

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 39 527 A1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 05 H 1/48**  
C 23 C 14/22

⑳ Aktenzeichen: 197 39 527.9  
㉑ Anmeldetag: 9. 9. 97  
㉒ Offenlegungstag: 11. 3. 99

⑦1 Anmelder:  
Forschungszentrum Rossendorf eV, 01474  
Schönfeld-Weißig, DE

⑦2 Erfinder:  
Brückner, Jörn, Dr., 01474 Schönfeld-Weißig, DE  
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

US 54 80 527  
US 54 68 363  
US 54 33 836  
US 52 82 944  
US 52 79 723  
US 44 52 686

WANG,Z.H., et.al.: Spectroscopic studies of a  
solenoid filtered vacuum arc. In: J. Vac. Sci.  
Technol. A 13 (4), July/Aug. 1995, S.2261-2265;  
ZHITOMIRSKY,V.N., et.al.: Unstable arc operation  
and cathode spot motion in a magnetically  
filtered vacuum-arc deposition System. In:  
J. Vac. Sci. Technol. A 13 (4), July/Aug. 1995,  
S.2233-2240;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Vakuumbogen-Plasmaquelle mit Magnet-Partikelfilter

⑤7 Die Erfindung betrifft kathodische Vakuumbogenentladungen, bei denen störende Partikel aus dem Plasma entfernt werden sollen. Aufgabe der Erfindung ist eine kompakte Vakuumbogen-Plasmaquelle mit Magnet-Partikelfilter, bei der die Bogenentladung ohne Arbeitsgas stabil brennt.

Die Erfindung verbessert bekannte Vakuumbogen-Plasmaquellen mit Magnet-Partikelfilter dadurch, dass der größte axiale Abstand der dem Filter zugewandten Begrenzungsfläche der Anode von der Kathodenstirnfläche kleiner als der Durchmesser der Anodenöffnung gewählt wird und dass sich innerhalb des Körpers der Anode eine Kompensationsspule befindet, die in axialer Richtung zwischen der Stirnfläche der Kathode und der Filterspule angeordnet ist, wobei die Kompensationsspule und die Filterspule entgegengesetzt geschaltet sind, so dass deren Magnetfelder entgegengesetzt gerichtet sind.

Weiterhin werden eine Fokus- und/oder eine oder mehrere Steuerspulen in spezieller Position vorgeschlagen. Die Kathodenform kann kegelstumpf- oder scheibenförmig sein.

Kathodische Vakuumbogenentladungen haben bereits ein breites Anwendungsgebiet gefunden, u. a. zur Erzeugung von Metall-Plasmen und als Metall-Ionenquelle z.B. in der Schichtabscheidung und für die Ionenimplantation.

Entstehungsort des Plasmas sind die Kathodenbrennflecken, welche sich auf der Kathodenoberfläche ausbilden und den Abtrag des Kathodenmaterials bewirken. Außer Plasma emittieren die Kathodenbrennflecken noch Partikel, deren Größe von einigen 10 nm bis zu einigen  $\mu\text{m}$  reicht. Bei verschiedenen Anwendungen in der Beschichtungstechnologie beeinträchtigen diese Partikel die Qualität der abgeschiedenen Schichten, weshalb sie mit Filteranordnungen aus dem Plasma entfernt werden müssen.

Vakuumbogen-Plasmaquellen mit Magnet-Partikelfiltern wurden bereits an verschiedenen Stellen beschrieben. Die einzelnen Lösungen unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der Entladungsanordnung als auch des Filter-Prinzips.

Ein häufig eingesetzter Partikelfilter besteht aus einem gebogenen Rohr (USP 5433836). Eine andere Ausführung besteht aus mehreren geraden Rohrstücken, die unter entsprechenden Winkeln zusammengesetzt sind (USP 5279723).

Je nach Anforderung an Transmission des Filters und Partikelfreiheit liegt der Ablenkwinkel eines solchen gekrümmten Partikel-Filters zwischen 30 und 180°. In dem Rohr wird ein axial gerichtetes Magnetfeld erzeugt und das Plasma entlang der Feldlinien geführt. Durch Anlegen einer positiven Biasspannung an die Filterwand kann die Transmission zusätzlich erhöht werden. Die durch die Felder nicht beeinflussten Partikel scheiden sich an der Filterwand ab, wobei diese zur Verhinderung von Reflexionen der Partikel lamellenförmig ausgeführt wird.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines geraden Filterrohrs in Verbindung mit einer zentral angeordneten Blende, welche die Partikel abfängt (USP 4452686).

Die Entladungsanordnung ist bei den oben beschriebenen Filtermöglichkeiten in der Regel von axialsymmetrischer Geometrie mit scheiben-, stab-, oder kegelstumpfförmigen Kathoden, deren Stirnfläche durch die Bogenentladung abgetragen wird.

Eine kuppelförmige Anordnung, bei der der Bogen auf der Außenfläche einer zylindrischen Kathode brennt, ist in USP 5282944 beschrieben.

USP 5480527 enthält eine Vakuumbogen-Plasmaquelle, die eine ausgedehnte rechteckige Kathode in Verbindung mit einem auf diese Kathodengeometrie speziell zugeschnittenen Filter verwendet.

Allen oben beschriebenen Vakuumbogen-Plasmaquellen ist gemeinsam, dass sie zur Führung des Plasmas Magnetfelder verwenden. Eine Folge davon ist das Ansteigen der Bogenbrennspannung, was insbesondere bei den für eine maximale Filtertransmission erforderlichen Magnetfeldern zu Instabilitäten der Bogenentladung führt.

Dem wird durch Verwendung eines Arbeitsgases (USP 5279723, USP 5282944) und bzw. oder zusätzliche Anoden am Filterausgang (USP 5279723) oder großflächige Anoden (USP 5433836) entgegengewirkt, wobei die Bogenbrennspannung jedoch nach wie vor wesentlich erhöht ist.

Bei der Verwendung einer Vakuumbogen-Plasmaquelle als Ionenquelle für die Ionenimplantation ist die Verwendung eines Arbeitsgases unerwünscht. Die Verwendung großflächiger Anoden bedeutet abgesehen vom hohen mechanischen Aufwand eine Einschränkung der Flexibilität beim Einsatz solcher Quellen sowie u. U. einen erhöhten Platzbedarf in den entsprechenden Vakuummammern.

Aufgabe der Erfindung ist eine Vakuumbogen-Plasmaquelle

mit Magnet-Partikelfilter, bei der die Bogenentladung ohne Arbeitsgas stabil brennt und die eine kompakte Bauform aufweist.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine spezielle Anordnung von Magnetfeldern gelöst. Dabei baut die Erfindung im wesentlichen auf einer axialsymmetrischen Vakuumbogen-Entladungsanordnung aus einer wassergekühlten Kathode, einer ringförmigen wassergekühlten Anode und einem die Kathode umgebenden elektrostatischen Schirm auf, wobei diese Teile auf einem Vakuumflansch montiert sind. Außerdem wird ein an sich bekannter Magnet-Partikelfilter eingesetzt.

Die erfindungsgemäße Lösung beinhaltet, dass der größte axiale Abstand der dem Filter zugewandten Begrenzungsfläche der Anode von der Kathodenstirnfläche kleiner ist als der Durchmesser der Anodenöffnung, dass sich innerhalb des Körpers der Anode eine Kompensationsspule befindet, dass die Kompensationsspule in axialer Richtung zwischen der Stirnfläche der Kathode und der Filterspule angeordnet ist und dass die Kompensationsspule und die Filterspule entgegengesetzt geschaltet sind, so dass deren Magnetfelder entgegengesetzt gerichtet sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist eine Fokusspule vorgesehen, welche die Kathode derart umgibt, dass der Abstand der Kathodenstirnfläche vom Mittelpunkt der Fokusspule kleiner als die halbe Summe von Länge und Innenradius der Fokusspule ist. Die Fokusspule erzeugt ein bezüglich des Filter-Magnetfeldes gleichgerichtetes Magnetfeld.

Die weitere Ausgestaltung der Erfindung beinhaltet eine oder mehrere konzentrisch angeordnete Steuerspulen, die sich zwischen der Kathode und dem Vakuumflansch befinden und die zur Steuerung der Brennpunktbewegung dienen.

Die Kathode kann jeweils kegelstumpf- oder scheibenförmig ausgebildet sein.

Die Dimensionierung der einzelnen Spulen bezüglich Abmessungen, Lage, Windungszahl und Stromstärke gestaltet der Fachmann innerhalb der genannten Einschränkungen in Abhängigkeit von der Geometrie der Plasmaquelle. Ziel ist dabei eine durch Überlagerung der von den einzelnen Spulen erzeugten Magnetfelder erzeugte Magnetfeldstruktur, die sich durch ein Gebiet verschwindender Feldstärke in Anoden-nähe auszeichnet. Dadurch wird unter gleichen Magnetfeld-Bedingungen ein maximaler Ionenstrom am Filterausgang und eine minimale Bogenbrennspannung erreicht. Letztere ist dabei auch bei Verwendung einer ringförmigen und damit kleinen Anode gegenüber der Bogenbrennspannung ohne Magnetfelder nur in einem Maße erhöht, das keine Verwendung eines Arbeitsgases zur Stabilisierung der Entladung erfordert.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In der zugehörigen Zeichnung zeigen

**Abb. 1** die Prinzipdarstellung der Erfindung im Teilschnitt,

**Abb. 2** den typischen Feldlinienverlauf des Magnetfeldes im Bereich von Entladungsanordnung und Filtereingang.

Im wesentlichen besteht die rotationssymmetrische Vakuumbogen-Entladungsanordnung aus einer wassergekühlten, scheibenförmigen Kathode **1**, die von einer kreisringförmigen, ebenfalls wassergekühlten Anode **2** axial versetzt umgeben ist und einem die Kathode konzentrisch umgebenden elektrostatischen Schirm **3**. Diese Teile sind auf einem Vakuumflansch **4** montiert, der über einen Zwischenflansch **5** an dem Magnet-Partikelfilter befestigt wird. Dieser besteht aus einem äußeren Rohr **6**, welches an der Vakuumkammer befestigt ist und welches die Filterspule **7** trägt, sowie einem

inneren Rohr **8**, das zum Vermeiden von Partikel-Reflexionen aus zahlreichen Lamellen aufgebaut ist und das von der restlichen Anordnung elektrisch isoliert ist. Die Kathode **1** ist von der Fokusspule **9** konzentrisch umgeben. Hinter der Kathode **1** sind konzentrisch zwei Steuerspulen **10** angeordnet. Die Kompensationsspule **11** befindet sich im Kanal der Wasserkühlung der Anode **2**.

Die Filterspule **7** erzeugt im inneren Rohr **8** ein axial gerichtetes Filter-Magnetfeld. Bei fest gewähltem Filter-Magnetfeld wird das Fokussierungsmagnetfeld im Bereich vor der Kathodenstirnfläche im wesentlichen durch die Spulen **7** und **11** beeinflusst.

Die Variation des Fokussierungsmagnetfelds erfolgt durch Variation der Stromstärken der Spulen **7** und **11**, wobei der zulässige Bereich der Stromstärken relativ breit ist. Die Stromstärke von Spule **11** darf nur nicht zu klein sein, weil sich sonst das Gebiet verschwindender Feldstärke innerhalb des Anodenquerschnitts befinden kann. Zu bevorzugen ist eine Variante, bei der die Windungszahlen der Spulen **7** und **11** so aufeinander abgestimmt werden, dass bei Reihenschaltung dieser Spulen (d.h. gleiche Stromstärke) und stromloser Fokusspule **9** das Magnetfeld im Bereich der Kathodenstirnfläche gerade kompensiert wird. Mit der Fokusspule **9** kann dann das Fokussierungsmagnetfeld zwischen Kathodenstirnfläche und Filtereingang unabhängig vom Filter-Magnetfeld eingestellt werden. Dem für einen maximalen Ionenstrom am Filterausgang und gleichzeitig minimaler Bogenbrennspannung erforderlichen optimalen Fokussierungsmagnetfeld entspricht dabei eine optimale Lage des kreisringförmigen Gebiets verschwindender Feldstärke in Anodennähe. Auf die Verwendung der Fokusspule **9** kann aber auch ganz verzichtet werden, in diesem Fall wird die Stromstärke der Kompensationsspule **11** so gewählt, dass das Filter-Magnetfeld im Bereich der Kathodenoberfläche nur teilweise kompensiert wird.

Als Kathodenmaterialien wurden Chrom und Aluminium verwendet. Jeweils eine der Steuerspulen **10** ist in bezug auf die Filterspule **7** in die gleiche oder entgegengesetzte Richtung geschaltet.

Im ersten Fall erfolgt der Kathodenabtrag im äußeren Randbereich. Bei einem Bogenstrom von 100 A, einem Filter-Magnetfeld von etwa 18 mT auf der Filterachse, einer Biasspannung von +20 V am inneren Filterrohr **8** und einem Ablenkwinkel von 90 Grad wird ein maximaler Ionenstrom am Filterausgang von 1,1 A bei Chrom und 1,85 A bei Aluminium erreicht, wobei der Ionenstrom am Filtereingang 6 A bzw. 10 A beträgt. Die Filtertransmission beträgt demnach jeweils 18,5%. Die minimale Bogenbrennspannung für Chrom beträgt etwa 24 V.

Im zweiten Fall erfolgt der Kathodenabtrag weiter innen, der Ionenstrom am Filterausgang ist 10 bis 20% geringer, die Stromdichte im Bereich der Filterachse jedoch höher als im ersten Fall. Die minimale Bogenbrennspannung für Chrom beträgt hier 25-26 V.

Um auch den zentralen Bereich der Kathode abzutragen, wird die äußere Steuerspule in bezug auf das Filter-Magnetfeld in die gleiche Richtung und die innere Steuerspule in die entgegengesetzte Richtung geschaltet. Mit Hilfe der zwei Steuerspulen **10** kann so der Brennpunkt gezielt über die gesamte Oberfläche der Kathode geführt werden.

dem äußeren Filterrohr (**6**), einer Filterspule (**7**), sowie einem inneren Filterrohr (**8**), welches aus zahlreichen Lamellen aufgebaut ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der größte axiale Abstand der dem Filter (**6-8**) zugewandten Begrenzungsfläche der Anode (**2**) von der Kathodenstirnfläche kleiner ist als der Durchmesser der Anodenöffnung, dass sich innerhalb des Körpers der Anode (**2**) eine Kompensationsspule (**11**) befindet, dass die Kompensationsspule (**11**) in axialer Richtung zwischen der Stirnfläche der Kathode (**1**) und der Filterspule (**7**) angeordnet ist und dass die Kompensationsspule (**11**) und die Filterspule (**7**) entgegengesetzt geschaltet sind, so dass deren Magnetfelder entgegengesetzt gerichtet sind.

2. Vakuumbogen-Plasmaquelle mit Magnet-Partikelfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Fokusspule (**9**) eingesetzt ist, die die Kathode (**1**) derart umschließt, dass der Abstand der Kathodenstirnfläche vom Mittelpunkt der Fokusspule (**9**) kleiner als die halbe Summe von Länge und Innenradius der Fokusspule (**9**) ist.

3. Vakuumbogen-Plasmaquelle mit Magnet-Partikelfilter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich zwischen der Kathode (**1**) und dem Vakuumflansch (**4**) eine oder mehrere bezüglich der Kathode (**1**) konzentrisch angeordnete Steuerspulen (**10**) befinden.

4. Vakuumbogen-Plasmaquelle mit Magnet-Partikelfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zum Materialabtrag verwendete Teil der Kathode (**1**) kegelförmig ist.

5. Vakuumbogen-Plasmaquelle mit Magnet-Partikelfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kathode (**1**) scheibenförmig ist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

#### Patentansprüche

1. Vakuumbogen-Plasmaquelle mit Magnet-Partikelfilter, im wesentlichen bestehend aus einer wassergekühlten Kathode (**1**), einer wassergekühlten, ringförmigen Anode (**2**), einem die Kathode umgebenden elektrostatischen Schirm (**3**), einem Vakuumflansch (**4**), ei-

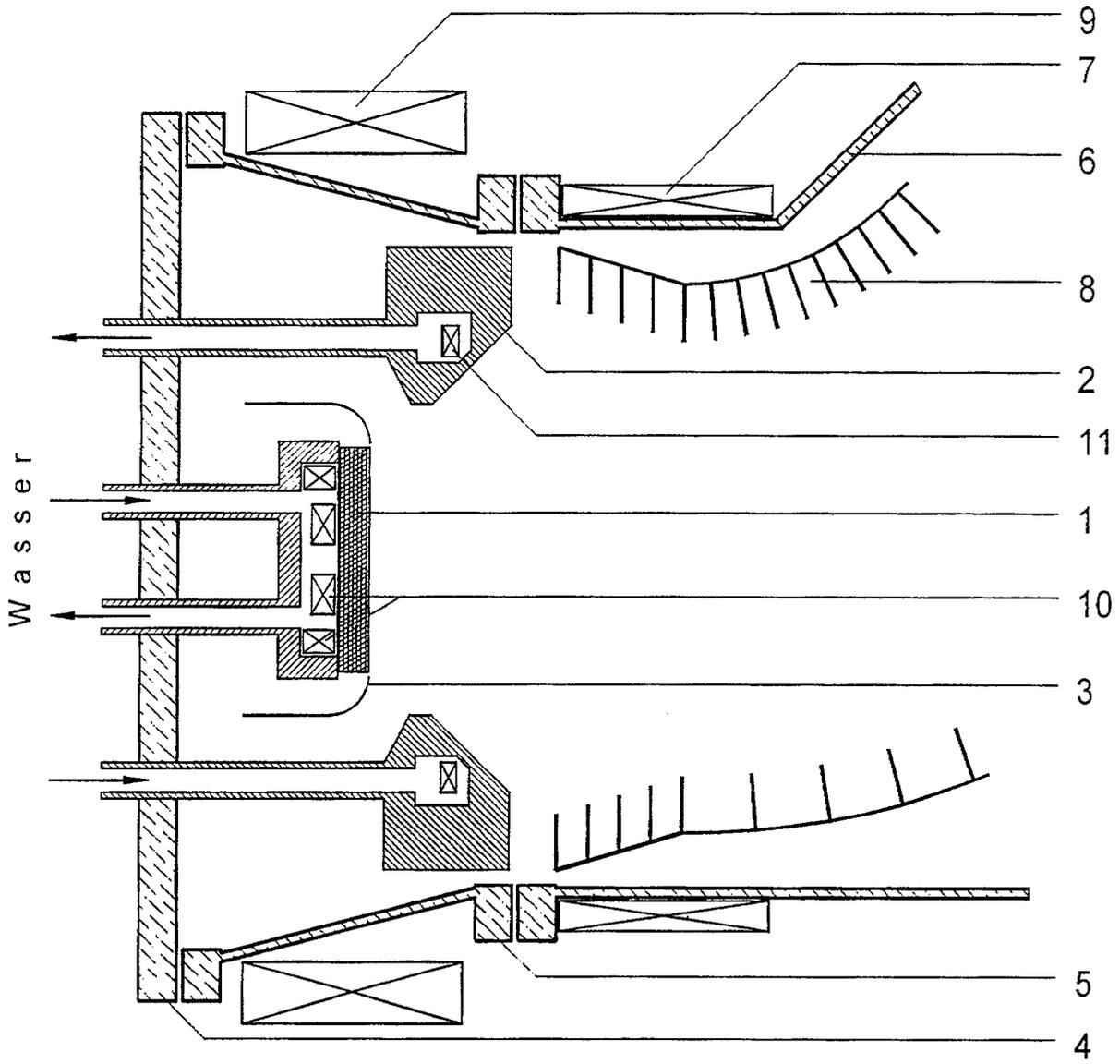


Abb. 1

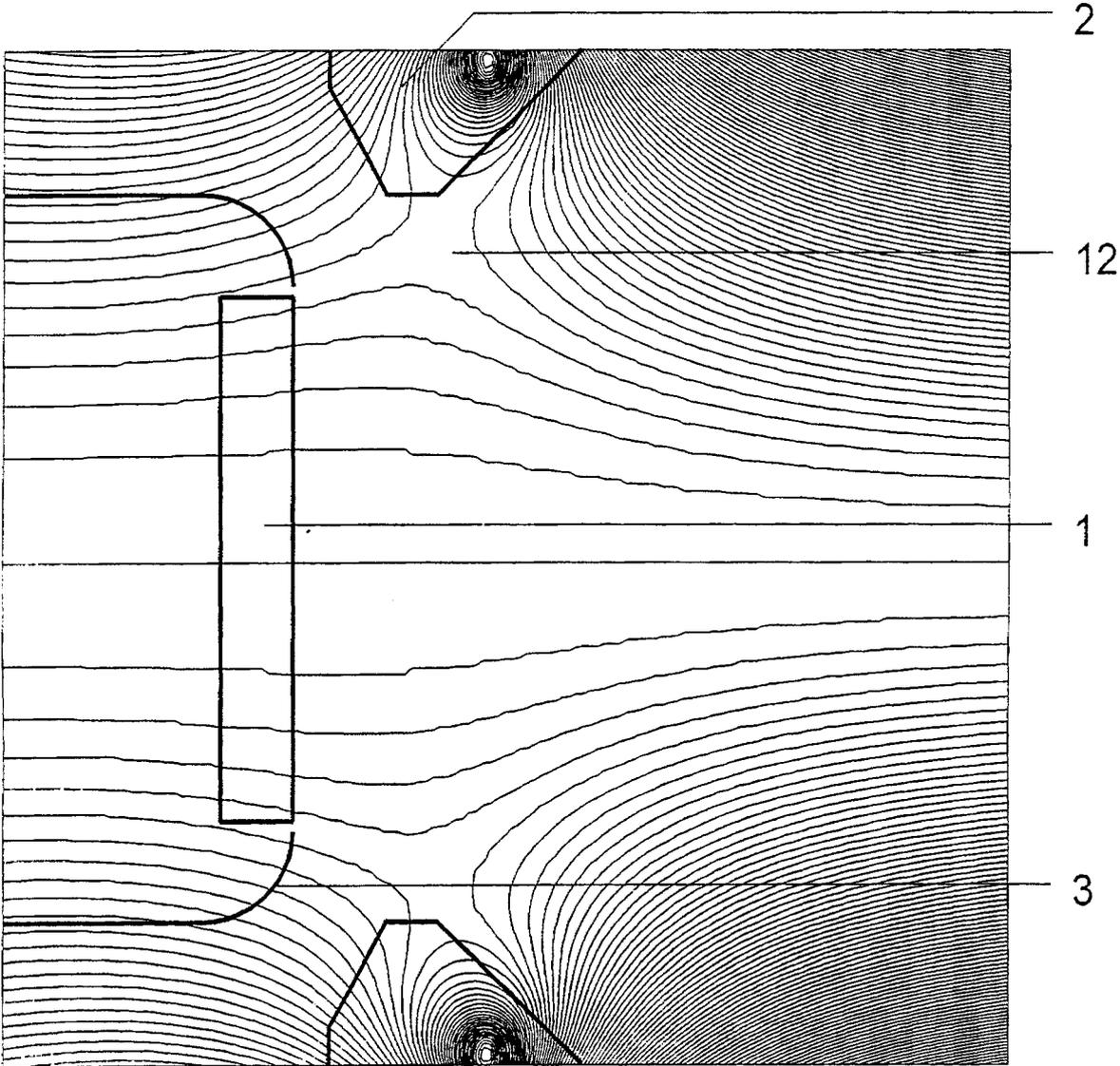


Abb. 2