



Patent
aufrechterhalten nach
§ 12 Abs. 3 ErstrG

(51) Int. Cl.⁶: **C 23 C 14/30**
C 23 C 14/54

DEUTSCHES PATENTAMT

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Aufrechterhaltung kann Einspruch eingelegt werden

(21) Aktenzeichen:	(22) Anmeldetag:	(44) Veröff.-tag der DD-Patentschrift:	(45) Veröff.-tag der Aufrechterhaltung:
DD C 23 C / 326 070 2	28. 02. 89	04. 07. 90	24. 08. 95

(30) Unionspriorität:
—

(72) Erfinder: Bücken, Bernd, Dipl.-Phys., 01277 Dresden, DE; Scheibe, Hans-Joachim, Dr. rer. nat., 01279 Dresden, DE; Schulze, Dietmar, Dr. rer. nat., 01099 Dresden, DE; Siemroth, Peter, Dr. rer. nat., 10117 Berlin, DE; Wilberg, Rüdiger, Dipl.-Ing., 01309 Dresden, DE

(73) Patentinhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., Leonrodstr. 54, 80636 München, DE

(54) Verfahren zum Betreiben eines Vakuum-Bogenentladungsverdampfers

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 3 528 677 A 1 DE 3 345 493 A 1

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Betreiben eines Vakuum-Bogenentladungsverdampfers mit gepulster Bogenentladung, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vakuum-Bogenentladung mittig auf dem Target mit einer solchen Stromstärke gezündet wird, daß sich mindestens zwei Katoden-Brennflecke ausbilden, daß unmittelbar nach dem Zünden die Stromstärke der Vakuum-Bogenentladung stetig weitergesteigert wird, derart, daß sich die einzelnen Katoden-Brennflecke weiter aufteilen und daß, bevor die einzelnen Katoden-Brennflecke den Rand des Targets erreichen, der Bogenstrom abgeschaltet oder so abgesenkt wird, daß die Vakuum-Bogenentladung erlöscht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem langgestreckten Target der Zündort der Vakuum-Bogenentladung entlang der Längsachse des Targets variiert wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Vakuum-Bogenentladungsverdampfers mit gepulster Bogenentladung zur Verdampfung von leitfähigen Materialien mit hoher Rate.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Aufbau und Wirkungsweise von Verdampfern, die das Prinzip der Vakuumbogenentladung nutzen, sind vielfach beschrieben und weitgehend bekannt (z. B. VDI-Zeitung 129, 1987, 1, Seite 89-94).

Der wesentliche Vorteil dieses Verdampferprinzips besteht darin, daß mit vergleichsweise einfachen Einrichtungen hohe Abscheideraten erreicht werden können. Darüber hinaus zeichnen sich Bogenverdampfer dadurch aus, daß der vom Katodenbrennfleck freigesetzte Dampf hoch ionisiert ist und die Ionen beträchtliche kinetische Energie (50 ... 100 eV) besitzen, wodurch Schichten hoher Dichte und guter Haftfestigkeit erzeugt werden können.

Ein wesentlicher Nachteil dieses Prinzips besteht darin, daß der Brennfleck sich völlig stochastisch und unkontrollierbar auf der Katodenoberfläche bewegt.

Zur Eingrenzung des Erosionsgebietes sind in der DE-OS 3 528 677 z. B. Magnetfelder zur Bogenführung vorgeschlagen worden und in der DE-OS 3 345 493 Begrenzungseinrichtungen aus speziellen Materialien mit niedrigen Elektronenemissionskoeffizienten. Gemeinsam ist diesen Vorschlägen, daß es zwar gelingt, die Brennfleckbewegung zu beeinflussen, jedoch nicht die Bewegung des Bogens bzw. des Brennflecks auf der Katode definiert zu steuern. Somit ist keine Sicherheit gegeben, daß das Ausbrechen des Bogens verhindert wird. Das Magnetfeld allein reicht z. B. meist nicht aus, um den Erosionsbereich sicher zu begrenzen, und elektrisch aktive Begrenzungen können durch Bedampfen während der Entladung unwirksam werden. Im allgemeinen wird durch derartige Maßnahmen der nutzbare Katodenbereich eingeschränkt. Dadurch sinkt die Materialausnutzung der Katode und damit die Effektivität des Verfahrens.

Es wurde auch schon vorgeschlagen, in schneller Folge Entladungen kurzer Dauer durch Laserimpulse örtlich definiert auf der Katodenoberfläche zu zünden. Während der kurzen Brenndauer erodiert der Brennfleck nur die unmittelbare Umgebung des Zündpunktes. Durch systematische Verschiebung des Zündpunktes wird eine gleichmäßige Abtragung der Katode erreicht. Weiterhin wird bei diesem Verfahren ausgenutzt, daß der Anteil der Spritzer an der Gesamterosion durch eine kurze Impulsdauer wesentlich vermindert werden kann (siehe dazu z. B. J. E. Daalder, J. Phys. D; Appl. Phys., 9 [1976] 2379-2395). Ein weiterer prinzipieller Nachteil aller bekannten Vakuumbogenverdampfer besteht darin, daß die Leistungsfähigkeit einer Katode begrenzt ist. Die Bogenentladung kann nur im Strombereich zwischen 50 und 100 A stabil gehalten werden, während die Brennspannung ihrerseits durch die materialtypische Katodenfallspannung festgelegt ist. Bei einem gepulsten Betrieb sinkt die Leistungsfähigkeit eines Verdampfers noch weiter ab.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung verfolgt das Ziel, plasmagestützt Schichten mit hoher Haftfestigkeit, Homogenität und hoher Abscheiderate herzustellen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das bekannte Auftreten von mehreren Brennflecken bei überhöhten Bogenströmen zur gezielten Erhöhung der Verdampfungsleistung auszunutzen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Vakuum-Bogenentladung mittig auf dem Target mit einer solchen Stromstärke gezündet wird, daß sich mindestens zwei Brennflecke ausbilden und daß unmittelbar nach dem Zünden die Stromstärke der Vakuumbögen stetig weitergesteigert wird, derart, daß sich die einzelnen Vakuumbögen weiter aufteilen,

daß der Bogenstrom, bevor die Brennflecke den Rand des Targets erreichen, abgeschaltet oder so abgesenkt wird, daß die Vakuum-Bogenentladungen erlöschen und daß dieser Vorgang zyklisch wiederholt wird.

Bei dieser Verfahrensführung wurde gefunden, daß die einzelnen Brennflecken, durch die entstehenden Magnetfelder, sich gegenseitig abstoßen, mit der Folge, daß sie voneinander stets gleichweit entfernt sind. Dadurch wird auch die „stochastische“ Bewegung des Katodenbrennflecks einer Vakuumbogenentladung unterdrückt, und die Brennflecken bewegen sich weitgehend radial vom Zündort weg. Dadurch werden auch örtliche Überhitzung am wiederholt durchlaufenem Targetort vermieden und die Dropletmission diesbezüglich unterdrückt.

Das Abschalten der Bogenentladung vor Erreichen des Targetrandes ist erforderlich, damit die einzelnen Vakuumbögen nicht unkontrolliert gegen die Targethalterung oder andere Teile brennt und diese beschädigen.

Vorteilhaft ist bei diesem Verfahren in jedem Fall der Einsatz von Ringanoden koaxial zum Target. Der Zündmechanismus kann in bekannter Weise mittels einer Triggerelektrode erfolgen, aber auch mittels der bekannten Laserimpulszündung.

Das Abschalten der Bogenentladung kann derart erfolgen, daß kurz bevor die Brennflecke den Rand des Targets erreichen ein kurzer Hochstromimpuls den Entladungsstrom entgegengesetzt gerichtet angelegt wird.

Nachdem das Stromversorgungsnetzwerk wieder nachgeladen wurde, kann die nächste Entladung auf gleiche Weise gezündet werden. Der maximale Entladungsstrom (direkt vor der Stromlöschung) kann zwischen 1 und 20 kA, möglicherweise noch darüber liegen, damit beträgt die gemittelte verdampfungswirksame Leistung selbst bei einem Tastverhältnis von nur 1:10 mehr als das 10fache üblicher Vakuumbogenverdampfer im Gleichstrombetrieb.

Das Verfahren vereinigt den Vorzug wesentlich höherer Leistung bei einfachem mechanischem Aufbau des Verdampfersystems mit den Vorteilen des gepulsten Bogenverdampfers, geringer Dropletmission, präziser Steuerbarkeit und gleichmäßiger Abtragung der Targetelektrode.

Die Forderung, daß die Zündung der Bogenentladung mittig auf dem Target erfolgen soll, ergibt sich daraus, daß das Target sonst generell nur einseitig erodiert wird. Andererseits ist es aber auch möglich, auf einem langgestreckten Target aus gleichem oder unterschiedlichem Material, die Bogenentladung periodisch variierend an verschiedenen Punkten der Längsachse des Targets zu zünden.

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend soll die Erfindung an zwei Beispielen näher erläutert werden. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen in

Fig. 1: schematisch einen Vakuum-Bogenentladungsverdampfer mit zentrischem Zündstift und

Fig. 2: einen Vakuum-Bogenentladungsverdampfer mit Laser-Impulszündung.

Beispiel I:

Der an sich bekannte Vakuum-Bogenentladungsverdampfer hat eine massive Katode 1 als Target von 5 cm Durchmesser und eine koaxial dazu angeordnete Anode 2. In der Mitte der Katode 1 ist in einer Bohrung ein Zündstift 3 angeordnet. In einer Entfernung von 10 cm steht der Katode das Substrat 4, auf dem die Abscheidung erfolgen soll, gegenüber.

Hauptelement der Stromversorgung, die den für die Entladung notwendigen Strom liefert, ist die Kondensatorbatterie 5, die aus einem Ladegerät 6 auf eine Spannung von 500 V aufgeladen wird.

Zur Einleitung einer Entladung wird zuerst der Schalter 7, der im Beispiel durch einen Thyristor realisiert wird, geschlossen. Damit beginnt der Strom über die Induktivitäten 8 und 9 sowie durch den Widerstand 10 zu fließen, wodurch der Kondensator 11 aufgeladen wird. Nachdem die auf etwa 400 V eingestellte Durchschlagsspannung der Funkenstrecke 12 erreicht ist, zündet diese, und der Kondensator entlädt sich über die Primärwicklung des Impulstransformators 13. Dadurch wird ein positiver Hochspannungsimpuls von etwa 50 kV und einer Impulsdauer von mehr als 100 ns auf den Zündstift 3 geleitet. Nachdem auf diese Weise eine Bogenentladung zwischen Katode 1 und Anode 2 gezündet wurde, fließt Strom aus der Kondensatorbatterie 5 über die Induktivität 8 und durch die Bogenentladung. Zu Beginn der Bogenentladung ist der Entladungsstrom gleich dem Strom, der vor der Zündung durch die Induktivität 9 und dem Widerstand 10 auf den Kondensator 11 geflossen ist. Die Stromversorgung ist erfindungsgemäß so ausgelegt, daß sofort nach dem Durchzünden der Entladungsstrecke ein solcher Strom fließt, daß der Katodenansatz sich in mehrere Brennflecke aufteilt. Der dazu notwendige Anfangsstrom ist materialabhängig (siehe z. B. B. E. Djakov, R. Holmes; J. Phys. D; Appl. Phys. 4 [1971] 504-509). Bei Kupfer müßte dieser Strom über 100 A betragen. Nach Zündung der Bogenentladung steigt der Entladungsstrom mit der durch die Induktivität 8 festgelegten Anstiegsgeschwindigkeit. Dies führt dazu, daß die Brennflecke, die sich mit der Zündung gebildet haben, radial auseinanderlaufen und sich dabei ständig weiter teilen, so daß der mittlere Abstand zwischen ihnen in etwa konstant bleibt. Sobald die Brennflecke den Rand der Katode erreicht haben, wird das Signal der ringförmigen am Katodenrand angeordneten Sonde 14 so stark, daß es einen Schwellwert überschreitet und der Diskriminator 15 einen Impuls auf den Thyristor 16 gibt. Damit wird die Kondensatorbatterie 17, deren Polarität der Bogenentladung entgegengesetzt ist, auf die Entladungsstrecke geschaltet. Dies führt zur Löschung der Entladung. Nachdem durch die Spannungsversorgungen 6 bzw. 18 die Kondensatorbatterien 5 bzw. 17 nachgeladen sind, kann eine erneute Zündung durch Schließen von Schalter 7 erfolgen, bis auf dem Substrat 4 eine ausreichende Schichtdicke erreicht ist.

Beispiel II:

Ähnlich wie im Beispiel I ist in Fig. 2 eine kompakte Katode 1 und eine koaxiale Anode 2 gegenüber dem Substrat 4 angeordnet. Zur Zündung der Vakuum-Bogenentladung wird in diesem Beispiel jedoch ein Impulslaser 20 eingesetzt. Dieser ist fest installiert. Damit der Zündort auf der Katode 1 dennoch, z. B. bei großen und nicht kreisförmigen Targets, variiert werden kann, wurde die Katode 1 auf einer horizontal allseitig verschiebbaren Katodenhalterung montiert. Die ringförmige Anode 2 ist davon unabhängig fest installiert. In bekannter Weise ist der impulsförmige Laserstrahl 21 punktförmig auf die Katodenoberfläche fokussiert. Die Impulsenergie beträgt ca. 5 mJ, die Impulsdauer 100 ns und die maximale Leistungsdichte $5 \times 10^{12} \text{ W/m}^2$.

Dieser Laserimpuls erzeugt über der Katodenoberfläche eine kleine Plasmawolke, die ihrerseits ausreicht zwischen der Katode 1 und der Anode 2 eine Bogenentladung zu zünden. Im Moment der Zündung ist der Bogenstrom durch den Widerstand 22 ($R = 2 \Omega$) auf etwa 250 A begrenzt. Damit bilden sich aber mindestens zwei Katoden-Brennflecke aus. Danach wird unmittelbar der Entladungsstrom linear erhöht, wobei die Stromanstiegsgeschwindigkeit von der Induktivität 23 bestimmt wird. Mit steigendem Bogenstrom bilden sich weitere Katoden-Brennflecke aus, die vom Zündpunkt ausgehend radial expandieren. Durch den Entladungsstrom wird in der Ragowski-Spule 24 ein Spannungssignal induziert, welches auf ein Verzögerungsglied 25 gegeben wird. Dieses gibt nach einer einstellbaren Bogenbrenndauer einen Impuls auf den Thyristor 26. Damit wird die Kondensatorbatterie 30, deren Polarität der Bogenentladung entgegengesetzt ist, auf die Entladungsstrecke geschaltet und der Bogen gelöscht. Die Bogenbrenndauer ist so bemessen, daß der Radius des Erosionsgebietes (entsprechend der Laufstrecke der radial expandierenden Katoden-Brennflecke) einige Millimeter beträgt. Nachdem durch die Spannungsversorgung 27 bzw. 28 die Kondensatorbatterien 29 bzw. 30 nachgeladen sind und die Katode verschoben wurde, kann eine erneute Zündung erfolgen. Durch gleichmäßiges Verschieben des Zündortes ist es möglich, Targets beliebiger Form (z. B. auch rechteckige Scheiben) gleichmäßig und mit hoher Effektivität zu verdampfen.

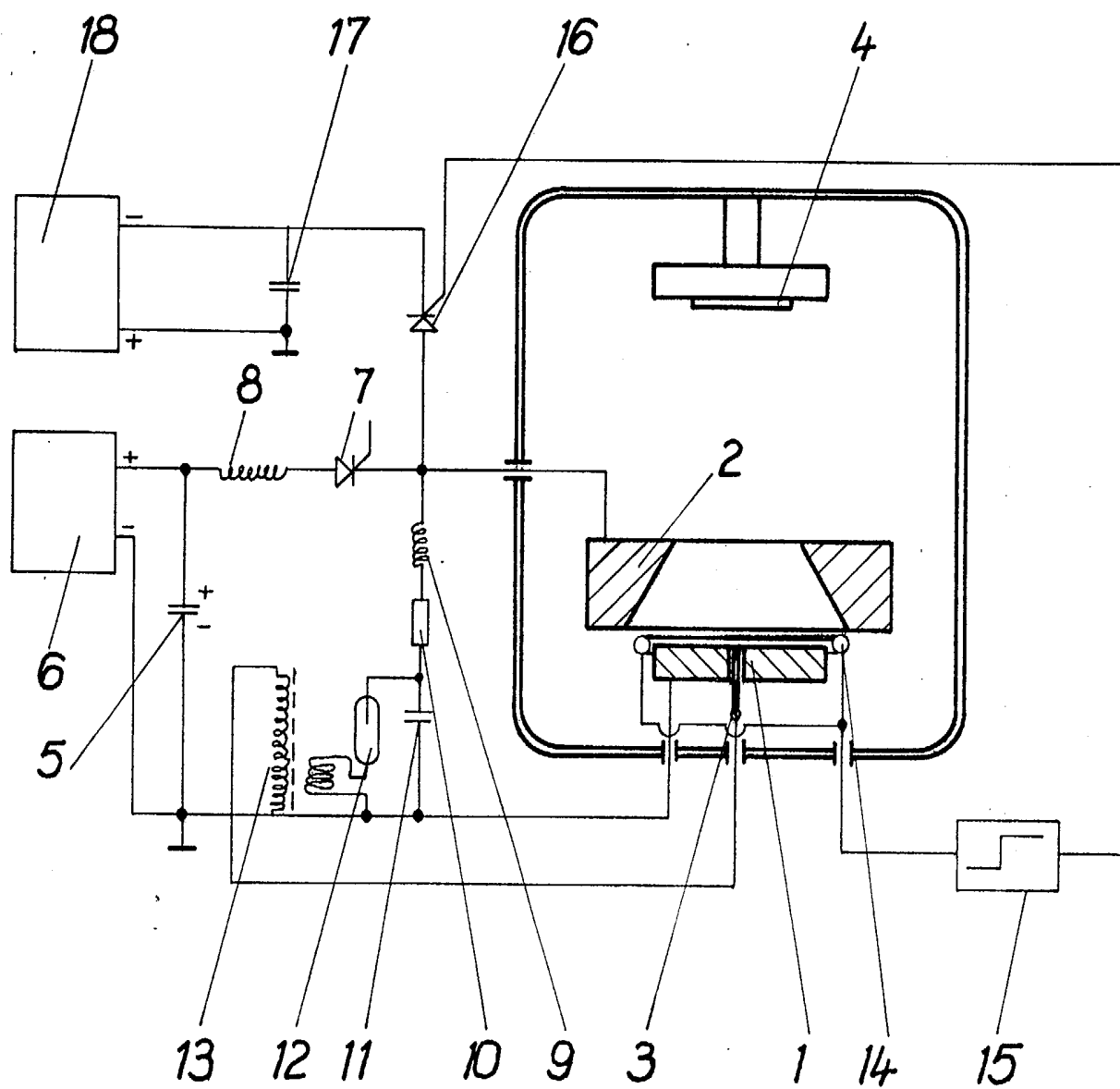


Fig. 1

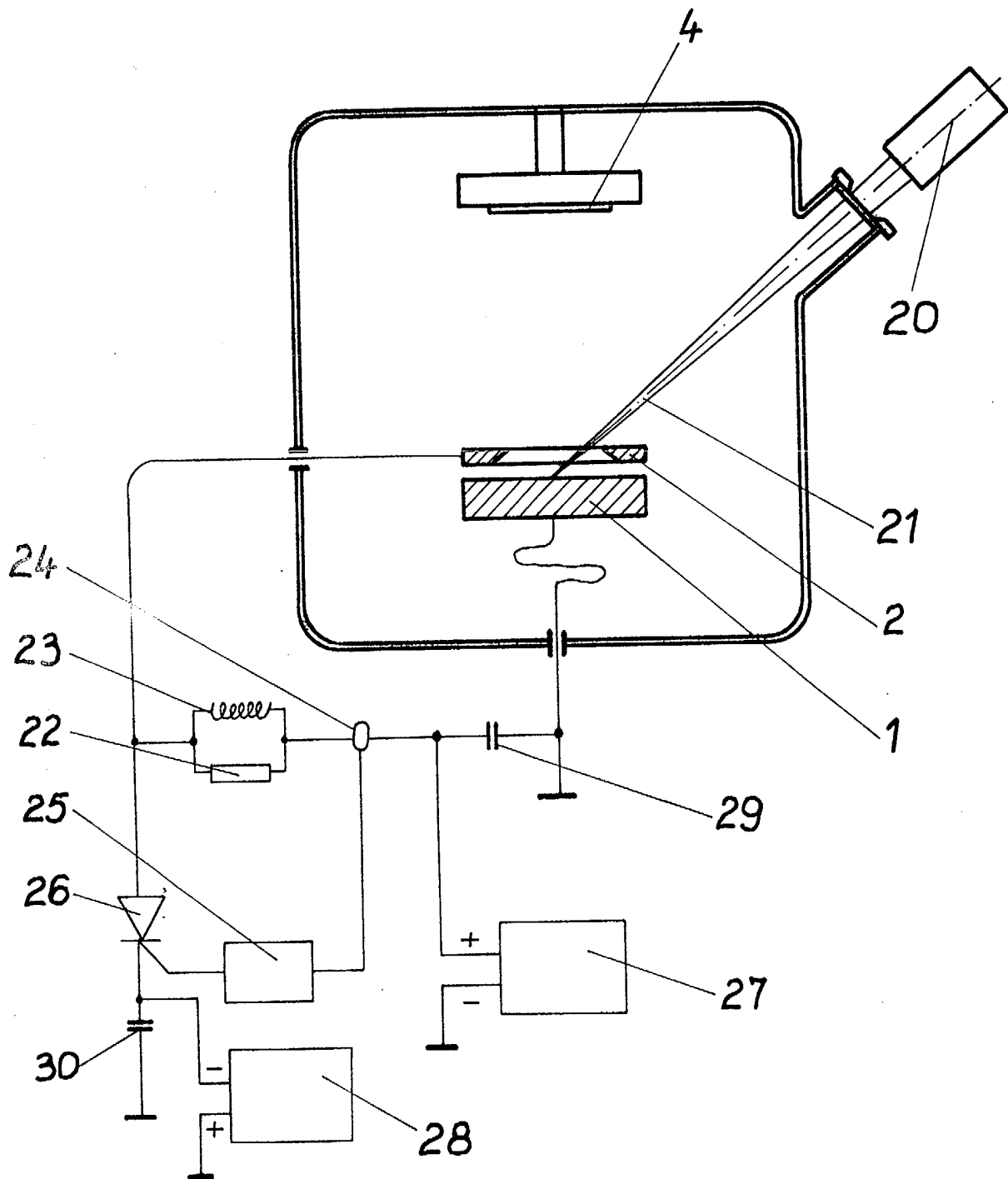


Fig. 2