



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 217 082 A1

4(51) H 01 J 37/08

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP H 01 J / 253 873 2

(22) 11.08.83

(44) 02.01.85

(71) Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, 9010 Karl-Marx-Stadt, PSF 964, DD

(72) Hammer, Klaus, Dr. rer. nat.; Weber, Thomas, DD

(54) Einstrahl-Ionenquelle

(57) Die Einstrahl-Ionenquelle ist vorzugsweise für die Probenabdünnung, insbesondere für die Transmissionselektronenmikroskopie, geeignet. Ziel und Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Ionenquelle anzugeben, deren konstruktiver Aufbau einfacher gestaltet ist als bei vergleichbaren Ionenquellen und deren geometrische Abmessungen klein gehalten werden können bei gleichzeitiger Erhöhung der Stromdichte im Zentrum des Ionenstrahles und Herabsetzung der Brennspannung der Gasentladung. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst, indem die Einstrahl-Ionenquelle als rohrförmige Hohlkatode ausgebildet ist, und aus einem dünnwandigen Hohlzylinder, der auf der Anodenseite von einer Ringscheibe begrenzt wird, besteht, auf der Extraktionsseite geschlossen ist, daß der Hohlkatode ein Expansionsraum vorgelagert ist, der die Isolierung zwischen Grundkörper und Anodenplatte übernimmt, und daß an den Emissionsöffnungen eine Druckstufe mit einem Faktor von mindestens 10^3 vorhanden ist. Fig. 1

Einstrahl-Ionenquelle

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Einstrahl-Ionenquelle ist vorzugsweise für physikalische Grundlagenuntersuchungen, zur Oberflächenreinigung und zur Probenabdünnung, insbesondere für die Transmissionselektronenmikroskopie, geeignet.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind eine Vielzahl unterschiedlicher Typen von Ionenquellen bekannt, die gebündelte Ionenstrahlen erzeugen, mit deren Hilfe Oberflächen bearbeitet oder Proben abgedünnt werden. Das genannte Einsatzgebiet erfordert Ionenstrahlen mit Stromdichten im Zentrum von über $500 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ bei Strahldurchmessern von einigen Millimetern, wobei höhere Stromdichten ($> 1 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$) angestrebt werden. Zur Generation dieser Ionenstrahlen wird in der Ionenquelle ein Plasma gezündet, aus dem die Ionen durch ein Extraktionssystem abgesaugt und zu einem Strahl formiert werden. Damit die genannten Stromdichten erreicht werden, sind Ionendichten im Plasma größer 10^{10} Ionen/ cm^3 erforderlich.

Zur Erzeugung des Plasmas dient entweder eine unselbständige Niederdruck-Gleichstrom-Bogenentladung (DC-Entladung) oder eine Glimmentladung. Bei der DC-Entladung ist eine Glühkatode erforderlich, dadurch werden die Ionenquelle, aber auch die Probe aufgeheizt, so daß eine zusätzliche Kühlung notwendig wird. Der bekannteste Ionenquellentyp dieser Ausführung ist das Duoplasmatron. Auf Grund des geringeren Aufwandes haben sich für den betrachteten Anwendungsfall Ionenquellen mit kalter Katode stärker durchgesetzt.

Der einfachste Ionenquellentyp dieser Art ist das Kanalstrahlrohr. Bei ihm ist die Extraktionsspannung ungefähr gleich der Brennschpannung der Entladung, so daß eine starke Katodenzerstäubung in der Ionenquelle auftritt, und damit verbunden, eine beachtliche Kontamination des Ionenstrahles sowie der zu bearbeitenden Probe. Das Kanalstrahlrohr ist damit für viele Untersuchungen speziell in Verbindung mit der Mikroelektronik unbrauchbar. Ein sehr leistungsfähiges Kanalstrahlrohr, bei dem bei einer Extraktionsspannung von 10 kV eine Stromdichte von $1,5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ erreicht wurde, ist von D. J. Barber im „Journal of Materials Science“ 5 (1970) S. 1–8 beschrieben.

Am weitesten verbreitet ist die Nutzung der sogenannten „Penning-Glimmentladung“ zur Erzeugung des Plasmas. Dabei werden die Elektroden so angeordnet, daß die Elektronen zwischen Katode und Antikatode pendeln und durch ein Magnetfeld auf schraubenlinienförmige Bahnen gezwungen werden. Dieser Ionenquellentyp hat, vor allem bedingt durch die Magnetspulen, große Abmessungen, so daß er an die Rezipienten der Vakuumanlagen von außen angeflanscht werden muß. Die maximalen Stromdichten bei den bekannten Ausführungen übersteigen kaum $1 \text{ mA}/\text{cm}^2$, und die Brennschpannungen der Entladung liegen ungefähr bei 1 bis 2 Kilovolt (DE-OS 3015649).

Durch gitterförmige Anordnung der Anoden oder Katoden und ganz spezielle Ausbildung dieser Elektroden, z. B. kugelförmig, wird versucht, den Pendeleffekt der Elektronen zu verstärken, um dadurch auf das Magnetfeld verzichten zu können. Verbunden damit ist aber eine Erhöhung der Brennschpannung der Entladung auf einige Kilovolt. Die Vergrößerung des extrahierbaren Ionenstromes und der Stromdichte ist bei den bekannten Lösungen immer mit einer Erhöhung des Aufwandes verbunden, insbesondere betrifft das die Vergrößerung der Abmessungen durch zusätzliche Magnetspulen, Anbringen von Elektroden und ähnliche Maßnahmen, wodurch das Anwendungsgebiet dieser Ionenquellen eingeschränkt ist.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht in einer Einstrahl-Ionenquelle, die einfach herstellbar und auf Grund ihrer geometrischen Abmessungen und ihrer Parameter vielseitig einsetzbar ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einstrahl-Ionenquelle bereitzustellen, die kleine geometrische Abmessungen besitzt, einen einfachen konstruktiven Aufbau aufweist und unter Ausnutzung einer stromstarken Glimmentladung, die in einer Hohlkatode brennt, einen Ionenstrahl hoher Stromdichte erzeugt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Hohlkatode der Einstrahl-Ionenquelle rohrförmig ausgebildet ist, einen Innendurchmesser zwischen 6 und 15 mm und eine Länge vom drei- bis vierfachen Innendurchmesser hat und die aus einem dünnwandigen Hohlzylinder aus hochtemperaturbeständigem Material, der auf der Anodenseite von einer Ringscheibe mit einer Bohrung für die Anode begrenzt wird, auf der Extraktionsseite geschlossen ist und zentrisch auf dieser Seite eine oder mehrere Emissionsöffnungen mit einem Durchmesser von 0,5 bis 1,2 mm aufweist, besteht, daß die stabförmige Anode längsseitig von einem Isolierrohr eingehüllt ist und durch die Bohrung der Ringscheibe in den Hohlzylinder ragt, daß der Expansionsraum der Hohlkatode vorgelagert ist und mindestens den dreifachen Innendurchmesser des Hohlzylinders hat und von einem Isolerring begrenzt wird, der die Isolierung zwischen Grundkörper und Anodenplatte übernimmt und in dem eine Isolierscheibe zwischen Ringscheibe und Anodenplatte eingesetzt ist, daß der Gaseinlaß über einen Gaseinlaßring erfolgt und daß an der oder den Emissionsöffnungen eine Druckstufe mit einem Faktor von mindestens 10^3 entsteht.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung brennt in dem Hohlzylinder eine Hohlkatoden-Glimmentladung hoher Stromdichte. Der gewählte Bereich des Durchmessers ist eine Gewähr dafür, daß ein Elektronenpendeleffekt einsetzt, der wiederum die Ionisierungswahrscheinlichkeit wesentlich erhöht. Kleinere Durchmesser führen dazu, daß sich die Entladung an den Rand ansetzt und nicht im Hohlzylinder brennt. Bei größeren Durchmessern geht der Pendeleffekt stark zurück. Die bis an den Rand des Hohlzylinders vorgezogene Anode unterdrückt die positive Säule der Plasmaentladung, so daß sich nur die katodischen Entladungsteile bis zum negativen Glimmlicht ausbilden; die Brennschpannung der Entladung kann dadurch niedrig gehalten werden. Durch einen eingesetzten Wickel aus thoriertem Wolframdraht werden zwei Effekte erreicht, da thoriertes Wolfram einen hohen Sekundärelektronenkoeffizienten hat, werden der Entladung bereits bei niedrigen Brennschpannungen ausreichend Elektronen zur Verfügung gestellt, zum anderen bewirkt der Wickel eine Oberflächenvergrößerung, wodurch die Stromdichte und damit die Brennschpannung abnimmt. Bei der Zündung der Entladung ist die Gefahr gegeben, daß sie nicht nur im Hohlzylinder, sondern auch in dem vorgelagerten Expansionsraum und in der Gaszuleitung, die wie eine Hohlkatode wirkt, brennt. Es wird deshalb dem Hohlzylinder ein relativ großer Expansionsraum vorgelagert, so daß der Pendeleffekt der Elektronen hier nicht auftreten kann und diese Anordnung wie eine einfache Katode wirkt. Erschwert wird die Ausbildung der Entladung noch zusätzlich, indem der Hohlzylinder durch eine Scheibe mit einer zentrischen Bohrung für die Anode abgegrenzt wird und der Expansionsraum durch eine Isolierscheibe unterteilt ist. Die gewählte Anordnung der Isolierscheibe verhindert weiterhin, daß die Isolierung zwischen Anode und Katode durch die auftretende Katodenzerstäubung verschmutzt und damit unwirksam wird.

Der Gaseinlaß ist so angeordnet, daß das Gas über den Expansionsraum, also einem entladungsfreien Gebiet, in den Hohlzylinder strömt. Damit wird ein Durchgreifen der Entladung in die Gaszuleitung verhindert. Das Anwendungsgebiet der Einstrahl-Ionenquelle erfordert, daß der Ionenstrahl gebündelt ist und die Stromdichteverteilung von innen nach außen abnimmt. Eine derartige Charakteristik ist prinzipiell durch das Extraktionssystem gegeben und wird durch sehr viele Faktoren, wie Durchmesser der Emissions- und Extraktionsöffnungen, Abstand zwischen Emissions- und Extraktionselektrode, der Plasmadichte u. a., beeinflußt. Entscheidend ist dann aber die Form der sich vor der Emissionselektrode ausbildenden Plasmagrenzschicht. Diese Form kann durch die geometrische Gestaltung der Emissionsöffnung mit beeinflußt werden. Damit eine gute Bündelung des Ionenstrahles erfolgt, soll die Krümmung der Plasmagrenzfläche gering sein, deshalb muß die Emissionsöffnung von außen nach innen (zur Plasmagrenzfläche hin) größer werden. Erreicht werden kann das durch eine kegelstumpfförmige Bohrung, wobei sich ein Neigungswinkel zwischen 30 und 45° als günstig erwiesen hat. Insgesamt führen die dargelegten Maßnahmen dazu, daß kleine geometrische Abmessungen für den Entladungsraum und damit für die Ionenquelle möglich sind, aber trotzdem hohe Ionendichten im Plasma erreicht werden, so daß Ionenstrahlströme mit hohen Dichten extrahiert werden können.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung der Einstrahl-Ionenquelle.

Im Hohlzylinder 1, in dem ein spiralförmiger Drahtwickel 2 aus thorisiertem Wolframdraht mit einem Durchmesser von 1,6 mm eingeschoben ist, brennt eine stromstarke Glimmentladung. Der Hohlzylinder 1 hat einen Innendurchmesser von 11 mm, dadurch wird eine hohe Stromdichte des Entladungsstromes und damit eine hohe Ionendichte erreicht; er ist an Katodenpotential angeschlossen. Begrenzt wird der Hohlzylinder 1 nach oben hin durch eine dünne Ringscheibe 18 aus Molybänblech und die stabförmige Anode 3. Sie hat einen Durchmesser von 5 mm. Die Anode 3 schließt am Ende des Hohlzylinders 1 in halbkugelförmiger Form ab; sie ist von einem Isolierrohr 4 umgeben, welches verhindert, daß sich die Entladung am Rand des Hohlzylinders 1 ansetzt. Der Expansionsraum 5 ist durch die Isolierscheibe 6 ungefähr in der Mitte geteilt; abgeschlossen wird der Expansionsraum 5 von der Anodenplatte 7.

Der Gaseinlaßring 10 ist so gestaltet, daß er wahlweise entweder wie in Fig. 1 zwischen Grundkörper 9 und Isolerring 8 oder zwischen Anodenplatte 7 und Isolerring 8 angeordnet werden kann.

Im Hohlzylinder 1 ist auf der unteren Seite die Emissionsöffnung 12. Um eine für die Bündelung des Ionenstrahles günstige Form der Plasmagrenze zu erreichen, ist die Scheibe 13 mit einer kegelstumpfförmigen Bohrung über der Emissionsöffnung 12 eingesetzt.

Die Extraktionselektrode 14 wird vom Haltering 15 getragen, sie ist mittels dreier Stiftschrauben verschiebbar, so daß eine einfache Justiermöglichkeit gegeben ist. Gehalten wird die Extraktionselektrode 14 von drei Isolierstäben 16, die über Klemmen und einen Klemmring 17 am Grundkörper 9 befestigt sind.

Mit der im Ausführungsbeispiel beschriebenen Einstrahl-Ionenquelle wird bei einem Entladungsstrom von 150 mA und einer Extraktionsspannung von 2 kV ein Targetionenstrom von 110 μ A extrahiert. Die Stromdichteverteilung hat die Form einer Gaußschen Glockenkurve. Im Strahlzentrum beträgt die Stromdichte 3 mA/cm². Die Ätzgrube ist beschränkt auf einen Durchmesser von ca. 3 mm. Bei einer Ätzzeit von 30 Minuten wird dabei eine maximale Tiefe der Ätzung von 5 μ m in Silizium erreicht.

Erfindungsansprüche:

1. Einstrahl-Ionenquelle zur Erzeugung eines gebündelten Ionenstrahles unter Ausnutzung einer stromstarken Glimmentladung in einer rohrförmigen Hohlkatode zum Ätzen von Festkörperoberflächen und zur Probenabdünnung für die Elektronenmikroskopie, bestehend aus Hohlkatode, Expansionsraum und Extraktionssystem, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hohlkatode einen Innendurchmesser zwischen 6 und 15 mm sowie eine Länge vom drei- bis vierfachen Innendurchmesser hat und als dünnwandiger Hohlzylinder (1) ausgebildet ist, der auf der Anodenseite von einer Ringscheibe (18) mit einer Bohrung für die Anode (3) begrenzt wird, auf der Extraktionsseite geschlossen ist und zentrisch auf dieser Seite eine oder mehrere Emissionsöffnungen aufweist, daß die stabförmige Anode (3) längsseitig von einem Isolierrohr (4) eingehüllt ist und durch die Bohrung der Ringscheibe (18) in den Hohlzylinder (1) ragt, daß der Expansionsraum (5) der Hohlkatode vorgelagert ist und mindestens den dreifachen Innendurchmesser des Hohlzylinders (1) hat und von einem Isolerring (8) begrenzt wird, in dem eine Isolierscheibe (6) zwischen Ringscheibe (18) und Anodenplatte (7) eingesetzt ist, daß der Gaseinlaß über einen Gaseinlaßring (10) erfolgt und daß an der oder den Emissionsöffnungen eine Druckstufe mit einem Faktor von mindestens 10^3 vorhanden ist.
2. Ionenquelle nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den Hohlzylinder (1) ein spiralförmiger Drahtwickel (2), beispielsweise aus thoriertem Wolframdraht, eingebracht ist.
3. Ionenquelle nach Punkt 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Gaseinlaßring (10) symmetrisch gestaltet ist, daß er wahlweise zwischen Grundkörper (9) und Isolerring (8) oder Anodenplatte (7) und Isolerring (8) eingebaut ist, daß die Gaszuleitung (11) verdeckt zwischen Grundkörper (9) und Gaseinlaßring (10) oder zwischen Anodenplatte (7) und Gaseinlaßring (10) erfolgt.
4. Ionenquelle nach Punkt 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor der geschlossenen Seite des Hohlzylinders (1) eine Scheibe (13) angeordnet ist, die über der Emissionsöffnung (12) eine kegelstumpfförmige Bohrung in der Art hat, daß die Spitze des Kegels zur Extraktionselektrode (14) zeigt, der Neigungswinkel zwischen 30° und 45° und die Materialstärke 1 bis 2 mm beträgt.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

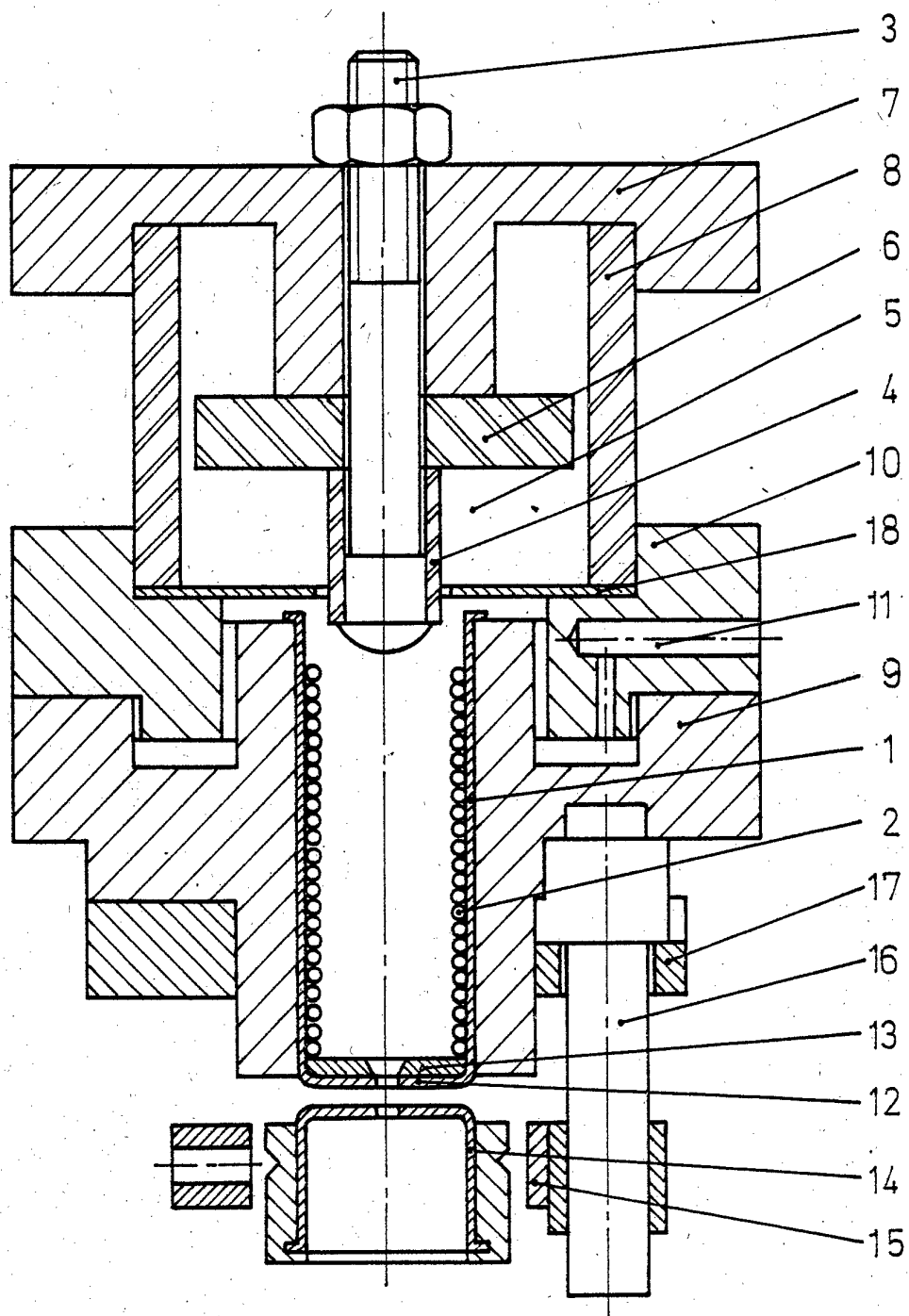


Fig. 1