

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 087 422 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**28.03.2001 Patentblatt 2001/13**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **H01J 65/04**

(21) Anmeldenummer: **00203244.9**

(22) Anmeldetag: **15.09.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorität: **24.09.1999 DE 19945758**

(71) Anmelder:  
• **Philips Corporate Intellectual Property GmbH  
52064 Aachen (DE)**  
Benannte Vertragsstaaten:  
**DE**  
• **Koninklijke Philips Electronics N.V.  
5621 BA Eindhoven (NL)**  
Benannte Vertragsstaaten:  
**FR GB**

(72) Erfinder:  
• **Kraus, Albrecht, Dr.  
52064 Aachen (DE)**  
• **Rausenberger, Bernd, Dr.  
52064 Aachen (DE)**  
• **Dannert, Horst  
52064 Aachen (DE)**

(74) Vertreter:  
**Volmer, Georg, Dipl.-Ing.  
Philips Corporate Intellectual Property GmbH,  
Habsburgerallee 11  
52064 Aachen (DE)**

(54) **Gasentladungslampe mit kapazitiver Einkoppelstruktur**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Gasentladungslampe mit einem mit einem Füllgas mit einem Füllgasdruck  $p$  gefüllten Gasentladungsgefäß und wenigstens einer kapazitiven Einkoppelstruktur. Um die Effizienz der Gasentladungslampe zu verbessern, wird vorgeschlagen, dass eine mit dem Gasentladungsgefäß verbundene und wenigstens einen Hohlraum mit einer Oberfläche  $A$  und einem Volumen  $V$  gemäß  $p \cdot V/A < 10$  cm Torr umschließende Elektrode aus einem dielektrischen Material mindestens eine kapazitive Einkoppelstruktur bildet. Eine solche dielektrische oder kapazitive Elektrode ist erfindungsgemäß derart geformt, dass sie einen Hohlraum besitzt, der bis auf eine Verbindung zum Gasentladungsgefäß vakuumdicht abgeschlossen ist. Er besitzt auf der Innenseite der Elektrode eine Oberfläche  $A$  und umschließt ein Volumen  $V$ . Für die Dimensionierung des Hohlraums gilt  $p \cdot V/A < 10$  cm Torr, wobei der Füllgasdruck  $p$  in Torr angegeben ist.

**EP 1 087 422 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Gasentladungslampe mit einem mit einem Füllgas mit einem Füllgasdruck  $p$  gefüllten Gasentladungsgefäß und wenigstens einer kapazitiven Einkoppelstruktur.

**[0002]** Bekannte Gasentladungslampen bestehen aus einem vakuumdichten Gefäß mit einem Füllgas mit einem Füllgasdruck  $p$ , in dem die Gasentladung abläuft, und meist zwei metallischen Elektroden, die in das Entladungsgefäß eingeschmolzen sind. Eine Elektrode liefert die Elektronen für die Entladung, die über die zweite Elektrode wieder dem äußeren Stromkreis zugeführt werden. Die Abgabe der Elektronen erfolgt meist mittels Glühemission (heiße Elektroden), kann jedoch auch durch Emission in einem starken elektrischen Feld oder direkt durch Ionenbeschuss (ioneninduzierte Sekundäremission) hervorgerufen werden (kalte Elektroden). Eine Gasentladungslampe kann jedoch auch ohne elektrisch leitfähige Elektroden betrieben werden. Bei einer induktiven Betriebsart werden die Ladungsträger direkt im Gasvolumen über ein elektromagnetisches Wechselfeld hoher Frequenz (typischerweise größer als 1 MHz bei Niederdruckgasentladungslampen) erzeugt. Die Elektronen bewegen sich auf Kreisbahnen innerhalb des Entladungsgefäßes solcher induktiver Lampen, herkömmliche Elektroden fehlen bei dieser Betriebsart. Bei einer kapazitiven Betriebsart werden kapazitive Einkoppelstrukturen als Elektroden verwendet. Diese werden aus Isolatoren (Dielektrika) gebildet, die auf einer Seite Kontakt zur Gasentladung haben und auf der anderen Seite elektrisch leitfähig (beispielsweise mittels eines metallischen Kontaktes) mit einem äußeren Stromkreis verbunden sind. Bei einer an die kapazitiven Einkoppelstrukturen angelegten Wechselspannung bildet sich im Entladungsgefäß ein elektrisches Wechselfeld aus, auf dessen linearen elektrischen Feldern sich die Ladungsträger bewegen. Im Hochfrequenzbereich ( $> 10$  MHz) ähneln kapazitive Lampen den induktiven Lampen, da die Ladungsträger hier ebenfalls im gesamten Gasvolumen erzeugt werden. Die Oberflächeneigenschaften des dielektrischen Materials der Einkoppelstrukturen sind hier von geringer Bedeutung (sogenannter  $\alpha$ -Entladungsmodus). Bei niedrigeren Frequenzen ändern die kapazitiven Lampen ihre Betriebsart und die für die Entladung wichtigen Elektronen müssen ursprünglich an der Oberfläche der dielektrischen Einkoppelstruktur emittiert und in einem sogenannten Kathodenfallgebiet vervielfacht werden, um die Entladung aufrechtzuerhalten. Daher ist dann das Emissionsverhalten des dielektrischen Materials bestimmend für die Funktion der Lampe (sogenannter  $\gamma$ -Entladungsmodus). Im  $\gamma$ -Entladungsmodus bildet sich eine schmale Plasmagrenzschicht nahe der dielektrischen Oberfläche aus, die dem Kathodenfallgebiet einer DC-Glimmentladung mit kalten Metallkathoden ähnelt. Über dieser Grenzschicht fällt eine Spannung  $U_S$  ab, die in Abhängigkeit von der Stromdichte deutlich

mehr als 100 V betragen kann. Die entsprechende Leistung  $U_S \cdot I$  stellt für die Lichterzeugung eine Verlustleistung dar, da in der Grenzschicht in Relation zur umgesetzten Leistung keine Lichterzeugung stattfindet. Dabei bezeichnet  $I$  den Strom in der Lampe. Eine kapazitiv gekoppelte Lampe im  $\gamma$ -Entladungsmodus weist daher eine deutlich geminderte Effizienz (lm/W) auf.

**[0003]** Gasentladungslampen benötigen zum Betrieb eine Treiberelektronik, die die Gasentladung in der Lampe zündet und einen Ballast für den Betrieb der Lampe an einem Stromkreis liefert. Ohne eine geeignete Ballastierung der Lampe in einem äußeren Stromkreis würde der Strom in der Gasentladungslampe durch Vermehrung der Ladungsträger im Gasvolumen des Entladungsgefäßes so stark steigen, dass es schnell zu einer Zerstörung der Lampe kommt.

**[0004]** Solche Gasentladungslampen sind auch aus der amerikanischen Patentschrift US 2,624,858 bekannt. Eine Gasentladungslampe mit kapazitiven Elektroden wird mittels eines dielektrischen Materials mit einer hohen Dielektrizitätskonstante  $\epsilon > 100$  (bevorzugt  $\epsilon > 2000$ ) bei einer Betriebsfrequenz von weniger als 120 Hz betrieben. Die äußere Spannung muss dabei zwischen 500 V und 10000 V liegen. Für den Betrieb einer solchen kapazitiven Gasentladungslampe ist noch eine Schaltung mit einer Treiberelektronik notwendig. Die Leistung wird der Gasentladungslampe durch eine kapazitive Kopplung über das dielektrische Material zugeführt. Das dielektrische Material trennt die metallische Elektrode und die Gasentladung. Durch die hohen spezifischen Kondensatoreigenschaften des dielektrischen Materials führt eine auf der metallischen Elektrode induzierte Ladung zu einer Ionisierung und Entladung des Füllgases in der Lampe. Der  $\gamma$ -Entladungsmodus führt auch bei dieser Gasentladungslampe zur Bildung einer Plasmagrenzschicht nahe der dielektrischen Oberfläche, in der eine große Verlustleistung zu Lasten der Effizienz der Lampe umgesetzt wird.

**[0005]** Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine Gasentladungslampe mit kapazitiver Einkoppelung mit erhöhter Effizienz zu schaffen.

**[0006]** Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass eine mit dem Gasentladungsgefäß verbundene und wenigstens einen Hohlraum mit einer Oberfläche  $A$  und einem Volumen  $V$  gemäß  $p \cdot V/A < 10$  cmTorr umschließende Elektrode aus einem dielektrischen Material zur Bildung wenigstens einer kapazitiven Einkoppelstruktur vorgesehen ist. Die Gasentladungslampe besteht in bekannter Weise aus einem transparenten bzw. für die gewünschte Strahlung durchlässigen Entladungsgefäß mit einem üblichen Füllgas (zum Beispiel für Niederdruck-Gasentladungslampen ein Edelgas oder ein Edelgas mit Quecksilber) bei einem Füllgasdruck  $p$ . Das Entladungsgefäß enthält mindestens zwei räumlich voneinander getrennte Elektroden oder Einkoppelstrukturen, von denen mindestens eine als kapazitive Einkoppelstruktur ausgebildet ist. Die erfindungsgemäße

kapazitive Einkoppelstruktur kann beispielsweise auch mit einer metallischen Elektrode kombiniert werden. Die kapazitive Einkoppelstruktur wird von einer Elektrode gebildet, die aus einem geeigneten dielektrischen Material wie z.B. Glas, Keramik, Polymere oder Mischungen daraus besteht und zur Verbindung mit einer äußeren Spannungsquelle mit einem elektrisch leitfähigen Kontakt versehen ist. Die kapazitive Einkoppelstruktur kann auch aus mehreren Schichten verschiedener dielektrischer Materialien bestehen. Diese dielektrische oder kapazitive Elektrode ist derart geformt, dass sie einen Hohlraum besitzt. Der Hohlraum ist bis auf eine Verbindung zum Gasentladungsgefäß vakuumdicht abgeschlossen. Er besitzt auf der Innenseite der Elektrode eine Oberfläche A und umschließt ein Volumen V, wobei bis zur Verbindungsstelle zum Gasentladungsgefäß gemessen wird. Erfindungsgemäß gilt für die Dimensionierung des Hohlraums  $p \cdot V/A < 10 \text{ cmTorr}$ , wobei der Füllgasdruck p in Torr angegeben ist. Selbstverständlich sind innerhalb des Schutzbereichs verschiedene Ausgestaltungen der Einkoppelstruktur denkbar, wie beispielsweise die Verwendung mehrerer Elektroden in paralleler Anordnung, die zusammen eine dielektrische Elektrode bilden.

**[0007]** In dem Hohlraum finden mehrere Vorgänge statt, durch welche die zur Aufrechterhaltung der Entladung notwendige Ionisation von Neutralteilchen effizienter als bei einer flächenhaften Elektrode geschieht. Die Elektronen führen Oszillationsbewegungen im elektrischen Feld des Hohlraums aus. Damit ist die Weglänge im Hohlraum größer und die Gesamtionisation höher als in der Plasmagrenzschicht einer flächenhaften Kathode. Außerdem sind die im negativen Glimmbereich der Entladung (Übergangsbereich zwischen Plasmagrenzschicht und positiver Säule mit niedrigem elektrischen Feld, aber hoher Ionisationsdichte) erzeugten Ionen im Hohlraum eingeschlossen und gelangen wieder auf die Kathode, wo sie zur Sekundäremission von Elektronen beitragen. Ebenso gelangen andere Teilchen, die zur Sekundäremission beitragen können, wie z. B. UV-Photonen und angeregte metastabile Atome, wieder auf die Oberfläche der Kathode.

**[0008]** Diese Effekte führen dazu, dass eine ausgeglichene Teilchenbilanz (in der Plasmagrenzschicht erzeugte Ladung = an der Elektrode dem Plasma entzogene Ladung) in der Plasmagrenzschicht einer erfindungsgemäßen Elektrode mit einem Hohlraum bei einer niedrigeren elektrischen Spannung als an einer flächenhaften Elektrode erreicht werden kann. Die Strom-Spannungscharakteristik einer dielektrischen Elektrode mit Hohlraum verläuft daher deutlich flacher als die einer flächenhaften Elektrode, d.h., bei identischer Spannung können mit einer dielektrischen Elektrode mit Hohlraum deutlich höhere Stromdichten als mit einer flächenhaften Elektrode erreicht werden. Oder bei gleicher Stromdichte sind die in der Plasmagrenzschicht einer dielektrischen Elektrode mit Hohlraum auf-

tretenden Spannungen niedriger als bei einer flächenhaften Elektrode. Die Verlustleistung reduziert sich dabei im selben Maß, so dass die Effizienz der Lampe deutlich gesteigert wird.

5 **[0009]** In weiteren Ausbildungen der erfindungsgemäßen Gasentladungslampe umschließt die Elektrode wenigstens einen Hohlraum mit einem Volumen V ungefähr gleich dem Volumen einer sich im Betrieb der Gasentladungslampe bildenden Plasmagrenzschicht.  
10 Wenn das Volumen des Hohlraums derart bemessen wird, dass es ungefähr, insbesondere mit einer maximalen Abweichung von 10%, dem Volumen entspricht, das die Plasmagrenzschicht nahe der dielektrischen Oberfläche einnimmt, wird eine besonders große Steigerung der Effizienz der Lampe erreicht.

15 Da sich die Plasmagrenzschicht flächenhaft auf der Innenseite der dielektrischen Elektrode ausbildet, kann eine besonders vorteilhafte Dimensionierung des Hohlraums auch mittels des Durchmessers D beschrieben werden. Insbesondere ist es vorteilhaft einen Hohlraum mit einem Durchmesser D vorzusehen, der ungefähr, insbesondere mit einer maximalen Abweichung von 10%, der doppelten Dicke der Plasmagrenzschicht entspricht. Für den Spezialfall eines zylindrischen Hohlraums entspricht der Durchmesser D des Hohlraums dem Durchmesser des Zylinders. Die Plasmagrenzschicht besitzt in dem Fall eine Dicke in der Größe des Radius des Zylinders.

20 **[0010]** Besonders vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind in den weiteren Ansprüchen angegeben.

**[0011]** Im folgenden sollen Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Gasentladungslampe anhand von Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen:

35 **Figur 1:** eine Gasentladungslampe mit einem zylinderförmigen Gasentladungsgefäß und zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstrukturen,

40 **Figur 2:** eine detailliertere Darstellung einer zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstruktur aus der Figur 1 mit einer dielektrischen Elektrode,

45 **Figur 3:** eine Gasentladungslampe mit einem gebogenen Gasentladungsgefäß und zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstrukturen und

50 **Figur 4:** eine detailliertere Darstellung einer zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstruktur aus der Figur 3 mit mehreren parallel angeordneten dielektrischen Elektroden.

55 **[0012]** Die Ausführungsbeispiele der Gasentladungslampen verwenden alle eine kapazitive Einkoppelstruktur mit einer dielektrischen Elektrode mit einem Hohlraum (mit einer Oberfläche A und einem Volumen

V) gemäß  $p \cdot V/A < 10 \text{ cm Torr}$  (mit Füllgasdruck  $p$  des Füllgases im Gasentladungsgefäß). Die Lampen werden im  $\gamma$ -Entladungsmodus, d.h. typischerweise bei Frequenzen unter 10 MHz betrieben.

In der Figur 1 ist eine Gasentladungslampe 1 mit einem zylinderförmigen Gasentladungsgefäß 2 und zwei zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstrukturen 3 dargestellt. Die beiden kapazitiven Einkoppelstrukturen 3 sind jeweils an einem Ende mittels einer vakuumdichten Verbindung 4 mit dem Gasentladungsgefäß 2 verbunden. Weiterhin ist noch eine RF-Netzspannungsquelle 5 mit Zuleitungen 6 zu den kapazitiven Einkoppelstrukturen 3 dargestellt. Die Gasentladungslampe 1 ist rotations-symmetrisch um eine Achse 7. Das Gasentladungsgefäß 2 besteht aus einem Glasrohr mit einer Länge von  $a=500\text{mm}$  und einem Innendurchmesser von  $b=15\text{mm}$ . Das Gasentladungsgefäß ist mit 5mbar Ar und 5mg Hg gefüllt und von innen phosphorbeschichtet, so dass das gewünschte Spektrum abgestrahlt wird. Die RF-Netzspannungsquelle 5 liefert eine mittlere Spannung von 500V bei einer Frequenz von 5MHz.

**[0013]** Eine der zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstrukturen 3 aus der Figur 1 ist in Figur 2 detaillierter dargestellt. Sie besteht aus einer zylinderförmigen dielektrischen Elektrode 8 mit einem Hohlraum und einer Kappe 9, die aus einer Scheibe aus einem dielektrischen Material besteht und die kapazitive Einkoppelstruktur 3 auf einer Seite vakuumdicht abschließt. Die dielektrische Elektrode 8 besteht aus einem Glasrohr mit einer Länge von  $c=20\text{mm}$  und einem Außendurchmesser  $f=2\text{mm}$ . Der von der Elektrode 8 umschlossene Hohlraum ist durch den Innendurchmesser von  $d=1\text{mm}$  des Glasrohres definiert. Auf dem äußeren Umfang der dielektrischen Elektrode 8 ist eine metallische Schicht aufgebracht, die zur Kontaktierung mit den Zuleitungen 6 verwendet wird. Die Lampe 1 wird durch die kapazitive Einkoppelstruktur 3 ballastiert, so dass eine zusätzliche äußere Ballastierung nicht notwendig ist. Mit der Lampe 1 wird ein maximaler mittlerer Strom von ungefähr 40mA, d.h. eine mittlere Leistung von 20W erreicht. Die eingekoppelte Leistung oder die Betriebsfrequenz kann durch Änderung der Dicke des Glasrohres 8 und damit der Kapazität der dielektrischen Einkoppelstruktur 3 variiert werden, so dass eine Anpassung an jeweils gegebenen Anforderungen möglich ist. Die Lampe 1 wird im  $\gamma$ -Entladungsmodus betrieben, so dass eine Plasmagrenzschicht an den Elektroden entsteht, die ungefähr den Hohlraum im Glasrohr 8 einnimmt. Die Verlustleistung in der Plasmagrenzschicht ist durch die Form der verwendeten dielektrischen Elektroden 8 mit Hohlraum stark reduziert.

**[0014]** Bei einer ähnlichen Ausführungsform der Lampe 1 wird als Dielektrikum für die Elektrode 8 ein anderes nichtleitendes Material als Glas verwendet. Durch Wahl eines geeigneten Materials können die Betriebsbedingung der Lampe 1, insbesondere die Betriebsfrequenz und die eingekoppelte Leistung vari-

iert und an Anforderungen angepaßt werden. Beispielsweise sind bei Verwendung eines dielektrischen Materials mit einer Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon \approx 1000$  (z.B.  $\text{BaTiO}_3$ , PZT, PLZT) und einer Dicke der rohrförmigen Elektrode 8 von 0.5mm Betriebsfrequenzen im HF-Bereich (um 30kHz) erreichbar. Dies ermöglicht den Betrieb der Lampe 1 mittels einer vereinfachten Treiber-elektronik.

**[0015]** In der Figur 3 ist eine zweite Ausführungsform der Gasentladungslampe 1 mit einem gebogenen Gasentladungsgefäß 10 und zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstrukturen 11 dargestellt. Die Einkoppelstrukturen 11 sind auf einer Seite vakuumdicht mit dem Gasentladungsgefäß 10 verbunden und auf der anderen Seite vakuumdicht abgeschlossen. Über einen außen auf den Einkoppelstrukturen 11 aufgebrachten elektrischen Kontakt sind sie mit den Zuleitungen 6 einer Netzspannungsquelle 5 verbunden. Das Gasentladungsgefäß 10 besteht aus einem U-förmig gebogenen Glasrohr mit einem Innendurchmesser von 9mm, das innen phosphorbeschichtet und mit 5mbar Ar und 5mg Hg gefüllt ist.

**[0016]** Eine detailliertere Darstellung einer der zylinderförmigen kapazitiven Einkoppelstrukturen 11 aus der Figur 3 wird in Figur 4 gezeigt. Die kapazitive Einkoppelstruktur 11 besteht aus mehreren parallel angeordneten dielektrischen Elektroden 8. Die rohrförmigen Elektroden 8 sind auf einer Seite mit einer Kappe 9 vakuumdicht abgeschlossen. Die Kappe 9 wird wieder von einer Scheibe aus einem dielektrischen Material gebildet. Auf der anderen Seite wird eine vakuumdichte Verbindung zwischen den dielektrischen Elektroden 8 und dem Gasentladungsgefäß 10 mittels einer Glasscheibe 12 hergestellt. Die Glasscheibe 12 weist Öffnungen auf; so dass eine Verbindung zwischen den Hohlräumen der Elektroden 8 und dem Gasentladungsgefäß 10 existiert. Die kapazitive Einkoppelstruktur 11 hat eine Länge von  $c=20\text{mm}$  und einen Durchmesser von  $g=10\text{mm}$ . Die parallel angeordneten dielektrischen Elektroden 8 weisen einen Innendurchmesser von  $d=1\text{mm}$  und einen Außendurchmesser von  $f=2\text{mm}$  bei einer Länge von  $c=20\text{mm}$  auf. Die Elektroden 8 bestehen aus einem dielektrischen Material wie speziell dotiertem  $\text{BaTiO}_3$  und sind alle von außen mittels einer metallischen Schicht elektrisch kontaktiert. Vorzugsweise wird bei einer Lampe 1 nach der zweiten Ausführungsform eine Einkoppelstruktur 11 aus einem ferroelektrischen Material mit hoher Sättigungspolarisation  $P$  und einer möglichst großen Einkoppelfläche  $A$  verwendet. Das Produkt  $P \cdot A$  ist die maximal pro Halperiode der Netzspannungsquelle 5 transportierbare Ladung. Bei dieser Ausführungsform ist es auch bei Betrieb mit 230V und 50Hz möglich, einen ausreichend hohen Strom und damit ausreichend hohe Leistung (etwa 10W) in die Lampe 1 einzukoppeln. Damit kann eine solche Lampe 1, die die mittels der erfindungsgemäßen dielektrischen Elektrode 8 erreichte Steigerung der Effizienz aufweist, ohne eine aufwendige

Treiberelektronik auch direkt am Haushaltsstromnetz betrieben werden.

### Patentansprüche

- 5
1. Gasentladungslampe (1) mit einem mit einem Füllgas mit einem Füllgasdruck  $p$  gefüllten Gasentladungsgefäß (2) und wenigstens einer kapazitiven Einkoppelstruktur (3),  
dadurch gekennzeichnet, 10  
dass wenigstens eine mit dem Gasentladungsgefäß (2) verbundene und wenigstens einen Hohlraum mit einer Oberfläche  $A$  und einem Volumen  $V$  gemäß  $p \cdot V/A < 10$  cm Torr umschließende Elektrode (8) aus einem dielektrischen Material zur Bildung wenigstens einer kapazitiven Einkoppelstruktur (3) vorgesehen ist. 15
  2. Gasentladungslampe (1) nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, 20  
dass die Elektrode (8) wenigstens einen Hohlraum mit einem Volumen  $V$  ungefähr gleich dem Volumen einer sich im Betrieb der Gasentladungslampe (1) bildenden Plasmagrenzschicht umschließt. 25
  3. Gasentladungslampe (1) nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Elektrode (8) wenigstens einen Hohlraum mit einem Durchmesser  $D$  ( $d$ ) ungefähr gleich der doppelten Dicke einer sich im Betrieb der Gasentladungslampe (1) bildenden Plasmagrenzschicht umschließt. 30
  4. Gasentladungslampe (1) nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, 35  
dass wenigstens ein Glasrohr (8) mit einem Innendurchmesser ( $d$ ) von etwa 1mm, einem Außendurchmesser ( $f$ ) von etwa 2mm und einer Länge ( $c$ ) von etwa 20mm, das einerseits vakuumdicht mit dem Gasentladungsgefäß (2) verbunden und andererseits vakuumdicht abgeschlossen ist, zur Bildung der Elektrode (8) vorgesehen ist. 40
  5. Gasentladungslampe (1) nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, 45  
dass wenigstens ein Rohr (8) aus einem nichtleitenden, keramischen Material mit einem Innendurchmesser ( $d$ ) von etwa 1mm, einem Außendurchmesser ( $f$ ) von etwa 2mm und einer Länge ( $c$ ) von etwa 20mm, das einerseits vakuumdicht mit dem Gasentladungsgefäß (2) verbunden und andererseits vakuumdicht abgeschlossen ist, zur Bildung der Elektrode (8) vorgesehen ist. 50

55

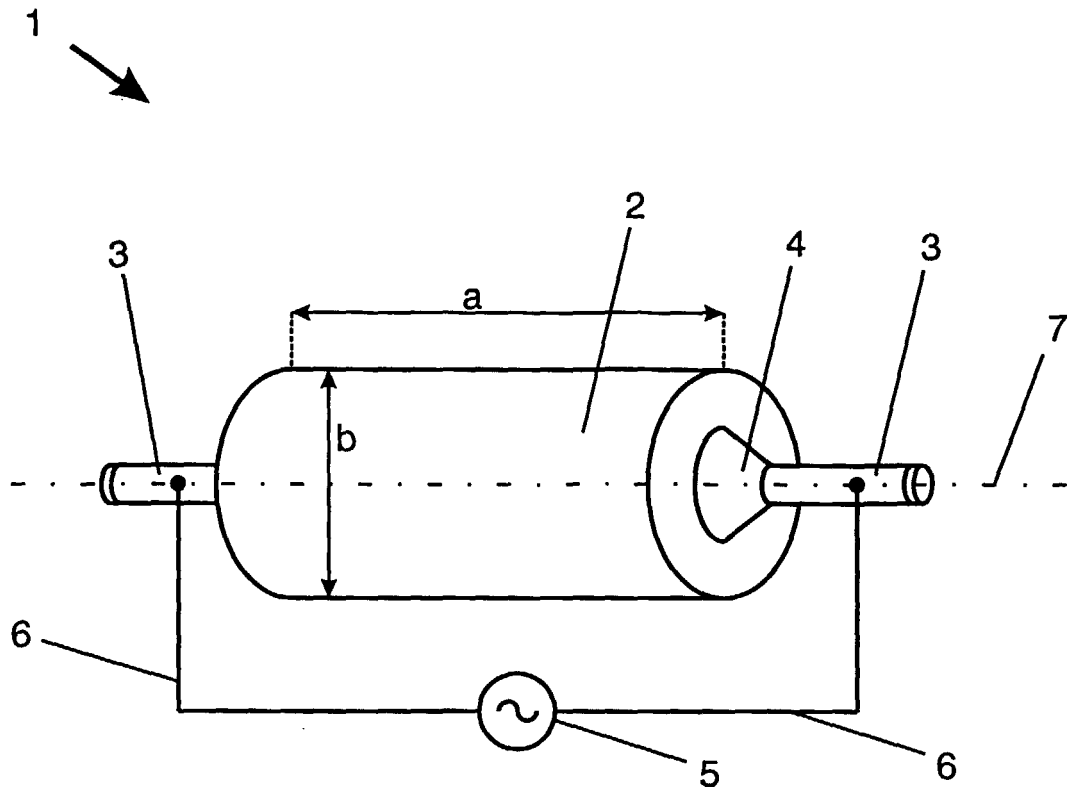


FIG. 1

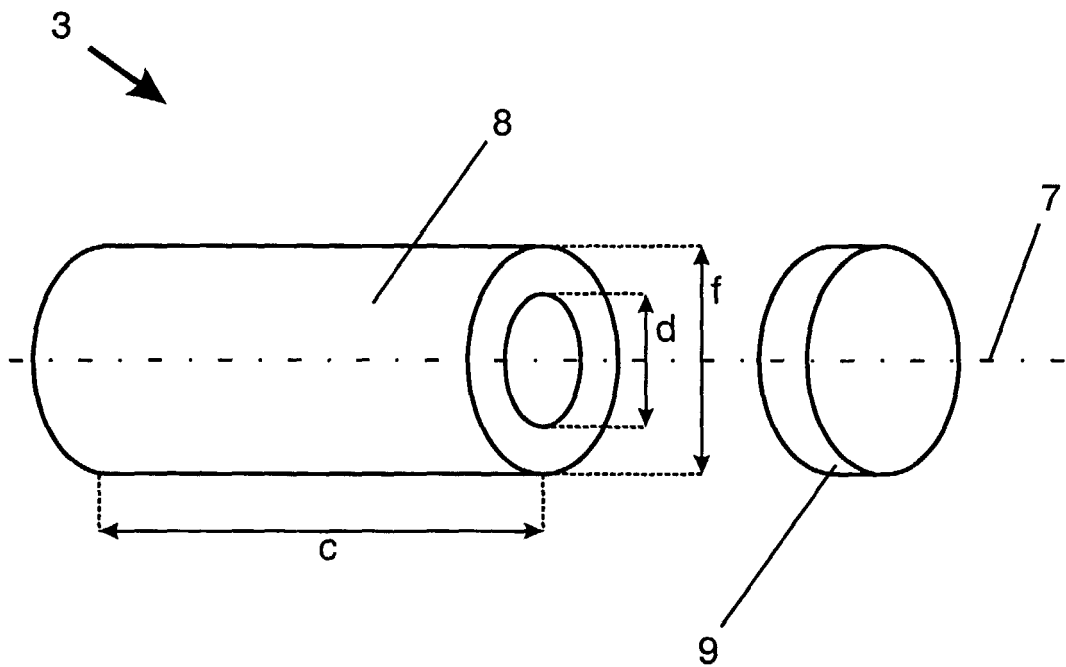


FIG. 2

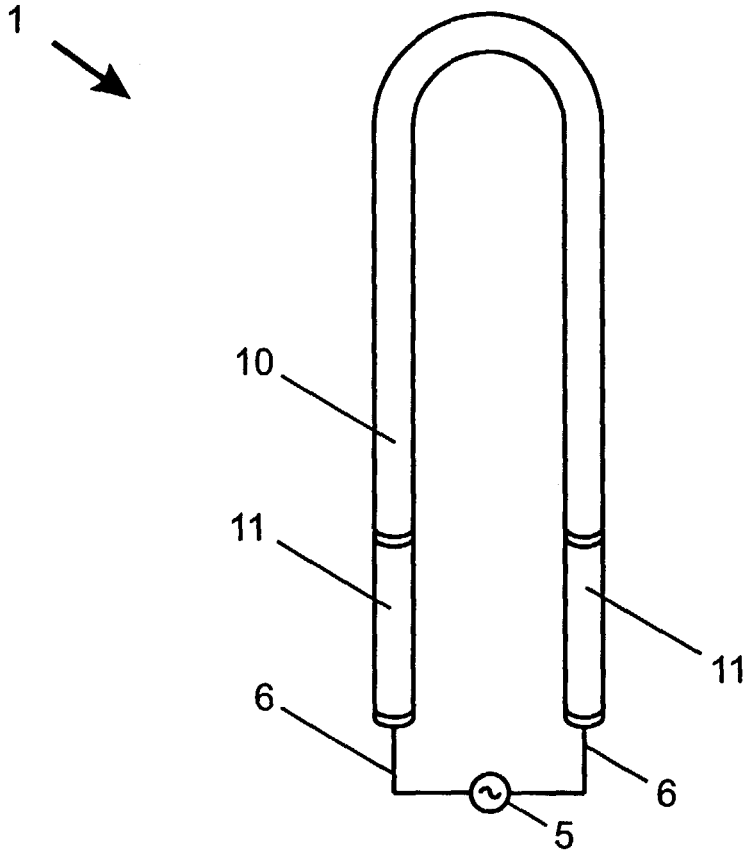


FIG. 3

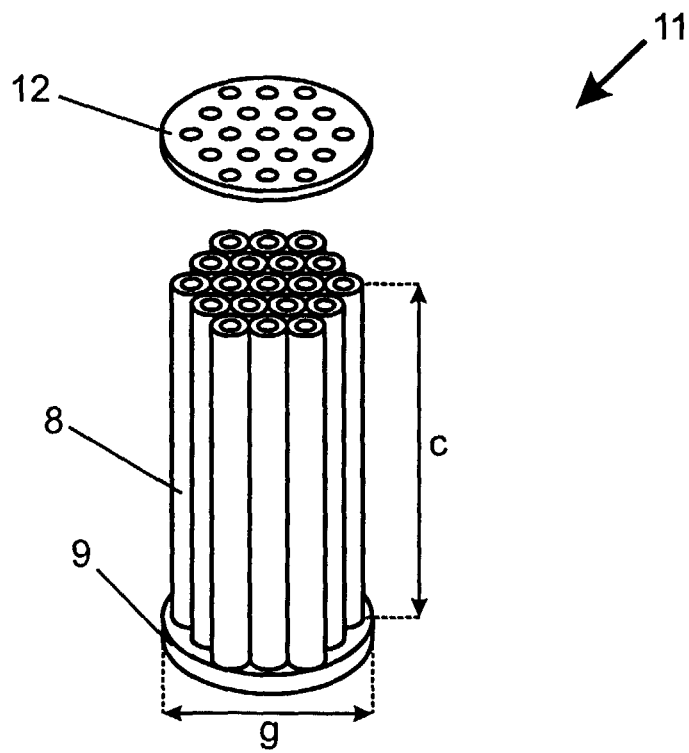


FIG. 4