



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

51 Int. Cl.<sup>3</sup>: C 23 C  
H 01 J

15/00  
37/32

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



**12 PATENTSCHRIFT A5**

11

**637 996**

21 Gesuchsnummer: 9262/78

22 Anmeldungsdatum: 04.09.1978

30 Priorität(en): 05.09.1977 AT 6352/77

24 Patent erteilt: 31.08.1983

45 Patentschrift  
veröffentlicht: 31.08.1983

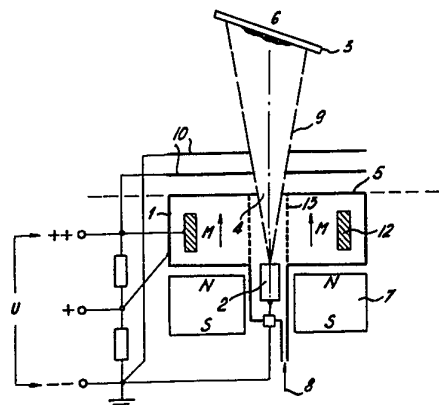
73 Inhaber:  
Zentrum für Elektronenmikroskopie, Graz (AT)

72 Erfinder:  
Dr. Erich Jakopic, Graz (AT)

74 Vertreter:  
Brühwiler & Co., Zürich

**54 Nach dem Prinzip der Zerstäubung von Festkörpern durch Ionenbeschuss arbeitende Einrichtung und Verwendung der Einrichtung.**

57 Die Gasentladungskammer (1) der Atom- bzw. Molekularstrahlenquelle dient zur Aufnahme mindestens eines Targets (2) und ist über eine Extraktionsöffnung (4) in einer Trennwand (5) mit einem Substratraum (6) verbunden, in dem sich ein Substrat (3) befindet. Die Extraktionsöffnung (4) ist so bemessen und angeordnet, dass vom Target (2) stammende Atom- bzw. Molekularstrahlen aus der Kammer (1) in den Substratraum (6) eintreten. Gleichzeitig wird dadurch das Übergreifen der Entladung von der Kammer (1) in den Substratraum (6) unterdrückt und zwischen der Kammer (1) und dem Substratraum (6) eine Druckdifferenz aufrechterhalten. Letztere erlaubt es, die Vorteile der Kathodenzerstäubung mit denen der Ionenstosszerstäubung zu vereinen. Die Quelle lässt sich preisgünstig mit geringen Abmessungen herstellen, ist einfach und zuverlässig in der Handhabung und weist vor allem eine beträchtlich vergrößerte Leistungsfähigkeit auf. Letzteres gilt insbesondere bei zusätzlicher Anwendung von HF, einer Glühkathode, einer Ablenkvorrichtung zur Entfernung geladener Teilchen, einer Kühlvorrichtung, elektrischer und/oder magnetischer Felder.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Nach dem Prinzip der Zerstäubung von Festkörpern durch Ionenbeschuss arbeitende Einrichtung mit einer Atom- bzw. Molekularstrahlenquelle, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein den zu zerstäubenden Festkörper aufweisendes Target (2) in einer Gasentladungskammer (1) angeordnet ist, die über eine Extraktionsöffnung (4) in einer Trennwand (5) mit einem ein Substrat (3) aufnehmenden Substratraum (6) verbunden ist, wobei die Extraktionsöffnung (4) so angeordnet und bemessen ist,

a) dass vom Target (2) stammende Atom- bzw. Molekularstrahlen aus der Kammer (1) in den Substratraum (6) eintreten,

b) dass das Übergreifen der Entladung von der Kammer (1) in den Substratraum (6) unterdrückt wird und

c) dass zwischen der Kammer (1) und dem Substratraum (6) eine Druckdifferenz aufrechterhalten wird.

2. Einrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen mindestens einer Elektrode (12) der Kammer (1) und dem Target (2) ein elektrisch leitendes Gitter (13) angeordnet ist, um Ionen aus der Kammer (1) mittels elektrischer und/oder magnetischer Felder auf das Target (2) zu richten und den Festkörper zu zerstäuben (Fig. 5).

3. Einrichtung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zur Zuführung von Hochfrequenzenergie, um in der Kammer (1) Ionen mit zusätzlicher Hochfrequenzanregung zu erzeugen.

4. Einrichtung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch eine Glühkathode, um in der Kammer (1) Ionen mit zusätzlicher Elektroneninjektion zu erzeugen.

5. Einrichtung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch einen Permanent- oder Elektromagneten (7), um die Entladung in der Kammer (1) durch ein zusätzliches Magnetfeld (M) zu beeinflussen oder zu bewirken (Fig. 4, 5).

6. Einrichtung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch eine Einstellvorrichtung, um den Druck in der Entladungskammer (1) so einzustellen, dass die mittlere freie Weglänge in den vom Target (2) stammenden Atom- bzw. Molekularstrahlen mindestens ebenso gross ist wie der Abstand zwischen dem Target (2) und der Extraktionsöffnung (4).

7. Einrichtung nach Patentanspruch 1, gekennzeichnet durch eine Kühlvorrichtung für das Target (2) und gegebenenfalls weitere Bestandteile der Atom- bzw. Molekularstrahlenquelle.

8. Einrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Extraktionsöffnung (4) eine elektrische, vorzugsweise mindestens eine aufladbare Platte (11) aufweisende Ablenkvorrichtung nachgeschaltet ist, um geladene Teilchen aus den Atom- bzw. Molekularstrahlen zu entfernen (Fig. 4).

9. Einrichtung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Target (2) mindestens eines der folgenden Bestandteile enthält: Gold, Platin, Platin-Kohlegemisch, Aluminium, Aluminium-Oxid, Tantal, Wolfram, Molybdän, eine Legierung aus Wolfram und Tantal, Wolframcarbid, Tantalcarbid, Molybdän-carbid, Titan, Titancarbid, Silizium, Siliziumcarbid, Borcarbid, Kohlenstoff z.B. Graphit, Quarz, Quarzglas, Germanium, Niob, Zink, Blei, Zinn.

10. Verwendung der Einrichtung nach Patentanspruch 1 zur Beschichtung eines Substrats.

11. Verwendung der Einrichtung nach Patentanspruch 10 zur Herstellung von elektronenmikroskopischen Abdrücken, Beschattungen und Trägerfilmen.

12. Verwendung der Einrichtung nach Patentanspruch 10 zur Herstellung von Josephson-Kontakten.

13. Verwendung der Einrichtung nach Patentanspruch 10 zur Herstellung und/oder zum Dopen von Halbleiter-Bauteilen.

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung gemäss Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine Verwendung der Einrichtung.

Bekanntlich werden für viele wissenschaftliche und technische Zwecke, insbesondere auch in der Elektronenmikroskopie, dünne Schichten aus verschiedenen Materialien (z.B. Gold, Wolfram, Aluminium usw.) benötigt und mittels einer Reihe von Verfahren hergestellt. So stellt z.B. das Aufdampfen ein Verfahren dar, das in weitem Umfang zur Dünnschichtherstellung verwendet wird. In neuerer Zeit gewinnen aber mehr und mehr Schichtherstellungsverfahren an Bedeutung, deren Grundlage Zerstäubungsprozesse sind, hervorgerufen durch Beschuss des betreffenden Schichtmaterials (des Targets) mittels energiereicher Ionen. Die auf diese Weise vom Target emittierten Teilchen haben bekanntlich eine weitaus höhere mittlere Energie  $E_z$  als Teilchen aus einer Verdampfungsquelle, deren Energie  $E_v$  rein thermischen Ursprungs ist ( $E_z \approx 50-100 \text{ eV}$ ). Ebenso bekannt sind die hieraus folgenden Vorteile beim Schichtaufbau am Substrat, auf dem die Teilchen niedergeschlagen werden: Die Zerstäubungsschichten sind feinkörniger und haben eine weitaus grössere Haftfestigkeit am Substrat als die Verdampfungsschichten. Ein weiterer Vorteil, insbesondere bei der Beschichtung wärmeempfindlicher Substrate, wie sie als elektronenmikroskopische Präparate häufig vorkommen, ergibt sich durch den Fortfall einer Wärmestrahlung, welche das Präparat im Falle eines Aufdampfprozesses, ausgehend von der Verdampfungsquelle, trifft.

Diese Vorzüge sind (neben anderen, wie z.B. die leichte Steuerbarkeit des Zerstäubungsprozesses) der Grund für die zunehmende Verwendung von Zerstäubungsmethoden zur Schichterzeugung. Im Prinzip werden hierzu im wesentlichen zwei Verfahren angewandt. Die einfachste Methode ist die Kathodenzerstäubung, wobei sich das zu belegende Substrat direkt in der Zerstäubungskammer, z.B. auf der Anode, befindet.

Die bekannte Einrichtung weist dafür einen Rezipienten 1, ein zu zerstäubendes Target 2 und ein Substrat 3 auf (Fig. 1). Diese sog. Diodenanordnung für Gleichspannung und Drucke um 0,1 mbar lässt sich auf mehrere Arten abwandeln. So ist z.B. der Gaseinbau in die Schicht bei diesem relativ hohen Druck verhältnismässig gross. Um diesen für den Schichtaufbau ungünstigen Effekt zu unterdrücken, wird für die Entladung eine Wechselspannung bestimmter, z.B. asymmetrischer Kurvenform, verwendet, um am Substrat 3 abwechselnd eine Zerstäubung von Adsorptionsschichten und eine Schichtaufbauphase folgen zu lassen. Auch sog. Triodenanordnungen, z.B. mit Glühkathode, Entladungen mit zusätzlicher Hochfrequenzanregung und/oder mit zusätzlichem Magnetfeld (Penningentladungen), die den Entladungs-Gasdruck im Rezipienten 1 herabsetzen, werden zu diesem Zweck verwendet.

Alle diese Methoden haben jedoch den Nachteil, dass sich das Substrat im Entladungsraum befindet und damit den verschiedenen Teilchenstrahlen wie Ionen-, Elektronen-, Neutralteilchenstrahlen direkt ausgesetzt ist, so dass es auf diese Weise wieder zu einer Schädigung, wie Zerstäubung und Erwärmung, empfindlicher Substrate kommen kann, z.B. bei biologischen elektronenmikroskopischen Präparaten. Man kann nun Präparatschädigungen weitgehend unterdrücken, nämlich bei Zerstäubung mittels einer Ionenquelle (Ionenstrahlzerstäubung), wobei der Entladungsraum und der Zer-

stäubungsraum räumlich voneinander getrennt sind. In Fig. 2 trifft der aus der Kanalblende der Ionenquelle K austretende Ionenstrahl auf das Target 2; die von diesem emittierten Teilchenstrahlen treffen auf das Substrat 3.

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens folgt aus dem geringen Gasdruck im Zerstäubungsraum, der besser als  $10^{-4}$  mbar sein kann und im einzelnen von der Pumpleistung der Einrichtung und der Gaseinströmung durch die Kanalblende der Ionenkanone K abhängt. Dieser geringe Gasdruck hat neben dem herabgesetzten Gaseinbau eine geringe Stoss-wahrscheinlichkeit der emittierten Teilchen mit den Restgas-molekülen wegen der grossen mittleren freien Weglänge des Gases im Rezipienten 1 zur Folge. Dadurch bleibt die ursprüngliche kinetische Energie der Teilchen weitgehend erhalten. Das ist ein grosser Vorteil gegenüber der bei höheren Drucken erfolgenden Kathodenzerstäubung, weil bei letzterer die kinetische Energie der zerstäubten Teilchen durch häufige Stösse stark vermindert wird.

Ein anderer Vorteil der Ionenstrahlzerstäubung ist durch die Möglichkeit einer Fokussierung des Ionenstrahles auf dem Target durch Verwendung elektrischer Linsen gegeben. Eine Fokussierung ist zur Erzielung eines genügend kleinen Emissionsfleckes am Target notwendig, der wiederum für die Durchführung von Beschattungen elektronenmikroskopischer Präparate unerlässlich ist. Für diese Beschattungen müssen ja bekanntlich die schichtbildenden Teilchen, möglichst aus nur einer Richtung kommend, das Präparat treffen. Eine derartige Fokussierung ist in Kathodenzerstäubungsanlagen nicht so ohne weiteres möglich.

Andererseits haben Kathodenzerstäubungsanlagen aber einen wichtigen Vorteil vor den Ionenstrahlanlagen: Bei ihnen ist es nämlich ohne besonderen Aufwand möglich, auch bei relativ niedrigen Ionenenergien hohe Stromdichten und damit hohe Zerstäubungsraten auf dem Target zu erreichen. Bei den Ionenstrahlanlagen hingegen erreicht man höhere Stromdichten nur mit grossem apparativem Aufwand, z.B. sehr grosse HF-Energien, hohe Beschleunigungsspannungen, grosse Austrittsöffnungen der Kanonen und damit hoher Gasdurchsatz und grosse Saugleistungen der Pumpen. Betragen die mittleren Stromdichten auf dem Target von üblichen Ionenquellen mit Fokussierungseinrichtungen max. einige Zehntel Milliampere je  $\text{cm}^2$ , so erreicht man in Kathodenzerstäubungseinrichtungen leicht einige Milliampere je  $\text{cm}^2$ , und zwar auch bei tieferem Druck in der Entladungskammer um  $10^{-3}$  mbar und darunter; der apparative Aufwand für diese Anlagen ist relativ gering. Als zusätzlich günstiger Effekt, der sich bei Kathodenzerstäubungseinrichtungen mit bestimmter Anordnung der rotationssymmetrischen Elektroden zeigt, ist der bekannte und in der Literatur beschriebene «Pinseleffekt» zu werten, der eine kräftigere Einschnürung des Ionenbündels zur Folge hat; die damit verbundene wesentlich erhöhte Zerstäubungsrate in Targetmitte stellt einen weiteren Vorzug dieser Anordnung dar.

Ein weiterer Nachteil der Ionenstrahlzerstäubung durch Ionenkanonen ergibt sich durch eine Reflexion bzw. Streuung der Ionen, die das Target aus der Kanone kommend treffen können. Dieser Effekt, der mit einer Präparatschädigung verbunden sein kann, wird um so bedeutsamer, je höher die Primärenergie der Ionen ist.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer Einrichtung der eingangs genannten Art, um die Nachteile bekannter Ausführungen zu vermeiden und um insbesondere die Vorteile der Kathodenzerstäubungs- und der Ionenstrahlzerstäubungseinrichtungen gleichzeitig zu erzielen, nämlich einerseits die gerichteten Atomstrahlen und den tiefen Druck und andererseits die hohe Stromdichte und damit eine hohe Zerstäubungsrate. Diese Aufgabe wird durch die im kennzeich-

nenden Teil des Patentanspruchs 1 definierten Massnahmen gelöst.

Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemässen Einrichtung sind in den Patentansprüchen 2 bis 9 umschrieben.

Die Verwendung der Einrichtung erfolgt erfindungsgemäss nach Patentanspruch 10, wobei vorteilhafte Ausführungsarten der Verwendung nach den Patentansprüchen 11 bis 13 erreicht werden können.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele des Erfindungsgegenstands werden im folgenden im Vergleich zum Stand der Technik anhand schematischer Zeichnungen näher beschrieben, dabei zeigen:

- Fig. 1 eine bekannte Kathodenzerstäubungseinrichtung;
- Fig. 2 eine bekannte Ionenstrahlzerstäubungseinrichtung;
- Fig. 3 eine erste Ausführungsform der erfindungsgemässen Einrichtung in einfachster Ausführung;
- Fig. 4 eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemässen Einrichtung mit Ablenkplatten und Magnetfeld, und
- Fig. 5 eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemässen Einrichtung mit Magnetfeld und Gitter.

In der Einrichtung der Fig. 3 werden in einer Gasentladungskammer 1 durch Kathodenzerstäubung eines Targets 2 Atomstrahlen erzeugt, die durch eine Extraktionsöffnung 4 einer Trennwand 5 in einen angrenzenden Hochvakuum-Substratraum 6 eintreten. Der Druck in der Kammer 1 ist vorzugsweise so zu bemessen, dass die mittlere freie Weglänge für die Zusammenstösse der Targetatome mit den Gasatomen und/oder -ionen in der Kammer 1\*) ist wie der Abstand zwischen dem Target 2 und der Extraktionsöffnung 4. Man hat nämlich anderenfalls mit zunehmendem Druck in der Kammer 1 immer häufiger Stösse zwischen den durch Zerstäubung entstandenen Atomen und den Gasteilchen zu erwarten, was sich wiederum auf die Energie- und Winkelverteilung dieser Atome und damit auf die Schichtbildung ungünstig auswirkt. Daher würde bei grösseren Drucken die Teilchenstromdichte der Targetatome aus der Extraktionsöffnung 4 und damit die Leistungsfähigkeit der Einrichtung abnehmen.

Die vom Target 2 stammenden Atome bewegen sich im wesentlichen geradlinig vom Target 2 zur Extraktionsöffnung 4. Im Substratraum 6, in dem der Druck gewöhnlich kleiner ist als  $10^{-4}$  mbar, fliegen sie geradlinig bis zu einem Substrat 3, auf dem sie abgeschieden werden. Die beschriebene Einrichtung unterscheidet sich von bekannten Ausführungen hauptsächlich dadurch, dass sich das Target 2 und das Substrat 3

- in Fig. 1 im selben Raum höheren Druckes ( $\sim 10^{-2}$  –  $10^{-3}$  mbar) befinden,
- in Fig. 2 im selben Raum niedrigen Druckes ( $\sim 10^{-4}$  –  $10^{-5}$  mbar) befinden.
- In Fig. 3 befindet sich dagegen das Target 2 im Raum höheren Druckes ( $\sim 10^{-3}$  mbar) und das Substrat 3 im Substratraum 6 niedrigen Druckes ( $\sim 10^{-4}$  –  $10^{-5}$  mbar), getrennt durch eine Trennwand 5 mit Extraktionsöffnung 4. Das Substrat 3, z.B. ein elektronenmikroskopisches Präparat, ist also in Fig. 3 der direkten Einwirkung des Entladungsplasmas entzogen.

Der Betrieb der Einrichtung der Fig. 3 kann auf mehrere Arten erfolgen, wobei wegen der Hauptforderung nach genügend grosser freier Weglänge im Entladungsraum nur Entladungsformen mit einem entsprechend kleinen Entladungs-

\*) mindestens ebenso gross

druck in Frage kommen, also Hochfrequenzentladung, Entladungen mit zusätzlicher Elektroneninjektion durch eine Glühkathode.

Zunächst sei eine Atomstrahlenquelle mit Entladung im axialen Magnetfeld näher beschrieben. Bei der Penningentladung in der realisierten Form ist allerdings noch ein Umstand zu berücksichtigen, der die Anwendung eines zusätzlichen elektrischen Feldes notwendig macht: Da nämlich aus der Kammeröffnung neben den ungeladenen Sputteratomen noch geladene Teilchen (unter anderem positive Ionen) mit austreten, wurde anschliessend an die Austrittsöffnung ein elektrisches Querfeld mit Hilfe zweier paralleler Platten erzeugt, welches die austretenden geladenen Teilchen ablenkt und an die Platten führt. Dieses elektrische Feld wirkt natürlich, weil ausserhalb des Entladungsraumes angeordnet, nicht auf die Entladung selbst zurück, sondern entfernt nur alle geladenen Teilchen aus dem Strom der zerstäubten Atome.

Die Fig. 4 zeigt einen Magneten 7, einen Gaseinlass 8, einen Atomstrahl 9, ein Substrat 3 im Hochvakuumraum, eine Schutzblende 10, Ablenkplatten 11, eine Öffnung 4, einen Hochvakuumraum 8, ein Metallgehäuse der Kammer 1, Targets 2 und einen Anodenzylinder 12, U ist die Betriebsspannung und M gibt die Richtung des axialen Magnetfeldes an. U beträgt z.B. 3,6 kV, was wegen der zwischen den Targets 2 herrschenden Symmetrieverhältnisse eine Ionenenergie von ungefähr  $U/2 = 1,8$  kV ergibt. Als Trennwand 5 gegenüber dem Substratraum 6 dient in dieser Ausführungsform das in der Fig. 4 rechte Target 2.

Die zur Ionisation der Gasatome erforderlichen Elektronen werden durch das magnetische Feld in einem der Symmetrieachse der Anordnung eng benachbarten Gebiet zusammengedrängt und pendeln zwischen den Targetplatten A und B hin und her. Dabei ionisieren sie die Argonatome, die nun entweder zur Platte A oder zur Platte B hin beschleunigt werden. Die beim Auftreten der Ionen an der Platte A ausgelösten Targetatome können durch die Öffnung 4 in der Platte B den Entladungsraum verlassen und in den Hochvakuumraum 6 eindringen. Die an B ausgelösten Atome werden im Entladungsraum niedergeschlagen.

Das beschriebene Zerstäubungsprinzip mit Magnetfeld kann verschiedene Abwandlungen erfahren, z.B. derart, dass von vornherein die Wahrscheinlichkeit einer Ionenemission aus der Extraktionsöffnung äusserst gering wird oder überhaupt verschwindet; damit erübrigt sich eine Ablenkeinheit.

Bei der dritten Einrichtung der Fig. 5 werden die Ionen in einer Kammer 1 zwischen einem Anodenzylinder 12 und einer Netz- oder Gitterelektrode 13 erzeugt. Letztere besitzt genügend Durchlässigkeit für den positiven Ionenstrom, der durch das elektrische Feld zwischen der Elektrode 13 und dem Target 2 auf das negative vorgespannte Target 2 fokussiert wird. Ferner sind ein Gaseinlass 8, ein Permanentmagnet 7, ein Atomstrahl 9 und Schutzelektroden 10 dargestellt. Der am Target 2 ausgelöste Atomstrahl kann die Kammer 1 durch eine Öffnung 4 in der Trennwand 5 in der Kammer 1 verlassen. Dadurch ist eine elektrische Trennung der Kammer 1 vom Substratraum 6 gegeben; die ionisierenden Elektronen pendeln im Raumgebiet zwischen den Elektroden 12, 13 in Richtung des Magnetfeldes M hin und her. Dadurch entfällt die Notwendigkeit der Anordnung eines zweiten Targets.

Die dritte Einrichtung bietet also den Vorteil, dass nur ein Target vorhanden ist, wodurch eine leichtere Auswechselbarkeit der Targets (wie sie durch die Materialabtragung durch den Zerstäubungsprozess nötig wird) gegeben ist.

Die in Fig. 4 und 5 schematisch gezeigten Atomstrahlkationen können auch mit einer Kühlvorrichtung für die Targets und andere Teile, die einer eventuellen Erwärmung

unterliegen, ausgerüstet werden. Dies kann bei Elektroden, die sich auf Erdoberpotential befinden, durch direkte Wasserkühlung des Metalles und bei Elektroden mit einer Potentialdifferenz gegen Erde durch ein wärmeleitendes, elektrisch isolierendes Keramikmaterial, z.B. Berylliumoxid, erfolgen.

Die gezeigten Permanentmagnete können auch durch Elektromagnete ersetzt und in beiden Fällen ein beinahe geschlossener magnetischer Kreis, bei dem die Entladungskammer den Luftspalt bildet, zur Erhöhung der magnetischen Feldkräfte angeordnet werden.

Wie schon erwähnt, kann zur Herstellung des erforderlichen niedrigen Druckes in der Entladungskammer in bekannter Weise auch eine Hochfrequenzanregung des Zerstäubungsgases, z.B. Argon, in einer hierfür passenden Entladungskammer verwendet werden.

Ferner können die zur Ionisation der Gasatome nötigen Elektronen bei niedrigen Drucken auch mittels einer Glühkathode erzeugt werden, welche im Entladungsraum in geeigneter Weise angeordnet ist, oder indem man Elektronen aus einer Glühkathode in den Entladungsraum durch eine geeignete Öffnung injiziert.

Die Grösse der Öffnung zwischen Entladungs- bzw. Targetraum und Substratraum, ergibt sich z.B. bei vorgegebenen Drucken im Entladungs- bzw. Targetraum und Substratraum z.B. Hochvakuumrezipient, als Kompromiss zwischen 1. der Forderung zur Erhaltung des im Entladungsraum herrschenden Drucks (Entladungsbedingungen). Das heisst die Öffnung darf z.B. nicht zu gross sein; 2. der Forderung nach einer Verhinderung des Durchzündens der Entladung vom Entladungs- bzw. Targetraum in den Substratraum; auch aus diesem Grund darf die Öffnung nicht zu gross sein; 3. der Forderung nach ungefähr einheitlicher Strahlrichtung der aus der Öffnung tretenden Teilchen zur Herstellung von Beschattungen elektronenmikroskopischer Präparate. Das heisst die Öffnung darf wieder nicht zu gross sein, und 4. der Forderung nach einer gewissen Mindestgrösse des Raumwinkels, in dem die Atome bzw. Moleküle in den Substratraum emittiert werden, wie dies für die Belegung einer nicht zu kleinen Fläche des Substrats nötig ist; aus diesem Grund darf die Öffnung wieder nicht zu klein sein.

Beispielsweise benötigt man bei einem Druck im Substratraum 6 von  $\sim 1 \times 10^{-4}$  mbar eine Extraktionsöffnung von 4 mm Durchmesser in der Trennwand 5, um einen Entladungsdruck von  $\sim 1 \times 10^{-3}$  mbar bei den gegebenen Werten für die Gaszufuhr im Entladungsraum und die Pumpleistung aufrechtzuerhalten. Dieser Druck reicht aus, um bei der Einrichtung mit Penning-Quelle bei einer Betriebsspannung von 3,8 kV einen Strom von 10 mA im Entladungsrohr zu erhalten.

Mit der Einrichtung lassen sich Metalle oder Nichtmetalle und deren Verbindungen zerstäuben und z.B. damit auf dem Substrat 3 entsprechende Schichten erzeugen. Es ist von Vorteil, wenn das Target 2 Kupfer, Silber, Gold oder dergleichen enthält. Darunter befinden sich also auch schwer zerstäubbare Feststoffe, die aber beispielsweise in der Elektronenmikroskopie eine grosse Bedeutung bei der Herstellung von Träger- und Abdruckfilmen haben.

Es ist von grossem Vorteil, dass man die Einrichtung sehr einfach, preisgünstig und mit geringen Abmessungen ausführen kann. So hat z.B. die Einrichtung z.B. mit Penning-Quelle bei 12 cm Durchmesser eine Bauhöhe von nur 12,5 cm. Ferner wird durch die einfache Handhabung bei niedrigen Betriebsspannungen ein grosser Fortschritt in der Physik und Technik dünner Schichten erzielt, insbesondere für die elektronenmikroskopische Präparation. Die Einrichtung eignet sich z.B. auch zur Herstellung von Josephson-Kontakten und zur Herstellung und/oder zum Dopen von Halbleiter-Bauteilen.

