(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PATENTSCHRIFT

(11) DD 294 511 A5

(12) Ausschließungspatent

5(51) C 23 C 14/34

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD C 23 C / 340 766 6	(22)	17.05.90	(44)	02.10.91

(71) Akademie der Wissenschaften, Otto-Nuschke-Straße 22/23, O - 1080 Berlin, DE
(72) Jung, Thomas, Dr. Dipl.-Phys., DE
(73) Akademie der Wissenschaften, Zentralinstitut für Elektronenphysik, Patentbüro, Hausvogteiplatz 5–7, O - 1086 Berlin, DE
(74) siehe (73)

(54) Verfahren und Vorrichtung zum reaktiven Gasflußsputtern

(55) Beschichtungstechnik; Sputtern; Gasflußsputtern; Hohlkatode; Hohlkatodenentladung; Inertgas; Substrat; Reinigung; Target; Strukturschaden; Gitterbaufehler; Schichtreinheit; Schichtfolge; Schichtzusammensetzung

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Beschichtungstechnik, insbesondere zur Herstellung von Schichten hoher Perfektion aus schwer abscheidbaren Materialien. Dabei werden aus einer inertgasdurchströmten Hohlkatodenentladung zunächst Inertgasionen geringer Energie auf das Substrat gelenkt und bewirken dessen Oberflächenreinigung ohne bzw. mit nur geringen Strukturschäden (z. B. Gitterbaufehler); anschließend wird durch Veränderung der Betriebsparameter von den die Hohlkatode darstellenden Targets Material abgestäubt, das auf dem Substrat abgelagert wird. Dabei entstehen Schichten hoher Reinheit, die als Schichtfolgen aus unterschiedlichen Materialien herstellbar sind.

ISSN 0433-6461

8 Seiten

BAD ORIGINAL

Patentansprüche:

1. Verfahren zum reaktiven Gasflußsputtern, **gekennzeichnet dadurch,** daß aus einer inertgasdurchströmten Hohlkatodenentladung mittels einer geringen negativen Substratvorspannung Inertgasionen zum Zwecke der Oberflächenreinigung auf das Substrat gerichtet werden, daß nach einem hinreichenden Oberflächenabtrag durch Verminderung des Druckes im Rezipienten und/oder Erhöhung der Gasstromrate und/oder elektrische Verlagerung der Entladung in das dem Substrat zugewandte Ende der Hohlkatode und/oder Erhöhung der Entladungsspannung von der inneren Hohlkatodenoberfläche Materialteilchen abgestäubt werden und durch den Gasfluß auf das Substrat transportiert und dort abgeschieden werden, wobei durch Veränderung der Substratvorspannung der Ionenbeschuß der wachsenden Schicht, durch Entladungsspannung und -strom sowie Gasdruck und -strom die Schichtabscheiderate und durch Hinzufügen eines reaktiven Gases sowie elektrisches Umschalten von einem auf ein anderes Target, aus dem die Hohlkatode gebildet wird, die chemische Zusammensetzung der Schicht geregelt wird.
2. Vorrichtung zum reaktiven Gasflußsputtern, **gekennzeichnet dadurch,** daß eine aus mehreren, gegeneinander elektrisch isolierten Targets (8, 9) gebildete Hohlkatode an ihrem rückseitigen Ende mit einer Einströmöffnung für Inertgas (18) oder mit einer Gaseinströmöffnung für reaktives Gas (16) versehen ist, daß die Targets (8, 9) separat mit Spannungsquellen (U_1, U_2) verbunden sind, die einzeln zuschaltbar sind, daß in der Hohlkatode eine langgestreckte Anode (21) und/oder eine in der Nähe der substratseitigen Öffnung der Hohlkatode befindliche Anode (22) angeordnet ist, daß sich vor der Hohlkatode ein Substrat (3) auf einem Substrathalter (2) befindet, welches sich durch eine Spannungsquelle (U_3) auf einer negativen Vorspannung gegenüber der Anode (21, 22) befindet, daß zwischen Hohlkatode und Substrat (3) eine Schwenkblende (4) angeordnet ist und daß sich der Substrathalter (2) im Kontakt mit einem Heizer (1) befindet.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch,** daß sich im der substratseitigen Öffnung der Hohlkatode abgewandten Ende der Hohlkatode ein gegenüber den Targets (8, 9) isoliertes Gattertarget (13) und eine Anode (14) befinden, die mit einer Spannungsquelle (U_4) verbunden sind, wobei die Hohlkatode durch eine Isolator-Bodenplatte (15) abgeschlossen ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 3, **gekennzeichnet dadurch,** daß sich die Targets (8, 9) im thermischen Kontakt mit einer Kühlvorrichtung (10) befinden.
5. Vorrichtung nach Anspruch 2–4, **gekennzeichnet dadurch,** daß am substratseitigen Ende der Hohlkatode ein mit dieser gasdicht, aber elektrisch isoliert verbundener trichterförmiger Körper (5) zur Ausrichtung des Gasstromes auf das Substrat (3) mit einer seitlichen Klappe (6) angeordnet ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 2–5, **gekennzeichnet dadurch,** daß zwischen Hohlkatode und Substrat (3) eine Schwenkblende (4) angeordnet ist und daß sich der Substrathalter (2) im Kontakt mit einem Heizer (1) befindet.
7. Vorrichtung nach Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch,** daß eine gemeinsame Anode (30) und eine matrixförmig angeordnete Vielzahl von Hohlkatoden (28), die einzeln oder in Gruppen mit separaten Spannungsquellen verbunden sind, in einem gasdichten Kasten (26) angeordnet sind, wobei der Kasten (26) eine rückwärtige Gaseinströmöffnung (33) für das Inertgas aufweist und die Einzelkatoden aus einzeln oder gruppenweise verschiedenen Materialien bestehen.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung kann in der Beschichtungstechnik, insbesondere zum Aufbringen dünner Schichten in der Mikroelektronik, der optischen und der metallurgischen Industrie Anwendung finden.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bei der Molekularstrahlepitaxie (MBE) werden durch Heizen im Vakuum sehr reine und strukturell perfekte Oberflächen erzeugt. Dieses Verfahren ist wegen des erforderlichen Vakuums ($p \leq 10^{-9}$ Pa) und der hohen thermischen Belastung der Molekularstrahlquellen sehr aufwendig und erlaubt auch nicht die Abscheidung hochschmelzender Verbindungen. Rossnagel (Thin Solid Films 171 [1989], S. 143) beschreibt ein System zur Filmabscheidung mittels Elektronenstrahlverdampfer, das zur Stimulierung der Strukturbildung mit einer Breitstrahl-Ionenkanone ausgerüstet ist. Der Hauptnachteil dieses Systems ist die praktische Unmöglichkeit, Inertgasionen mit Energien unter 100 eV in ausreichender Stromdichte zum Substrat zu führen. Ionen höherer Energie bewirken bei der Oberflächenreinigung und auch bei der Filmabscheidung irreversible Strukturschäden.

BAD ORIGINAL

Außerdem ist das System sehr aufwendig, hat einen hohen Energieverbrauch und bewirkt im Falle der Abscheidung hochschmelzender Substanzen eine beträchtliche Substrataufheizung. Schließlich erzeugt der Elektronenstrahlverdampfer schädliche Röntgenstrahlung sowie eine große Zahl vagabundierender schneller Elektronen und hat bei Anwesenheit von Sauerstoff, wie es beim Herstellen von Oxidschichten notwendig ist, eine geringe Lebensdauer.
Harper et al. (J. Appl. Phys. 58 [1985], S. 550) beschreiben eine Anordnung zur Filmabscheidung, bestehend aus Ionenkanone 1 (auf das Substrat gerichtet) und Ionenkanone 2 (auf ein Sputter-Target gerichtet). Abgesehen von dem obengenannten Nachteil hoher Ionenenergie der direkt auf das Substrat gerichteten Ionen kommt hier das Problem energiereicher Teilchen hinzu, die beim Sputterprozeß entstehen (abgestäubte Targetatome und -ionen, gestreute Primärionen) und oft erhebliche kompositionelle und strukturelle Filmschäden hervorrufen. Eine Fernhaltung dieser Teilchen ist nur bedingt, für die geladenen Teilchen, möglich.
Dies ist ein prinzipielles Problem nicht nur beim Ionenstrahlsputtern, sondern auch beim Dioden-, Trioden- und Magnetronsputtern. Das gilt ebenso für das von Ohmi u. a. (Appl. Phys. Lett. 53 [1988], S. 45) beschriebene Verfahren zur Homoepitaxie von Silizium mittels Magnetronsputtern, wo eine Oberflächenreinigung durch gezielten Beschuß mit Ionen geringer Energie mittels geeigneter Substratspannung erreicht wird. Nachteilig wirkt ferner auch hier, daß die Intensität der HF-Glimmentladung i. a. so gering ist, daß sich nur eine geringe Ionenstromdichte an der Substratoberfläche erzielen läßt, weshalb die Vorreinigung unter sehr sauberen Bedingungen erfolgen muß (hohe Gasreinheit und sehr niedriger Restgasdruck), um die Rekontamination ausreichend gering zu halten. Obgleich dieses Verfahren prinzipiell auch zum reaktiven Sputtern von Verbindungen geeignet ist, ergeben sich hier – wie auch bei den anderen oben genannten Sputterverfahren – Probleme durch die Wechselwirkung des Reaktivgases mit der Targetoberfläche während der Substrat-Vorreinigung, insbesondere im Falle von Sauerstoff (zwecks Herstellung von Oxidfilmen). Nach Beendigung der Substratreinigung ergeben sich stabile Sputterbedingungen erst nach Abtrag der chemisch veränderten Targetdeckschicht, d. h., ein gleitender Übergang von der Oberflächenreinigung zur Beschichtung ist schwer steuerbar.
Von K. Ishii (J. Vac. Sci. Technol. A 7 [1989], S. 256) wird ein Beschichtungsverfahren beschrieben, bei dem mittels Argon-Gasstrom bei einem Druck von 0,25 bis 1 Torr durch eine Hohlkatode abgestäubtes Katodenmaterial (Ti, Fe, Cu) mit hoher Rate auf einem über Katodenöffnung angeordneten Substrat abgeschieden wird. Dieses Verfahren hat gegenüber den anderen Sputterverfahren den Vorteil, daß die abgestäubten Teilchen auf ihrem Wege zum Substrat thermalisieren, gegenüber den Verdampfungsverfahren, daß nur eine mäßige Substraterwärmung stattfindet.
Entscheidende Nachteile sind, daß keine Isolatorfilme hergestellt werden können, daß keine In-situ-Oberflächenreinigung erfolgt und kein Ionenbeschuß während der Filmabscheidung möglich ist, der für dichte Filme optimaler Struktur erforderlich ist, wenn nur mittlere Substrattemperaturen zulässig sind. Weitere Nachteile sind die Beschränkung in der Größe der zu beschichtenden Fläche, die Beschränkung auf die Rohrgeometrie des Targets und die Beschränkung auf nur ein Target-Material.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung bestand darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Oberflächenbeschichtung zu finden, wobei gewährleistet sein soll, daß die aufzubringende Schicht auf einer sehr reinen Substratoberfläche abgeschieden wird, daß durch den Reinigungs- und Beschichtungsvorgang keine Strukturveränderung der Substratoberfläche bzw. des Substratmaterials erfolgt und daß das Substrat einer möglichst geringen Temperaturbelastung ausgesetzt wird. Außerdem sollte es möglich sein, auch dichte und strukturell perfekte Schichten chemisch fest gebundener Verbindungen, mehrkomponentige Schichten und Schichtfolgen hoher Homogenität und Reinheit abzuscheiden, die Schichtzusammensetzung während des Beschichtungsvorganges abrupt oder beliebig graduiert zu ändern sowie die Abscheiderate und die Ionenenergie und -beschußrate in einem weiten Bereich einfach zu steuern. Dabei sollte sich die Vorrichtung durch einen einfachen Aufbau, unkomplizierte Handhabung, geringe Gefährdungen für Bediener und Umwelt und große Betriebsstabilität und Reproduzierbarkeit der Betriebsparameter auszeichnen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung lag die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Oberflächenbeschichtung zu finden, wobei eine Reinigung des Substrates in der Anlage und die nachfolgende Beschichtung ohne eine Verunreinigungen bewirkende Prozeßunterbrechung erfolgen. Dabei sollte die Energie der zur Reinigung und Stimulierung der Filmbildung während der Beschichtung auf das Target auftreffenden Teilchen zur Vermeidung von Gitterbaufehlern bei ausreichender Stromdichte einige 10 eV nicht übersteigen. Außerdem sollte durch eine thermische Entkopplung von Substrat und Teilchenquelle eine geringe Temperaturbelastung sichergestellt sein.
Die Beschichtungsquelle sollte des weiteren in der Lage sein, auch fest gebundene Verbindungen zur Beschichtung zu bringen, wobei durch eine elektrische Steuerung von außen sich in der Quelle befindliche Einzelkomponenten des Beschichtungsmaterials separat oder gleichzeitig in den Teilchen-Strahlerzeugungsprozeß einbeziehen lassen sollten. Die Abscheiderate wie auch Ionenenergie und Ionenrate sollten durch einfach zu beeinflussende Parameter festlegbar sein.
Erfindungsgemäß wurde die Aufgabe dadurch gelöst, daß durch eine geringe negative Substratvorspannung aus einer in Richtung Substrat von Inertgas durchströmten Hohlkatode, in der eine Glimmentladung brennt, Inertgasionen geringer Energie auf das Substrat treffen, wo sie einen Materialabtrag bewirken, ohne nennenswerte Strukturschäden zu hinterlassen, daß durch Verminderung des Druckes im Rezipienten oder Erhöhung der Gasstromrate oder elektrische Verlagerung der Entladung in das dem Substrat zugewandten Ende der Hohlkatode oder Erhöhung der Entladungsspannung abgestäubte Hohlkatoden-Teilchen das Substrat anreichern und damit ein schneller und unterbrechungsfreier Übergang von der Substratreinigung zur Beschichtung erfolgt, daß durch geeignete Veränderung der Substratvorspannung der Ionenbeschuß der wachsenden Schicht, durch Entladungsspannung und -strom sowie Gasdruck und -strom die Schichtabscheiderate und durch Hinzutugen eines reaktiven Gases zum Inertgas an geeigneter Stelle die chemische Zusammensetzung der Schicht eingestellt werden.

BAD ORIGINAL

Die Entladungsspannung und -stromstärke müssen so groß sein, daß ausreichend Katodenmaterial abgetragen wird. Die Spannung sollte bei 200 bis 500V liegen, um einerseits eine stabile und intensive Entladung zu erzielen und andererseits das Substrat nicht energiereichen Neutralteilchen auszusetzen. Die Stromstärke liegt bei 10...1000mA oder auch darüber, je nach Größe der Katodenfläche. Der Gasdruck sollte nicht wesentlich unter 1 Pa liegen, um ein vollständiges Thermalisieren der abgestäubten Teilchen auf ihrem Wege zum Substrat zu gewährleisten, und nicht wesentlich über 20Pa, um den Energieverlust jener Ionen, die auf das Substrat treffen sollen, gering zu halten. Die Gasstromrate liegt bei einigen 10 bis einigen 100sccm und bestimmt – in Verbindung hauptsächlich mit dem Druck – die Schichtwachstumsrate, welche zwischen 0 und sehr großen Werten, z.B. 500nm/min, einstellbar ist. Zur Realisierung der erforderlichen Glimmentladung müssen Quelle und Substrat in einem Vakuumraum angeordnet sein. Da das inerte Arbeitsgas, z.B. Argon, durch seine Strömung das Restgas im Vakuumraum von der Substratoberfläche verdrängt, wird die Reinheit der Schichten hauptsächlich durch die des Arbeitsgases bestimmt. Die Kosten für den Vakuumraum sind daher geringer als bei vergleichbaren Verfahren.
Die Quelle besteht aus einem oder mehreren gasdichten Hohlräumen, die an einem Ende eine Gaseinströmöffnung für das Arbeitsgas (Inertgas, ggf. gemischt mit reaktivem Gas) aufweisen und am anderen Ende eine auf das Substrat gerichtete Austrittsöffnung. Die innere Oberfläche und weitere Einbauten, die den Gasstrom nicht behindern sollten, bestehen aus einem oder mehreren Teilen Targetmaterial und können teilweise auch aus Isoliermaterial bestehen. Die verschiedenen Teile des Targetmaterials sind voneinander elektrisch isoliert und einzeln mit elektrischen Anschlüssen versehen. Im Betrieb wird an diese Anschlüsse von außen eine Gleich- oder Wechselspannung gelegt, so daß eine Glimmentladung stattfindet, die einen Abtrag vom Targetmaterial bewirkt. Im Falle von Gleichspannung kann die Anode aus beliebigem leitenden Material bestehen und auch außerhalb der Hohlräume angeordnet sein, was zu erhöhter Reinheit und Stabilität beim Beschichtungsprozeß führt.
Die räumliche Ausdehnung der Hohlräume quer zum Gasstrom muß so groß sein, daß sich eine Glimmentladung ausbilden kann (mindestens etwa 1 mm) und sollte nicht größer als einige cm sein, um den Hohlkatodeneffekt ausnutzen zu können. Zu diesem Ziele kann bei vorgegebener äußerer Größe eine Intensivierung der Entladung durch eine gleichmäßig verwinkelte Gestaltung des Querschnittes erreicht werden, z.B. in Form eines Paketes paralleler Röhrchen. Die Ausdehnung parallel zum Gasstrom sollte nicht wesentlich geringer als die Querausdehnung sein, um den Hohlkatodeneffekt zu erhalten. Eine zu große Ausdehnung, bezogen auf die Betriebsparameter, ist unzweckmäßig, da sie zu verstärkter Redeposition bereits abgestäubten Targetmaterials innerhalb der Quelle führt und damit zu einem geringen Wirkungsgrad.
Das Substrat befindet sich im Gasstrom in der Nähe der Austrittsöffnung der Hohlräume und sollte ein frei wählbares elektrisches Potential haben. Zwischen Quelle und Substrat sollte sich eine Schwenkblende befinden, z.B. um während der Vorreinigung der Quelle die Substratoberfläche nicht zu verändern. Beim reaktiven Abscheiden sollte sich die Austrittsöffnung für das reaktive Gas in der Nähe der substratseitigen Quellenöffnung(en) befinden und auf das Substrat gerichtet sein, falls eine Reaktion dieses Gases mit dem Target unerwünscht ist. Bedingt durch den relativen hohen Arbeitsdruck ergibt sich eine gute Wärmeableitung für die Katode, so daß selbst bei mittleren Abscheideraten auf eine zusätzliche Kühlung verzichtet werden kann.
Da das Verfahren weder hohe Spannungen noch Hochfrequenz oder giftige Gase verwendet, ist es ungefährlich und umweltfreundlich.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung soll nachfolgend anhand dreier Ausführungsbeispiele näher erläutert werden.
Es zeigen

Fig. 1: eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Beschichtung ebener, leitfähiger Substrate
Fig. 2: eine Vorrichtung mit Mehrfach-Hohlkatoden
Fig. 3: eine Vorrichtung zur Innenbeschichtung von Rohren.

In Fig. 1 befindet sich das Substrat 3 in elektrischem und Wärmekontakt mit dem Substrathalter 2, der vom Heizer 1 auf die vorgesehene Temperatur gebracht wird. Das aufzutragende Material wird durch eine Hohlkatoden-Glimmentladung, die zwischen der Anode 21 oder 22 und den Katoden 8 und 9 brennt, von letzteren abgetragen und von dem durch das Rohr 18 einströmende Inertgas mitgenommen, so daß es den aus den Katoden 8 und 9 gebildeten Hohlkatodenraum verläßt, gemeinsam mit dem Inertgas den Pyramidenstumpf 5 passiert und sich zum großen Teil auf dem Substrat 3 niederschlägt. Sollen zwei unterschiedliche Materialien gleichzeitig oder nacheinander zur Abscheidung kommen, so müssen die Targets 8 und 9 jeweils aus einem dieser Materialien bestehen. Die Abscheideraten beider Materialien werden dabei individuell durch die Spannungen U_1 und U_2 gesteuert. Sind weitere Spannungsquellen vorhanden, so können mit der beschriebenen Anordnung bis zu vier verschiedene Materialien simultan abgeschieden werden. Dabei gewährleisten die Isolator-Hohlprofile 19 die dauerhafte elektrische Isolation der Targets untereinander sowie die seitliche Gasdichtheit des Hohlkatodenraumes. Im Falle einer intensiven Entladung zur Erzielung sehr hoher Raten ist es zweckmäßig, die Rohrschlange 10, die sich im thermischen, aber nicht elektrischen Kontakt mit den Targets befindet, von Kühlmittel durchströmen zu lassen, um eine Überhitzung der Targets zu vermeiden. Sollen chemische Verbindungen unter Mitwirkung reaktiver Gase abgeschieden werden, so können diese Gase dem Inertgas beigemischt werden oder separat durch das Rohr 16 in den Boden der Hohlkatode eingespeist werden. In diesen Fällen kommt es bereits auf der Targetoberfläche zu einer Reaktion. Ist dies unerwünscht, so ist das Gas in das Rohr 17 einzuleiten (das außen aus Isoliermaterial besteht), welches es erst außerhalb der Hohlkatode wieder verläßt, direkt auf das Substrat gerichtet. Dabei erhält es eine gewisse thermische Aktivierung, da sich die ebenfalls am Rohr 17 untergebrachte rohrförmige Anode 22 durch den Elektronenbeschuß an der Glimmentladung erhitzt. Genügt diese Aktivierung nicht, so kann durch Umschalten auf Anode 21, die sich im Inneren des Rohrs 17 befindet, mittels Schalter 20 eine Dissoziation und elektrische Anregung des reaktiven Gases erreicht werden, ohne daß dabei energiereiche Ionen entstehen.
Ist sehr sauberes Inertgas erforderlich, so kann die Hohlkatode nach unten um den Isolierkörper 12, das Gettertarget 13, die Anode 14 und die Isolator-Bodenplatte 15 erweitert werden. Die Spannungsquelle U_4 verursacht hier eine zweite Hohlkatoden-Glimmentladung, die ähnlich einer Ionengetterpumpe wirkt, wobei der Isolierkörper 12 und die Isolatorblende 11 eine Übertragung von Gettermaterial in die obere Hohlkatode verhindern, indem der Weg verlängert und der Druck erhöht wird

BAD ORIGINAL

Der seitlich gasdichte Kegelstumpf 5, der mittels Isolierkörper 7 mit den Katoden 8 und 9 gasdicht verbunden, aber elektrisch isoliert ist, bewirkt eine Ausrichtung des Gasstromes auf das Substrat sowie durch Querschnittserweiterung gegenüber der Hohlkatode und Querschnittsverengung an seinem substrathalterseitigen Rand eine Verminderung der Gasstromgeschwindigkeit, was zu einer Vergrößerung der Ausdiffusion des mitgenommenen Targetmaterials und damit zu höherer Abscheiderate, Materialausnutzung und Inertgas-Einsparung führt. Außerdem wird der dem Verfahren inhärente Effekt der Zurückdrängung des Restgases beträchtlich verstärkt. Bei einer Beschichtung von isolierenden Substraten ist es zweckmäßig, zwischen Quelle und Substrat ein feinmaschiges Metallnetz anzuordnen, das die Beschleunigung der Ionen auf das Substrat übernimmt. Da das Verfahren mit relativ hohem Gasdruck arbeitet, ist eine Abbildung des Netzes auf die Schichtdicke nicht zu erwarten.

Vor Beginn der Beschickung sind das Vakuumsystem zu evakuieren, der Inertgasstrom einzustellen und das Substrat wie gewünscht zu heizen. Bei geschlossener Schwenkblende 4 und geöffneter Klappe 6 werden die Spannungen U_1, U_2, U_4 eingeschaltet. Durch die Klappe 6 können Quellenkontaminationen effektiv entweichen. Ist die Quellenreinigung beendet, so wird Klappe 6 geschlossen und ein solch hoher Gasdruck eingestellt, daß bei gegebenem Gasdurchsatz keine Targetteilchen auf das Substrat gelangen können, sondern sich noch innerhalb der Hohlkatode oder innerhalb des Kegelstumpfes 5 abscheiden. Dann wird die Spannung U_3 eingeschaltet und die Schwenkblende 4 geöffnet. Dadurch kommt es zum Ionenbeschuß der Substratoberfläche durch Ionen aus der Hohlkatode. Die Energie der Ionen hängt eng mit U_3 zusammen und ist je nach Gasdruck im Mittel etwas kleiner als $e_o \cdot U_3$. Sind U_1 und U_2 hinreichend klein, so besteht der Ionenstrom fast ausschließlich aus Inertgas-Ionen. Die Stromdichte kann unabhängig von der Energie verändert werden durch Veränderung von U_1, U_2 oder durch geringe Veränderung des Gasdruckes. Die Ionen bewirken eine Oberflächenreinigung des Substrates durch Materialabtrag, wobei keine Strukturschäden entstehen, wenn ihre Energie nur ein geringes Vielfaches der chemischen Bindungsenergie beträgt und die Substrattemperatur ausreichend hoch ist, um geringe Defekte auszuheilen. Nach erfolgter Oberflächenreinigung wird zur Beschichtung übergegangen, ohne die Glimmentladung zu unterbrechen, indem der Gasdruck verringert oder die Gasstromrate erhöht oder die Spannungen U_1, U_2 erhöht werden. Durch diese drei Parameter ist gleichzeitig die Abscheiderate bestimmt. Alle drei Parameter sind einfach und stabil einstellbar. U_3 ist dabei so einzustellen, daß die für die Filmbildung optimale Ionenenergie erreicht wird, und, falls vorgesehen, sind das oder die reaktiven Gase einzulassen, soweit sie nicht bereits während der Oberflächenreinigung strömten. Die Beendigung der Abscheidung nach Erreichen der gewünschten Schichtdicke kann durch Schließen der Schwenkblende 4 oder durch Ausschalten von U_1, U_2 erfolgen.

In Fig. 2 befinden sich die Substrate 25 auf dem Substrathalter 24. In dem gasdichten Kasten 26, der am Rand einen Kragen 27 besitzt und dessen offene Seite zu den Substraten 25 zeigt und zu ihnen dicht benachbart ist, wird durch das Rohr 33 das Arbeitsgas eingespeist. Die Lochplatte 31 stellt einen Strömungswiderstand dar, wodurch sich im Stauraum 32 ein einheitlicher Druck ausbildet und das Arbeitsgas gleichmäßig durch alle Löcher der Lochplatte 31, dann durch den Anodenraum 29, durch die Hohlkatodenmatrix 28 und an den Substraten 25 vorbeiströmt. Die Hohlkatodenmatrix 28 besteht aus mehreren Gruppen, z.B. 3, von Hohlkatoden, die jeweils aus einem bestimmten Material bestehen, untereinander elektrisch verbunden, von denen andere Gruppen isoliert und gleichzeitig auf die Öffnungsfläche des Kastens 26 verteilt sind. Die den Materialabtrag bewirkende Glimmentladung brennt zwischen diesen Katoden und der gemeinsamen Anode 30.

Durch Ein- und Ausschalten bzw. Verändern der Spannungen U_1, U_2, U_3 können Schichtsysteme mit abrupten bzw. graduierter Übergängen hergestellt werden, bei festgehaltenen Spannungswerten ergeben sich Mischschichten vorgebbarer Komposition Die Größe der Katodenmatrix 28 und damit die Größe bzw. Anzahl der gleichzeitig zu beschichtenden Substrate 25 unterliegt keiner prinzipiellen Beschränkung.

In Fig. 3 wird die Anwendung der Erfindung für die Innenbeschichtung von Rohren beschrieben.

Die aus dem Rohr 36 mit Gaseinspeisung 34, Anode 35, Hohlkatode 39 und Führung 40 bestehende Quelle wird zunächst voll in das zu beschichtende Rohr 38 eingeschoben. Dieses Rohr ist mittels Dichtung 41 an die Vakuumpumpe 42 angeschlossen und wird von dieser evakuiert. Das andere Ende des Rohrs 38 wird verschlossen durch die Quelle in Verbindung mit der Gleitdichtung 37, die auf dem Rohr 36 oder dem Rohr 38 gleiten kann. Durch die Gaseinspeisung 34 wird nun das Arbeitsgas eingelassen. Durch die als Rohr ausgebildete Anode 35 kann reaktives Gas beigemischt werden. Durch Anlegen einer geeignete Spannung an die Anode 35 und die Katode 39 zündet die Hohlkatodenglimmentladung. Zur Vermeidung parasitärer Entladungen müssen die Zuführungen von Anode und Katode hinreichend isoliert sein. Das Arbeitsgas befördert das abgestäubte Katodenmaterial in das Rohr 38, auf dessen Innenwand es sich niederschlägt. Durch eine negative Vorspannung des Rohres 38 gegenüber der Anode 35 entsteht ein Ionenbeschuß des Rohres, der zur Oberflächenreinigung, sowie zur Verbindungs- und Strukturbildung der aufwachsenden Schicht beiträgt.

Zur Erzielung einer vollständigen und gleichmäßigen Innenbeschichtung des Rohres 38 wird die im Rohr 36 installierte Quelle gleichmäßig aus dem Rohr 38 herausgezogen, solange die Dichtung 37 dessen Dichtheit gewährleisten kann.

BAD ORIGINAL

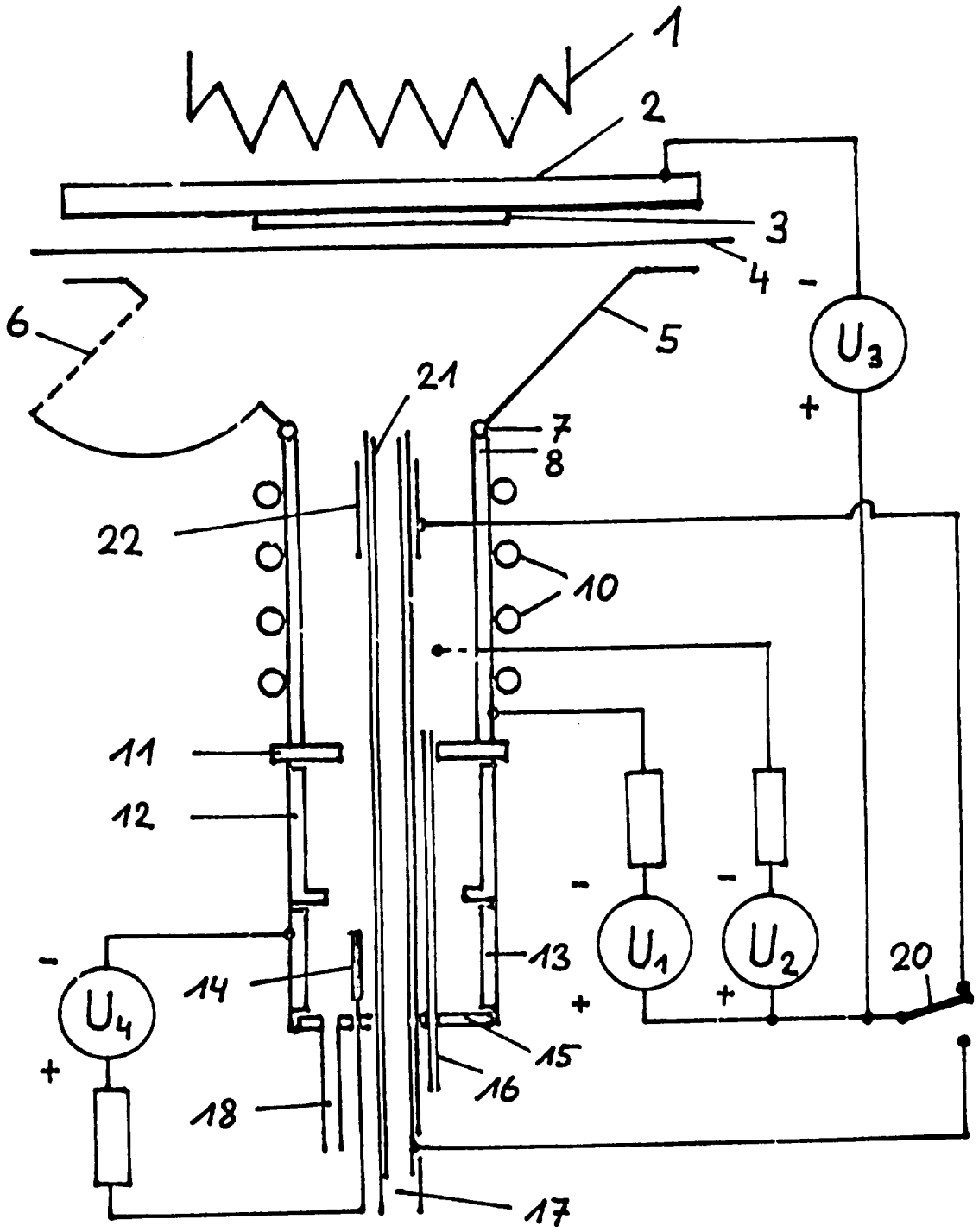


Fig. 1

BAD ORIGINAL

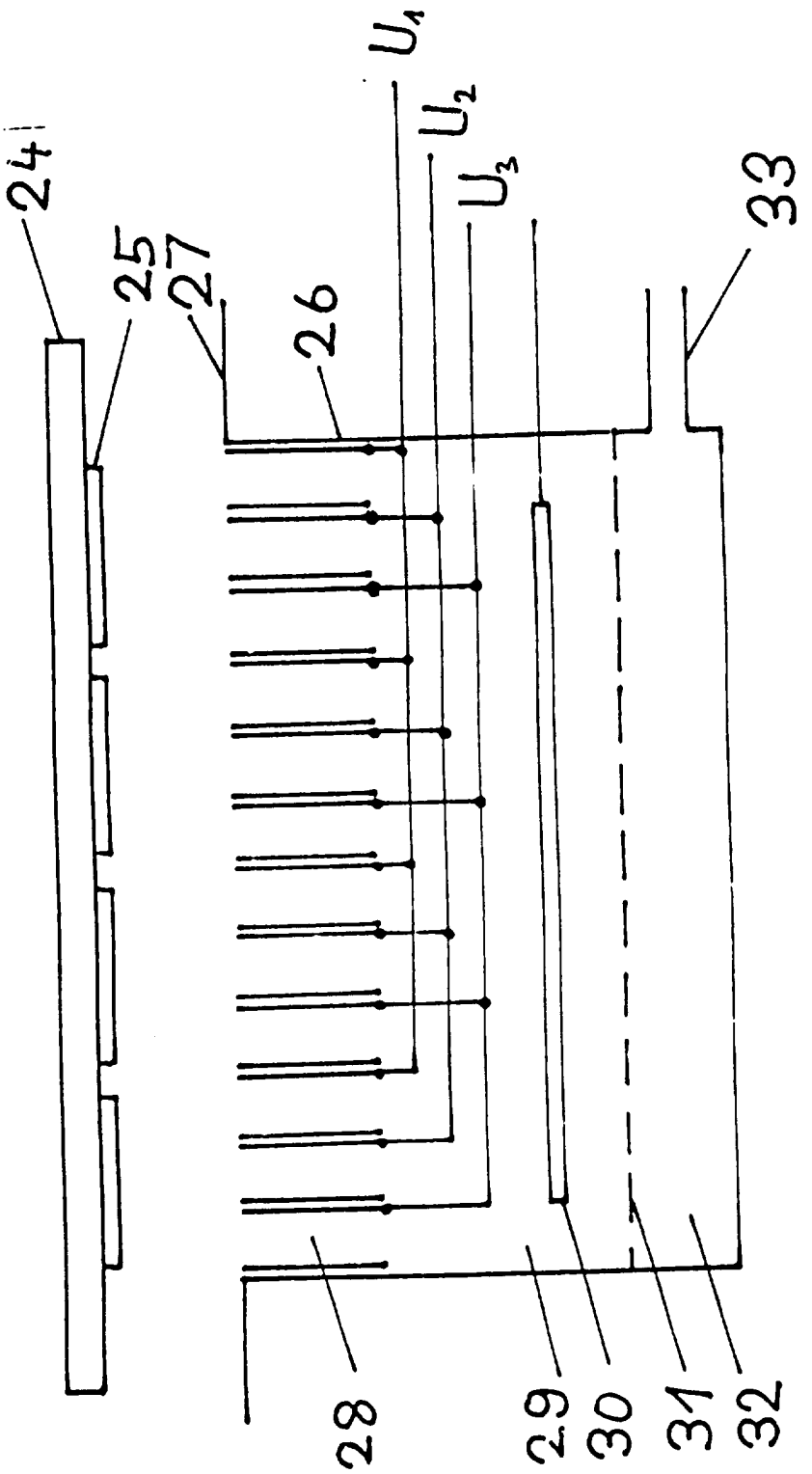


Fig. 2

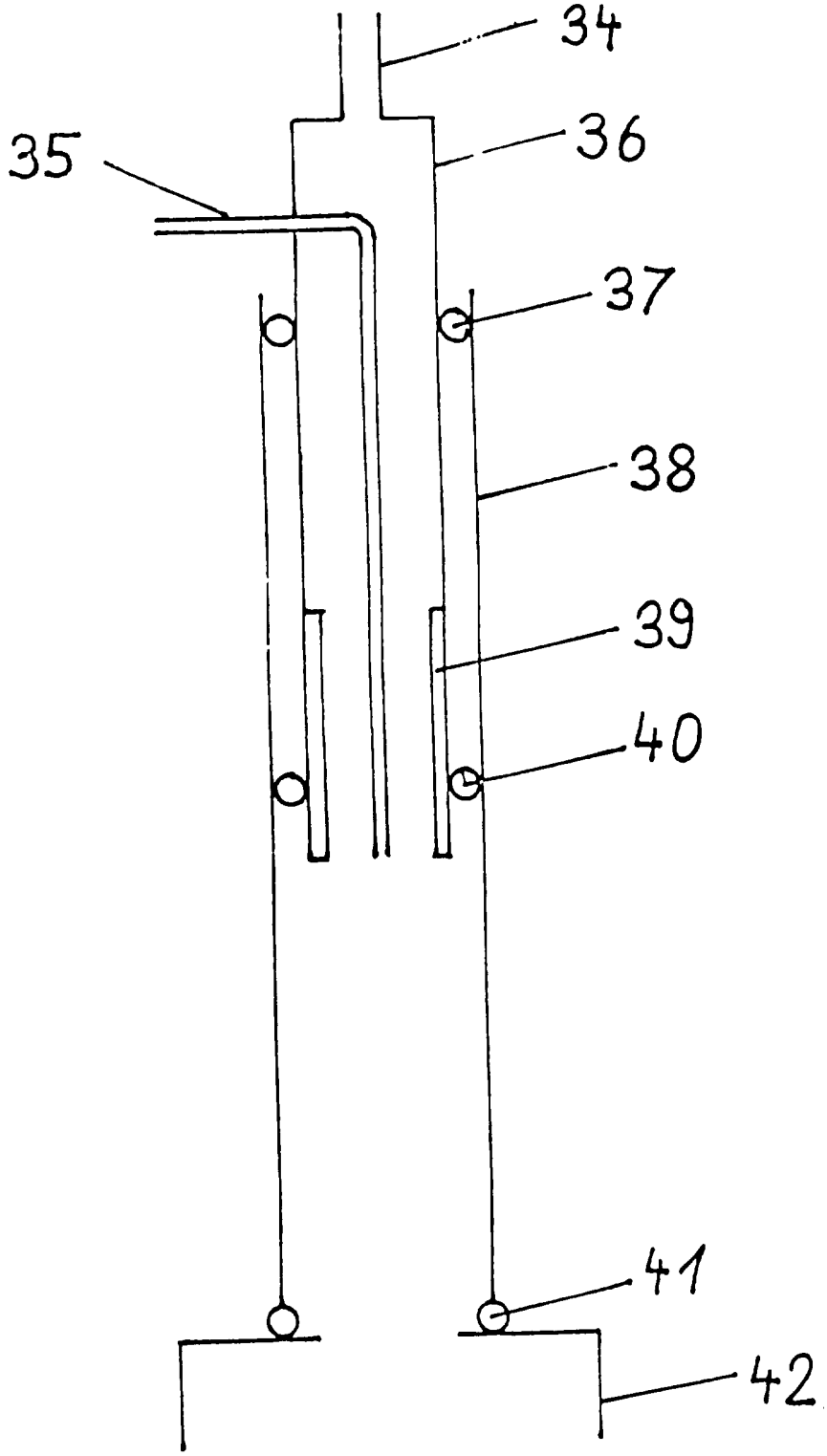


Fig. 3