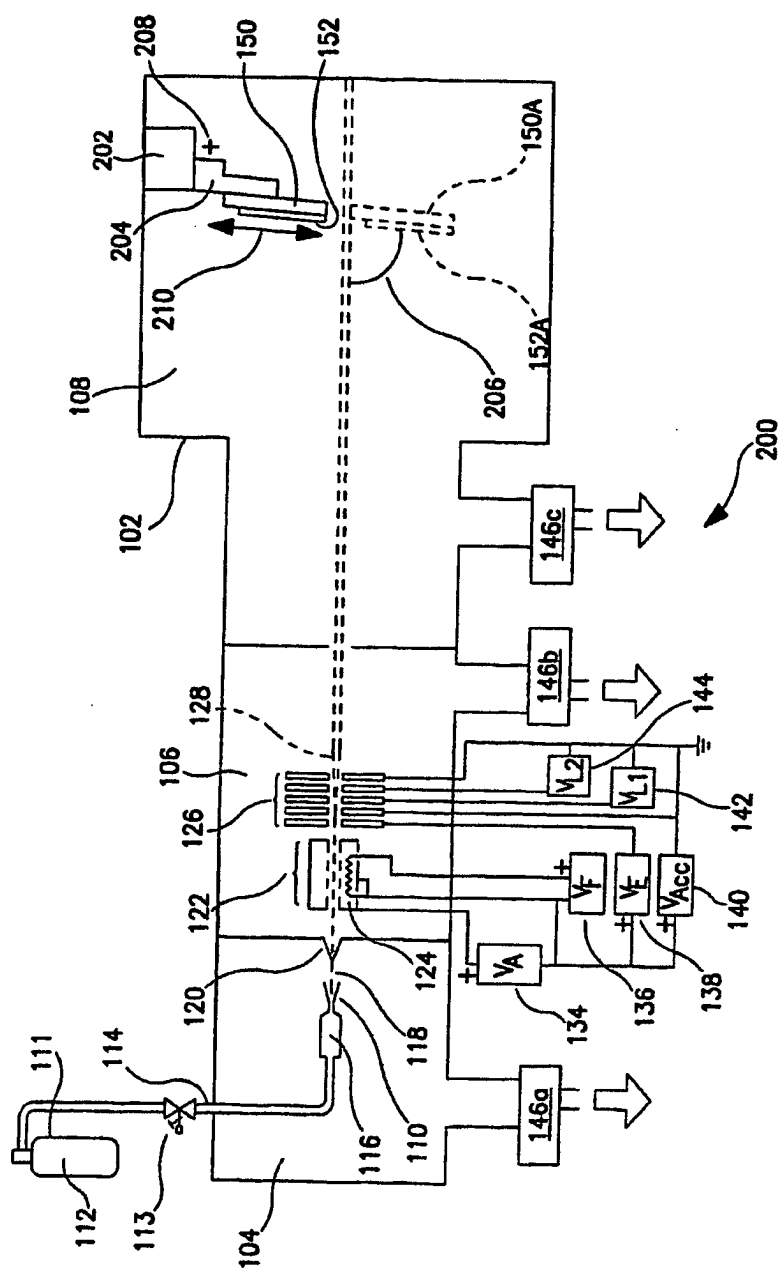


FIG. 2

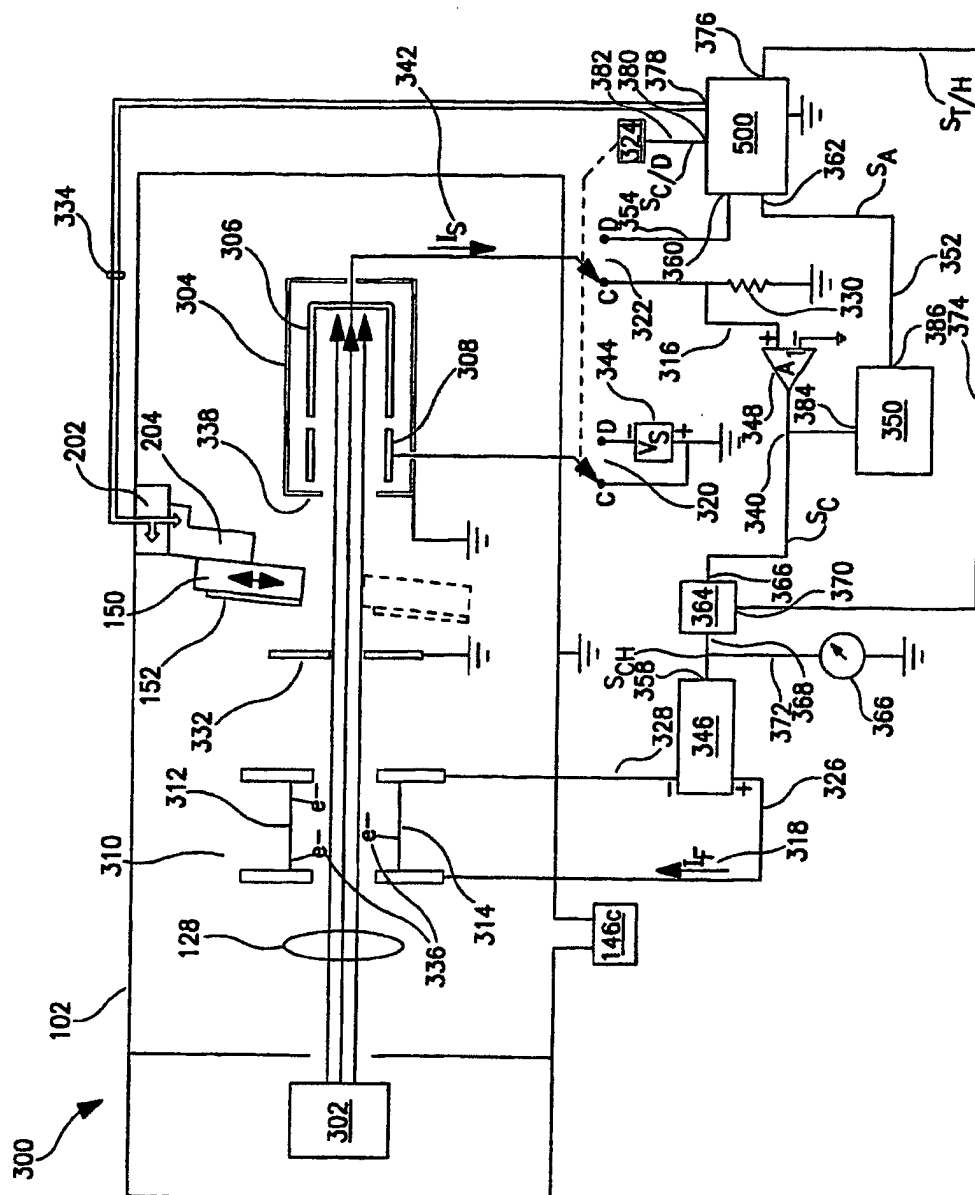


FIG. 3



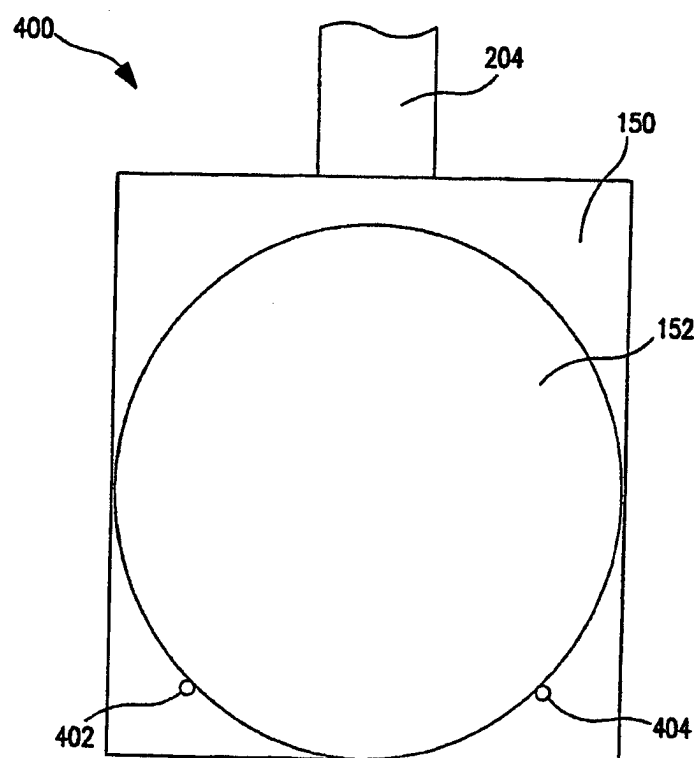


FIG. 4A

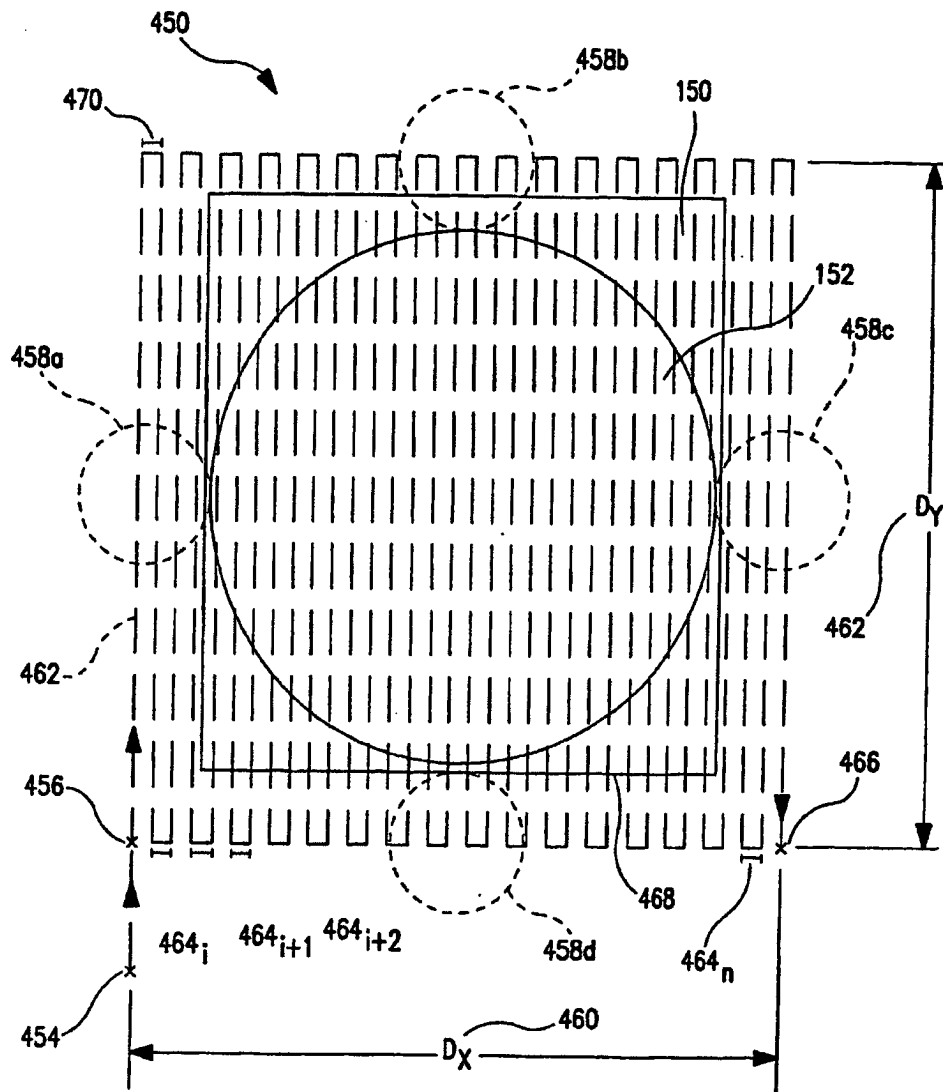


FIG. 4B

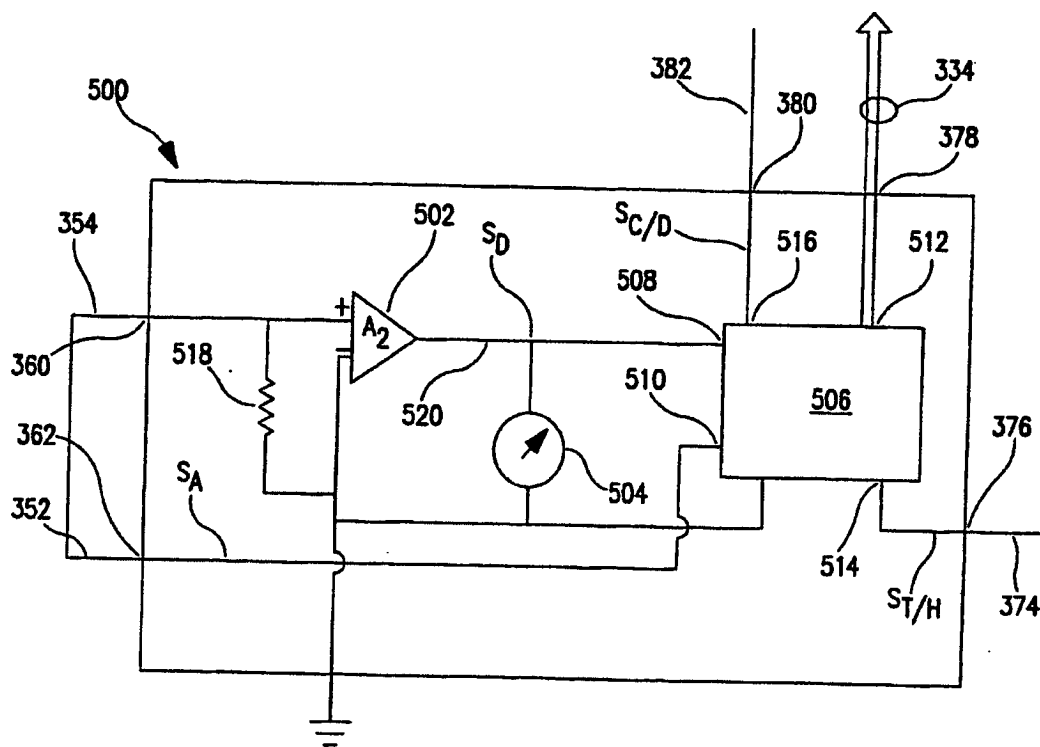


FIG. 5