

Plasmaquelle

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Plasmaquelle gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft ausserdem ein Verfahren zur Erzeugung eines Plasmas mittels einer thermionischen Entladung.

Dabei wird ein Filament mittels Strom beheizt, was zur Emission von Elektronen aus der heissen Oberfläche des Filamentes führt. Die Emission von Elektronen aus heissen Oberflächen folgt dem von Richardson erstmals beschriebenen Gesetz:

$$J=A_G T^2 e^{-W/kT},$$

wobei J die Stromdichte, T die Temperatur und W die Austrittsarbeit der Elektronen

Erreicht die Oberfläche des Filamentes eine Temperatur welche für Wolfram grösser als ca. 2900 K ist, werden ausreichend Elektronen aus der Oberfläche emittiert, so dass mit deren Hilfe sobald sie aufgrund einer Spannung genügend beschleunigt sind, Argongas in solchem Umfang ionisiert werden kann dass ein Plasma aufrecht erhalten bleibt.

Gemäss Stand der Technik wird die Heizung des Filaments über eine konstante Stromstärke durchgeführt. Bei angelegter Wechselspannung wird meist über eine Phasenschnittsteuerung der Effektivwert des Stromes geregelt. Bei Betrieb unter hohen Temperaturen verdampft das Filamentmaterial (z.B. Tungsten) wodurch sich der Drahtdurchmesser des Filamentes reduziert. In der Folge steigt der durch den Draht definierte Widerstand des Filamentes. Bei gleichbleibendem Heizstrom führt dies zu einer stärkeren Erhitzung und damit zu einer beschleunigten Verdampfung des Filamentmaterials. Es kommt innerhalb kurzer Zeit zu einem Durchschmelzen. Figur 1a zeigt den Durchmesser des Filamentes in Abhängigkeit von der Betriebsdauer bei gleichbleibendem Heizstrom. Entsprechend zeigt Figur 1b die Filamenttemperatur in Abhängigkeit von der Betriebsdauer bei gleichbleibendem Heizstrom. Dabei ist deutlich zu sehen dass es nach einer anfänglich konstanten Abnahme des Drahtdurchmessers zu einem schnellen Durchbrennen des Filamentes (pinch through effect) kommt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren anzugeben, mit dem ein solches schnelles Durchbrennen zu vermieden werden kann und damit die Betriebsdauer, d.h. die Filamentstandzeit, erhöht werden kann.

Bei ihren Versuchen zur Erhöhung der Standzeit haben die Erfinder einerseits
5 festgestellt, dass bei konstant gehaltener Temperatur des Filamentdrahtes sich der Drahtdurchmesser mit nahezu konstanter Rate verringert. Figur 3 zeigt die Entwicklung des Drahtdurchmessers in Abhängigkeit der Betriebsdauer des Filamentes, mit konstanter Temperatur und zum Vergleich eine Messung mit bei konstanter Stromstärke.

10 Bei ihren Versuchen haben die Erfinder andererseits überraschender Weise festgestellt, dass bei einem Betrieb mit konstantem Spannungsabfall zwischen Filament und Plasma die Temperatur des Filamentes nahezu konstant bleibt und die Verdampfungsrate mit abnehmendem Filamentdurchmesser sogar abnimmt.

Erfindungsgemäss wird daher das Filament nicht mit konstanter Stromstärke sondern
15 mit konstanter Spannung betrieben.

Die Erfindung wird nun im Detail und anhand der Figuren beispielhaft beschrieben. Figur 4 zeigt ein Plasmaquelle gemäss dem Stand der Technik welches an einer Vakuumkammer 1 angeordnet ist. Die Plasmaquelle umfasst ein Quellengehäuse 3 mit einem Einlass 5 für Argongas. Im Quellengehäuse 3 ist ein Filament 9 vorgesehen
20 welches über vom Quellengehäuse 3 isolierte Durchlässe 11 an einen Transformator 13 angeschlossen ist. Das Filament 9 besteht im Beispiel aus einem Wolframdraht mit 2mm Durchmesser. Der Transformator wird im Beispiel mit einer Wechselspannung mit 50Hz betrieben. Durch das Filament 9 fliesst ein Heizstrom von ca. 200A. Erreicht die Oberfläche des Filamentes 9 eine Temperatur grösser 2900 K werden ausreichend
25 Elektronen aus der Filamentoberfläche emittiert welche unter Anlegung einer Entladespannung mittels Spannungsquelle 15 zwischen der Vakuumkammer 15 und dem Transformator 13 das über den Einlass 5 in das Innere des Quellengehäuses 3 strömende Argongas ionisieren kann. Die Zündung der Entladung erfolgt im ersten Moment über einen Widerstand welcher das Quellengehäuse 3 mit der Masse verbindet

(nicht gezeigt). Sind ausreichend Ladungsträger vorhanden, so kann der Entladestrom durch die Öffnung 17 (auch „orifice“ genannt) in die Vakuumkammer 1 geführt werden.

Erfindungsgemäss wird nun, wie in Figur 5 dargestellt das Quellengehäuse mittels Isolierung 7 elektrisch isoliert an der Vakuumkammer 1 angeordnet und es wird die
5 Spannung zwischen dem auf schwebendem Potential gehaltenen Quellengehäuse 3 und der Zuführungsleitung zum Filament 9 gemessen. Das Filament 9 wird durch einen Strom I aufgeheizt. Am Filament fällt eine Spannung V_{heiz} ab, welche über den Transformator 13 eingestellt werden kann. Nachdem der Quellenkörper 3 elektrisch schwebend (floatend) montiert ist, kann die erfindungsgemässe Potentialmessung
10 zwischen der als Kathode bezeichneten Zuführungsleitung und dem Quellengehäuse als Charakteristik für den Zustand des Potentialabfalls zwischen Filament 9 und im Innern des Quellengehäuses gezündeten Plasma 19, und damit für den Zustand des Austritts von Elektronen aus dem Filament gewertet werden. Erfindungsgemäss wird dieser Zustand im Wesentlichen konstant gehalten, beispielsweise durch Regelung der
15 Heizspannung U_{heiz} . Die Messung von V_{float} ermöglicht also die Beibehaltung des optimalen Zustandes für den Elektronenaustritt beizubehalten. Auf diese Weise kann die Temperatur des Filamentes optimal gehalten werden. Optimal heisst in diesem Zusammenhang, dass bei dieser Temperatur der Verdampfungsrate des Filamentmaterials akzeptabel klein ist, jedoch gross genug um eine für die
20 Aufrechterhaltung des Plasmas genügend hohe Elektronenemission zu gewährleisten. Somit wird die Lebensdauer des Filamentes, d.h. die Standzeit wesentlich gegenüber dem Stand der Technik erhöht werden.

Gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können Plasmaquellenanordnungen zum Heizen und Plasmaätzen von Substraten eine Vielzahl
25 von Plasmaquellen umfassen die nach dem Prinzip der thermionischen Emission funktionieren. Die Filamente der Plasmaquellen werden über angelegte Spannungen beheizt, wobei erfindungsgemäss die angelegten Spannungen derart geregelt werden, dass die Spannung zwischen Filament und floatendem Quellengehäuse einen vorzugsweise im Wesentlichen konstanten Wert zwischen 0V und -10V erreicht.

Vorzugsweise erfolgt die Beheizung über ein Schaltnetzteil. An den einzelnen Plasmaquellen sind gemäss dieser Ausführungsform Quellenspulen vorgesehen. Das Plasma in der Behandlungskammer wird über die Kombination des Magnetfeldes einer äusseren Spule und der Magnetfelder der Quellenspulen über die Behandlungshöhe
5 verteilt. Als Entladungsanode kann die Behandlungskammer und/oder eine floatend isoliert durchgeführte Anode dienen.

Gemäss einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der Transformator 13 durch ein sogenanntes Schaltnetzteil 21 ersetzt, wie in Figur 6 dargestellt. Ein solches Schaltnetzteil 21 umfasst einen Ferritkern 23, um den
10 Wicklungen einer Primärspule 25 gewickelt sind (nur für einen Teil des Ferritkerns gezeigt), während die Zuleitungen zum Filament beispielsweise lediglich eine Schlaufe bilden. Erfindungsgemäss ist an beiden Zuleitungen zum Filament ein Ferritkern vorgesehen und die Entladungsspannung V_{Disc} wird zentral an der dem Filament 9 gegenüberliegenden Seite angelegt. Auf diese Weise, d.h. mit Hilfe des Schaltnetzteiles
15 wird eine sehr kleine und kompakte Plasmaquelle realisiert

Ansprüche

1. Plasmaquelle an einer Vakuumkammer zum Erzeugen eines Plasmas in der Vakuumkammer wobei die Plasmaquelle ein Quellengehäuse mit in die Vakuumkammer hineinragender Öffnung umfasst und in dem Quellengehäuse ein
5 Filament vorgesehen ist an welches über isoliert durch das Quellengehäuse durchgeführte elektrische Leitungen eine Heizspannung angelegt werden kann so dass das Filament mittels Stromfluss aufgeheizt werden kann, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Quellengehäuse elektrisch isoliert von der Vakuumkammer an dieser angeordnet ist und Mittel vorgesehen sind welche es
10 erlauben den Spannungsabfall U_{float} zwischen den elektrischen Leitungen und dem Quellengehäuse zu messen und die Mittel zur Regelung der Heizspannung vorgesehen sind welche so ausgestaltet sind dass sie als Regelsignal den gemessenen Wert U_{float} verarbeiten können.
2. Vorrichtung mit einer Vielzahl von Plasmaquellen nach Anspruch 1, dadurch
15 gekennzeichnet, dass die Plasmaquellen von jeweils zumindest einer Quellenspule umgeben sind und die Plasmaquellen von einer über die Behandlungshöhe sich erstreckenden, mehrere Plasmaquellen umfassenden äusseren Spule umgeben sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizspannung mittels zumindest eines Schaltnetzteils gespeist wird, wobei
20 vorzugsweise eine für die Entladung notwendige Entladungsspannung U_{disc} mittig und dem Filament gegenüberliegend angelegt wird.
4. Verfahren zum Erzeugen eines Plasmas in einer Vakuumkammer, wobei an die Vakuumkammer eine Plasmaquelle mit Quellengehäuse und Filament angeordnet ist und zur Aufrechterhaltung des Plasmas das Quellengehäuse gegenüber der
25 Vakuumkammer und dem Filament auf schwebendem elektrischen Potential, d.h. floatend gehalten wird und wobei zur Aufrechterhaltung des Plasmas der Potentialabfall zwischen Filament und Quellengehäuse in dessen Inneren ein Plasma brennt gemessen wird und der gemessene Potentialabfall zur Regelung einer an das Filament angelegten Heizspannung verwendet wird wobei die

Heizspannung einen das Filament erheizenden Strom und damit eine Elektronenemission zur Folge hat.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Heizspannung so geregelt wird dass der Potentialabfall zwischen Quellengehäuse und Filament im Wesentlichen konstant gehalten wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Potentialabfall zwischen Quellengehäuse und Filament auf Werten zwischen 0V und -10V gehalten wird.