



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH**

697 552 B1

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **H01J 37/32** (2006.01)
C23C 14/35 (2006.01)
C23C 14/32 (2006.01)
B01J 3/03 (2006.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01866/04

(22) Anmeldedatum: 12.11.2004

(24) Patent erteilt: 28.11.2008

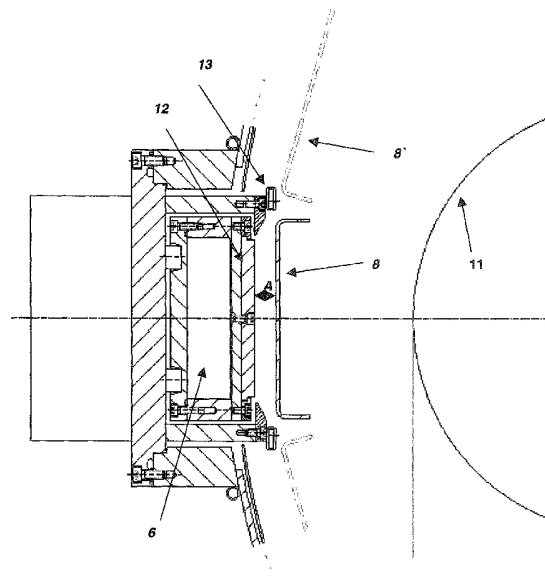
(45) Patentschrift veröffentlicht: 28.11.2008

(73) Inhaber:
Oerlikon Trading AG, Trübbach, Hauptstrasse
9477 Trübbach (CH)

(72) Erfinder:
Markus Esselbach, 6800 Feldkirch (AT)
Martin Zaech, 9496 Balzers (LI)
Orlaw Massler, 9492 Eschen (LI)
GRISCHKE, Martin, FL-9494 Schaan (LI)

(54) **Vakuumbehandlungsanlage.**

(57) Eine Vakuumbehandlungsanlage zum Behandeln von Werkstücken umfasst eine evakuierbare Behandlungskammer, in der eine Niedervoltbogen-Entladungsvorrichtung angeordnet ist, mindestens eine verschliessbare Be- und Entladeöffnung und mindestens eine an einer Seitenwand der Behandlungskammer angebrachte Beschichtungsquelle. Ferner weist sie eine Magnetfelderzeugungsvorrichtung zur Ausbildung eines magnetischen Fernfeldes sowie zumindest einen Werkstückträger zur Aufnahme von Werkstücken auf. Ferner ist eine Target-Shutteranordnung (8, 8') so ausgebildet, dass im abgedeckten Zustand der Abstand zwischen Shutter (8) und Target (12) weniger als 35 mm beträgt und so das Zünden und Betreiben einer Magnetron- oder einer kathodischen Funkenentladung hinter dem Target ermöglicht, andererseits aber bei ausgeschaltetem Target (12) das Zünden eines Nebenplasmas verhindert wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumbehandlungsanlage gemäss Anspruch 1 zum Behandeln von Werkstücken.

[0002] Diese Vakuumbehandlungsanlage ist vor allem für die Beschichtung mit DLC-Schichten bzw. anderen Vakuumbeschichtungsprozessen vorgesehen, bei denen durch die Prozessführung bzw. durch die Verwendung gefährlicher oder explosiver Gase besondere Vorkehrungen bezüglich der Verlässlichkeit und Sicherheit oder auch der Reproduzierbarkeit einzelner Prozessschritte bzw. ganzer Prozesssequenzen besonders hohe Anforderungen zu stellen sind. Es können jedoch auch andere CVD, PVD oder insbesondere kombinierte CVD/PVD-Schichten vorteilhaft abgeschieden werden. Als Beispiel seien hier WC/C-, AlN-, SiN-, TiSiN-, CrN-Schichten sowie Kombinationen dieser Schichtsysteme genannt.

[0003] Die Anlage weist eine besonders hohe Produktivität, Prozesssicherheit und Bedienerfreundlichkeit auf, die durch die Merkmale folgender Anlagenkomponenten erreicht wird:

- Anordnung Target zu Shutter
- Spule für elektrisches Fernfeld
- Anordnung und Geometrie des Chevrons
- Elektrode (Hilfsanode)
- Türverschluss

Bekannter Stand der Technik

[0004] Als nächster Stand der Technik wird die DE 10 018 143 angesehen und hiermit zum integralen Teil der vorliegenden Anmeldung erklärt. In dieser Schrift wird eine DLC-Schicht, ein Prozess, bestehend aus verschiedenen Heiz-, Ätz- und Beschichtungsschritten sowie eine Vorrichtung zur Abscheidung einer entsprechenden DLC-Schicht beschrieben. Mit der vorliegenden erfinderischen Vakuumanlage sollen unter anderem dieselben und ähnliche DLC-Schichten abgeschieden bzw. entsprechende Prozesse zur Vorbehandlung und Abscheidung von entsprechenden Schichten auf Werkstücken durchgeführt werden können.

[0005] Daher weist die vorliegende Vakuumanlage auch die wesentlichen Merkmale der in DE 10 018 143, Absatz [0059] bis [0068] bzw. Fig. 1 und 2 sowie Absätze [0076] bis [0085] beschriebenen Vorrichtungen auf. Beispielsweise seien hier jeweils mindestens ein Pumpsystem zur Erzeugung eines Vakuums in einer Vakuumkammer, eine Gasversorgungseinheit zum Zudosieren von Prozessgas, eine Verdampfervorrichtung zur Bereitstellung von Beschichtungsmaterial, eine Lichtbogenerzeugungseinrichtung zum Zünden und Betreiben eines Gleichspannungsniedervoltbogens, eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Substratbiasspannung und mindestens eine Magnetfelderzeugungsvorrichtung zur Ausbildung eines magnetischen Fernfelds erwähnt. Genauere Angaben sind der oben erwähnten Referenz zu entnehmen.

[0006] Die wesentlichen Verfahrensschritte eines solchen DLC-Prozesses werden im Folgenden kurz dargestellt:

- a) Einbringen zumindest eines Werkstücks in eine Vakuumkammer und Abpumpen bis zu einem Druck kleiner 10^{-4} mbar,
- b) Heizen und/oder Reinigen der Substratoberfläche durch Elektronenbeschuss, Strahlungsheizung und/oder Ionenbeschuss, beispielsweise unter Verwendung eines Gleichspannungsniedervoltbogens,
- c) plasmagestütztes Aufdampfen der Haftschrift, beispielsweise durch Sputter- oder kathodische Arcprozesse,
- d) Aufbringen einer Übergangsschicht auf die Haftschrift durch gleichzeitiges plasmagestütztes Aufdampfen der Haftschriftkomponente (PVD-Prozess) und Abscheiden von Kohlenstoff aus der Gasphase (CVD-Prozess),
- e) Aufbringen der diamantähnlichen Kohlenstoffschrift auf die Übergangsschicht durch plasmagestütztes Abscheiden von Kohlenstoff aus der Gasphase.

[0007] Bei Bedarf kann auch in einem oder mehreren der Schritte c) bis e) ein Gleichspannungsniedervoltbogen zur Erhöhung der Plasmadichte eingesetzt werden. Vorzugsweise wird zumindest während der Prozessschritte d) und e) eine mittelfrequente Substratspannung angelegt.

[0008] Details zum Prozess und möglichen Varianten können der DE 10018143, Absatz [0035] bis [0058], bzw. dem Prozessbeispiel 1 bis 3 entnommen werden.

Nachteile des bisherigen Standes der Technik

[0009] Trotz der entscheidenden Vorteile des neuen, nach DE 10 018 143 herstellbaren Schichtsystems kann das Beschichtungsverfahren und die dort beschriebene Vorrichtung weiter verbessert werden:

[0010] Ein Nachteil von mittel- oder auch hochfrequenten Plasmaprozessen ist die erhöhte Gefahr des Auftretens von so genannten Nebenplasmen an Stellen, wo kein Plasma benötigt wird. Dadurch wird unnötig Energie aus dem Behandlungsprozess abgeführt, meist aber auch der Prozess selbst gestört oder andere unerwünschte Nebeneffekte können auftreten. Daher ist es schwierig, im DLC-Prozess auf allen Substratoberflächen konstante Plasmabedingungen zu erzielen. Die Ionisierung des Gases erfolgt hauptsächlich im Kathodenfall (innerhalb des Glimmsaums) vor den Substraten. In Hohlräumen, z.B. im Inneren eines Rohrs oder auch zwischen zwei geraden Platten, kann es dann zu einem Hohlkathoden

denefekt kommen. Dabei können die Elektronen, die die Ionisierung bewirken, aus dem Hohlraum nicht entweichen und zur Anode wandern, wie das von offenen Oberflächen aus einfach möglich ist. Die Elektronen pendeln dann zwischen den Zylinderwänden hin und her und ionisieren äusserst effizient, so dass sehr hohe lokale Plasmadichten entstehen können. Bekannterweise muss zur Ausbildung eines Glimmsaums der Hohlraum eine gewisse Mindestgrösse aufweisen und eine bestimmende geometrische Grösse, z.B. der Rohrdurchmesser oder der Abstand zwischen zwei parallelen Platten, grösser als der druckabhängige Dunkelraumabstand sein.

[0011] Bei den im DLC-Prozess üblichen Drücken von rund 5×10^{-3} mbar liegt der Dunkelraumabstand bei rund 3 cm (entspricht ca. der freien Weglänge). Zwischen zwei Platten mit etwas grösserem Abstand zueinander kann ein sehr intensives Nebenplasma beobachtet werden. Wird der Abstand zwischen den Platten weiter erhöht, so fällt die Plasmaintensität wieder rasch ab. Gleichzeitig wird der Effekt durch eine grössere bzw. kleinere Überlappung sowie Breite und Länge der überlappenden Plattenflächen verstärkt oder abgeschwächt. Liegt die bestimmende geometrische Grösse des Hohlraums unter der freien Weglänge, kann sich jedoch keine Entladung ausbilden.

[0012] Zu beachten ist auch, dass das Plasma durch Verbindungsstellen aus dem Plasmaraum in benachbarte Hohlräume wandern kann, sofern die engste Stelle bei erwähntem Druck einen Loch- bzw. Spaltdurchmesser von grösser 2 mm aufweist. Um die Bildung virtueller Lecks zu vermeiden, ist aber gleichzeitig auch auf die Abpumpbarkeit derartiger Hohlräume, wie sie beispielsweise bei Halterungen oder hinter Targetblenden auftreten, zu achten, weshalb die Abstände bzw. Abpumpkanäle nicht beliebig klein gewählt werden können.

[0013] Eine zusätzliche Schwierigkeit ergibt sich bei dem für die Haftung wesentlichen Prozessschritt d), bei dem gleichzeitig beispielsweise Chrom mit einer abnehmenden Sputterleistung von einem oder mehreren Targets verdampft wird, während zwischen Substraten und Anlage beispielsweise ein mf-Plasma mit zunehmendem Kohlenstoffanteil, durch Zugabe eines kohlenwasserstoffhaltigen Reaktivgases, betrieben wird.

[0014] Dadurch beeinflussen sich die gleichzeitig ablaufenden PVD- und CVD-Prozesse gegenseitig und es kommt zu einer zumindest partiellen Belegung der Targets mit einer schlechter leitenden Kohlenstoffschicht, wodurch die Targetspannung erhöht und Überschlüge mit Dropletbeschuss der Substratoberfläche ausgelöst werden können. Je nach zeitlicher Dauer der Überlappung der Prozesse tritt dieser Effekt schwächer oder stärker auf.

[0015] Da die Targets bei Schritt c) vorzugsweise zunächst hinter Abdeckungen, sogenannten Shuttern, gezündet werden, um zu vermeiden, dass eventuelle Verunreinigungen auf die Substrate übertragen werden (Freisputtern) und bei Schritt d) die Targets üblicherweise erst nach Vorfahren der Shutter abgeschaltet werden, um die ausgeschalteten Targets nicht direkt der DLC-Abscheidung durch das mf-Plasma auszusetzen, wird auch zwischen Target und Shutter ein Abstand eingestellt, der grösser als der Dunkelraumabstand von ca. 30 mm ist. Damit wird ein sicheres Zünden der Targets hinter den Shutter ermöglicht. Allerdings ist es dabei sehr schwierig, die Bildung von oben beschriebenen Plasmalecks zu vermeiden, da die einzelnen Komponenten der Anlage ihre gegenseitige Lage allein auf Grund der bei den Prozessen auftretenden thermischen Belastung verändern und ein Kurzschluss zwischen Shutter und Target bzw. Anodenrahmen auf alle Fälle zu vermeiden ist. D.h., kommt es während Prozessschritt e) häufig zur Ausbildung von Nebenplasmen zwischen Shutter und Target, wird auch auf der Targetoberfläche, je nach Intensität des Nebenplasmas, eine isolierende kohlenstoffhaltige Schicht, eine DLC-artige Schicht, Graphitstaub oder Ähnliches abgeschieden. Diese Effekte können dazu führen, dass die Targetoberfläche nach jeder Beschichtung bei offener Kammer gereinigt werden und die Kathode längere Zeit freigesputtert werden muss.

[0016] Ein ähnliches Problem ergibt sich, wenn eine Hilfselektrode, beispielsweise eine Hilfsanode bei Verwendung eines Gleichspannungsniedervoltbogens für den Heiz-/Ätzprozess, während des DLC-Prozesses mit einer nicht- oder so schlecht leitenden Schicht belegt wird, dass der Niedervoltbogen nicht mehr gezündet werden kann. Auch in diesem Fall ist eine je nach Schichteigenschaften oft aufwendige Reinigung der Elektrodenoberflächen nach jeder Isolationsbeschichtung notwendig. Dieses Problem ist allgemein bekannt, wenn bei Abscheidung von jedwelchen isolierenden Schichten DC-Elektroden, beispielsweise dem Beschichtungsprozess vorgeschaltet, für Heiz-/Ätzzwecke eingesetzt werden sollen.

[0017] Da insbesondere bei Prozessen mit kohlenwasserstoffhaltigen Gasen einerseits häufig mit hohen Gasdurchsätzen gefahren wird und es durch die Zersetzungsprozesse im Plasma andererseits zusätzlich zu einer Vergrösserung des Molvolumens kommen kann, ist eine gute Pumpleistung wesentlich. Dem steht allerdings die Verwendung eines sogenannten «Chevrans» entgegen, das im oder vor dem Hochvakuumumpfstutzen als optische Trennung zwischen Prozesskammer und Hochvakuumpumpe gesetzt wird, um eine Verschmutzung der HV-Pumpe durch Bedampfen zu verringern. Ein Chevron kann somit beispielsweise aus Kreisringen aufgebaut werden, die konzentrisch um einen gemeinsamen Mittelpunkt (bzw. Mittelachse), aber in der Tiefe gestaffelt hintereinander angeordnet werden. Durch die damit einhergehende Verringerung des Querschnitts wird allerdings die Pumpleistung bei herkömmlichen Chevrons um 30 bis 50% verringert, was gegebenenfalls durch eine entsprechend grössere und teurere Pumpeinheit auszugleichen ist.

[0018] Zur räumlichen Plasmastabilisierung bei niedervoltbogenunterstützten Prozessen wirkt sich ein möglichst homogenes magnetisches Fernfeld günstig aus. Dazu können bekanntlich im oberen und unteren Bereich der Behandlungskammern von Vakuumanlage Magnetspulen nach Art eines Helmholtz-Spulenpaars zur Plasmabeeinflussung angebracht werden. Diese behindern jedoch einen seitlichen Be- und Entladevorgang, bzw. den Zugang für Servicezwecke, weshalb solche Anlagen üblicherweise als Bodenlader ausgeführt werden und entsprechend hohe Produktionshallen und Zugängen

ge vorzusehen sind. Wird aus Gründen der Zugänglichkeit der Durchmesser einer Spule verkleinert, hat dies nachteilige Folgen auf die Homogenität des Magnetfelds.

[0019] Ein weiterer Nachteil herkömmlicher Vakuumbehandlungsanlagen, bei denen eine oder mehrere Hilfselektroden hohen Temperaturen ausgesetzt werden ist, dass bei Plasmaprozessen, die unter Beigabe von Reaktivgas ablaufen, häufig gut haftende Schichten aufwachsen, die den darauf folgenden Prozess stören können. Beispielsweise kann eine isolierende Schicht (DLC, Aluminiumoxid, AlN, SiN, TiSiN, ...) das neuerliche Zünden des Plasmas einer Niedervoltbogenentladung verhindern oder sogar gefährliche Beschädigungen der Anlage verursachen, wenn die elektrische Entladung über andere nicht dafür vorgesehene Anlagenteile gezündet wird. Daher sind derartige störende Schichten aus Gründen der Prozesssicherheit häufig nach jeder Beschichtungsscharge mechanisch zu entfernen.

[0020] Soll ein Zweitürkonzept verwendet werden, wie in Fig. 1 dargestellt, ergeben sich ganz spezielle Anforderungen an das Konzept des Türverschlusses, das mit herkömmlichen Verschlüssen nicht ohne weiteres möglich ist, da hierbei nach Beendigung eines Vakuumprozesses und Fluten der Anlage auf Umgebungsdruck auch der Anpressdruck der zweiten Tür, die nicht geöffnet werden soll, nachlässt und sich deren Türspalt vergrössert. Dadurch kann Schmutz zwischen Dichtung und Dichtfläche eindringen und später zu Undichtigkeiten führen. Weiters ist bei herkömmlichen Anlagen bei Verwendung brennbarer oder explosiver Gase wie beispielsweise Acetylen, Methan, Wasserstoff, Silan oder der allgemeinen Gefahr der Entstehung eines Überdrucks eine zusätzliche Sicherheitsvorrichtung, wie ein Überdruckventil oder Ähnliches, vorzusehen.

Technische Aufgabenstellung der vorliegenden Erfindung

[0021] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vakuumbehandlungsanlage zum Behandeln von Werkstücken anzugeben, bei der einerseits das Zünden und Betreiben einer Magnetron- oder einer kathodischen Funkenentladung hinter dem Target ermöglicht wird, andererseits aber bei ausgeschaltetem Target (12) das Zünden eines Nebenplasmas verhindert wird.

[0022] Dadurch wird Reinigungsaufwand für die Targets und/oder die Hilfselektrode(n) bei der Herstellung von isolierenden oder schlecht leitenden Schichten vermieden und man erhält eine höhere Prozesssicherheit und Schichtqualität durch eine neue Target/Shutter-Anordnung.

Angabe der Lösung bzw. des Lösungsweges

[0023] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Fig. 1 bis 9 näher erläutert. Dabei zeigt

- Fig. 1 die Aufsicht einer Vakuumbehandlungsanlage
- Fig. 2 eine Target/Shutter-Anordnung
- Fig. 3 ein Chevron in Frontansicht
- Fig. 4 eine Chevron/Pumpstutzen-Anordnung in Aufsicht
- Fig. 5 eine Klappspule
- Fig. 6 einen abnehmbaren Hilfsanodenkopf
- Fig. 7 bis 9 einen Türverschluss

[0024] Die in Fig. 1 dargestellte Vakuumbehandlungsanlage 1 ist dreiteilig aufgebaut und besteht im Wesentlichen aus einem Vorderteil 2, einem relativ schmalen Mittelteil 3 und daran angeschlossenem Pumpstutzen 5, der durch ein Chevron 9 von der Behandlungskammer 10 abgetrennt ist, sowie einem Rückteil 4. An Vorder- und Rückteil sind beispielsweise mehrere mit Shuttern 8 versehene Sputterkathoden 6 sowie eine oder mehrere Strahlungsheizungen 7 angebracht. Auch am Mittelteil können entsprechende Beschichtungsquellen und oder Heizungen 7 angebracht sein. Das Vorderteil 2 ist in seiner Gesamtheit über ein hier nicht näher gezeigtes Gelenk seitlich vom Mittelteil 3 wegklappbar, wodurch eine grosse Beladeöffnung entsteht, die ein einfaches Be- und Entladen ermöglicht. Wird das Rückteil 4 ebenso als Klapptüre ausgeführt, kann das Be- und Entladen beliebig von einer oder der anderen oder auch gleichzeitig von beiden Seiten erfolgen. Vorteilhafterweise wird dabei ein oder mehrere drehbeweglich in der Anlage angebrachte Werkstückträger (Karussell) 11, gegebenenfalls mit darauf montierten Werkstückhaltern (Bäumchen), zur Halterung der zu beschichtenden Werkstücke, mit einem Karussellwechselsystem beispielsweise von einem Drehteller in der Anlage 1 durch eine Beladeöffnung entnommen. Bei einem solchen Anlagenkonzept ist auch ein Service der Anlage, wie zum Beispiel Targetwechsel oder Reinigungsarbeiten, bei geöffneten Türen besonders einfach und bedienungsfreundlich durchzuführen.

[0025] Das hier vorgestellte Konzept wurde anhand einer 2,8 m³ Vakuumbehandlungsanlage für grosse Durchsätze von Werkstücken unterschiedlicher Grösse mit einem Innendurchmesser von 1520 mm und einer Höhe von 1560 mm ausgeführt. Der nutzbare Beschichtungsbereich weist dabei einen Durchmesser von 1200–1300 mm und eine Höhe von 800–900 mm auf.

[0026] Ein wesentlicher Aspekt, um die Prozesssicherheit – insbesondere während des Freisputterns und dem Abscheiden einer DLC-Schicht mittels einer gepulsten Biasversorgung und ausgeschalteten Targets – zu gewährleisten, ist es, den Abstand zwischen Target und Shutter 8 so zu wählen, dass einerseits ein Zünden und Aufrechterhalten einer Magnetronentladung hinter geschlossenem Shutter 8 möglich ist, andererseits aber bei der anschliessenden DLC-Beschichtung die Entstehung eines Nebenplasmas hinter dem Shutter 8 vermieden wird. Überraschenderweise stellte sich dabei heraus, dass sich die geometrischen Voraussetzungen für die Entstehung eines Plasmas an der Sputterkathode 6 und des durch das Pulsbiasplasma induzierten Nebenplasmas wesentlich unterscheiden und nur eine sehr geringe Abhängigkeit vom Prozessdruck, insbesondere in einem Druckbereich zwischen 1 und 10×10^{-3} mbar, aufweisen. Ähnliche Zusammenhänge konnten auch für kathodische Funkenverdampfer gefunden werden.

[0027] Anhand des in folgender Tabelle und Fig. 2 dargestellten Versuchs wird das gefundene Verhalten erläutert. Dabei wurde ein Shutter 8 in Form eines seitlich verschiebbaren Blechs 8' vor einer mit einem Chrom- bzw. Graphittarget 12 bestückten rechteckigen Kathode 6 in unterschiedlichen Abständen A angebracht und der Druck zwischen 2×10^{-3} und 7×10^{-3} mbar variiert. Anschliessend wurde versucht, einerseits ein Plasma im Zwischenraum zwischen Target 12 und Shutter 8 durch Anlegen einer Spannung zwischen Anodenrahmen 14 und Kathode 12 zu zünden und andererseits durch Vorbeibewegen eines mit hier nicht näher gezeigten Werkstückträgern bestückten Karussells 11 mit einem unter den Bedingungen eines DLC-Prozesses gezündetem Pulsplasmas ein Nebenplasma zu initiieren. Da der Einfluss des Prozessdrucks kaum messbar war, wird darauf im Folgenden nicht näher eingegangen.

Tabelle Zündabstände:

[0028]

Abstand Shutter – Target	Zünden Sputterkathode	Zünden Nebenplasma
5 mm	Nein	Nein
10 mm	Ja	Nein
15 mm	Ja	Nein
20 mm	Ja	Nein
25 mm	Ja	Nein
30 mm	Ja	Nein
35 mm	Ja	Ja

[0029] Dabei stellte sich heraus, dass schon bei einem Abstand A von nur 10 mm ein Plasma zwischen Shutter 8 und Target 12 zündet, ohne dass ein in der Behandlungskammer 10 messbarer Leckstrom auftritt. Hingegen konnte das Entstehen eines Nebenplasmas, welches durch den Hohlkathodeneffekt während des DC-Prozesses zwischen Target 12 und Shutter 8 auftritt, erst ab einem Abstand von 35 mm beobachtet werden.

[0030] Vorteilhafterweise wird daher der Abstand des Shutters vom Target bei einer Anlage, auf der beide Prozesse durchgeführt werden sollen, zwischen 10 und 35 mm, insbesondere bei ca. 20 ± 5 mm eingestellt. Um ein übermässiges Verbiegen insbesondere eines grösseren Shutters zu vermeiden, kann ein verhältnismässig dickes Blech (in diesem Fall ca. 3mm) verwendet und zwei seitliche Versteifungen mittels Abkanten vorgesehen werden.

[0031] Um die Targetbelegung während reaktiv geführter Pulsbiasprozesse hinter dem Shutter 8 bei ausgeschaltetem Target 6 möglichst gering zu halten kann ein Edelgas, beispielsweise Argon, über Gasverteiler 13 direkt auf die Targetoberfläche geblasen werden. Zusätzlich ist eine Überdeckung der Targetfläche durch den Shutter um mindestens 10 bis 20% und/oder, wie beispielsweise in Fig. 2 dargestellt, eine im Wesentlichen vollständige Abdeckung einer zwischen den kathodenbegrenzenden Gasverteilern gedachten Fläche vorteilhaft.

[0032] Fig. 3 und 4 zeigen ein Chevron 9 bzw. eine erfindungsgemässe Anordnung eines Chevrons 9 in einer Vakuumbehandlungsanlage 1. In bekannten Vakuumbehandlungsanlagen wird das Chevron im oder unmittelbar auf dem Pumpstutzen 5 angebracht, wodurch der Querschnitt des Pumpstutzens weiter verringert wird. In der erfindungsgemässen Anordnung ist zwischen einem oder mehreren Pumpstutzen 5 und der Behandlungskammer 10 eine zusätzliche Chevronkammer 17 vorgesehen, die einen wesentlich grösseren Querschnitt 16 als der mindestens eine Pumpstutzenquerschnitt 15 aufweist. Gleichzeitig wird der Abstand B zwischen Pumpstutzen und dem Chevron so gross gewählt, dass auch hier der freie Querschnitt nicht verengt wird.

[0033] Dadurch ist es möglich, den freien Leitungsquerschnitt des Chevrons 9 und der Chevronkammer 17 stets mindestens so gross oder grösser als den Pumpstutzenquerschnitt 15 zu halten, wodurch der Strömungsleitwert trotz einer um B längeren Zuleitung deutlich grösser bleibt als bei einem herkömmlich montierten Chevron. Besonders günstig ist es,

wenn die Chevronkammer wie in Fig. 4 ersichtlich im Tragrahmen 18 des Mittelteils 3 integriert werden kann, da dann eine zusätzliche aufwendige Fertigung der Chevronkammer 17 entfällt.

[0034] Um ein Zünden eines Nebenplasmas in Chevronkammer 17 und Pumpstutzen 5 sicher zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass die Durchlassöffnungen klein genug gewählt sind. Beispielsweise kann ein Gitter mit 1 mm Maschenweite auf der Rückseite des Chevrons angebracht werden.

[0035] Im Beispiel der vorliegenden Anlage beträgt der Querschnitt 15 von drei Pumpstutzen DN 320 eine Fläche von 0.25 m². Die Querschnittsfläche 16 der Chevronkammer 17 beträgt hingegen 0.43 m² und ist somit um den Faktor 1.7 grösser.

[0036] Der Mindestabstand des vorliegenden Chevrons mit Seitenlängen von 1.4 × 0.3 m vom Eingang des Pumpstutzens beträgt mindestens 40 mm, bevorzugt 60 mm.

[0037] Mit einer solchen Anordnung und jeweils einer pro Pumpstutzen angeschlossenen Turbomolekularpumpe mit einer Nennsaugleistung von je 1550 l/min konnte eine Saugleistung von ca. 2500 l/min erzielt werden. Wurde statt dem erfindungsgemässen Chevron jeweils wie bekannt ein Chevron direkt im Pumpstutzen 5 eingesetzt, konnte lediglich eine Saugleistung von ca. 1650 l/min erzielt werden. Die Steigerung gegenüber herkömmlichen Anordnungen beträgt d.h. ca. 50% der Saugleistung.

[0038] Zur Erzeugung des oben erwähnten magnetischen Fernfelds wurden zwei Möglichkeiten erprobt, die beide einen einfachen Zugang zur Behandlungskammer und damit eine Ausführung der Vakuumbehandlungsanlage als Front- bzw. Seitenlader ermöglichen. Dazu wurde die untere Spule einmal als Klappspule, das andere Mal als Spule mit kleinerem Durchmesser ausgeführt. Die obere Spule blieb dabei jeweils geometrisch unverändert mit einem Innenradius von 825 mm.

[0039] Da derartige grosse Spulen, mit Durchmessern zwischen 0.3 bis zu 2 m und mehr, um das für den Prozess benötigte Magnetfeld herzustellen bei einem Leitungsdurchmesser von 2 bis 10, bevorzugt 4 ± 1 mm, eine Anzahl von 300 bis 1200, bevorzugt ca. 500 Windungen benötigen, sind bestimmte bauliche Massnahmen notwendig, um ein sicheres Abklappen eines Spulensegments (20, 21') um ca. 90° über die Lebensdauer von ca. 10 000 Klappzyklen zu gewährleisten. Fig. 5 zeigt die Gesamtansicht einer solchen Klappspule 19 mit zwei abklappbaren Segmentkörpern in Arbeitsstellung 20 während eines magnetunterstützten Plasmaprozesses, bzw. in abgeklappter Servicestellung 20', in der ein leichter Zugang zur Anlage gewährleistet ist.

[0040] Um die Unterschiede im Biegungsradius der einzelnen Spulenebenen gering zu halten, wurde die Spule möglichst flach (30–50 mm) und breit (300–500 mm) ausgelegt. Auf Grund der zyklischen Materialverformung und zum Ausgleich der unterschiedlichen Radien müssen hochflexible Kabel verwendet werden, die im Knickbereich so locker gewickelt sind, dass das Abklappen ohne wesentliche Zug- oder Druckbelastungen der Leitungsstränge erfolgen kann. Zur Herabsetzung der gegenseitigen Reibung der Leitungsstränge im Knickbereich wurden siliconumantelte Kabel verwendet. Um das Herausziehen einzelner Leitungsstränge zu verhindern, wurden die Kabel in aus Metallhalbschalen hergestellten Segmentkörpern 20 bzw. Spulenkörpern 21 eingegossen. Mit einer derartigen Spulenkonstruktion konnte trotz eines Spulenradius von 600–900 mm eine gute Zugänglichkeit zur Behandlungskammer 10 erreicht werden.

[0041] Dies ist auch bei Verwendung einer kleinen Spule mit einem Radius von ca. 200–400 mm möglich. Hier ist es jedoch schwierig, über die gesamte Höhe der Behandlungskammer ein ausreichend homogenes Magnetfeld zu erreichen und damit eine gleichmässige Plasmaverteilung zu gewährleisten.

[0042] Werden besonders gleichmässige Plasmabedingungen gewünscht, so kann eine zeitliche Veränderung der Stromstärke in einer oder beider Spulen bzw. eine Umkehr der Stromrichtung in einer Spule vorgesehen werden. So kann im zeitlichen Mittel während der einzelnen Prozessschritte, wie Heizen, Ätzen und beispielsweise DLC-beschichten, ein gleichmässiges Magnetfeld hergestellt und somit Plasmainstabilitäten bzw. ungleichmässige Behandlungsergebnisse vermieden werden. Beispielsweise kann durch Umkehrung der Spulenströme eine völlig gleichmässige Erwärmung der Substrate über die gesamte Anlagenhöhe erreicht und so wirkungsvoll eine Überhitzung oder kritische Prozesszustände vermieden werden. Weiters konnten mit derartigen Massnahmen auch bei unterschiedlich grossen Spulen ähnlich gleichmässige Heizraten und Ätzabträge über den Beschichtungsbereich wie mit einer Klappspule erreicht werden. Auch die Schichtdickenverteilung während eines DLC-Prozesses lag in einem Bereich von $\pm 10\%$ vom Mittelwert.

[0043] Eine weiterer vorteilhafter Aspekt einer erfindungsgemässen Anlage ergibt sich, wenn, wie in Fig. 6 dargestellt, eine Elektrode 22 verwendet wird, die ein schnelles Wechseln des Elektrodenkopfs 23 ermöglicht, womit beispielsweise der verschmutzte Kopf einer Hilfsanode innerhalb von Sekunden ausgewechselt und die aufwendige Reinigung ausserhalb der Kammer durchgeführt werden kann.

[0044] Dabei ist ein Elektrodenkopf 23 aus einem gut leitenden Material mit einem geeigneten Wärmeausdehnungskoeffizienten in einer gekühlten Elektrodenschale 24 mit geringer Toleranz so eingepasst, dass er im kalten Zustand einfach entnommen und durch einen anderen Kopf ersetzt werden kann. Beispielsweise kann ein Elektrodenkopf 23 aus Kupfer mit einer zylindrischen Passung mit einem Innendurchmesser von 80 mm leicht in eine ebenfalls aus Kupfer gefertigte Elektrodenschale 24 eingesetzt bzw. aus dieser entnommen werden, wenn deren Durchmesser um 0,2 bis 0,4 mm grösser gefertigt ist. Wird eine solche Elektrode beispielsweise als Hilfsanode einer Niedervoltbogenentladung verwendet, erwärmt sich der Elektrodenkopf 23 durch den Elektronenbeschuss und dehnt sich aus. Da die Elektrodenschale 24 ihre Form durch eine Wasserkühlung 27 unverändert behält, werden die zylindrischen Seitenflächen des Elektrodenkopfs mit grosser Kraft gegen die Schale 24 gedrückt und somit ein guter elektrischer und thermischer Kontakt sichergestellt. Das

System hält sich selbst in einem thermischen Gleichgewicht. Bei einem Wäremausdehnungskoeffizienten von $16.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{K}$ wie bei Kupfer, ist bei erwähntem Durchmesser der Passung ein Spalt 26 von 0.2 mm bzw. 0.4 mm bei einem Temperaturunterschied von 150 bzw. 300°C geschlossen. Dabei ist die Schale 24 vorteilhafterweise mit einem Entlüftungsloch 25 ausgeführt, das mit einem zwischen Elektrodenkopf 23 und Elektrodenschale 24 vorgesehenen Hohlraum oder einer hier nicht näher gezeigten an einem Zylinderumfang umlaufenden Nut in Verbindung steht. Vorzugsweise sollte das Material des Kathodenkopfs einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweisen, der zumindest gleich oder grösser $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{K}$ ist. Bei zu erwartenden geringen Temperaturunterschieden wie etwa 50 bis 100°C ist jedoch ein geeignetes Material mit möglichst hohem Ausdehnungskoeffizienten, beispielsweise Kupfer oder Silber, zu wählen. Da durch die thermische Pressung hohe Kräfte an Elektrodenkopf und -schale auftreten können und gleichzeitig eine gute elektrische Leitfähigkeit erforderlich ist, können hier vor allem metallische Werkstoffe eingesetzt werden. Alternativ oder zusätzlich können konstruktive Massnahmen wie beispielsweise eine gefederte Aufnahme vorgesehen werden.

[0045] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsvariante der Anlage kann durch eine spezielle Ausführung des Türverschlusses erreicht werden, so, dass er im geschlossenen Zustand einerseits einen konstanten Anpressdruck der Anlagentür sicherstellt, andererseits aber gleichzeitig als Explosionsschutz dient, der ein Entweichen des Innendrucks ermöglicht, ohne Personen zu gefährden. Die Möglichkeit der Einstellung eines konstanten Anpressdrucks ist vor allem bei Doppeltüranlagen von Vorteil, da herkömmliche Verschlüsse von Vakuumanlagen ein, wenn auch nur geringes, Spiel aufweisen. Dadurch kann beim oder nach dem Fluten der Vakuumanlage aufgewirbeltes Beschichtungsmaterial, Staub, Abrieb oder Ähnliches in den Spalt zwischen Tür und Anlage bzw. zwischen Dichtung 37 und Dichtfläche gelangen. Wird im Folgenden nur eine Tür geöffnet, so ist eine Reinigung der Dichtung 37 und Dichtfläche der geschlossenen Tür nicht möglich, wodurch die Gefahr eines Vakuumlecks bzw. der Beschädigung der Dichtung 37 und Dichtfläche besteht.

[0046] Anhand der Fig. 7 bis 9 wird die Funktion eines solchen Türverschlusses beispielhaft erläutert. Die einzelnen Bestandteile des Verschlusses 28 sind über eine Grundplatte 30 oder direkt, beispielsweise mit dem Mittelteil 3 der Vakuumbehandlungsanlage 1 verbunden. Der auf der Achse 29' drehbeweglich gelagerte Antriebszylinder 29 bewegt den Hebel 32 um eine Achse 32', wodurch auch der seinerseits über eine Achse 33' am Hebel 32 gelagerte Zugarm 33 mit dem daran bei Bedarf schwenkbar oder federnd angebrachten Haken 35 bewegt wird. Damit können vorteilhaft alle Funktionen nur durch die Drehbewegung zweier verbundener Hebel 32, 33 um die Achse 32' ausgelöst werden. Zugarm 33 kann alternativ auch fest am Hebel 32 befestigt sein, wobei der Haken 35 beispielsweise in Form einer schiefen Ebene, die auf die Tür 38 bzw. Riegel 39 wirkt, ausgebildet ist.

[0047] Wird beispielsweise zum Öffnen, wie in Fig. 7 dargestellt, der Pneumatikzylinder 29 ganz ausgefahren, bewegt dieser über den Zugarm 33 den Haken 35 von einem an der Tür 38 angebrachten Riegel 39 fort und drückt ausserdem über den Mitnehmerstift 34 den Zugarm 33 und Haken 35 gegen die Rückzugfeder 31, die den Haken in Einschnappstellung hält, nach unten. Nach Öffnen der Tür 38 wird der Pressluftzylinder 29 von der Pressluft freigeschaltet, wodurch die Rückzugfeder den Haken 35 bis zum Haltestift 36 in Nullstellung zieht. Damit ist der Verschluss 28 bereit zum Einschnappen. Die zum Abdichten der Tür 38 notwendige Haltekraft wird durch Betätigung – in diesem Fall durch Einfahren – des Pneumatikzylinders 29 aufgebracht.

[0048] Zur Sicherstellung eines Explosionsschutzes wird wie in Fig. 8 dargestellt die Position des in den Haken 35 eingreifenden Riegels 39 bei geschlossener Tür 38 so gewählt, dass zwischen dem Vektor der bei Anlagenüberdruck angreifenden Türkraft F und der Verbindungslinie V zwischen den Achsen 32' und 33' ein einerseits von der Schliesskraft des Pneumatikzylinders andererseits von der zu erwartenden Kraft abhängiger Mindestwinkel # eingestellt ist, sodass nur ein Teil der bei einer Explosion auftretenden Kraft in das Gestell geleitet wird, während der andere Teil dazu genutzt wird, den Pneumatikzylinder so weit aufzudrücken, so dass der Winkel # kleiner wird. Die Grösse des dadurch entstehenden Türspalts ist über den Winkel # sowie den Abstand der Achsen 32' sowie 33' einstellbar. Für die vorliegende Anlage wurden die geometrischen Verhältnisse des Verschlusses so ausgewählt, dass ein Türspalt von maximal 12 mm entsteht. An diesem Punkt wird die Tür durch den massiv ausgelegten Haken 35 am Zugarm 33 an einem weiteren unkontrollierten Aufschwingen gehindert.

[0049] Wie dem Fachmann bekannt, kann bei Bedarf eine ähnliche Vorrichtung unter Verwendung anderer Komponenten verwendet werden, um eine vergleichbare Funktion sicherzustellen. Wichtig ist dabei, dass das mindestens eine Dämpfungsglied 29 und Stoppelemente 33, 33', 35, 39 entsprechenden der zu erwartenden maximalen Belastung ausgelegt sind und gleichzeitig ein einfaches Öffnen der Tür ermöglicht wird. Beispielsweise kann für sehr grosse Türen bzw. sehr grosse zu erwartende Überdrücke vorteilhaft ein für grosse Kräfte ausgelegter Hydraulikzylinder verwendet oder die geometrischen Verhältnisse angepasst werden.

[0050] Wird beispielsweise an einer zweitürig ausgeführten Anlage für die Beladung und Standardreinigung nur eine, beispielsweise die vordere, Tür geöffnet, während die hintere Tür lediglich für Servicezwecke verwendet wird, kann der Verschluss der hintern Tür so ausgelegt werden, dass eine höhere Haltekraft erzeugt wird. Dadurch kann die Tür auch im gefluteten Zustand mit einer Kraft F so angedrückt werden, dass der Abstand zwischen Tür 38 und Dichtung 37 bzw. Dichtfläche spielfrei bleibt, womit das oben beschriebene Probleme der möglichen Beschädigung von Dichtflächen sicher vermieden werden kann. Im Falle der vorliegenden Anlage ist dazu eine Haltekraft von ca. 15.000 kN notwendig. Dazu kann beispielsweise zur Vergrösserung der Hebelwirkung wie in Fig. 9 dargestellt der Koordinatenwert z des Abstands der Achsen 32' und 33' verkleinert werden. Das kann in einfacher Weise durch ein Rückversetzen des Riegels 39 mittels Einlegen einer Distanzplatte 40 erreicht werden. Damit kann der entsprechende Pneumatikzylinder trotz der notwendigen

hohen Haltekraft verhältnismässig klein ausgeführt werden. Wird der Abstand z' , wie dargestellt, sehr klein gewählt, käme es bei Einwirkung einer Türkraft F zu einer Blockade des Öffnungsmechanismus, der bei grossem Überdruck zu einer Zerstörung des Mechanismus führen kann. Daher muss hier die Funktion des Explosionsschutzes, beispielsweise wie oben gezeigt, durch die andere Türe übernommen werden. Alternativ kann auch ein etwas grössere Abstand z' und ein etwas stärkerer Haltezylinder 29 vorgesehen werden, wodurch ein zweistufiger Explosionsschutz durch bei unterschiedlichen Türkräften F auslösenden Verschlüssen 28 möglich ist.

Patentansprüche

1. Vakuumbehandlungsanlage (1) zum Behandeln von Werkstücken, mit einer evakuierbaren Behandlungskammer (10), in der eine Niedervoltbogen-Entladungsvorrichtung angeordnet ist, mindestens einer verschliessbaren Be- und Entladeöffnung, mindestens einer an einer Seitenwand der Behandlungskammer angebrachten Beschichtungsquelle, einer Magnetfelderzeugungsvorrichtung zur Ausbildung eines magnetischen Fernfeldes sowie zumindest einem Werkstückträger zur Aufnahme von Werkstücken, dadurch gekennzeichnet, dass ferner eine Target-Shutteranordnung (8, 8') vorgesehen ist, bei der im abgedeckten Zustand der Abstand zwischen Shutter (8) und Target (12) zwischen 5 und 35 mm beträgt.
2. Vakuumbehandlungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiters ein Elektrodenkopf (23) und eine kühlbare Elektrodenchale (24) vorgesehen ist, wobei der Elektrodenkopf (23) so in der Elektrodenchale (24) befestigt und aus einem solchen Material gefertigt ist, dass er bei Erwärmung mit der gekühlten Elektrodenchale (24) einen Presssitz bildet.
3. Vakuumbehandlungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiters eine Chevronanordnung zur optischen Trennung zumindest eines Pumpstutzens (5) von der Behandlungskammer (10) vorgesehen ist, die zwischen Pumpstutzen (5) und Chevron (9) eine Chevronkammer (17) aufweist mit einem grösseren Querschnitt als der Pumpstutzen und der freie Leitungsquerschnitt des Chevrons (9) zumindest gleich gross wie der freie Querschnitt des Pumpstutzens ist.
4. Vakuumbehandlungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetfelderzeugungsvorrichtung eine Spule zur Erzeugung eines magnetischen Fernfeldes umfasst, wobei der Spulenkörper (21) aussen an der Vakuumbehandlungskammer (10) befestigt ist und die Spule als Klappspule (19) mit zumindest einem abklappbaren Segmentkörper (20, 20') ausgeführt ist.
5. Vakuumbehandlungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Türverschluss an der Be- und Entladeöffnung vorgesehen ist, der über Mittel (29 bis 40) zum Einstellen eines konstant grossen Anpressdrucks verfügt und im Wesentlichen dieselben Mittel so anordenbar sind, dass sich die Türe bei einem einstellbaren Überdruck kontrolliert öffnet, um den Überdruck abzulassen.

FIG 1)

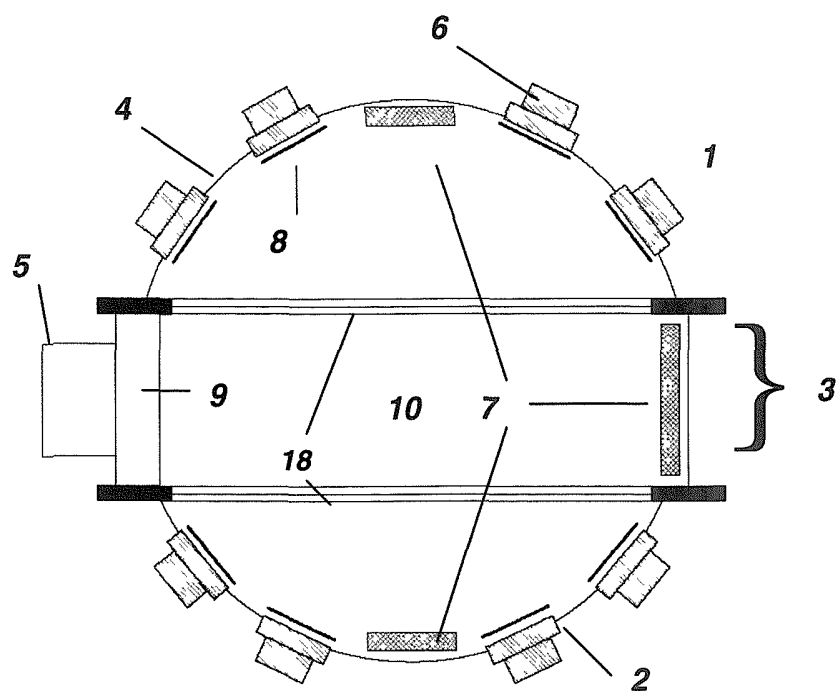


Fig 6)

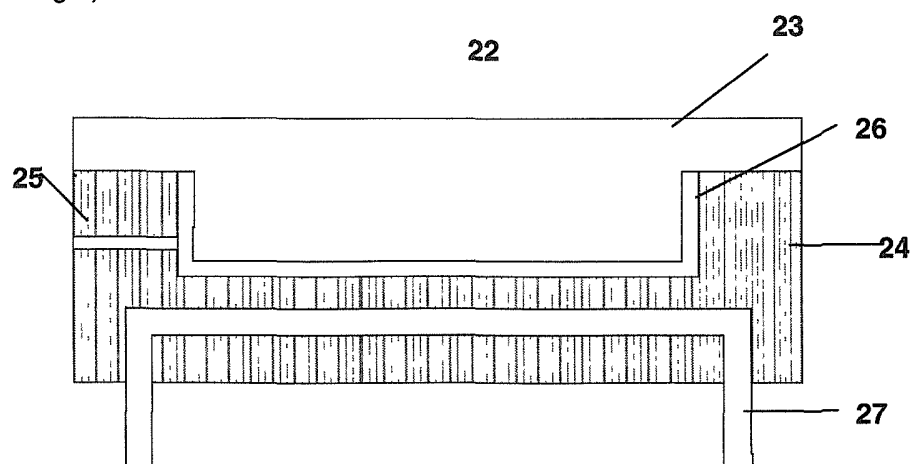


FIG 2)

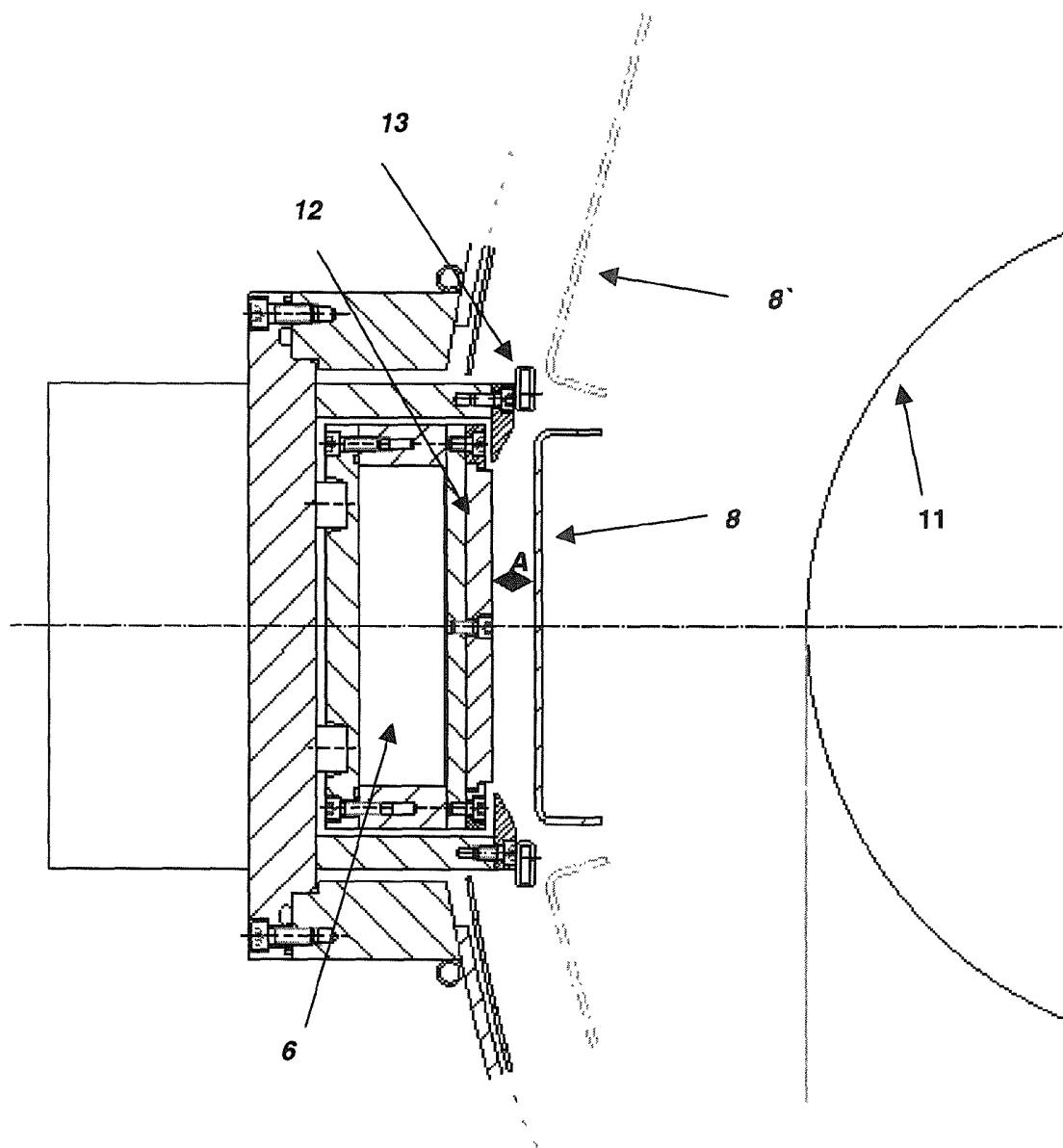


FIG 3)

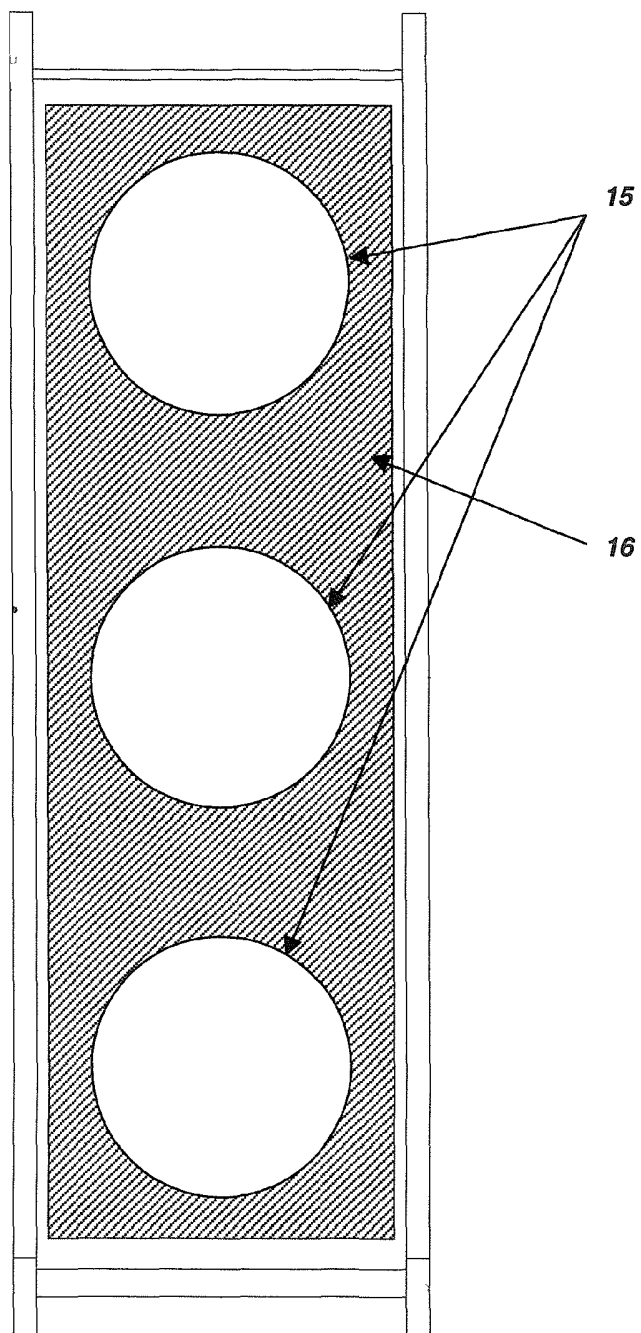


Fig 4)

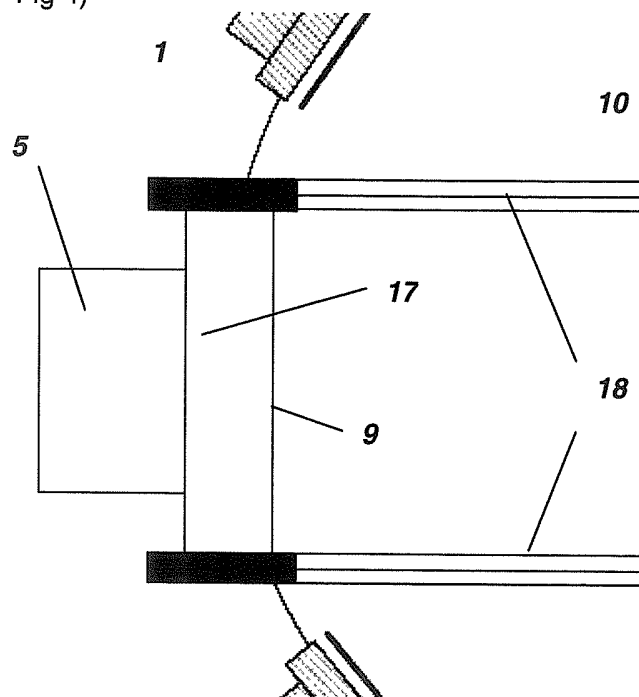


FIG 5)

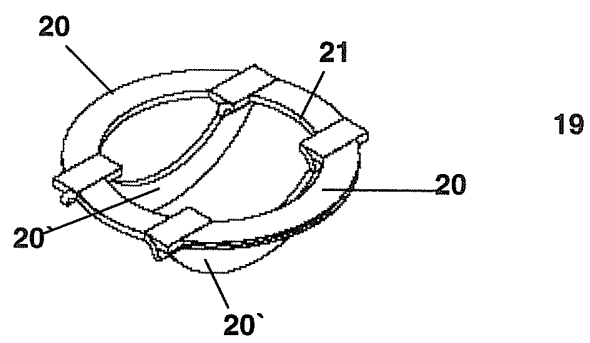
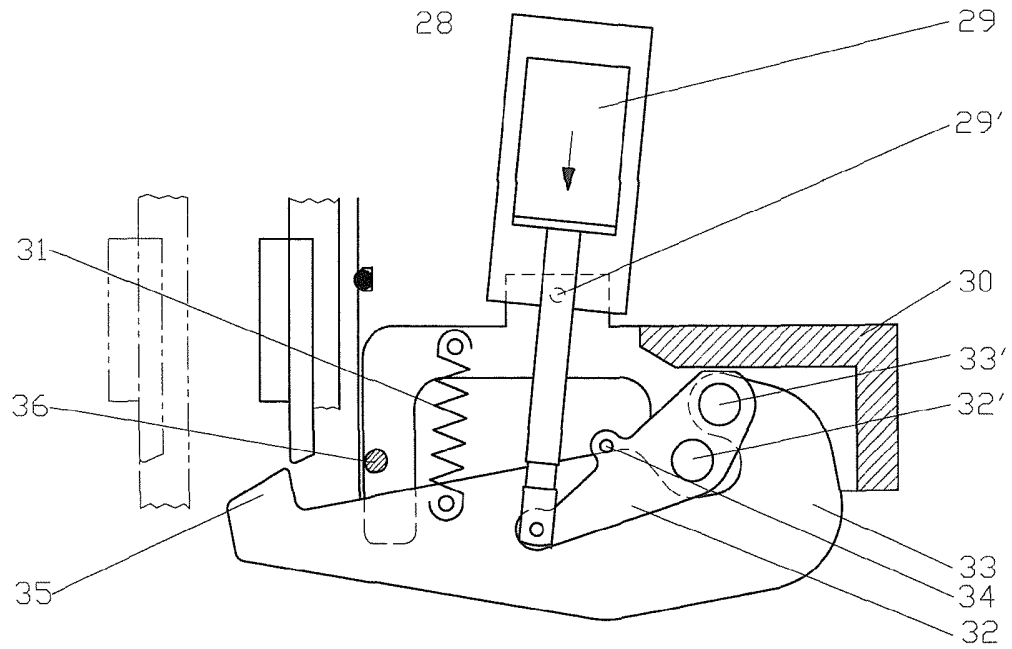


FIG 7>



Türe eingeklinkt oder
Verschluss bereit zum
Einklinken

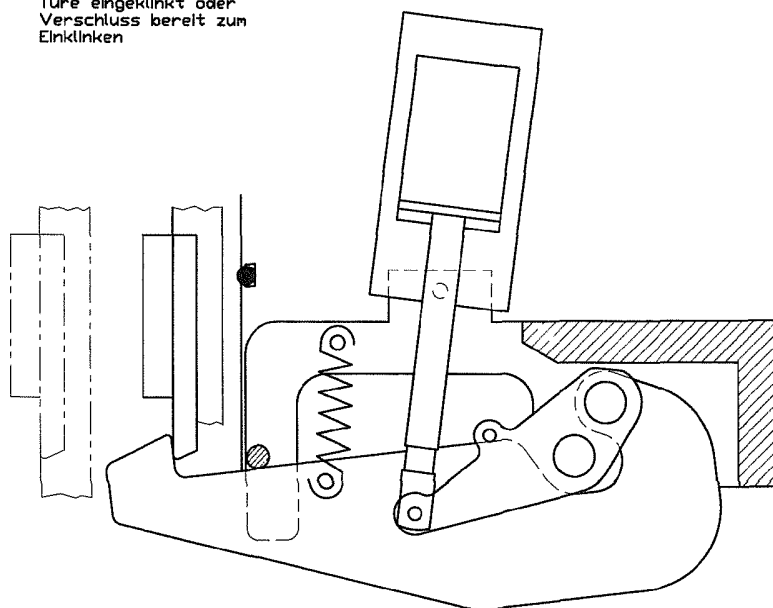
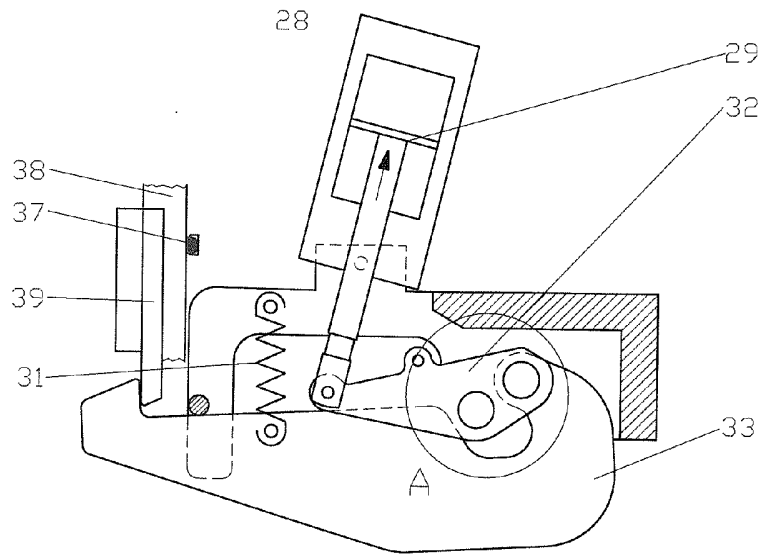


FIG 8)



Detail A

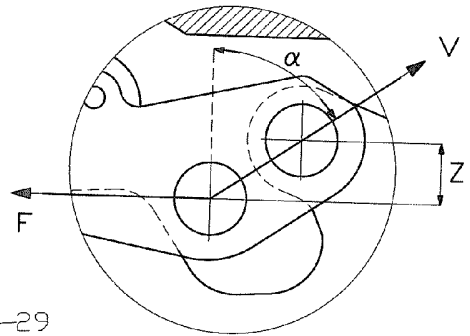
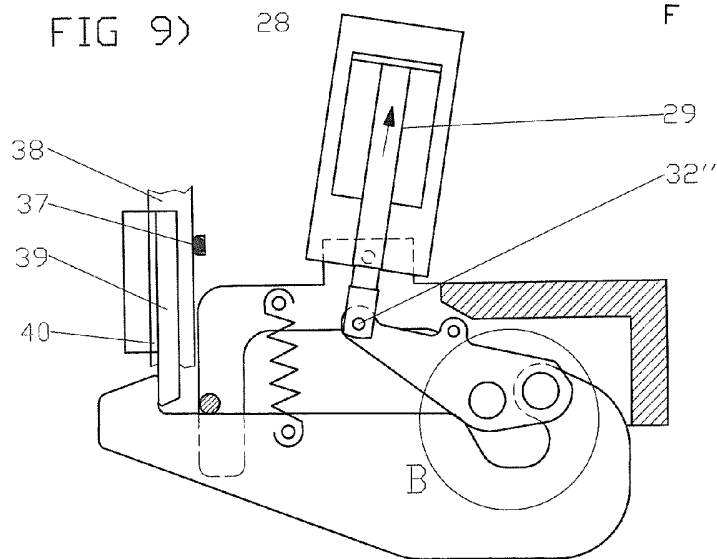


FIG 9)



Detail B

